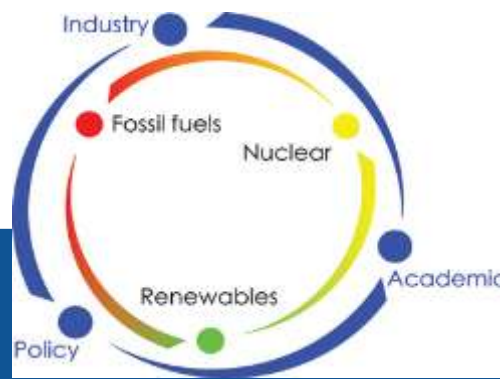




# « Le futur énergétique de la Belgique : avec ou sans nucléaire »

## Collège Belgique 2019

Charleroi - Palais des Beaux-Arts  
jeudi 24 octobre 2019 (17.30 à 19.30)

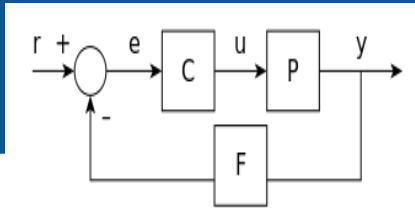
**Georges Van Goethem (Dr. Ir.)**

\* Responsibility for the  
information and views set out  
in this conference lies entirely  
with the author \*

\* Reproduction of the texts of  
this conference is authorised  
provided the source is  
acknowledged \*

\* Royal Academy for Overseas Sciences of Belgium (ARSOM)  
\* College Belgique (under Académie Royale de Belgique)  
\* ex- EC DG Research and Innovation / Dir. Energy /

**([georges.m.vangoethem@gmail.com](mailto:georges.m.vangoethem@gmail.com))**



## **Garantir l'accès de tous aux services énergétiques**

- 1 – Brève histoire : du feu primitif à l'électricité**
- 2 – Le cap : un mix équilibré (renouvelables, fossiles, nucléaire)**
- 3 – Invariants (sciences de la nature) et contraintes (EU Triangle)**
- 4 – Faits et chiffres : démographie, climat, politiques énergétiques**
- 5 – Défis technologiques et humains (incertitudes) : stockage, etc**
- 6 – Conclusion : recherche, innovation et formation**

**\* Responsibility for the information and views set out in this conference lies entirely with the author \***

**\* Reproduction of the texts of this conference is authorised provided the source is acknowledged \***



***"Un miliardo per la sicurezza e uno per la cultura.  
La bellezza sarà più forte della barbarie"***

***"Per ogni euro in cybersecurity, uno in start-up;  
per ogni mezzo blindato in più, un campo di calcetto".***

Matteo Renzi, ancien Président du Conseil Italien, 24 novembre 2015

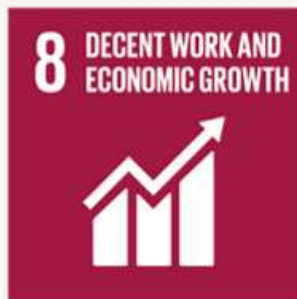


# UN Agenda-2030 : 17 "Sustainable Development Goals" (Sept 2015)

Priority  
no 1



## SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



**The proposed 17 "Sustainable Development Goals for people and planet" cut across all of the most critical social, economic and environmental issues of our time.**

ONU: « 17 objectifs pour transformer notre monde » et Rapport ODD 2018 ( <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/development-agenda/> )

Politique belge: « Indicateurs de développement durable » - [https://www.indicators.be/fr/t/SDG/Indicateurs\\_de\\_d%C3%A9veloppement\\_durable](https://www.indicators.be/fr/t/SDG/Indicateurs_de_d%C3%A9veloppement_durable)

Ces indicateurs informent sur les progrès réalisés par la Belgique vers les 17 objectifs de développement, adoptés par les Nations unies



# L'histoire de l'humanité et celle de la conquête de l'énergie sont inséparables <sup>1/2</sup>

L' histoire de l'homme a été substantiellement marquée par l'évolution des sources d'énergie libre qu'il a su ou pu utiliser.

(Source : <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/energie> )

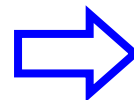
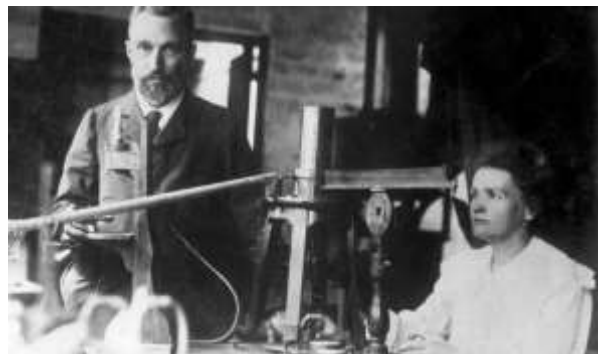
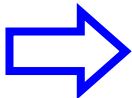
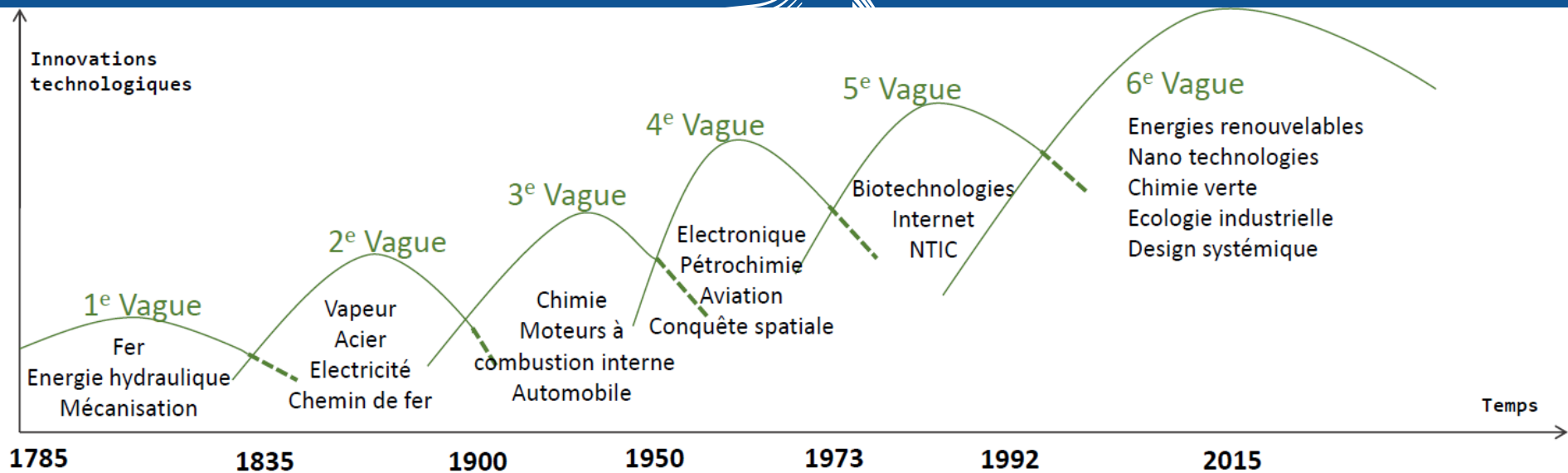


## From Chimpanzee using tools to Fourth Industrial Revolution

Life uniquely feeds off negative entropy and free energy and these properties are used to differentiate life from ordinary, inanimate matter.

(Source : "What Is Life?", Nobel-Laureate Erwin Schrödinger 1944)

# Energie - innovations technologiques 1785 – 2020 : six vagues



**Watt steam engine (1788)**, the steam engine that propelled the Industrial Revolution in Britain and the world

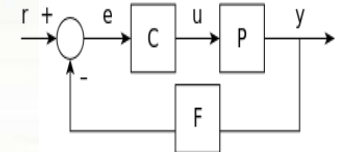
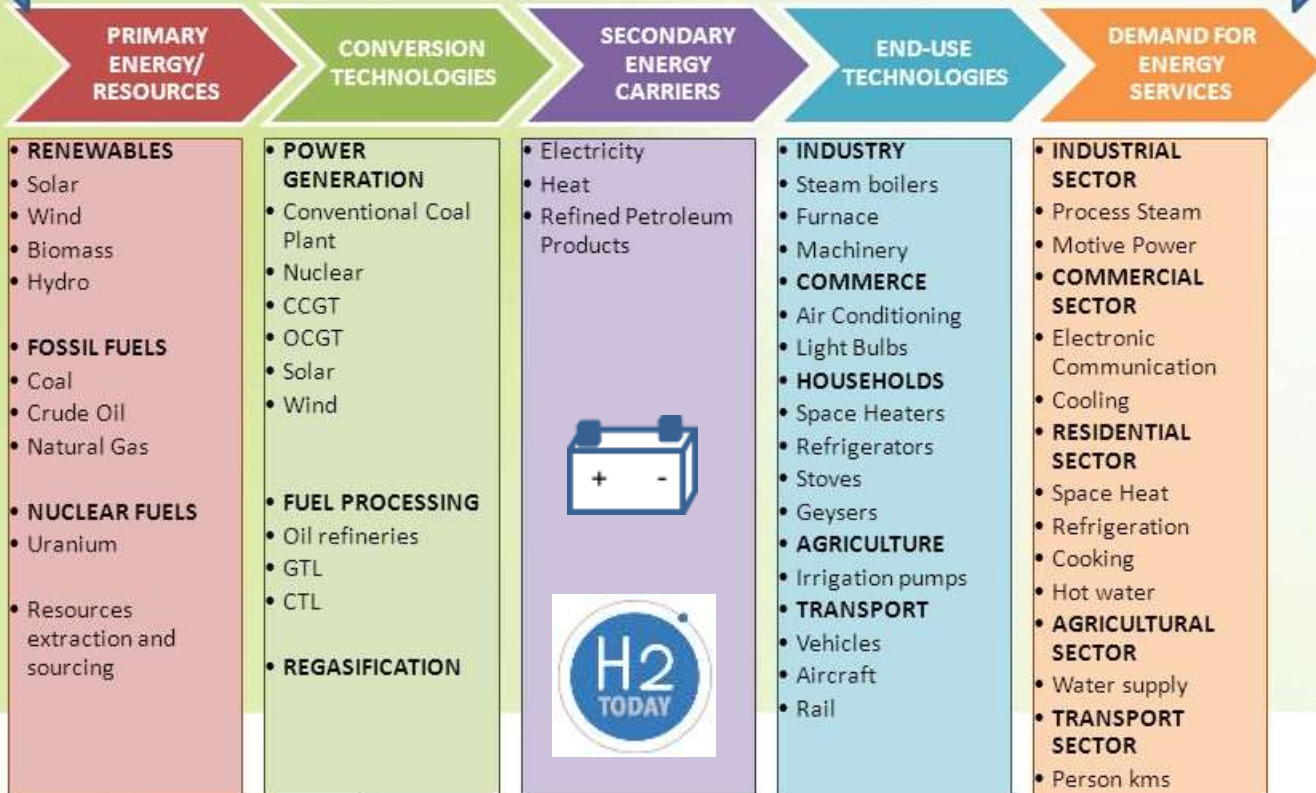
**Marie Curie Skłodowska** is remembered for her discovery of radium and polonium (**1898** – second Nobel Prize in 1911), and her huge contribution to the fight against cancer.

**NASA's Mars rover Curiosity** : still operational, and as of October 14, **2019** Curiosity has been on Mars for 2625 total days since landing on August 6, 2012.  
<https://mars.nasa.gov/msl/mission/where-is-the-rover/>

# ENERGY VALUE CHAIN



Integrated energy planning seeks to consider all the key elements of the energy value-chain



## Three Primary Energy Sources :

- renewables
- fossil
- nuclear

Value chain

## Multiple Energy Services

- industrial
- commercial
- residential
- agricultural
- transportation

Department:  
Energy  
REPUBLIC OF SOUTH AFRICA

27

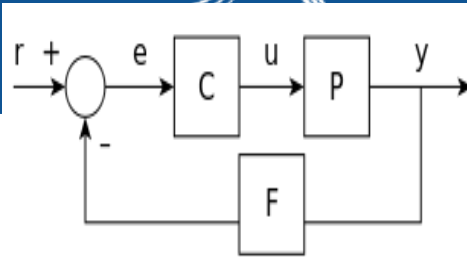
*"The Energy Planning Framework considers all energy carriers, all technology options and all key national policy imperatives and proposes an energy mix and policy recommendations which ensures that the energy sector can help achieve these in the most optimal manner."* (IEA)

Source : INTEGRATED ENERGY PLAN (IEP), Republic of South Africa, Dep't of Energy, 22 November 2016 - <http://www.energy.gov.za/files/IEP/presentations/Integrated-Energy-Plan-22-Nov-2016.pdf> - see also International Energy Agency (IEA) yearly "World Energy Outlook" projections

Remember : All scenarios of the EU Energy Roadmap 2050 show electricity will have to play a much greater role than now (almost doubling its share in final energy demand to 36-39% in 2050) and will have to contribute to the decarbonisation of transport and heating/cooling (source : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX:52011DC0885>, Dec. 2011)



# Le mix énergétique idéal ? (approche systémique)



« Le cap »,  
les « contraintes »  
et les « Invariants »



Quelques « quasi-certitudes »  
et beaucoup d' « incertitudes »<sup>8</sup>





# Messages clés à emporter : synergies entre renouvelables, fossiles et nucléaire



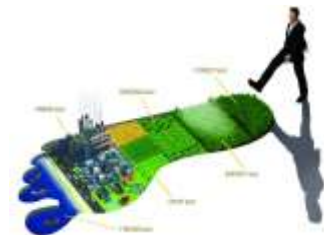
(1) **Le cap** : garantir l'accès de tous à des services énergétiques fiables et durables, à un coût abordable (Nations Unies ODD-7)

Besoin total d' électricité en Belgique en 2040  
= 100 TWh<sub>e</sub> (= 100 milliards de kilowattheures<sub>e</sub>)

(2) **Contraintes** liées à la transition vers une économie compétitive, sûre et sobre en carbone + économie circulaire



(3) **Invariants** : sciences de la nature (e.a. réseau électrique et « empreinte ») et sciences de l'Homme et de la Société



(4) « Quasi-certitudes » : faits et chiffres

Par ex. dans le monde : évolution démographique, changement climatique => électrification massive

(5) « Incertitudes » : défis de type technologique et humain

E.g. Fourth Industrial Revolution (4IR) : towards integrated energy, transport and ICT systems ?  
+ new paradigm "producer < = > consumer" ?



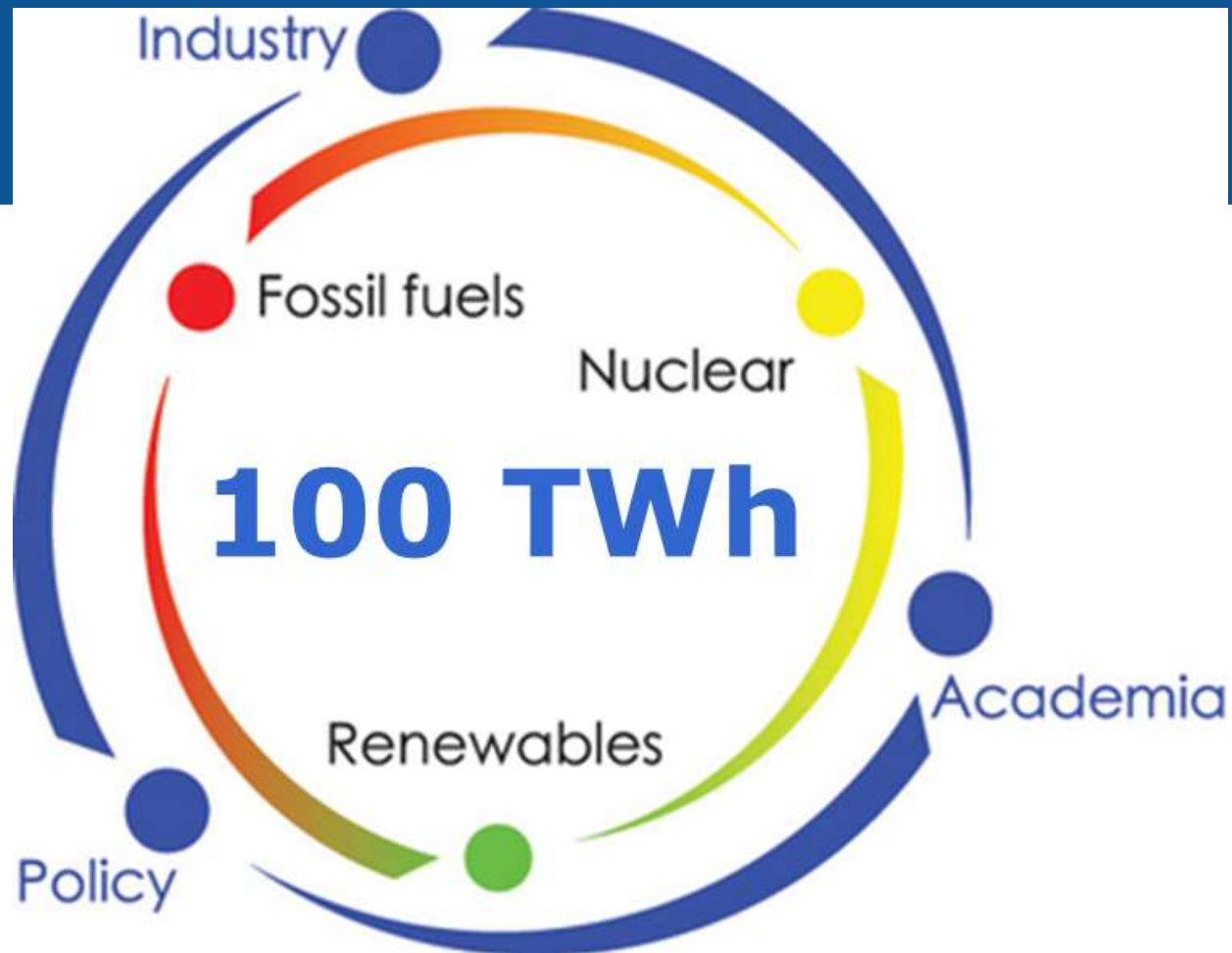
**100 TWh<sub>e</sub>**

**= total electricity needed  
per year in Belgium by  
2040 (estimated)**

**Reminder: Belgium 2016**

**Total energy (TPES) = 657 TWh**

**Electricity consumption = 82 TWh<sub>e</sub>**



**Primary energies : renewables – fossil fuels – nuclear**

**Stakeholders : policy – industry – academia**

**+ circular economy (material recycling and energy recovery)**

# Toujours plus d'énergie ? (EU %) - Toujours moins de CO<sub>2</sub> eq



(1) Transports : Eurostar et Thalys (EU 33 %)



(2) Residential : shopping street in Brussels (EU 25 %)



(3) Industrie : High electricity consumption at steelworks (EU 25 %)



(4) Services : nouveau complexe hôpital (EU 14 %)



# Energy, Heat, Work and Power (human mechanical power = 100 W)



**Enérgeia - ἐνέργεια - « force en action » en grec ancien**

Ascension du Mont Blanc

- Hauteur  $h = 3800 \text{ m}$
- Homme  $m = 70 \text{ kg}$
- Gravitation  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

=> **Energie** d'ascension :  $h \times m \times g = 2.6 \text{ MJ}$  (approx. 0.7kWh)

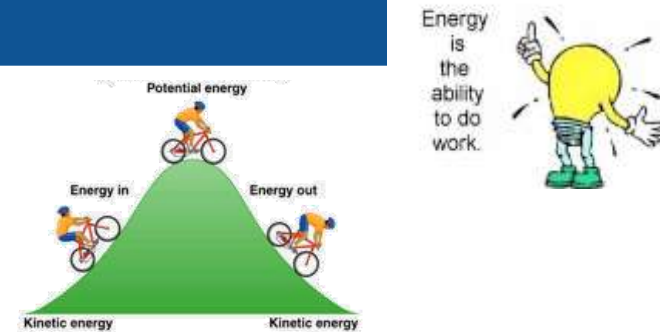
=> **Puissance « mécanique Homme » (7 heures ascension) = 100 W**

Remember : **Power** - The mechanical horsepower, also known as imperial horsepower, is approximately equivalent to 745.7 watts.

**Reminder : mechanical output energy of human body  
= around 100 kWh per year**

**= > 100 TWh / an pour besoins électriques en Belgique en 2040  
<= >100 esclaves énergétiques / habitant, an**

(Rappel : 1 Tera vaut un million au carré, soit un million de millions /  $T = 10^{12}$ )



## **Interconversion of potential and kinetic energy**

Transitions between potential and kinetic energy are such an intimate part of our daily lives that we hardly give them a thought.

It happens in walking as the body moves up and down. Our bodies utilize the chemical energy in glucose to keep us warm (**heat**) and to move our muscles.

In fact, life itself depends on the conversion of chemical energy to other forms.

**Energy is conserved:  
it can neither be created nor destroyed.**

So when you go uphill, your kinetic energy is transformed into potential energy, which gets changed back into kinetic energy as you coast down the other side.

And where did the kinetic energy you expended in peddling uphill come from? By conversion of some of the chemical potential energy in your breakfast cereal.

Source: National Science Foundation - LibreTexts library  
[https://chem.libretexts.org/Core/Physical\\_and\\_Theoretical\\_Chemistry/Thermodynamics/Chemical\\_Energetics/Energy%2C\\_Heat%2C\\_and\\_Work](https://chem.libretexts.org/Core/Physical_and_Theoretical_Chemistry/Thermodynamics/Chemical_Energetics/Energy%2C_Heat%2C_and_Work)

**But what is work ? Work is the amount of energy necessary to move an object. The further you move it, the more work is required. Work is defined as distance x force acting on an object in the direction of motion.**

**Work is measured in Newtons (SI unit :  $1 \text{ kg m s}^{-2}$ , that is :  $1 \text{ kgf} = 9.81 \text{ Newtons or N}$ ).**



## QUE FAIT-ON AVEC UN KILOWATT-HEURE ?

### kWh – kilowatt-heure

C'est l'unité de mesure de l'énergie. Elle est souvent confondue avec le watt (W).

Le watt est une unité de mesure de puissance mécanique ou électrique.

Le kilowatt-heure est une unité de mesure d'énergie correspondant à l'énergie consommée en une heure par un appareil de 1 000 watts.

*Concrètement, 1 kWh c'est...*

une ½ heure  
de sèche-cheveux



1 heure de fonctionnement  
d'un radiateur de 1 000 W



un cycle de lave-linge



3 à 5 h de télévision



1 journée de réfrigérateur



1 à 1,5 jour d'éclairage  
dans un logement



4 mois environ  
de smartphone



© EDF 2013



Le kilowatt-heure (kWh) est l'unité servant à mesurer la consommation d'un appareil. 1 kilowatt-heure correspond à l'énergie consommée par un appareil de 1.000 watts pendant une heure. Le watt est ainsi la puissance d'une machine qui fournit un joule toutes les secondes alors que le watt-heure est l'énergie fournie en une heure par une machine de 1 watt.

Les dépenses énergétiques des différents appareils utilisés par les ménages au quotidien (ménagers, d'éclairage, informatiques...) ne sont pas équivalentes.

Certains appareils consomment en effet bien plus d'énergie que les autres. Avec 1 kWh, on peut ainsi alimenter en électricité un réfrigérateur pendant une journée entière alors qu'on ne peut faire fonctionner un radiateur de 1.000 watts que pendant une heure.

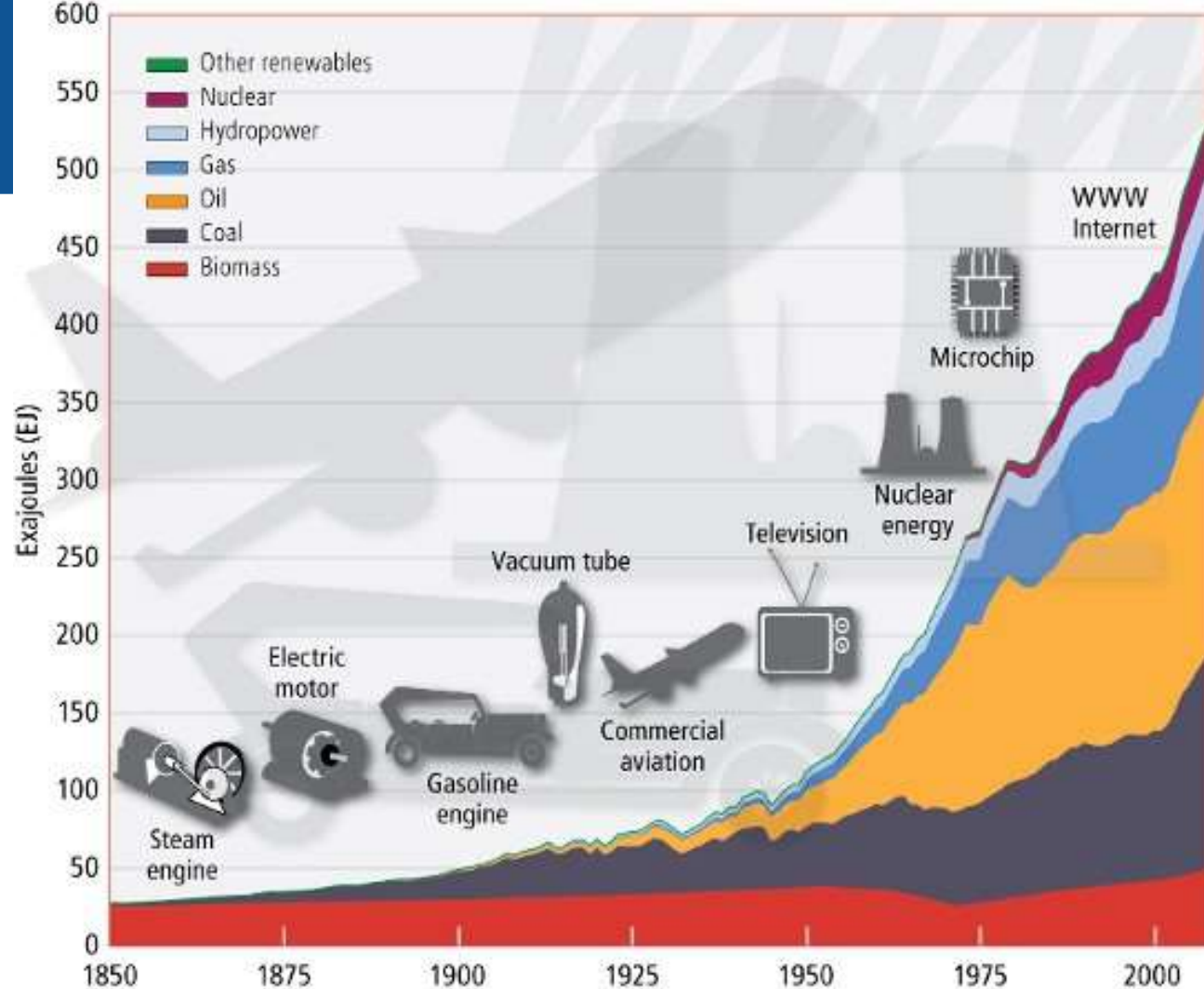
Source: <https://www.lenergieenquestions.fr/tag/consommation-electrique/>

**Figure left : "World famous track cyclist Robert Förstemann battles a 700 Watt toaster" - (video 3 min, June 2015)**

**Olympic Cyclist Vs. Toaster: Can He Power It ?**

<https://www.youtube.com/watch?v=S4O5voOCqAQ>

# World Primary Energy Use: explosive growth of global primary energy



Above Figure - The World Primary Energy Use: figure shows the explosive growth of global primary energy with two clear development phases, the first characterized by a shift from reliance on traditional energy sources to coal and subsequently to oil and gas. Hydropower, biomass, and nuclear energy during the past decades have a combined share of almost 22%. New renewables such as solar and wind are hardly discernible in the figure. Biomass refers to traditional biomass until the most recent decades, when modern biomass became more prevalent and now accounts for one-quarter of biomass energy.  
NB : 1 Exajoule [EJ] =  $1.0 \times 10^{18}$  Joule [J] = 277.7 Terawatt hour [TWh] ( $> 550$  Exajoule [EJ] =  $1.5 \times 10^5$  Terawatt hour [TWh])

Source: "The Global Energy Assessment: Toward a Sustainable Energy Future", Options Magazine, Summer 2012

*A comprehensive, integrated analysis of how to transform energy systems to meet the world's multiple energy challenges—namely, providing affordable, safe, secure, and environmentally sound energy for all*

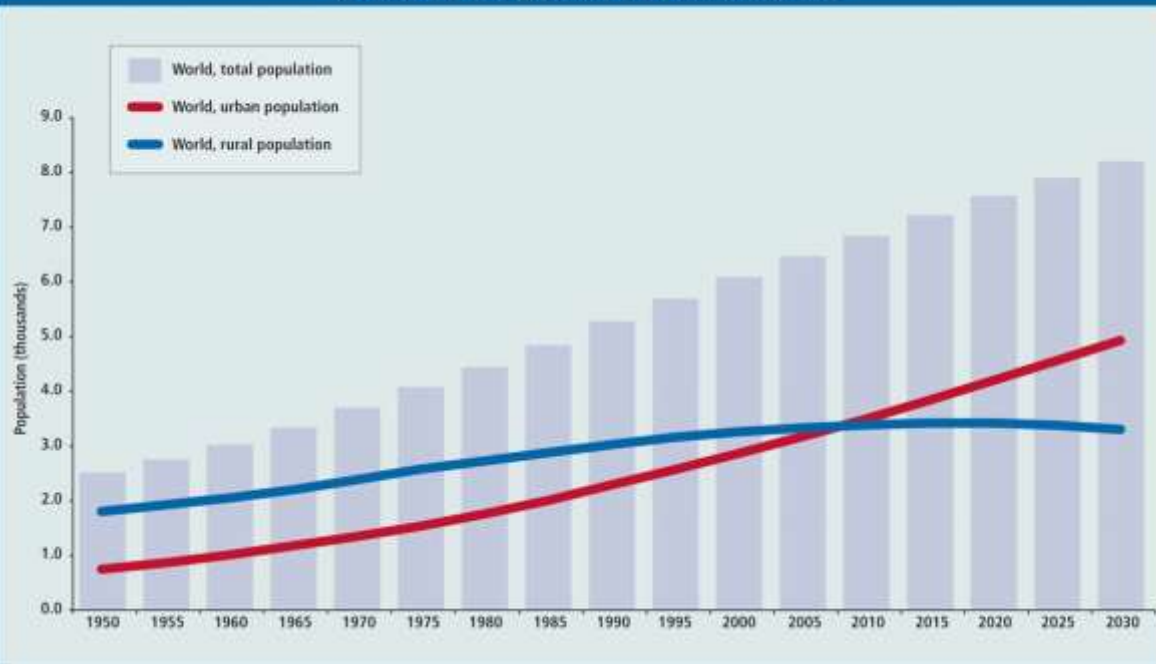
- <http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/Flagship-Projects/Global-Energy-Assessment/Sustainable.en.html>

# World Urbanization Prospects (urban and rural) 1950 - 2030

(“en 2010, nous sommes sortis du néolithique”, Michel Serres, 2013 )



The urban and rural population of the world, 1950-2030



Michel Serres, philosophe des sciences (1930 - 2019)

« Nous traversons la plus importante mutation depuis la préhistoire ! »

« Le premier changement qui me paraît le plus important dans le siècle qui précède, c'est le fait que nous étions 79% de paysans et aujourd'hui 1,1% seulement. Nous étions des paysans depuis le Néolithique et nous ne le sommes plus du tout. » dans « Biogée », 2013,

<http://www.cles.com/enquetes/article/michel-serres-nous-traversons-la-plus-importante-mutation-depuis-la-prehistoire>

The twentieth century witnessed the rapid urbanization of the world's population. The global proportion of urban population increased from a mere 13 per cent in 1900 to 29 per cent in 1950 and, according to the 2005 Revision of World Urbanization Prospects, reached 49 per cent in 2005. Since the world is projected to continue to urbanize, 60 per cent of the global population is expected to live in cities by 2030. According to the latest United Nations population projections, 4.9 billion people are expected to be urban dwellers in 2030. (<http://www.un.org/esa/population/publications/WUP2005/2005wup.htm>)



# Air pollution in China has turned into a major social problem

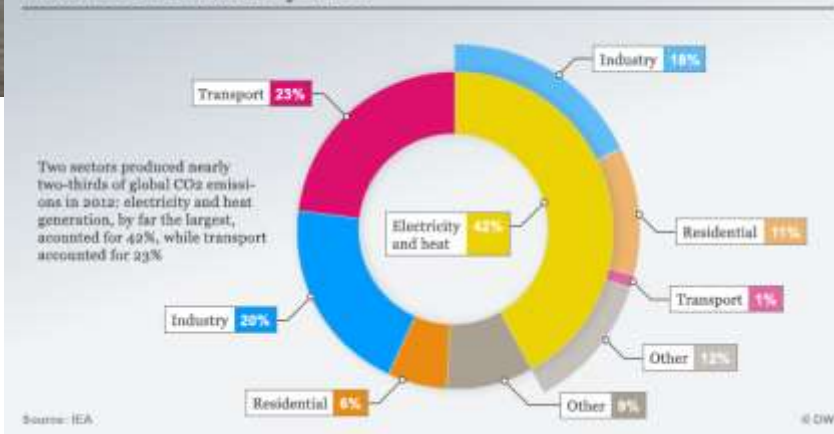


**Air pollution and climate change are closely linked and share common solutions.**

**Fossil fuel combustion in higher-income countries and the burning of biomass in lower-income countries accounts for 85 percent of airborne particulate pollution.**

**Source : The Lancet, 2016**

World CO<sub>2</sub> emissions by sector



**NB: World-wide, net electricity generation is projected to increase 69% by 2040, from 21.6 trillion kWh in 2012 to 25.8 trillion kWh in 2020 and 36.5 trillion kWh in 2040.**

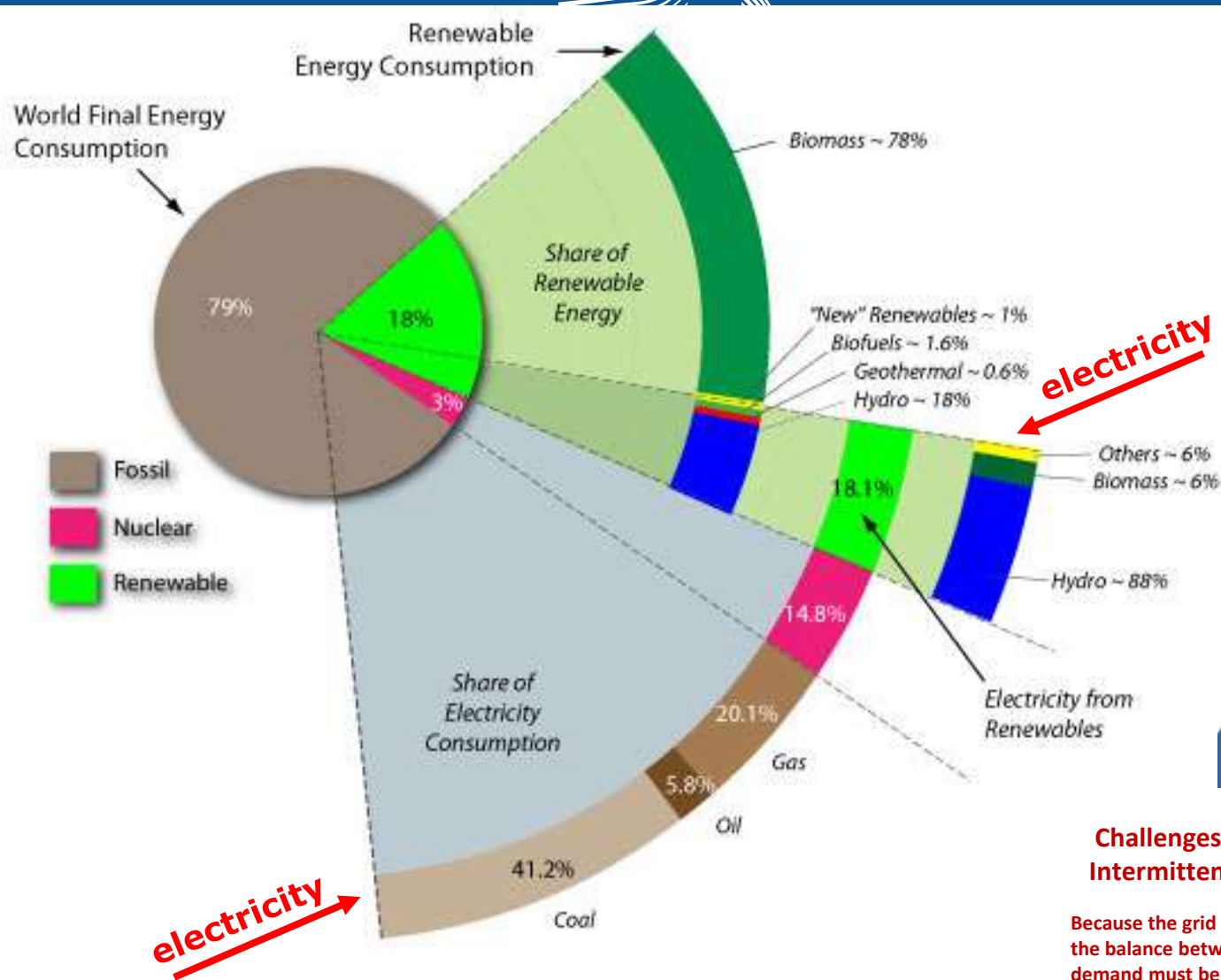
**Source : "International Energy Outlook 2016" /IEO-2016/ Reference case.**

**[https://www.iea.org/media/statistics/topics/emissions/CO2\\_Emissions\\_Overview.pdf](https://www.iea.org/media/statistics/topics/emissions/CO2_Emissions_Overview.pdf)**

**Three factors are contributing to the air pollution problem in China:**

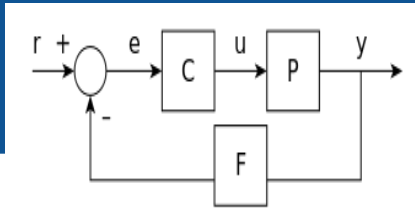
- **Coal for industry:** China is one of the leading countries in some of the most polluting and energy-intensive industries, such as cement, iron and steel and mining. China burns coal to produce most of its electricity (more than 65% of its energy mix and 80% of its electricity are coal-derived).
- **Coal for heating:** China also uses coal to heat up water used for district-heating during winter and many small houses that do not have access to district-heating systems (like those in Beijing's Hutongs) also use coal.
- **Transportation:** China has had an amazing expansion of its total number of cars and flights, which undoubtedly contribute to the air pollution problem. Urbanization in China and middle class consumption modes are developing in an extremely high speed.

# About 20 % of the world's energy is consumed in the form of electricity



Structure of Global Energy (2007) : "About 20 % of the world's energy is consumed in the form of electricity"

NB: electricity more than doubling its share in final energy demand by 2050 (large-scale electrification of the economy)



## **Garantir l'accès de tous aux services énergétiques**

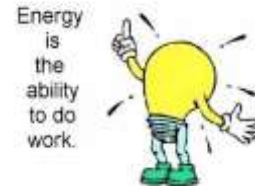
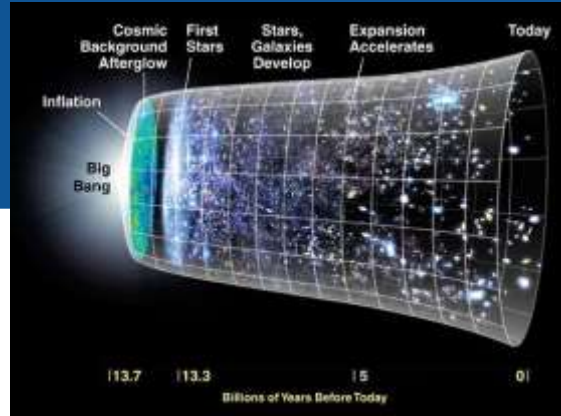
- 1 – Brève histoire : du feu primitif à l'électricité**
- 2 – Le cap : un mix équilibré (renouvelables, fossiles, nucléaire)**
- 3 – Invariants (sciences de la nature) et contraintes (EU Triangle)**
- 4 - Faits et chiffres : démographie, climat, politiques énergétiques**
- 5 - Défis technologiques et humains (incertitudes) : stockage, etc**
- 6 – Conclusion : recherche, innovation et formation**

**\* Responsibility for the information and views set out in this conference lies entirely with the author \***

**\* Reproduction of the texts of this conference is authorised provided the source is acknowledged \***



# QUELQUES MOTS SUR L'ÉNERGIE (plusieurs définitions !)



## QUELQUES MOTS SUR L'ÉNERGIE

- Etienne Klein (CEA et France Culture)

Jean Bernouilli, mathématicien français du XVIII<sup>e</sup> siècle, définit le premier dans une lettre en 1717 l'énergie (W) comme le produit de la force appliquée (F) à un corps par le déplacement (d) subi par ce corps sous l'effet de cette force (ce qu'aujourd'hui nous appelons le travail mécanique).

Mais cette première conception scientifique de l'énergie était d'application trop limitée pour qu'elle puisse coloniser toute la physique. Comme c'est souvent le cas en physique, où la dénomination joue un rôle essentiel, la clarification du concept d'énergie a nécessité un débat sémantique intense (pendant un siècle et demi), ponctué d'avancées théoriques et au terme duquel les mots force, puissance et énergie, longtemps mêlés ou confondus, ont pu recevoir chacun une définition bien précise.

- <https://www.franceculture.fr/personne-etienne-klein.html>
- <http://etienneklein.fr/wp-content/uploads/2016/04/Quelques-mots-sur-l%C3%A9nergie.pdf>



Il existe en fait plusieurs définitions de l'énergie. Elles sont considérées équivalentes.

- D'une façon usuelle, l'énergie est aujourd'hui définie comme la « capacité d'un corps ou d'un système à produire du travail mécanique ou son équivalent ».
- Dans un cadre plus formel, elle est définie comme « la grandeur physique qui se conserve lors de toute transformation d'un système physique fermé ». Elle est sous-tendue par le principe de conservation de l'énergie. (wikipedia)

**$W = F \cdot D$  (travail pour une force constante - 1717)  $\Leftrightarrow E = m \cdot c^2$  (identité entre matière et énergie - 1905)**



Pour essayer de comprendre le sens du terme d'énergie, il faut d'abord voir l'écart entre la mécanique classique de Descartes, Galilée ou Newton qui utilisent le mot de force et la thermodynamique qui introduit le terme d'énergie dans la science.

**Alors que la force est l'action d'un corps à travers un espace vide, l'énergie exprime le bilan d'un système où nous trouvons en même temps conservation et transformation dynamique (défaisante /entropie/ ou constructive /(néguentropie/).**

Avec Einstein, l'énergie intensifie sa présence avec la célèbre équation  $E=mc^2$ . De plus l'énergie quantique semble paradoxale.

Source : « *L'énergie d'Aristote à Einstein - Un éternel recommencement* » par Bertrand Souillard, 2018

# Histoire de l'homme $\Leftrightarrow$ évolution des sources d'énergie libre utilisées



Energy is the only universal currency; one of its many forms must be transformed to another in order for stars to shine, planets to rotate, plants to grow, and civilizations to evolve.

— Vaclav Smil —

AZ QUOTES

**L' histoire de l'homme a été substantiellement marquée par l' évolution des sources d'énergie libre qu'il a su ou pu utiliser.**

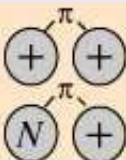
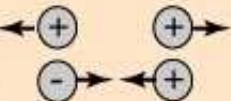
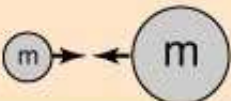
**Le travail de l'homme consiste à capter l'énergie libre (libre ! - seule l'énergie libre est utilisable – seconde loi de la thermodynamique /entropie/).**

**Que faites-vous avec un baril de pétrole brut ? Rien.**

**Notion thermodynamique d'énergie libre :**

***L'énergie libre  $F$  (appelée aussi énergie de Helmholtz) est, en thermodynamique, une fonction d'état extensive dont la variation permet d'obtenir le travail utile susceptible d'être fourni par un système thermodynamique fermé, à température constante, au cours d'une transformation réversible.***

***Cette fonction ne doit pas être confondue avec la fonction enthalpie libre  $G$  (énergie libre de Gibbs des anglo-saxons), qui s'applique aux systèmes évoluant à la température  $T$  et à pression constante (cas des réactions effectuées à l'air libre).***

| Fundamental Forces      |                                                                                     |                                         |                                 |                                                                 |                                                                                                |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Strong</i>           |  | Force which holds nucleus together      | Strength<br><b>1</b>            | Range (m)<br>$10^{-15}$<br>(diameter of a medium sized nucleus) | Particle<br>gluons,<br>$\pi$ (nucleons)                                                        |
| <i>Electro-magnetic</i> |  |                                         | Strength<br>$\frac{1}{137}$     | Range (m)<br>Infinite                                           | Particle<br>photon<br>mass = 0<br>spin = 1                                                     |
| <i>Weak</i>             |   | neutrino interaction induces beta decay | Strength<br>$10^{-6}$           | Range (m)<br>$10^{-18}$<br>(0.1% of the diameter of a proton)   | Particle<br>Intermediate vector bosons<br>$W^+$ , $W^-$ , $Z_0$ ,<br>mass > 80 GeV<br>spin = 1 |
| <i>Gravity</i>          |  |                                         | Strength<br>$6 \times 10^{-39}$ | Range (m)<br>Infinite                                           | Particle<br>graviton ?<br>mass = 0<br>spin = 2                                                 |

**Rappel : Fonctions d'état usuelles en thermodynamique**

- L'énergie interne :  $U$  exprimée en J (joule),
- L'enthalpie :  $H = U + pV$  exprimée en J,
- L'entropie :  $S$  exprimée en J.K<sup>-1</sup>,
- **L'énergie libre :  $F = U - T.S$  exprimée en J,**
- L'enthalpie libre :  $G = H - T.S$  exprimée en J.

# Accomplished toolmakers : chimpanzees are inventive and extremely clever



**Chimpanzees are inventive and extremely clever. With the aid of carefully selected implements they are able to crack open the extremely hard Panda nuts, fish for combative ants and ransack hidden bee nests. In order to get to the sweet contents of the honeycombs, they even make use of multifunctional tools.**

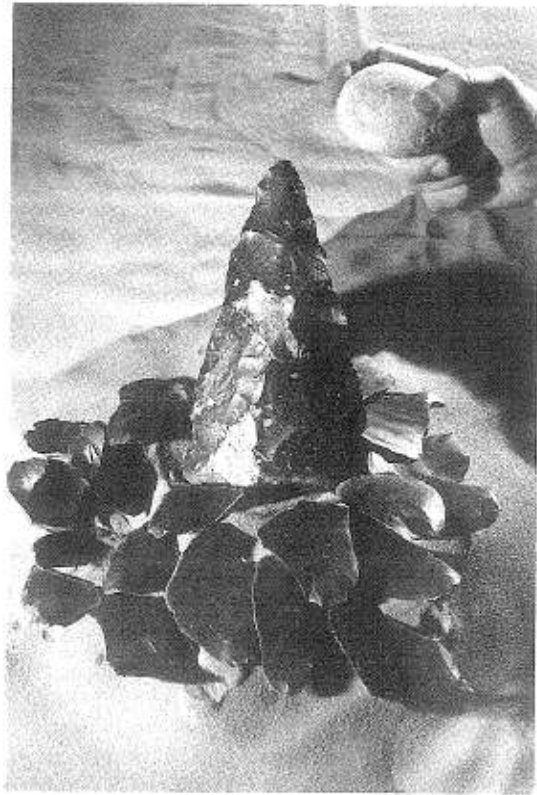
NB : While the genetic difference between individual humans today is minuscule – about 0.1%, on average – study of the same aspects of the chimpanzee genome indicates a difference of about 1.2%. The bonobo (*Pan paniscus*), which is the close cousin of chimpanzees (*Pan troglodytes*), differs from humans to the same degree.  
Source : Genetics | The Smithsonian Institution's Human Origins Program

Source : MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT, MÜNCHEN (2019)  
<https://www.schimpanzen.mpg.de/2952991/tools>





# The Acheulean, a cornerstone in the history of human technology



Acheulean stone tools, first made by *Homo ergaster*, were formed by the removal of stone flakes to create specialized cutting blades (Corbis).



**HAND AXE (FRANCE), 300,000 YEARS OLD - Its medium is flint ("silex" in French).**

This teardrop-shaped stone tool is from the celebrated Paleolithic site of Saint-Acheul (close to Amiens), in northern France, which gave its name to the Acheulean technology. Though stone tools date back at least 2.6 million years, this tool is around 300,000 years old and was collected between 1883 and 1890. The handaxes discovered at Saint-Acheul in the 1850s were among the first Stone Age implements to be found. They demonstrated the existence of early humans and illustrated their tool-making techniques (pre-modern /pre-Homo sapiens/ human cultures). While handaxes varied in size, symmetry, and the type of stone employed, the basic shape remained consistent over the Acheulean's long time span. The handaxe here is made of flint, a material found throughout the Somme Valley, in northern France. It was made by striking flakes from a stone core with a rounded hammerstone, a process called "flint knapping."

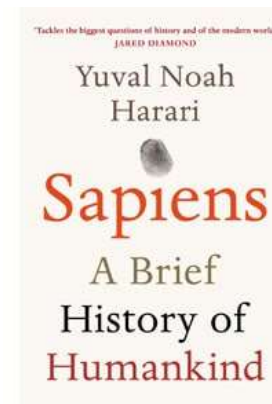
NB : *Homo ergaster* (or *homo erectus*) is a fossil hominid species that appeared about two million years ago in East Africa and disappeared about 150,000 years ago. (<https://collection.cooperhewitt.org/objects/35520559/> )



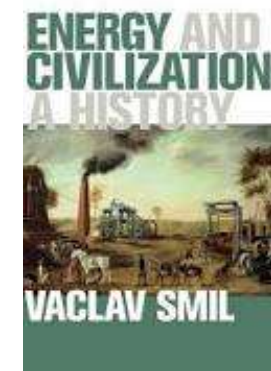
# Heat from fire: first energy source used by humans



« Prométhée emportant le feu », musée du Prado à Madrid (Jan Cossiers, Anvers, 1600 - 1671)



“A spectacular integration of history, paleontology, anthropology and sociology” (494 pages, 2012)



“A comprehensive account of how energy has shaped society throughout history, from pre-agricultural foraging societies through today's fossil fuel-driven civilization.” (564 pages, 2017)

## Early ability of primitive human beings to create fire

- Zhoukoudian near Beijing (China) : 550 000 years ago
- Terra Amata near Nice (France) : 380 000 years ago

# Simple and compound machines :

## machines' mechanical advantages

Work = Force x Distance



Simple machine, any of several devices with few or no moving parts that are used to modify motion and force in order to perform work ("do more with less").  
( <https://www.britannica.com/technology/simple-machine> )

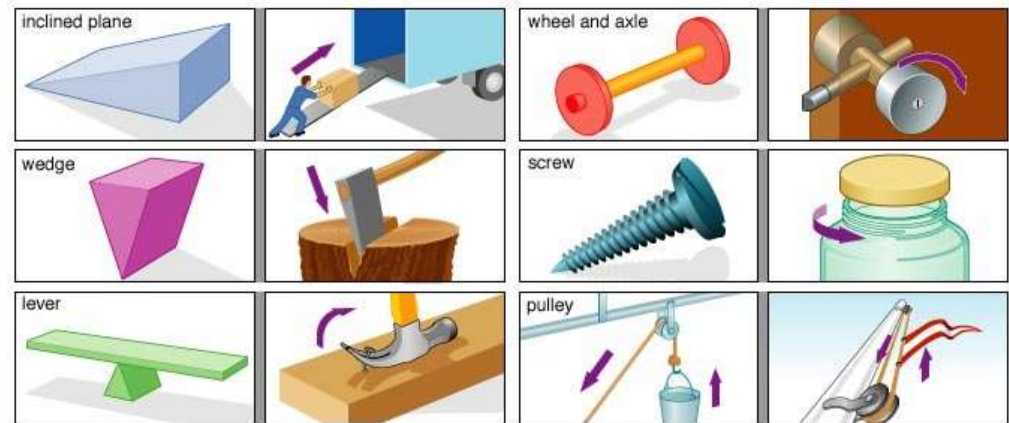
There are six simple machines – they are :

- The inclined plane
- The lever
- The wheel and axle
- The pulley
- The screw
- The wedge

*NB : the pulley, the screw, and the wedge are actually just extensions or combinations of the wheel and axle, the lever and the inclined plane.*

*Pulleys, for example, are special kinds of levers, and wedges and screws are special kinds of inclined planes.*

*The screw is really a twisted inclined plane.*



© 2006 Encyclopædia Britannica, Inc.

The fundamental mechanical devices that have come to be known as "simple machines" through the years are basic human inventions that help accomplish physical tasks through mechanical advantage.

The same simple machines used by ancient engineers to build pyramids are employed by today's engineers to construct modern structures such as houses, bridges, roller coasters and skyscrapers.

From everyday hand tools (crowbars, nails, wheels, ramps) to intricate "compound machines" that marry together many simple machines in endless combinations (pencil sharpeners, bicycles, elevators, medical devices, airplanes), engineers of all types continually work together to design better and more creative tools, devices, equipment and products of modern convenience that help people do more with less, incorporating the principles of simple machines.

Source : Integrated Teaching and Learning Program, College of Engineering and Applied Science, Univ. of Colorado Boulder  
[https://www.teachengineering.org/curricularunits/view/cub\\_simp\\_machines\\_curricularunit](https://www.teachengineering.org/curricularunits/view/cub_simp_machines_curricularunit)

### Simple Machines Timeline – Events

- Wedge : 1 200 000 BC (homo erectus)
- Inclined Plane : 10 000 BC (monumental arch.)
- Lever : 5 000 BC
- Wheel and Axle : 3 500 BC (Mesopotamia)
- Pulley : 3 500 BC (Babylonians)
- Screw : 700 BC (Babylonians)

<https://www.thoughtco.com/six-kinds-of-simple-machines-2699235>



# Platon et Aristote, « philosophes » (φιλόσοφος), c'est-à-dire chercheur de vrai savoir ( la physique moderne n'a pu exister qu'en s'attachant aux illusions aristotéliennes )

## Platon et ses Idées, et Aristote l'observateur de la Nature

Le tableau de Raphaël, l'Ecole d'Athènes, résume très bien les positions absolument antinomiques des deux : Platon montre vers le haut indiquant que ce sont les choses impérissables de l'esprit qui constituent la réalité première de l'Univers ; Aristote, au contraire, montre vers le bas, indiquant que la réalité première se trouve dans les choses matérielles.



Source: "L'Ecole d'Athènes", Chambre de la Signature, Vatican, Rome, Raphaël (dit), Sanzio Raffaello 1483-1520

([https://fr.wikipedia.org/wiki/L%27%C3%89cole\\_d%27Ath%C3%A8nes](https://fr.wikipedia.org/wiki/L%27%C3%89cole_d%27Ath%C3%A8nes))



DESCRIPTION: 1509-1510 (fresque, hauteur 7.7 m)

- Au centre : Platon (428 – 348 AC, sous les traits de Léonard de Vinci) tenant le Timée, Aristote (384 – 322 AC) tenant l'Ethique.
- A gauche : Socrate, Zénon, Epicure (coiffé de pampre), Pythagore (assis avec un livre), Averroes (penché avec un turban)
- Au centre: Héraclite (sous les traits de Michel-Ange), Diogène
- A droite: Euclide ou Archimède penché, un compas à la main et entouré d'étudiants (1er plan, sous les traits de Bramante), Zoroastre (avec une sphère, de face), Ptolémée (couronné, de dos avec un globe terrestre), autoportrait de Raphaël (avec un béret)

Cabinet de travail et bibliothèque de Jules II -

Commande de Jules II (portrait à gauche, pape de 1503 à 1513) 25





# Evolution énergétique (1/6) : muscle animal et esclavage



Jusqu'à il y a environ 500 000 ans, la seule énergie libre à la disposition de l'homme était sa propre énergie.

En maîtrisant le feu pour chauffer, cuire, éclairer ou travailler les métaux, il a franchi la première marche de son apprentissage énergétique.

Sont venues ensuite l'utilisation de l' énergie animale domestiquée, hydraulique, éolienne, thermique à cycles, chimique, électrique, nucléaire, solaire, etc.

Chacune de ces étapes a été l'occasion d'une évolution le plus souvent majeure des structures des sociétés humaines.

## Dans l'Antiquité, muscle animal et esclavage => énergie mécanique



# Draft animals since 5 000 years : donkeys, buffalos, oxen and horses

## Draft animal, any domesticated animal used in drawing heavy loads.

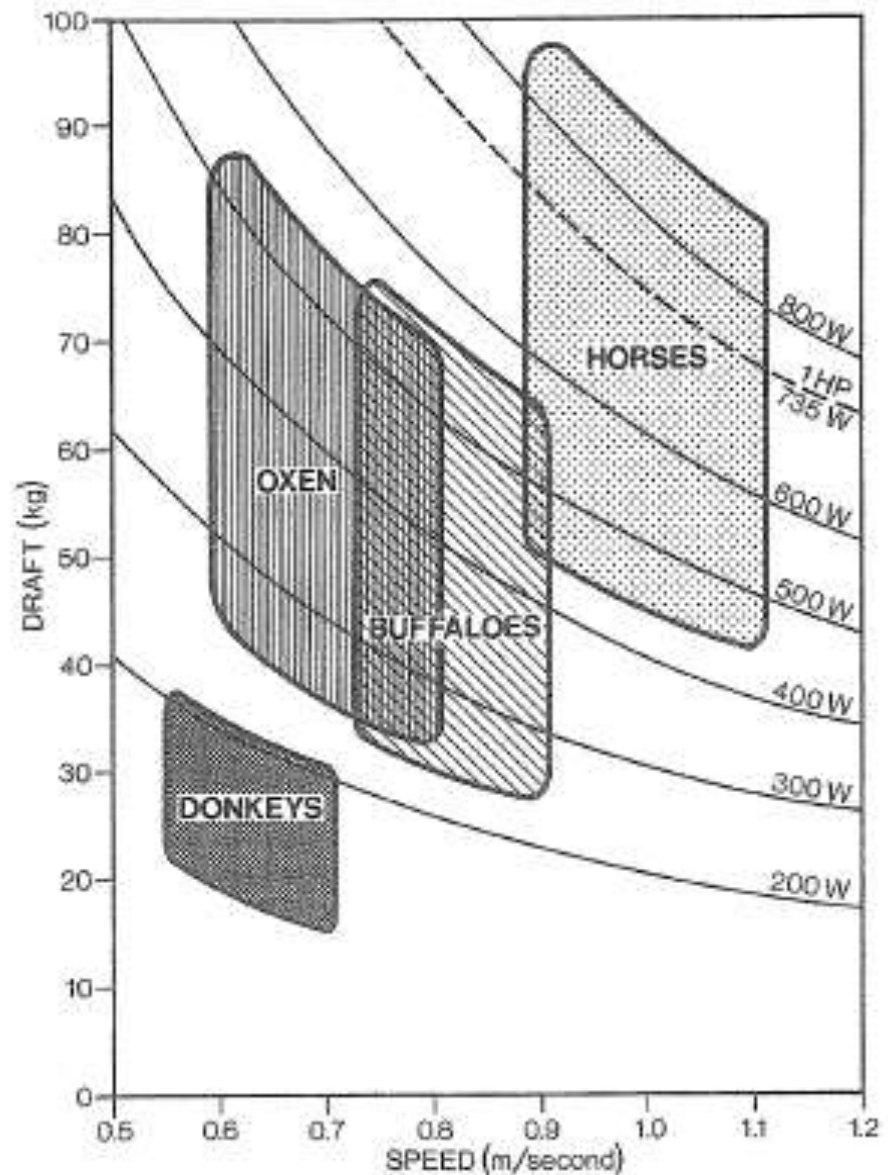
Draft animals were in common use in Mesopotamia before 3000 BC for farm work and for pulling wheeled vehicles. Their use spread to the rest of the world over the following 2,500 years. While cattle (i.e. : domesticated bovine farm animals), usually in teams, have been used most often as draft animals, horses and donkeys have supplanted them in many areas.

Some horses—such as the Belgian horse, the Clydesdale, the Suffolk, the Shire, and the Percheron—have been bred to serve as draft animals; they weigh more than 725 kg and stand at least 16 hands high.

The Asian water buffalo, however, is probably the most important draft animal in the world today.

The role of draft animals in agriculture in less-developed regions of the world continues because of the advantages they offer: their feed is easily grown and commonly available; little maintenance of the animals is required; their manure is a valuable resource for the farmer; and the animal itself may become a source of food or other products at the end of its useful life.

( <https://www.britannica.com/animal/draft-animal> )



Comparisons of animal draft power showing the clear superiority of horses. Plotted from data in Hopfen (1969), Rouse (1970), and Cockrill (1974).

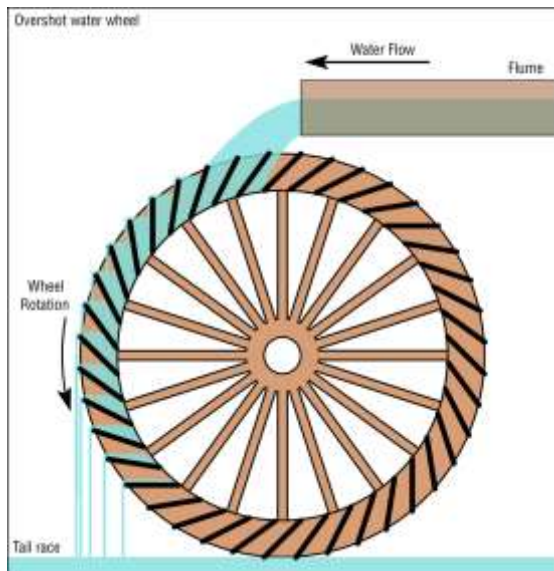
# Evolution énergétique (2/6) : moulins à eau et à vent (interaction fondamentale : gravitationnelle)



## Moulins pour énergie mécanique:

substitution partielle à la force humaine et animale, rare, coûteuse et peu efficace

NB : \* water-lifting wheels appeared in ancient Egypt by the 4th century BC (also Archimedes' screw, 250 BC)  
\* the first practical windmills were in use in ancient Iran (Persia) at least by the 9th century AD



Si l'on utilise la gravitation ou d'autres forces mécaniques, il faudra disposer de 10 tonnes de matière pour produire 1 kWh.

Deux illustrations : (rappel : 1 kWh est l'énergie cinétique d'un camion de dix tonnes roulant à 100 km/h)

- Pour obtenir 1 kWh d'énergie électrique dans une usine hydroélectrique, dont le rendement est de 85 %, il faut faire chuter 10 tonnes d'eau d'une hauteur de 40 mètres.
- Pour obtenir 1 kWh avec une éolienne, il faut récupérer toute l'énergie cinétique de 20 000 m<sup>3</sup> d'air (soit 27 tonnes) arrivant à 60 km/h.

NB: The gravitational force, described systematically by Isaac Newton in the 17th century, acts between all objects having mass.



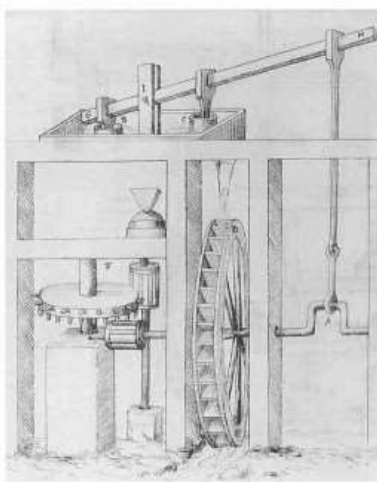
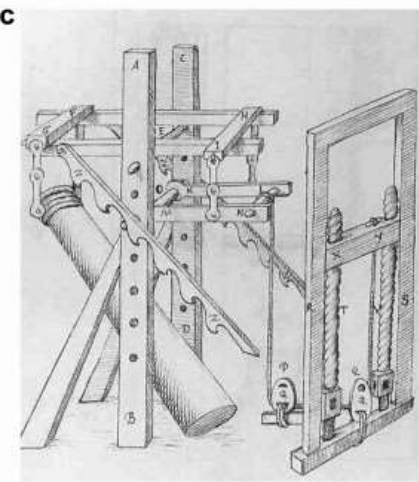
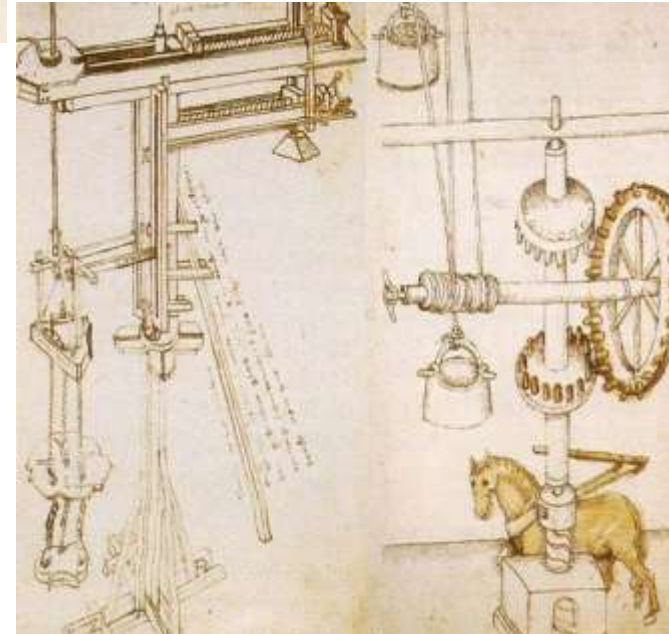
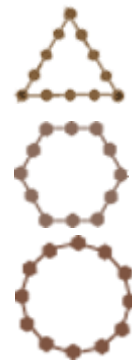
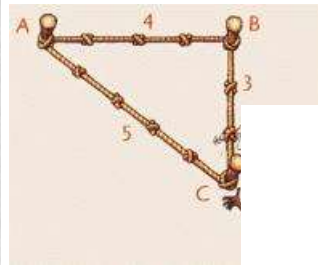
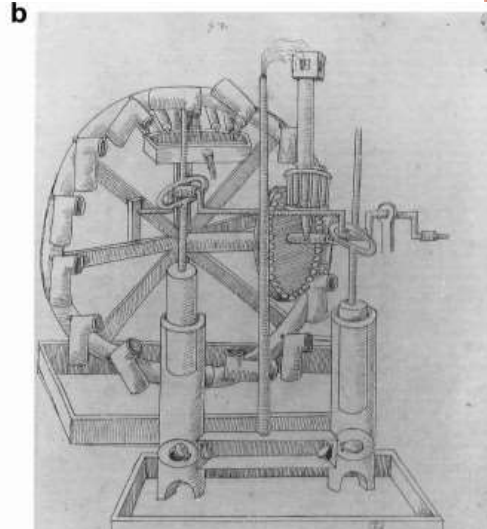
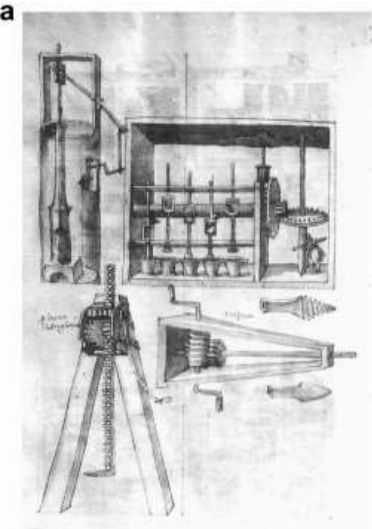
# Innovative engineering of Filippo Brunelleschi (1420) in Florence : the Dome of the Cattedrale di Santa Maria del Fiore - the most miraculous edifice of the Renaissance

## Florence : How BRUNELLESCHI built the Dome

Brunelleschi initially trained as a goldsmith and sculptor – he was also a genius engineer and tinkerer. He is considered to be a founding father of Renaissance architecture. His solutions for the dome (constructed between 1420 and 1436) were ingenious, innovative, and expensive. The young Leonardo da Vinci figured among the apprentices that helped in this difficult operation.



Brunelleschi's Dome, the nave, and Giotto's Campanile of the Cattedrale di Santa Maria del Fiore / Duomo di Firenze / as seen from Michelangelo Hill.

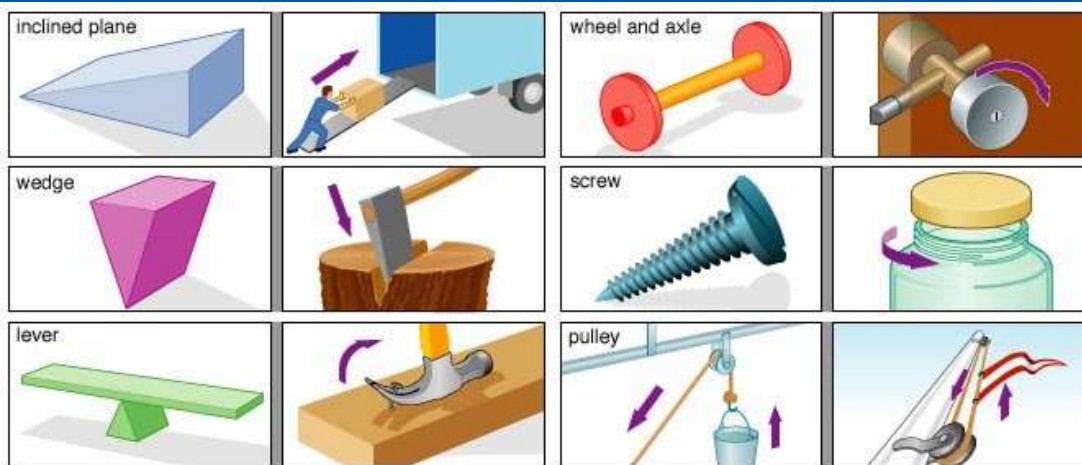


Source : "Building the Cathedral in Florence", by Gustina Scaglia, in Scientific American Vol. 264, No. 1 (JANUARY 1991), pp. 66-75 - <https://www.jstor.org/stable/24936755> ([https://www.jstor.org/stable/24936755?seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/24936755?seq=1#page_scan_tab_contents))

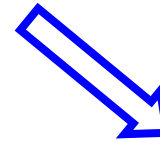
+ "Brunelleschi's Dome - the most miraculous edifice of the Renaissance", National Geographic magazine, February 2014 - <https://www.nationalgeographic.com/magazine/2014/02/Il-Duomo/>

# History of thermodynamics : «why and how heat can do work»

“Simple machines” :  
fundamental  
mechanical devices  
that help accomplish  
physical tasks through  
mechanical advantage.

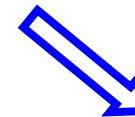
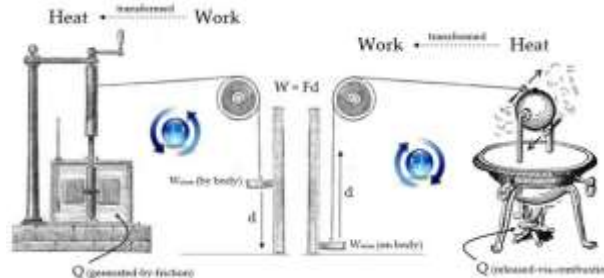


© 2006 Encyclopædia Britannica, Inc.

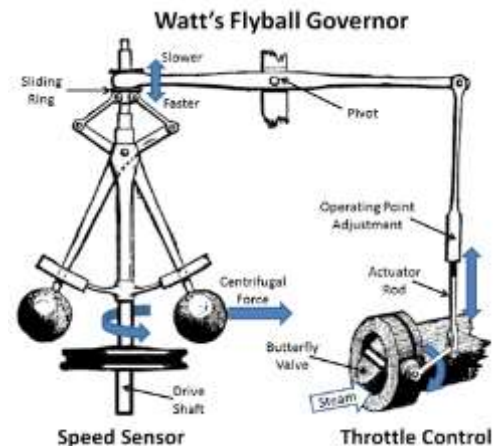


## Mechanical equivalent of heat (1845)

James Joule (English physicist, 1818 – 1889) experimentally  
found the mechanical equivalent of heat : 4.41 Joule/calorie

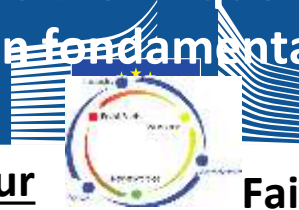


A Watt steam engine (1788), the steam  
engine that propelled the Industrial  
Revolution in Britain and the world  
(left : the centrifugal 'flyball' governor – 1788)





# Evolution énergétique (3/6) : énergie thermique à cycles (machine à vapeur dès le XVIIIe siècle) - (interaction fondamentale : électromagnétique)



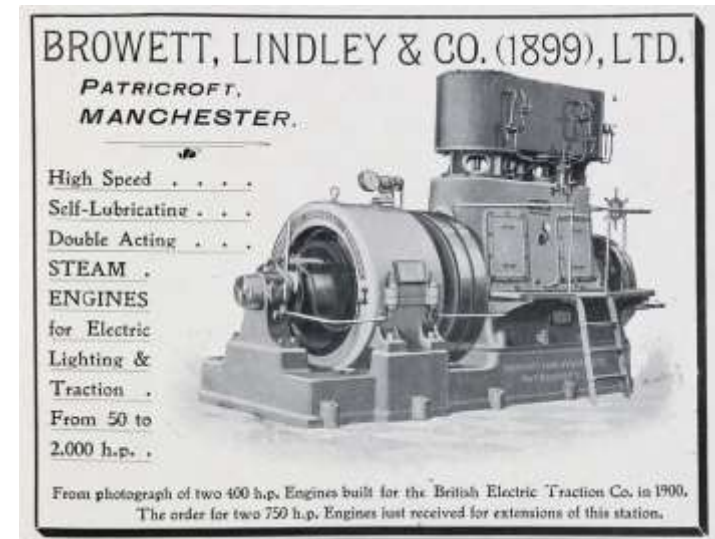
## Faire du mouvement avec de la chaleur

La machine à vapeur brûlant, d'abord du bois (et des forêts entières) et ensuite du charbon, a permis de transformer l'énergie thermique en énergie mécanique, surtout à partir du XVIIIe siècle.

**Locomotives and steam engines.** Simply put, steam engines use fire and coal (chemical energy) to boil water and produce steam (heat energy), which in turn pushes the cylinder and piston to drive the movement of the wheels (kinetic energy).



## Faire de l'électricité avec de la chaleur



**NB : Electricity and steam turbines.** Much of electricity world-wide still comes from coal, burned in power plants. Inside a coal-fired power plant, coal is still burned to make steam, driving windmill-like devices called steam turbines, which are much more efficient than steam engines. As they rotate, they turn electromagnetic generators and produce electricity.

Si l'on utilise l'interaction électromagnétique, il faudra environ 1 kilo de matière pour produire 1 kWh.

### Trois illustrations :

- Combustion chimique : les carburants fournissent de la chaleur à raison de 1 kWh par 0.1 kg.
- Les chiffres sont comparables pour l'énergie biologique : un bon repas (un kilo d'aliments) fournit environ 1 kWh, dissipé ensuite dans l'organisme.
- 1 kWh permet de faire fondre 10 kg de glace ou de faire bouillir 1.5 kg d'eau.

**NB :** The electromagnetic force, given scientific definition by James Clerk Maxwell in the 19th century, is responsible for the repulsion of like and the attraction of unlike electric charges; it also explains the chemical behaviour of matter and the properties of light.



# Evolution énergétique (4/6) : « LA FÉE ÉLECTRICITÉ » au XXe siècle



Les grandes dates de l'électricité 1600 – 2030 (EDF)

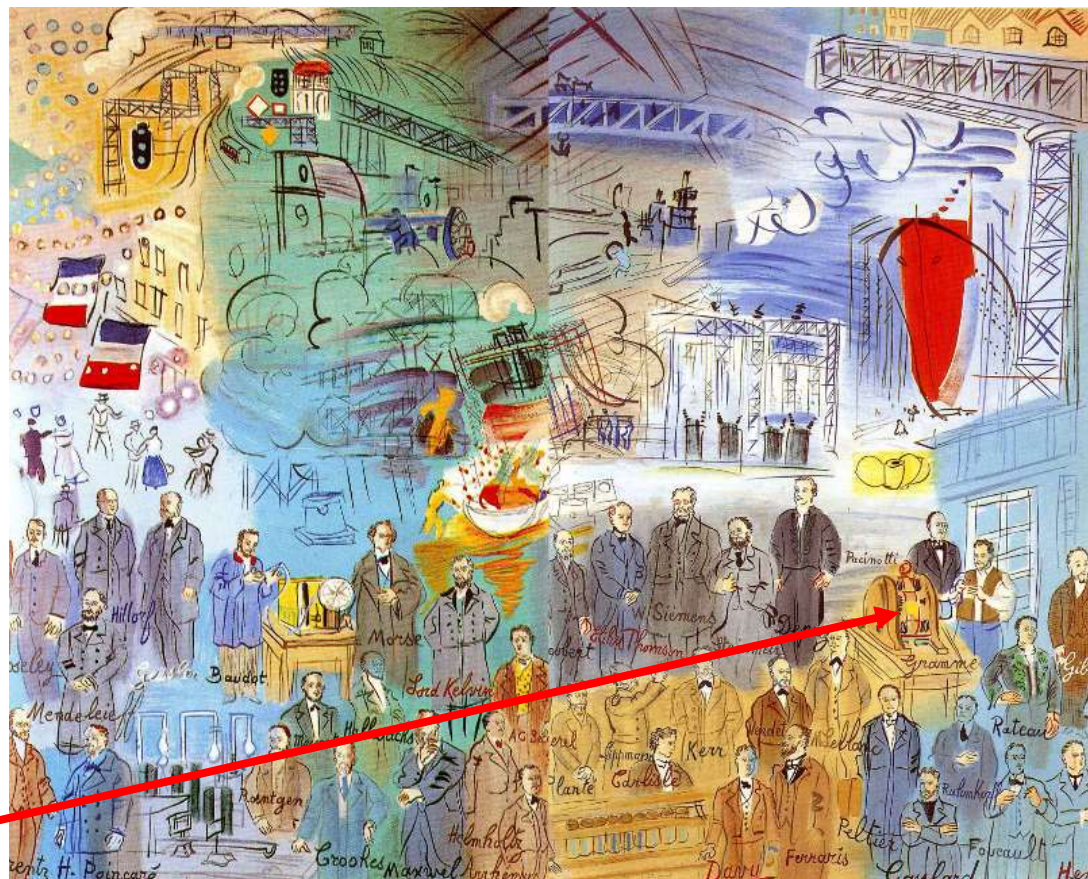
<https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/les-grandes-dates-de-l-electricite>

## 1937 Paris - LA FRESQUE « LA FÉE ÉLECTRICITÉ »

*« Mettre en valeur le rôle de l'électricité dans la vie nationale et dégager notamment le rôle social de premier plan joué par la lumière électrique »*

D'une surface de 625 m<sup>2</sup> ce tableau de Raoul Dufy, parmi les plus grands du monde, est aujourd'hui exposé au Musée d'Art moderne de Paris.

- \* *Electricité = Lampe à filament (Thomas Edison).*
- \* *Electricité utilisé pour l'éclairage, transport et usage domestique.*
- \* *Dynamo Zenobe Gramme (1826 – 1901) => moteur électrique.*
- \* *Barrage hydro-électrique.*
- \* *Siemens et AEG => les tramways électrique.*
- \* *Londres => Metro.*
- \* *Electrometallurgie et électrochimie (électricité remplace charbon).*





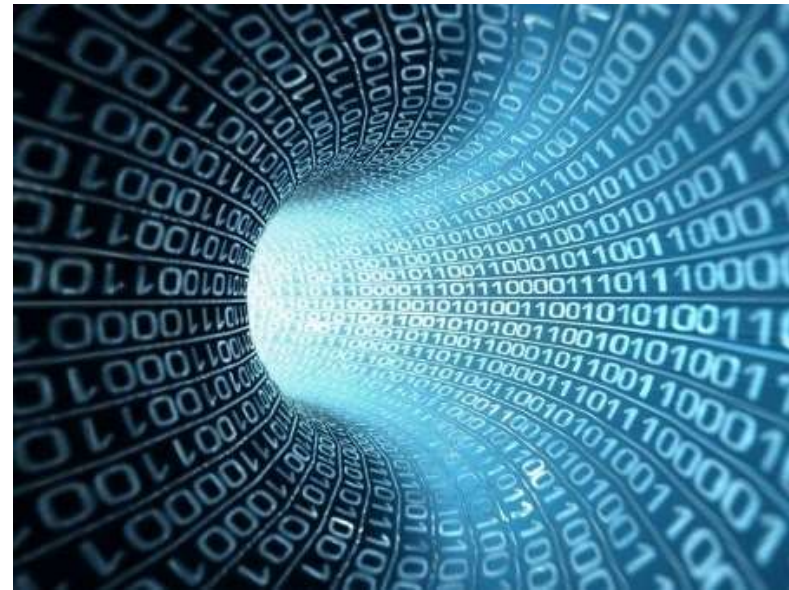
# Technical miracles of the 20-th century: no 1 = electrification

## Technical miracles of the 20-th century

1. Electrification
2. Automobile
3. Airplane
4. Safe and Abundant Water
5. Electronics
6. Radio and Television
7. Agricultural Mechanization
8. Computers
9. Telephone
10. Air Conditioning and Refrigeration
11. Interstate Highways
12. Space Exploration
13. Internet
14. Imaging Technologies
15. Household Appliances
16. Health Technologies
17. Petroleum and Gas Technologies
18. Laser and Fiber Optics
19. Nuclear Technologies
20. High Performance Materials



## 21-th century: Technical miracle no 1 = digitalization ?



# Evolution énergétique (5/6) : pétrole et gaz (XXe siècle)



## Chemical energy, Energy stored in the bonds of chemical compounds

Chemical energy may be released during a chemical reaction, often in the form of heat; such reactions are called exothermic. Reactions that require an input of heat to proceed may store some of that energy as chemical energy in newly formed bonds. The chemical energy in coal is converted into electrical energy at a power plant. A car engine, also called an internal combustion engine, changes chemical energy stored in gasoline into thermal energy and then into kinetic mechanical energy. The chemical energy in a battery can also supply electrical power by means of electrolysis. The chemical energy in food is converted by the body into mechanical energy and heat (NB : glucose and other food molecules are broken down by controlled stepwise oxidation to provide chemical energy).

Source : <https://www.britannica.com/science/chemical-energy>

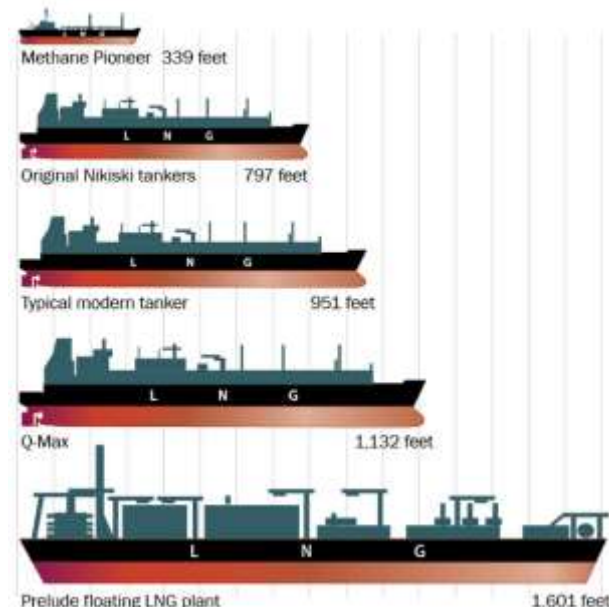
Figure 1. Real oil price movements since 1970 mapped to global events



Note: Monthly average imported crude oil price, nominal deflated by the US consumer price index. The grey bars refer to the economic recessions in the United States.  
Source: Energy Information Administration, June 2016.

Graphic: Deloitte University Press | DUPress.com

## LNG tankers grow in size

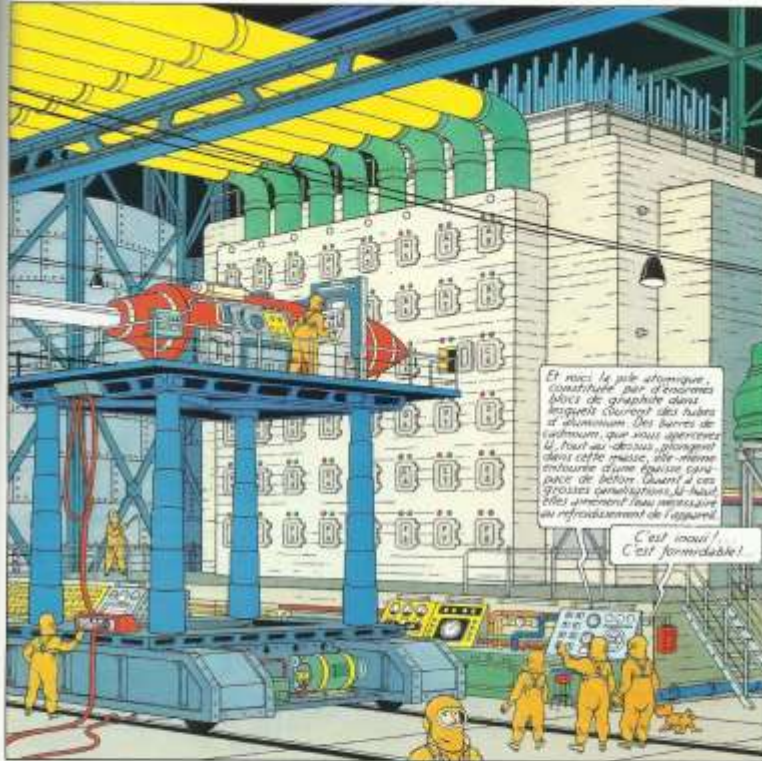


Wide fluctuations in oil prices have played an important role in driving economies into recession and even regimes collapsing—which is why movements in oil prices are closely watched by economists, investors, and policymakers globally.



# Evolution énergétique (6/6) : fission nucléaire (XXe siècle)

## (interaction fondamentale : nucléaire forte)



"Objectif Lune", Hergé, 1953

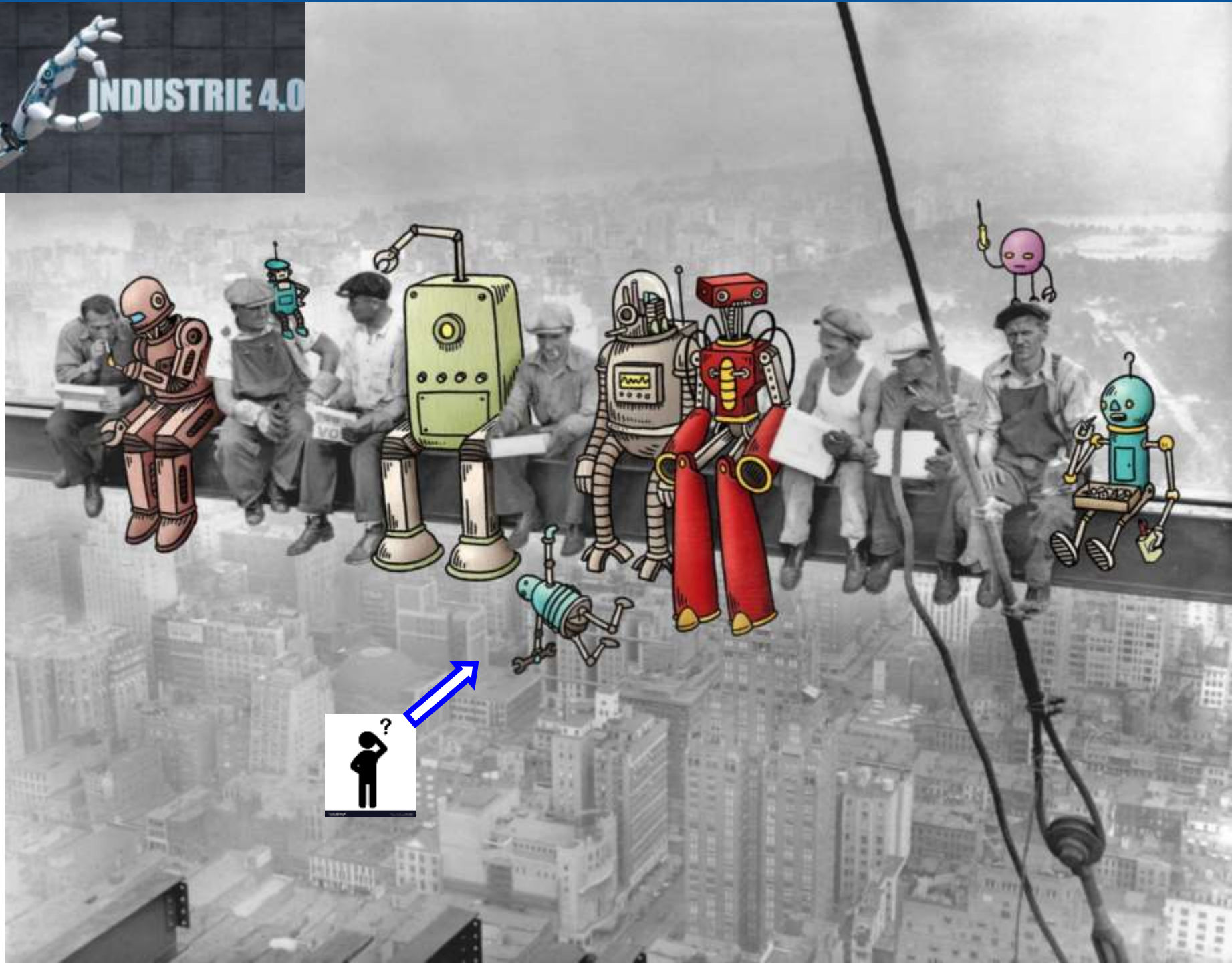
"Au fond, vous savez, mon seul rival international, c'est Tintin! »  
(boutade du général de Gaulle, rapportée par André Malraux, déc 1969)



Si l'on utilise l'interaction nucléaire (forte), la quantité de matière pour produire 1 kWh dépend du type de réaction utilisée : fusion ou fission.

- Fission (4 générations de réacteurs nucléaires 1950 – 2050 dans le monde)
- 1 kWh de chaleur est dégagé par la fission de 10 mg d'uranium naturel (0.7 % d'U235).
- Ce chiffre peut être divisé par un facteur cent dans un surgénérateur en récupérant l'énergie de fission du Pu produit par capture de neutrons par l'U238.
- Fusion Deutérium-Tritium (comme dans les réacteurs ITER et DEMO)
- Dans ce cas, un mg de combustible suffit pour produire 1 kWh.

NB : The strong and weak nuclear forces were discovered by physicists in the 20th century when they finally probed into the core of the atom. In 1933, Enrico Fermi proposed the first theory of the weak interaction, known as Fermi's interaction (responsible for the radioactive decay, specifically the beta decay neutrino interaction). In the 1970's, a strong attractive force was postulated to explain how the atomic nucleus was bound despite the protons' mutual electromagnetic repulsion. This hypothesized force was called the strong nuclear force.





# Le premier congrès Solvay, 1911, « The theory of radiation and the quanta » (Planck's discovery of energy quanta that seemed to fundamentally overshadow classical physics)



Grand Hôtel Métropole, Bruxelles - October 1911 - Hendrik A. Lorentz was chairman

Assis : Walther Nernst, Marcel Brillouin, Ernest Solvay, Hendrik Lorentz, Emil Warburg, Jean Baptiste Perrin, Wilhelm Wien, Marie Curie et Henri Poincaré.

Debout : Robert Goldschmidt, Max Planck, Heinrich Rubens, Arnold Sommerfeld, Frederick Lindemann, Maurice de Broglie, Martin Knudsen, Friedrich Hasenöhl, Georges Hostelet, Édouard Herzen, James Jeans, Ernest Rutherford, Heike Kamerlingh Onnes, Albert Einstein, et Paul Langevin.

("On the first Solvay Congress in 1911", Norbert Straumann – Zürich, 2011 - <https://arxiv.org/pdf/1109.3785.pdf> )



# The Fifth Solvay Conference, 1927, probably the most intelligent picture ever taken (Leopold park, Bruxelles - October 1927 - "Electrons and Photons")



SOLVAY CONFERENCE 1927

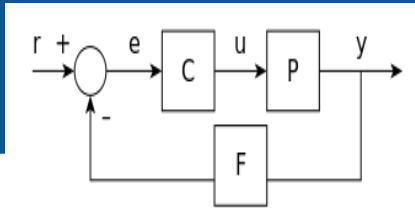
colourized by pastincolour.com

|             |            |              |              |               |                |                 |               |                 |             |              |
|-------------|------------|--------------|--------------|---------------|----------------|-----------------|---------------|-----------------|-------------|--------------|
| A. PICARD   | E. HENRIOT | P. EHRENFEST | Ed. HERSEN   | Th. DE DONDER | E. SCHRÖDINGER | E. VERSCHAFFELT | W. PAULI      | W. HEISENBERG   | R.H. FOWLER | L. BRILLOUIN |
| P. DEBYE    | M. KNUDSEN | W.L. BRAGG   | H.A. KRAMERS | P.A.M. DIRAC  | A.H. COMPTON   | L. de BROGLIE   | M. BORN       | N. BOHR         |             |              |
| I. LANGMUIR | M. PLANCK  | Mme CURIE    | H.A. LORENTZ | A. EINSTEIN   | P. LANGEVIN    | Ch.E. GUYE      | C.T.R. WILSON | O.W. RICHARDSON |             |              |

Absents : Sir W.H. BRAGG, H. DESLANDRES et E. VAN AUBEL

The Solvay Conference, founded by the Belgian industrialist Ernest Solvay in 1912, was considered a turning point in the world of physics. Located in Brussels, the conferences were devoted to outstanding preeminent open problems in both physics and chemistry. The most famous conference was the October 1927 Fifth Solvay International Conference on Electrons and Photons, where the world's most notable physicists met to discuss the newly formulated quantum theory. The leading figures were Albert Einstein and Niels Bohr. Also present : Curie, Lorentz, Planck, Schrödinger, Pauli, Heisenberg.

Einstein, disenchanted with Heisenberg's uncertainty principle, remarked "God does not play dice". Bohr replied, "Einstein, stop telling God what to do". 17 of the 29 attendees were or became Nobel Prize winners, including Marie Curie, who alone among them, had won Nobel Prizes in two separate scientific disciplines. (NB - Nobel Prizes of Marie Curie : 1903 Physics (shared) : Henri Becquerel - spontaneous radioactivity. Marie and Pierre – their research on the radiation phenomena discovered by Becquerel // 1911 Chemistry : Marie - her discoveries and studies of the elements radium and polonium) (<http://physicsdatabase.com/2012/11/17/the-most-iconic-science-photos-of-all-time/>)



# **Garantir l'accès de tous aux services énergétiques**

**1 – Brève histoire : du feu primitif à l'électricité**

**2 – Le cap : un mix équilibré**  
**(renouvelables, fossiles, nucléaire)**

**3 – Invariants (sciences de la nature) et contraintes (EU Triangle)**

**4 - Faits et chiffres : démographie, climat, politiques énergétiques**

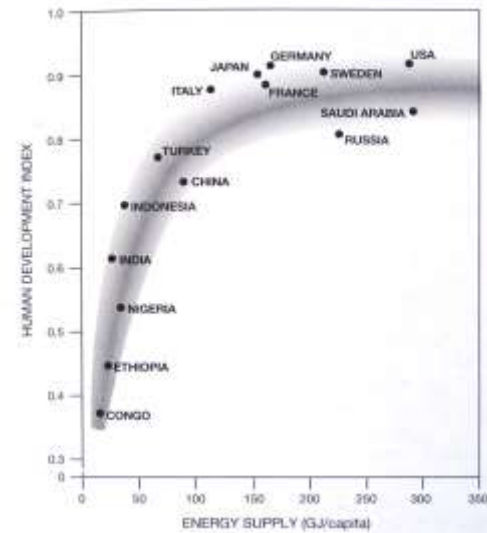
**5 - Défis technologiques et humains (incertitudes) : stockage, etc**

**6 – Conclusion : recherche, innovation et formation**

**\* Responsibility for the information and views set out in this conference lies entirely with the author \***

**\* Reproduction of the texts of this conference is authorised provided the source is acknowledged \***

# Energy, a primary driver for human development

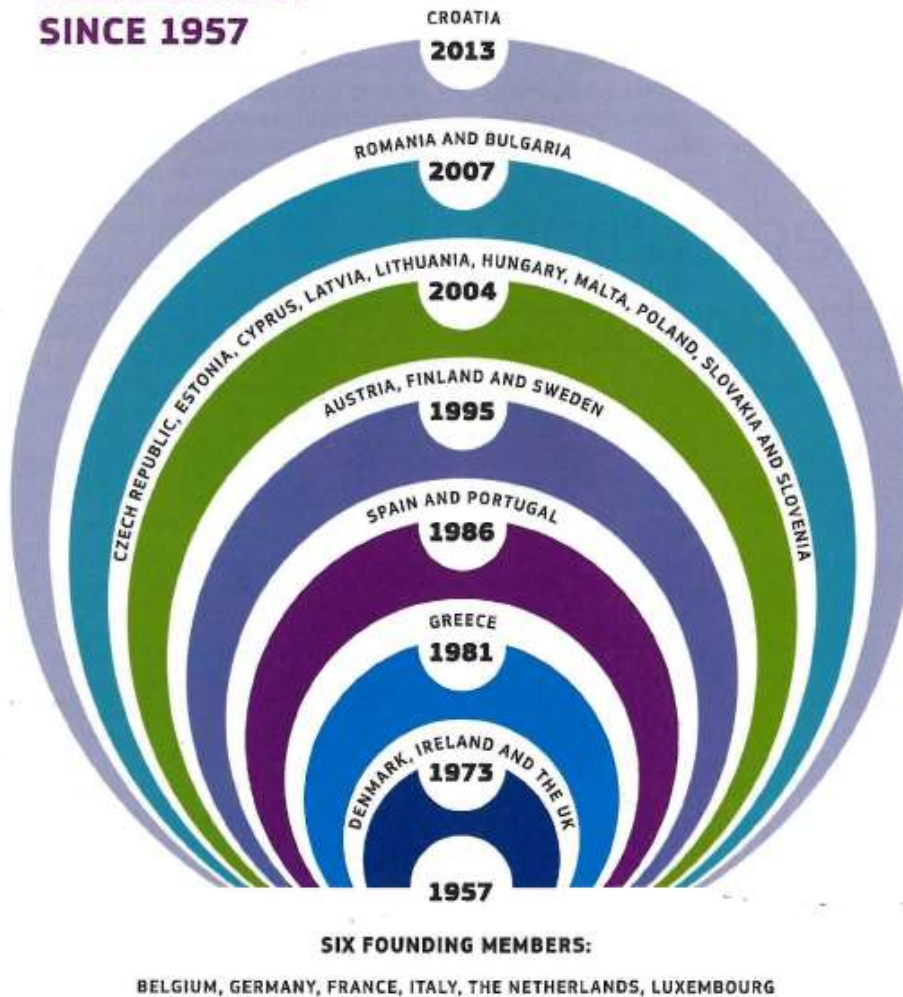


## The multiplier effect of energy access - Energy as an enabler

***Energy is an enabler to foster economic development, create jobs, facilitate education and health services, empower women, ensure food production and water supply and perform many other actions required for overall development of societies. The relationship of energy with “Human Development Index” (HDI) is well known and established.***



## EU ENLARGEMENT SINCE 1957



60  
ROME



**Energy has been at the heart of the European project from the start (ECSC 1952 and Euratom 1957)**



(1) **“European Coal and Steel Community” (ECSC),**  
18 July 1952, Luxembourg

(2) The two Treaties of Rome,  
25 March 1957 :  
EEC (**“Common Market Agreement”**)  
and **“European Atomic Energy Community” (EAEC or Euratom)**

- 8 December 1953. : **“Atoms for Peace”** speech delivered to the UN by U.S. Pres. Dwight D. Eisenhower
- 8 août 1956 - **Bois du Cazier** : catastrophe minière de dimension européenne (mort de 262 mineurs : Italiens, Belges, Polonais, Grecs, Allemands, Hongrois, Algériens, Français, Anglais, Néerlandais, Russe et Ukrainien)
- 29 October 1956 - **Suez Crisis** (invasion of Egypt after nationalization of the Suez Canal by Egyptian leader Nasser in July 1956 - with the loss of the canal, Europe faced an energy crisis with oil shortages)

# Jean Monnet making the opening speech of the ECSC ("European Coal and Steel Community"), July 18, 1952, Luxembourg

During the first meeting of the member countries (i.e. *Belgium, France, West Germany, Italy, the Netherlands and Luxembourg*) of the "European Coal and Steel Community",

Jean Monnet, who had been named president of the High Authority of this economic pool, gives the opening speech.

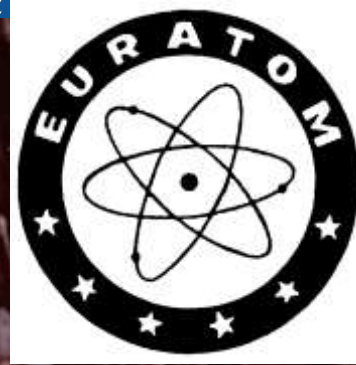
The ECSC began functioning on July 18, 1952, in Luxembourg.

In 2002 the related Treaty expired and all the ECSC activities and resources were absorbed by the European Community.





# The signing of the Treaties of Rome: EEC and Euratom (Capitole, 25th March 1957)





# COP21- 21st Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (Le Bourget, Paris, 30/11 – 11/12/2015)



## THE KEY ELEMENTS OF THE PARIS AGREEMENT

A text with universal scope, adopted by 195 countries



**The aim:** to keep the increase in global average temperature to well below 2°C and to 1.5°C if possible.



**The objective:** to level off greenhouse gas emissions as soon as possible.



**The principal:** to differentiate between developed and developing countries. Developed countries must lead the way for reduction of emissions and support developing countries in implementing this. Other countries with the ability to do so may also contribute their support on a voluntary basis to achieve this target.

**The means:** Countries must submit Intended Nationally Determined Contributions (INDCs) which are revised upwards every 5 years. The 1st report is due in 2023. North-South technology transfer.



**The financing:** from 2020, rich countries must contribute at least \$100 billion per year. This amount will be reviewed in 2025.



**The new mechanism:** loss and damage. Measures must be taken to avert, minimize and address the concrete effects of climate change, in order to help the most vulnerable countries.



**Entry into force:** 2020 if the Agreement is ratified by 55 countries accounting for 55% of global greenhouse gas emissions.



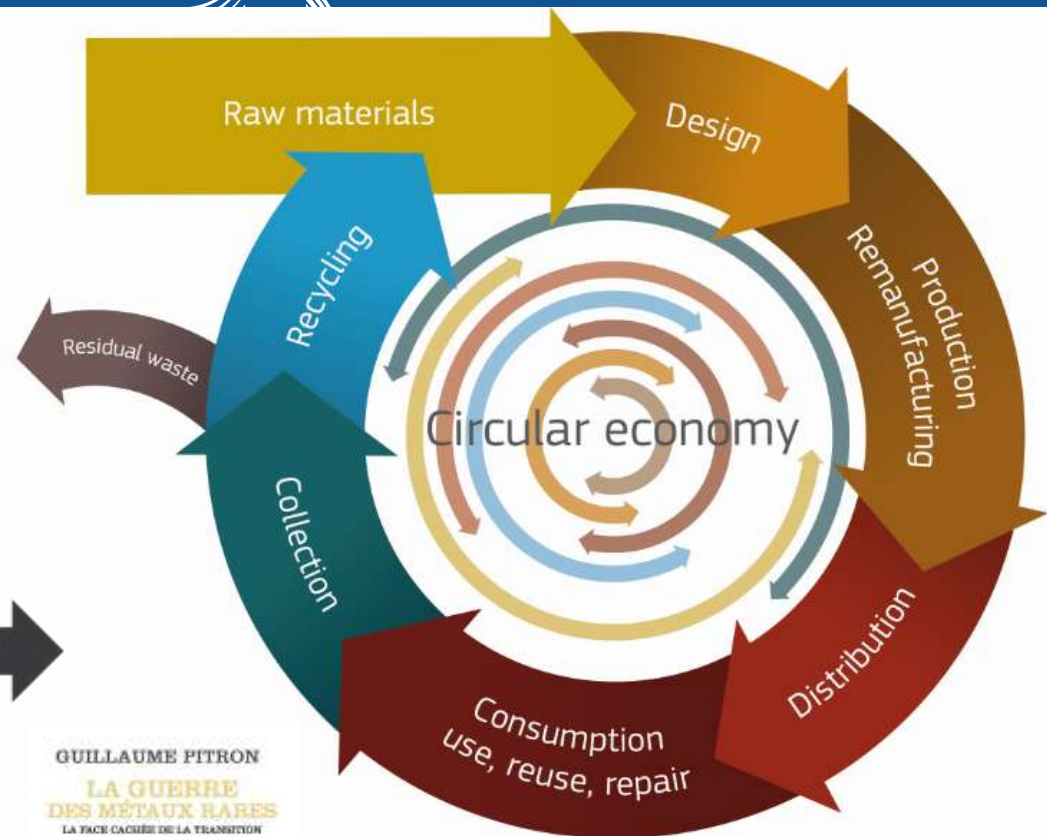
A historic international agreement and a roadmap for accelerating the energy transition worldwide.

As of October 2016, 191 UNFCCC members (out of a total of 197) signed the Treaty, 76 of which ratified it. Hence the threshold for entry into force of the Paris Agreement was achieved. The Paris Agreement entered into force on 4 November 2016. As of September 2019, 186 nations and the European Union have ratified the agreement (but on 1 June 2017, President Donald Trump announced the USA would be withdrawing from the Paris climate agreement).

- <https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/status-of-ratification>

# Towards a circular economy (in the EU)

## Main phases of a circular economy model (in support of the EU policy for energy transition)



LINEAR ECONOMY

RESOURCE EXTRACTION PRODUCTION DISTRIBUTION CONSUMPTION WASTE

CIRCULAR ECONOMY



### Circular economy in nuclear fission :

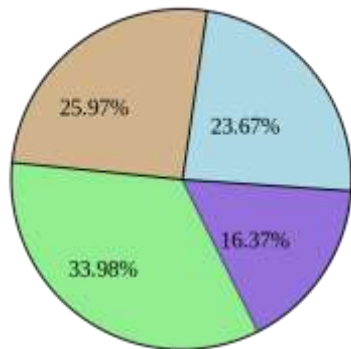
#### Generation IV systems

Moving toward a more competitive resource-efficient economy is an important 21st-century requirement

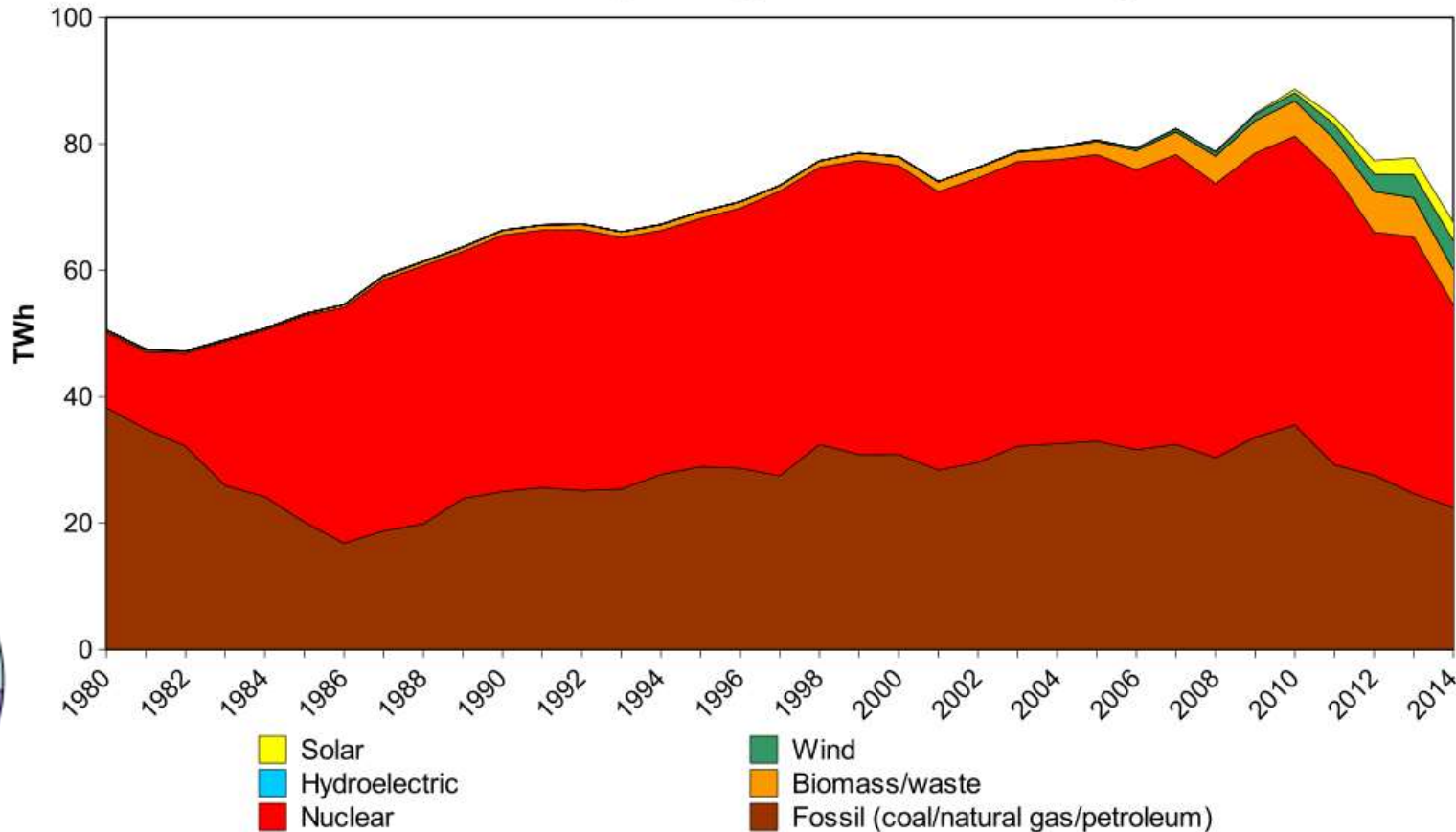
Each phase presents opportunities in terms of reducing costs and dependence on natural resources, boosting growth and jobs, as well as limiting waste and harmful emissions to the environment. The phases are interlinked, as materials can be used in a cascading way. The aim is to minimise the resources escaping from the circle so that the system functions in an optimal way.

⇒ Modernising waste policy and targets: waste as a resource - [http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm)

# Annual electricity net generation in Belgium 1980 - 2014



## Annual electricity net generation in Belgium



**Energy in Belgium (1980 - 2014) – report November 2017**

[https://en.wikipedia.org/wiki/Energy\\_in\\_Belgium](https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_in_Belgium)

### Final energy consumption by sector (2010)

In 2010 the largest share (34%) of final energy was for domestic use (this includes: households, service sector, commerce, and agriculture). Transport and industrial sector both consumed about a quarter. Fossil fuels are also used as raw material in several manufacturing processes, this non-energetic use accounts for the remainder of the final energy.

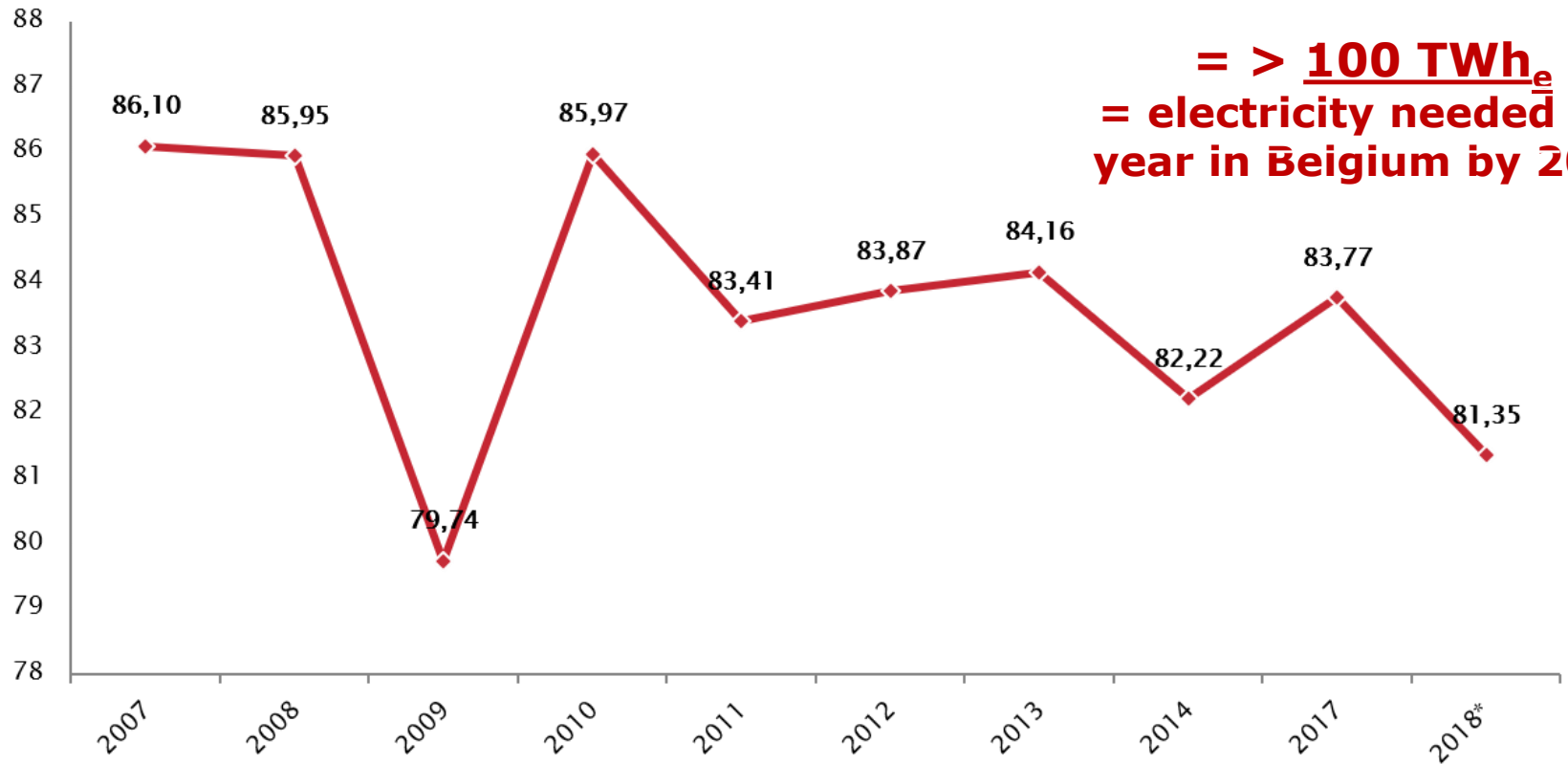
Most recent data (2015) : [http://economie.fgov.be/en/binaries/Key\\_data\\_2015\\_energy\\_tcm327-282790.pdf](http://economie.fgov.be/en/binaries/Key_data_2015_energy_tcm327-282790.pdf)



# Consommation nette d'électricité en Belgique => vers 100 TWh<sub>e</sub> / an en 2040 ?



Total calculated electricity consumption in Belgium (TWh) 2007–2018



**= > 100 TWh<sub>e</sub>  
= electricity needed per  
year in Belgium by 2040**

**NB: lorsque \* est indiqué,  
il s'agit de chiffres provisionnels**

La consommation calculée est définie comme suit: Production nette - consommation d'électricité pour le pompage-turbinage - pertes réseaux + importation - exportation. La consommation du secteur énergétique (raffinerie etc.) est reprise dans cet indicateur. L'efficacité énergétique toujours croissante est à la base de la diminution structurelle de la consommation d'électricité ces dernières années.

Source: « Statistiques électricité - Production, consommation et capacités de production d'électricité en Belgique », 2019  
- FEBEG asbl (Fédération Belge des Entreprises Électriques et Gazières) - <https://www.febeg.be/fr/statistiques-electricite>

# Tendance à la hausse des importations nettes d'électricité (= importations - exportations)



## Imports, exports and net imports in Belgium 2005–2017 (TWh)

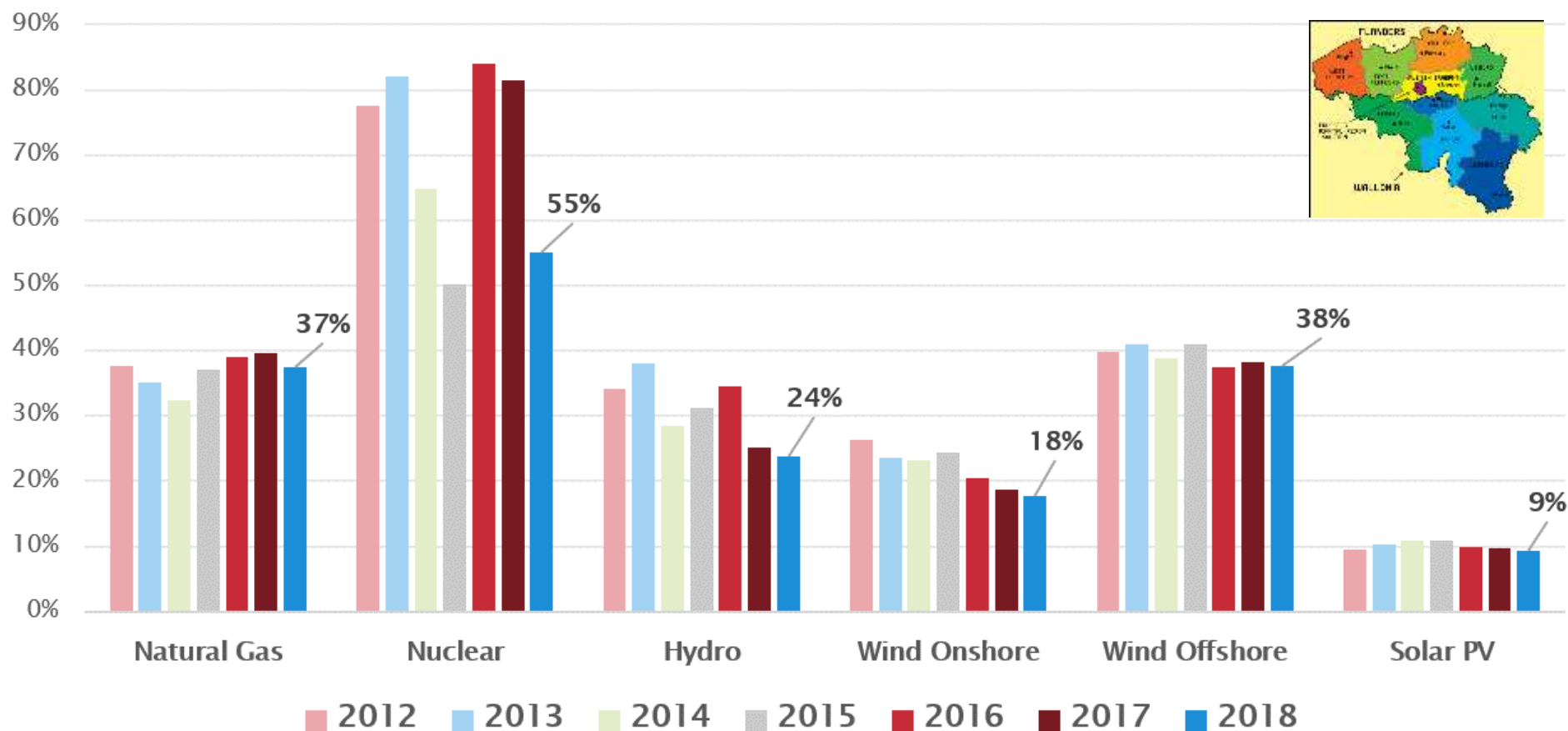


Imports et exports. Tendance à la hausse des importations nettes d'électricité (= importations - exportations) entre autres pour compenser la perte de production temporaire dans le parc nucléaire belge. Les importations nettes couvrent 7,4% de la consommation électrique calculée dans notre pays. La situation se normalise début 2019.

Source: « Statistiques électricité - Production, consommation et capacités de production d'électricité en Belgique », 2019  
- FEBEG asbl (Fédération Belge des Entreprises Électriques et Gazières) - <https://www.febeg.be/fr/statistiques-electricite>

# « Load factor » (facteur de charge pour différentes technologies)

Load factor: percentage of total number of hours per year when production assets are in operation in Belgium (equivalent full load hours capacity)



Dans l'exemple ci-dessus nous illustrons le facteur de charge exprimé en pourcents pour quelques technologies en Belgique pour l'ensemble de l'année 2018 et pour les 6 années précédentes. La facteur de charge s'obtient en calculant le rapport entre l'électricité effectivement produite et celle qui aurait été produite sur la même période si l'outil de production analysé avait fonctionné continuellement à sa capacité nominale (pleine capacité).

*Reminder regarding nuclear in Belgium in 2014, 2015 and 2018 : micro-cracks were discovered in reactors at Doel-3 and Tihange-2 power plants in 2013 - they were closed until 2015 while extensive safety checks were carried out. In 2018, a number of nuclear reactors were taken offline for repairs and maintenance.*



# Production d'électricité par source d'énergie en Belgique en avril et septembre 2019 (mix décarboné à > 70 %)

## LE MIX ÉLECTRIQUE BELGE EN AVRIL 2019

FORUM  
NUCLÉAIRE

### PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ

### ÉMISSIONS DE CO<sub>2</sub>



SOURCES : ELIA & GIEC

Belgique (Elia)

Monde (GIEC)

Le mois de septembre 2019 en Belgique a connu des valeurs moyennes, avec une fin de mois assez sombre et humide. Le soleil brillait un peu plus que la moyenne (154 heures) et la vitesse moyenne du vent était de 3,2 mètres par seconde, légèrement inférieure à la moyenne. 3,5 % de l'électricité produite provient de panneaux solaires, 6 % de l'énergie éolienne et 60,5 % de l'énergie nucléaire. Ensemble, ils ont fait en sorte que peu de CO<sub>2</sub> soit libéré dans l'atmosphère.

Voici le mix énergétique belge de septembre 2019:

- Énergie nucléaire : 60,5 %
- Énergie éolienne : 6 %
- Énergie solaire : 3,5 %
- Énergies fossiles et autres : 30 %

En savoir plus: <http://www.elia.be>

**L'énergie nucléaire n'émet pratiquement pas de CO<sub>2</sub>.**

**Ses émissions sont comparables à celles des éoliennes et de l'énergie solaire (chiffres basés sur le cycle de vie complet, GIEC).**

**Les énergies renouvelables ne suffisent pas encore pour satisfaire toute la demande en électricité dans notre pays.**

**= > Pour atteindre les objectifs climatiques à long terme, nous devons utiliser toutes les solutions bas-carbone existantes : l'énergie nucléaire, éolienne, solaire, et hydroélectrique.**

### Quelles sont les conséquences d'une sortie du nucléaire pour la Belgique ?

Que se passera-t-il en 2025 si la production d'énergie nucléaire s'arrêtera définitivement ? .....

Une étude de PwC Enterprise Advisory consacrée à la transition énergétique belge d'ici 2030 et 2050 révèle que seule une production d'électricité à base d'énergies renouvelables combinée à l'énergie nucléaire peut garantir des prix de l'électricité stables, la sécurité de l'approvisionnement et la réalisation des objectifs climatiques.

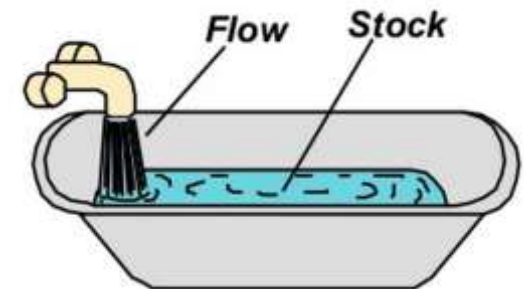
Source : [https://nuclearforum-5143.kxcdn.com/uploads/docs/FOR00029\\_PWC\\_rapport\\_FR\\_HR\\_170821\\_161459.pdf](https://nuclearforum-5143.kxcdn.com/uploads/docs/FOR00029_PWC_rapport_FR_HR_170821_161459.pdf)

# Consequences of COP-21: alliance between Renewables and Nuclear needed



## Renewables Vs. Nuclear

**Low carbon  
intermittent  
renewables need  
a stable low carbon  
base**



*EDF - Jean-Bernard Lévy (CEO and chairman of EDF): la COP 21 débute dans quelques jours ; quels sont les objectifs du premier électricien nucléaire mondial en matière d'énergies renouvelables ? (27/11/2015)*

*« EDF est engagé depuis toujours dans la lutte contre le changement climatique, grâce à un mix énergétique à 98% sans CO2. .... Le développement des énergies renouvelables associé à une production nucléaire stable et sûre, est le moyen de parvenir à un nouvel équilibre du mix de production d'EDF, véritable atout de la transition énergétique et de la lutte contre le changement climatique.*

*ENGIE Electrabel - Les centrales nucléaires et l'environnement - Le nucléaire contribue de manière significative à la réduction des émissions de gaz à effet de serre : « 67% de la capacité de production d'ENGIE Electrabel n'émet pas de gaz à effet de serre. Les centrales nucléaires y contribuent largement. Comme les énergies renouvelables, l'énergie nucléaire est une des sources d'énergie qui engendre le moins de CO2. Elle contribue de manière significative à la lutte contre le réchauffement climatique.*

*59% de l'électricité qu'ENGIE Electrabel produit est exempte de CO2, grâce notamment aux centrales nucléaires de Doel et de Tihange. Chaque année elles permettent d'éviter l'émission de 20 millions de tonnes de CO2 (comparé avec des centrales modernes aux gaz naturel). Notre parc de production se positionne parmi les moins carbonés en Europe. »*

*Source : <http://corporate.engie-electrabel.be/fr/producteur-local/nucleaire/environnement/>*

# IEA rings alarm bell on phasing out nuclear energy (May 2019)

## IPCC Report of 8 October 2018 : respecter l'accord de Paris nécessitera plus de nucléaire



**PARIS (Reuters – May 28, 2019) - A steep decline in nuclear energy capacity will threaten climate goals and power supply security unless advanced economies find a way to extend the lifespan of their reactors, the International Energy Agency said.**

**Nuclear is currently the world's second-largest source of low-carbon electricity, behind hydropower, and accounting for 10 percent of global electricity generation. But nuclear fleets in the United States and Europe are on average more than 35 years old and many of the world's 452 reactors are set to close as cheap gas and tighter safety requirements make it uneconomical to operate them.**

<https://in.reuters.com/article/us-nuclearpower-ia/iea-rings-alarm-bell-on-phasing-out-nuclear-energy-idINKCN1SX1XW>

*“Without policy changes, advanced economies could lose 25 percent of their nuclear capacity by 2025 and as much as two-thirds of it by 2040,” the IEA writes in its first major report about nuclear energy in two decades.*

*Over the past 20 years, wind and solar capacity has increased by 580 gigawatt GW in advanced economies. Despite that, however, IEA estimates that the 36 percent share of clean energy sources in global power supply in 2018 was the same as two decades ago because of the decline in nuclear. (NB : global power supply does not refer to world primary energy supply but only to electricity)*

*In order to offset the expected decline of nuclear in the next two decades, renewables investment would have to grow fivefold, but that would not only be hugely expensive, but would also hit public resistance and require major power grid investment, IEA said.*

\*\*\*\*\*

### IPCC 2014 - Nuclear power has the approval of the United Nations' climate change scientific advisory body (IPCC-5, April 2014)

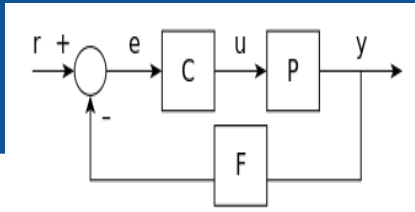
*“At the global level, scenarios reaching 450 ppm (target for CO<sub>2</sub> in the atmosphere) are also characterized by more rapid improvements in energy efficiency, a tripling to nearly a quadrupling of the share of zero- and low-carbon supply from renewables, nuclear energy AND fossil energy with carbon capture and storage (CCS) OR bioenergy with CCS (BECCS) by the year 2050. (p. 12, 20 and 26)” - Source: IPCC, 2014: Summary for Policymakers - [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_summary-for-policymakers.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_summary-for-policymakers.pdf)*

### IPCC 2018 - “Global Warming of 1.5 °C” – IPCC Report of 8 October 2018 : respecter l'accord de Paris nécessitera plus de nucléaire

*Selon un rapport des Nations unies publié le 8 octobre 2018, maintenir le réchauffement planétaire en dessous de 1,5°C nécessite une forte augmentation de la production d'énergie nucléaire. .... Tous les scénarios du GIEC nécessitent plus de nucléaire Le nucléaire augmente dans les quatre scénarios par rapport à 2010, de 59-106 % d'ici 2030, de 98-501 % d'ici 2050. Le scénario P3 inclut d'ailleurs la hausse la plus notable (+501 %) à l'horizon 2050 de la production nucléaire. Ainsi, si la tendance actuelle se poursuit, le respect des objectifs climatiques nécessitera de multiplier par six les capacités nucléaires mondiales. - [http://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15\\_spm\\_final.pdf](http://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf) .*







## **Garantir l'accès de tous aux services énergétiques**

- 1 – Brève histoire : du feu primitif à l'électricité**
- 2 – Le cap : un mix équilibré (renouvelables, fossiles, nucléaire)**
- 3 – Invariants (sciences de la nature)**  
**et contraintes (EU Triangle)**
- 4 – Faits et chiffres : démographie, climat, politiques énergétiques**
- 5 – Défis technologiques et humains (incertitudes) : stockage, etc**
- 6 – Conclusion : recherche, innovation et formation**

**\* Responsibility for the information and views set out in this conference lies entirely with the author \***

**\* Reproduction of the texts of this conference is authorised provided the source is acknowledged \***

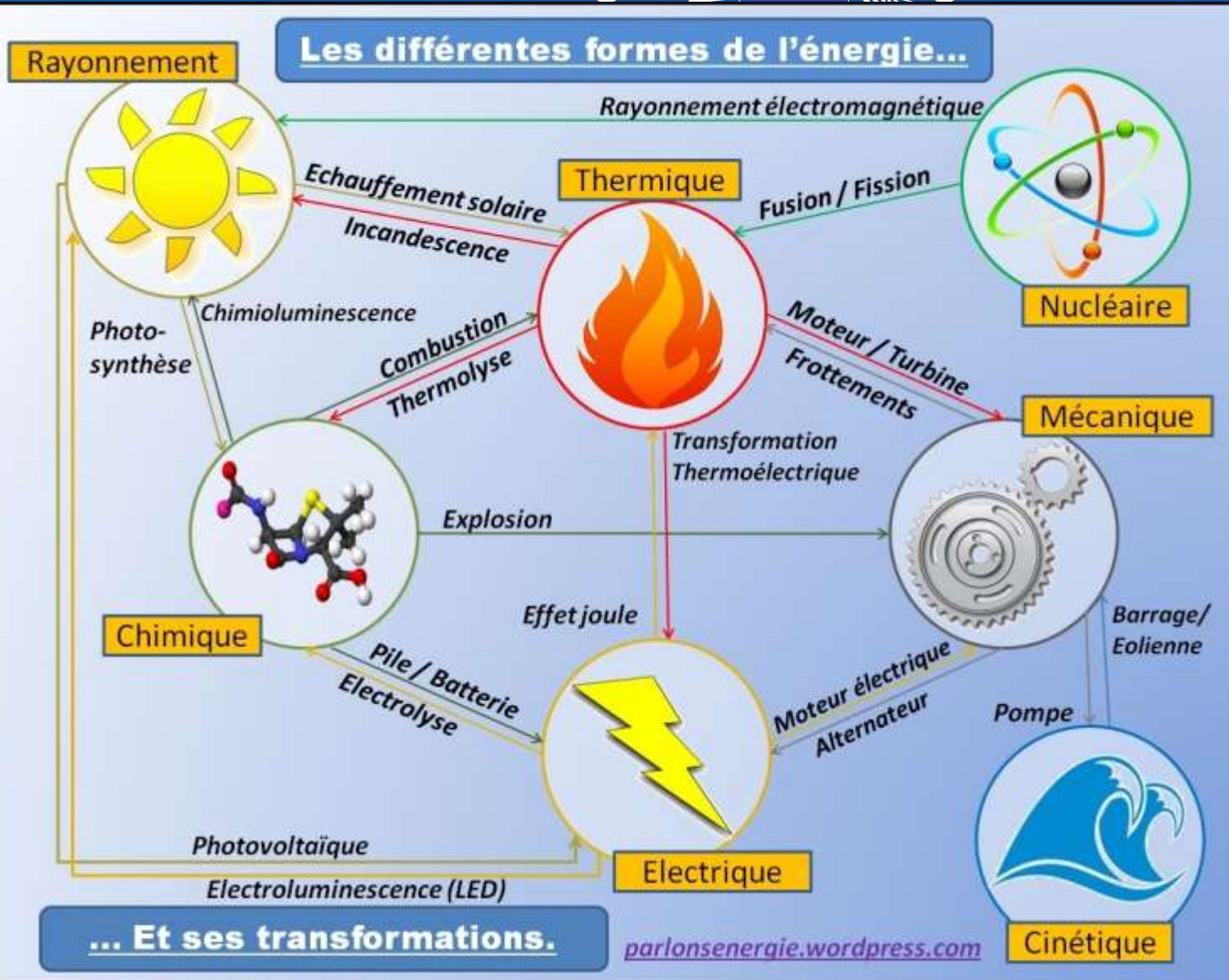
# Le tableau de Mendeleïev

- **Éléments synthétiques**  
créés artificiellement dans  
des accélérateurs de particules  
ou lors de réactions nucléaires
- ✕ **Éléments n'ayant pas  
d'utilisation**
- ★ **Nouveaux éléments**  
chimiques validés en 2016  
par l'IUPAC

Research and  
Innovation



# Deux principes de la thermodynamique : conservation de l'énergie totale et augmentation de l'entropie



## (1) Enoncé du premier principe de la thermodynamique (conservation de l'énergie)

« L' énergie totale  $E$  d'un système fermé et isolé se conserve au cours de ses transformations thermodynamiques (càd entre deux états d'équilibres thermodynamiques) »

## (2) Enoncé du deuxième principe de la thermodynamique (augmentation de l'entropie)

« L' entropie d'un système isolé (qui n'échange ni matière ni énergie sous quelque forme que ce soit avec l'extérieur) ne peut pas diminuer. Elle augmente lors d'une transformation irréversible, ou reste constante si la transformation est réversible »

L'énergie libre  $F$  (appelée aussi énergie de Helmholtz) est, en thermodynamique, une fonction d'état extensive dont la variation ( $\Delta F$ ) permet d'obtenir le travail utile susceptible d'être fourni par un système thermodynamique fermé, à température constante, au cours d'une transformation réversible :

$$F = U - TS.$$

([https://fr.wikiversity.org/wiki/%C3%89nergie\\_libre,\\_enthalpie\\_libre/%C3%89nergie\\_libre](https://fr.wikiversity.org/wiki/%C3%89nergie_libre,_enthalpie_libre/%C3%89nergie_libre))



**Du Big Bang à  
nos jours :  
illustration des  
deux infinis  
(infiniment petit  
et infiniment  
grand)**

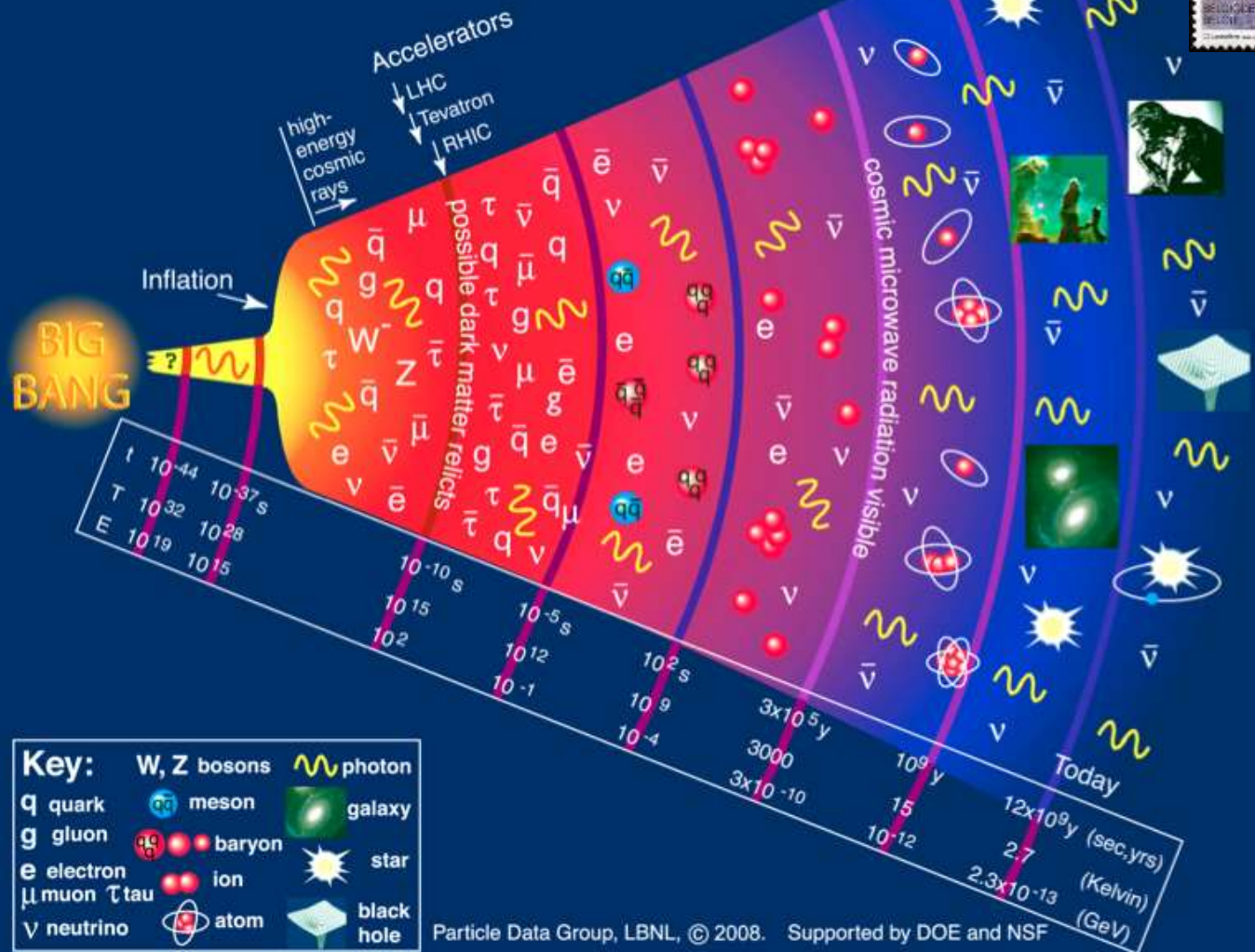
Sont représentés les échelles de temps, d'énergie et de température relatives à chaque époque de l'évolution de l'univers. En particulier ce n'est que 300 000 ans après le Big Bang que la lumière a pu s'échapper (début du domaine de l'astronomie et de l'astrophysique).

<http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/particules-elementaires-Ille-1.xml> and

Timeline of the metric expansion of space, where space, including hypothetical non-observable portions of the universe, is represented at each time by the circular sections. On the left, the dramatic expansion occurs in the inflationary epoch; and at the center, the expansion accelerates (artist's concept; not to scale).

[https://en.wikipedia.org/wiki/Big\\_Bang](https://en.wikipedia.org/wiki/Big_Bang)

# History of the Universe

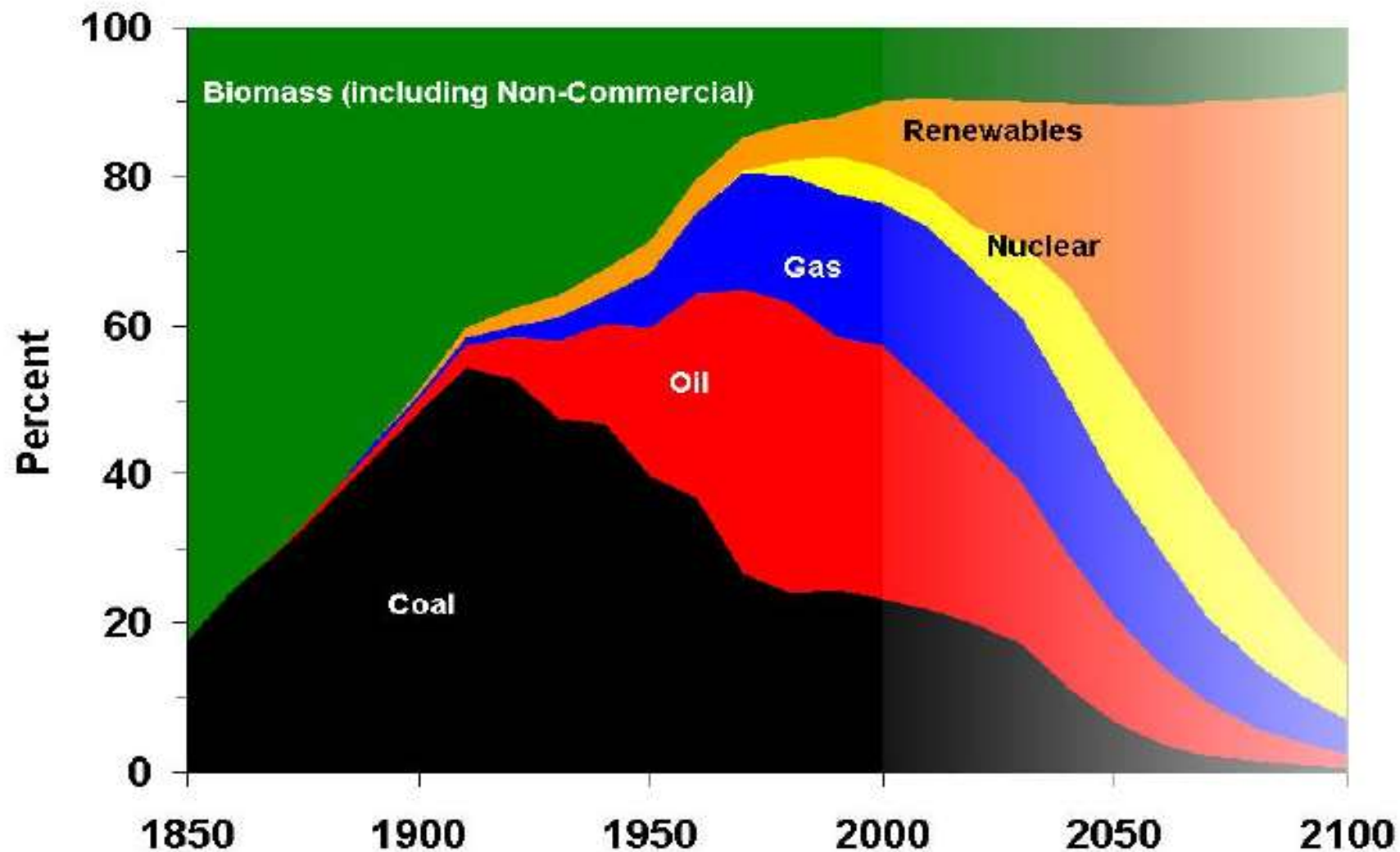


*Although universe has undergone significant evolution and change since Big Bang (13.8 billion years ago), the total amount of energy and mass remains constant, merely changing from one form to another (first law of thermodynamics applicable to mass and energy).*

**Source 2014 :** <https://www.scientificamerican.com/article/energy-can-neither-be-created-nor-destroyed/>

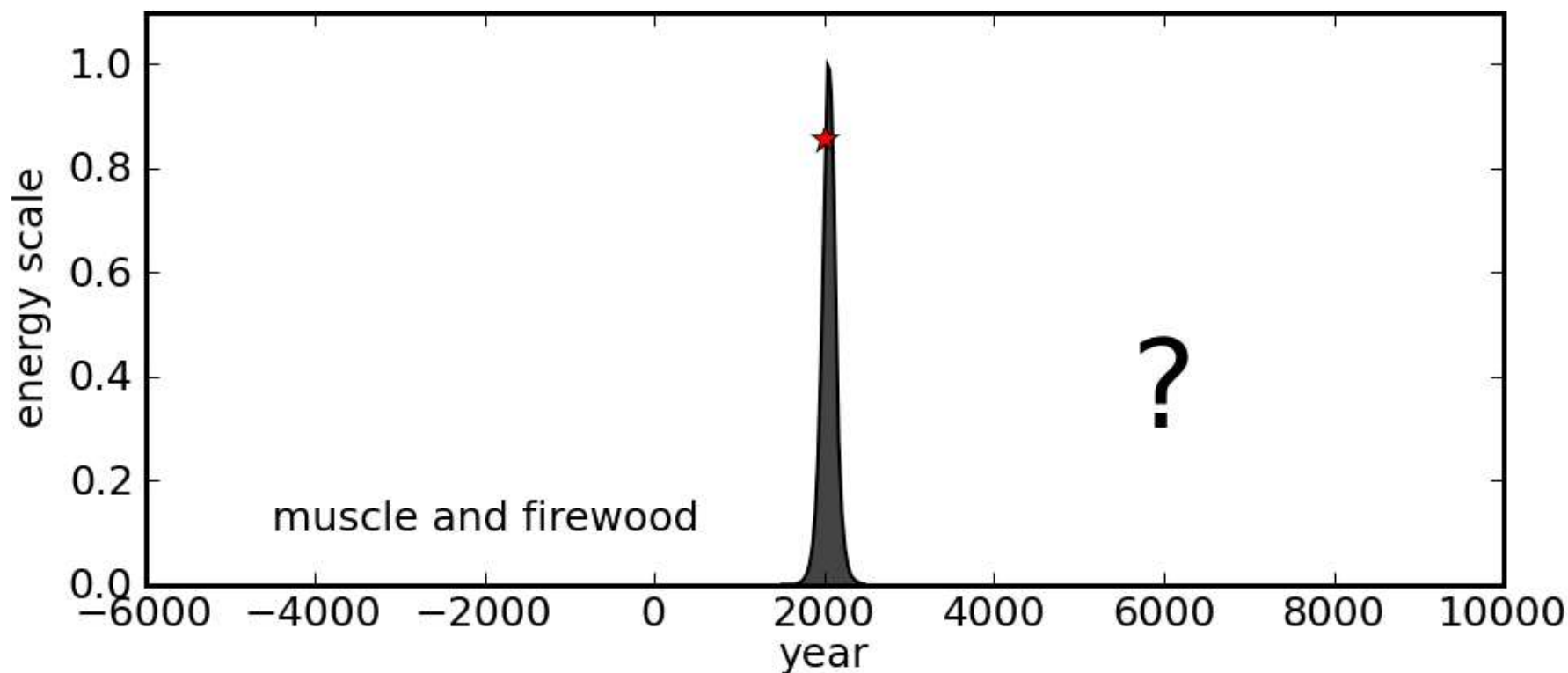


# Evolution of global primary energy sources (1/2) : over 250 years



Evolution of global primary energy / substitution of fossil, fissile, renewables  
(a great variety of energy scenarios have been developed since C. Marchetti, IIASA, 1985)

# Evolution of global primary energy sources (2/2) : over 16000 years



***"We live like kings today, on the backs of roughly 100 energy slaves each (human metabolism is 100 Watts, but Americans enjoy 10 000 W of continuous power).***

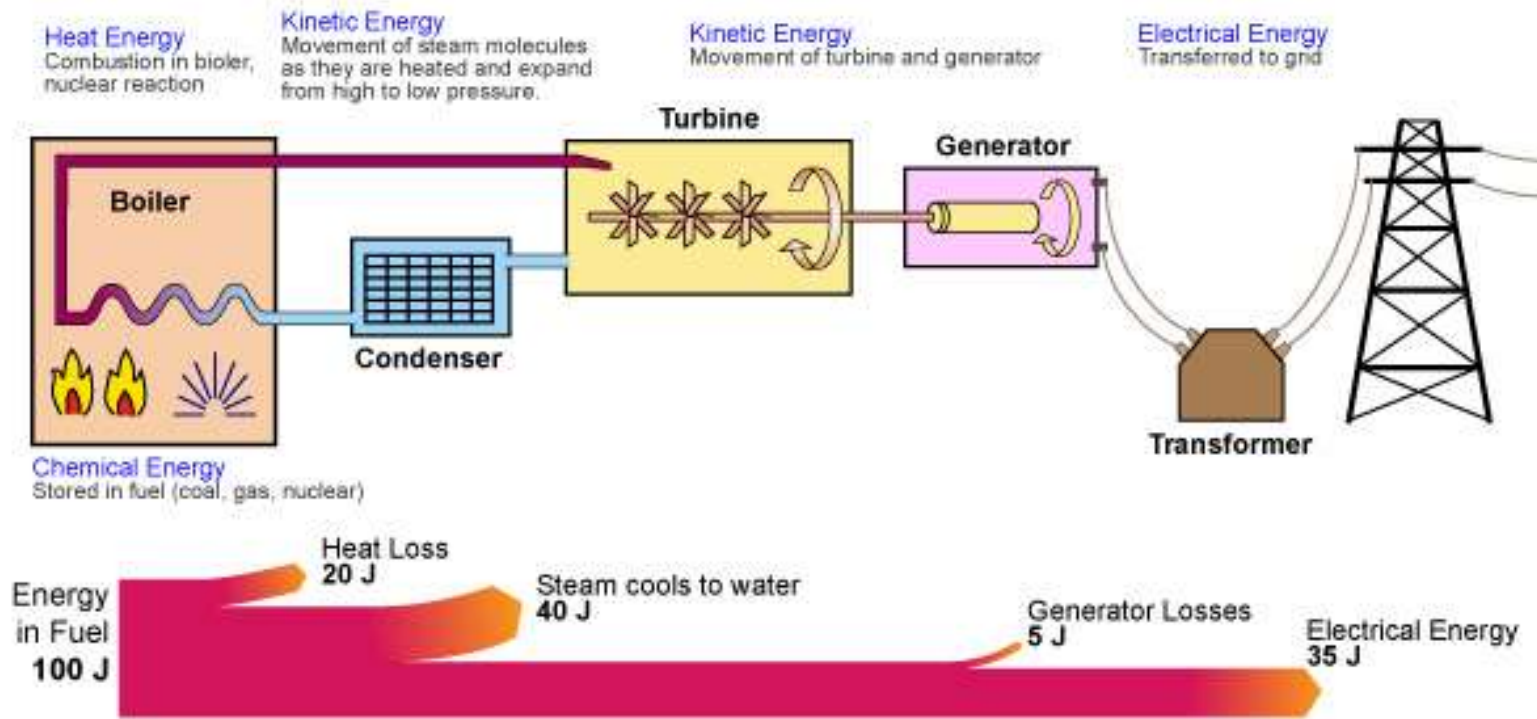
***Our richness is very much tied to surplus energy availability, and that so far has been a story of finite fossil fuels. But even under solar power, we can't continue our track record of 3% energy growth per year for even several hundred years!***

***Global physical limits—thermodynamic, energy return on energy invested, finite arable land, water, fisheries, climate change, etc.—are all asserting themselves to remind us that nature doesn't care about our dreams.***

[\(http://physics.ucsd.edu/do-the-math/\)](http://physics.ucsd.edu/do-the-math/) by Tom Murphy, professor of physics at the University of California, San Diego, March 2015



# Energy transfer (from chemical to electricity) and “Energy Return on Investment”



## “Energy Return On energy Investment” or output/input (EROI)

Life-cycle analysis, focused on energy, is useful for comparing net energy yields from different methods of electricity generation.

- Nuclear power shows up very well as a net provider of energy, and only hydro-electricity is nearly comparable.

= > Examples of EROI assessments: 3.5 for Biomass (corn) ; 28 for fossil gas in a CCGT ; 49 for Hydro (medium-sized dam) ; 75 for Nuclear (in a PWR)

Source: “Energy intensities, EROIs (energy returned on invested), and energy payback times of electricity generating power plants”, Weißbach D. et al, Energy, Volume 52, Pages 210-221 (April 2013) / from Institut für Festkörper-Kernphysik Berlin, Germany / ([https://festkoerper-kernphysik.de/Weissbach\\_EROI\\_preprint.pdf](https://festkoerper-kernphysik.de/Weissbach_EROI_preprint.pdf)) and website of Elsevier ScienceDirect : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544213000492#tbl8>

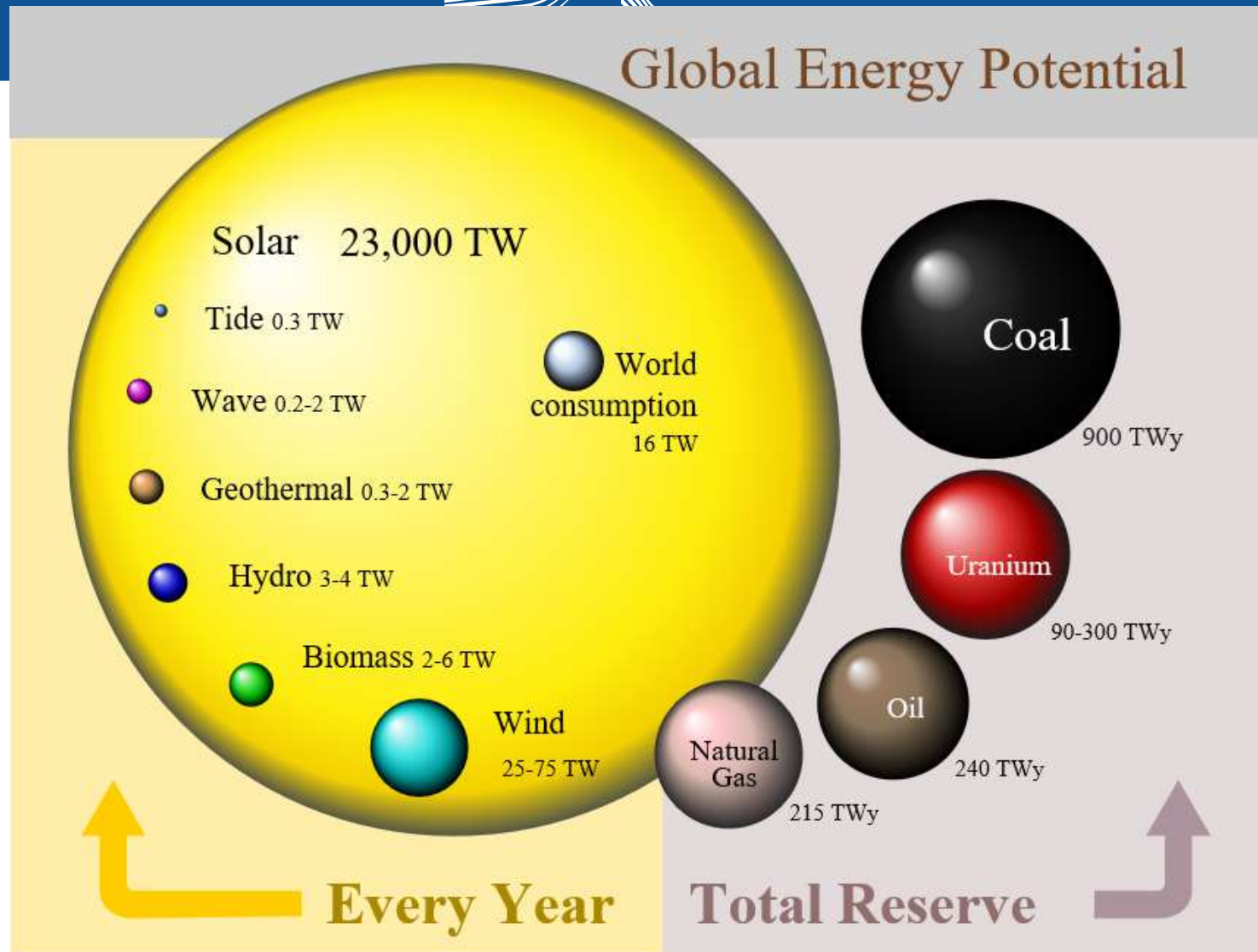
# The sun powers almost everything on Earth, but ... we do not know how to harness solar energy directly and efficiently (some progress is being made, however)

All the renewable sources of energy are depicted in this diagram as annual outputs (i.e. power, TW)

whereas the non-renewables like fossils and nuclear are shown in their totality (i.e. energy, TWy).

All these energy sources exist on Earth – and they are dwarfed by the monstrous capacity of the one thing that enters our planetary closed system – solar energy.

=> Where should we invest for the long-term ?



The sun powers the weather, causing wind, precipitation, and warmth to exist; it's the original source of all fossil fuel energy; and it powers the whole biosphere and its murder/theft cycle. The few exceptions are geothermal energy, which is powered by the Earth's hot core; ocean wave energy, which is powered by the moon's gravity; and nuclear energy, which extracts energy from heavy elements like Uranium, which originally got their stored energy from ancient supernovae.

# Energies de flux (vent, soleil):

many renewable energy sources are intermittent , unpredictable and non-dispatchable



## Intermittent Renewable Energy Sources (RES)

RES specificities, such as production variability and low-predictability, zero marginal-cost of generation, and strong site specificity, result in a set of technical and economic challenges.

**NB:** Day ahead forecasts of generation by a single wind-farm feature up to 20% errors => need for better physical models and meteorological data mixed with statistical models

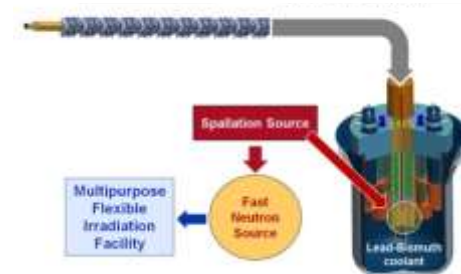
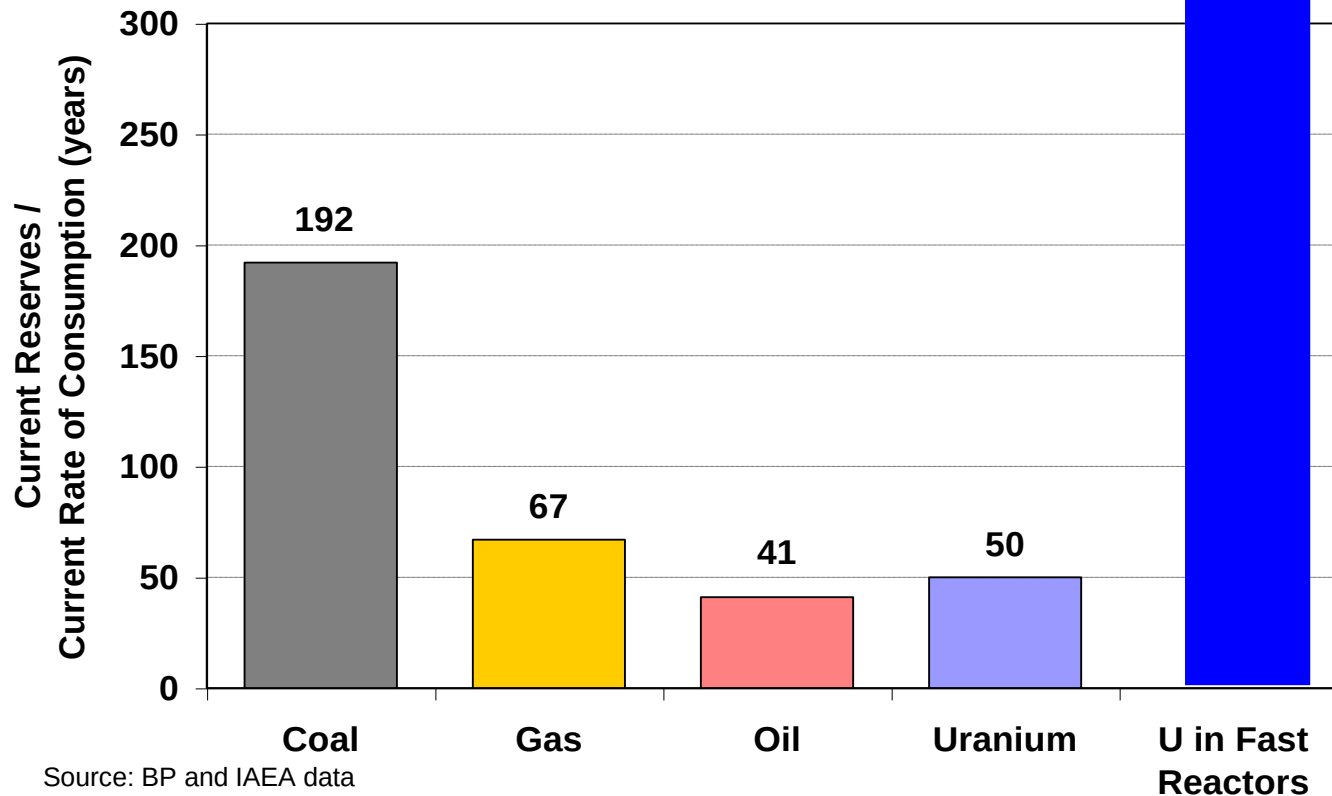
**NB:** Threats to grid stability for large penetration rates (up to 20%) => need for requirements for fault-ride through capacity, provision of reactive power, frequency and voltage control, and incentives to minimize deviations.

**Source:** MIT Energy Initiative (2012)





# Energies de stock (charbon, gaz, pétrole, uranium) : réserves limitées dans le temps et l'espace



**MYRRHA**, Belgium, a flexible fast spectrum irradiation research facility at SCK-CEN, Mol, to replace BR2 ("Multi-purpose hybrid Research Reactor for High-tech Applications")  
[https://www.sckcen.be/en/Technology\\_future/MYRRHA](https://www.sckcen.be/en/Technology_future/MYRRHA)

**NB : Using currently known uranium resources, "fast reactors operating in a closed fuel cycle would be able to provide energy for thousands of years as well as easing concerns about waste", IAEA 2013**

- <https://www.iaea.org/newscenter/news/fast-reactors-provide-sustainable-nuclear-power-thousands-years>

# Electricity generation/consumption balance: a physical reality

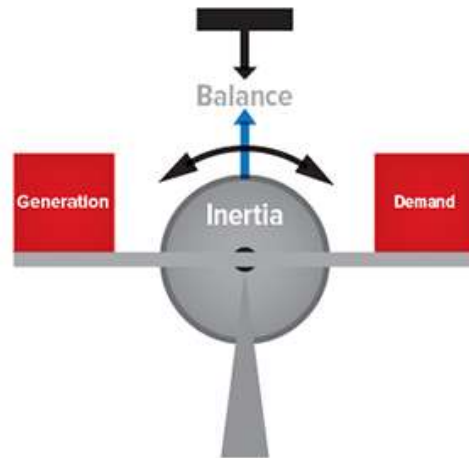


***(1) Why is balance needed between electricity generation and consumption?***

***Electricity cannot be stored in large quantities and has to be consumed instantly***

***⇒ Generation must always equal consumption at any time of day and on any day of the year.***

***This physical reality is called the 'generation/consumption balance'.***

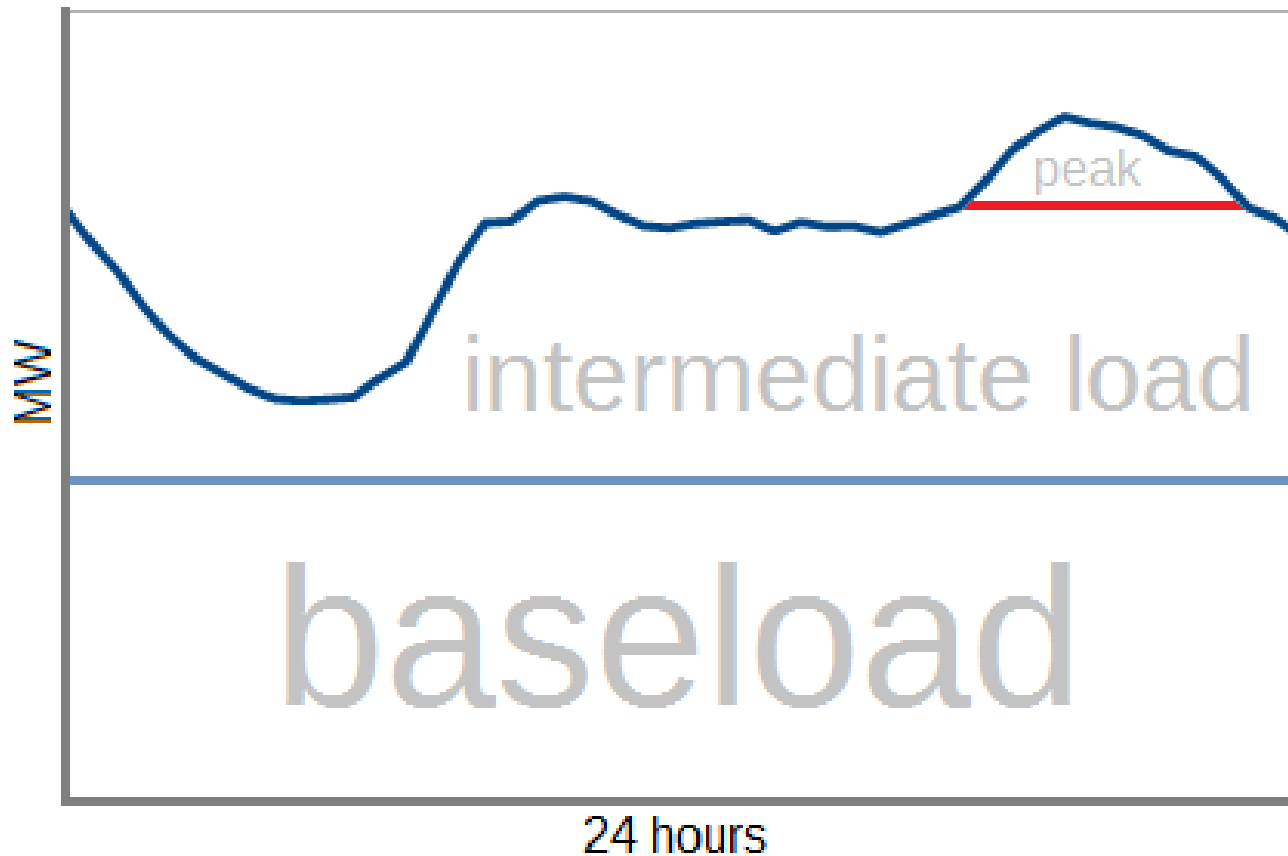


***(2) Another challenge of electric power systems : path of least resistance***

***What are loop flows ? Electricity current takes the path of least resistance. When power is produced in one place to supply a consumer elsewhere, it should mainly flow along the most direct power lines between the two. But if the route is congested, it will take a detour through other parts of the grid – looping around the blockage. This can result in the current ending up in an unexpected places, even flowing through the grids of neighbouring countries.***

***"Loop flow : why is wind blowing from northern Germany putting east-European grids under pressure ?", CLEW (Clean Energy Wire, Bonn), 29 Dec 2015***  
***- <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/loop-flows-why-wind-power-northern-germany-putting-east-european-grids-under-pressure>***

# Load on the electrical grid: base, intermediate and peak



Certain types of power plants are valued for their constant output and reliability at relatively low operating costs, providing the base of this curve. This is the **baseload** of an established electrical supply market.

The remaining **intermediate** and **peak load** above this is met with generators which operate more sporadically, often for a mere few hours, requiring higher market prices (or government assistance) to meet their costs.

Taken all together, this supply, universally measured in megawatts (MW), must equal the load at all times to maintain the stability of the distribution system.

The order in which different generators supply their market is determined by their marginal cost, and is known as **the merit order**.

NB - What is the "dispatch order" or « **merit order** » ? = l'optimisation du mix de production par empilement successif selon un coût marginal de production croissant (c'est une logique de préséance économique)



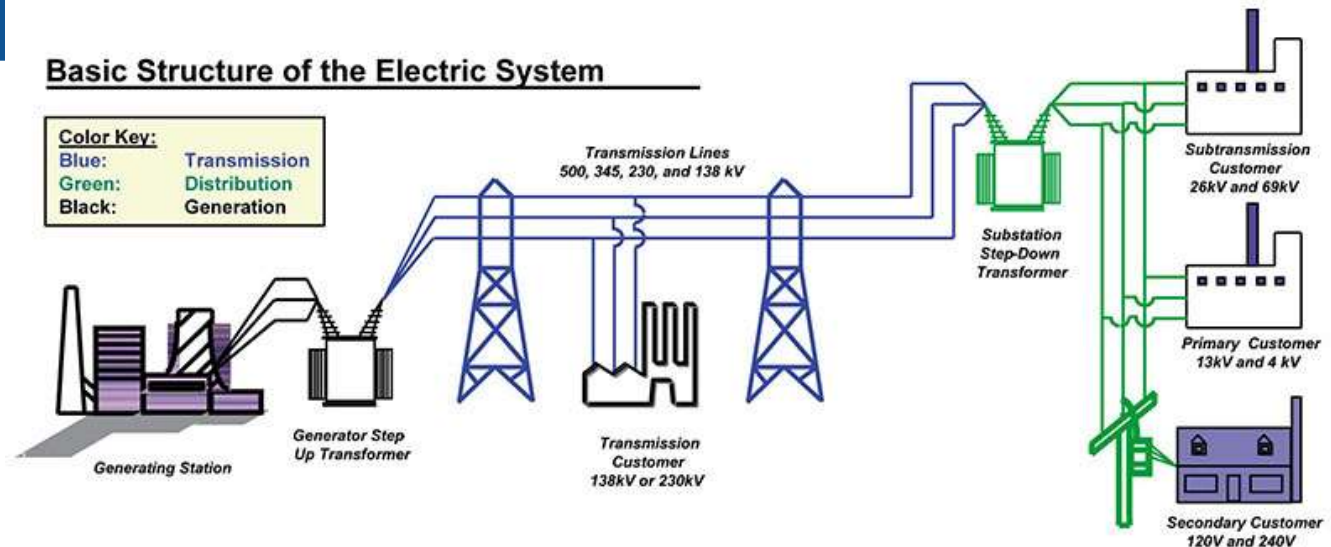
# Traditional power grid and future smart grid: paradigm change - from linear to more complex power generation

## Today

Traditional centralized model of linear power generation and delivery through limited market or monopoly conditions

Linear :  
from “generation”  
=> “transmission”  
=> “distribution”

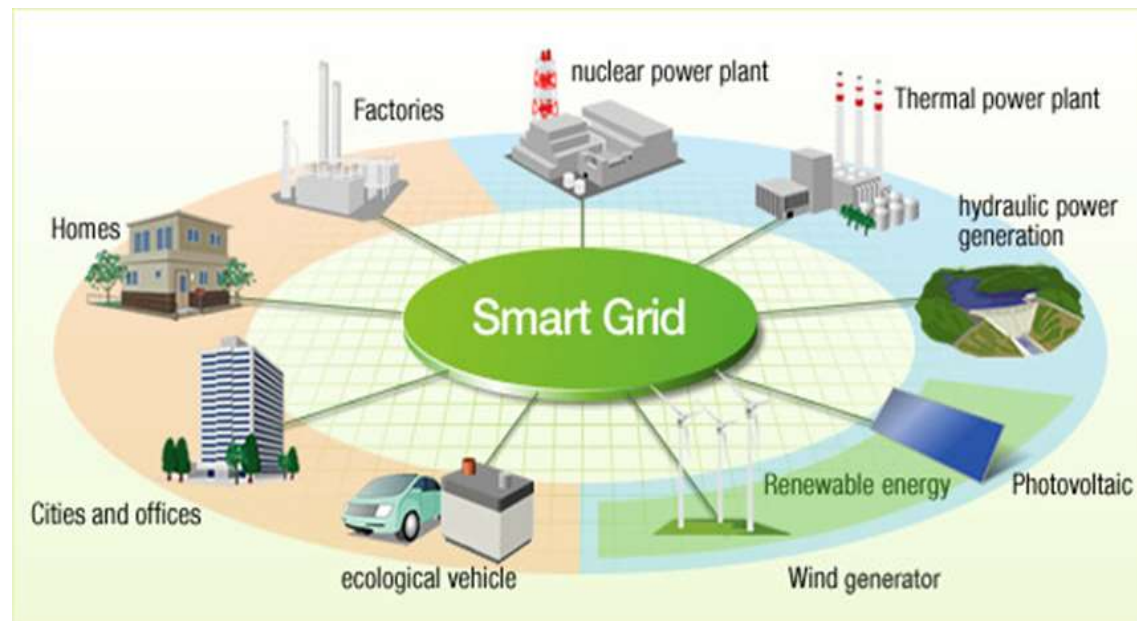
### Basic Structure of the Electric System



## Tomorrow ?

A more diverse, dynamic and complex system with multiple actors and multilayered energy, information and money flows ?

Complex system with paradigm change :  
from “supply follows load”  
to “load follows supply”  
(users become “prosumers”  
= PROducer - conSUMER)



# “EU Energy Triangle” (2007 Spring Council)



## Triangle of sustainable energy

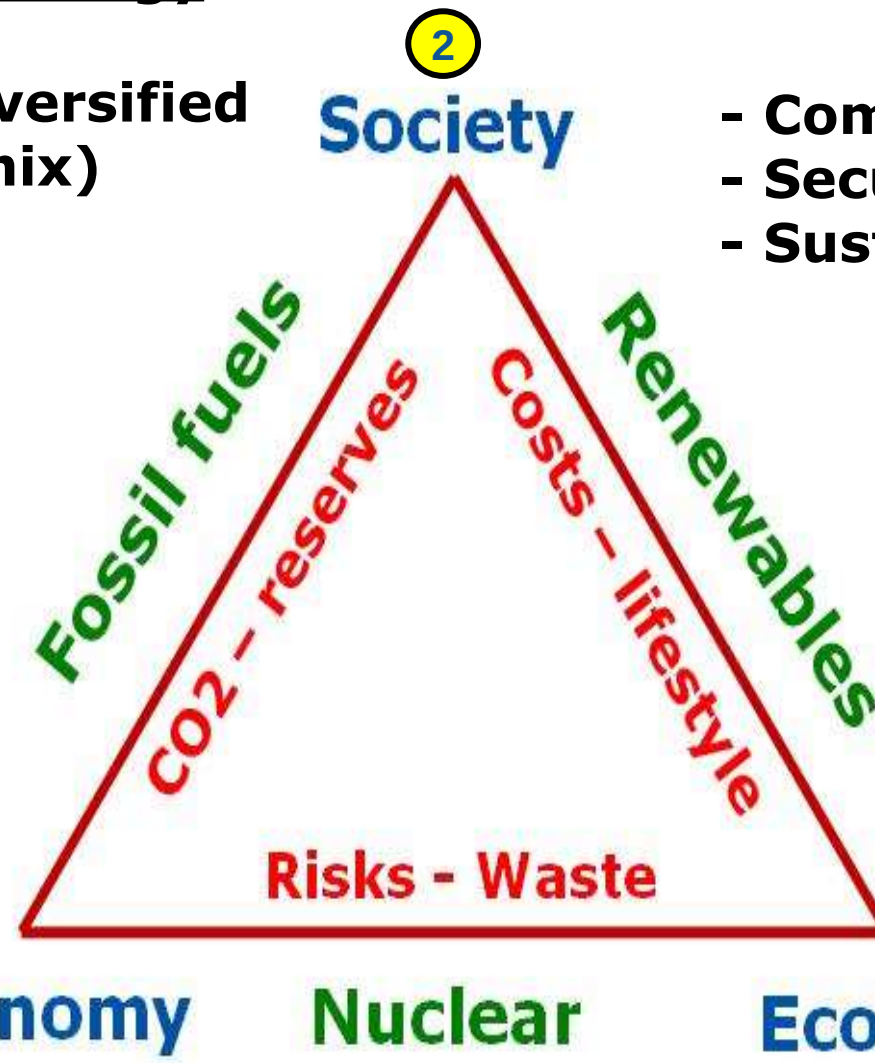
(towards a diversified energy mix)

Reminder w.r.t. EU energy policy :  
Article 194 of the EU Lisbon Treaty

"Union policy on energy shall aim, in a spirit of solidarity ...:  
.. Such measures shall not affect a Member State's right to determine the conditions for exploiting its energy resources, its choice between different energy sources and the general structure of its energy supply".

( <https://eur-lex.europa.eu/collection/eu-law/treaties/treaties-force.html> )

- Competitiveness
- Security of supply
- Sustainability



# Full Cost of Electricity Provision (e.g. LCOE)



Plant-level production  
costs at market prices

Grid-level  
costs at the  
system level

Full costs including  
all external costs  
regarding emissions,  
land-use, climate  
change, security of  
supply etc.

$$\text{LCOE} = \frac{\text{TOTAL LIFECYCLE COST}}{\text{TOTAL LIFETIME ENERGY PRODUCTION}}$$

expressed in dollars per kilowatt-hours (\$/kWh)

$$\text{Levelized cost of electricity} = \frac{\text{Investment cost} + \text{Maintenance cost}}{\text{Years of operation} \times \text{Annual energy output}} + \text{Cost for energy storage (balancing)}$$




# Comparatif des tarifs d'énergie en Belgique en 2017

## Consommation annuelle (électricité & gaz) d'un ménage belge



### Consommation annuelle d'un ménage belge en 2017 :

**3.500 kWh en électricité et**  
**23.260 kWh en gaz naturel**



NB: Een gemiddeld gezin van 4 personen, dat zowel elektriciteit en gas gebruikt, met een dag- en nachtmeter: een gemiddeld dagverbruik van 1600 kWh, een gemiddeld nachtverbruik van 1900 kWh voor elektriciteit (d.i. 3500 kWh per jaar) en een gemiddeld verbruik van 34890 kWh voor gas (zonder zonnepanelen).

Source: "Vergelijken loont nu meer dan ooit",  
<http://aanbieders.be/blog/2015/07/29/energietarieven-vergelijken-loont-nu-meer-dan-ooit/>

### Calcul Electricité & Gaz

|                   |     |             |            |
|-------------------|-----|-------------|------------|
| Électricité       | 1 x | 773,1€ =    | 773,1€     |
| Gaz naturel       | 1 x | 1.183,25€ = | 1.183,25€  |
| Electricité & Gaz |     |             | € 1.956,35 |

Sources : « Comparatif des tarifs d'énergie (Juillet 2017 et années suivantes) » - <https://www.mesfournisseurs.be/energie>  
+ CREG - Prix de l'électricité et du gaz naturel - 28 juin 2019 - <https://www.creg.be/sites/default/files/assets/Prices/BelEnergyPriceCompFR.pdf>  
+ Eurostat - Electricity prices for household consumers - <https://ec.europa.eu/eurostat/news/themes-in-the-spotlight/energy-prices>

**La facture d'électricité en Belgique est composée de différents éléments (3 au total):**

- **énergie** ( = environ 30 % de votre facture)
- **réseau** (çàd transport et distribution) ( = environ 15 % et 35 %, resp., de votre facture)
- **taxes diverses** ( = environ 20 % de votre facture).

NB : En 2017, le salaire brut moyen pour un Belge travaillant à temps plein s'élève à 3.401 euros par mois. Pour un employé marié, cela équivaut à 2.049 euros net (source : Vacature.com et KU Leuven) = > l'électricité représente en moyenne 3 % du budget d'un ménage belge avec un seul salaire.

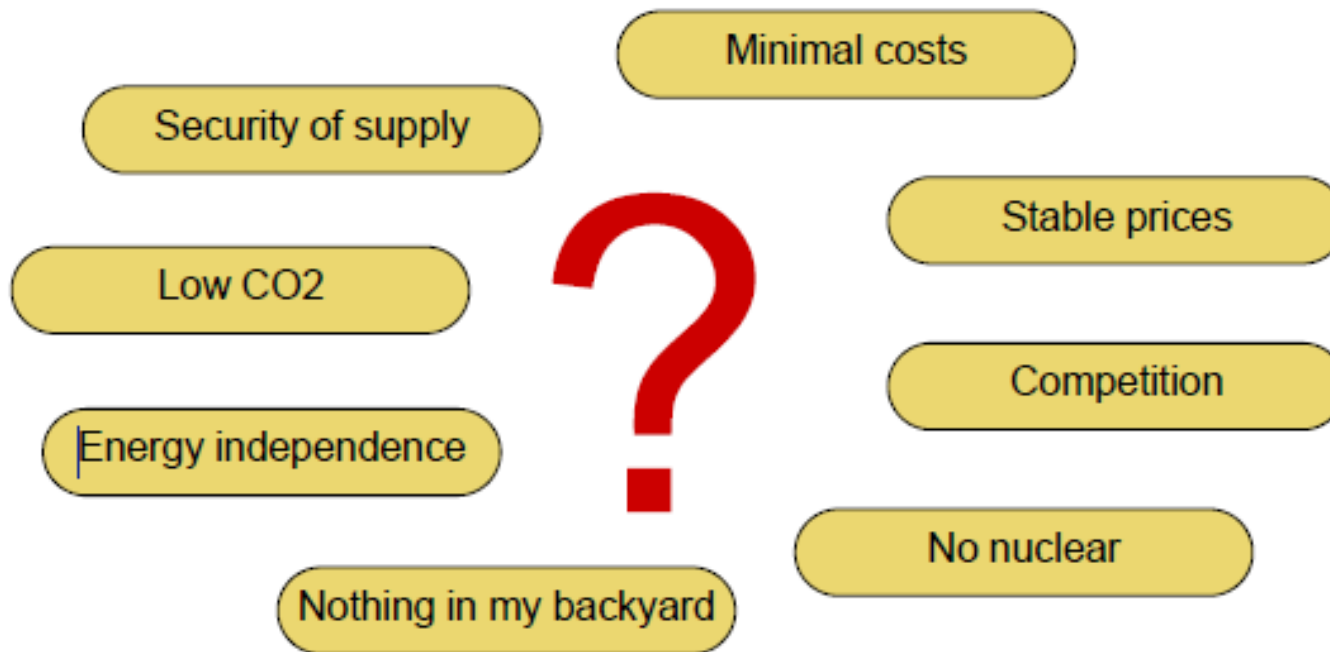
# Energy Consensus Closer Than We Think ?

2



answer : not sure

"one of the root causes: we CANNOT have it all ! "



**« Il faut sortir de la guerre de religion sur le nucléaire »**

François de Rugy, Ministre de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, France (2018)

LE MONDE | 10.09.2018 - <https://www.rtl.fr/actu/politique/francois-de-rugy-veut-sortir-de-la-guerre-de-religion-sur-le-nucleaire-7794739111>

Voir également Yves BRECHET, membre de l'académie des sciences, France, 29/09/2019 Publications, Europe

<https://www.energiesofutur.org/publications/europe/article-de-yves-brechet-ancien-haut-commissaire-du-cea-membre-de-lacademie-des-sciences/>

(voir également « Un Manifeste Eco-moderniste » Avril 2015 - <http://www.ecomodernism.org/francais/> )

# Belgium : available production capacity vs peak demand for electricity

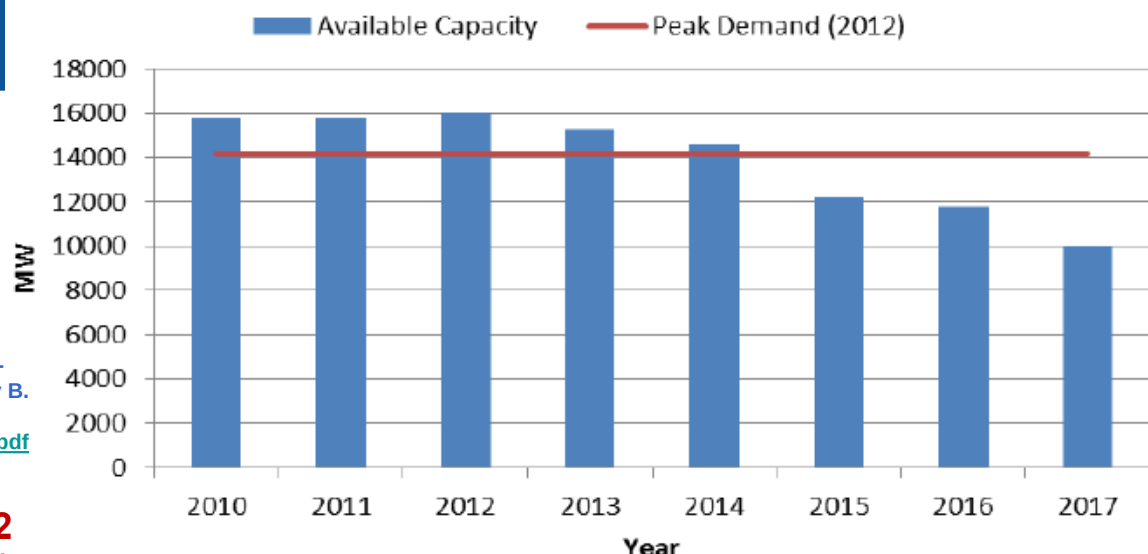


Source : “Electricity security crisis in Belgium”, Int’l Energy Agency - Expert Workshop V, Regional resource adequacy, 15 January 2015, by B. De Clercq – Elia System Operator - <https://www.iea.org/media/workshops/2015/esapworkshopv/deClercq.pdf>

## Belgique. L’incident du 4 août 1982

reste certainement un des plus gros incidents qu’ait connu le réseau électrique belge. La date est gravée dans les mémoires des anciens du secteur. C’est une journée de vacances, avec une faible charge. La ligne Mercator-Avelin est hors service pour entretien.

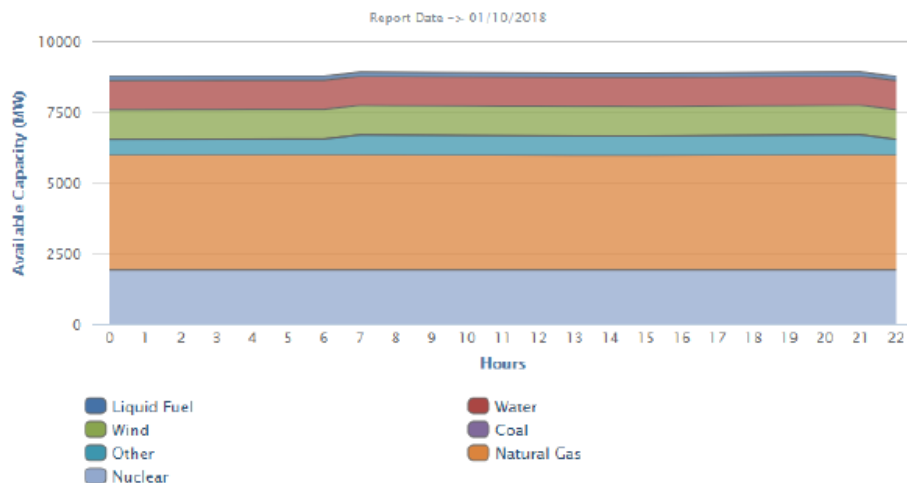
Source : « Petite histoire des grands incidents et autres événements qui ont impacté la gestion des réseaux et le secteur électrique » – Elia 2018 (J.J. Lambin, 80 pages) [file:///C:/Users/Admin/Downloads/06082019Brochure\\_Grands\\_incidents\\_FR\\_LR.pdf](file:///C:/Users/Admin/Downloads/06082019Brochure_Grands_incidents_FR_LR.pdf)



## Evolution of the available production capacity, compared to the peak power demand during the winter 2012

« Flexibility, Capacity and Carbon Pricing to Keep the Lights », 2015, Nicolas Meerts, ULB - [http://www.elia.be/~media/files/News/SYF\\_Meerts\\_NicolasArticleUpdated.pdf](http://www.elia.be/~media/files/News/SYF_Meerts_NicolasArticleUpdated.pdf)

In collaboration with the association FEBEG (Belgian Federation of Electricity and Gas Enterprises), Elia makes generation data available in a uniform and transparent way. This page contains an overview of the available generation capacity of facilities with a CIPU contract (Contract for the Injection of Production Units). The data are aggregated by fuel type. The seven types of fuel included in the publications are: nuclear (NU); coal (CP); gas (NG); liquid fuel (LF); water (WA); wind (WI); ‘other’, including waste, biomass, blast furnace gas, photovoltaic, etc. Producers participating to this publication: EDF Luminus, Electrabel, Eneco Energy Trade, Enel Trade, RWE Supply & Trading, T-Power.



Example taken on Elia website 30/09/2018 : available capacity forecast (01/10/2018) of all units aggregated by fuel type : NU = 1923 ; NG = 4076 ; other = 693 ; WI = 1037 ; WA = 1024 ; LF = 163 (total = 8916 MW)

Source : <http://www.elia.be/en/grid-data/power-generation/generation-capacity-forecast>



# Primary sources in comparison : which one is the best ? (footprint)

## The Ecological Footprint



The ecological footprint is the developed method in which humanity measures the way in which Earth is affected by the human activities which use resources in comparison to the amount of waste that accumulates.

The categories included within the ecological footprint include the carbon footprint (which concerns energy), the built-up land (which concerns settlements), forests (which concern timber and paper), croplands and pastures (which concern food and fiber), and fisheries (which concern seafood).

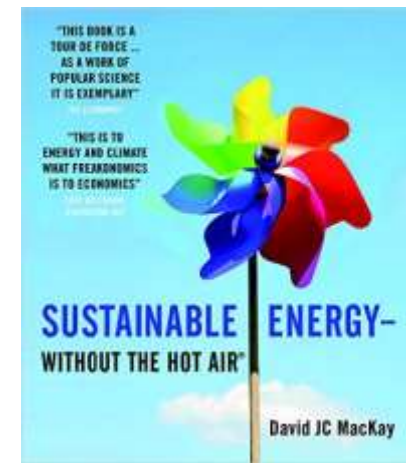
<https://www.theodysseyonline.com/progressive-hopes-for-the-ecological-footprint>

### Primary sources in comparison

One question that is often asked is: Which one is the best ? As always, it depends on circumstances such as geographic location, availability of space, capital costs, operational costs, and environmental concerns. Hence, energy technologies do not necessarily compete with each other purely based on carbon footprint. Price also is very important, i.e. : Capital Cost [\$ / kW] and Levelised cost of energy [\$ / kWh].

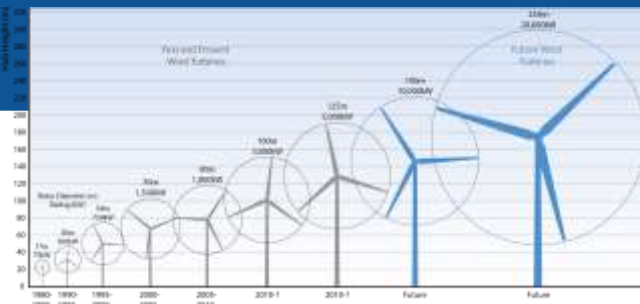
### Other rough comparison criteria (not exhaustive list of “footprints”) :

Conversion Process (e.g. turbine) ; Where ? (e.g. few locations worldwide) ; Installed Base (e.g. 20 GW) ; Capacity Factor (e.g. 25%) ; Power depends on (e.g. annual radiation) ; Land use - Annual energy (kWh/m<sup>2</sup>) ; Power density of the source (W/m<sup>2</sup>)



“Sustainable Energy: Without the Hot Air”  
Sir David Mackay, 2009, UIT Cambridge  
(download pdf file for free / read translations  
in 15 languages thanks to kind volunteers)  
Go to: [www.withouthotair.com](http://www.withouthotair.com)

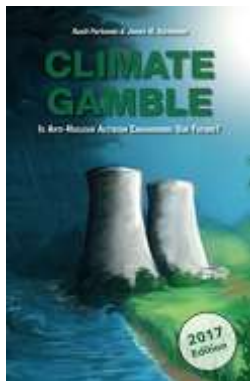
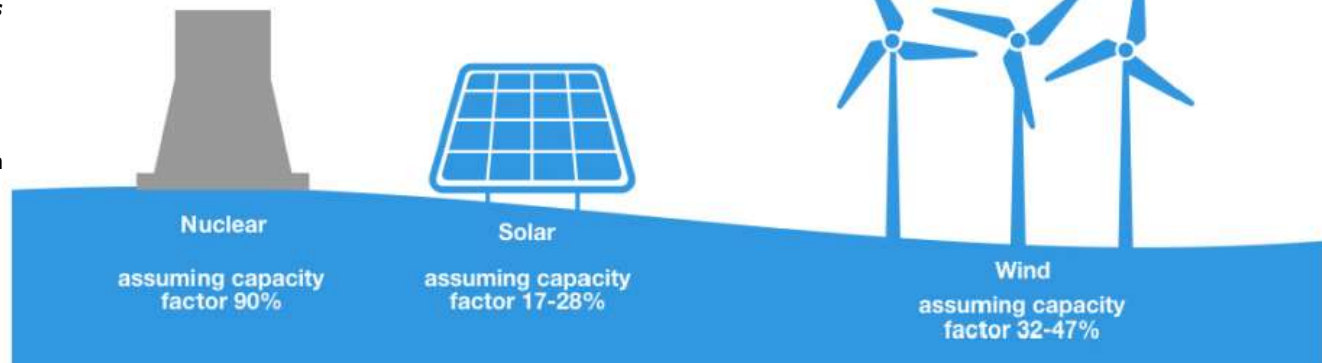
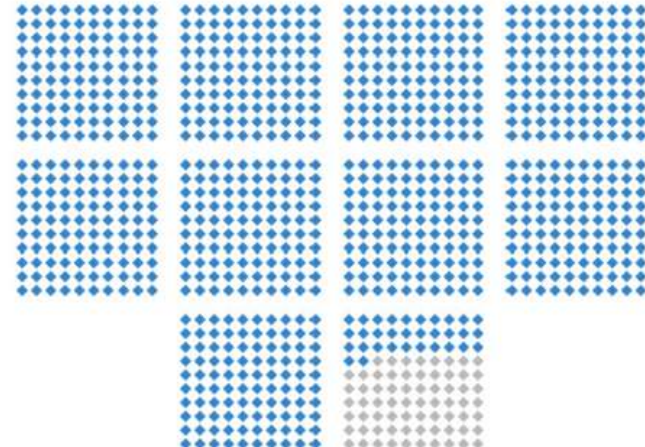
# For 1 GW you need... (land use) – 2015 figures



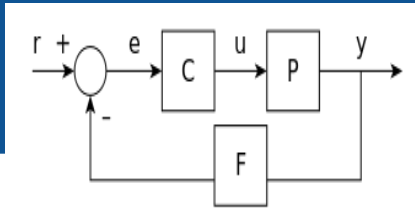
**673-932** square kilometres

**117-194** square kilometres

**3.3** square kilometres



Source : "The unpublished notebooks of J. M. Korhonen - Graphic of the week: Comparing land use of wind and nuclear energy", September 4, 2013 (NB : Rauli Partanen and Janne M. Korhonen are members of the Finnish Ecomodernist Society – they also are the authors of "Climate Gamble: Is Anti-Nuclear Activism Endangering Our Future?" 2015, 2017) – <https://climategamble.net/category/graphs-and-pictures/page/1/>



## ***Garantir l'accès de tous aux services énergétiques***

- 1 – Brève histoire : du feu primitif à l'électricité**
- 2 – Le cap : un mix équilibré (renouvelables, fossiles, nucléaire)**
- 3 – Invariants (sciences de la nature) et contraintes (EU Triangle)**
- 4 – Faits et chiffres : démographie, climat, politiques énergétiques**
- 5 – Défis technologiques et humains (incertitudes) : stockage, etc**
- 6 – Conclusion : recherche, innovation et formation**

**\* Responsibility for the information and views set out in this conference lies entirely with the author \***

**\* Reproduction of the texts of this conference is authorised provided the source is acknowledged \***



# Social Media and Society: The Good, The Bad and The Ugly



« Les fameuses « fake news » prospéreraient-elles autant si leurs destinataires n'étaient pas enclins à croire même l'incroyable ? Les plateformes manipulent-elles une opinion crédule ? »

« Lutter, résister, combattre », éditorial par Eric Fottorino, dans « Le 1 » « Sommes-nous désinformés ? », (no 230, 19 décembre 2018), numéro double spécial medias en partenariat avec « Reporters sans frontières »

# Deux domaines de « quasi-certitude » 1/2

## (1) accroissement de la population mondiale



### **(4.1) L'accroissement de la population mondiale restera massif** **(10 milliards en 2050 contre 7,5 aujourd'hui)**

- dix milliards d'habitants en 2050, deux et demi de plus qu'aujourd'hui, avec en particulier une explosion en Afrique ( + augmentation de la classe moyenne et des habitudes de consommation axées sur celles des pays riches).

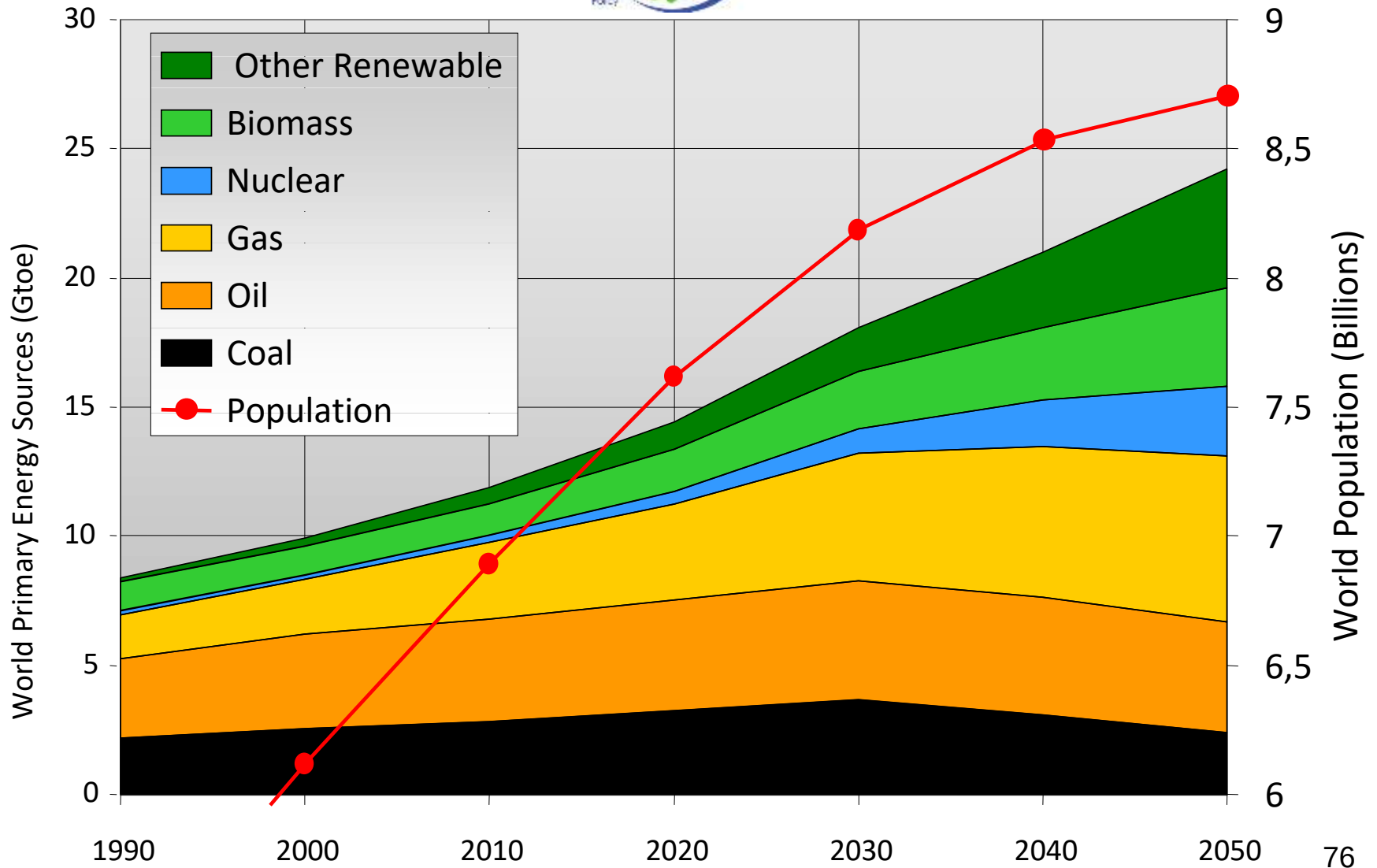
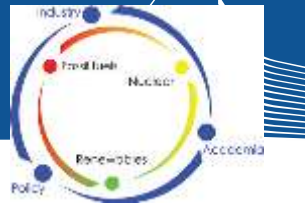
**La population mondiale a besoin et a droit à un système énergétique moderne**  
**(basé, en particulier, sur un accès universel à l'électricité et aux transports).**

- forte urbanisation: le taux mondial, de 54% aujourd'hui, devrait dépasser 65% en 2050, soit un accroissement de 2,5 milliards de citoyens, portant à 6 milliards la population totale vivant dans des agglomérations.

**Plus des deux tiers de l'énergie mondiale sera consommée dans les villes.**

- = > ***Le développement de l'humanité (en particulier, dans l'hémisphère Nord) a reposé sur des sources d'énergie abondantes et bon marché mais souvent polluantes.***
- = > ***L'humanité saura-t-elle procéder en douceur à la transition vers un système plus respectueux de l'environnement et une croissance plus inclusive mais à énergie chère ?***

# Energy sources (diversified energy mix) and world population: 1990 - 2050



Source IEA : Energy to 2050 - Scenarios for a Sustainable Future





#### **(4.2) Le climat change de façon beaucoup plus rapide et plus perturbante que prévu. Son corollaire, la pollution de l'air en ville est une préoccupation environnementale et économique majeure**

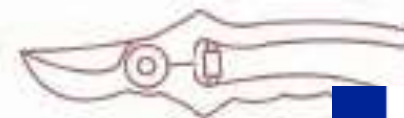
- La lutte contre les émissions de gaz à effet de serre est non seulement un impératif, mais aussi une urgence, selon des approches bien sûr différentes selon les situations du Nord au Sud. Pour rester sous les 2°C en 2100, il faudrait atteindre « zéro émission nette de CO<sub>2</sub> » en 2050, c'est-à-dire un équilibre entre ce qui est émis et ce qui peut être absorbé notamment par les océans et les forêts. L'objectif de rester sous les 2°C en 2100 est extrêmement ambitieux et coûteux.
- Les pays émergents, Chine hier, Inde aujourd'hui, Afrique demain, ont soif d'énergie bon marché mais la pollution galopante (surtout l'air dans les grandes villes) et ses conséquences sur les individus les conduisent à la sagesse en matière de choix de politiques et technologies énergétiques.
- Les ressources en énergie fossile ne vont pas manquer. C'est la conséquence des récentes découvertes d'hydrocarbures non conventionnels mais aussi de l'inflexion de la courbe de demande, sous l'effet des politiques d'efficacité énergétique et de développement des énergies renouvelables.

= > *Le moteur des développements dans le domaine de l'énergie sera la*

### **décarbonation de l'économie.**

= > *En particulier, l'***électrification massive** *à partir de sources décarbonées sera la parade principale à la pollution de l'air dans les villes : cela rendra les villes à la fois plus respirables, saines, climatisées, mais aussi circulantes, communicantes et résilientes.*

## Evolution de la date moyenne des vendanges entre 1974 et 2012 dans un panel de vignobles français

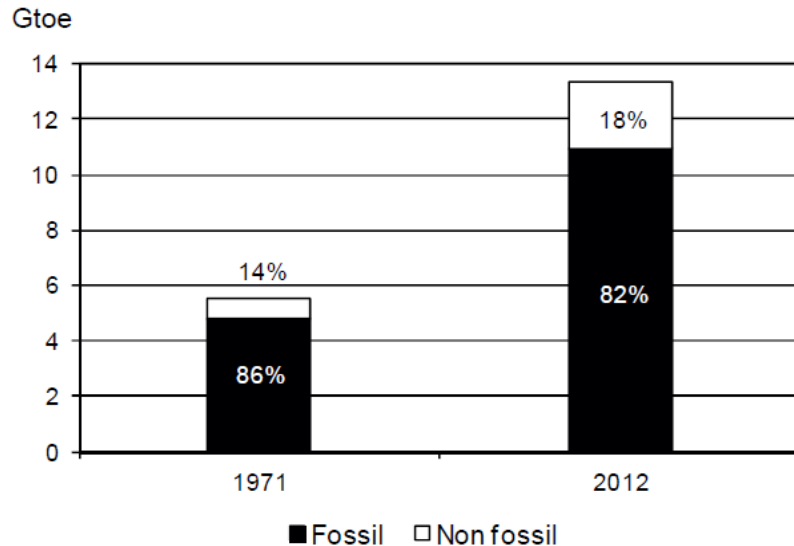


« Le changement climatique existe! Il a d'ailleurs toujours existé et quoi que fasse l'Homme, il existera toujours pour des raisons liées à la physique du système soleil-terre. » (André Berger, UCLouvain, et al., juin 2019

- <https://www.lecho.be/opinions/carte-blanche/la-raison-doit-predominer-dans-la-question-climatique/10134518.html> )

# «The share of fossil fuels within the world primary energy supply is relatively unchanged over the past 41 years» (IEA report 2014)

World primary energy supply\*



\* World primary energy supply includes international bunkers.

*Key point: Fossil fuels still account for most – over 80% – of the world energy supply.*

**Despite the growth of non-fossil energy (such as nuclear and hydropower), considered as non-emitting, \*  
the share of fossil fuels within the world primary energy supply is relatively unchanged over the past 41 years.  
In 2012, fossil sources accounted for 82% of the global TPES.**

\* Excluding the life cycle of all non-emitting sources and excluding combustion of biofuels (considered as non-emitting CO<sub>2</sub>, based on the assumption that the released carbon will be reabsorbed by biomass regrowth, under balanced conditions).

Source : IEA 2014 , “Energy use and greenhouse gases” in 2012 CO<sub>2</sub> Emissions  
[https://www.iea.org/media/statistics/topics/emissions/CO2\\_Emissions\\_Overview.pdf](https://www.iea.org/media/statistics/topics/emissions/CO2_Emissions_Overview.pdf)



Trend in CO<sub>2</sub> emissions from fossil fuel combustion



Source: Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., United States.

*Key point: Since 1870, CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion have risen exponentially.*

**“CO<sub>2</sub> levels in atmosphere rising at dramatically faster rate”, U.N. report warns, but “the share of fossil fuels within the world energy supply is relatively unchanged over the past 41 years”**

NB : 31 years ago, in 1987 => Brundtland Report, also called “Our Common Future”, publication released by the World Commission on Environment and Development (WCED) that introduced the concept of sustainable development and described how it could be achieved. Remember also in 1972, the Club of Rome published “Limits to Growth”, written by a team of researchers from MIT (first document of importance to be published about the ecological limits to economic and demographic growth).

Source : “IEA World Energy Outlook 2017”, Fatih Birol, IEA Executive Director, Agoria event, Brussels, 1 February 2018

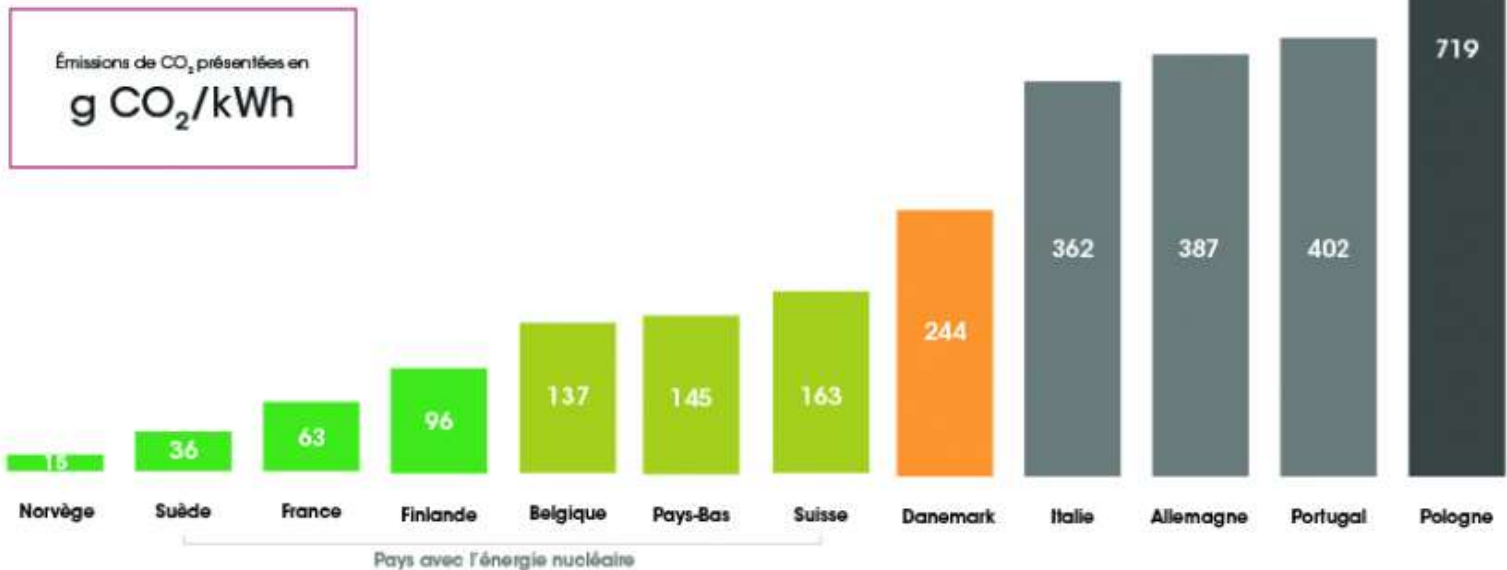


# « Electricity Map » : cartographie de l'impact de l'électricité sur le climat dans le monde selon les différents types de moyens de production d'électricité (2018)



Source : « Electricity Map » | Emissions CO<sub>2</sub> de la consommation électrique en temps réel (gCO<sub>2</sub>eq/kWh)  
“Electricity Map” also shows in real-time where your electricity comes from (namely : nucléaire ; géothermie ; biomasse ; charbon ; éolien ; solaire ; hydro ; stockage hydro ; stockage batterie ; gaz ; fioul) while taking into account imports and exports w.r.t. other countries.

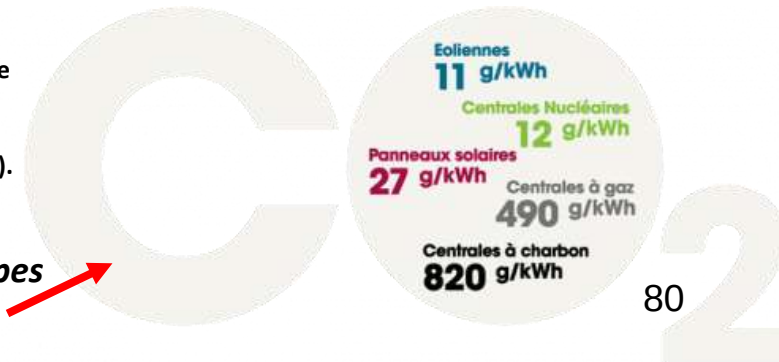
Source: <https://www.electricitymap.org> and <https://www.tmrow.com/>  
(Tomorrow | DK Copenhagen / FR Paris )



L'énergie nucléaire produit en moyenne environ 50 % de l'électricité en Belgique, les énergies solaire et éolienne entre 10 et 15 %. Cette combinaison actuelle d'énergies nucléaire et renouvelables garantit une production d'électricité pauvre en carbone. Avec notre mix énergétique actuel, la Belgique est bien partie pour réaliser les objectifs climatiques (comme en France, Finlande et Suède).

- <https://www.forumnucleaire.be/la-production-delelectricite-et-les-emissions-de-co2-en-belgique>

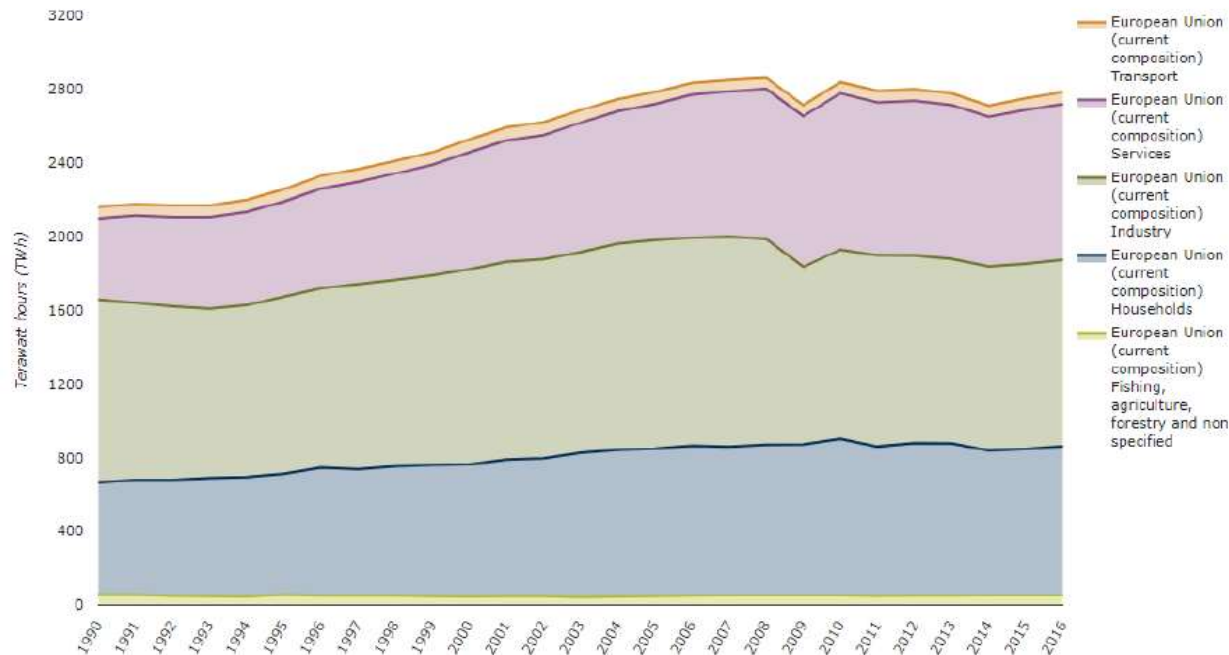
*Emissions de CO<sub>2</sub> par kWh produits par différents types de moyens de production d'électricité. Source: GIEC*



# Decarbonisation of the energy system by 2050 (EU Energy Roadmap 2050)

=> electricity more than doubling its share in final energy demand

Chart — Final energy consumption of electricity by sector



**Projection until 2050**

**“Electricity will play a central role in the low carbon economy”**

= >What really matters is the final use.

**With the advent of e-mobility from 2025, most primary energy will be converted into electricity 50 - 60 % (FIAT Group)**

**EU 1990 – 2016 : Final energy consumption in TWh of electricity by sector (top down : transport, services, industry, households, agriculture)**

**NB : Final electricity consumption is the total electricity consumption of the final energy demand sectors. Source : European Environment Agency (EEA) - <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/overview-of-the-electricity-production-2/assessment-4>**

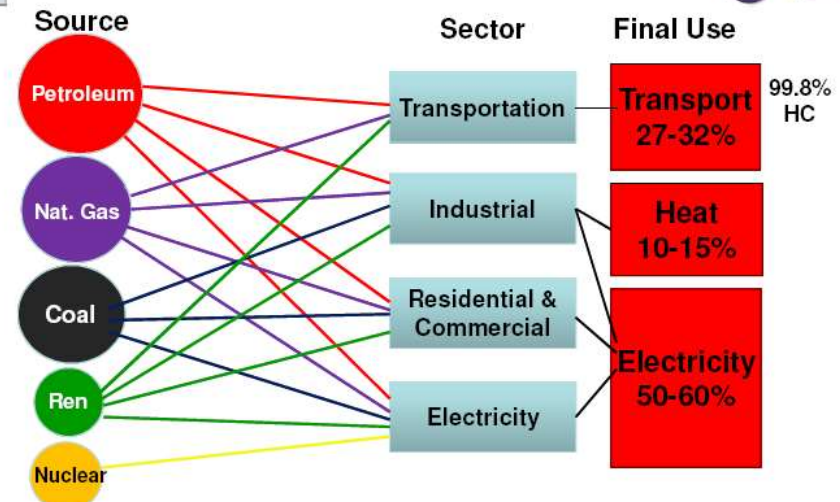
**Today in the EU, the share of electricity in final energy demand is circa 21 %**

Source: Electromobility WG in ARTEMIS Joint Undertaking  
("Advanced Research & Technology for Embedded Intelligence and Systems")

- <http://www.artemis-ia.eu/project/index/view?project=49>

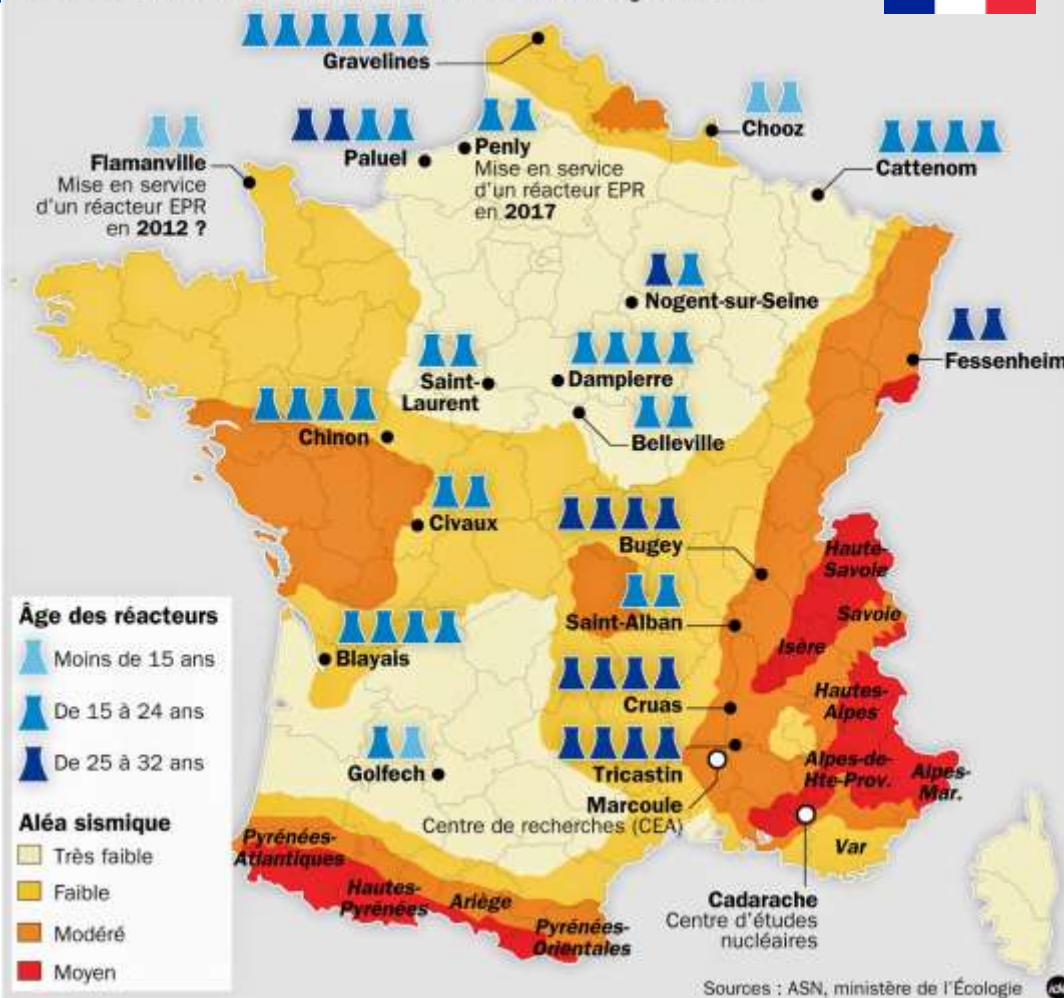


## Primary Energy and Transports



# How to keep the supply system stable and affordable with the rapid expansion of intermittent renewable energy sources ? (1/6)

## Les centrales nucléaires françaises



### For France, it's Nuclear, Nuclear, Nuclear

- France has 58 nuclear reactors operated by EdF, with a total capacity of 63.2 GWe, supplying 403 TWh of electricity in 2016.
- France derives about 72 % of its electricity from nuclear energy, due to a long-standing policy based on energy security. This share may be reduced to 50% by 2025.
- France is the world's second largest nuclear power producer, with an average availability rate amounting about 79.5 % (top ten between 91 and 99.5%).
- France is the world's largest net exporter of electricity due to its very low cost of generation, and gains over € 3 billion per year from this.
- The country has been very active in developing nuclear technology. Reactors and especially fuel products and services have been a significant export.
- About 17% of France's electricity is from recycled nuclear fuel.

Source: World Nuclear Association (regularly updated)  
<http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/france.aspx>

Voir également: « Les 7 conséquences de la politique énergétique allemande », Forum Nucléaire Belge, Bruxelles, séminaire 12 mai 2015  
<https://www.forumnuclaire.be/theme/lenergie-nucleaire-dans-le-monde/allemande-energiawende>

In 2016 electricity production in France was 556 TWh (gross), and of this nuclear provided 403 TWh (72%), hydro 65 TWh (12%), coal and gas 45 TWh (8%), and solar and wind 31 TWh.

After net exports of 42 TWh, total electricity consumption came to 442 TWh, about 6,600 kWh per capita on average.

Installed capacity at the end of 2016 was 131 GWe.

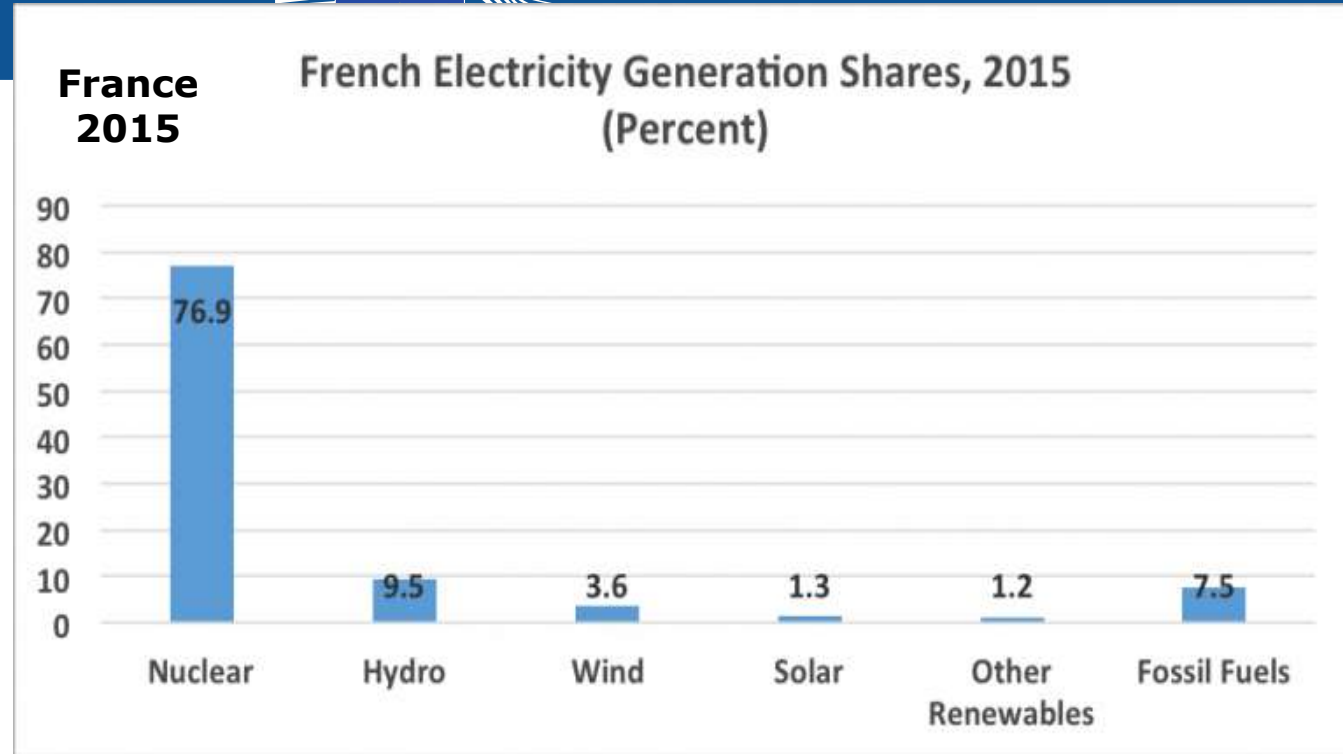


# How to keep the supply system stable and affordable with the rapid expansion of intermittent renewable energy sources ? (2/6)



**France through nuclear**

**and Germany through coal**



Note: Other renewables are geothermal, biomass, and other

« **Malgré des investissements énormes dans les renouvelables, seulement 46 % de l'électricité allemande sont issus de sources d'énergie propre, à comparer aux 93 % de la France** ».

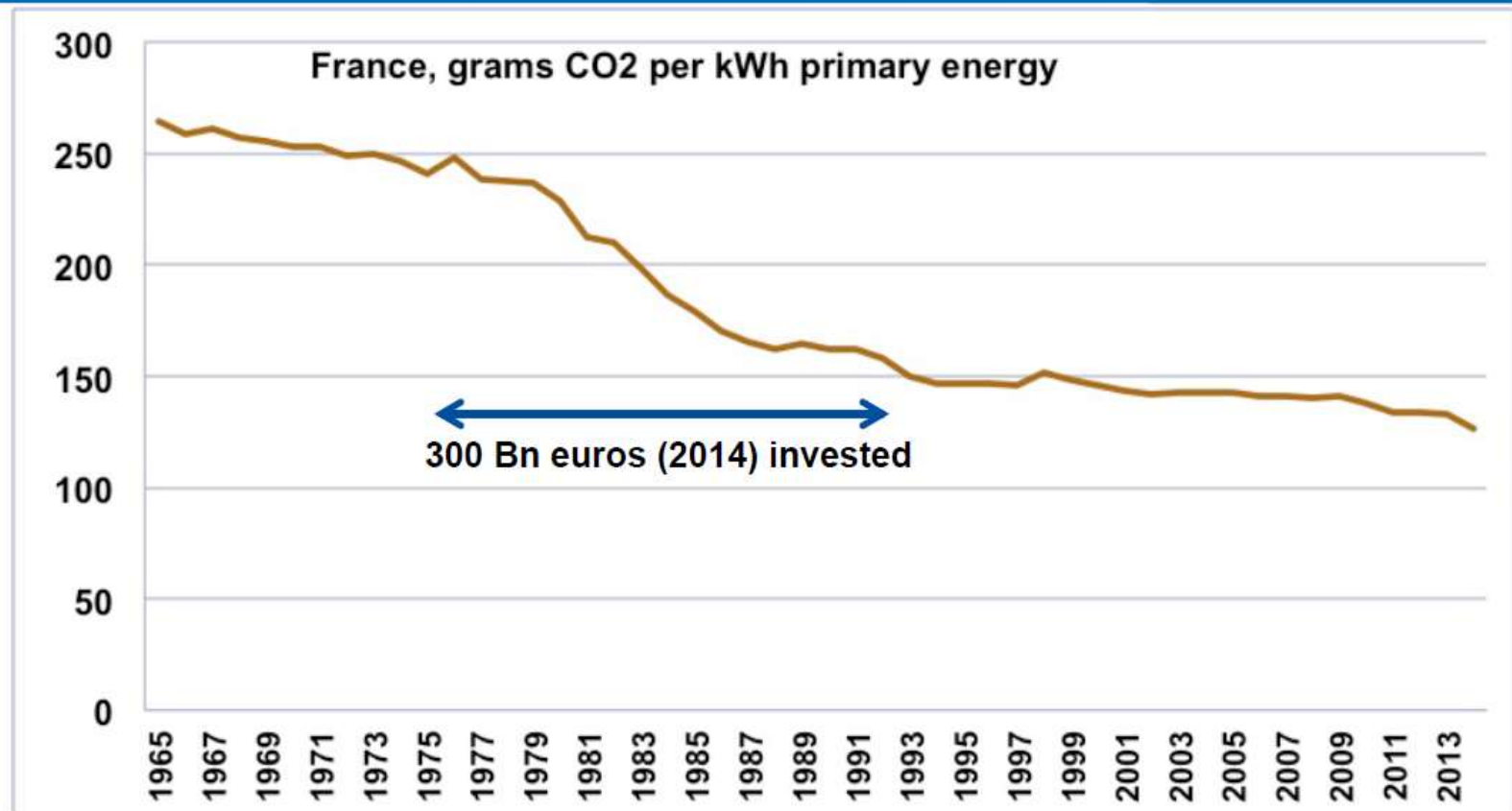
Coal is not going away in France and Germany as both countries need it to keep the lights on when nuclear units in France are down for inspection and as Germany's energy transition brings in intermittent renewable energy to replace its retiring nuclear units.

Source: BP Statistical Review, <http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>

# How to make the energy supply system “sustainable” ? (3/6)

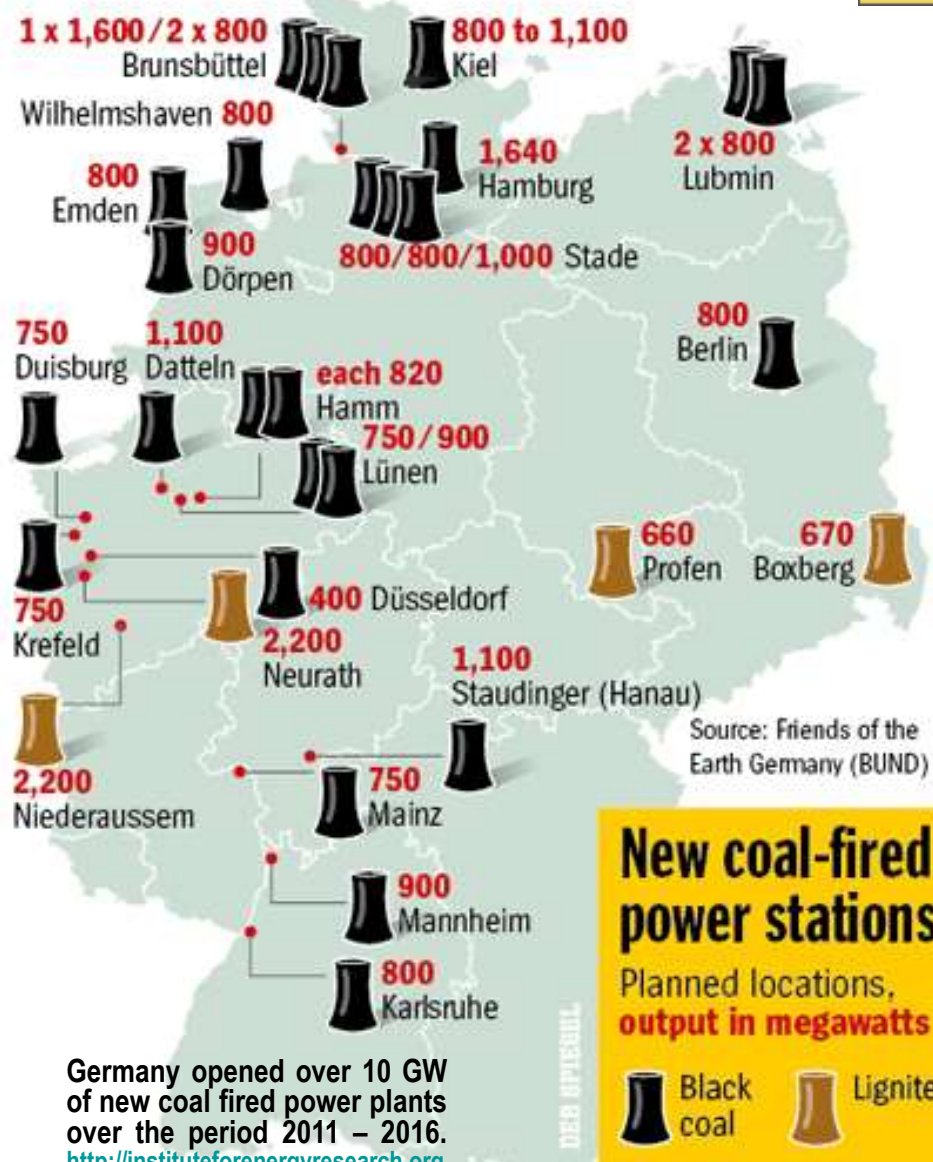
History : French (1975 – 1995) vs German (1995 – 2015) policies

I spend 300 billion € to decrease CO<sub>2</sub> emissions: 2<sup>nd</sup> option



CO<sub>2</sub> emissions per kWh of primary energy in France. Jancovici, on data from BP Statistical Review

# How to keep the supply system stable and affordable with the rapid expansion of intermittent renewable energy sources ? (4/6)



Germany opened over 10 GW of new coal fired power plants over the period 2011 – 2016.

<http://instituteenergyresearch.org/analysis/france-germany-turn-coal/>

## For Germany, it's Coal, Coal, Coal

"Germany's energy transition has also been a transition to coal:

*Despite multi-billion subsidies for renewable energy sources, power generation from brown coal (lignite) has climbed to its highest level in Germany since 1990.*

*It is especially coal-fired power plants that are replacing the eight nuclear power plants that were shut down, while less CO<sub>2</sub>-intensive, but more expensive gas-fired power plants are currently barely competitive.*

*Energy expert Patrick Graichen speaks of Germany's "energy transition paradox": the development of solar and wind farms, yet rising carbon dioxide-emissions."*

(Die Welt, January 2014).

Source: « REAL CLEAR Energy » news, Jan 16, 2014  
([http://www.realclearenergy.org/charticles/2014/01/16/germanys\\_plans\\_for\\_new\\_coal\\_plants\\_107463.html#.Utlp27WUXJ8.twitter](http://www.realclearenergy.org/charticles/2014/01/16/germanys_plans_for_new_coal_plants_107463.html#.Utlp27WUXJ8.twitter))

Germany's electricity production in 2016 was 648 TWh, with demand of 595 TWh and net export of 54 TWh. Of the total generation, lignite provided 150 TWh (24 %), hard coal 112 TWh (18 %), nuclear 85 TWh (14 %), gas 81 TWh (13 %), onshore wind 65 TWh (11 %), offshore wind 12 TWh (2 %), biomass 46 TWh (7.5 %), solar PV 38 TWh (6 %), hydro 21 TWh (3.5 %), and household waste 6 TWh (1 %).  
(AG Energiebilanzen figures)

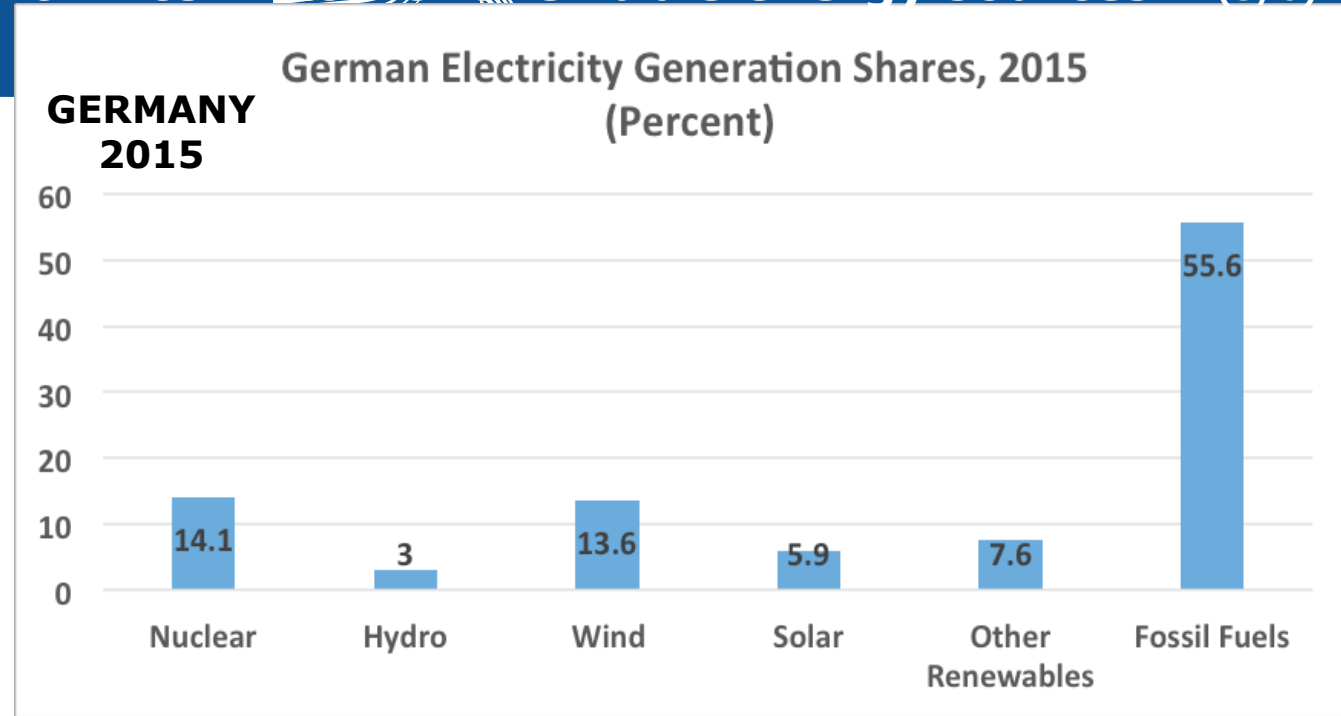


# How to keep the supply system stable and affordable with the rapid expansion of intermittent renewable energy sources ? (5/6)



**France through  
nuclear**

**and Germany  
through coal**



**Note: Other renewables are geothermal, biomass, and other**

While Germany gets 27.3 percent of its generation from non-hydroelectric renewable energy, it is also heavily dependent on coal and natural gas for base-load power and to back up its intermittent wind and solar power, generating over 50 percent of its power from fossil fuels. (See chart above.)

Germany has over 20 gigawatts of lignite-fired electric generating capacity operating as of the beginning of 2015, generating about 25 percent of its electricity last year. It is Europe's most abundant and least-expensive domestic fuel, especially when located close to power plants. Germany also uses hard coal, which generated about 18 percent of its electricity

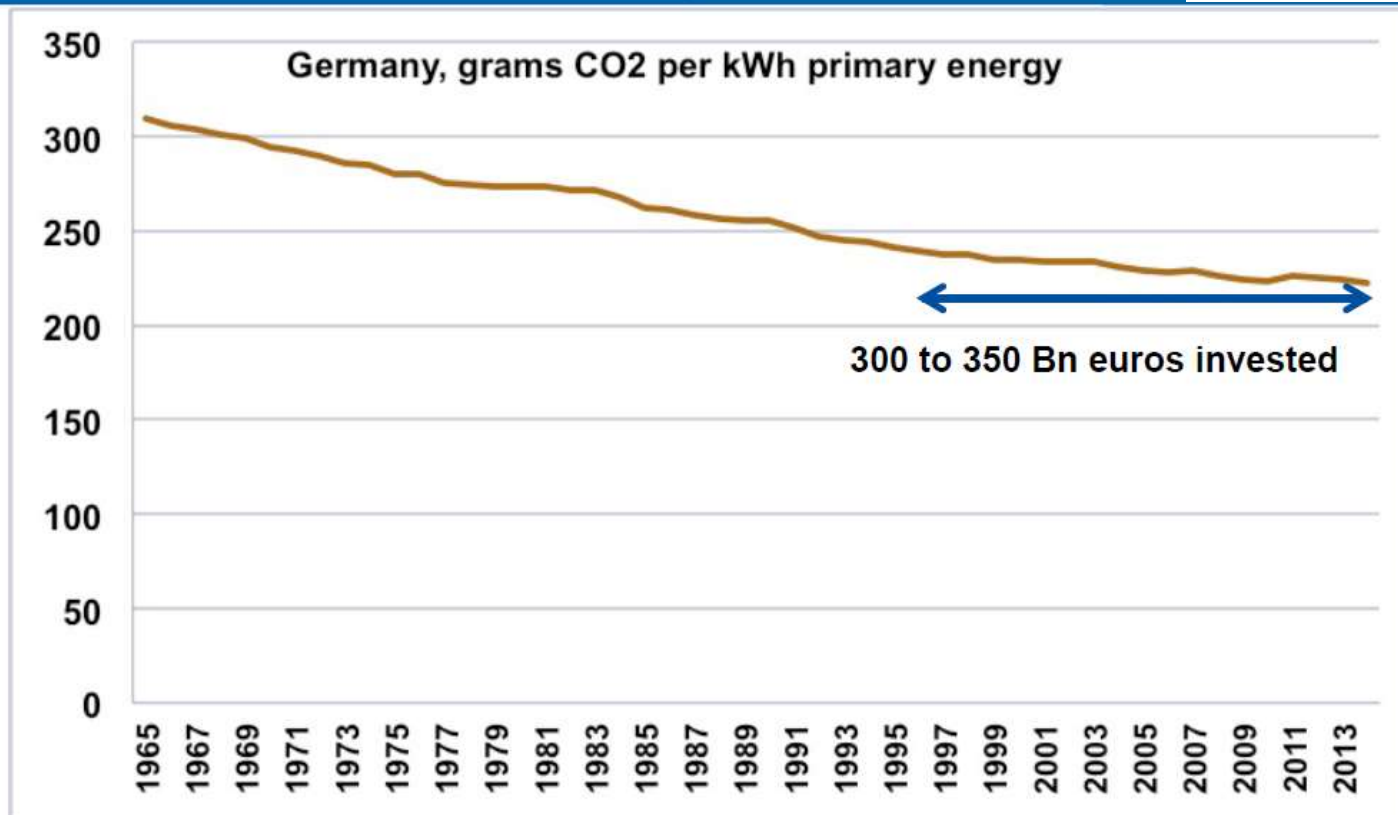
# How to make the energy supply system “sustainable” ? (6/6)

History : French (1975 – 1995) vs German (1995 – 2015) policies



I spend 300 billion € to decrease CO<sub>2</sub> emissions: 1<sup>st</sup> option

NUCLEAR



CO<sub>2</sub> emissions per kWh of primary energy in Germany. Jancovici, on data from BP Statistical Review

# Belgium - Energy System Overview 2016 (IEA) <sup>1/5</sup>

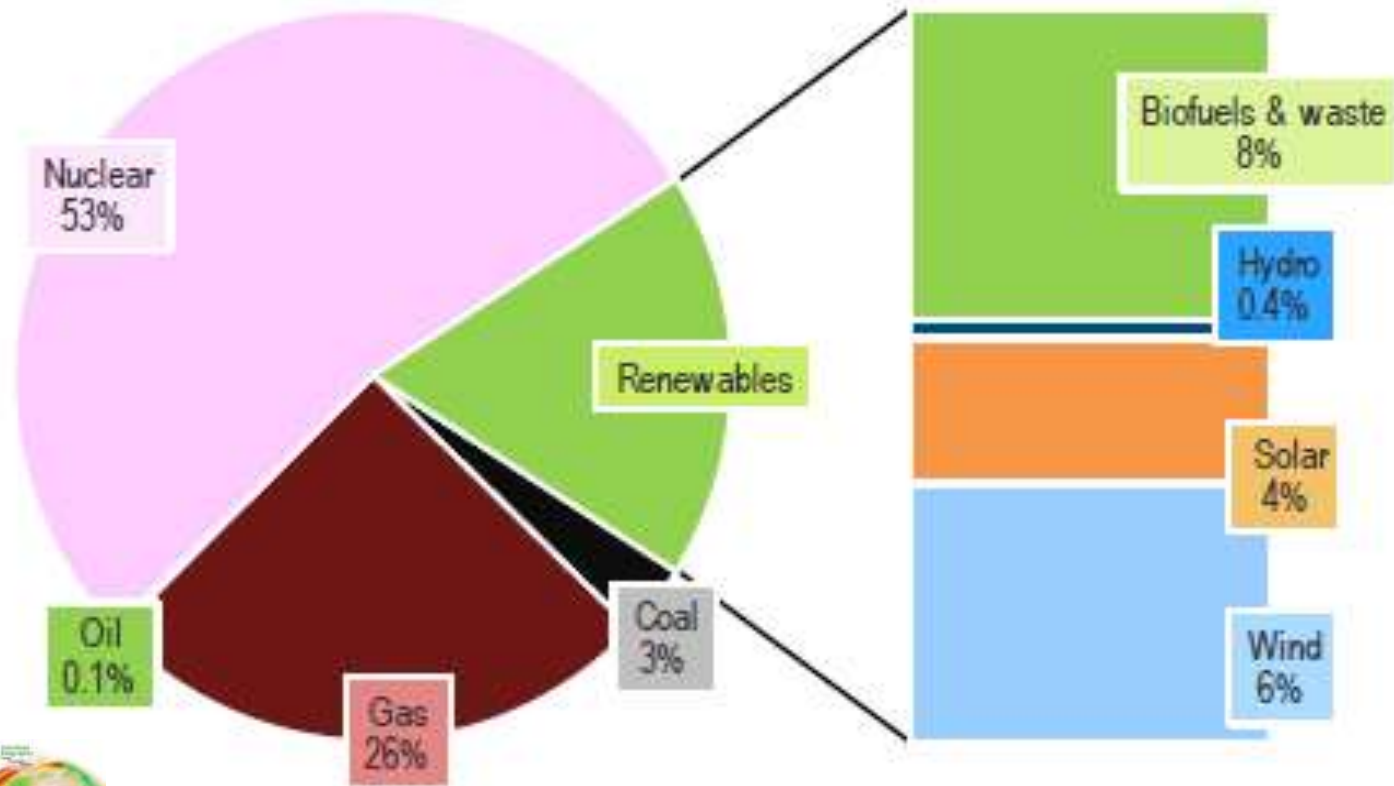
ELECTRICITY GENERATION: 82 TWh

18% renewables (IEA average: 24%) and 53 % nuclear



Moyens possibles pour obtenir le niveau voulu de sécurité d'approvisionnement (BfP) (sans nucléaire et sans fossiles !)

- développement de la production renouvelable
- promotion de la « demand response » (smart grids, smart meters, etc)
- promotion du stockage (couplé avec une production renouvelable)
- collaboration transfrontalière (capacité d'importation)
- promotion des mesures d'efficacité énergétique
- mécanisme de rémunération de la capacité ( CRM / = OCGT et CCGT au gaz ! ) en remplacement de la réserve stratégique.



= > Total primary energy consumption (TPES) in Belgium is 657 TWh, part of which (82 TWh) is converted into electricity (= > ratio elec/TPES = 12.5 %)

Source : "Belgium - Energy System Overview 2016", International Energy Agency (IEA, Paris, France)

- [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Energy\\_Policies\\_of\\_IEA\\_Countries\\_Belgium\\_2016\\_Review.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Energy_Policies_of_IEA_Countries_Belgium_2016_Review.pdf)

- <https://www.iea.org/media/countries/Belgium.pdf>

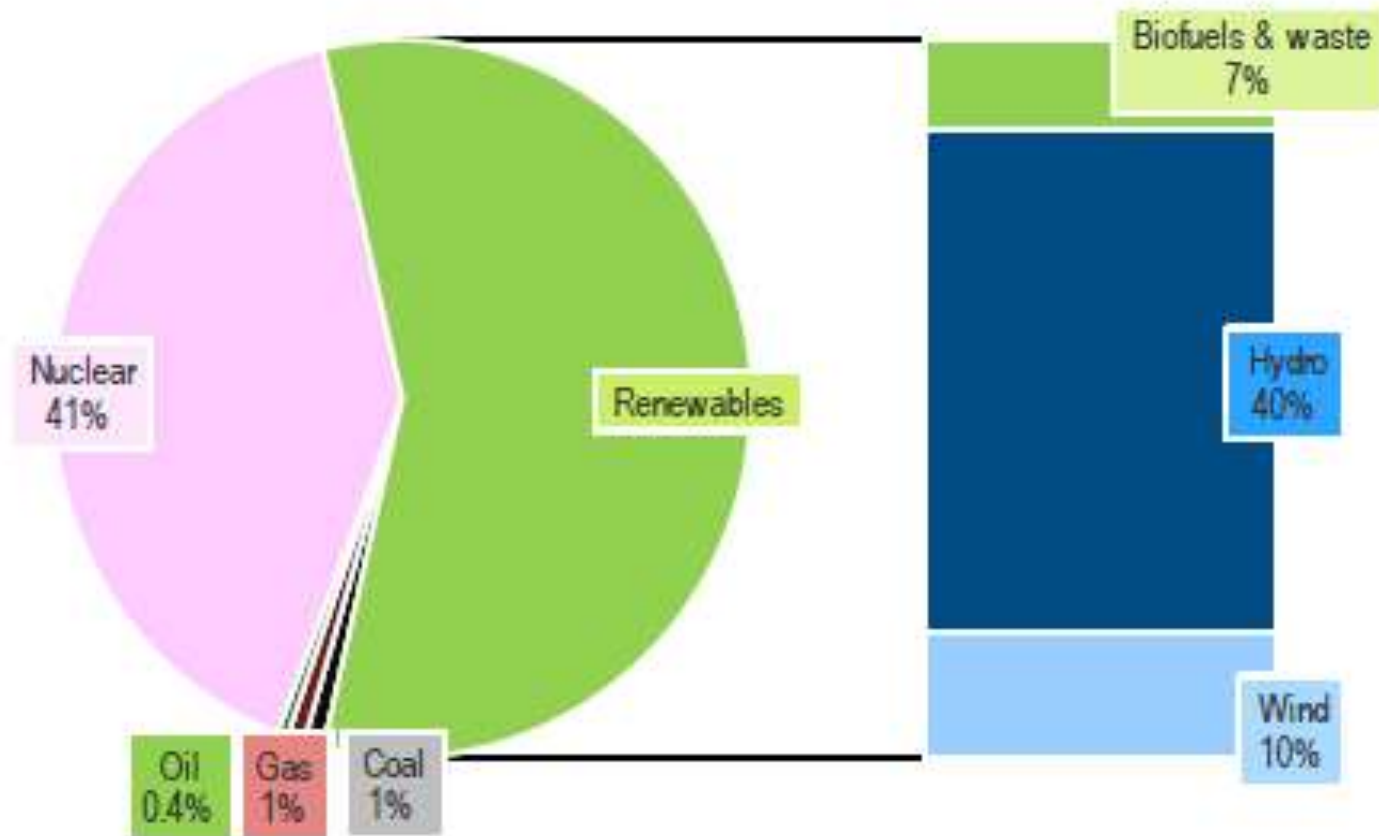


# Sweden - Energy System Overview 2016 (IEA) <sup>2/5</sup>



**ELECTRICITY GENERATION: 154.8 TWh**

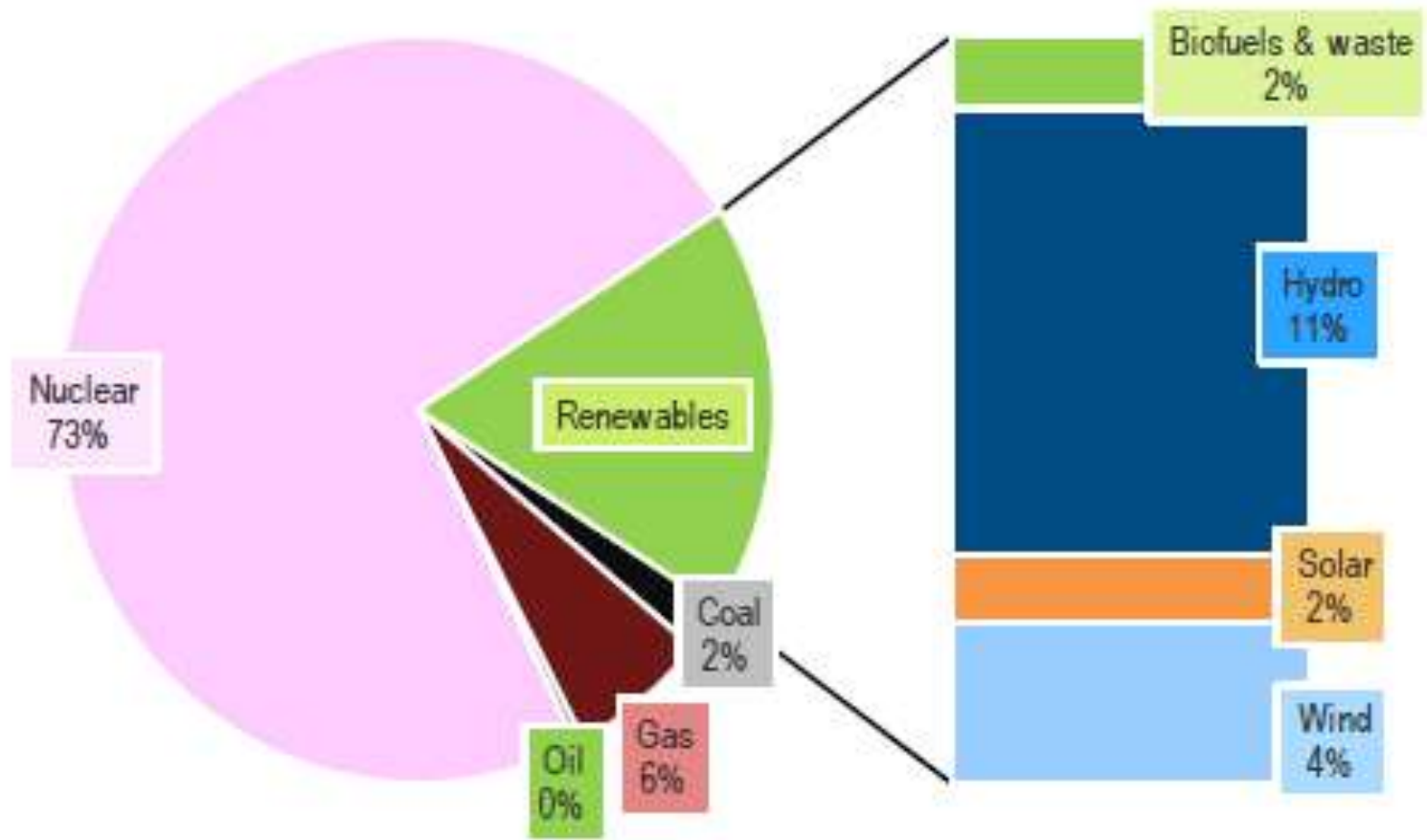
57% renewables (IEA average: 24%) and 41% nuclear



7 oct. 2015 - The Prime Minister of Sweden has announced that his country will work towards becoming "one of the first fossil fuel-free welfare states in the world," in a speech to the UN General Assembly. A goal of deriving 100 percent of the nation's electricity from "renewable sources" by 2040 does not exclude nuclear energy ("red-green coalition").

**ELECTRICITY GENERATION: 549.6 TWh**

**18% renewables (IEA average: 24%) and 73 % nuclear**



Source : IEA, "France - Energy System Overview 2016"

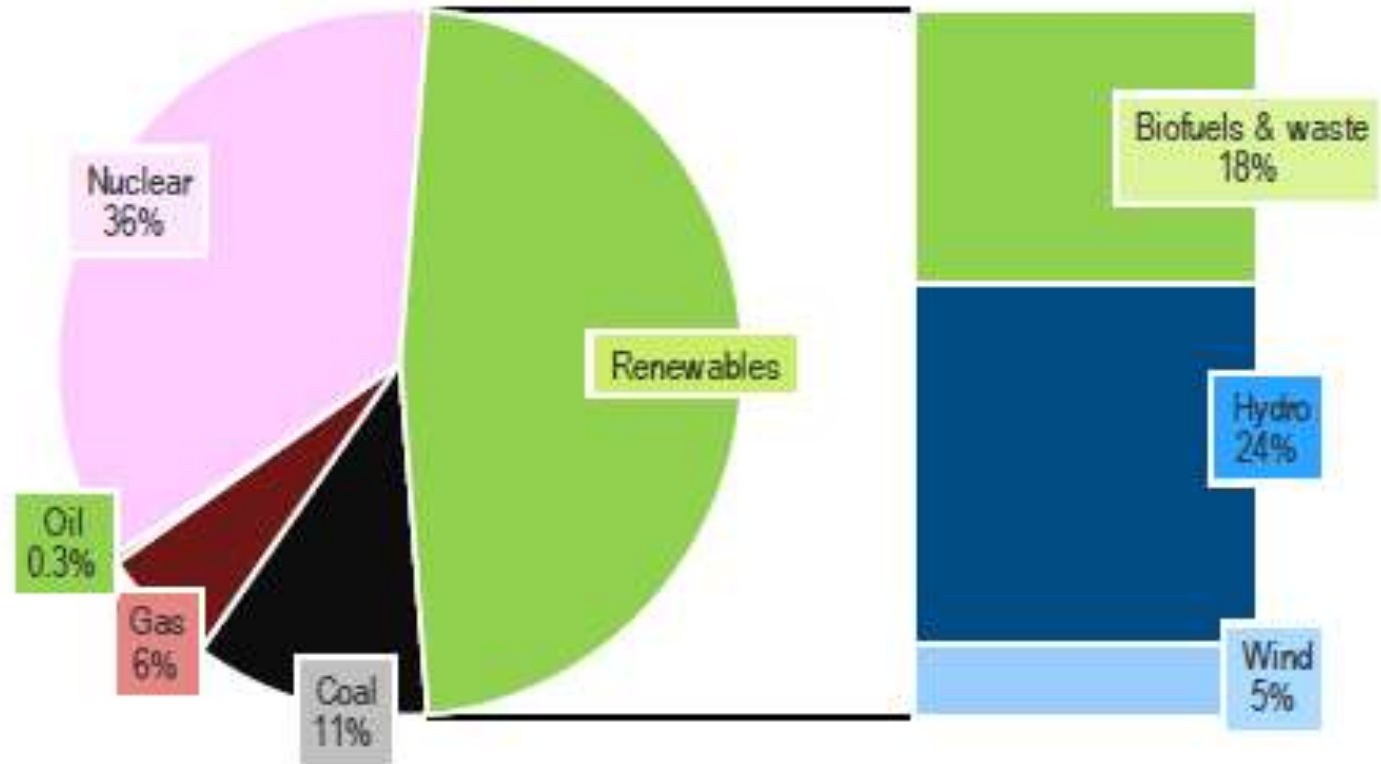
- <https://webstore.iea.org/energy-policies-of-iaa-countries-france-2016-review>
- <https://www.iea.org/media/countries/France.pdf>





**ELECTRICITY GENERATION: 68.6 TWh**

45% renewables (IEA average: 24%) and 36 % nuclear



In 2016, 47 per cent of Finland's electric power came from renewables, with 36 per cent coming from nuclear power. More than 3/4 of the renewable energy comes from sustainable forestry and is produced in CHP plants.

Source : IEA, Finland - "Energy System Overview 2016

- Finland 2018 IEA review" in "Connaissance des Energies" website -

[https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/situation\\_energetique\\_de\\_la\\_finlande.pdf](https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/situation_energetique_de_la_finlande.pdf)

and <https://www.iea.org/media/countries/Finland.pdf>

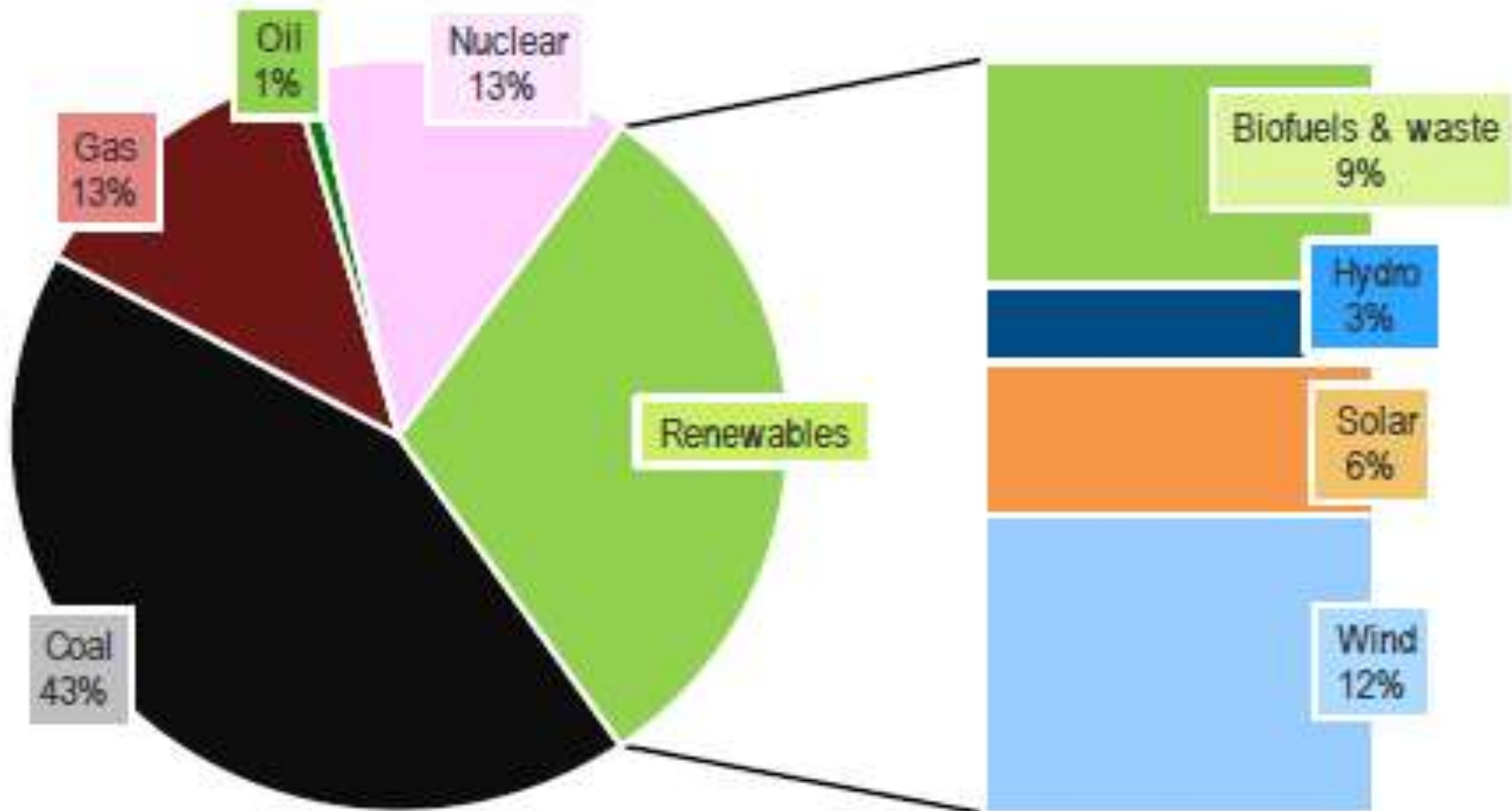
Buried deep under an island in the Baltic, the world's first permanent nuclear-waste repository is nearing completion (operations to begin in 2023). Construction licence for final disposal facility ("Onkalo") of spent nuclear fuel was granted in November 2015 at the site of the Olkiluoto NPPs. Source : « En Finlande, le premier cimetière de déchets radioactifs au monde », Le Monde, 27 décembre 2017 – extrait : « La pire option serait de ne rien faire et de laisser les combustibles usés à la surface » Greenpeace Finlande [https://www.lemonde.fr/energies/article/2017/12/27/en-finlande-le-premier-cimetiere-de-dechets-radioactifs-au-monde\\_5234897\\_1653054.html](https://www.lemonde.fr/energies/article/2017/12/27/en-finlande-le-premier-cimetiere-de-dechets-radioactifs-au-monde_5234897_1653054.html)





**ELECTRICITY GENERATION: 642.9 TWh**

31% renewables (IEA average: 24%) and 56 % fossile fuels

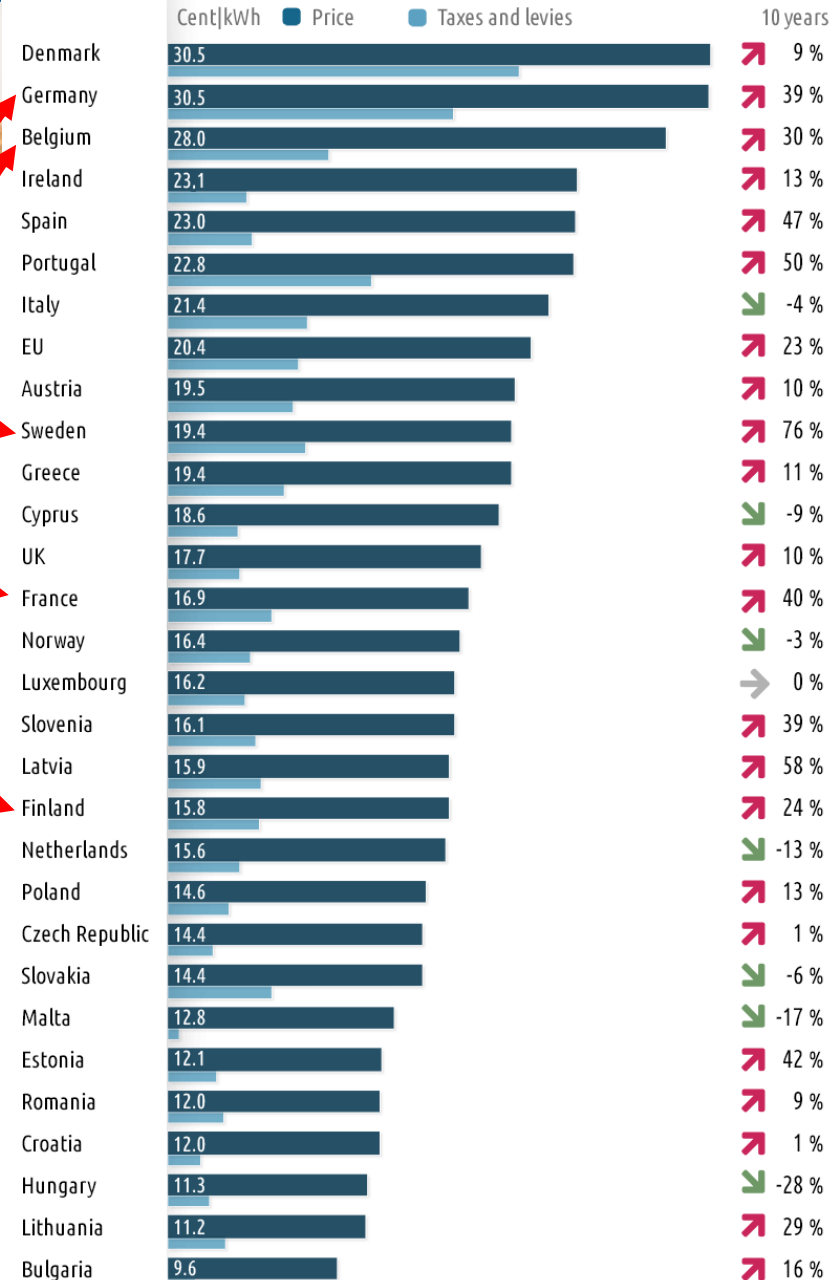


# Electricity price in kWh per country in Europe, January 2018



## ELECTRICITY PRICES IN EUROPE 2017

Electricity prices for household consumers including all taxes and levies



The energy prices in the EU depend on a range of factors, including taxation, network charges or environmental protection costs. Taxes and levies make the biggest difference.

Residential electricity rates are taxed at an average of 37%. These values vary greatly from one country to another, with rates as high as 67% in Denmark and 55% in Germany. (EUROSTAT 2018)

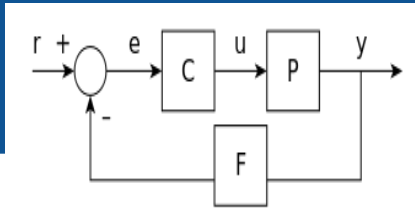
### German electricity price – cost of electricity in Germany

More than half of the power price for household consumers and small businesses in Germany consists of components determined by the state. These include charges for using power grids [25.6 %], levies for financing investment in renewable energy [23.6 %] and for other kinds of taxes [eg. GST 16%].

### Renewable energy surcharge (EEG-Umlage 23.6 %)

The renewable energy levy to finance green power investment is added to Germans' electricity unit price. The surcharge pays the state-guaranteed price for renewable energy to producers and is 6.88 cents per kWh in 2017. A further increase for 2018 seems likely.

<https://1-stromvergleich.com/electricity-prices-europe/>



## **Garantir l'accès de tous aux services énergétiques**

- 1 – Brève histoire : du feu primitif à l'électricité**
- 2 – Le cap : un mix équilibré (renouvelables, fossiles, nucléaire)**
- 3 – Invariants (sciences de la nature) et contraintes (EU Triangle)**
- 4 - Faits et chiffres : démographie, climat, politiques énergétiques**
- 5 - Défis technologiques et humains**  
**(incertitudes) : stockage, etc**
- 6 – Conclusion : recherche, innovation et formation**

**\* Responsibility for the information and views set out in this conference lies entirely with the author \***

**\* Reproduction of the texts of this conference is authorised provided the source is acknowledged \***



# Energy, a primary driver for human development and “Energy – Water – Food” nexus



## The multiplier effect of energy access - Energy as an enabler

**Energy is an enabler to foster economic development, create jobs, facilitate education and health services, empower women, ensure food production and water supply and perform many other actions required for overall development of societies. The relationship of energy with “Human Development Index” (HDI) is well known and established.**



The Nexus approach highlights the interdependencies between achieving water, energy and food security for human well-being, e. g. basics services and economic development, while ensuring ecologically sustainable use of globally essential resources.

It is based on an understanding of the synergies and regulated negotiation of fair trade-offs between competing uses of water, land and energy-related resources.

## **The Energy-Water Nexus**

- Household Water
- Energy for Water vs Water for Energy
- Desalination

<https://dothemath.ucsd.edu/2012/10/the-energy-water-nexus/#more-1242>

# Trois grands domaines d'incertitudes 1/3

## la « grande transition » : vers la 4-ème révolution industrielle ?



### (5.1) La « grande transition » : convergence d'un développement technologique accéléré et d'une révolution digitale irréversible

● Actuellement, les énergies « vertes » ont beau se développer très rapidement, 85.5 % de l'énergie mondiale est encore produite par les énergies fossiles. De plus, les cours des combustibles fossiles fluctuent de façon imprévisible. A l'échelle mondiale en 2016, le solaire et l'éolien représentent 2 % de la consommation primaire totale, contre 1 % pour la biomasse et la valorisation des déchets, 4.5 % pour le nucléaire et 7 % pour l'hydraulique (BP statistics 2016).

***NB: « A Clean Planet for all » (EU 2018): share of renewable energy: target of 32.5 % by 2030 (binding at the EU level)***  
***Key question => where will the remaining 67.5 % of energy come from ?***



● Dans les cités émergentes, la révolution digitale accompagnera partout l'électrification. Production et consommation électriques seront harmonisées par des logiciels puissants, mis en œuvre dès la conception des infrastructures et des bâtiments, capables de piloter ensuite globalement l'efficacité énergétique de grandes agglomérations (« réseaux intelligents »).

***= > 4-rth industrial revolution : towards integrated energy, transport and ICT systems ?***  
***(strong links between energy production, distribution and use; mobility and transport; and information and communication technologies (ICT))***

# Renewables have “grid priority”, meaning the grid ~~must~~ take their electricity first



## “ European utilities - How to lose half a trillion euros : Europe’s electricity providers face an existential threat ”

On June 16<sup>th</sup>, 2013 something very peculiar happened in Germany’s electricity market. The wholesale price of electricity fell to minus €100 per megawatt hour (MWh). That is, generating companies were having to pay the managers of the grid to take their electricity. It was a bright, breezy Sunday. Demand was low. Between 2pm and 3pm, solar and wind generators produced 28.9 gigawatts (GW) of power, more than half the total. The grid at that time could not cope with more than 45 GW without becoming unstable. At the peak, total generation was over 51 GW; so prices went negative to encourage cutbacks and protect the grid from overloading.

Oct 12th 2013 | The Economist

<http://www.economist.com/news/briefing/21587782-europes-electricity-providers-face-existential-threat-how-lose-half-trillion-euros>



# Climate change and energy in the EU

(for the EU-28 in 2017)



2020 target:  
- 20 %



2020 target:  
20 %

## Greenhouse gas emissions

**78.3** index 1990 = 100

(- 12.4 index points since 2008)

## Share of renewable energy

**17.5 %** in gross final energy consumption

(+ 6.2 pp since 2008)



2020 target:  
1 483 Mtoe



2020 target:  
1 086 Mtoe

## Primary energy consumption

**1 562** Mtoe

(- 8.0 % since 2008)

## Final energy consumption

**1 123** Mtoe

(- 4.9 % since 2008)

### EU : Renewable energy on the rise - Renewable energy keeps growing steadily

The Europe 2020 strategy's second climate change and energy target has the objective of renewable energy reaching a 20 % share of gross final energy consumption by 2020. Gross final energy consumption comprises the energy supplied to final consumers for all energy uses and the consumption of electricity and heat by the energy sector for electricity and heat production, including losses of electricity and heat in distribution and transmission.

Between 2004 and 2017, the share of renewable energy intensity more than doubled, reaching 17.5 % of gross final energy consumption in 2017 (see Figure 4). The main drivers of this increase were rapid developments in technology, the implementation of support schemes for renewable energy technology and the falling costs of renewable energy systems.

# Cadre UE pour le climat et l'énergie à l'horizon 2020 (EU's 20-20-20 goals)

## The EU is on track to achieving its GHG emission reduction target for 2020.

Reducing GHG emissions is a central objective of the Europe 2020 strategy. The EU as a whole aims to reduce emissions by 20 % compared with 1990 levels (including international aviation and indirect CO2 emissions).

By 2017, the EU as a whole had cut GHG emissions by 21.7 % compared with 1990 levels (see Figure).

The main policy instruments to achieve this target are the EU Emissions Trading System (EU ETS) and the Effort Sharing Decision (ESD).

The decline in GHG emissions observed between 2010 and 2014 can be attributed to three main factors: improvement in the energy intensity of the EU economy, rapid development of renewable energy sources and the aftermath of the economic slowdown.

NB - All sectors except transport have lowered emissions since 1990. All sectors except fuel combustion in transport and international aviation contributed to the overall reduction in GHG emissions from 1990 to 2017.

Source : Eurostat - Europe 2020 indicators - climate change and energy – August 2019

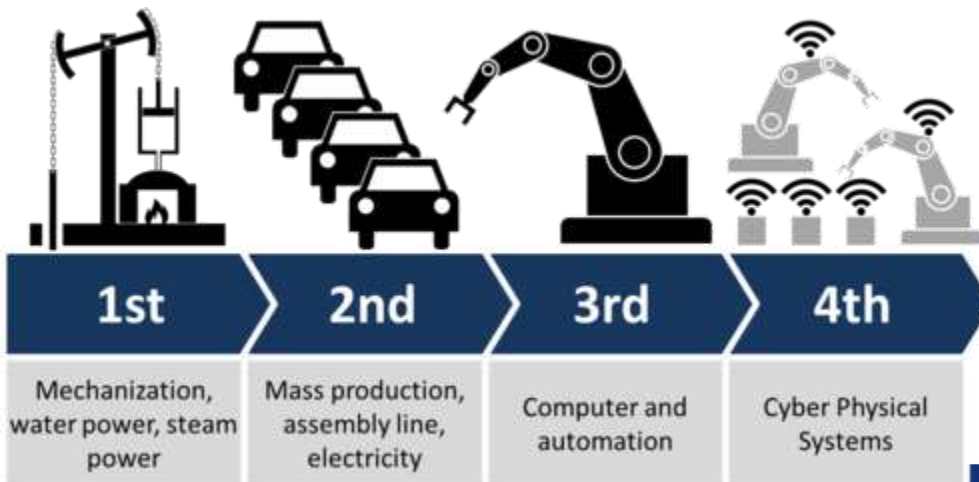
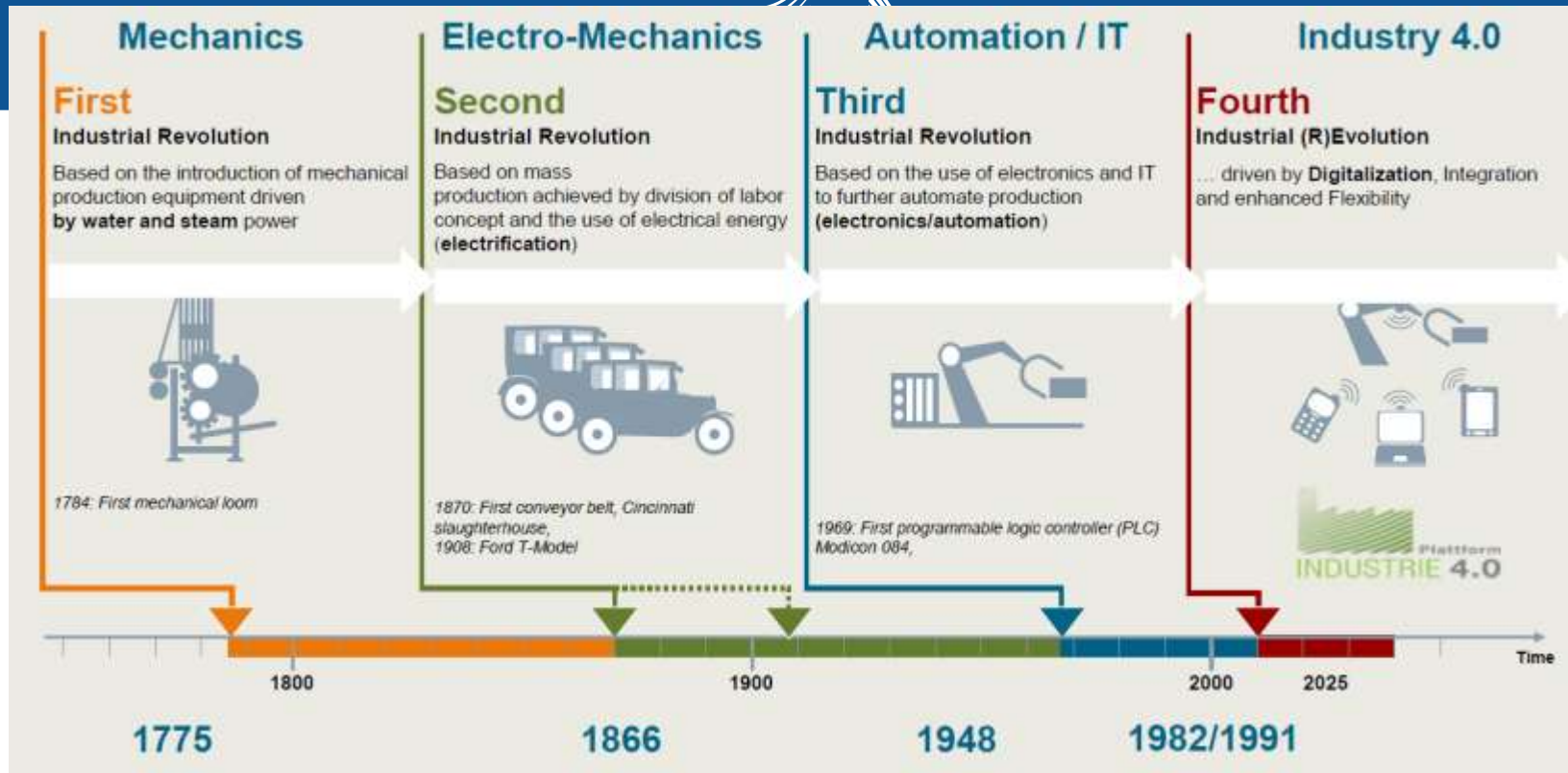
[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Europe\\_2020\\_indicators\\_-\\_climate\\_change\\_and\\_energy#The\\_EU\\_is\\_on\\_track\\_to\\_achieving\\_its\\_GHG\\_emission\\_reduction\\_target\\_for\\_2020](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Europe_2020_indicators_-_climate_change_and_energy#The_EU_is_on_track_to_achieving_its_GHG_emission_reduction_target_for_2020)

## The EU needs to further pursue energy efficiency improvements

Delivering the same service or product by using less energy is one of the most cost-effective ways of reducing GHG emissions and enhancing energy security.

The Europe 2020 strategy has a target to increase energy efficiency by 20 %. In absolute terms this means that by 2020 EU energy consumption should not exceed 1 483 Mtoe of primary energy or 1 086 Mtoe of final energy. The EU efficiency target is measured as a 20 % saving compared with projected primary energy consumption (PEC) in 2020.

# Towards Fourth Industrial Revolution : « Industry 4.0 »



industrial revolution no 1 (= mechanics)  
 => no 2 (= electro-mechanics)  
 => no 3 (= automation)  
 => no 4 (= digitalisation, integration and enhanced flexibility)

# Trois grands domaines d'incertitudes 2/3

## Le stockage de l'énergie (le « chaînon manquant ») ?



### (5.2) Le stockage de l'énergie, le « chaînon manquant de la transition énergétique » vers une économie sobre en carbone

Le stockage massif et bon marché de l'électricité, y compris sur une période annuelle, sera-t-il une réalité commerciale ?

Il s'agit du Saint Graal de l'énergie, celui que convoitent toutes les sources d'énergie primaire.

En effet, l'électricité peut toujours être produite sans émission de CO2, mais l'offre comme la demande d'électricité seront de plus en plus variables et le stockage permet d'éviter des investissements de surcapacité ruineux en production et transport d'électricité.

#### La gestion de la demande de puissance électrique - piloter la consommation d'électricité

**Modern demand response could provide another solution (or a complement) to storage technologies aiming at managing the modern grid. Demand-side management, user participation and demand flexibility are increasingly important in the era of the digitally enabled grid.**

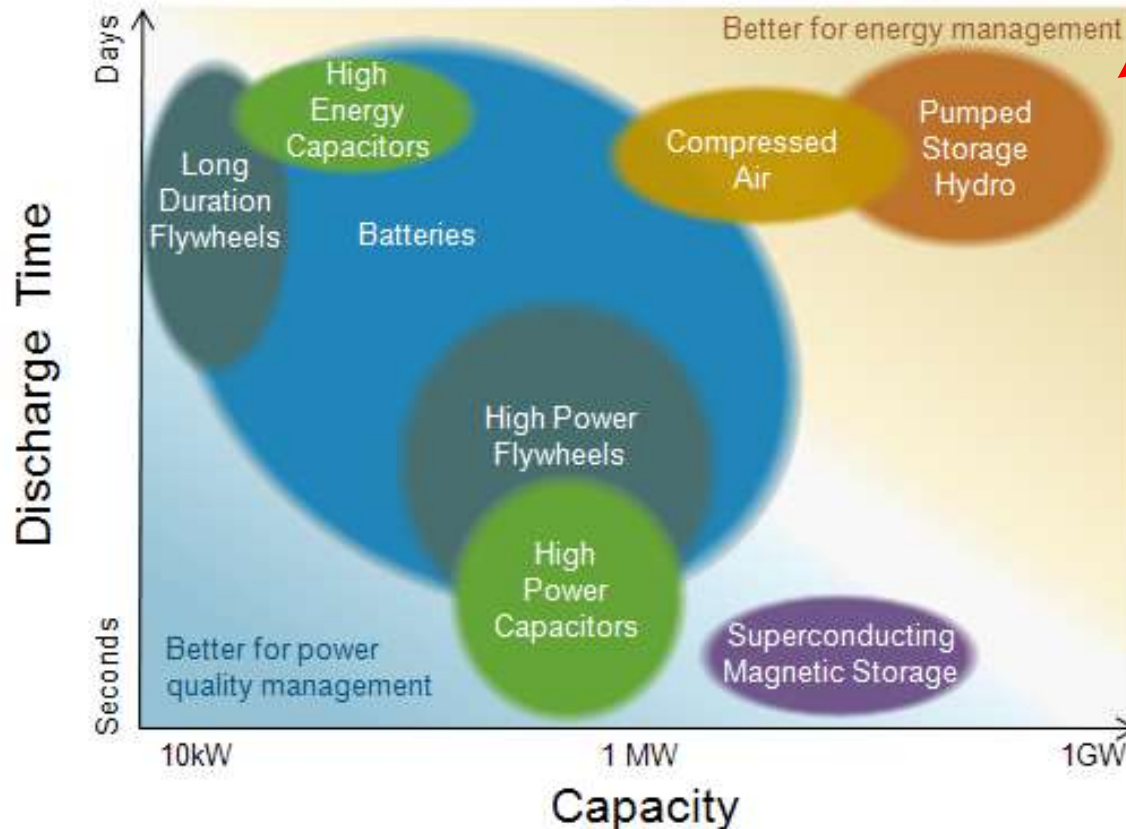
#### What is demand response ?

*According to the United States of America's Federal Energy Regulatory Commission, demand response (DR) is defined as: "Changes in electric usage by demand-side resources from their normal consumption patterns in response to changes in the price of electricity over time, or to incentive payments designed to induce lower electricity use at times of high wholesale market prices or when system reliability is jeopardized." Source: <http://www.ferc.gov/>*



# Electricity storage in the power sector: the missing link to renewable energy

## Electricity Storage Technologies



### Challenges of Renewable Energy Intermittency

Because the grid has very little storage capacity, the balance between electricity supply and demand must be maintained at all times to avoid a blackout or other cascading problem.

### Forms of energy storage

- **Mechanical:**
  - Compressed air energy storage
  - Flywheel energy storage
  - Gravitational potential energy storage
  - Pumped hydroelectric storage, or pumped storage hydropower
- **Thermal:**
  - Cool water, hot water or ice thermal storage
  - Liquid air or liquid nitrogen energy storage (Cryogenic energy storage)
  - Molten salt storage
- **Chemical:**
  - Battery, Battery Energy Storage System (incl. Lithium Ion, Flow Redox, Electrochemical Capacitors)
  - Hydrogen storage
  - Power to gas
- **Electromagnetic**
  - Storage coil, superconducting storage coil (superconducting magnetic energy storage)



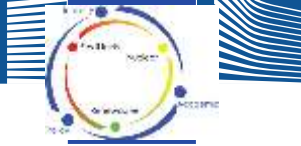
Electricity storage technologies can be used for:

- **energy management / long timescales.** Daily, weekly, and seasonal variations in electricity demand are fairly predictable (e.g. pumped hydroelectric storage or compressed air energy storage)
- **power quality management / shorter timescales.** Demand fluctuations on shorter timescales - from a few minutes down to fractions of a second - require rapidly-responding technologies (e.g. flywheels, super-capacitors, or a variety of batteries)

Source: U.S. Energy Information Administration, based on Energy Storage Association (2011)

*Le stockage de l'énergie est le « chaînon manquant » de la Transition Energétique*

For further information: <https://setis.ec.europa.eu/setis-reports/setis-magazine/power-storage>



### **(5.3) Le comportement humain (influence sur les politiques énergétiques) (nouvelle gouvernance de l'énergie - initiatives d'énergie citoyenne ?)**

La recherche dans le domaine de l'énergie doit faire une place importante aux sciences humaines et sociales aux côtés des autres disciplines. De manière générale, les citoyens doivent être étroitement associés, en amont, aux choix en matière de politiques et de technologies énergétiques afin de devenir les acteurs de ces transformations.

De nombreuses questions se posent, par ex. en politiques « climat – énergie » et industrielle :

#### **(1) instruments à mettre en œuvre pour accompagner « la grande transition » ?**

*« La vraie urgence, c'est de donner un coût important aux émissions de CO<sub>2</sub> afin de les pénaliser. On peut espérer qu'en 2050, un prix élevé du carbone sera une banalité dans le monde. »* (Claude Mandil, ancien directeur exécutif de l'Agence Internationale de l'Énergie, Paris / 2003-2007/)

#### **(2) Bouleversement de nos façons de produire et de consommer l'énergie**

**La transformation énergétique en cours provoque une révision en profondeur des fondements de nos économies (nouveau paradigme énergétique « offre < = > demande »).**

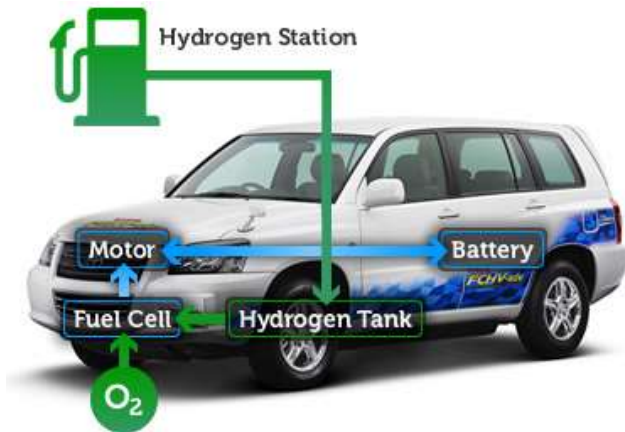
**= > Les gens sont passés de « conSUMER » à « PROsumer » en participant d'une manière ou d'une autre au concept et/ou au développement du produit (« PROducer »).**

**= > Nous ne ferons pas l'économie d'un changement profond des comportements.**

***On ne peut pas maintenir ou souhaiter le mode nord-américain de consommation de ressources et d'énergie. N'oublions pas qu'un Américain moyen consomme 32 fois plus qu'un Kenyan moyen.***

# What will fuel future highways?

Gasoline ? Diesel ? Compressed or Liquefied Natural Gas ? Hydrogen ? Electricity ?



Hydrogen for cars - Fuel cells could become a battery supplement

## The True Cost of Powering an Electric Vehicle (EV)

Rather than worry about autonomy (km/battery), cost-conscious EV buyers should focus on how to get car-charging kWh at the lowest rates.

<http://www.edmunds.com/fuel-economy/the-true-cost-of-powering-an-electric-car.html>





# Overall, in the EU in 2050, an additional electrical capacity of 150 GW will be needed to charge electric cars (2016 study)



A total of 7 energy mix scenarios were proposed in the EU Energy Roadmap 2050, as a basis for policy action. One of the main conclusions of decarbonisation of the energy system by 2050 is:

in the EU, electricity will have to play a much greater role than now (almost doubling its share in final energy demand to 36-39 % in 2050 – today it is 21 %)

and will have to contribute to decarbonisation of transport and heating / cooling.

NB: Gross electricity production in the EU is estimated at 4900 TWhe per year in 2050 (compared to 3280 TWhe in 2011).

## Elektrische auto in de EU vereist equivalent van 150 kerncentrales

De Standaard 28/09/2016 (Belgian newspaper, 100 000 copies)  
"Een grootschalige introductie van elektrische wagens in Europa zou 150 gigawatt aan bijkomende elektriciteitsopwekking vereisen. Dat berekende het Europese Milieuagentschap. Dat is het equivalent van 150 kerncentrales."

[http://www.standaard.be/cnt/dmf20160927\\_02490059](http://www.standaard.be/cnt/dmf20160927_02490059)

⇒ Overall, in the EU in 2050, an additional electrical capacity of 150 GW will be needed to charge electric cars

Source: "Electric vehicles and the energy sector - impacts on Europe's future emissions", European Environment Agency (EEA, Copenhagen), briefing published 26 Sep 2016 - <http://www.eea.europa.eu/themes/transport/electric-vehicles/electric-vehicles-and-energy>



# “One Belt, One Road” (Chinese initiative 2013): “Project of the Century”



Economist.com

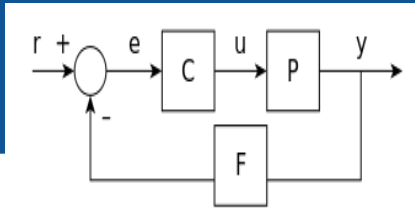
## “One Belt, One Road” /OBOR/ (also called “Belt – Road – Initiative” /BRI/): “Project of the Century”

In 2013, Chinese President Xi Jinping announced the launch of both the Silk Road Economic Belt and the 21st Century Maritime Silk Road, infrastructure development and investment initiatives that would stretch from East Asia to Europe. The project, eventually termed the Belt and Road Initiative (BRI) but sometimes known as the New Silk Road, is one of the most ambitious infrastructure projects ever conceived. It harkens back to the original Silk Road, which connected Europe to Asia centuries ago, enriching traders from the Atlantic to the Pacific. ( Council on Foreign Relations, May 2019 - <https://www.cfr.org/background/chinas-massive-belt-and-road-initiative> )

President Xi Jinping on 14 May 2017 detailed plans to fund China’s “One Belt, One Road” project, an expansive trade and infrastructure initiative that aims to connect by land and sea over 60 countries in Asia, Europe, the Middle East and Africa and produce over \$21 billion in economic activity. At the opening of the Belt and Road Forum in Beijing on Sunday, President Xi described OBOR as “the project of the century.” Ambitious and expansive, OBOR, as the New York Times put it, “looms on a scope and scale with little precedent in modern history, promising more than \$1 trillion in infrastructure.”

(<https://masspointpllc.com/china-one-belt-one-road-us-legal-dominance/>)



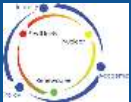


## **Garantir l'accès de tous aux services énergétiques**

- 1 – Brève histoire : du feu primitif à l'électricité**
- 2 – Le cap : un mix équilibré (renouvelables, fossiles, nucléaire)**
- 3 – Invariants (sciences de la nature) et contraintes (EU Triangle)**
- 4 - Faits et chiffres : démographie, climat, politiques énergétiques**
- 5 - Défis technologiques et humains (incertitudes) : stockage, etc**
- 6 – Conclusion :**  
**recherche, innovation et formation**

**\* Responsibility for the information and views set out in this conference lies entirely with the author \***

**\* Reproduction of the texts of this conference is authorised provided the source is acknowledged \***



# Messages clés à emporter : synergies entre renouvelables, fossiles et nucléaire



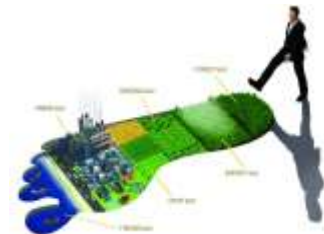
(1) **Problème** : garantir l'accès de tous à des services énergétiques fiables et durables, à un coût abordable (Nations Unies ODD-7)

Besoin total d' électricité en Belgique en 2040  
= 100 TWh<sub>e</sub> (= 100 milliards de kilowattheures<sub>e</sub>)

(2) **Contraintes** liées à la transition vers une économie compétitive, sûre et sobre en carbone + économie circulaire



(3) **Invariants** : sciences de la nature (e.a. réseau électrique et « empreinte ») et sciences de l'Homme et de la Société



(4) « Quasi-certitudes » : faits et chiffres

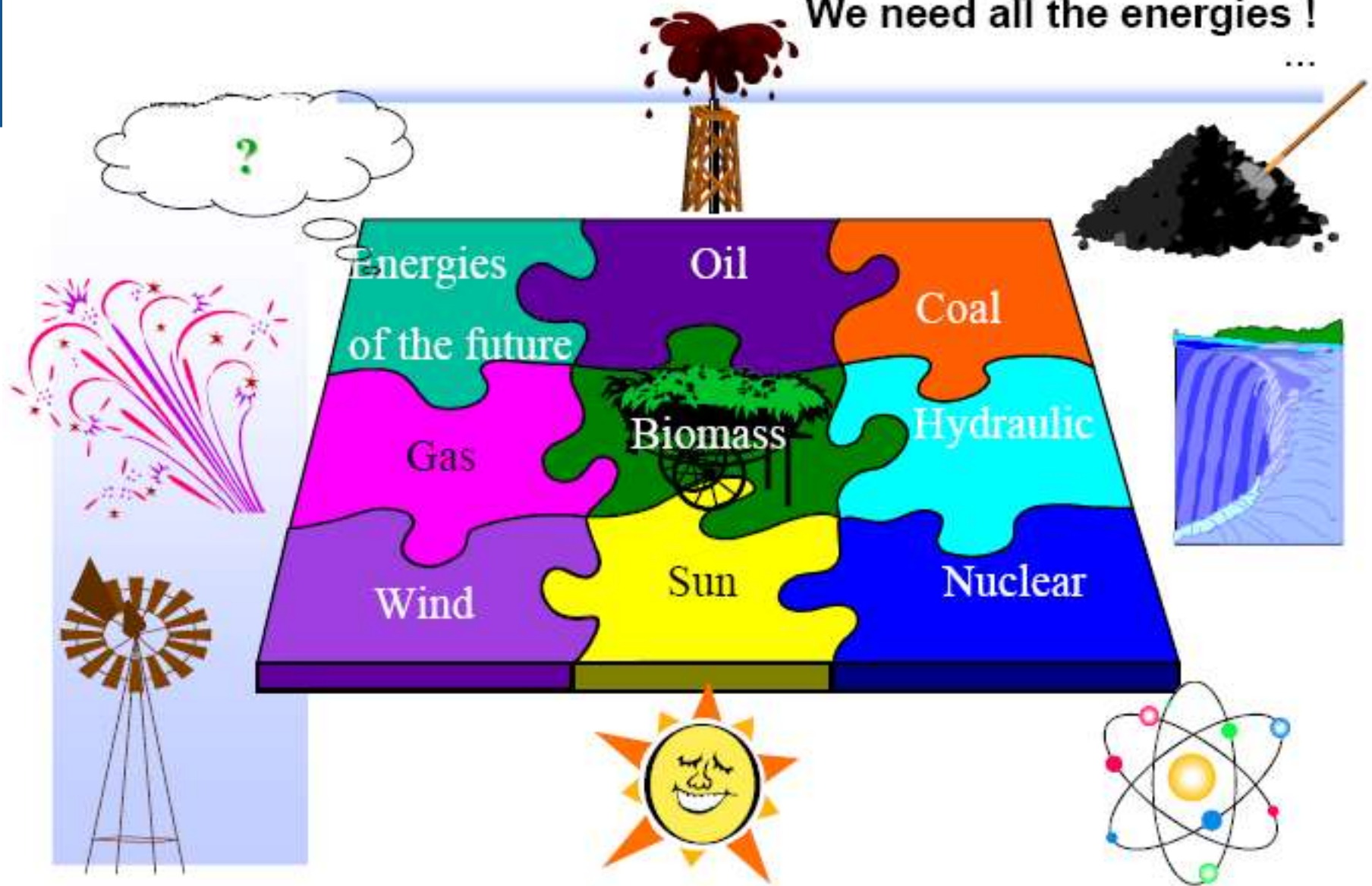
Par ex. dans le monde : évolution démographique, changement climatique => électrification massive

(5) « Incertitudes » : défis de type technologique et humain

E.g. Fourth Industrial Revolution (4IR) : towards integrated energy, transport and ICT systems ?  
+ new paradigm "producer < = > consumer" ?

We need all the energies !

...



**Article 194 of the Lisbon Treaty :**

**"Union policy on energy shall aim, in a spirit of solidarity .... .. Such measures shall not affect a Member State's right to determine the conditions for exploiting its energy resources, its choice between different energy sources and the general structure of its energy supply". ( <https://eur-lex.europa.eu/collection/eu-law/treaties/treaties-force.html> )**



# ENERGY VALUE CHAIN

Republic of South Africa



Integrated energy planning seeks to consider all the key elements of the energy value-chain

## PRIMARY ENERGY/ RESOURCES

- **RENEWABLES**
  - Solar
  - Wind
  - Biomass
  - Hydro
- **FOSSIL FUELS**
  - Coal
  - Crude Oil
  - Natural Gas
- **NUCLEAR FUELS**
  - Uranium
  - Resources extraction and sourcing

## CONVERSION TECHNOLOGIES

- **POWER GENERATION**
  - Conventional Coal Plant
  - Nuclear
  - CCGT
  - OCGT
  - Solar
  - Wind
- **FUEL PROCESSING**
  - Oil refineries
  - GTL
  - CTL
- **REGASIFICATION**

## SECONDARY ENERGY CARRIERS

- Electricity
- Heat
- Refined Petroleum Products

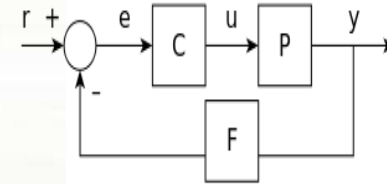


## END-USE TECHNOLOGIES

- **INDUSTRY**
  - Steam boilers
  - Furnace
  - Machinery
- **COMMERCE**
  - Air Conditioning
  - Light Bulbs
- **HOUSEHOLDS**
  - Space Heaters
  - Refrigerators
  - Stoves
- **GEYSERS**
- **AGRICULTURE**
  - Irrigation pumps
- **TRANSPORT**
  - Vehicles
  - Aircraft
  - Rail

## DEMAND FOR ENERGY SERVICES

- **INDUSTRIAL SECTOR**
  - Process Steam
  - Motive Power
- **COMMERCIAL SECTOR**
  - Electronic Communication
  - Cooling
- **RESIDENTIAL SECTOR**
  - Space Heat
  - Refrigeration
  - Cooking
  - Hot water
- **AGRICULTURAL SECTOR**
  - Water supply
- **TRANSPORT SECTOR**
  - Person kms



**Electricity storage in the power sector: the missing link to intermittent renewable energy**



**we need to improve energy storage technologies, i.e.:**

- **Mechanical**
- **Thermal**
- **Chemical**
- **Electromagnetic**

Department:  
Energy  
REPUBLIC OF SOUTH AFRICA

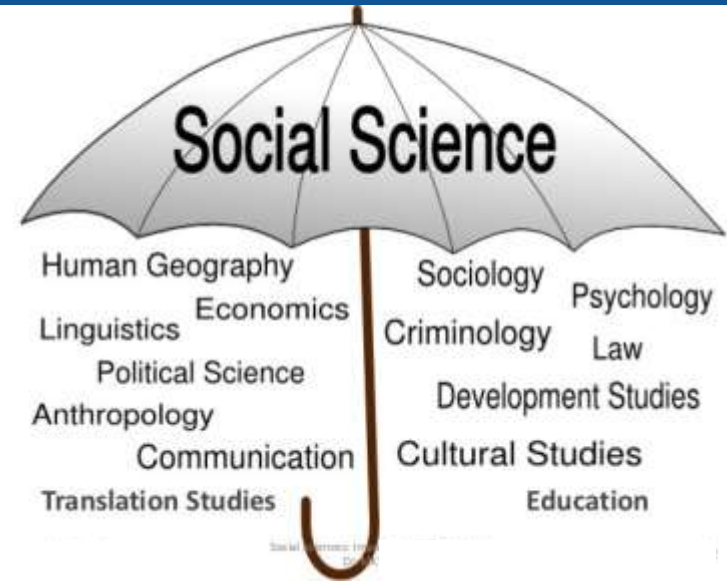
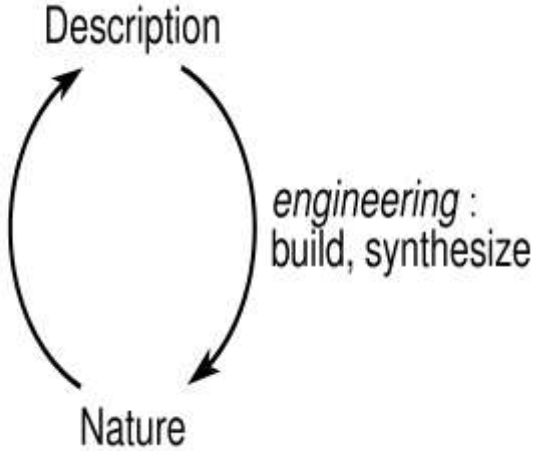
27

***"The Energy Planning Framework considers all energy carriers, all technology options and all key national policy imperatives and proposes an energy mix and policy recommendations which ensures that the energy sector can help achieve these in the most optimal manner."** (IEA)*

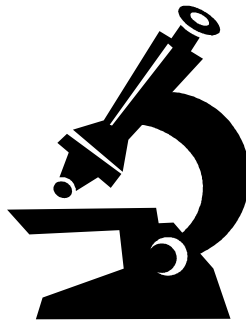
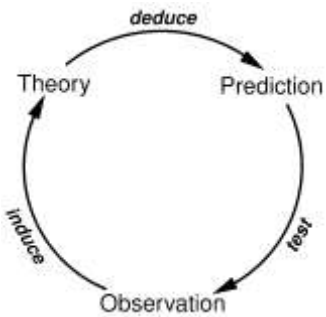
Source : INTEGRATED ENERGY PLAN (IEP), Republic of South Africa, Dep't of Energy, 22 November 2016 - <http://www.energy.gov.za/files/IEP/presentations/Integrated-Energy-Plan-22-Nov-2016.pdf> and IEP Report (draft presentation), 20 August 2013 - <http://slideplayer.com/slide/8307179/> - see also International Energy Agency (IEA) yearly "World Energy Outlook" projections

**NB : la Belgique est championne en production d'énergies secondaires (électricité, chaleur, produits pétroliers raffinés, hydrogène ...) et de services énergétiques pour la société et l'industrie : elle devrait avoir l'ambition de (re)devenir exportatrice nette dans ces domaines !**

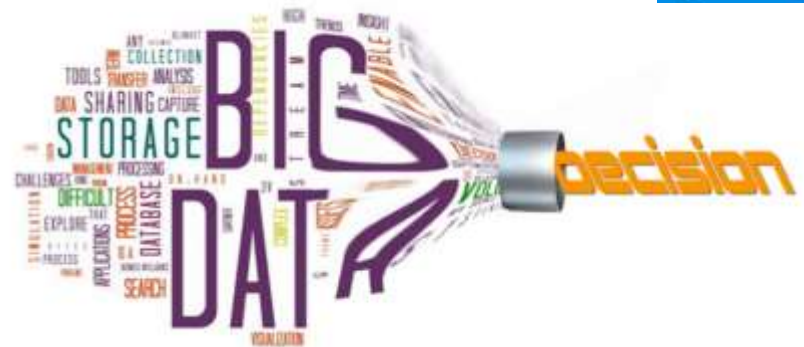
# Recherche, innovation et formation (en énergie)



*"Scientists discover the world that exists;  
engineers create the world that never was."*  
Theodore von Kármán (1881 –1963)



**In science, we never  
are definitely right;  
we can only be sure  
when we are wrong.**

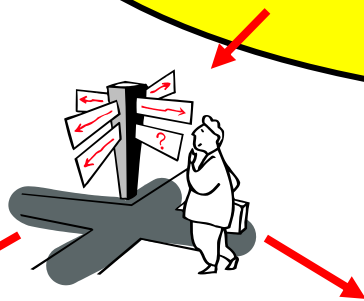


# Que faire ? agir en « citoyen informé et responsable » (collectif et personnel)

## (1) interpellier nos politiciens

Comment nous garantir pour 2040 un approvisionnement électrique de 100 TWh<sub>e</sub> ?  
aux conditions reconnues internationalement :

- sécurité d'approvisionnement ( 24 / 7 / 365 )
- compétitivité et stabilité des prix
- sources à faibles émissions de carbone



## (2) comportement de consommateur « responsable » en matière d'énergie et de matières premières

- la sobriété énergétique (réduire les gaspillages aussi bien dans les systèmes de production, que de transport et de consommation, etc)
- l'efficacité énergétique et l'utilisation optimale des matériaux (réduction des pertes d'énergie - recyclage versus valorisation énergétique - etc).

## (3) étudiants et chercheurs, « engagez-vous » dans la transition énergétique et le développement durable !

*Par exemple, en développant des technologies innovantes pour la production d'énergies secondaires (électricité, chaleur, produits pétroliers raffinés, H<sub>2</sub> ...) et pour les services énergétiques nécessaires à la société et l'industrie (en tenant compte des points 1 et 2).*

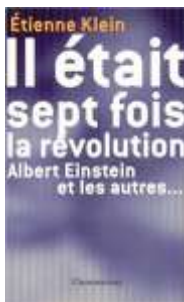
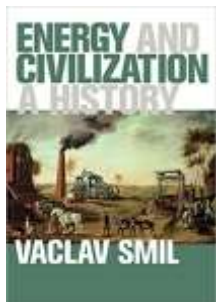
**La Belgique devrait avoir l'ambition de (re)devenir exportatrice nette dans ces domaines !**





# Références bibliographiques

- (1) "Energy and Civilization", 2017, Vaclav Smil (Manitoba, Canada), MIT Press (568 pages)
- (2) « Energie : Economie et politiques » de Jean-Pierre Hansen (Auteur), Jacques Percebois (Auteur), Marcel Boiteux (Préface), Jean Tirole (prix Nobel d'économie 2014, Introduction), Editions De Boeck, 2010, ré-éditions 2015 et 2019 (avec Alain Janssens) - 756 pages
- (3) « Transition(s) électrique(s) : Ce que l'Europe et les marchés n'ont pas su vous dire », Jean-Pierre Hansen et Jacques Percebois (Préface de Gérard Mestrallet), Editions Odile Jacob, 2017 (276 pages)
- (4) « Il était sept fois la révolution : Albert Einstein et les autres... » (Entre 1925 et 1935 : George Gamow, Albert Einstein, Paul Dirac, Ettore Majorana, Wolfgang Pauli, Paul Ehrenfest et Erwin Schrödinger), Etienne Klein, Flammarion, 2005 (237 pages)
- (5) « La guerre des métaux rares : La face cachée de la transition énergétique et numérique », Guillaume Pitron, 2018, éditions LLL (293 pages)



# Les deux « transitions » du système électrique européen (Jean-Pierre Hansen et Jacques Percebois, 2017)

## «La vague du marché et la marée verte» choc entre la volonté de créer un marché et celle de respecter un impératif écologique

Ce livre bienvenu fait un bilan fort précis des évolutions des systèmes électriques depuis vingt ans. C'est à dire depuis que la vague de dérégulations, privatisations et autres mesures visant à les extraire des services publics s'est heurtée au double écueil de l'économie réelle et des impératifs climatiques.

.....

Mais un marché fou – où le prix du bien échangé est totalement déconnecté des caractéristiques physiques de sa production et donc de son coût de revient réel – peut-il donner de bons conseils ?

Source : <http://huet.blog.lemonde.fr/2017/09/04/le-marche-et-lelectricite-le-dogme-perd-leurope/>

Concurrence « par » le marché ou « pour » le marché ?  
(A. Smith 1776 /la main invisible/ vs E. Chadwick 1859 - p 199)  
Concession de service public ? (mise aux enchères et contrat)

La réforme européenne de l'industrie électrique introduit la concurrence là où elle est possible, c'est-à-dire dans les domaines de la production et la fourniture d'électricité. En revanche, les monopoles naturels identifiés tels les infrastructures de réseaux de transport et de distribution restent régulés.

*Conférence SEII, Bruxelles, 27 mars 2018. Jean-Pierre Hansen plaide pour un mécanisme de type « concession de service public » pour la fourniture d'électricité.*

Exemple cité : Vélib' à Paris. Le système Vélib', composé de 1.800 stations et plus de 20.000 vélos, avait été créé en 2007 par JCDecaux, leader de la publicité et de l'ameublement urbain, qui en avait obtenu la concession pour dix ans. Changement de concessionnaire le 12 avril 2017 : le marché Vélib' a été attribué au consortium Smoovengo, mené par Smoove, spécialiste du vélo en libre service (Montpellier).



Jean-Pierre Hansen et Jacques Percebois sont fins connaisseurs des systèmes électriques, par une double approche – celle de l'ingénieur et celle de l'économiste.

NB: Jean-Pierre Hansen est CEO et chef de la direction d'Electrabel de 1992 à 1999 puis de 2005 à 2010. Il est responsable de Suez Énergie Europe et International au sein de GDF SUEZ de 2003 à 2012. Professeur à l'UC Louvain, il a aussi enseigné l'économie de l'énergie à l'École Polytechnique (Paris). Il est Membre de l'Académie Royale de Belgique depuis 2009.

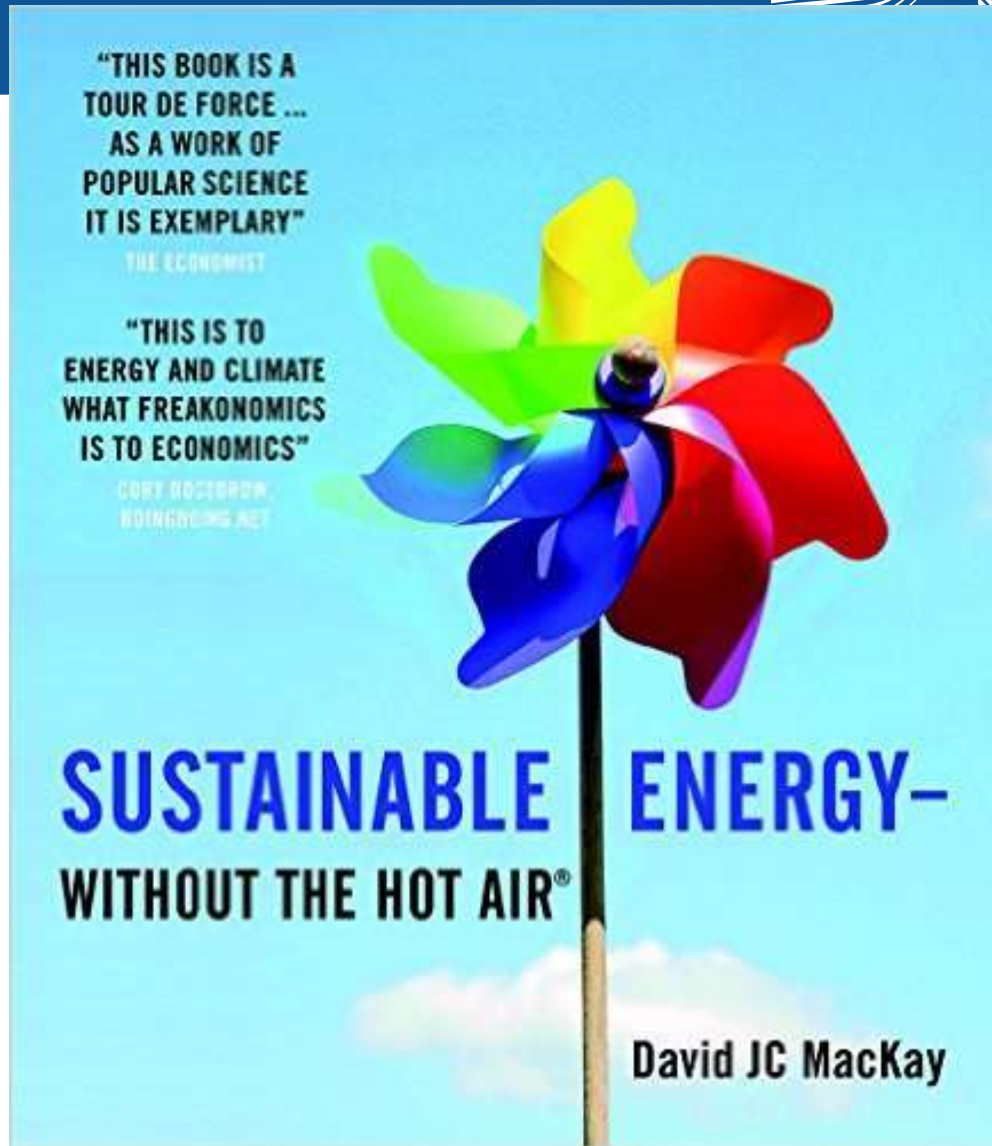
## Les deux « transitions » du système électrique européen

(1) La première, celle de la fin des services publics, a échoué. ..... Et comme les Britanniques discutent d'une renationalisation de leurs chemins de fer après l'échec cinglant des privatisations, celle des systèmes électriques doit être rediscutée sur la place publique.

(2) La seconde, celle du défi de la dé-carbonisation de la production d'électricité – le secteur le plus émetteur de CO2 au plan mondial en raison de la domination du charbon et du gaz – suppose une intervention publique décisive.

Aucun marché ne peut déboucher sur une planification judicieuse et de long terme des moyens de production et des réseaux de transport visant cette transition au moindre coût. Et ceci quelques soient les moyens décarbonés utilisés : hydrauliques, éoliens, photovoltaïques, marins, géothermiques, biomasse, biogaz, nucléaire. Ce que le marché dicte, ce sont les moyens de production à la rentabilité immédiate la plus élevée, gaz naturel et charbon. Les choix optimaux entre ces différents moyens ne peuvent être identiques selon les pays et les régions, les ressources naturelles et les impératifs de l'énergie nucléaire sûre et à bas coût n'y étant pas les mêmes.





***“.....Like Lord Kelvin before him, Professor MacKay realises that in many fields, and certainly in energy, unless you can quantify something you can never properly understand it.***

***As a result, his fascinating book is also a mine of quantitative information for those of us who sometimes talk to our friends about how we supply and use energy, now and in the future.”***

Dr Derek Pooley CBE, Former Chief Scientist at the Department of Energy, and Member of the European Union Advisory Group on Energy

Reference: “Sustainable Energy: Without the Hot Air”

Sir David Mackay, 2009, UIT Cambridge

(download pdf file for free / read translations in 15 languages thanks to kind volunteers and supporters)

[www.withouthotair.com](http://www.withouthotair.com))

Sir David Mackay - from 2009 to 2014 - Chief Scientific Adviser to the UK Department of Energy and Climate Change (DECC).

He was “the low-carbon advisor” of DECC. NB: *“The Chief Scientific Advisor’s role is to ensure that the Department’s policies and operations, and its contributions to wider Government issues, are underpinned by the best science and engineering advice available.”*



# Puisque ces mystères nous dépassent, feignons d'en être l'organisateur (modèle du climat .... $\leq$ = $= >>$ .... modèle de l' univers)



Chapitre conclusion pp 99 – 101 « LE PLUS BEAU MODELE DU MONDE NE PEUT DONNER QUE CE QU'IL A ... »

... Le système d'équations aux dérivées partielles de modèles mathématiques du climat n'a pas honte d'être plus compliqué que celui décrivant des modèles mathématiques de l'univers tout entier !

La raison est simple : la société souhaite évidemment avoir des prévisions sur la température moyenne de la terre dans cent ans plus précises que sur l'état de l'univers dans un milliard d'années.

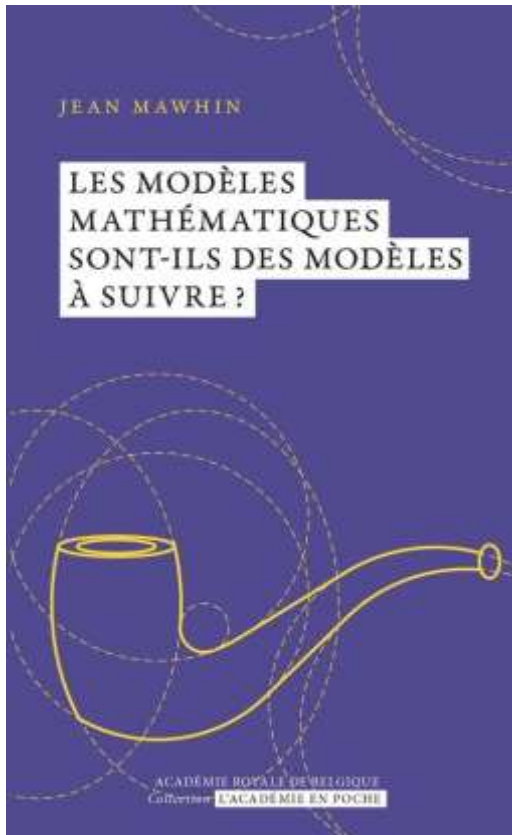
Les modèles mathématiques sont et restent des outils précieux pour notre compréhension de l'univers qui nous entoure, et pour notre pouvoir d'action.

Comme toutes les œuvres humaines, ils sont et seront utilisés pour le bien comme pour le mal. La responsabilité en incombe seulement aux utilisateurs.

Enfin, ils aideront peut-être, dans une certaine mesure, à soulager quelque peu l'angoisse fondamentale de l'homme face au monde qui l'entoure.

Le poète français Jean Cocteau (1889 – 1963) l'écrit avec finesse dans les « Mariés de la Tour Eiffel » :

*« Puisque ces mystères nous dépassent, feignons d'en être l'organisateur ».*



« Les modèles mathématiques sont-ils des modèles à suivre ? » Jean Mawhin, 11 mai 2017 - 128 pages - Éditeur Académie royale de Belgique - 7 euros

Source : Jean Mawhin est professeur émérite de l'Université Catholique de Louvain et membre de la Classe des Sciences de l'Académie royale de Belgique. Mathématicien, il est l'auteur de plus de 400 publications sur l'analyse non linéaire et l'histoire des mathématiques.

- Collège Belgique - conférence cours de Jean MAWHIN - 9 mars 2016 – vidéo 1 h 24 min : <https://www.youtube.com/watch?v=Nq0fyqs5Kac>
- Interview de Jean MAWHIN : « Les modèles mathématiques sont-ils des modèles à suivre ? » - Date : 22.05.2017 — Vidéo 4 min. — Audio 53 min - <https://lacademie.tv/conferences/interview-de-jean-mawhin-les-modeles-mathematiques-sont-ils-des-modeles-a-suivre->

**L'objectif de 95 % de réduction des émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2050, tout en garantissant la croissance économique du pays est-il possible ? Oui. Mais il ne faudrait pas se priver trop vite de l'apport du nucléaire.**

Source : « Sans le nucléaire, la Belgique peinera à atteindre ses objectifs climatiques » - La Libre Belgique, 16 octobre 2019

<https://www.lalibre.be/debats/opinions/sans-le-nucleaire-la-belgique-peinera-a-atteindre-ses-objectifs-climatiques-5da5f3d09978e218e33bba86>

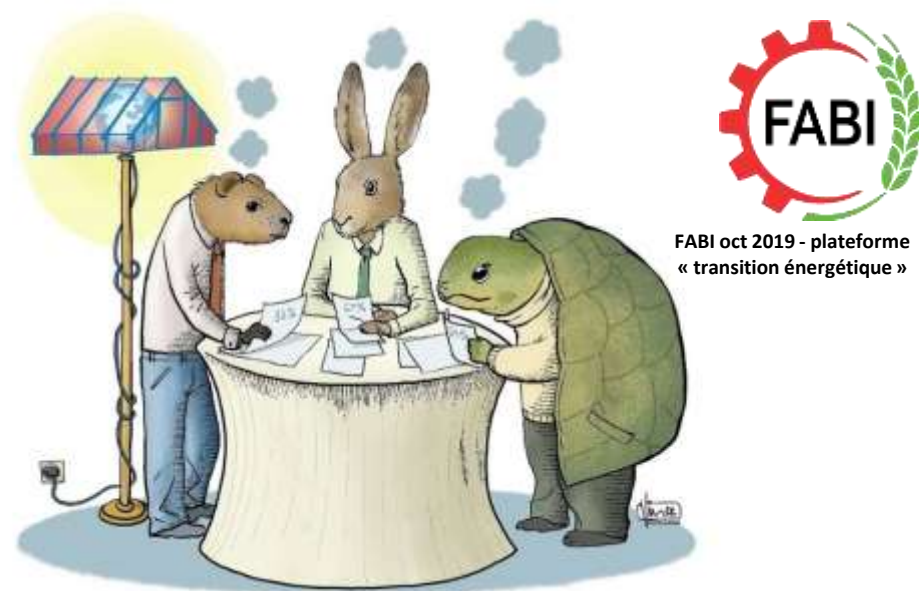
« *Belgium Energy Outlook 2050* », Oct 2019, plateforme « transition énergétique » FABI (fédération d'associations belges d'ingénieurs civils, d'ingénieurs agronomes et de bioingénieurs)  
- synthèse de ce rapport (26 pages) <http://www.fabi.be/transition-energetique>

**Malgré des choix technologiques prudents (faible prise en compte des technologies de stockage dont la mise en œuvre massive reste aujourd'hui trop incertaine), une part réfléchie des énergies renouvelables (>50%) et une évolution raisonnable des comportements, une réduction des émissions comprise entre 67 % (avec sortie progressive du nucléaire) et 77 % (en conservant le nucléaire) est accessible sans remettre en cause la société de croissance.**

**Par contre, aucun des trois scénarios n'atteint la cible des 95 %.**

Rappel sur la loi Climat: La Belgique a ratifié les Accords de Paris. Dans un cadre européen, elle s'est engagée à réduire ses émissions de 55 % à l'horizon 2030 et de 95 % à l'horizon 2050 en portant à 100 % la part électrique d'énergies renouvelables (ENRi + biomasse + hydroélectricité).

NB : Le rapport "Belgian Energy Outlook 2050" adresse aussi les problématiques de l'habitat, des transports, de l'industrie et de la pétrochimie. Les technologies de stockage (pompage/turbinage, batteries, hydrogène) sont prises en compte, en considérant que leur mise en œuvre massive reste aujourd'hui trop incertaine. La version complète est disponible pour les membres de la FABI.



Les pistes à suivre (selon « Belgium Energy Outlook 2050 »)

Quelles sont alors les solutions pour atteindre l'objectif ?

- La première est de conserver le parc nucléaire voire de l'étendre et d'utiliser cette opportunité pour y mettre en œuvre de la cogénération en récupérant pour l'industrie la chaleur fatale perdue. ....
- La seconde solution suppose que le gaz et le nucléaire seront à moyen terme totalement substituables par des énergies renouvelables grâce à la mise en œuvre massive d'unités de stockage : pompage/turbinage, batteries et hydrogène. ....
- La troisième solution consiste à capter puis à injecter dans le sous-sol une partie du CO2 résiduel (entre 20 et 30 millions de tonnes annuelles) provenant des gros émetteurs industriels et des futures centrales à gaz. ....
- Enfin, la dernière solution serait d'imposer des mesures sociétales draconiennes (restriction des transports, de la surface habitable, de la température des logements, de la consommation d'eau chaude et d'électricité). ....

# « Sans le nucléaire, la Belgique peinera à atteindre ses objectifs climatiques »

## La Libre Belgique, 16 octobre 2019 2/2

FABI - plateforme « transition énergétique »



FABI oct 2019 - plateforme  
« transition énergétique »

Le premier scénario (Marmotte) prolonge sans modification majeure l'évolution du mix énergétique actuel : seulement 10 % de voitures électriques et d'utilitaires au gaz, pas de rénovation de l'habitat ancien, pas de rupture technologique majeure dans l'industrie et sortie totale du nucléaire en 2025 principalement au profit de centrales à gaz, progression des énergies renouvelables pour atteindre 30 % de la production électrique en 2030.



Le scénario intermédiaire (Tortue) repose sur une évolution profonde du mix énergétique belge mais s'appuie davantage sur la technologie que sur un bouleversement des comportements : gel du parc de voitures individuelles et transfert des kilomètres parcourus vers le rail, 25 % de voitures électriques et 40 % d'utilitaires au gaz, réduction de la consommation des voitures thermiques à 4 litres/100 km (contre 6 litres aujourd'hui), plan ambitieux de rénovation de l'habitat ancien au rythme annuel de 100 000 logements, fermeture de trois réacteurs nucléaires en 2033 mais maintien du reste du parc, progression des énergies renouvelables identique au scénario de la Marmotte (30 % en 2030).



Le troisième scénario (Lièvre) superpose aux évolutions technologiques des changements sociétaux : covoiturage, télétravail, coworking, et réduction de la vitesse sur autoroute à 100 km/h pour atteindre un plancher de consommation des voitures de 3 litres/100 km. Le scénario du lièvre introduit aussi 5 % de voitures hydrogène, accélère la rénovation de l'habitat au rythme de 150 000 logements par an et réduit de 10 % la surface moyenne habitable. Le lièvre sort totalement du nucléaire à échéance 2050 au profit de centrales à gaz mais aussi des renouvelables dont la production est portée à 50 % en 2040.



# Brève histoire industrielle de Charleroi <sup>1/2</sup>



## Histoire industrielle de Charleroi

Charleroi est un centre industriel : sidérurgie, verreries, produits chimiques, constructions électriques, constructions mécaniques. La ville est au centre d'un vaste bassin houiller, maintenant totalement abandonné, appelé jadis Pays noir.

Après 1815, la ville et les localités voisines tireront parti de très importants gisements de charbon à fleur de terre (d'où l'appellation de la ville : "Pays Noir"). Des verreries s'installeront à Lodelinsart, Roux, Dampremy... des moulins, des houillères et des hauts-fourneaux à Charleroi, Monceau, Marchienne, Montignies, Couillet... La sidérurgie, la métallurgie et la production de verre, liées à l'extraction du charbon sont les moteurs du développement industriel.

Après 1870 l'activité économique de Charleroi est en plein essor. La ville de Charleroi et son agglomération, produisant le plus de richesses du pays, participe grandement à l'accession de la Belgique au rang de 2e puissance industrielle mondiale.

Ce qui fournira à la Belgique les moyens de mener une politique internationale ambitieuse et d'entamer de vastes travaux de modernisation du pays (routes, rail pour tramways et trains, voies fluviales, éclairage, équipements des administrations, bâtiments tels qu'écoles et grands hôpitaux...)

*Les Ateliers de Constructions Électriques de Charleroi (ou ACEC) étaient une société anonyme belge spécialisée dans le matériel roulant ferroviaire.*

*ACEC était devenu un des plus puissants groupes industriels européens actif dans les domaines des constructions électriques lourdes et de l'électronique industrielle et spatiale avant 1970.*

### *Histoire*

- 1886 : fondation par Julien Dulait de la Société anonyme Électricité et Hydraulique à Charleroi (E&H).
- 1904 : la société est reprise par le baron Édouard Empain et devient l'Ateliers de Constructions Électriques de Charleroi (ACEC).
- 1989 : l'entreprise est démantelée. Une partie importante du groupe a alors été rachetée par le groupe CGE (Compagnie générale d'électricité) - Alstom (contraction de «Alsace» et de «Thomson», Mulhouse – Belfort). À Marcinelle, les activités de ACEC ont été absorbées et continuées par les groupes Alcatel, Alst(h)om et Nexans.

*En 1981 son programme d'activité reprenait :*

- Production et distribution d'énergie électrique (par ex. grosses machines tournantes à courant alternatif ; matériel pour l'industrie nucléaire)
- Équipements électrique et électronique (par ex. électronique de puissance ; matériel spatial (actuellement Thales Alenia Space ETCA)
- Matériel électrique industriel par ex. moteur et génératrice à courant continu ; pompes centrifuges)
- Chauffage - éclairage - Matériel électro-domestique

*NB : En 2005, les entreprises chargées du déploiement du système de localisation par satellite Galileo sont désignées : Alcatel, EADS, Finmeccanica et Thales. En avril 2006, Alcatel et l'Américain Lucent Technologies annoncent leur fusion, donnant naissance à un des leaders mondiaux des infrastructures de télécommunications « Alcatel-Lucent » dont Thales est une filiale. En 2018, le site de Charleroi de la société Thales Alenia Space Belgium est le plus grand contributeur électronique pour les fusées "Ariane« .*

# Brève histoire industrielle de Charleroi <sup>2/2</sup>



## Histoire économique de Charleroi

Deuxième agglomération wallonne et première commune, Charleroi est un pôle économique important.

Traditionnellement, trois secteurs constituaient l'essentiel de l'activité économique : le charbon, la sidérurgie et le verre.

Si le charbon a définitivement disparu, les industries sidérurgique et verrière se sont restructurées et modernisées et occupent toujours une place importante. Ainsi, Industeel, filiale d'Arcelor est un leader mondial dans les aciers spéciaux et inoxydables, l'aciérie électrique de Thy-Marcinelle (groupe Riva) produit du fil d'acier, AGC Automotive, filiale de Asahi Glass, est active dans le secteur du vitrage automobile.

Plus récemment d'autres secteurs se sont développés, principalement l'aéronautique (SABCA, SONACA), la logistique, l'imprimerie et les biotechnologies. L'industrie aéronautique et spatiale se développe rapidement autour de l'aéroport de Charleroi-Bruxelles-Sud avec la fondation de deux centres de recherche universitaires : le Centre d'Excellence en Technologies de l'Information (CETIC) et le Cenaero (Centre de recherche en aéronautique).

NB Ernest Solvay, natif de Rebecq-Rognon, fonde à Couillet la première soudeuse de son vaste empire industriel (1864).

Le 10 novembre 2016 (à la suite de l'annonce de la fermeture de Caterpillar à Gosselies) un Groupe d'Experts sous la présidence de Jean-Pierre Hansen a rédigé un plan d'accélération baptisé « Catalysts for Charleroi » (CATCH). "CATCH ambitionne de créer environ 10 000 emplois sur Charleroi d'ici 2025 en s'appuyant sur quatre secteurs de pointe :

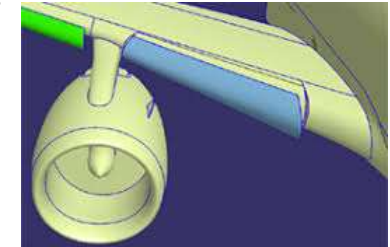
- l'aéroport et ses filiales logistiques;
- l'industrie graphique numérique;
- les sciences de la vie (« Biopark ») et le secteur de la santé;
- la manufacture de pointe (nouveaux matériaux, développement de l'activité de maintenance dans l'aviation militaire et civile...).

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Charleroi>

*La Société Anonyme Belge de Constructions Aéronautiques (SABCA, 981 personnes) est un constructeur aéronautique belge, aujourd'hui filiale du groupe Dassault.*

*Ses principaux secteurs d'activité sont l'aviation civile, l'espace et la défense. Dans l'aviation civile, l'arrêt de l'Airbus A380 risque de peser sur le volume d'activité. Dans le domaine spatial, Sabca, qui fournissait des éléments de structure à Ariane 5, sera moins présent sur Ariane 6. Et dans le militaire, il reste fort dépendant du programme d'entretien des F-16, bientôt à la retraite.*

*Sabca explore aussi depuis un an un nouveau marché: le développement de solutions pour des drones pour l'industrie.*



© AIRBUS Operations GmbH – EGACD

*Sonaca Group (Société Nationale de Construction Aérospatiale, 4630 personnes) est une société belge active dans les domaines de construction aéronautique et aérospatiale. Elle possède des filiales aux États-Unis, au Canada, au Mexique, au Brésil, en Chine, en Roumanie et au Sri Lanka.*

*Les activités principales du Groupe Sonaca sont la conception et la construction des parties mobiles des ailes (lattes et volets) ainsi que des pièces structurales complexes, pour avions civils et militaires. (Figure : « bords d'attaque mobiles d'ailes » ou « slats » fabriqués par Sonaca Group pour les airbus A330 et A340).*

*Recherche et innovation. Par exemple, Sonaca Group a développé un prototype de bride en matériaux composites fibres de carbone et epoxy pour un lanceur spatial de nouvelle génération. Le prototype proposé mesure 4,30m de diamètre et est plus léger que sa version en aluminium, ce qui allège de façon considérable le poids de la structure et améliore la compétitivité des prix.*