



Royal Academy for
Overseas Sciences



Du feu à l'atome : l'énergie au cœur de l'histoire humaine

Georges Van Goethem (Dr Ir)

Cercle Royal Africain et de l'Outre-Mer (CRAOM)

Bruxelles, 19 mai 2023

Royal Academy for Overseas Sciences of Belgium (ARSOM – KAOW)
ex- EC DG Research and Innovation / Energy (Brussels)
(georges.m.vangoethem@gmail.com)

Monsieur René Claude Eugène GASTOUT Ir. / 25 avril 1937 - 5 juin 2022 /

Président du Cercle Royal Africain et de l'Outre-mer / 2019 - 2022 /

IN MEMORIAM

« Généreux, notre président Claude tenait à apporter bénévolement une aide technique aux populations du Congo dans le cadre de programmes d'assistance qu'il suivait de près.

Notre ami a marqué le Cercle de son empreinte et nombreux serons-nous à regretter son départ. »



CRAOM



“Hommage au Président Gastout”
par le Secrétaire Général

10 juin 2022

.....

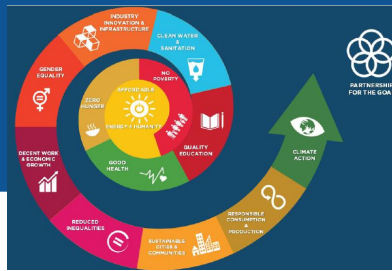
Nous avons reçu de nombreux témoignages touchants d'africains et parmi eux, celui de Jonathan Kahumba, un proche que Claude estimait.

Je le cite : « Je suis profondément attristé par la mort de ce grand homme. Un homme au coeur humain ».

La dernière fois, lors de mon passage chez lui avec d'autres amis du Congo, il nous a présenté un repas symbolique et nous a dit :
NOUS SOMMES TOUS LES MÊMES QUELLES QUE SOIENT NOS DIFFÉRENCES.

Bon voyage Claude !
Jean-Michel van Dievoet





1 – Introduction : l'énergie,

* moteur essentiel du développement humain

* quelques principes généraux et concepts de base

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

3 - Conclusion : l'énergie, moteur du progrès ou épuisement de nos ressources ?

- vers un nouveau pacte entre l'économie, la société et l'environnement

La méthode scientifique



Démarche
scientifique

La méthode idéologique

Voici les faits.
Quelles conclusions
pouvons-nous
en tirer ?



Voici la conclusion.
Quels faits pouvons-
nous trouver pour la
rendre crédible ?



Image : Hygiène mentale



Society

Fossil fuels

CO2 - reserves

Renewables

Costs - lifestyle

Risks - Waste

Economy

Nuclear

Ecology

- La méthode scientifique vise à décrire et expliquer les faits (le réel) de manière neutre.
- A l'inverse, la méthode idéologique va tenter de faire correspondre les faits, le réel, avec les conclusions (diapo ci-dessus).

Cette méthode n'est donc pas neutre et deux idéologies en concurrence vont ainsi présenter les faits sous des angles différents.

Source : Expliquer les sciences sans les défigurer : le défi de la vulgarisation scientifique - Hélène Mottier (CNRS), 15 juillet 2019 - <https://www.echosciences-grenoble.fr/communautaires/atout-cerveau/articles/expliquer-les-sciences-sans-les-defigurer-le-defi-de-la-vulgarisation-scientifique>

« *Tout problème bien posé est à moitié résolu* » Henri Bergson

The natural laws (also known as scientific laws)

- no change during the past 13.7 billion years -
are very different from

the man-made laws - change over time !



Energy, a primary driver for human development



Sustainable Development Goal (SDG) no 7 is about ensuring access to affordable and clean energy, which is key to the development of agriculture, business, communications, education, healthcare and transportation.

The lack of access to energy hinders economic and 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 (**NEXUS**). The relationship of energy with "Human Development Index" (HDI) is well known and established.

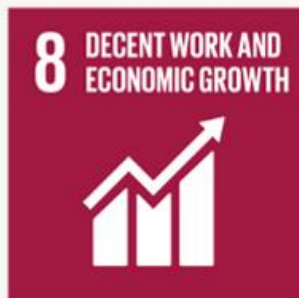


SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS
17 GOALS TO TRANSFORM OUR WORLD

UN Agenda-2030 : 17 “Sustainable Development Goals” (Sept 2015)



**Priority
no 1**



**Priority
no 13**

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.

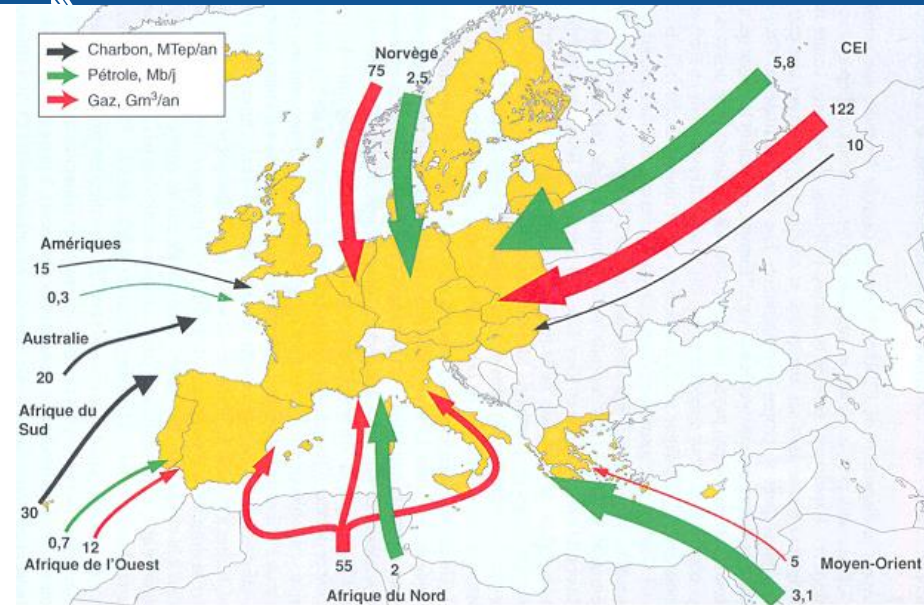
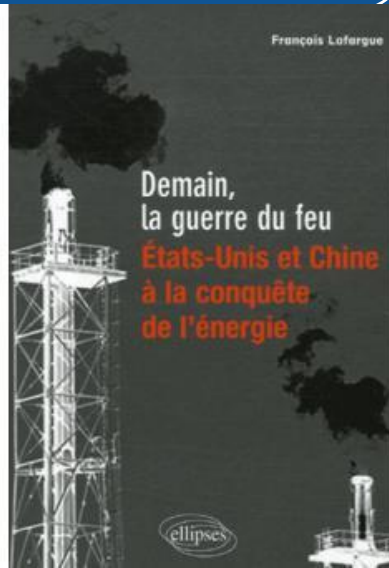
ONU: « 17 objectifs pour transformer notre monde » et Rapport ODD 2018 (<https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/development-agenda/>)

“Véritable guerre énergétique” – “Conquête de l’énergie du futur”



« Un besoin insatiable d'hydrocarbures »

L'Union Européenne, Pékin et Washington partagent une même obsession, la diversification de leur approvisionnement énergétique, pour réduire leur dépendance à l'égard de l'étranger. « Demain, la guerre du feu, Etats-Unis et Chine à la conquête de l'énergie » par F. Lafargue (2006)



En 2019, l'Union Européenne dépendait, pour 60 % de sa consommation d'énergie, de ses importations. Le reste de l'énergie est produite sur le sol européen.



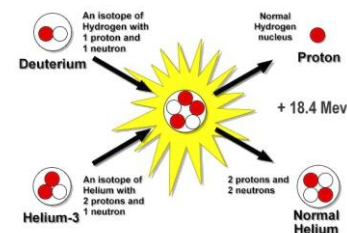
« L'affrontement mondial pour la conquête de l'énergie du futur »

La lune, l'astre aux multiples ressources

Il existe trois grandes catégories de ressources connues sur la Lune:

- certaines "terres rares" (cérium, terbium, samarium, scandium, gadolinium ..)
- l'hélium-3 pour la fusion (deux protons et un seul neutron) : fusing helium-3 with deuterium, with the advantage of not producing neutrons
- l'eau (glacée à - 163°C) à la surface des régions polaires

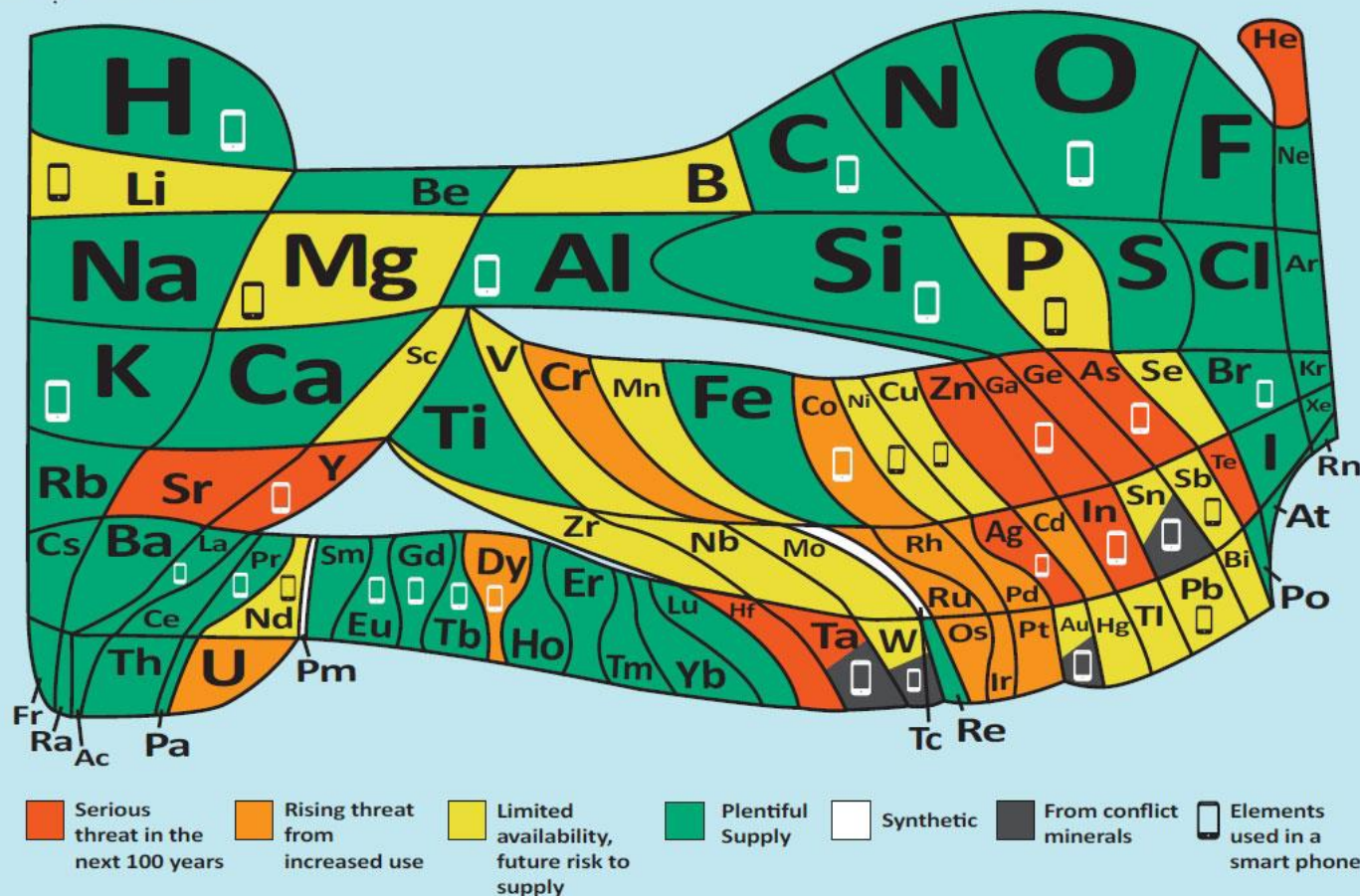
EGE - 7 Juin 2021 - <https://www.ege.fr/infoguerre/laffrontement-mondial-pour-la-conquete-de-lenergie-du-futur>



EGE Ecole de Guerre Economique

The 90 natural elements that make up everything

How much is there? Is that enough?



Read more and play the video game <http://bit.ly/euchems-pt>



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs CC BY-NC-ND

Figure : An updated periodic table compiled by the European Chemical Society (EuChemS) highlights important chemical elements that could experience future supply shortages.

The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) has named 2019 the Year of the Periodic Table of Chemical Elements, in recognition of the 150th anniversary of Dmitri Mendeleev's original publication of the table in 1869. A number of items prominent on above "endangered-species list" of chemical elements are important materials for electronics and integrated photonics.

Source : An "Endangered List" for Chemical Elements – January 2019 – <https://www.euchems.eu/euchems-periodic-table/>

Du feu à l'atome - l'énergie au cœur de l'histoire humaine

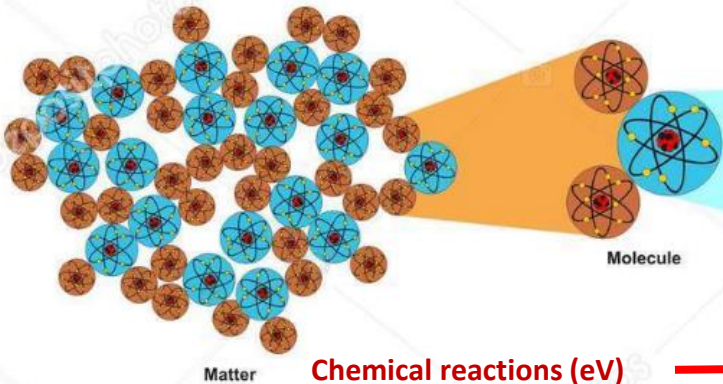


L' histoire de l'homme a été substantiellement marquée par l' évolution des sources d'énergie libre qu'il a su ou pu utiliser.

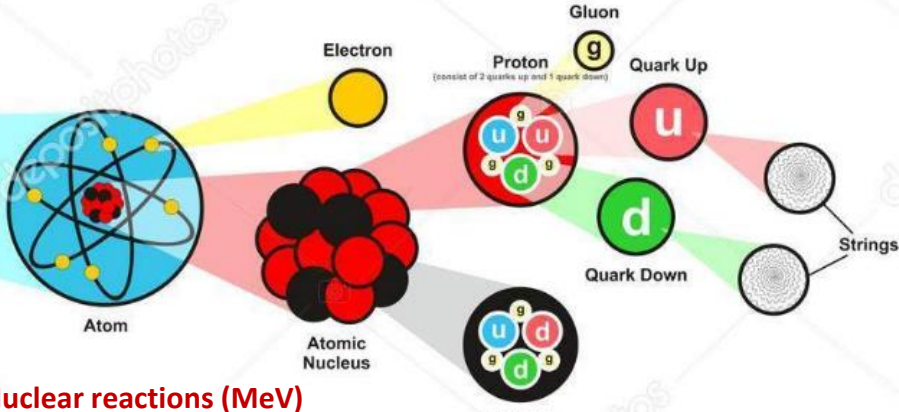
"We need to get serious about the renewable energy revolution — by including nuclear power" - May 5, 2022

<https://thebulletin.org/2022/05/we-need-to-get-serious-about-the-renewable-energy-revolution-by-including-nuclear-power/>

Matter – molecules



atom – electrons & nucleus – protons & neutrons – quarks – strings

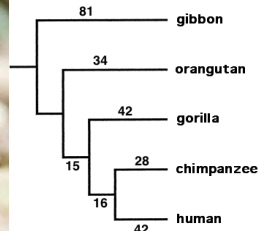


Chemical reactions (eV)

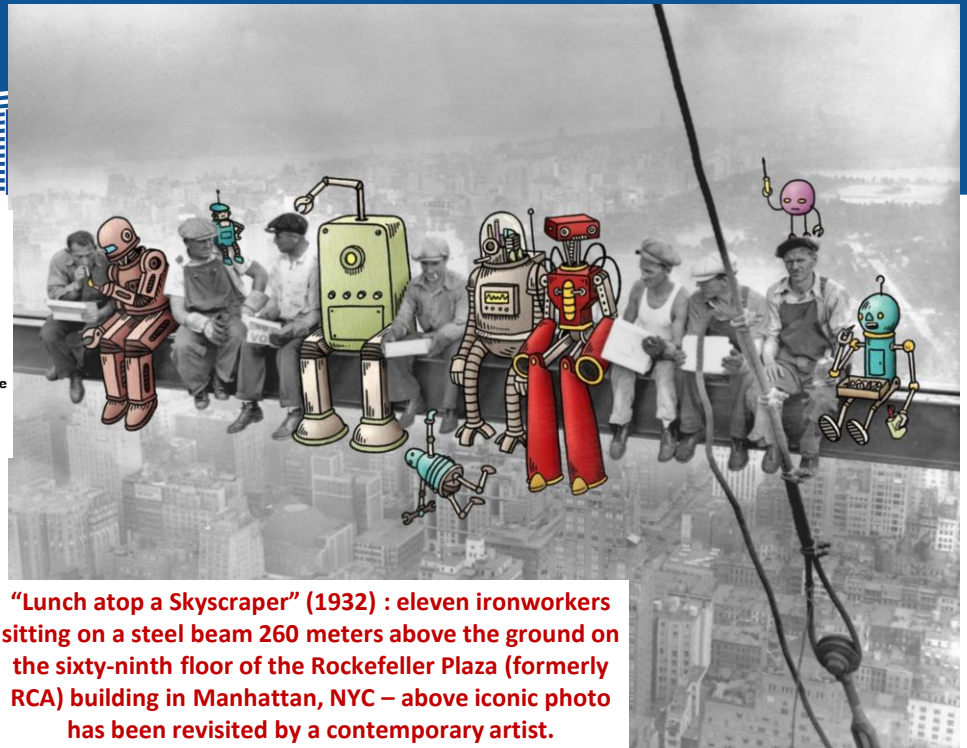


Nuclear reactions (MeV)

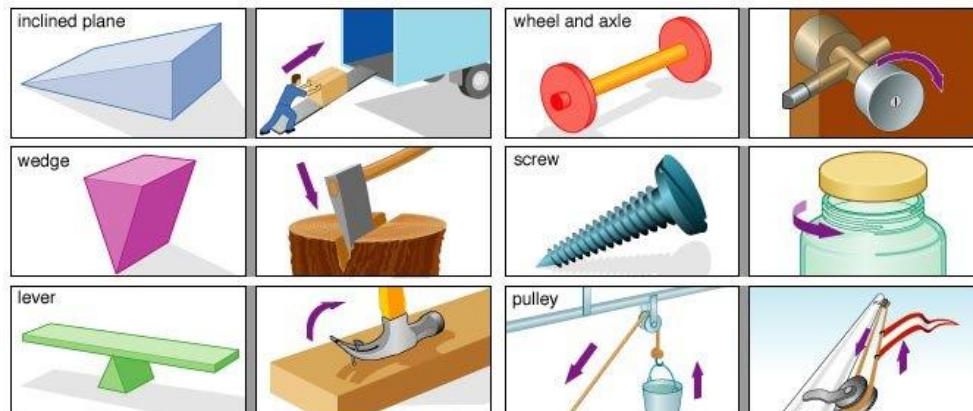
From Chimpanzee Using Tools to Fourth Industrial Revolution



Accomplished toolmakers : Chimpanzees are inventive and extremely clever (large anthropoid ape of equatorial African forests). Humans and chimps share a surprising 99 percent of their DNA.



"Lunch atop a Skyscraper" (1932) : eleven ironworkers sitting on a steel beam 260 meters above the ground on the sixty-ninth floor of the Rockefeller Plaza (formerly RCA) building in Manhattan, NYC – above iconic photo has been revisited by a contemporary artist.



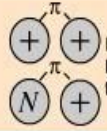
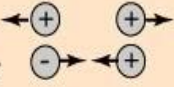
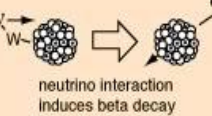
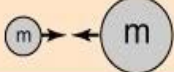
© 2006 Encyclopædia Britannica, Inc.



Machines (whether simple or complex) are operated manually or automatically, but they require human intervention.

Robots, on the other hand, are designed to operate independently and perform tasks without human intervention.

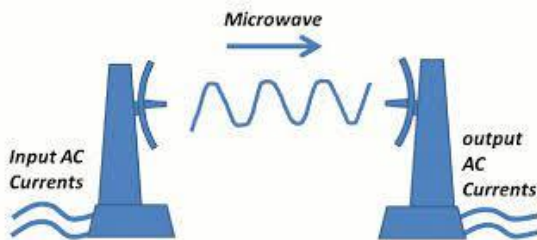
Fundamental Forces

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

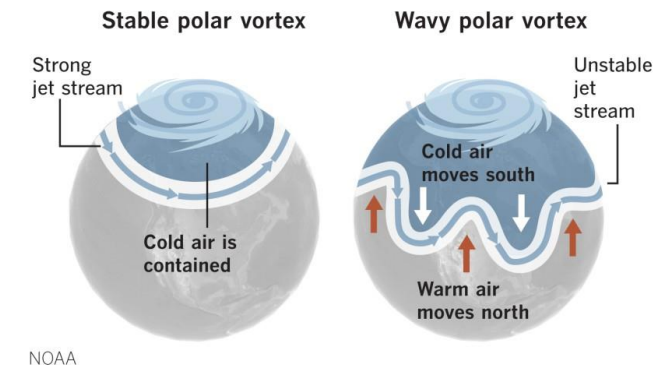
Fundamental forces vs Energy



Energy from biomass, water, solar, wind, nuclear, geothermal, oil, coal and gas



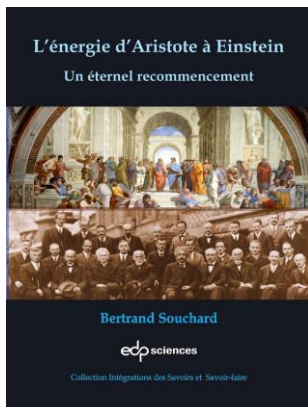
How a polar vortex works



Stratospheric polar vortex - Stable and Wavy Jet Streams (NOAA SciJinks inspires and engages students - <https://scijinks.gov/polar-vortex/>)

QUELQUES MOTS SUR LA FORCE ET L'ÉNERGIE

Etienne Klein nov 2020 - « Le goût du vrai » - "Oui, la science est contre-intuitive"



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 $E = m c^2$. De plus l'énergie quantique semble paradoxale.

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



Etienne Klein

(physicien CEA, philosophe des sciences, 1958 -)

(https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89tienne_Klein)

CEA Recherche - YouTube : <https://www.youtube.com/user/CEASciences/featured>

(1) Conférence et livre « Le goût du vrai » - <https://www.youtube.com/watch?v=2byu0bYPj0c>
(conférence, Sorbonne, Paris) - 9 nov. 2020 + Publication : « LE GOUT DU VRAI » de Etienne Klein
(56 pages, Tracts Gallimard, juillet 2020, Euros 3,90)

(2) Conférence "Peut-on faire progresser l'idée du progrès ?"
« Les ingénieurs franchement on ne les entend pas beaucoup »
<https://youtu.be/tCOKgoCX8CA> (conférence de 1h28 aux Alumni de ECE – Lyon) - 4 nov. 2020
Si vous n'avez que 3 min sec, alors écoutez un résumé : https://youtu.be/I_WZDVAX6mQ

(3) Qu'est-ce que l'énergie ? (16 min) – 4 août 2017 <https://www.youtube.com/watch?v=4CBSZqPmPH0>
* De quoi l'énergie est elle le nom ? - 19 févr. 2019 - <https://www.youtube.com/watch?v=QCh4jIsvmZE>
* <https://www.cea.fr/comprendre/Pages/energies/essentiel-sur-energies.aspx>

Oui, la science est contre-intuitive.

« La science prend souvent l'intuition à contre-pied, contredit presque toujours le bon sens et n'a que faire de la bureaucratie des apparences.

Les sciences sont de grosses machines à pulvériser les préjugés et à contredire les interprétations spontanées que nous faisons des phénomènes qui nous entourent. »



Energy (TWh) vs Power (GW)

Energy is the ability to do work.

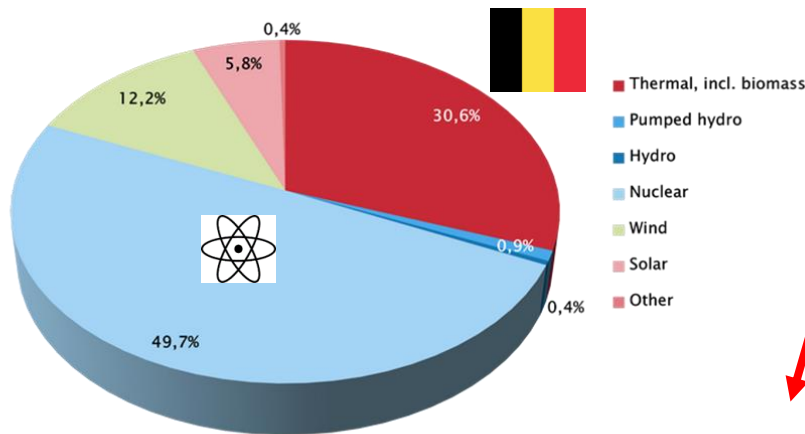


**TWh
Energy**



**GW
Power**

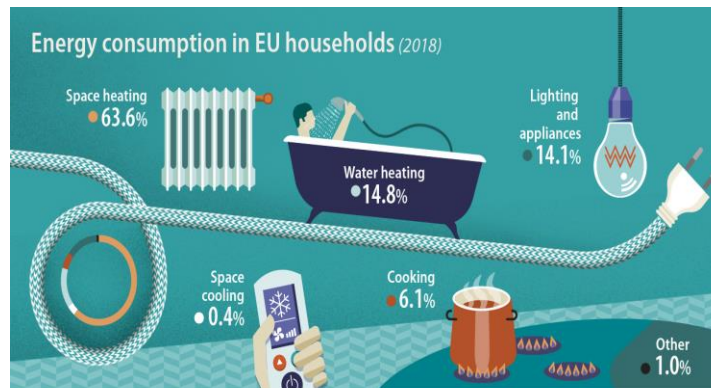
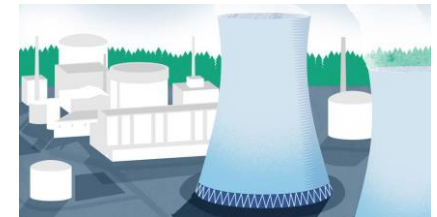
Total net electricity production in Belgium by production technology 2021* (96,34 TWh)



(= the ability to do work on or cause a change in matter)

(= the rate at which energy is produced or used)

While units of energy measure the total quantity of work done, they don't tell us how fast that work is being accomplished.



Power < = > Energy

A 1 GW NPP would generate approximately 8 TWh in a year
(assuming a load factor of 92 %, that is : 8 000 hours operating time per year).

$$W = \int_{t_0}^{t_1} \mathbf{F} \cdot \mathbf{v} dt$$

Les énergies en un coup d'œil

L'énergie est présente partout sur notre Planète et sous de multiples formes : la chaleur et la lumière du soleil, l'eau ou l'air en mouvement, le bois ou les eaux chaudes souterraines, les gisements de charbon ou de pétrole ...

On appelle énergies primaires ces différentes sources d'énergie naturelles.

Mais dans bien des cas, nous ne pouvons pas utiliser directement ces énergies pour nos besoins.

Que peut-on faire d'un flacon de pétrole brut ? Il faut le transformer en carburant pour nos moteurs.

Que peut-on faire du courant d'une rivière ? Il faut installer un barrage pour créer une chute d'eau artificielle et produire de l'électricité.

Les formes d'énergie produites à partir des énergies primaires, comme l'électricité ou les carburants, sont appelées **énergies secondaires** ou **vecteurs énergétiques**.

Ce sont ces vecteurs énergétiques que nous utilisons dans notre vie au quotidien.

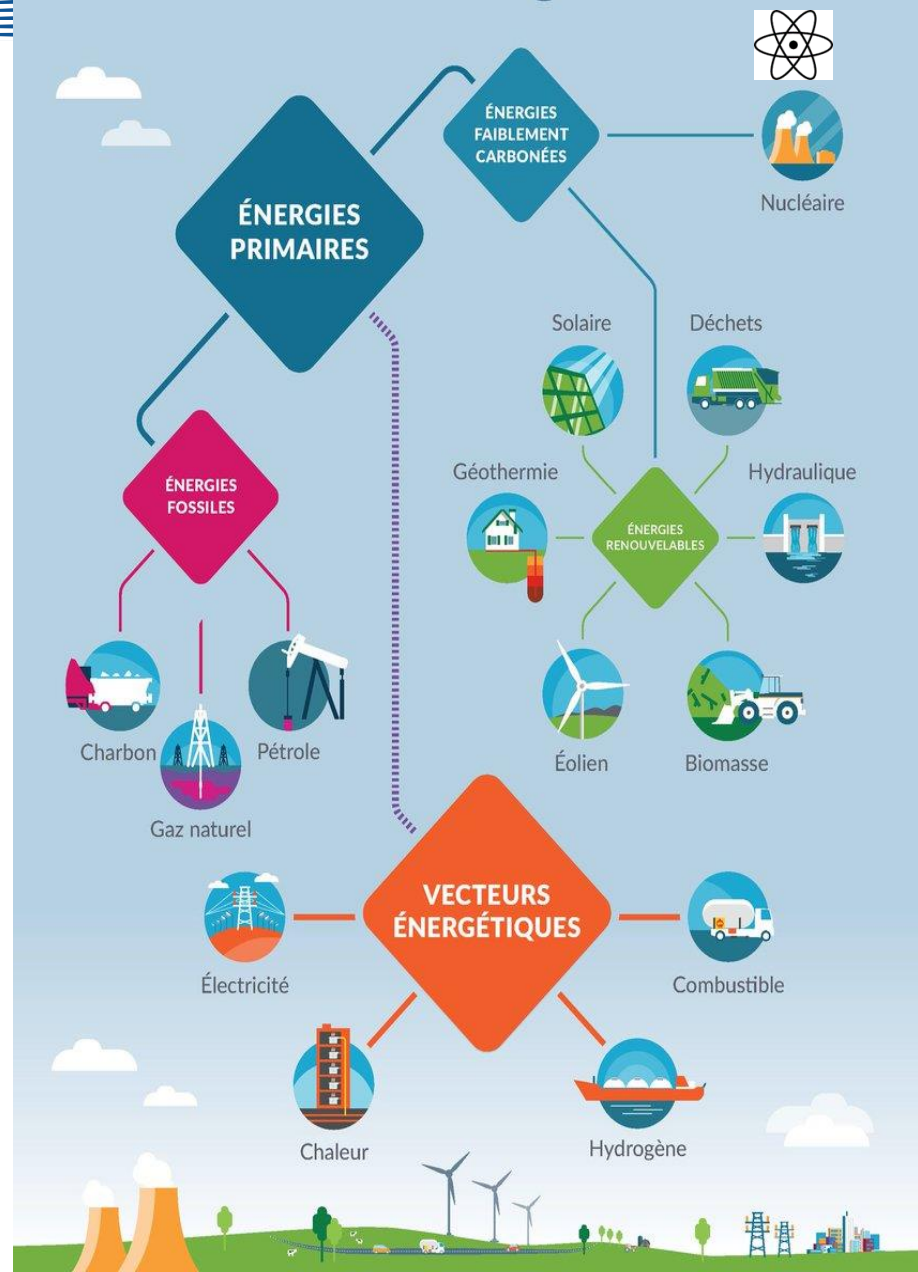


planete
energies

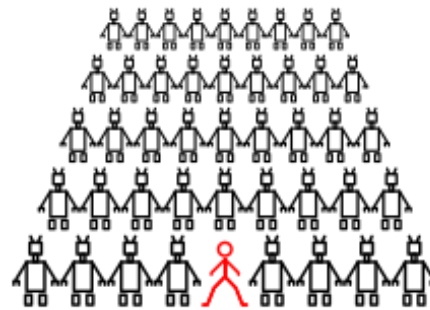
An initiative by TOTAL
FOUNDATION

<https://www.planete-energies.com/fr/medias/infographies/la-carte-mentale-des-energies>

La carte mentale des énergies



« Energy slaves » per capita per annum - in Belgium : 590



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. 0.7 kWh)

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

TWh $\neq$ GW

Total energy consumption (TPES) per capita per annum in "W average" in 2013 and "energy slaves"

- **Belgium : 6708.9 (or 211.64 GJ, i.e. : 58789 kWh) = > approximately 590 energy slaves per capita per annum**
- **France : 5112.4 = > approximately 450 energy slaves per capita per annum**
- **USA : 9207.8 = > approximately 810 energy slaves per capita per annum.**

List of countries by total energy consumption per capita. This is not the consumption of end-users but all energy needed as input to produce fuel and electricity for end-users. It is known as Total Primary Energy Supply (TPES), a term used to indicate the sum of production and imports subtracting exports and storage. - https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_energy_consumption_per_capita

"The energy slave is a unit of measurement that allows us to better understand and evaluate the consequences of our life choices. An energy slave works to produce energy 24 hours a day. He produces an average power output of 100 W (that is : 875 kWh/year)."

Source : R B Fuller (1940). "World Energy and <https://jancovici.com/en/energy-transition/energy-and-us/how-much-of-a-slave-master-am-i/>

Calculation method. The number of energy slaves per capita depends on the method of calculation: either we take

- the average energy provided by a slave 24 hours a day, 365 days a year (that is : 875 kWh/year) => above figures
- or the mechanical energy provided by a healthy individual working 40 hours a week (or 3 kWh/week or 210 kWh/year).

In comparison, a litre of gasoline can provide 9.5 kWh of chemically stored energy (to run an engine for example).

ENERGY VALUE CHAIN

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

Integrated Energy Planning



Republic of South Africa

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



24/7/365



END-USE TECHNOLOGIES

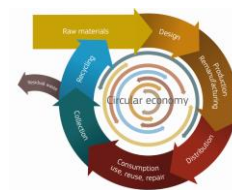
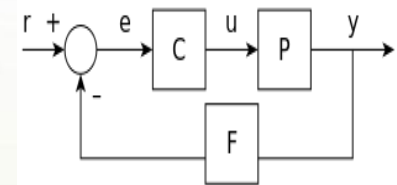
• INDUSTRY

- Steam boilers
- Furnace
- Machinery
- 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



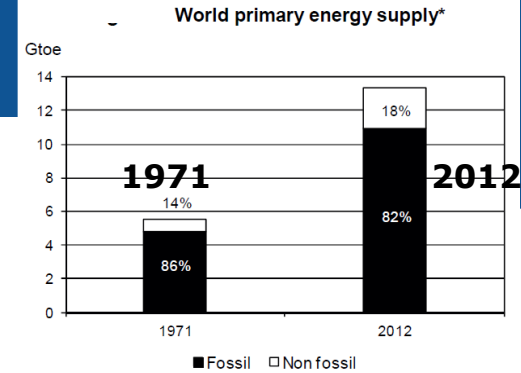
Department:
Energy
REPUBLIC OF SOUTH AFRICA

"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)

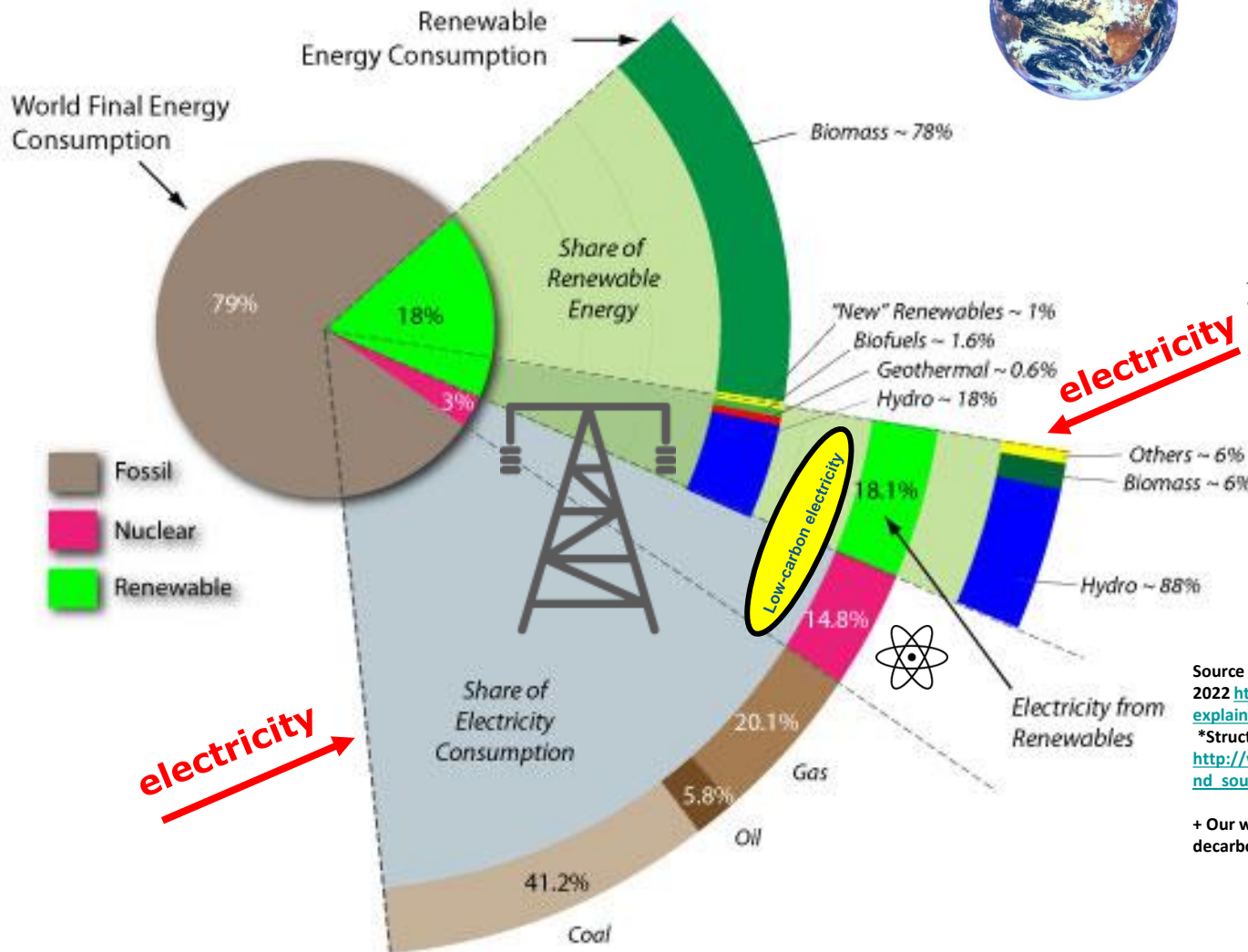
Source : INTEGRATED ENERGY PLAN (IEP), Republic of South Africa, Dep't of Energy, 22 November 2016 -

<http://www.energy.gov.za/files/IEP/presentations/Integrated-Energy-Plan-22-Nov-2016.pdf> and IEP Report, 20 August 2013 - <http://slideplayer.com/slide/8307179/>

About 20 % of the world's energy is consumed in the form of electricity (IEA)



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



Our World in Data

Visualising the Empirical Evidence on how the World is Changing

Source : * Eurostat - Energy statistics - an overview – February 2022 https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview
 *Structure of Global Energy (2016) - Worldwide statistics - http://www.greenrhinoenergy.com/renewable/context/uses_and_sources.php

+ Our world in data - Is the world making progress in decarbonizing energy? - <https://ourworldindata.org/energy-mix>

National energy use is categorized in most countries world-wide in four broad sectors:

- transportation (passenger, freight, and pipeline) – 31 % in the EU
- residential (heating, lighting, and appliances) – 26 % in the EU
- industrial users (agriculture, mining, manufacturing, and construction) – 26 % in the EU
- commercial (services), agriculture and forestry, and others – 17 % in the EU



Most of the energy used in the four broad sectors world-wide comes from fossil energy (about 80 %). It has been so over the last 50 years (above graph).

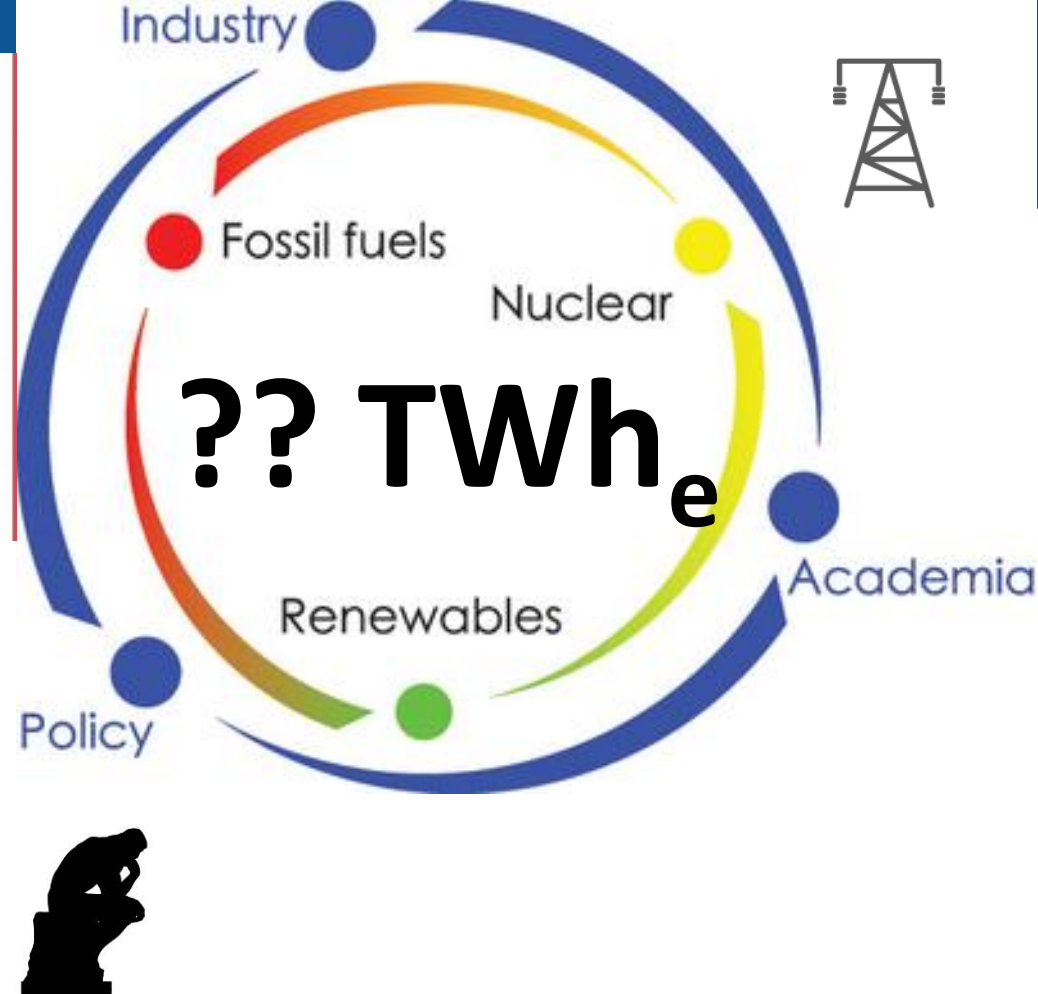
A small fraction of the primary energy sources - approximately 20 % - is consumed in the form of electricity but this fraction may grow dramatically in the coming decades because of the upcoming massive electrification of society (IEA outlook).



Besoin total d'électricité :

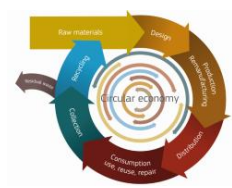
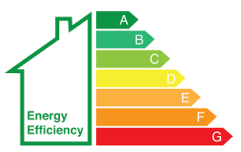
- en Belgique en 2040 = 100 TWh
- en France en 2050 = 645 TWh

NB - au niveau mondial, la part de l'électricité dans la consommation finale d'énergie progresse rapidement : 13 % en 1990, 20 % en 2019.



Primary energies : renewables – fossil fuels – nuclear

Stakeholders : policy – industry – academia



+ resource and energy efficiency in a circular economy

Statistiques électricité 2021 (1/2)

- Production d'électricité (TWh)
- Capacité de production (MW)



Total net electricity production in Belgium by production technology 2021* (96,34 TWh)



**TWh
Energy**



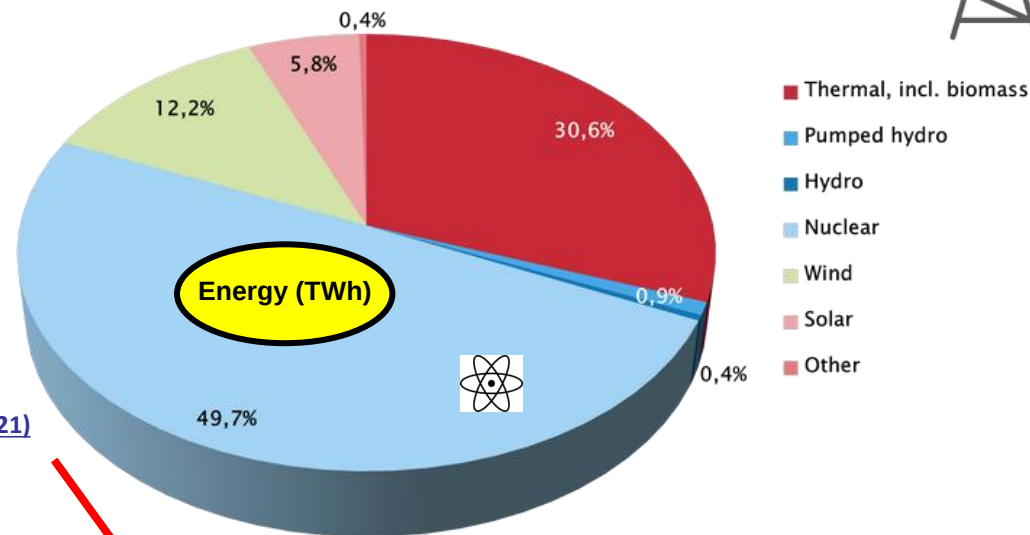
**GW
Power**

(= the ability to do work on or cause a change in matter)

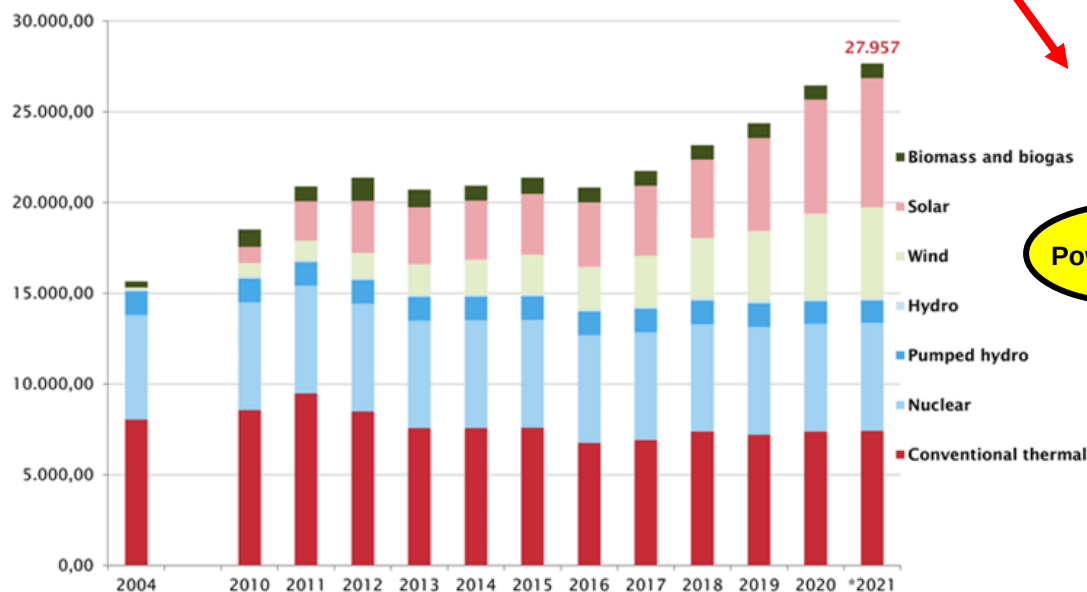
(= the rate at which energy is produced or used)

Production d'électricité nette (TWh) en Belgique pour l'année 2021
Le graphique ci-contre représente la ventilation en pourcentage, par type de fuel de la production nette d'électricité en Belgique.
=> Sources d'énergie pilotables = 82 % et non-pilotables = 18 %

Capacité de production (MW) en Belgique (2004 – 2021)
Les deux graphiques ci-dessous représentent la répartition par technologie de l'ensemble des capacités de production en Belgique et son évolution jusque fin 2021.
=> Sources d'énergie pilotables = 57 % et non-pilotables = 43 %

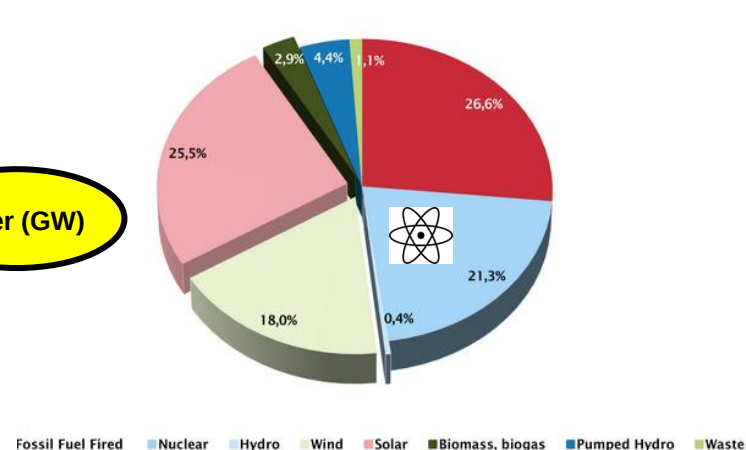


Installed capacity in Belgium by production technology (MW)



Installed capacity in Belgium by production technology 2021* (27,957 MW)

Power (GW)



Autre source : « Un tour d'Europe du Green Deal - Vue Générale », Pierre Kunsch
– Collège Belgique - 31.01.2023 - <https://lacademie.tv/conferences/un-tour-d-europe-du-green-deal-vue-generale-par-pierre-kunsch>

Statistiques électricité 2021 (2/2)

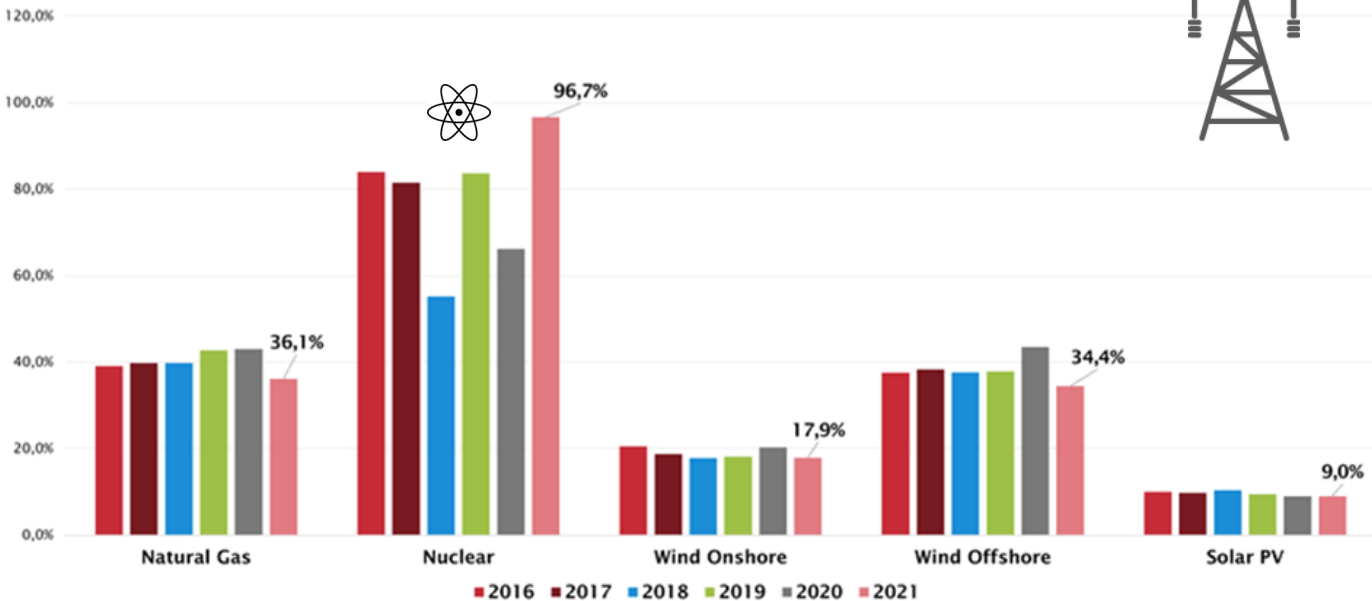
- Facteur de charge
- Industrie, services, résidentiel, ...



Source: « Statistiques électricité - Production, consommation et capacités de production d'électricité en Belgique », 2021
FEBEG (Fédération Belge des Entreprises Électriques et Gazières)
<https://www.febeg.be/fr/statistiques-electricite>

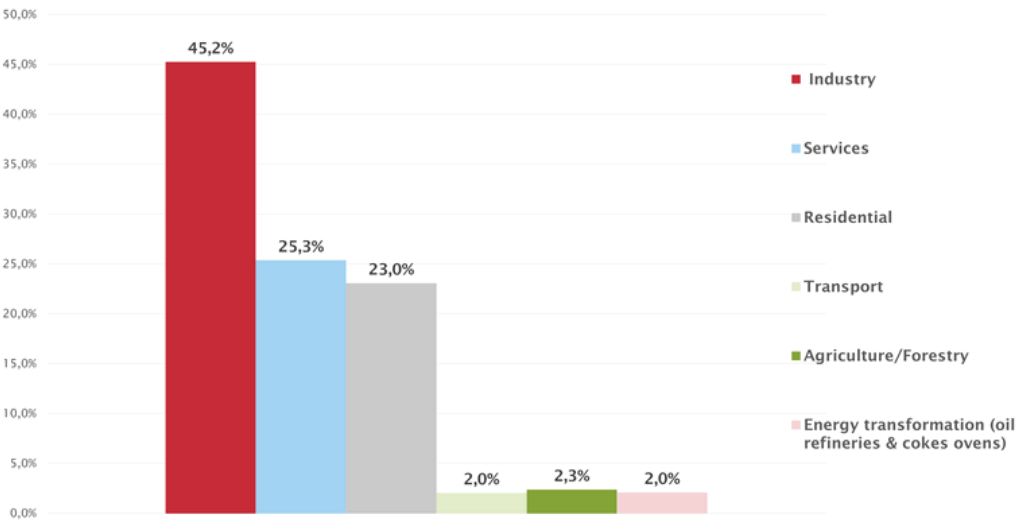
and SPF Economie, PME, Classes moyennes et Energie - ENERGY KeyData – Ed. February 2023
– <https://economie.fgov.be/fr>

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



Le 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). 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 2021 et pour les années précédentes (calculs effectués sur bas des chiffres de production bruts).

Final 'observed' energy consumption by sector in Belgium in 2020* (80,87 TWh)

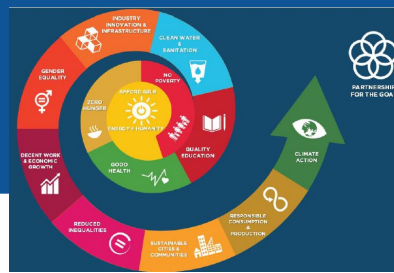


Consommation en 2021 - industrie, services, résidentiel, transport

En 2021, la consommation d'électricité en Belgique s'est inscrite en hausse à 83,7 TWh, ce à la suite de la reprise post Covid-19.

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.

Le graphique ci-contre représente la ventilation de la consommation d'électricité, en TWh, par segment de marché (attention chiffres 2020, car les données de 2021 ne sont pas encore disponibles).



- 1 – Introduction : l'énergie, moteur essentiel du développement humain
 - quelques principes généraux et concepts de base

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

- 3 - Conclusion : l'énergie, moteur du progrès ou épuisement de nos ressources ?

- vers un nouveau pacte entre l'économie, la société et l'environnement



3
2
(4)
1

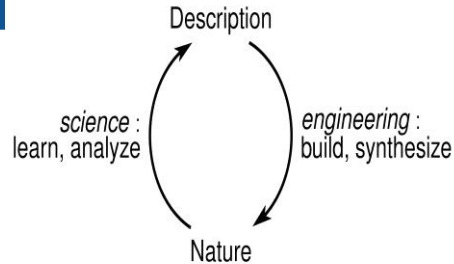
Fundamental Forces				
Strong		Strength Force which holds nucleus together 1	Range (m) 10^{-15} (diameter of a medium sized nucleus)	Particle gluons π (nucleons)
Electro-magnetic		Strength $\frac{1}{137}$	Range (m) Infinite	Particle photon mass = 0 spin = 1
Weak		Strength 10^{-6}	Range (m) 10^{-18} (0.1%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

(1) Science (histoire de la physique) <=> (2) Engineering (conquête de l'énergie)

"You have to know the past to understand the present" — Carl Sagan

(1) SCIENCE

« La physique moderne est née des cendres du monde aristotélicien »



(2) ENGINEERING

« L'énergie est essentielle pour le bien social et économique »

"Scientists discover the world that exists ;

Engineers create the world that never was."

Theodore von Kármán (1881 –1963)
aerodynamic theoretician HU-USA



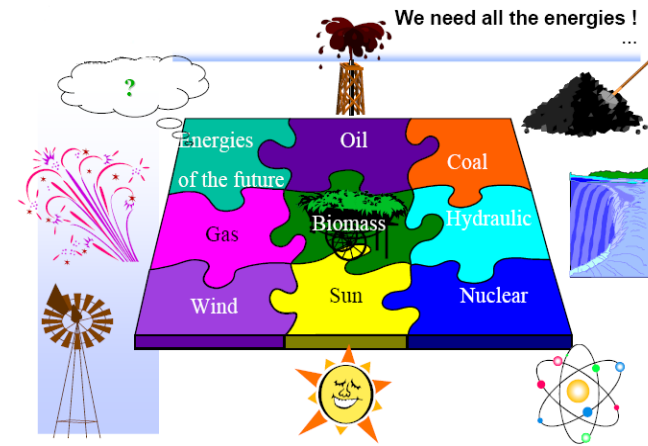
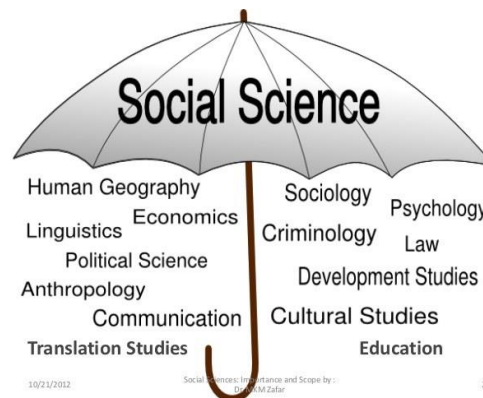
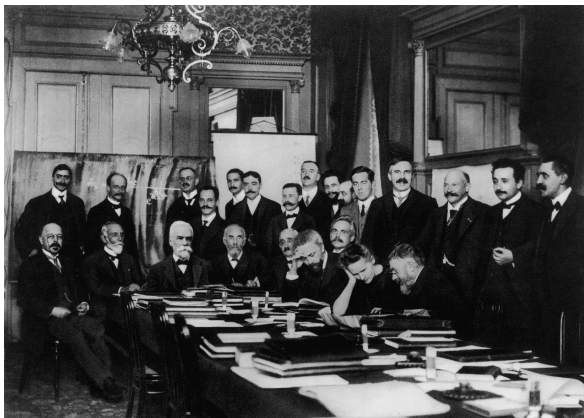
How has engineering changed the world ?

From : heat from fire

(first energy source used by humans)

To : modern mix of primary energy sources (renewables, fossil and nuclear)

Physics Emerges :
From Aristotle to
Copernicus ... to Einstein ...



Platon et Aristote, « philosophes » (φιλόσοφος), càd : chercheurs de sagesse

« L'Ecole d'Athènes », 1510, Raphaël

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 (à gauche) et Aristote (à droite). Platon montre vers le haut indiquant que ce sont les choses impérissables de l'esprit (les idées) qui constituent la réalité première de l'Univers ; Aristote pointe le sol par le plat de sa main droite, ce qui symbolise sa croyance dans la connaissance par le biais de l'observation empirique et de l'expérience tout en tenant, dans l'autre main, une copie de son Éthique à Nicomaque.



Source: "L'Ecole d'Athènes", Raphaël (1483-1520 – portrait 1)
Chambre de la Signature, Cabinet de travail et bibliothèque de Jules II, Vatican, Rome
- Commande de Jules II (pape de 1503 à 1513 – portrait 2)
(https://fr.wikipedia.org/wiki/L%27%C3%89cole_d%27Ath%C3%A8nes)



Pour Démocrite (460 – 370 av. J.-C.), le philosophe "riant", la nature est composée dans son ensemble de deux principes :

- les atomes, ἄτομα, (littéralement : « insécables », ce qui est plein) et
- le vide (ou néant).

NB - *opposition déterminée de Platon mais aussi d'Aristote et de leurs successeurs.*



DESCRIPTION: fresque peinte en 1509-1510 (largeur 7.7 m, hauteur 4.4 m)

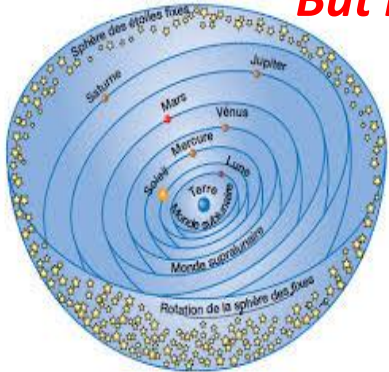
- Au centre : Platon (sous les traits de Léonard de Vinci) tenant le Timée, Aristote tenant l'Éthique (<https://plato.stanford.edu/>)
- A l'extrême gauche : Epicure (coiffé de pampre) + Heraclitus, the "weeping" philosopher, and Democritus, the "laughing" philosopher.
- A gauche : Socrate, Zénon, Pythagore (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)

NB - **HYPATIE D'ALEXANDRIE (AU CENTRE DE LA MOITIÉ GAUCHE), SEULE FEMME DE L'ASSEMBLÉE (AD 355 – 415)**



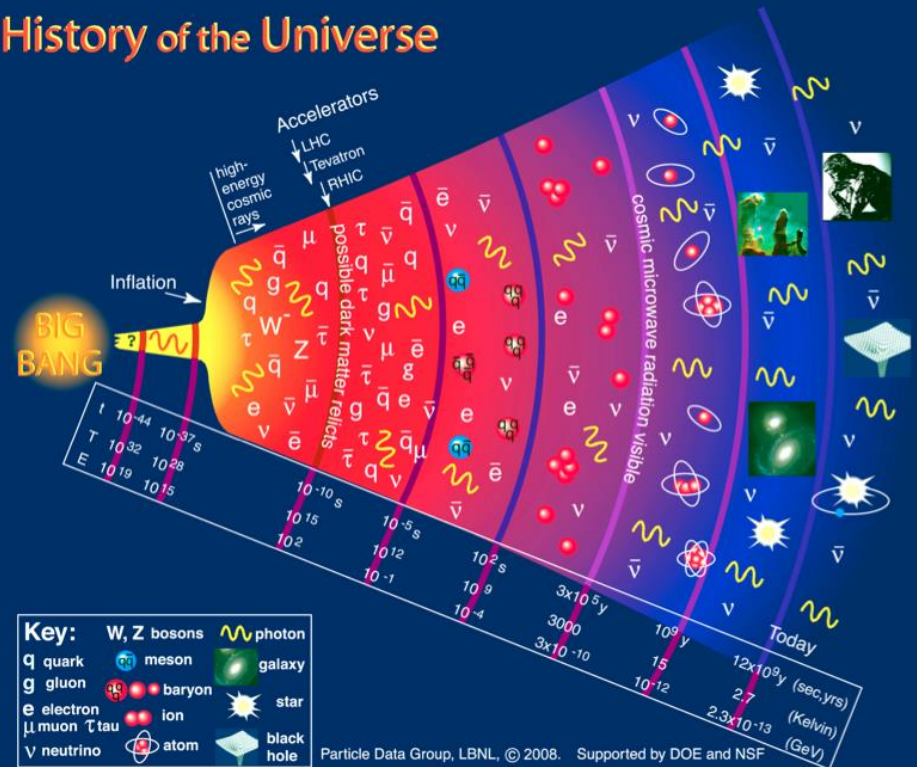
Il y a plus de 2300 ans — Aristote, philosophe grec

**Aristotle Was Wrong —
Very Wrong —
But People Still Love Him**



**“Oui, la science est
contre-intuitive”
Etienne Klein, 2021
“Le goût du vrai”**

History of the Universe



« Le monde (cosmos) est un
ensemble clos et fini de sphères
hétérogènes imbriquées » /Aristote/

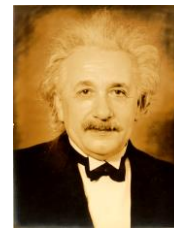
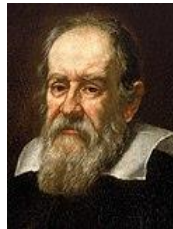


Du Big Bang à nos jours (cosmologie):
illustration des deux infinis (infiniment petit
/M. Planck/ et infiniment grand /A. Einstein/)

« La science consiste à passer d'un étonnement à un autre » (*Aristote 384 – 322 av. J.-C.*)

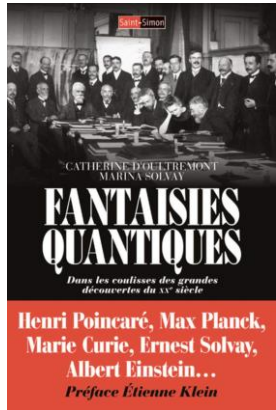


2000 ans



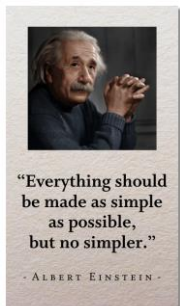
Pioneers of gravitational theory :
Aristotle ; Galileo Galilei (1638)
Isaac Newton (1687) ; Albert Einstein (1915)

A l'hôtel Métropole, Max Planck, Henri Poincaré, Hendrick Lorentz, Marie Curie, Albert Einstein, Paul Langevin, ... et d'autres réinventèrent la science (premier Congrès Solvay, 1911)



« Fantasies quantiques
- Dans les coulisses des
grandes découvertes du
XXe siècle » juin 2020

« La Science, c'était la
passion d'Ernest Solvay »,
précise Marina Solvay,
l'arrière-arrière-petite-
fille de l'industriel qui a
signé cet ouvrage, avec
comme coauteure
Catherine D'Oultremont.



Grand Hôtel Métropole, Bruxelles - October 1911 – “Radiation and the Quanta” (the early quantum theory)

Assis : Walther Nernst, Marcel Brillouin, Ernest Solvay, Hendrik Lorentz (chairman), 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.

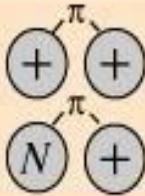
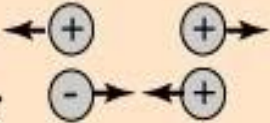
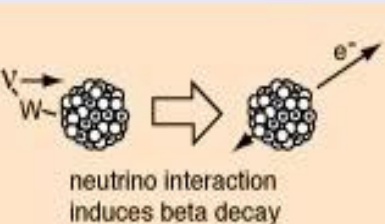
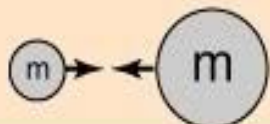
(“On the first Solvay Congress in 1911”, Norbert Straumann – Zürich, in Eur. Phys. J. H 36, 379–399 (2011)

- <https://core.ac.uk/download/pdf/159146147.pdf>)

Standard model of fundamental forces and particles

and primary energy sources

Fundamental Forces

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



3



Primary energy sources take many forms, including

- nuclear energy (fission and fusion),
- fossil energy -- like oil, coal and natural gas – and
- renewable sources like hydropower, biofuels, wind, solar and geothermal.

2

(4)



Human history:
the world is seeking to
climb up the energy
density ladder !
(Vaclav Smil – 2018)

1

The fundamental types of force (or interaction) are gravity, electromagnetic, weak nuclear, and strong nuclear. All other forces, such as contact forces (e.g. frictional force, tension force as applied through strings, force exerted during collision) and non-contact forces (e.g. Coulomb, magnetic, centrifugal force) are special cases of those forces. Physicists understand forces as resulting from the interaction of systems and fields - <https://schooltutoring.com/help/physics-review-of-types-of-force/>

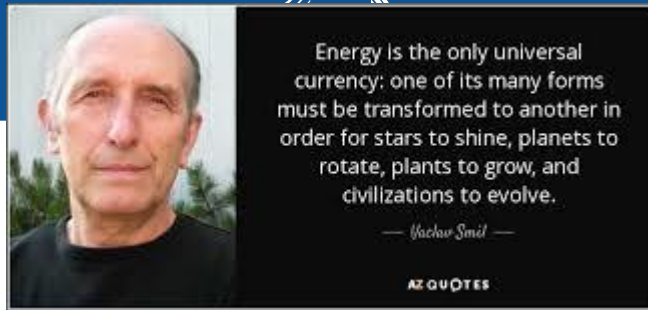
Histoire de l'homme <=> évolution des sources d'énergie libre utilisées

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

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

Rappel : Cinq 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⁻¹
- L'énergie libre : $F = U - T.S$ exprimée en J
- L'enthalpie libre : $G = H - T.S$ exprimée en J



"Energy and Civilization", 2017, Vaclav Smil (Manitoba, Canada) - <http://vaclavsmil.com/2017/05/08/energy-and-civilization-a-history/>

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 (1), hydraulique et éolienne (2), thermique à cycles (3), électrique (4), chimique, pétrole et gaz (5), nucléaire (6), et bas-carbone (7).

NB : À la fin du XVIII^e siècle, à la veille de la révolution industrielle, la quasi-totalité des besoins d'énergie de l'humanité était encore assurée par des énergies renouvelables (Fernand Braudel, historien, 1902 – 1985).

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

« Le travail de l'homme consiste à capter l'énergie libre »

(libre ! - seule l'énergie libre est utilisable – seconde loi de la thermodynamique /entropie/).

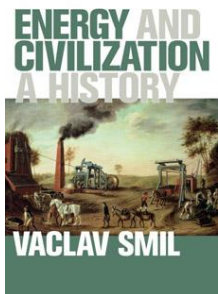
Que faites-vous avec un baril de pétrole brut ? Rien.

Si l'énergie est libre, le gros du travail consiste à la capter et transformer de manière à ce qu'elle soit utilisable.

Rappel : 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. F est un potentiel thermodynamique.

On appelle potentiel thermodynamique d'un système soumis à un certain nombre de contraintes, toute fonction qui décroît au cours de l'évolution spontanée du système, l'équilibre thermique correspondant à son minimum.

(Chimie - Université Paris-Sud à Orsay - http://hebergement.u-psud.fr/fabien-cailliez/Downloads/rappels_chim387.pdf)



Humanity has experienced three major energy transitions and is now struggling to kick off a fourth

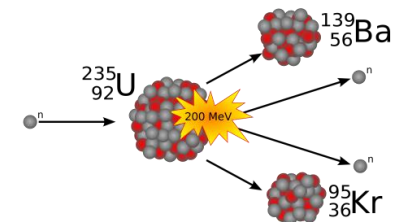
History of transitions : (1) fire ; (2) muscle ; (3) coal, oil, and gas

- First was the mastery of fire, which allowed us to liberate energy from the sun by burning plants.

- Second came farming, which converted and concentrated solar energy into food, freeing people for pursuits other than sustenance. During that second era, which ended just a few centuries ago, farm animals and larger human populations also supplied energy, in the form of muscle power.

- Third came industrialization and, with it, the rise of fossil fuels. Coal, oil, and natural gas each, in turn, rose to prominence, and energy production became the domain of machines, as such coal-fired power plants.

- Now, fourth, the world faces its fourth energy transition: a move to energy sources that do not emit carbon dioxide, and a return to relying on the sun's current energy flows, instead of those trapped millions of years ago in deposits of coal, oil, and natural gas.



The fourth transition is unlike the first three, however.

"climbing back down the power density ladder"

Historically, Vaclav Smil (1943 -) notes, humans have typically traded relatively weak, unwieldy energy sources for those that pack a more concentrated punch.

<https://www.science.org/content/article/meet-vaclav-smil-man-who-has-quietly-shaped-how-world-thinks-about-energy>



Heat from fire: first energy source used by humans



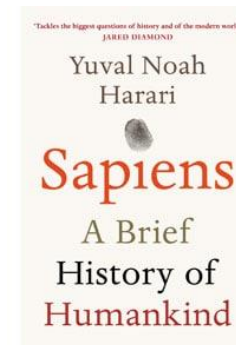
Early ability of primitive human beings to use fire

(collection of natural fire first and then production of fire by our ancestor Homo erectus)

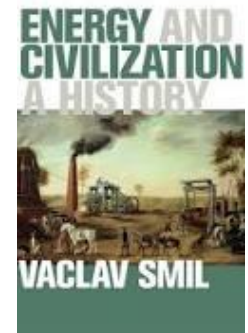
Evidence (uncovered in Kenya and in South Africa) suggests that the earliest controlled use of fire by hominins was about 1,420,000 years ago. However, it was not until about 7000 BCE that Neolithic humans acquired reliable fire-making techniques, in the form either of drills, saws, and other friction-producing implements or of flint struck against pyrites.



Prométhée dérobant le feu dans la forge de Vulcain



« La domestication du feu a ouvert le premier gouffre significatif entre l'homme et les autres animaux ; l'usage des outils aussi. Mais le facteur déterminant qui nous a propulsés des marges au centre, c'est la fiction (la capacité à tisser des mythes) » (2012)



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

Evolution énergétique (1/7) : 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 il y a environ 10 000 ans 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 (1/7), hydraulique & éolienne (2/7), thermique à cycles (3/7), électrique (4/7), chimique, pétrole et gaz (5/7), nucléaire (6/7), et bas-carbone (7/7).

NB : À la fin du XVIIIe siècle, à la veille de la révolution industrielle, la quasi-totalité des besoins d'énergie de l'humanité était encore assurée par des énergies renouvelables, essentiellement : animales et biomasse (Fernand Braudel, historien, 1902 – 1985).

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



Figure left - Ploughing with a yoke of horned cattle in ancient Egypt. The tomb of Sennedjem, c. 1200 BC, in the necropolis of Deir el-Medina on the West Bank at Luxor (ancient Thebes) was actually one of the great discoveries, found intact by Italian archaeologists in 1886.

Evolution énergétique (2/7) : moulins à eau et à vent (interaction fondamentale n° 1/4 : gravitationnelle)



1/4
Anything that has mass exerts the force of gravity on another object.



Fundamental Forces			
Force	Relative Strength	Range	Mediator
Strong	1	10 ⁻¹⁶ m	gluons
Electromagnetic	10 ⁻³⁶	infinite	photons
Weak	10 ⁻⁴⁹	10 ⁻¹⁸ m	W and Z bosons
Gravity	10 ⁻³⁸	infinite	gravitons

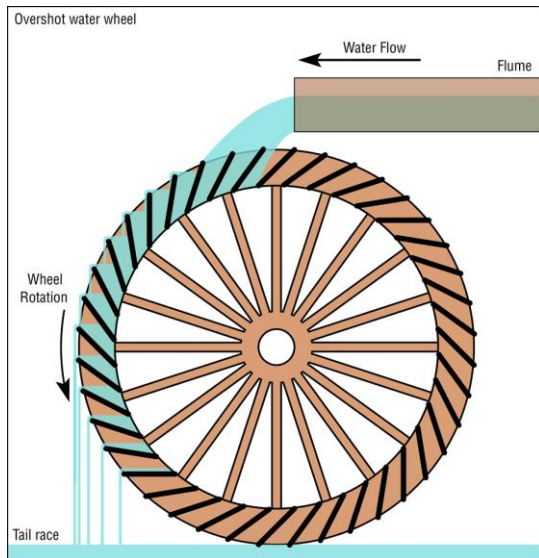
10 tonnes
de matière
=> 1 kWh

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



Sun and
gravitation

Hot air is less dense than colder air. For air, the warmer volumes rise and cooler air flow is to fill the volume.

This is wind.

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 m³ d'air (soit 27 tonnes) arrivant à 60 km/h.

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

Evolution énergétique (3/7) : énergie thermique à cycles (machine à vapeur dès le XVIIIe siècle) - (interaction fondamentale no 2/4 : électromagnétique)



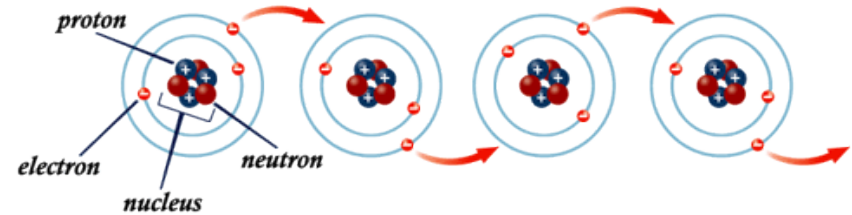
2/4

electromagnetism,
science of charge
and of the forces and
fields associated
with charge

1 kilo
de matière
=> 1 kWh

Fundamental Forces			
Force	Relative Strength	Range	Mediator
Strong	1	10 ⁻¹⁶ m	Gluons
Electromagnetic	10 ⁻²	∞	Photons
Weak	10 ⁻¹³	10 ⁻¹⁸ m	W/Z bosons
Gravity	10 ⁻³⁹	∞	Gravitons

Faire de l'électricité avec de la chaleur

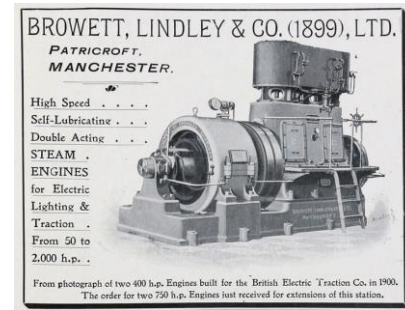
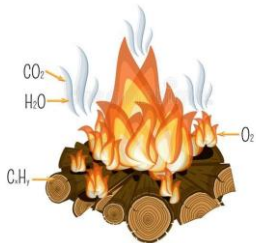


Faire du mouvement avec de la chaleur

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).

Combustion reaction



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 (équation de combustion : $\text{C}_x\text{H}_y + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$)
- Les chiffres sont comparables pour l'énergie biologique : un bon repas (un kg 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 (picture) 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 (4/7) : « 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 m² ce tableau de Raoul Dufy (1877 – 1953), parmi les plus grands du monde, est aujourd'hui exposé au Musée d'Art moderne de la Ville de Paris.



- * Electricité = Lampe à filament (Thomas Edison).
- Electricité utilisée pour l'éclairage, transport et usage domestique.
- James Clerk Maxwell (Cambridge, 1831 -1879 – photo right)
- * Dynamo Zenobe Gramme (1826 – 1901) => moteur électrique
- * Barrage hydro-électrique.
- * Siemens et AEG => les tramways électrique.
- * Londres => Metro.
- * Electrometallurgie et électrochimie (électricité remplace charbon).



$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

Evolution énergétique (5/7) : pétrole et gaz (depuis début XXe siècle)



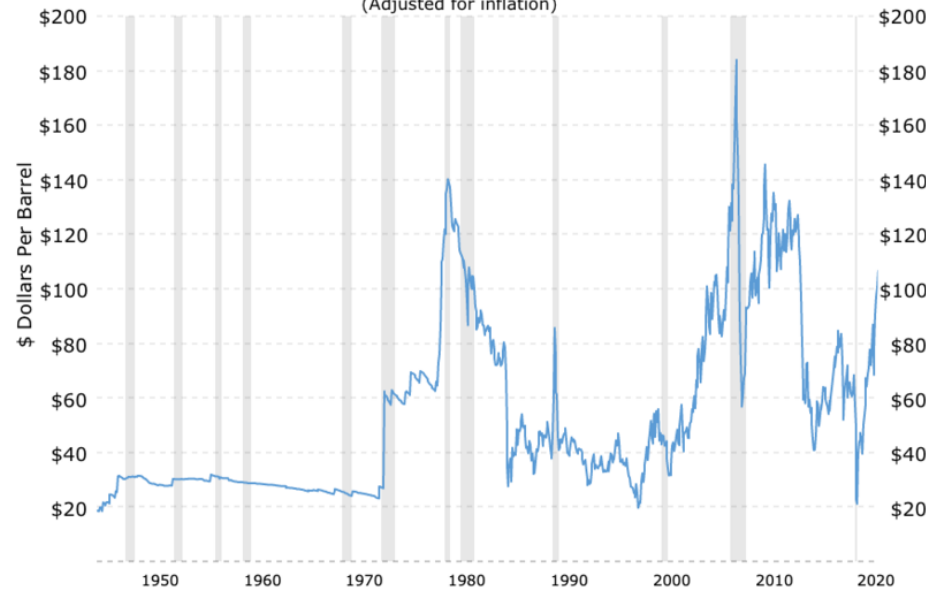
A crucial part of the EU's plan to wean itself off Russian energy is to greatly increase purchases of liquefied natural gas (LNG) from other producers. NB In total there are 29 operational LNG terminals and an additional 33 LNG import terminal projects under construction or in the planning stage in Europe as of May 2022.

But the EU isn't yet equipped to receive enough of the fuel to replace Russian gas entirely.

What's more, there's only so much LNG for sale on the global market, leaving European countries battling with big Asian buyers such as Japan and South Korea to secure the supplies they need to get through the colder winter months. (Source : August 2022 - Bloomberg L.P.)

Price of Oil

(Adjusted for inflation)



Price of oil adjusted for inflation - West Texas Intermediate oil price history 1946-2022

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 (1980s oil glut – Wikipedia)

1979 : Iranian revolution and Iraq-Iran war / 1990 : the fall of the Soviet Union

2001 : dot.com bubble and 9/11 attack / 2008 : financial crisis / 2015 : US shale revolution / When Russia invaded Ukraine on 24 February 2022, the price of crude oil skyrocketed from around \$76 per barrel at the start of January 2022 to over \$110 per barrel on 4 March 2022.

Gas imports from Russia

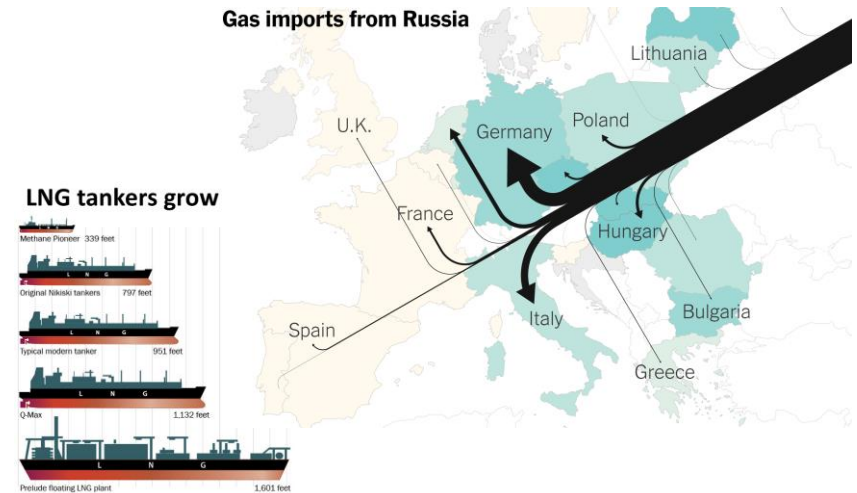


Figure above - With the delivery of 57 vessels in 2021 and 7 until April 2022, the global LNG carrier fleet consisted of 641 active vessels as of end-of-April 2022, including 45 floating storage and regasification units (FSRUs) and 5 floating storage units (FSUs). Max size = 488 metres (1,601 ft) long (Floating Production Storage and Offloading unit /FPSO, owned by Shell plc and built by TSC (Technip-Samsung Consortium) in South Korea, launched in 2013).

NB For the immediate future, the world is limited to about 50 LNG facilities around the world, along with some 600 specialized tankers that can ferry cargoes.

Source : More than a third of the natural gas in Europe comes from Russia - The NY Times - Feb. 15, 2022 -

<https://www.nytimes.com/interactive/2022/02/15/business/energy-environment/russia-gas-europe-ukraine.html>

Evolution énergétique (6/7) : énergie nucléaire (depuis milieu XXe siècle)

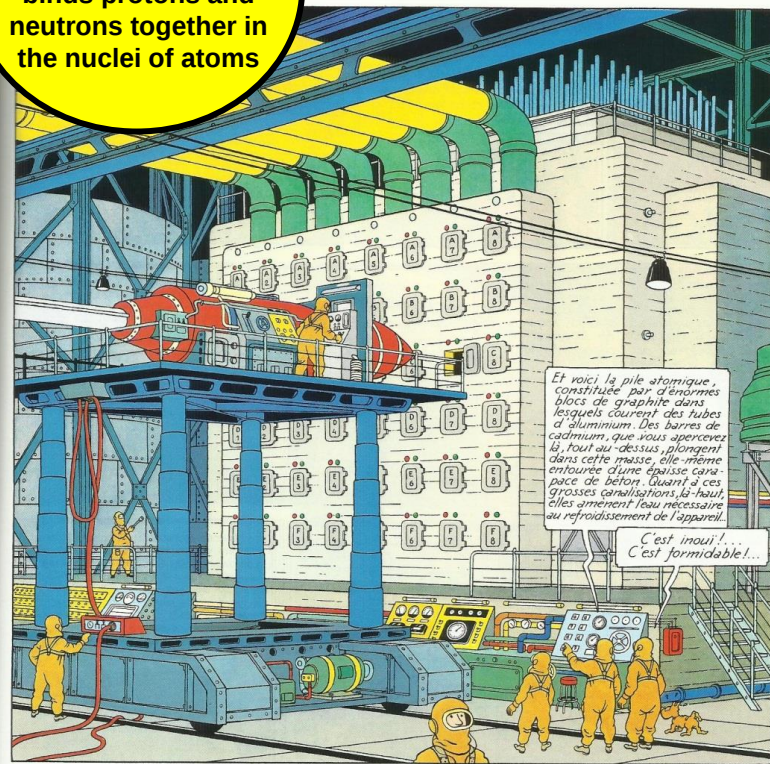
(interaction fondamentale no 3/4 : nucléaire forte)



3/4
strong interaction,
a fundamental
physical force that
binds protons and
neutrons together in
the nuclei of atoms

Fundamental Forces			
Force	Relative Strength	Range	Mediator
Strong	1	Short (fm)	Gluons
Electromagnetic	10^{-2}	Long (m)	Photons
Weak	10^{-6}	Short (fm)	W/Z bosons
Gravity	10^{-39}	Long (m)	Gravitons

10 mg
de matière
=> 1 kWh



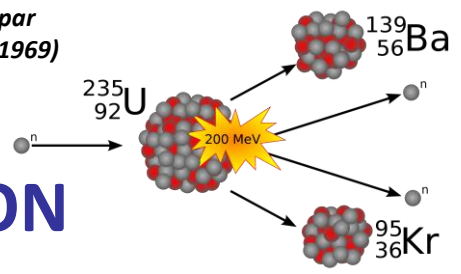
Et voici la pile atomique, constituée par d'énormes blocs de graphite dans lesquels courent des tubes d'aluminium, des barres de cadmium, que vous apercevez là, tout au-dessus, plongent dans cette masse, elle-même entourée d'une épaisse carapace de béton. Quant à ces grosses canalisations là-haut, elles amènent l'eau nécessaire au refroidissement de l'appareil.

C'est inouï!...
C'est formidable!



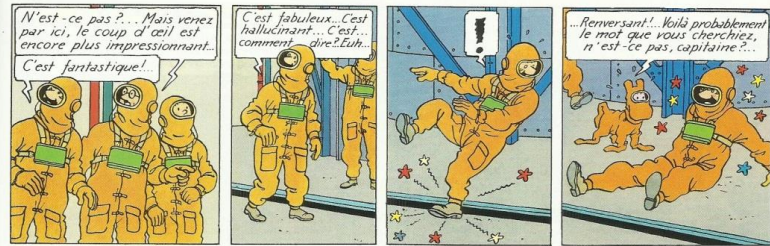
"Objectif Lune"
Hergé, 1953

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

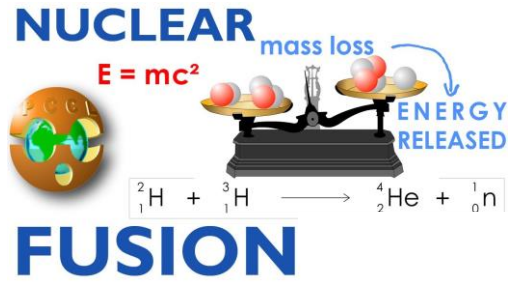


Si l'on utilise l'interaction nucléaire (forte), la quantité de matière pour produire 1 kWh dépend du type de réaction utilisée : fission ou fusion.

- 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.



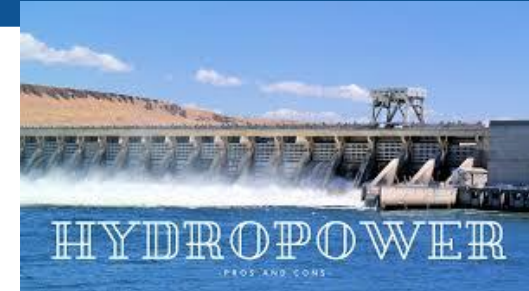
13

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.

Evolution énergétique (7/7) : sources bas-carbone (XXIe siècle)



"Humanity has experienced three major energy transitions and is now struggling to kick off a fourth"



Humanity has experienced three major energy transitions and is now struggling to kick off a fourth.

* Now, the world faces its fourth energy transition: a move to energy sources that do not emit carbon dioxide, (including a return to relying on the sun's current energy flows), instead of those trapped millions of years ago in deposits of coal, oil, and natural gas.

The fourth transition is unlike the first three, however. Historically, Vaclav Smil (1943 -) notes, humans have typically traded relatively weak, unwieldy energy sources for those that pack a more concentrated punch.

- The wood he cut to heat his boyhood home, for example, took a lot of land area to grow, and a single log produced relatively little energy when burned. Wood and other biomass fuels have relatively low "power density," Smil says.
- In contrast, the coal and oil that heated his later dwellings have higher power densities, because they produce more energy per gram and are extracted from relatively compact deposits.

- But now, the world is seeking to **climb back down the power density ladder**, from highly concentrated fossil fuels to more dispersed renewable sources, such as biofuel crops, solar parks, and wind farms. (2018 - **Smil notes that nuclear power is the exception walking down the density ladder: it is dense in power....**) (<https://www.science.org/content/article/meet-vaclav-smil-man-who-has-quietly-shaped-how-world-thinks-about-energy>)



Fundamental Forces

Strong	Electro-magnetic	Weak	Gravity
Force which holds nucleus together Strength: 1 Range (m): 10^{-15} (size of a medium sized nucleus) Particle: gluons, quarks	Strength: $1/137$ Range (m): Infinite Particle: photon, mass = 0, spin = 1	Strength: 10^{-6} Range (m): 10^{-18} (1/1000 the diameter of a proton) Particle: intermediate vector bosons (W⁺, W⁻, Z⁰), mass > 80 GeV/c², spin = 1	Strength: 6×10^{-39} Range (m): Infinite Particle: graviton? mass = 0, spin = 2



Rappel : Si l'on utilise la gravitation, il faut 10 tonnes de matière => 1 kWh



Princess Elisabeth Island, world's first artificial energy Island

(will occupy an area of approximately 5 hectares above the waterline)



The future **3.5 GW**
Princess Elisabeth wind zone.
Reminder - load factor of wind
offshore (BE - 2016 till 2021)
= 35 %

[Belgium Aims to Build World's First Artificial Energy Island \(October 3, 2022\)](#)

<https://www.offshorewind.biz/2022/10/03/belgium-aims-to-build-worlds-first-artificial-energy-island-video/>

Belgian transmission system operator (TSO) Elia has presented draft plans for what the company says "will be the world's first artificial energy island."

DEME and Jan De Nul have launched joint venture TM EDISON to build the world's first energy island for Elia Group in the Belgian North Sea. The energy island will also be the first building block of an integrated European offshore electricity grid that will connect various countries together.

<https://www.elia.be/en/infrastructure-and-projects/infrastructure-projects/princess-elisabeth-island>



According to the Marine Spatial Plan 2020-2026, the Princess Elisabeth zone covers 281 square km and is located 45 km from the Belgian coast and ten km further out to sea than the already developed offshore wind farms. If developed to full capacity, the Princess Elisabeth zone will increase Belgium's operating offshore wind capacity from the current 2.26 GW to 5.76 GW. (October 18, 2021 - <https://www.offshorewind.biz/2021/10/18/belgium-boosts-offshore-wind-zone-nods-to-energy-island/>)

Development of an electricity grid at sea

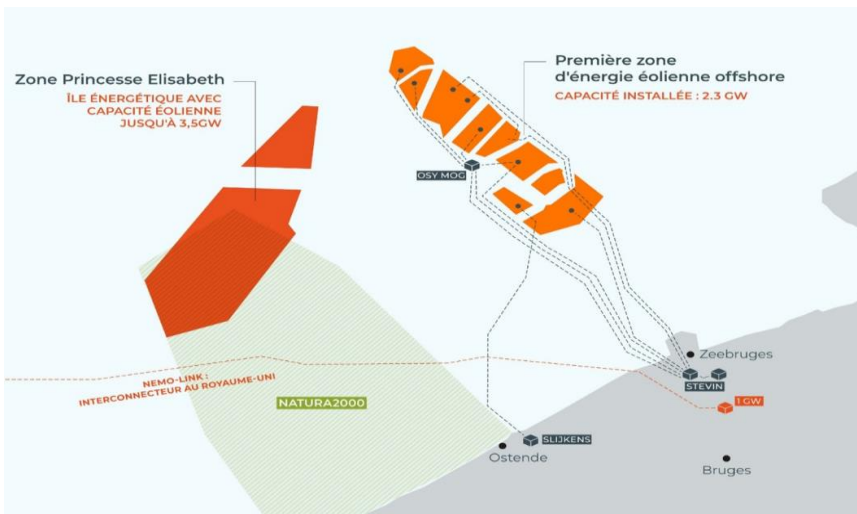
The future 3.5GW Princess Elisabeth Island is an extension of the electricity grid in the North Sea. It connects wind farms from the sea to the mainland and creates new connections with neighbouring countries. It will also connect to UK and Denmark via additional interconnectors in the Nautilus (UK) and TritonLink (Denmark) projects.

The construction of the foundations of Princess Elisabeth Island will begin in early 2024, with completion planned for mid-2026. Following this, installation can begin of the high-voltage infrastructure needed to bring electricity from Belgium's future offshore wind zone to shore. Elia aims to ensure all wind farms are fully connected to the mainland by 2030.

= > A project that will benefit from the European Recovery Fund

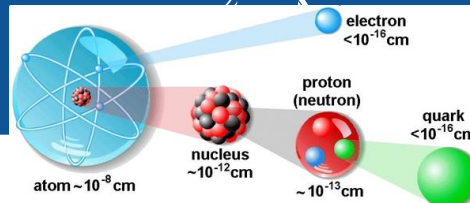
The energy island uses the European Recovery Fund, which is intended to provide the Belgian economy with additional incentives through future-oriented initiatives. Investing in infrastructure is investing in economic growth that strengthens the socio-economic prosperity of our country.

The "Green Power Plant of Europe" (18 May 2022, Danish town of Esbjerg)
The North Sea countries (Germany, Denmark, Netherlands and Belgium) sign €135 billion offshore wind pact: a cooperation agreement on offshore wind development and green hydrogen. They will target at least 65 GW by 2030 and 150 GW by 2050 - <https://www.euractiv.com/section/energy/news/germany-denmark-netherlands-and-belgium-sign-e135-billion-offshore-wind-pact/>

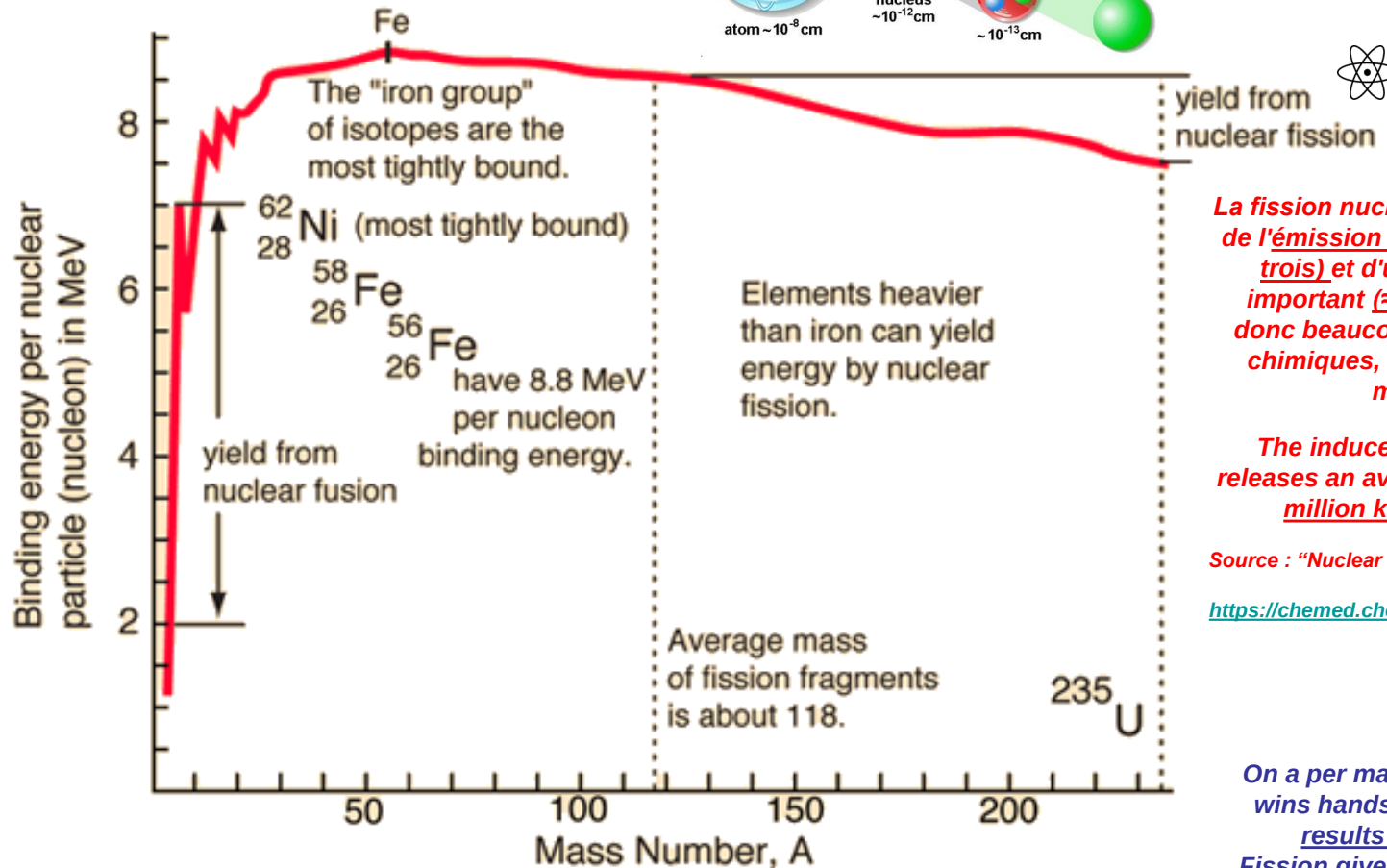


Fission energy : several millions times as potent as chemical energy

Nucleus binding energy per nucleon as a function of the mass number



(fission : 200 million eV per nucleus compared to a few eV for burning coal)



La fission nucléaire de l'uranium s'accompagne de l'émission de neutrons (en général deux ou trois) et d'un dégagement d'énergie très important (≈ 200 MeV par atome fissionné, donc beaucoup plus que celui des réactions chimiques, de l'ordre de l'eV par atome ou molécule réagissant).

The induced fission of the U-235 isotope releases an average of 200 MeV per atom, or 80 million kilojoules per gram of U-235.

Source : "Nuclear Fission and Nuclear Fusion" Purdue univ.

https://chemed.chem.purdue.edu/genchem/topicreview/bp/c_h23/fission.php

On a per mass, or per nucleon basis, fusion wins hands-down: one gram of deuterium results in 10^{12} Joules of energy.

Fission gives a comparatively small 80 10^9 joules per gram of U-235.

So fusion is over ten times as potent.

The Strong Force (it holds the nucleus together)

This force is responsible for binding of nuclei. It is the dominant one in reactions and decays of most of the fundamental particles. This force is so strong that it binds and stabilize the protons of similar charges within a nucleus. However, it is very short range. No such force will be felt beyond the order of 1 fm (femtometer or 10^{-15} m).

How the IAEA Contributes to the Sustainable Development Goals (2015)



Activités de l'AIEA en Technologie nucléaire : Énergie d'origine nucléaire ; Cycle du combustible nucléaire et gestion des déchets ; Création de capacités et connaissances nucléaires pour un développement énergétique durable ; Sciences nucléaires ; Alimentation et agriculture ; Santé humaine ; Ressources en eau ; Environnement ; Production de radio-isotopes et technologie des rayonnements (voir rapports annuels de l'AIEA)

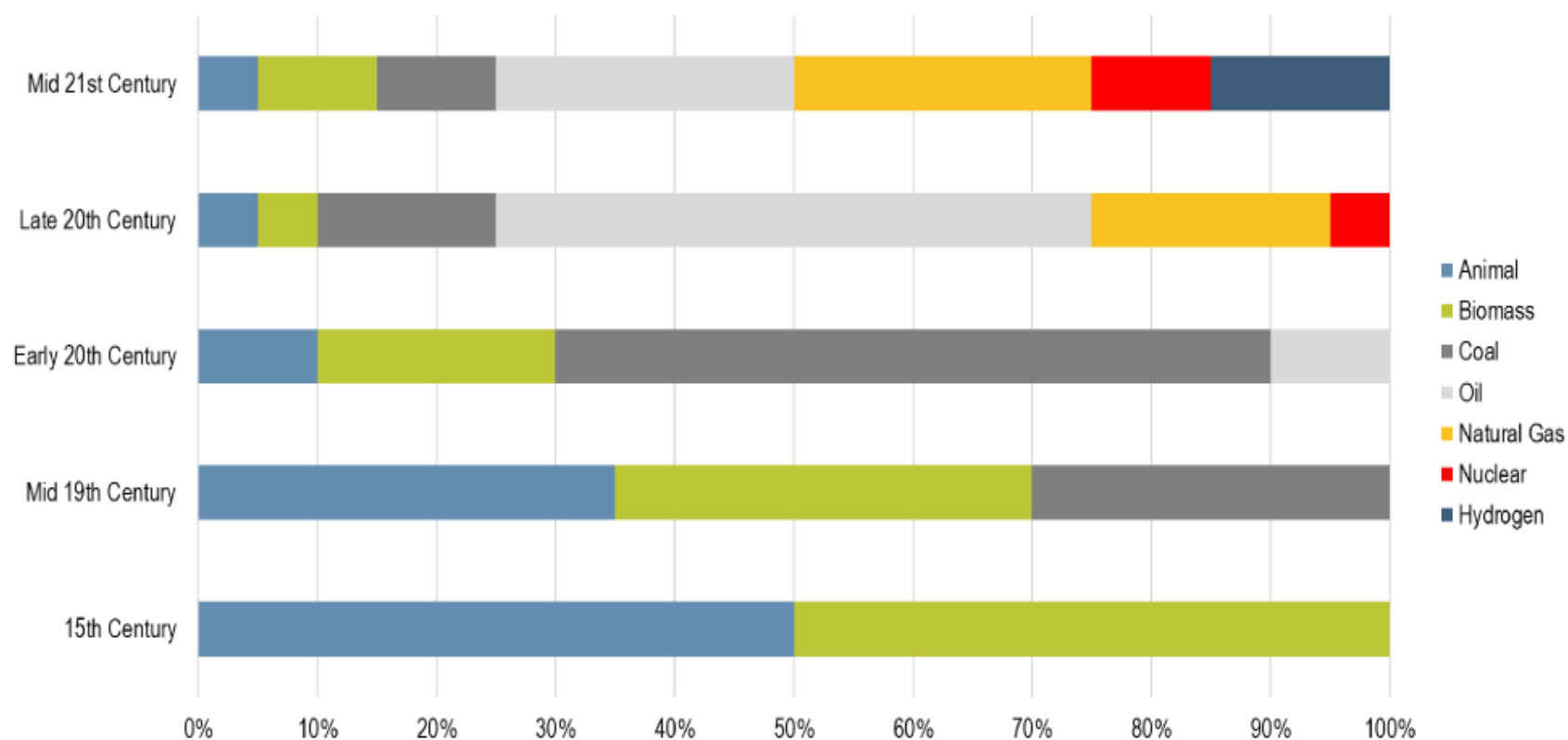
Reminder : The IAEA was created in 1957 – just after Euratom Treaty – and is located in Vienna . The IAEA is an autonomous international organization within the United Nations system. It partners with more than a dozen UN organizations, thereby helping extend the reach of its services.

LE BULLETIN DE L'AIEA (Agence internationale de l'énergie atomique) est produit par le Bureau de l'information et de la communication (<https://www.iaea.org/fr/publications/magazines/bulletin>)

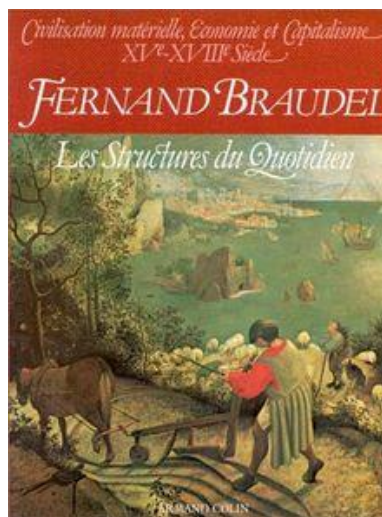


Sources: "Atoms for Peace & Development" or "How the IAEA Will Contribute to the Sustainable Development Goals", 25 September 2015 by Nicole Jawerth and Miklos Gaspar, IAEA Office of Public Information and Communication - IAEA website: <https://www.iaea.org/newscenter/news/how-iaea-will-contribute-sustainable-development-goals> and "Atoms for Peace & Development", a special edition of the IAEA Bulletin on peaceful uses of nuclear technology (IAEA Bulletin, Vol. 56/1, March 2015, 40 pages)

Les énergies de la préhistoire à nos jours (renouvelables, fossiles, nucléaire)



■ Animal
 ■ Biomass
 ■ Coal
 ■ Oil
 ■ Natural Gas
 ■ Nuclear
 ■ Hydrogen

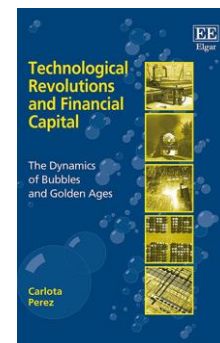
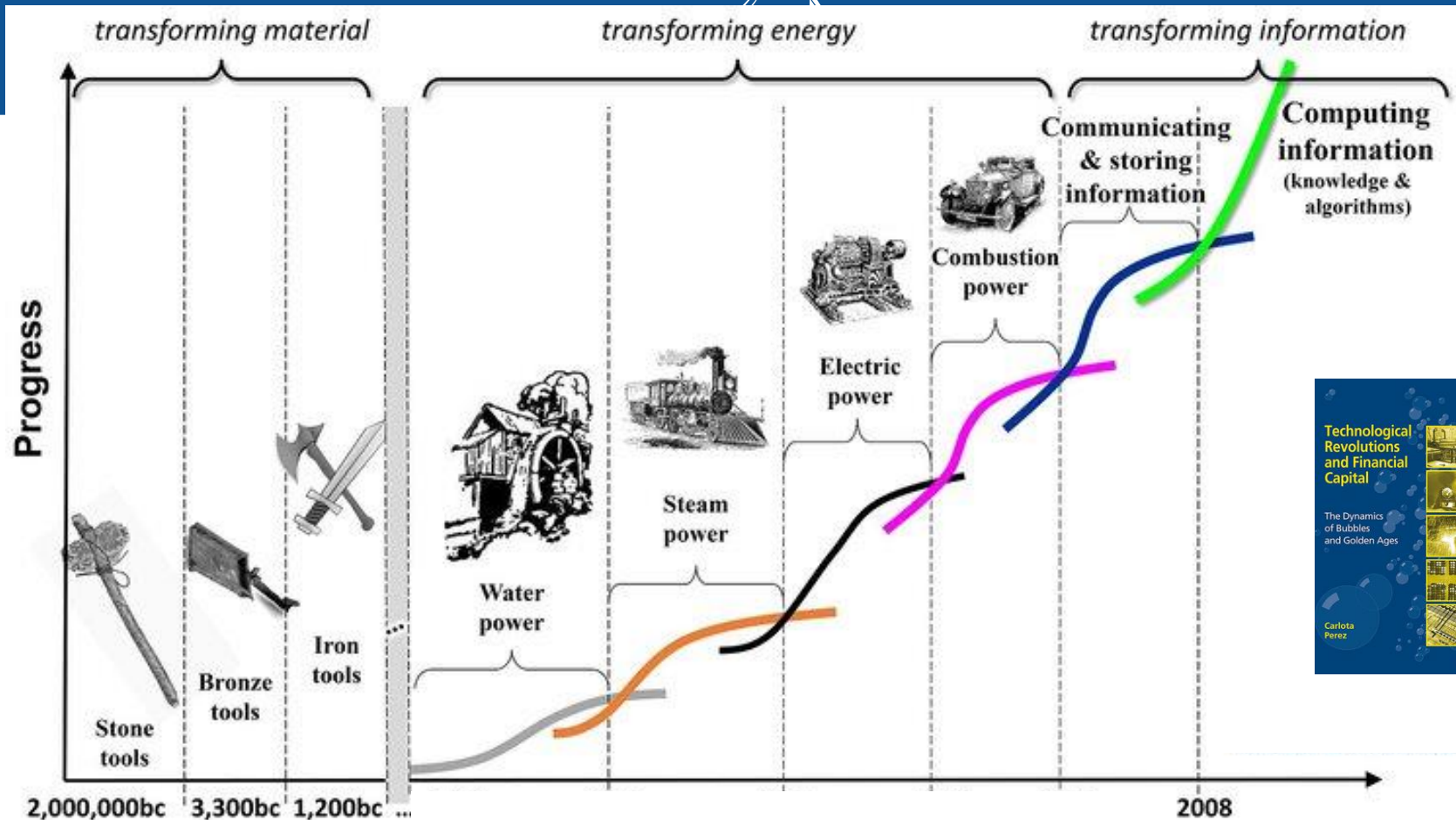


À la fin du XVIIIe siècle, à la veille de la révolution industrielle, la quasi-totalité des besoins d'énergie de l'humanité était encore assurée par des énergies renouvelables.

Dans un essai d'évaluation de la répartition des consommations par source d'énergie, Fernand Braudel estime à plus de 50 % la part de la traction animale, environ 25 % celle du bois, 10 à 15 % celle des moulins à eau, 5 % celle de la force humaine et entre 3 et 5 % celle de l'énergie éolienne.

Source : « Civilisation matérielle, économie et capitalisme – xve et xviiiè siècles » – 1979
 « Tome 1 - Les Structures du quotidien » - Fernand Braudel, historien, 1902 – 1985
 «le pape de la nouvelle histoire» embrassant toutes les disciplines de l'homme.

Mutual shaping of technical change and society (Carlota Perez, 2002) ^{1/2}



Graph - A comprehensive account of how materials - energy – information have shaped society throughout history

British-Venezuelan researcher, lecturer and international consultant, Carlota Perez studies the mutual shaping of technical change and society and the lessons provided by the history of technological revolutions for economic growth and development.

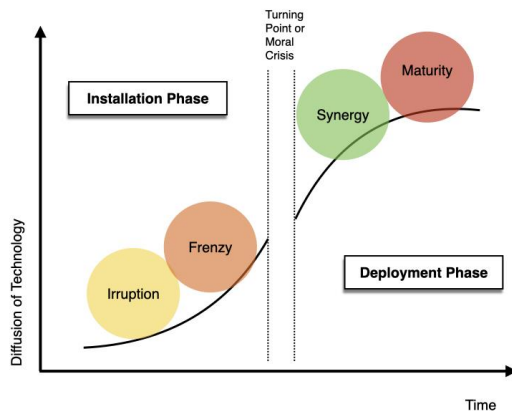
She is Honorary Professor at the Institute for Innovation and Public Purpose (IIPP) at University College London, UK and at SPRU, the Science Policy Research Unit at the University of Sussex, UK; Adjunct Professor of Technology and Socio-Economic Development at the Ragnar Nurkse School of Innovation and Governance at TalTech, Estonia.

Her long career has spanned civil service, consultancy, academic research and teaching, beginning in the 1970s with an investigation into the structural causes of the energy crisis in her home country of Venezuela -

<https://carlotaperez.org/about> and <https://www.weforum.org/agenda/authors/carlota-perez>

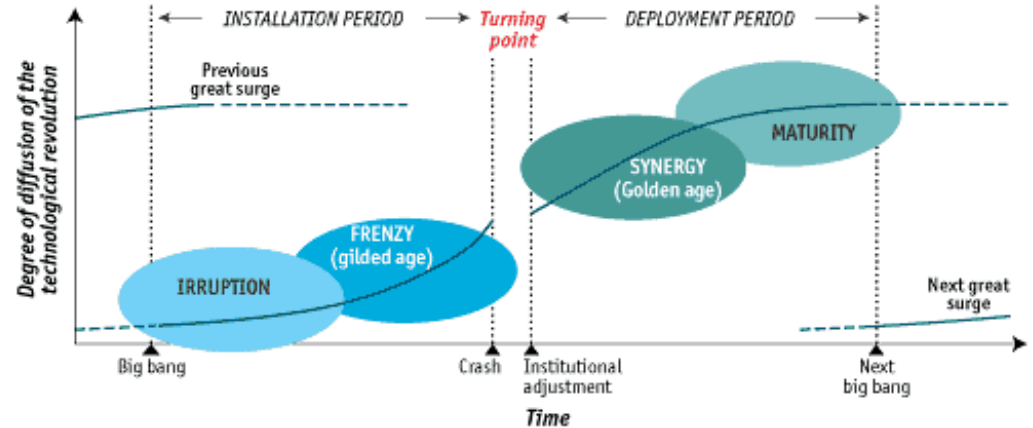


Carlota Perez
- "Technological Revolutions and Financial Capital" -
February 2003 - Edward Elgar
Publishing Ltd - 224 pages
(original edition 2002)



The life and times of a technology

Recurring phases of each great surge



Source: Carlota Perez

FIVE TECHNOLOGICAL REVOLUTIONS IN 240 YEARS

- 1771 The 'Industrial Revolution' (machines, factories and canals)
- 1829 Age of Steam, Coal, Iron and Railways
- 1875 Age of Steel and Heavy Engineering (electrical, chemical, civil, naval)
- 1908 Age of the Automobile, Oil, Plastics and Mass Production
- 1971 Age of Information Technology and Telecommunications

EACH BRINGS A TECHNO-ECONOMIC AND SOCIO-INSTITUTIONAL SHIFT
with new directions for innovation and a potential leap in productivity

"As a reliable and carbon-free source of electricity that is available 24 hours a day, seven days a week, nuclear energy has an important role in powering the current industrial revolution"

in **"Nuclear in the fourth industrial revolution"** - 04 March 2021

<https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Viewpoint-Nuclear-in-the-fourth-industrial-revolution>

"As to the question of what comes next, obvious contenders are :

- Climate/Energy – the implications of limitless energy by unlocking nuclear fission and fusion are vast – and
- Life Sciences – genetic engineering will change the world and humanity many times over.

Both of these areas seem nascent, but are on the precipice of boundless innovation because cataclysmic events accelerate the pace of progress.

The climate crisis is catalyzing investment in clean tech and energy creation and distribution, and the global pandemic has shown the world the importance of mRNA and all of the biological science that goes along with it."

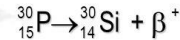
Source : About Books – "Technological Revolutions in the Exponential Age" - May 03 2022 - Ride It to the Sky - a book summary -

<https://jaredhecht.com/2022/05/03/technological-revolutions-in-the-exponential-age/>

Positron-emission tomography (PET) : mediated by the weak force (interaction fondamentale no 4/4 : nucléaire faible)

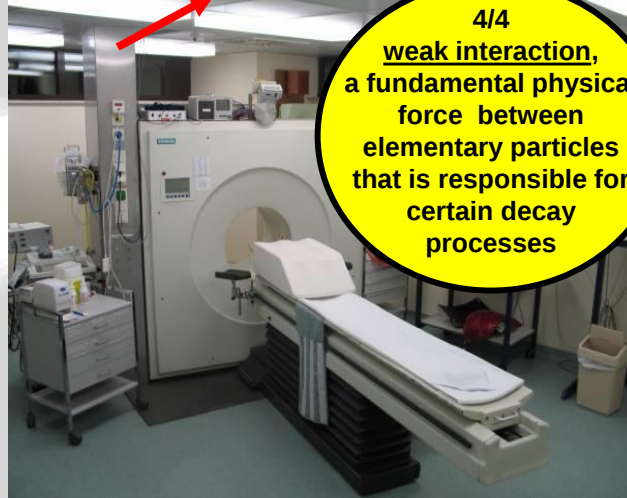
Radioactive Decay - Positron Production

- Phosphorus-30 and fluorine-18 are two artificial radioisotopes that undergo decay that produces positrons

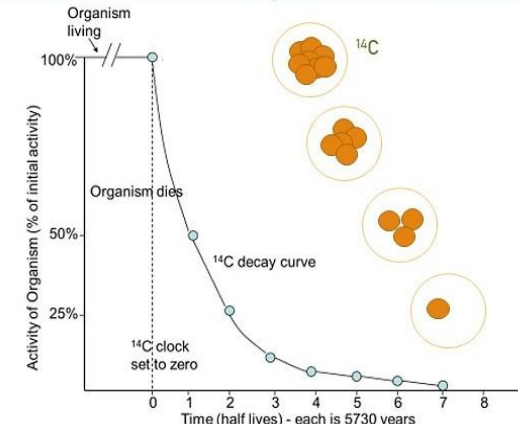


- As a result of the radioactive decay of fluorine-18, a positron is emitted from the nucleus

Explanation - because there are too many protons in the nucleus for it to be stable, one of the protons decays, producing a positron and a neutron which remains in the nucleus



Radiocarbon Formation & Decay



(14)C undergoes β -decay to (14)N with a half-life of 5730 years. Over a lifetime, around 50 billion (14)C decays occur within human DNA.

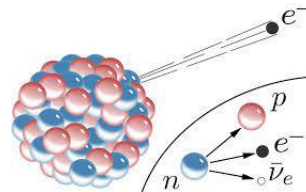
The weak interaction finds practical application in the radioactive elements used in medicine and technology, which are in general beta-radioactive, and in the beta-decay of a carbon isotope into nitrogen, which is the basis for the carbon-14 method for dating of organic archaeological remains.

The weak nuclear force acts inside of individual nucleons, which means that it is even shorter ranged than the strong force.

The radioactive beta-minus decay is due to the weak interaction, which transforms a neutron into a proton, an electron, and an electron antineutrino (Figure left).

The second type of beta decay is less common than the first. It is the radioactive beta-minus decay. Certain nuclides decay by the emission of a positive electron. This is antielectron or positron decay. The emitted positron eventually finds an electron to annihilate, characteristically producing gammas in opposite directions (Figure right).

https://phys.libretexts.org/Bookshelves/College_Physics/ - Book: College Physics 1e (OpenStax) - 31: Radioactivity and Nuclear Physics (UC Davis)updated 2022)



Above Figure. A model of beta-minus decay, showing the ejection of an electron from the nucleus and the specific transformation of a neutron.

- beta-minus decay => neutron loss
- beta-plus decay => proton loss

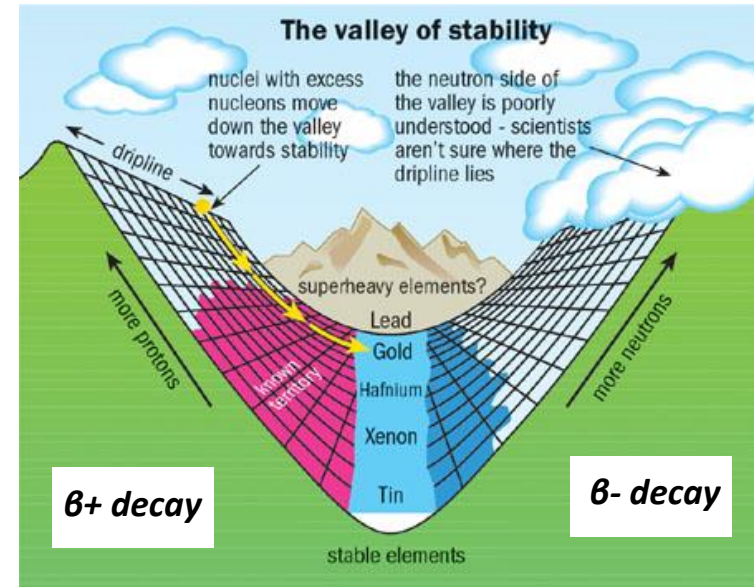
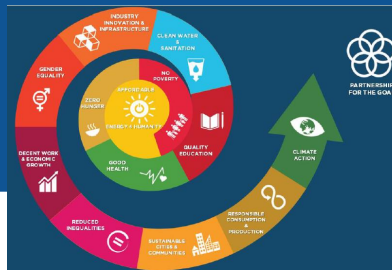


Table des matières



Du feu à l'atome : l'énergie au cœur de l'histoire humaine

1 – Introduction : l'énergie, moteur essentiel du développement humain

– quelques principes généraux et concepts de base

2 – L'histoire de l'homme a été substantiellement marquée par l'évolution des sources

d' « énergie libre » qu'il a su ou pu utiliser

3 – Conclusion : l'énergie, moteur du progrès ou épuisement de nos ressources ?

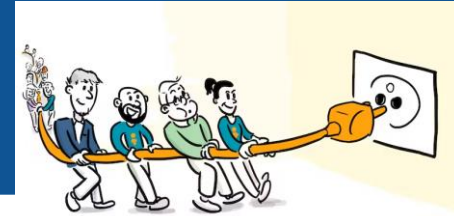
- vers un nouveau pacte entre l'économie, la société et l'environnement



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

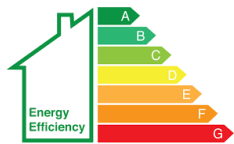
** Reproduction of the texts of this CRAOM conference course is authorised provided the source is acknowledged.*

Energy Triangle: three constraints



- Chaîne de valeur de l'énergie**
- trois contraintes principales :
- 1 - économie réelle
 - 2 - acceptabilité sociale
 - 3 - impératifs environnementaux

+ **"Sobriété" ? = "Energy sufficiency"**
(deliberate and structured reduction of
the overall need for energy-using services)



+ resource and energy efficiency
in a circular economy



(1) Economy
(material prosperity)

1

**ENERGY
MIX :**
**three
constraints**

2

(2) Society
("leaving no one behind")



3

(3) Ecology
(global footprint)



with distinct space & time horizons (e.g. economic goals are local & urgent)

Energy Consensus Closer Than We Think ?



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



“Nous n’avons pas encore pris la mesure de la « contradiction douloureuse »
entre des prix de l’énergie trop élevés sur le plan social et trop bas sur le plan environnemental. ...

Alors, à quel tarif payer vraiment l’énergie ? La tension entre liberté individuelle et collective sera l’enjeu éthique le plus important du XXI^e siècle.”

Étienne Klein (physicien – philosophe) : “Nous sommes pris dans une forme de servitude énergétique” - 17 novembre 2021

- <https://www.philomag.com/articles/etienne-klein-nous-sommes-pris-dans-une-forme-de-servitude-energetique>

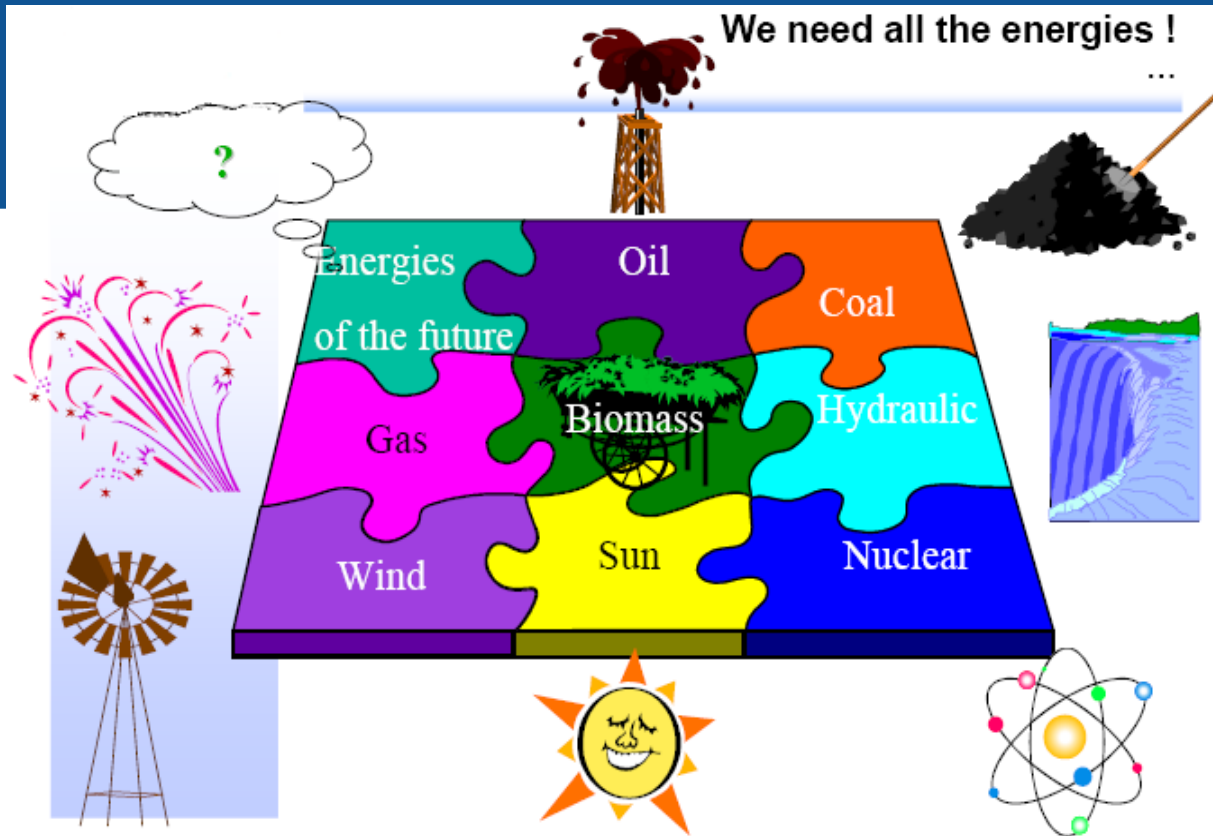
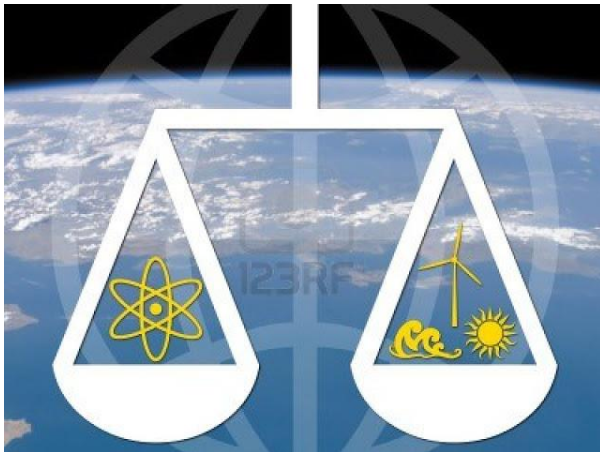
“We need all energy sources”



IPCC concluded that renewables alone are most probably not going to be enough and fast enough to avert the climate crisis, so we're going to need both renewables and nuclear (Figure below).

(IPCC Fifth Assessment Report 2014 :

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_summary-for-policymakers.pdf)



In supplying society with energy, a balance must be struck between competitiveness, security of supply, and the environment.

No single energy source is optimal from all dimensions.

Understanding the pros and cons of each primary energy source (renewables, fossil, nuclear) can help us make a more informed decision about our own energy use. => science for policy.

“We need all energy sources”

« Tout problème bien posé est à moitié résolu » Henri Bergson