

Énergie : unités et ordres de grandeur

Alexandre Le Tiec

Laboratoire Univers et Théories
Observatoire de Paris

9 juin 2023

letiec.yolasite.com/anthropocène

Plan de l'exposé

- ① Anthropocène
- ② Énergie et puissance
- ③ Croissance exponentielle

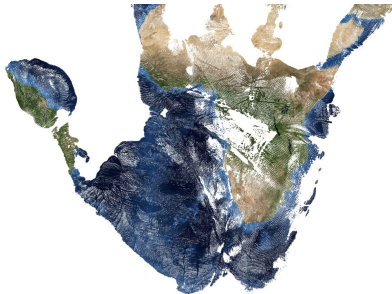
Plan de l'exposé

- 1 Anthropocène
- 2 Énergie et puissance
- 3 Croissance exponentielle

Qu'est-ce que l'Anthropocène ?

Définition

L'Anthropocène est une proposition d'**époque géologique** qui aurait débuté quand l'influence de l'**être humain** sur la géologie et les écosystèmes est devenue significative à l'échelle de l'histoire de la Terre.



Qu'est-ce que l'Anthropocène ?

*Il devient possible de comparer l'humanité à une **force géologique nouvelle**, désormais en mesure d'interférer avec les grands cycles biogéochimiques du globe. Le changement global qui en découle peut sembler lent à l'échelle d'une vie humaine, car il constitue un processus s'étalant sur plusieurs décennies, voire sur plusieurs générations, et façonne donc au quotidien tout ce qui constitue notre "normalité" la plus banale. Mais il se révèle d'une **fulgurance catastrophique** à l'échelle des temps géologiques ou évolutifs, et se trouve donc porteur d'une **réflexion vertigineuse** sur le sens et les conséquences de l'aventure industrielle, sinon sur le devenir de l'espèce humaine.*

Une diversité d'analyses et de récits

Nom	Définition	Force majeure	Prisme
Anthropocène	Époque de l'être humain	Espèce <i>Homo sapiens</i>	Géologique
Anglocène	Époque des britanniques	Industrialisation	Historique
Carbocène	Époque du carbone	Énergies fossiles	Énergétique
Capitalocène	Époque du capital	Économie capitaliste	Économique
Plantationocène	Époque des plantations	Colonisation, esclavage	Géo. politique
Occidentalocène	Époque de l'Occident	Modernité occidentale	Culturel
Molysmocène	Époque des déchets	Productivisme	Géologique
Thanatocène	Époque de la destruction	Guerre, militarisation	Historique
Pathocène	Époque des pathologies	Exploitation du vivant	Écologique
Mégalocène	Époque de l' <i>hybris</i>	Rapport au monde	Culturel
Technocène	Époque de la technologie	Moyens techniques	Technique
Oliganthropocène	Époque de qqes hommes	Classes dirigeantes	Politique

Aux racines de l'Anthropocène

- | | | |
|---------------|---|-------------------------------|
| ① Énergie | } | Sciences de la nature |
| ② Climat | | |
| ③ Écologie | | |
| ④ Systèmes | | Science des systèmes |
| ⑤ Économie | } | Sciences humaines et sociales |
| ⑥ Société | | |
| ⑦ Technique | | |
| ⑧ Culture | | |
| ⑨ Psychisme | | |
| ⑩ Que faire ? | | Éthique et politique |

Plan de l'exposé

- 1 Anthropocène
- 2 Énergie et puissance
- 3 Croissance exponentielle

Qu'est-ce que l'énergie ?

Elle est partout autour de nous, elle a **différentes formes**, mais on ne la voit que lorsqu'elle est transformée.



Mécanique

Chimique

Electrique

Hydraulique

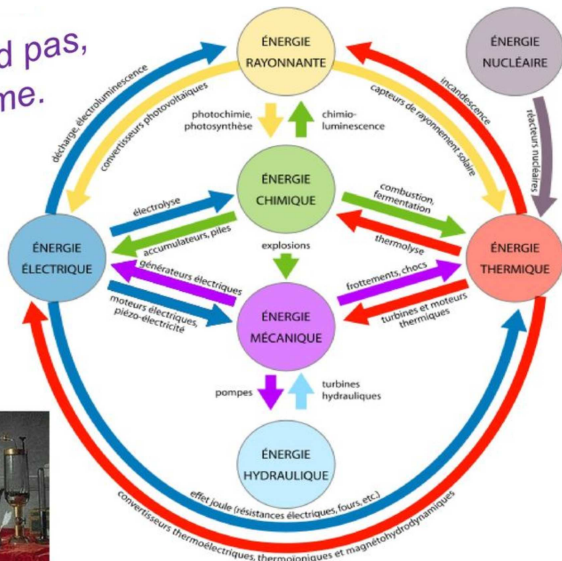
Rayonnante

Thermique

Nucléaire

La propriété fondamentale de l'énergie

L'énergie ne se perd pas,
elle se transforme.



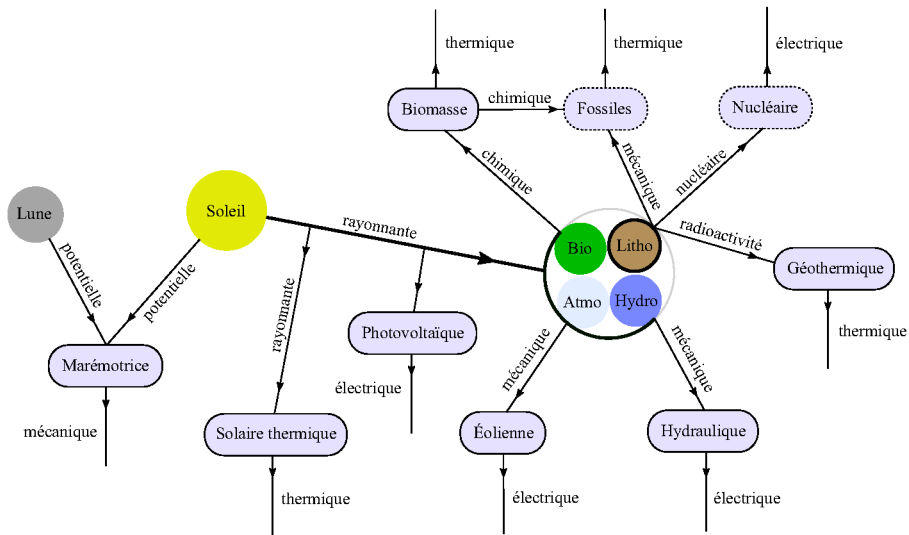
« Rien ne se crée,
rien ne se perd,
tout se transforme »



Antoine-Laurent de Lavoisier
(1743-1794)



Les sources d'énergie terrestres



Comment s'exprime l'énergie ?

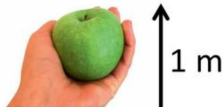
Énergie : E (comme énergie) ou W (comme work en anglais)

C'est ce qui permet de faire des "choses"

(mouvement, lumière, chaleur ...)

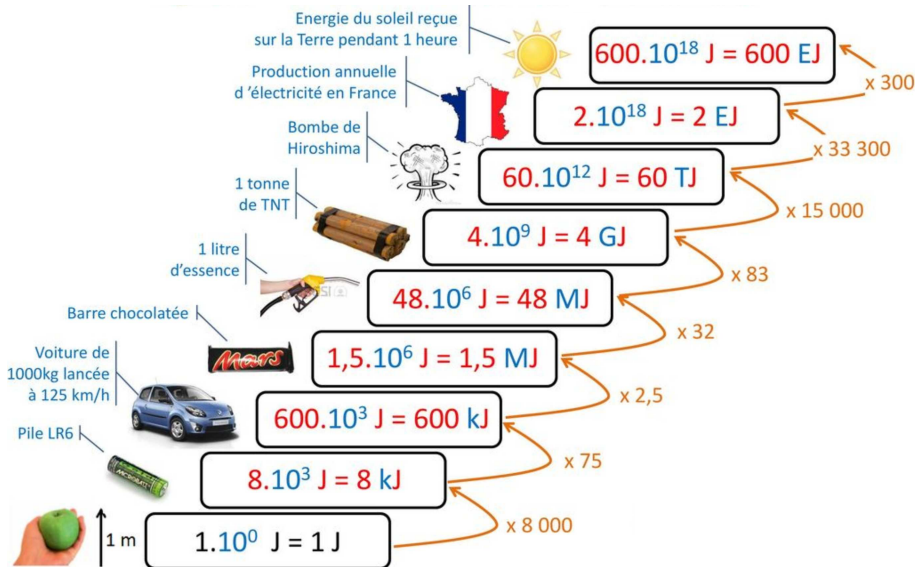
✓ **Unité : Le Joule (J)** C'est l'unité légale dans le système international (ISO).

1 J correspond au déplacement d'un objet de 100 g sur une hauteur de 1 mètre,

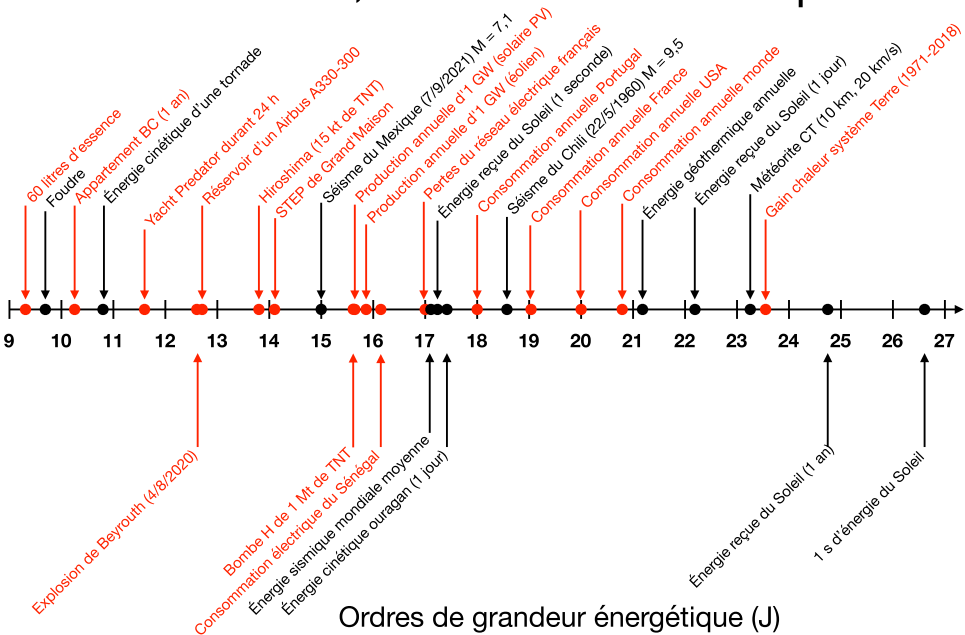


Le Joule est une unité très petite au regard des grandeurs qu'on va devoir traiter. On utilisera plutôt des multiples comme le kJ, le MJ ou GJ voire plus.

Ordres de grandeur énergétique



L'humanité, « force tellurique »



La notion d'esclave énergétique



6 GJ

~ 3 GJ/an



Secteur	Esclaves
Transports	22
Agriculture	23
Industrie	145
Résidentiel et tertiaire	237
Total	427

jancovici.com

En moyenne, un français dispose à chaque instant de l'équivalent énergétique de **400 à 500 esclaves**

Bucky aperçut le gigantesque fuselage
d'un gros-porteur transatlantique
qui traversait le ciel à toute allure.

Un nuage compact d'esclaves énergétiques
propulsait l'avion à haute altitude.

Au moment où les 400 passagers survoleraient
l'Europe, les turboréacteurs de l'avion auraient
brûlé plus de combustibles fossiles en un seul vol...

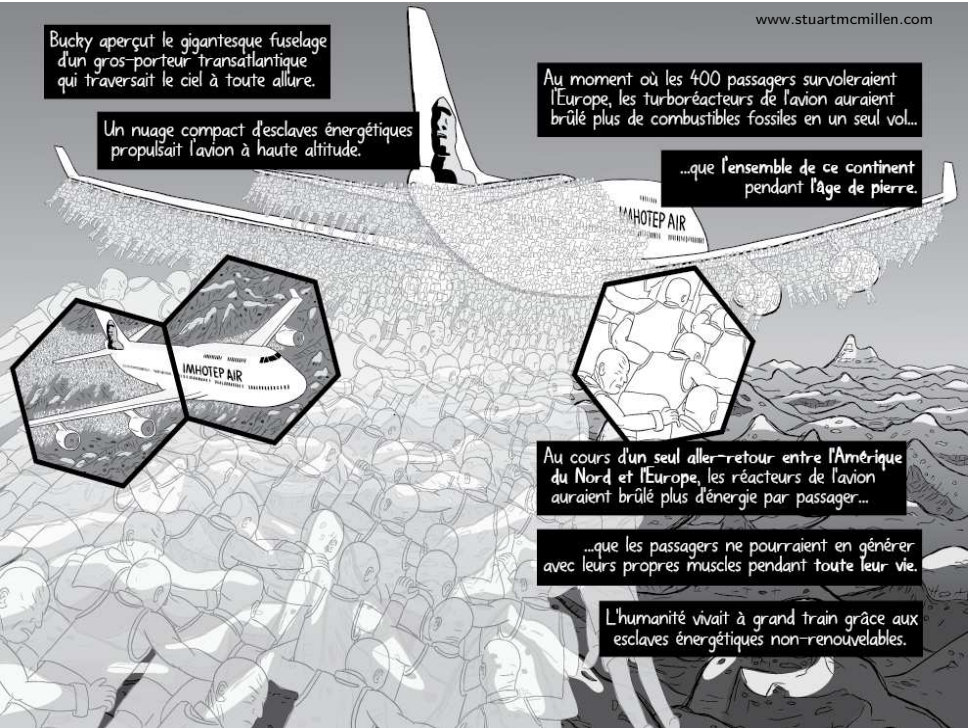
...que l'ensemble de ce continent
pendant l'âge de pierre.



Au cours d'un seul aller-retour entre l'Amérique
du Nord et l'Europe, les réacteurs de l'avion
auraient brûlé plus d'énergie par passager...

...que les passagers ne pourraient en générer
avec leurs propres muscles pendant toute leur vie.

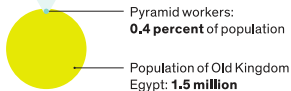
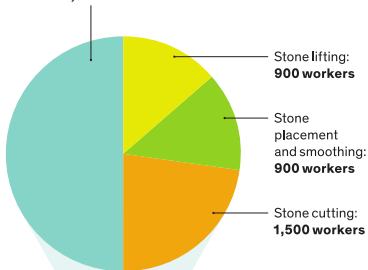
L'humanité vivait à grand train grâce aux
esclaves énergétiques non-renouvelables.



Vivre comme des pharaons

**6,600 EGYPTIANS WORKING
300 DAYS PER YEAR FOR 20 YEARS**

Designers, organizers, and support
services: **3,300 workers**



2,4 TJ = énergie potentielle de Gizeh
= énergie contenue dans 400 barils
= énergie consommée durant 5h de vol

GREAT PYRAMID OF GIZA

146.6 meters tall

20 years of construction
(c. 2530 B.C.E.)

Volume: **2.6 million**
cubic meters

Total weight:
6.75 million
metric tons

LA DANTA, GUATEMALA

72 meters tall

Approximate
time of construction:
c. 300 B.C.E.–100 C.E.

Volume:
2.8 million
cubic meters

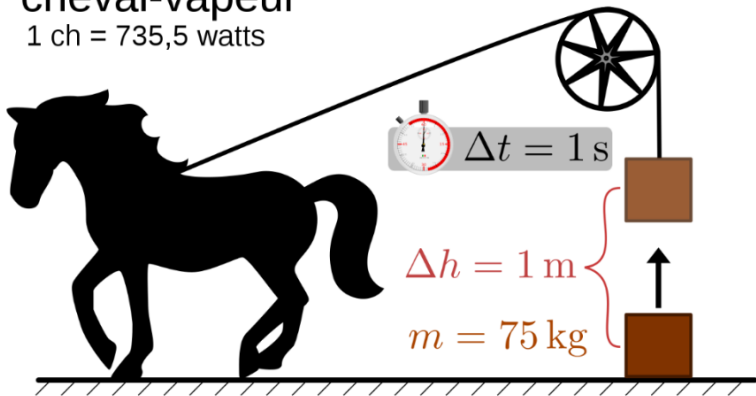
Qu'est-ce que la puissance ?

The diagram illustrates the concept of power. It features a central yellow box containing the equation $P = \frac{E}{\Delta t}$. An arrow labeled "Puissance (Watt)" points to the letter 'P'. An arrow labeled "Energie (Joule)" points to the letter 'E'. An arrow labeled "Durée (seconde)" points to the symbol Δt . To the left, a green figure is shown in a starting position for a lift, holding a barbell with two 10kg weights. To the right, a red figure is shown in a standing position with the barbell overhead, also holding two 10kg weights. At the bottom, the word "Puissance" is written in large white letters on a dark blue background.

La puissance d'un cheval

cheval-vapeur

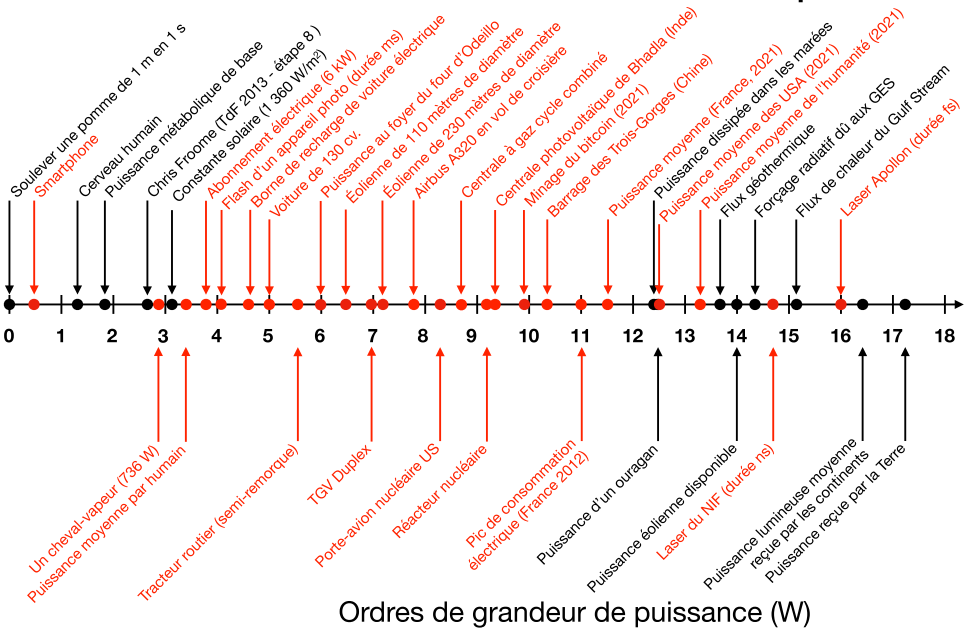
1 ch = 735,5 watts



Ordres de grandeur de puissance



L'humanité, « force tellurique »



Énergie ou puissance ?

Avec 1 kiloWattheure (kWh)



16 heures



24 heures



142 heures



1 heure



1 vaisselle



1 lessive



1 semaine



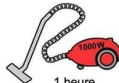
3-7 heures



3 jours



45 minutes



1 heure



3 heures



80-100 km



12-25 km



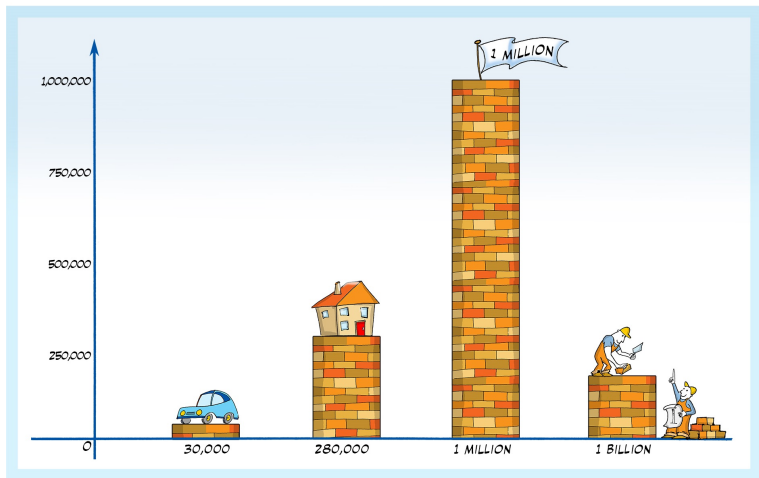
5-7 km

Plan de l'exposé

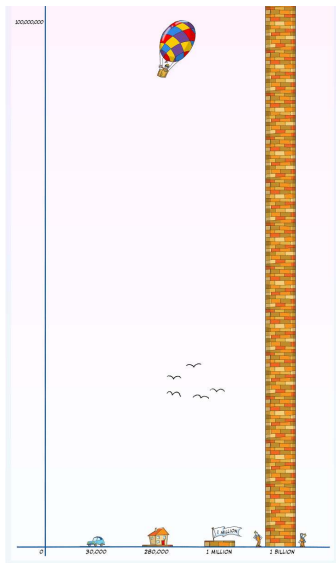
- ① Anthropocène
- ② Énergie et puissance
- ③ Croissance exponentielle

L'intuition des grands nombres

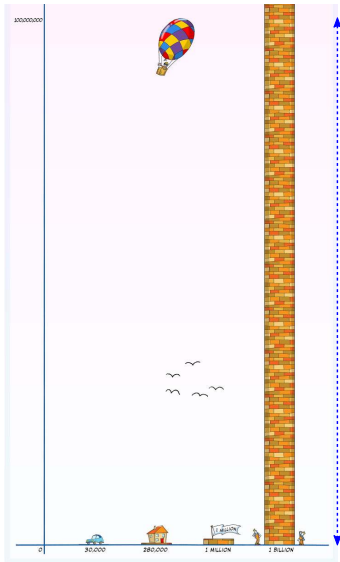
Numbers we can grasp...



L'intuition des grands nombres



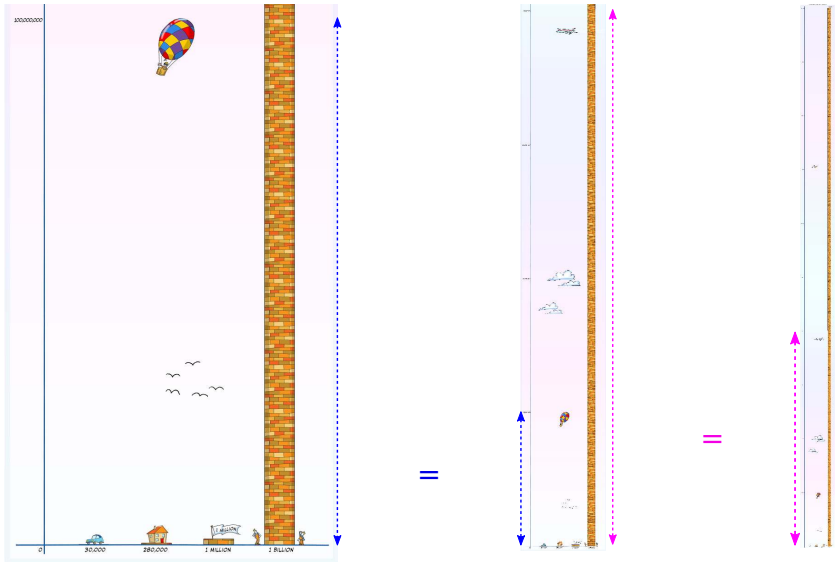
L'intuition des grands nombres



=



L'intuition des grands nombres

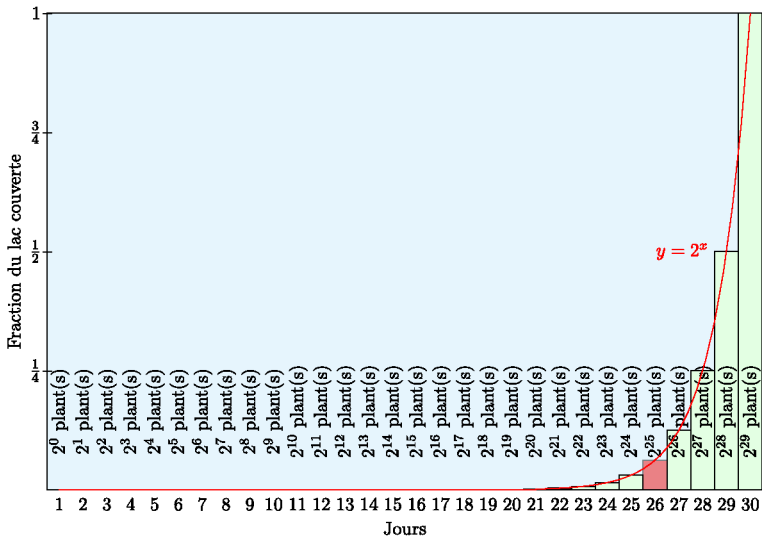


L'énigme du nénuphar



Imaginons un nénuphar planté dans un bassin qui aurait la propriété héréditaire de produire, chaque jour, un autre nénuphar. Supposons qu'au bout de 26 jours il occupe $\frac{1}{32} \simeq 3\%$ de la surface du bassin.

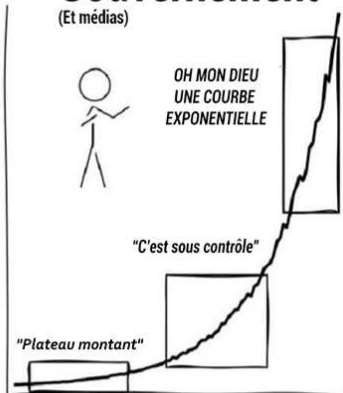
L'énigme du nénuphar



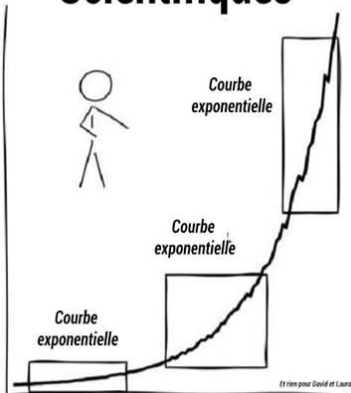
Ça vous rappelle quelque chose ?

Gouvernement

(Et médias)



Scientifiques











Le problème de l'échiquier de Sissa



On place un grain de riz (ou de blé) sur la première case d'un échiquier. Si on fait en sorte de doubler à chaque case le nombre de grains de la case précédente (un grain sur la première case, deux sur la deuxième, quatre sur la troisième, etc.), combien de grains de riz obtient-on au total ?

Le problème de l'échiquier de Sissa

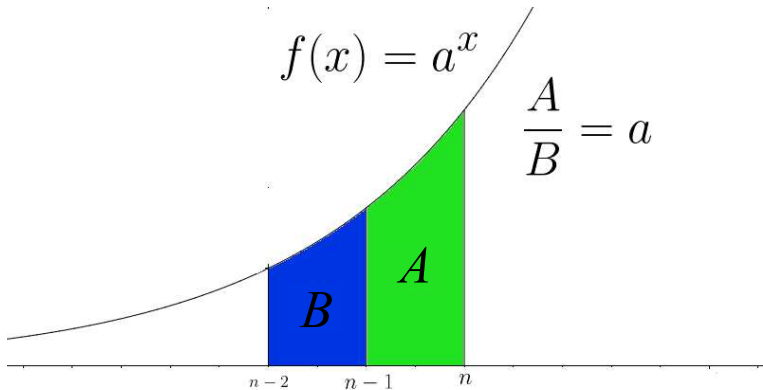
								
	1	2	4	8	16	32	64	128
256	256	512	1024	2048	4096	8192	16384	32768
65.5k	65536	131072	262144	524288	1048576	2097152	4194304	8388608
16.8M	16777216	33554432	67108864	134217728	268435456	536870912	1073741824	2147483648
4.29G	4294967296	8589934592	17179869184	34359738368	68719476736	137438953472	274877906944	549755813888
1.10T	1099511627776	2199023255552	4398046511104	8796093022208	17592186044416	35184372088832	70368744177664	140737488355328
281T	281171876710656	562343753421312	1124687506842624	2249375013685248	4498750027370496	8997500054740992	17995000109481984	35990000218963968
72.1P	72057394037527936	144114789075055872	288229578150111744	576459156300223488	1152918312600446976	2305836625200893952	4611673250401787904	9223346500803575808
144P	144114789075055872	288229578150111744	576459156300223488	1152918312600446976	2305836625200893952	4611673250401787904	9223346500803575808	1844674401600715615

$\Sigma = 4,294,967,295$

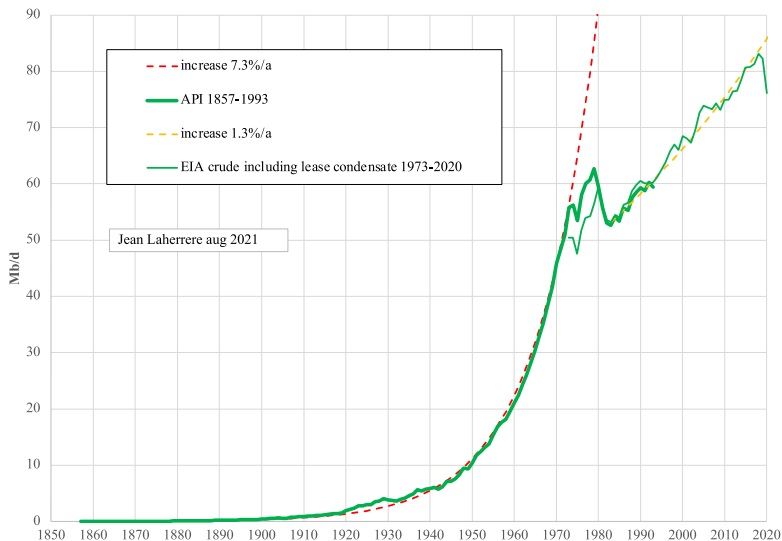
18,446,744,069,414,584,320

18,446,744,073,709,551,615

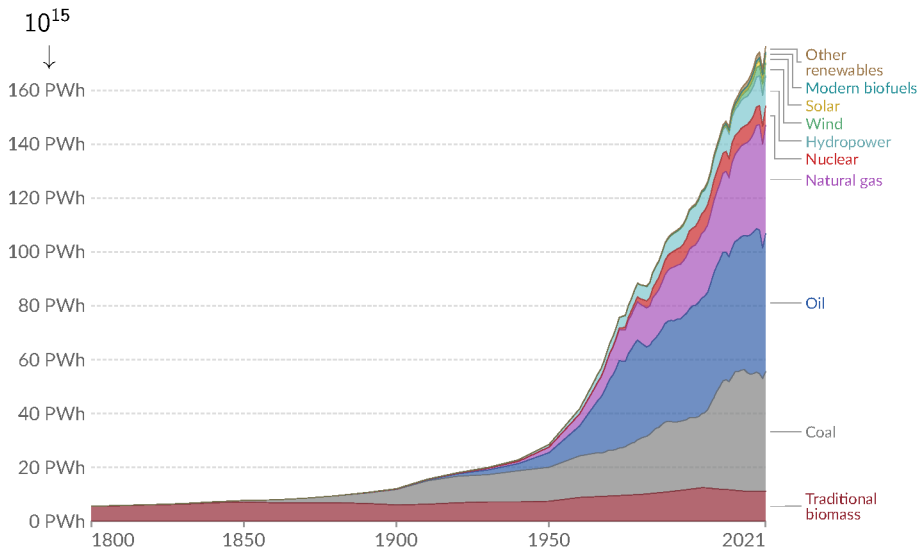
Propriétés d'une courbe exponentielle



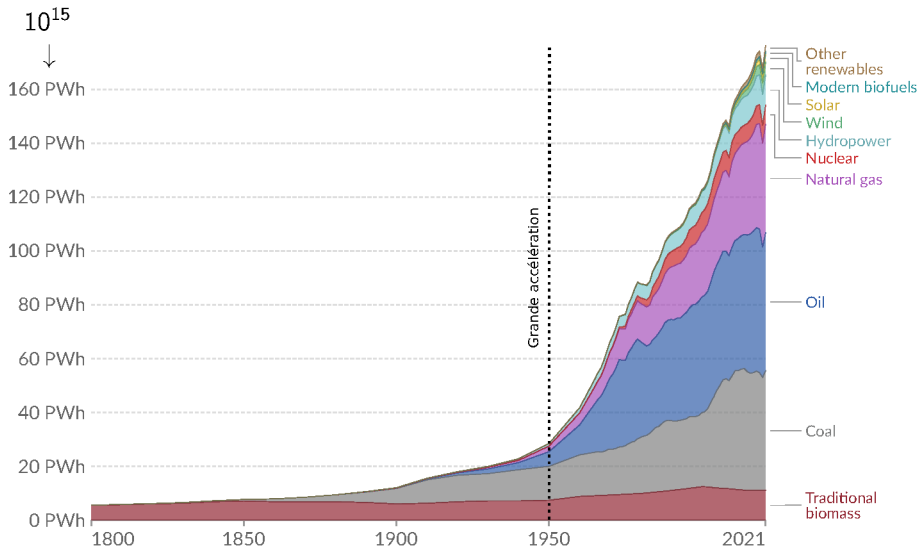
Évolution de la “production” de pétrole



Évolution de la “production” d’énergie



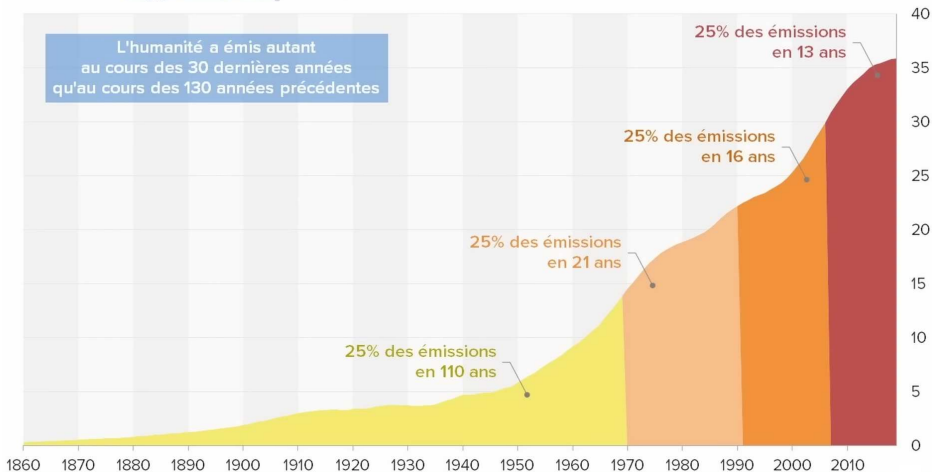
Évolution de la “production” d’énergie



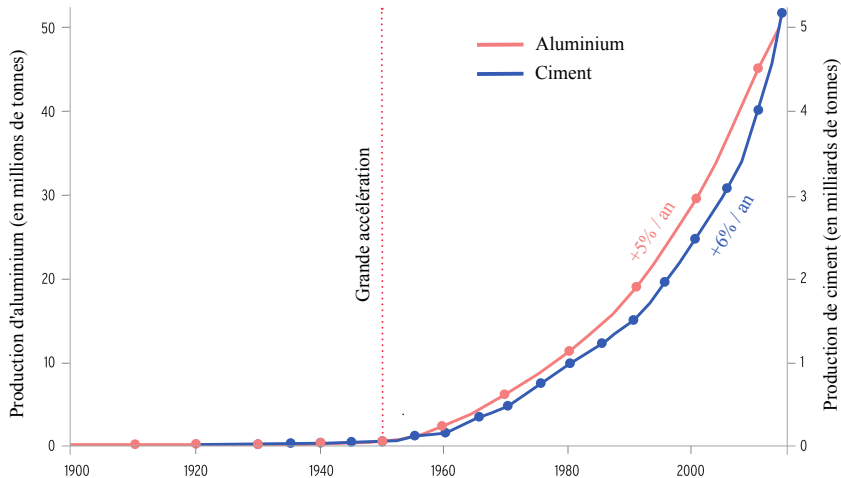
Émissions annuelles de CO₂ dans le monde

en gigatonnes de CO₂ | Source: GCP

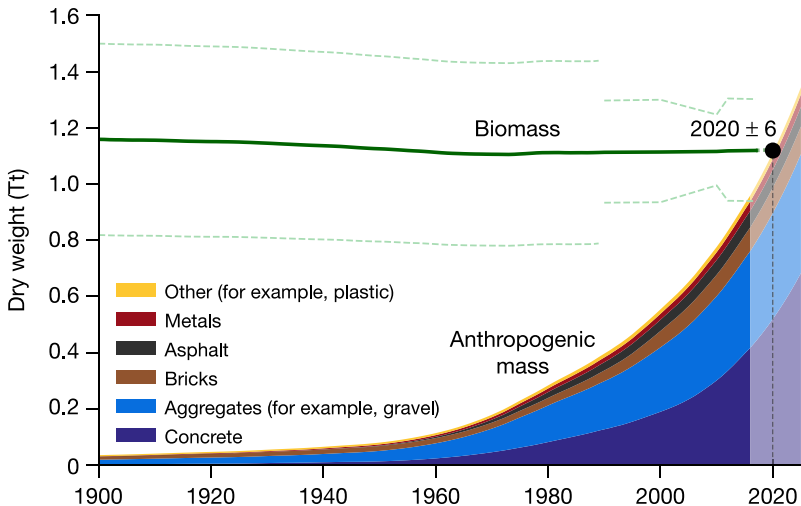
L'humanité a émis autant
au cours des 30 dernières années
qu'au cours des 130 années précédentes



Évolution de la masse anthropogénique



Évolution de la masse anthropogénique

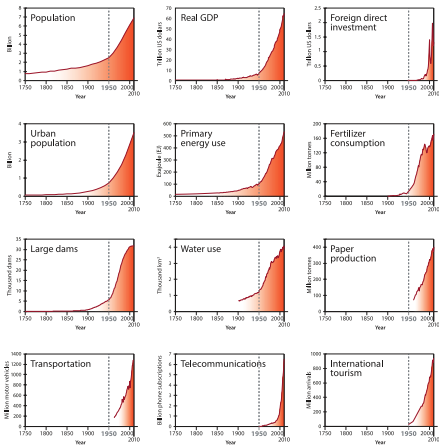


Évolution de la masse anthropogénique



Des courbes exponentielles partout !

Socio-economic trends



Earth system trends

