

**Climat et Transitions**

**Anthropocène**

*Dans quel monde vivons-nous ?*

**Gilles Escarguel**

LEHNA – Université Lyon 1



Lyon 1



Lyon 1

# **Etape 1**

## ***Anthropocène : un mot et une idée***



**Gilles Escarguel**  
LEHNA – Université Lyon 1

## **Climat et Transitions**

### ***Anthropocène – dans quel monde vivons-nous ?***

- ***Anthropocène : un mot et une idée***
- Le Quaternaire : cadre géologique de l'histoire humaine
- L'Anthropocène : comment, quand et pourquoi l'humanité est devenue une force géophysique majeure ?
- Les principaux symptômes de l'Anthropocène
- Quels futurs possibles dans l'Anthropocène ?
- Anticiper l'imprévisible : l'approche systémique du modèle WORLD3
- Et maintenant, on fait quoi ?

### **Objectifs de cette première étape**

- Présenter l'origine et l'histoire du concept d'Anthropocène.
- Comprendre en quoi cette problématique géologique nous concerne directement.



**Anthropocène : un mot et une idée**

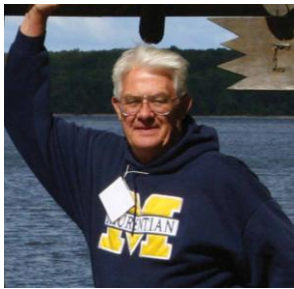
**Paul J. Crutzen (1933-2021)**  
Prix Nobel de Chimie 1995

*"Stop using the word  
Holocene!  
We're not in the  
Holocene any more.  
We're in the... the... the...  
the Anthropocene!"*

**Eugene Stoermer (1934-2012)**  
→ « Anthropocène »

The "Anthropocene"  
by Paul J. Crutzen and Eugene F. Stoermer

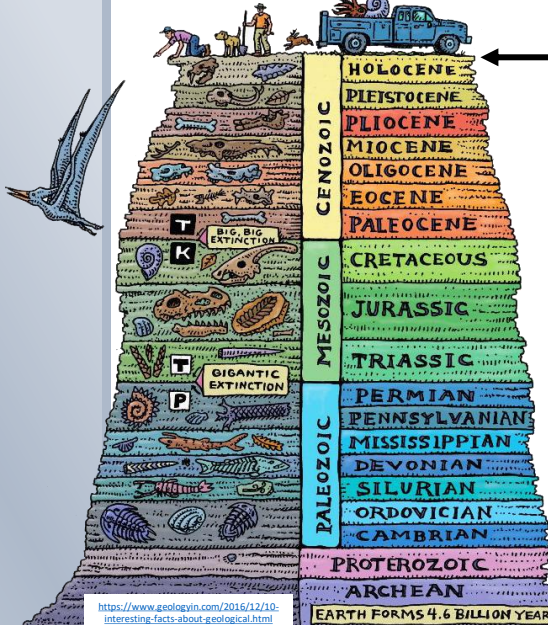
<http://www.igbp.net/download/18.316f18321323470177580001401/1376383088452/NL41.pdf>



https://fr.wikipedia.org/wiki/Paul\_J.\_Crutzen  
https://fr.wikipedia.org/wiki/Eugene\_Stoermer

**Anthropocène : un mot et une idée**

**Le calendrier géologique mondial**



**Anthropocène ?**

2008 : création de l'IAWG  
2015 : première proposition  
2019 : validation ICS  
2023 : Age d'entrée (IAWG)  
2024 : rejet par l'IUGS :  
l'Anthropocène est un événement géologique et non un étage géologique...



Temps ↑

|          |
|----------|
| ???      |
| Holocène |

**Anthropocène : un mot et une idée**

## En résumé...

- Le terme **Anthropocène** a été proposé en 2000 par **Paul Crutzen** et **Eugene Stoermer** pour désigner l'étage géologique actuel.
- En 2024, l'Union Internationale des Sciences Géologiques (IUGS) a finalement rejeté cette proposition.
- **L'Anthropocène est un évènement géologique** = la limite entre deux étages successifs : l'Holocène que nous sommes en train de quitter, et un nouvel étage non encore nommé dans lequel nous sommes en train d'entrer.
- L'évènement géologique Anthropocène implique que **le fonctionnement physique, chimique et biologique du système terrestre au sein duquel nous vivons aujourd'hui est en train de changer très profondément**, et cela du fait de la présence et des activités d'une seule espèce : ***Homo sapiens* – l'humanité**.





## Etape 2

# Le Quaternaire : cadre géologique de l'histoire humaine



Gilles Escarguel

LEHNA – Université Lyon 1

## Climat et Transitions

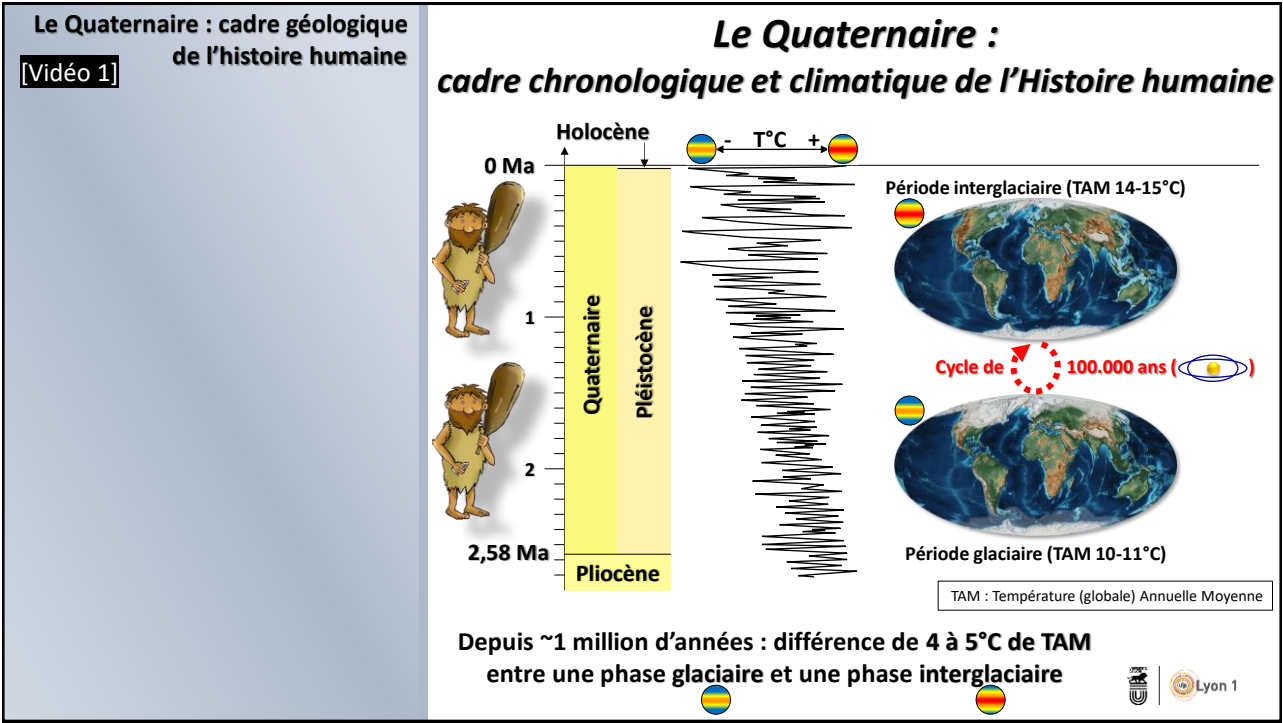
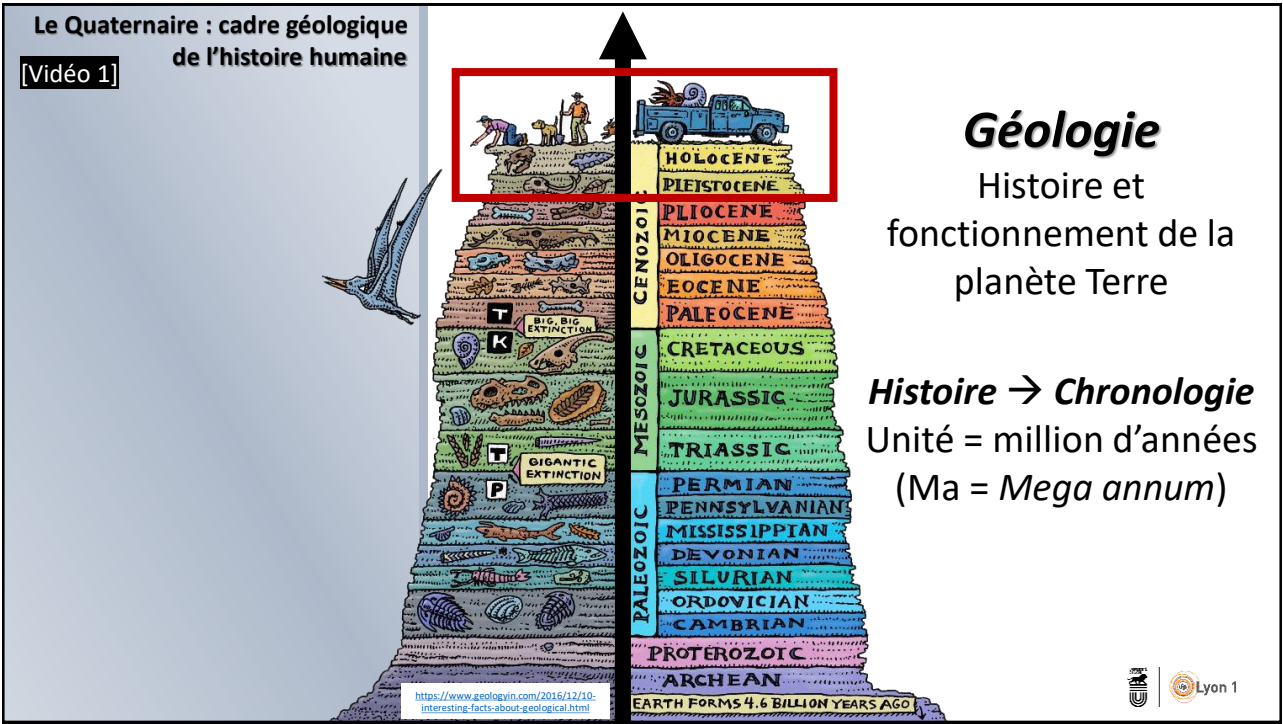
### **Anthropocène – dans quel monde vivons-nous ?**

- *Anthropocène* : un mot et une idée
- **Le Quaternaire : cadre géologique de l'histoire humaine**
- L'Anthropocène : comment, quand et pourquoi l'humanité est devenue une force géophysique majeure ?
- Les principaux symptômes de l'Anthropocène
- Quels futurs possibles dans l'Anthropocène ?
- Anticiper l'imprévisible : l'approche systémique du modèle WORLD3
- Et maintenant, on fait quoi ?

### **Objectifs de cette étape**

- Situer l'Anthropocène dans le cadre temporel de l'Histoire de la Terre et de l'Histoire de la lignée humaine (genre *Homo*). [Vidéo 1]
- Connaître les grandes lignes de l'évolution biologique et techno-socio-culturelle du genre humain. [Vidéo 2]
- Caractériser deux ruptures énergétiques majeures de l'histoire humaine : la révolution néolithique et la révolution industrielle. [Vidéo 3]





Le Quaternaire : cadre géologique de l'histoire humaine

[Vidéo 2]

Synopsis de l'Histoire évolutive du genre humain

Asie

Afrique

Europe

*Homo ergaster*

Millions d'années

0

0,4

0,8

1,2

1,6

2

Le « Garçon du Turkana » (Kenya)

11-12 ans

1,7 Ma

1,70m ; 850-1100 cm<sup>3</sup>

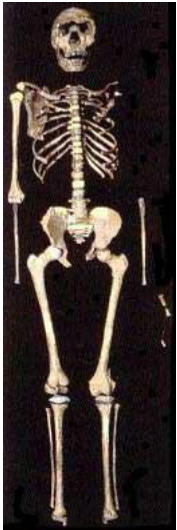
arcades protubérantes

face courte

mâchoire proéminente

front bas







Lyon 1

Le Quaternaire : cadre géologique de l'histoire humaine

[Vidéo 2]

Synopsis de l'Histoire évolutive du genre humain

Asie

Afrique

Europe

*Homo erectus*

Millions d'années

0

0,4

0,8

1,2

1,6

2

Zhoukoudian, 250 à 450 000 ans

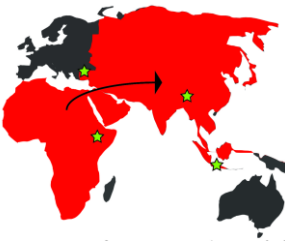


Sangiran (Java), 1,6 (?) M.a.



← *Homo (eretus?) georgicus* (Géorgie ; 1,6 M.a.)







Lyon 1

Le Quaternaire : cadre géologique de l'histoire humaine

[Vidéo 2]

### Synopsis de l'Histoire évolutive du genre humain

Asie      Afrique      Europe      **H. heidelbergensis**

Millions d'années

0  
0,4  
0,8  
1,2  
1,6  
2

erectus      **heidelbergensis**      erectus      ergaster

Mauer, Allemagne - 500 000 ans

Crâne de l' « Homme de Bodo » (Awash, Ethiopie, 600 000 ans)

← H. (heidelbergensis?) antecessor (Atapuerca, Espagne, 800 000 ans)

Le Quaternaire : cadre géologique de l'histoire humaine

[Vidéo 2]

### Synopsis de l'Histoire évolutive du genre humain

Asie      Afrique      Europe      **H. neanderthalensis**

Millions d'années

0  
0,4  
0,8  
1,2  
1,6  
2

erectus      **Neanderthalensis**      heidelbergensis      erectus      ergaster

La Ferrassie (70 000 ans)

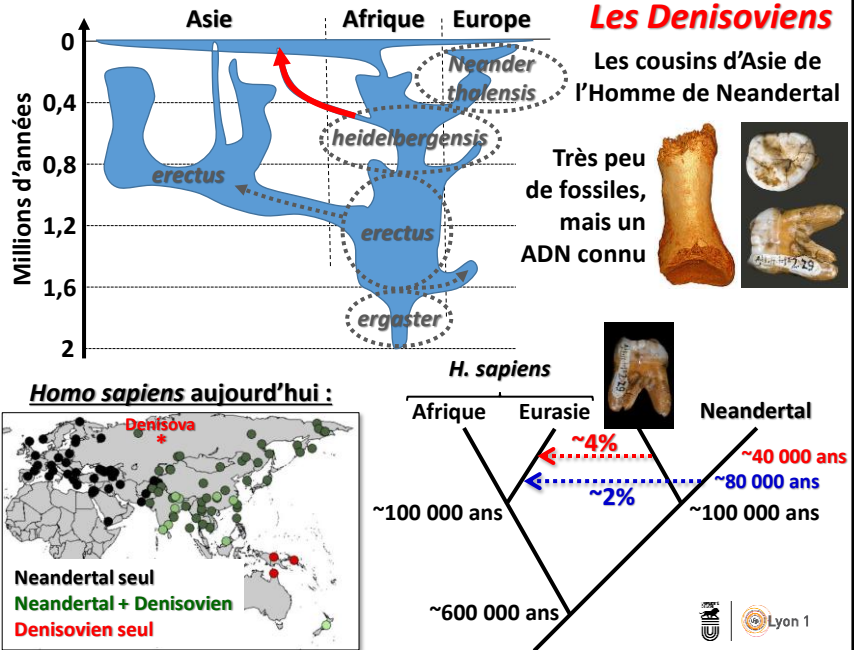
L' « Homme de Tautavel » (Caune de l'Arago, France, 450 000 ans)

Forme de transition entre H. heidelbergensis et H. neanderthalensis

La Chapelle aux saints 60 000 ans

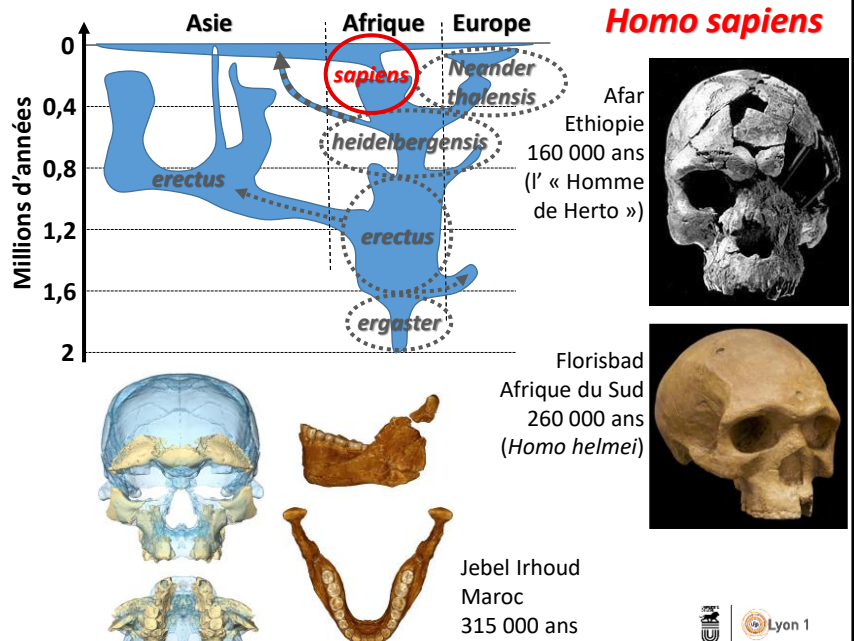
[Vidéo 2]

## Les Denisoviens



[Vidéo 2]

***Homo sapiens***



[Vidéo 2]

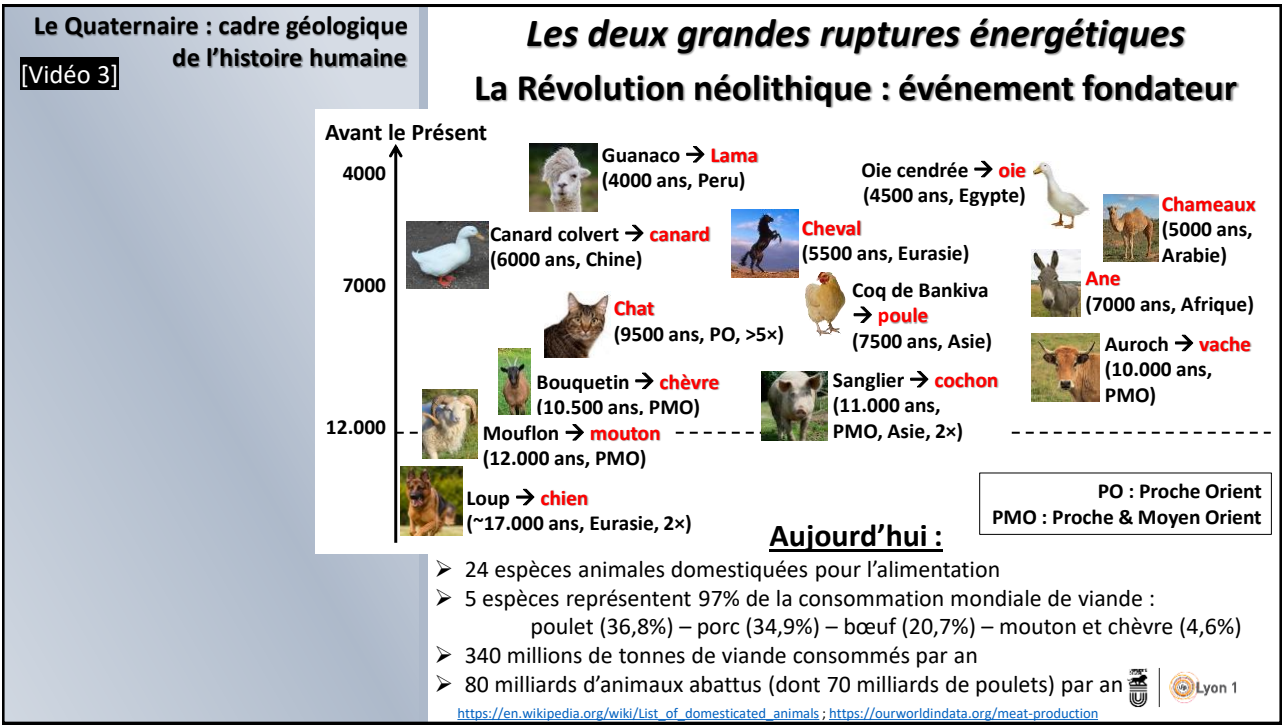
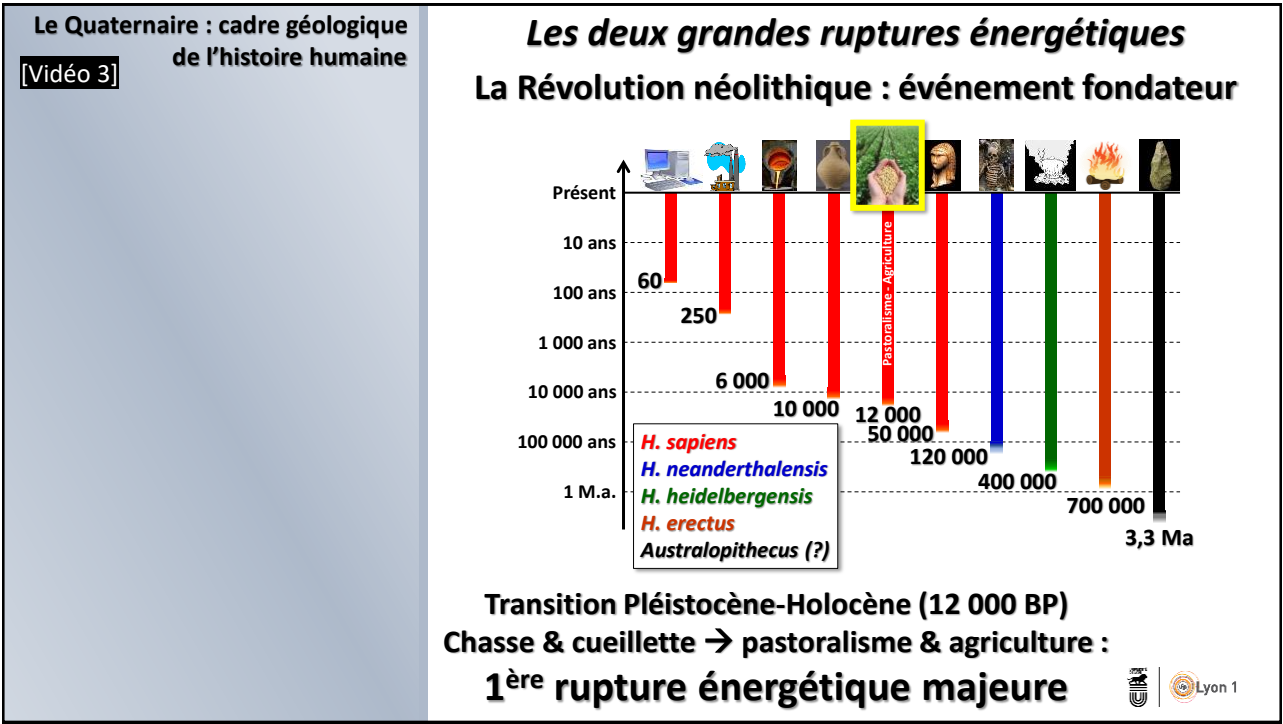
***Homo sapiens***



[Vidéo 3]

## Une histoire jalonnée d'innovations techno-socio-culturelles





Le Quaternaire : cadre géologique de l'histoire humaine

[Vidéo 3]

### Les deux grandes ruptures énergétiques

#### La Révolution néolithique : événement fondateur

**11.000 BP** : blé, orge, lentille, petit pois, pois chiche, datte, pistache

**9000 BP** : riz, soja, noisette, noix

**9000 BP** : mangue, noix de coco, millet

**5000 BP** : igname, sorgho, dolique, café, millet

**5000 BP** : courges, potiron, piment, haricot de Lima, quinoa, pomme de terre

**5000 BP** : maïs, haricot, cacao, avocat, tomate

**5000 BP** : courges, chénopodes, tournesol

**6000 BP** : asperge, chou, vigne, laitue, olive, figue

BP = Before Present = avant le Présent

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Centres\\_of\\_origin\\_and\\_spread\\_of\\_agriculture.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Centres_of_origin_and_spread_of_agriculture.svg)

#### L'alimentation humaine aujourd'hui :

**5 espèces animales + 4 espèces végétales**  
**= ¾ de l'alimentation humaine mondiale**



Le Quaternaire : cadre géologique de l'histoire humaine

[Vidéo 3]

### Les deux grandes ruptures énergétiques

#### La Révolution industrielle (1770-1820)

**Présent**

**10 ans**

**100 ans**

**1 000 ans**

**10 000 ans**

**100 000 ans**

**1 M.a.**

**3,3 Ma**

**60**

**250**

**6 000**

**10 000**

**12 000**

**50 000**

**120 000**

**400 000**

**700 000**

**H. sapiens**

**H. neanderthalensis**

**H. heidelbergensis**

**H. erectus**

**Australopithecus (?)**

**Industrie mécanique**

**Transition XVIII-XIX<sup>ème</sup> siècles en Occident**  
**→ combustibles fossiles :**  
**2<sup>nd</sup>e rupture énergétique majeure**



Le Quaternaire : cadre géologique de l'histoire humaine

[Vidéo 3]

Les deux grandes ruptures énergétiques

La Révolution industrielle (1770-1820)

Avant 1770

1780 + 1820

Après 1820



100% EnR

D'après J.-M. Jancovici, 2019



Le Quaternaire : cadre géologique de l'histoire humaine

[Vidéo 3]

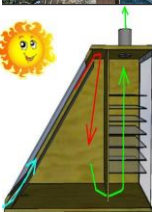
Les deux grandes ruptures énergétiques

La Révolution industrielle (1770-1820)

Avant 1770

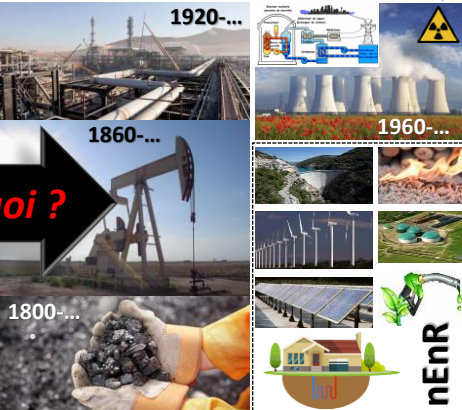
1780 + 1820

Après 1820



100% EnR

Pourquoi ?



nEnR

L'énergie : cause profonde de l'Anthropocène

D'après J.-M. Jancovici, 2019



Le Quaternaire : cadre géologique  
de l'histoire humaine

[Vidéo 3]

## En résumé...

- L'histoire de la Terre débute il y a plus de 4,5 milliards d'années, et celle de la vie il y a ~3,8 milliards d'années.
- Depuis ~3 millions d'années, la Terre oscille de façon cyclique entre deux états climatiques distincts : des **phases glaciaires froides et sèches** et des **phases interglaciaires plus chaudes et humides**. A l'échelle du globe, 4 à 5°C de température annuelle moyenne séparent les phases glaciaires et interglaciaires.
- Le **genre humain (*Homo*)** apparaît en Afrique il y a ~2 millions d'années. Son évolution s'inscrit entièrement dans la période géologique **Quaternaire**.
- L'évolution de la lignée humaine est essentiellement africaine et implique plusieurs phases migratoires successives en Eurasie. Cette histoire est jalonnée de nombreuses **innovations techno-socio-culturelles** dont **deux ruptures énergétiques majeures** :
  - La **révolution néolithique qui débute il y a 12.000 ans**, où l'humanité passe d'un mode de vie nomade chasseur-cueilleur à un mode de vie sédentaire agro-pastoral (domestication) ;
  - La **révolution industrielle occidentale il y a 250 ans**, où l'humanité passe d'un monde 100% énergie renouvelable à un monde mécanisé dominé par des énergies non-renouvelables – énergies fossiles, nucléaire.



Lyon 1



Lyon 1

## Etape 3

# L'Anthropocène : comment, quand et pourquoi l'humanité est devenue une force géophysique majeure ?



Gilles Escarguel

LEHNA – Université Lyon 1

## Climat et Transitions

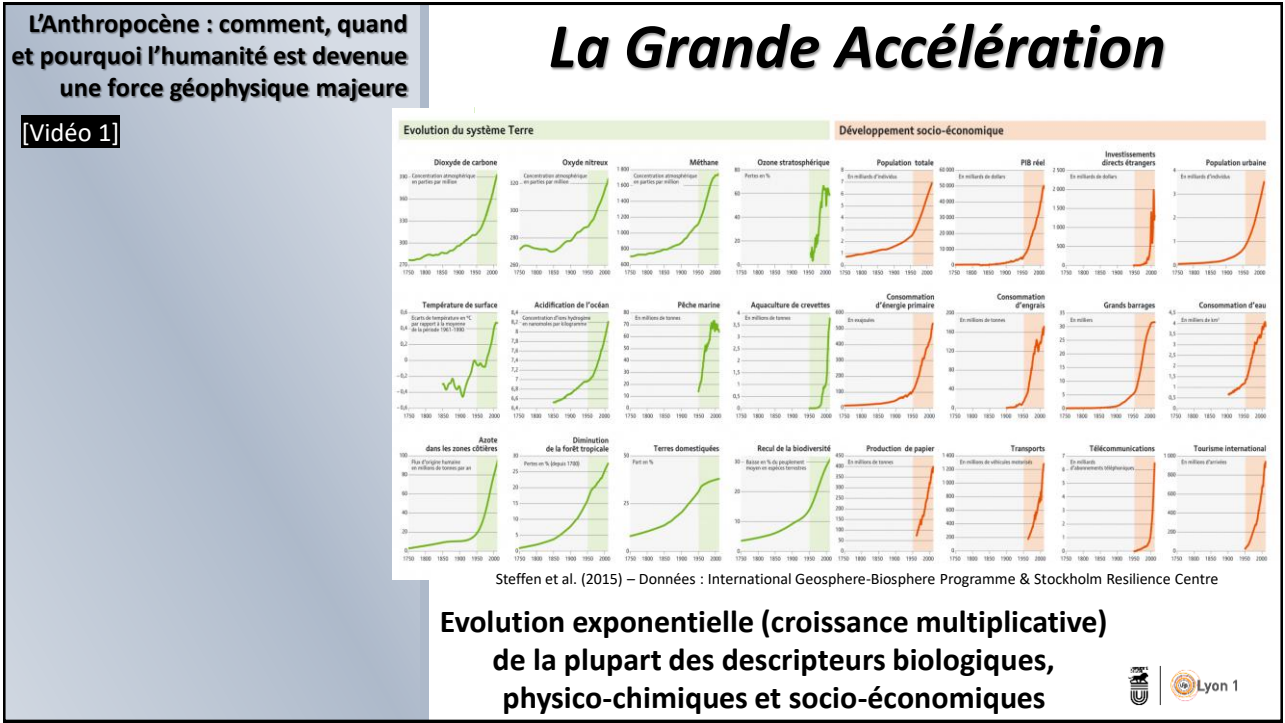
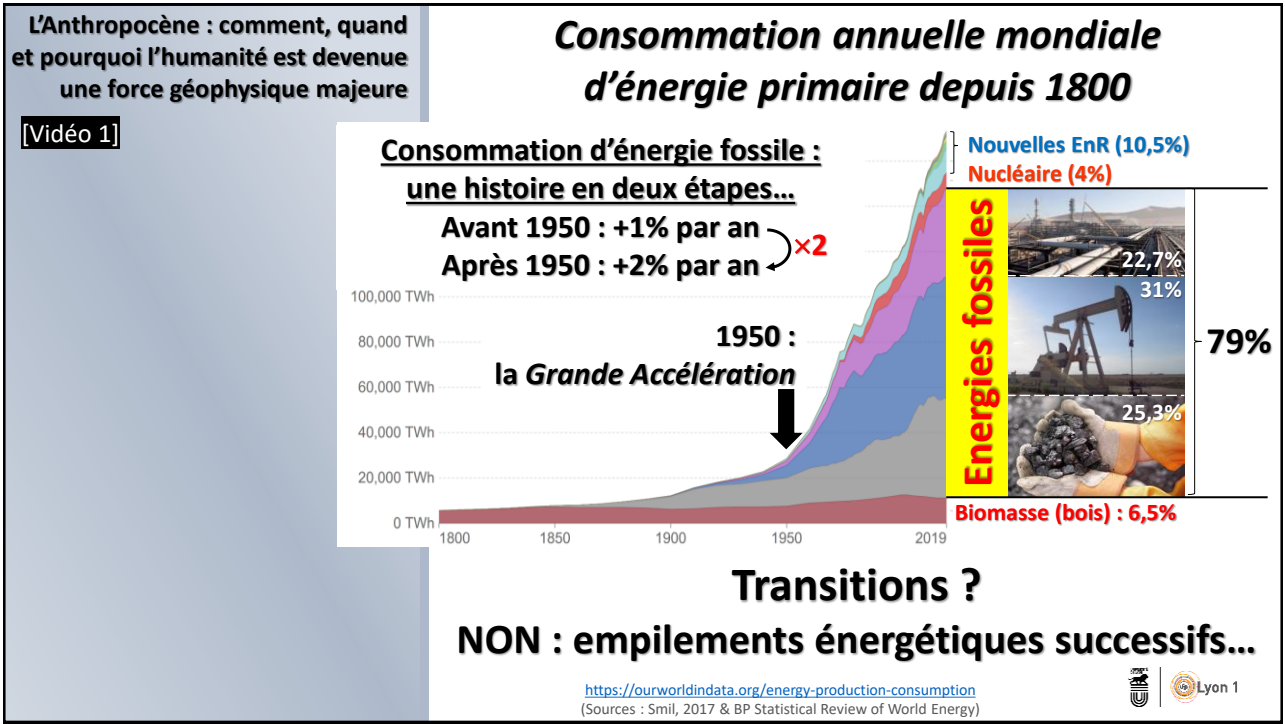
### **Anthropocène – dans quel monde vivons-nous ?**

- *Anthropocène* : un mot et une idée
- Le Quaternaire : cadre géologique de l'histoire humaine
- **L'Anthropocène : comment, quand et pourquoi l'humanité est devenue une force géophysique majeure ?**
- Les principaux symptômes de l'Anthropocène
- Quels futurs possibles dans l'Anthropocène ?
- Anticiper l'imprévisible : l'approche systémique du modèle WORLD3
- Et maintenant, on fait quoi ?

### **Objectifs de cette étape**

- Décrire l'évolution de la consommation énergétique mondiale depuis 1800. [Vidéo 1]
- Identifier et caractériser la Grande Accélération au milieu du 20<sup>ème</sup> siècle. [Vidéo 1]
- Définir l'Anthropocène [Vidéo 1]
- Comprendre l'origine de l'Anthropocène –pourquoi et pour quoi ? [Vidéo 2]





L'Anthropocène : comment, quand  
et pourquoi l'humanité est devenue  
une force géophysique majeure

[Vidéo 1]

# La Grande Accélération

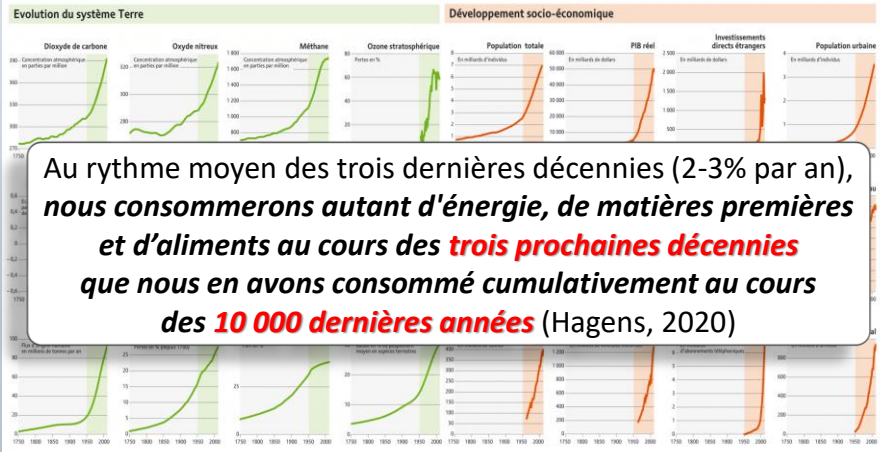
Evolution du système Terre

Développement socio-économique

Au rythme moyen des trois dernières décennies (2-3% par an),  
*nous consommerons autant d'énergie, de matières premières  
et d'aliments au cours des **trois prochaines décennies**  
que nous en avons consommé cumulativement au cours  
des **10 000 dernières années*** (Hagens, 2020)

Steffen et al. (2015) – Données : International Geosphere-Biosphere Programme & Stockholm Resilience Centre

Evolution exponentielle (croissance multiplicative)  
de la plupart des descripteurs biologiques,  
physico-chimiques et socio-économiques



The figure consists of two rows of line graphs. The top row, titled 'Evolution du système Terre', shows four indicators: 'Dioxyde de carbone' (CO2 concentration in ppm), 'Oxyde nitreux' (Nitrous oxide concentration in ppm), 'Méthane' (Methane concentration in ppm), and 'Ozone stratosphérique' (Stratospheric ozone in %). The bottom row, titled 'Développement socio-économique', shows four indicators: 'Population totale' (Total population in billions), 'PIB réel' (Real GDP in billions of dollars), 'Investissements directs étrangers' (Foreign direct investments in billions of dollars), and 'Population urbaine' (Urban population in billions). All graphs show a sharp upward trend starting around 1800, indicating exponential growth.



UCBL Lyon 1

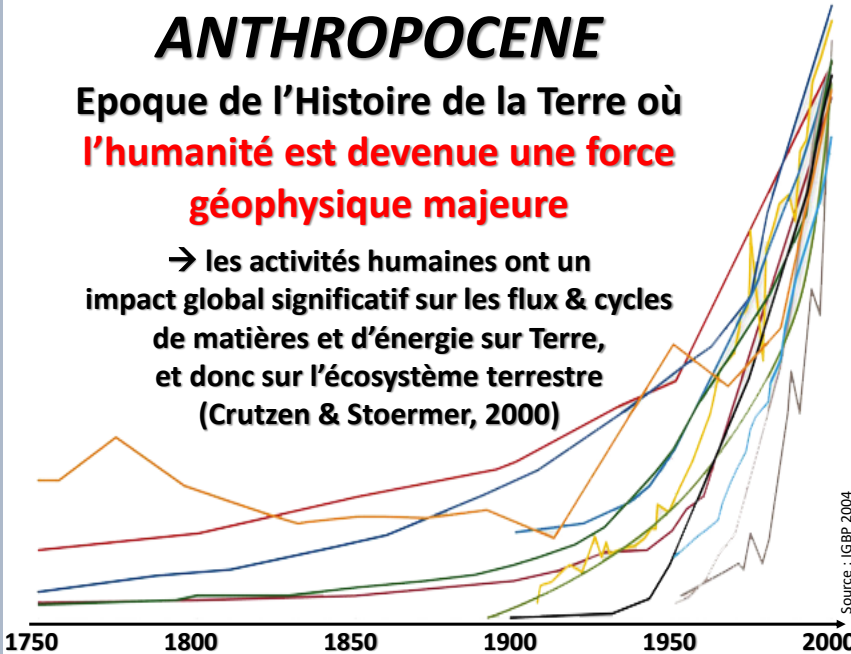
L'Anthropocène : comment, quand  
et pourquoi l'humanité est devenue  
une force géophysique majeure

[Vidéo 1]

# ANTHROPOCENE

Epoque de l'Histoire de la Terre où  
**l'humanité est devenue une force  
géophysique majeure**

→ les activités humaines ont un  
impact global significatif sur les flux & cycles  
de matières et d'énergie sur Terre,  
et donc sur l'écosystème terrestre  
(Crutzen & Stoermer, 2000)



The graph shows multiple lines representing different indicators over time from 1750 to 2000. The x-axis is labeled with years: 1750, 1800, 1850, 1900, 1950, and 2000. The y-axis represents the magnitude of the indicators. Most lines show a sharp upward trend starting around 1800, indicating exponential growth. The lines are color-coded: orange, red, blue, green, yellow, and black. The source is cited as 'Source : IGBP 2004'.



UCBL Lyon 1

L'Anthropocène : comment, quand et pourquoi l'humanité est devenue une force géophysique majeure

[Vidéo 2]

## L'Anthropocène : pourquoi et pour quoi ?

### Le piège de la spirale de croissance extractiviste-productiviste-consumériste

**Augmentation des inégalités socio-économiques intra- et internationales**

**Exploitation de ressources naturelles + énergie**

**Diminution des ressources (non-) renouvelables**

**Croissance économique**

**Production de richesse**

**Production de déchets (Pollution)**

**Energie = drogue**

Pierre-Joseph Proudhon (~1840)

Karl Marx (~1840)

Rudolf Clausius (Entropie ; 1865)

Thomas Robert Malthus (~1800)

Antoine Lavoisier (Rien ne se perd... ; 1789)

L'Anthropocène : comment, quand et pourquoi l'humanité est devenue une force géophysique majeure

[Vidéo 2]

## L'Anthropocène : pourquoi et pour quoi ?

### Le piège de la spirale de croissance extractiviste-productiviste-consumériste

**L'énergie c'est le progrès !** 😊😊😊

**Mais il y a un prix à payer...** 😞😞😞

**Exploitation de ressources naturelles + énergie**

**Croissance économique**

**Production de richesse**

**Utilisation d'énergie ≡ dégradation de l'environnement (l'énergie « propre », ça n'existe pas...)**

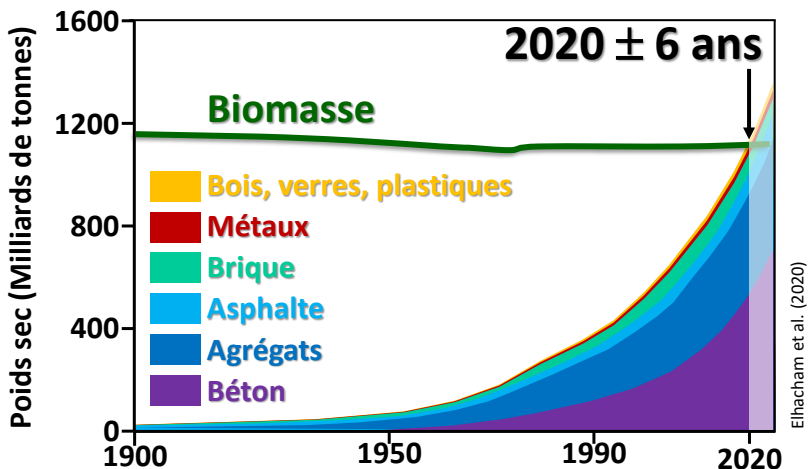
Education, santé, travail, congés, assurances, protection sociale, chômage, retraite...

L'Anthropocène : comment, quand  
et pourquoi l'humanité est devenue  
une force géophysique majeure

[Vidéo 2]

## L'Anthropocène : pourquoi et pour quoi ?

### Technomasse vs. Biomasse



Voir : <https://www.visualcapitalist.com/visualizing-the-accumulation-of-human-made-mass-on-earth>



L'Anthropocène : comment, quand  
et pourquoi l'humanité est devenue  
une force géophysique majeure

[Vidéo 2]

### En résumé...

- Depuis deux siècles, la plupart des **descripteurs biologiques et physico-chimiques** du système Terre et des **descripteurs socio-économiques** de l'humanité au sein de ce système montre des dynamiques de **croissance exponentielle (= multiplicative)** qui accélèrent au sortir de la seconde guerre mondiale = la **Grande Accélération**.
- L'**Anthropocène** est le moment de l'Histoire de la Terre où l'humanité est devenue une **force géophysique majeure modifiant profondément les flux et cycles de matières et d'énergie sur Terre**.
- La **spirale de croissance extractiviste-productiviste-consumériste** (exploitation de ressources naturelles et d'énergie → Production de richesse → croissance économique →...) est une cause majeure de l'Anthropocène.
- Depuis 2020 (± 6 ans), la **technomasse** fabriquée par l'humanité pèse plus lourd que la **biomasse planétaire**.



## **Etape 4**

# **Les principaux symptômes de l'Anthropocène**



**Gilles Escarguel**  
LEHNA – Université Lyon 1

## **Climat et Transitions**

### **Anthropocène – dans quel monde vivons-nous ?**

- *Anthropocène* : un mot et une idée
- Le Quaternaire : cadre géologique de l'histoire humaine
- L'Anthropocène : comment, quand et pourquoi l'humanité est devenue une force géophysique majeure ?
- **Les principaux symptômes de l'Anthropocène**
- Quels futurs possibles dans l'Anthropocène ?
- Anticiper l'imprévisible : l'approche systémique du modèle WORLD3
- Et maintenant, on fait quoi ?

#### **Objectif de cette étape**

- Identifier les principales conséquences physico-chimiques des activités humaines au sein de la biosphère (atmosphère, océans, sols et sous-sols). **[Vidéo 1]**
- Connaître les neuf limites planétaires. **[Vidéo 2]**



Les principaux symptômes de l'Anthropocène

[Vidéo 1]

# ANTHROPOCENE

Epoque de l'Histoire de la Terre où l'humanité est devenue une force géophysique majeure

→ les activités humaines ont un impact global significatif sur les flux & cycles de matières et d'énergie sur Terre, et donc sur l'écosystème terrestre (Crutzen & Stoermer, 2000)

Homo sapiens = ~0,01% de la biomasse totale actuelle (~3% des animaux)

Source : IGBP 2004 ; Bar-On et al. (2018)

U Lyon 1

Les principaux symptômes de l'Anthropocène

[Vidéo 1]

# ANTHROPOCENE

Aujourd'hui, les activités humaines modifient :

- la composition physico-chimique de l'atmosphère
  - Gaz à effet de serre ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , Fréon,  $\text{CF}_4$ ,  $\text{SF}_6$ )

$\text{CH}_4$  (méthane) 2020

$\text{N}_2\text{O}$  (protoxyde d'azote) 2018

Source : IGBP 2004

U Lyon 1

<https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-10-21/methane-maps-climate-satellites-from-ghgsat-reveal-rising-emissions>

<https://atlasocio.com/cartes/recherche/selection/emissions-n2o-par-etat.php>

Les principaux symptômes de l'Anthropocène

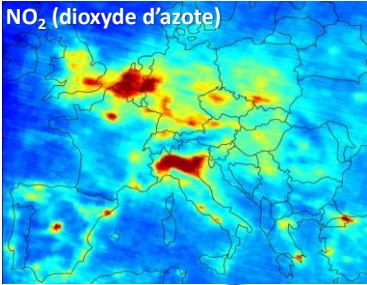
[Vidéo 1]

# ANTHROPOCENE

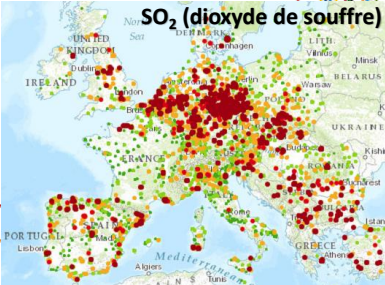
Aujourd'hui, les activités humaines modifient :

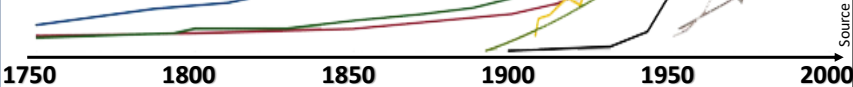
- la composition physico-chimique de l'atmosphère
  - Gaz à effet de serre ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , Fréon,  $\text{CF}_4$ ,  $\text{SF}_6$ )
  - Composés chimiques ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , HS,  $\text{O}_3$ ...)

$\text{NO}_2$  (dioxyde d'azote)



$\text{SO}_2$  (dioxyde de soufre)





Source : IGBP 2004

[http://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2004/10/NO2\\_levels\\_over\\_Europe](http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2004/10/NO2_levels_over_Europe)  
<https://www.eea.europa.eu/themes/air/interactive/so2>

U Lyon 1

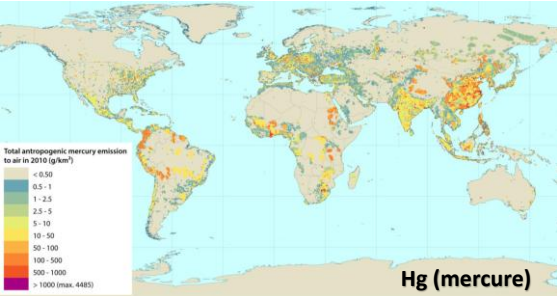
Les principaux symptômes de l'Anthropocène

[Vidéo 1]

# ANTHROPOCENE

Aujourd'hui, les activités humaines modifient :

- la composition physico-chimique de l'atmosphère
  - Gaz à effet de serre ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , Fréon,  $\text{CF}_4$ ,  $\text{SF}_6$ )
  - Composés chimiques ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , HS,  $\text{O}_3$ ...)
  - Eléments traces métalliques (Hg, Pb, Cr, Cu, Ni, Zn...)



Hg (mercure)

Pb (plomb)





Source : IGBP 2004

Pacyna et al. (2016), Maatoug et al. (2012)

U Lyon 1

Les principaux symptômes de l'Anthropocène

[Vidéo 1]

# ANTHROPOCENE

Aujourd'hui, les activités humaines modifient :

- la composition physico-chimique de l'atmosphère
  - Gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, Fréon, CF<sub>4</sub>, SF<sub>6</sub>)
  - Composés chimiques (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, HS, O<sub>3</sub>...)
  - Eléments traces métalliques (Hg, Pb, Cr, Cu, Ni, Zn...)
  - Eléments radioactifs (<sup>3</sup>H, <sup>14</sup>C, <sup>90</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs...)

Chernobyl fallout Cs-137

Cs-137 (Bq/m²)

- 0 - 300
- 301 - 600
- 601 - 1200
- 1201 - 1800
- 1801 - 3000
- 3001 - 4800
- 4801 - 10000
- 10001 - 53000

Tchernobyl, 25-26/04/1986

1750 1800 1850 1900 1950 2000

Meusburger et al. (2020)

Source : IGBP 2004

Lyon 1

Les principaux symptômes de l'Anthropocène

[Vidéo 1]

# ANTHROPOCENE

Aujourd'hui, les activités humaines modifient :

- la composition physico-chimique de l'atmosphère
  - Gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, Fréon, CF<sub>4</sub>, SF<sub>6</sub>)
  - Composés chimiques (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, HS, O<sub>3</sub>...)
  - Eléments traces métalliques (Hg, Pb, Cr, Cu, Ni, Zn...)
  - Eléments radioactifs (<sup>3</sup>H, <sup>14</sup>C, <sup>90</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs...)
  - Sons, lumière nocturne...

Eclairage nocturne

Voie lactée invisible

Villefranche Genève  
Lyon Grenoble  
Valence

100 km

1750 1800 1850 1900 1950 2000

Source : IGBP 2004

Lyon 1

<https://www.encyclopedie-environnement.org/en/life/what-is-the-ecological-impact-of-light-pollution/>

23

Les principaux symptômes de l'Anthropocène

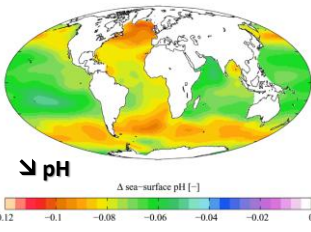
[Vidéo 1]

# ANTHROPOCENE

Aujourd'hui, les activités humaines modifient :

- la composition physico-chimique de l'atmosphère
- la composition physico-chimique des océans

### Evolution du pH entre 1700 et 1990

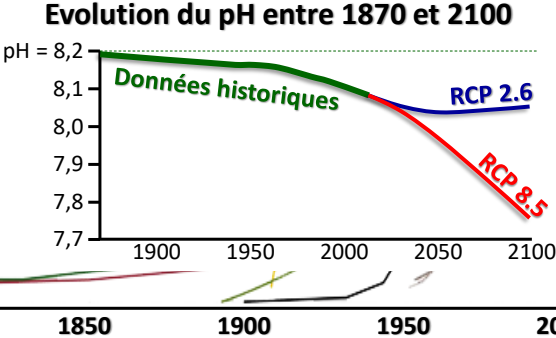


↘ pH

Δ sea-surface pH [-]

-0.12 -0.1 -0.08 -0.06 -0.04 -0.02 0

### Evolution du pH entre 1870 et 2100



pH = 8,2

Données historiques

RCP 2.6

RCP 8.5

1900 1950 2000 2050 2100

1750 1800 1850 1900 1950 2000

Source : IGBP 2004, 2013 ; [https://fr.wikipedia.org/wiki/Acidification\\_des\\_océans](https://fr.wikipedia.org/wiki/Acidification_des_océans)

U Lyon 1

Les principaux symptômes de l'Anthropocène

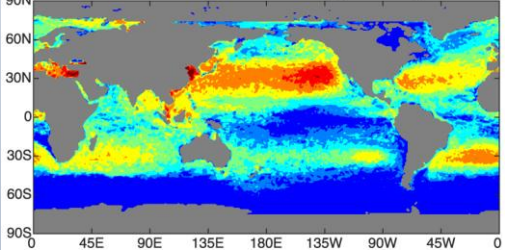
[Vidéo 1]

# ANTHROPOCENE

Aujourd'hui, les activités humaines modifient :

- la composition physico-chimique de l'atmosphère
- la composition physico-chimique des océans

### Van Sebille microplastic mass [g/km², log10 scale]

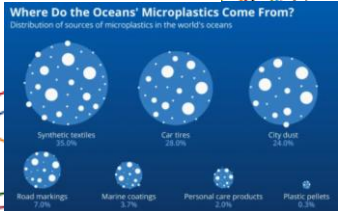


90N 60N 30N 0 30S 60S 90S

45E 90E 135E 180E 135W 90W 45W 0

### Where Do the Oceans' Microplastics Come From?

Distribution of sources of microplastics in the world's oceans



Synthetic textiles 35.0%

Car tires 28.0%

City waste 24.0%

Road markings 7.0%

Marine coatings 5.7%

Personal care products 2.0%

Plastic pellets 2.3%

Source : IGBP 2004 ; Plag et al. 2019

U Lyon 1

Les principaux symptômes de l'Anthropocène

[Vidéo 1]

# ANTHROPOCENE

Aujourd'hui, les activités humaines modifient :

- la composition physico-chimique de l'atmosphère
- la composition physico-chimique des océans
- la composition physico-chimique des sols et sous-sols

Phosphore dans les eaux douces

Nitrates dans les eaux souterraines

Source : IGBP 2004 ; Mekonnen & Hoekstra 2018

Les principaux symptômes de l'Anthropocène

[Vidéo 1]

# ANTHROPOCENE

Aujourd'hui, les activités humaines modifient :

- la composition physico-chimique de l'atmosphère
- la composition physico-chimique des océans
- la composition physico-chimique des sols et sous-sols
- l'activité géophysique de la surface de la Terre

Amplitude sismique (nm/s)

Debut de confinement

Bruit sismique naturel (~50 nm/s)

Bruit sismique de fond enregistré à Clermont-Ferrand (Station RESIF du campus des Cézeaux)

Source : IGBP 2004 ; Données OGPC - Univ. Clermont-Ferrand 2020

Les principaux symptômes de l'Anthropocène

[Vidéo 2]

# ANTHROPOCENE

Les activités humaines modifient la physico-chimie de la surface de la Terre  
→ elles impactent significativement le fonctionnement de la biosphère

**Distribution de l'intensité de l'impact anthropique sur les écosystèmes**

|                    |                               |
|--------------------|-------------------------------|
| Densité humaine    | 44% impacté                   |
| Densité de bétail  | 49% non- à faiblement impacté |
| Déforestation      | 7% protégé                    |
| Urbanisation       |                               |
| Eclairage nocturne |                               |

1750 1800 1850 1900 1950 2000

Source : IGBP 2004 ; Jacobson et al. (2019)

Les principaux symptômes de l'Anthropocène

[Vidéo 2]

# ANTHROPOCENE

Les neuf limites planétaires

1750 1800 1850 1900 1950 2000

Source : IGBP 2004 ; Steffen et al. 2015 ; Richardson et al. 2023

Les principaux symptômes de  
l'Anthropocène

[Vidéo 2]

## **En résumé...**

- Les activités humaines modifient désormais profondément les **compositions physico-chimiques de l'atmosphère**, des **océans**, des **sols** et des **sous-sols**, ainsi que l'**activité géophysique de la surface de la terre**.
- Ces altérations physico-chimiques de la surface de la Terre impactent fortement le fonctionnement de la biosphère : **44% des surfaces continentales sont aujourd'hui soumises à un intense régime de perturbation anthropique** (forte densité humaine et du bétail, déforestation, urbanisation et à éclairage nocturne).
- **Neuf limites planétaires (dont six désormais dépassées)** définissent un espace d'exploitation sûr, soutenable et durable aujourd'hui menacé par nos activités – notamment le climat, la biodiversité, l'occupation et l'usage des sols, les grands cycles biogéochimiques, les pollutions chimiques, et la disponibilité en eau douce. Dépasser ces limites, c'est prendre le risque d'une **dégradation profonde et durable des conditions d'habitabilité de la Planète** pour l'espèce humaine.



Lyon 1



Lyon 1

## Etape 5

# Quels futurs possibles dans l'Anthropocène ?



Gilles Escarguel

LEHNA – Université Lyon 1

## Climat et Transitions

### **Anthropocène – dans quel monde vivons-nous ?**

- *Anthropocène* : un mot et une idée
- Le Quaternaire : cadre géologique de l'histoire humaine
- L'Anthropocène : comment, quand et pourquoi l'humanité est devenue une force géophysique majeure ?
- Les principaux symptômes de l'Anthropocène
- **Quels futurs possibles dans l'Anthropocène ?**
- Anticiper l'imprévisible : l'approche systémique du modèle WORLD3
- Et maintenant, on fait quoi ?

### **Objectif de cette étape**

- Définir les notions de biocapacité, d'empreinte écologique et de dépassement.  
[Vidéo 1]
- Caractériser les quatre grands types de scénarios possibles pour l'avenir.  
[Vidéo 2]



Quels futurs possibles dans l'Anthropocène ?  
[Vidéo 1]

### Biocapacité et empreinte écologique



Capacité de la Terre à produire une **offre** continue en ressources renouvelables et à absorber les déchets générés par leur consommation





**Demande** exercée par l'humanité (pressions de prélèvement, dégradation, destruction...) envers les ressources et services écologiques fournis par la nature

**Biocapacité** = surface × bioproduktivité  
(terres cultivées, pâturages, forêts, zones de pêches, terrains bâtis)

**Empreinte écologique** = population × consommation par personne × intensité en ressources et en déchets

**Dépassement** = **Empreinte écologique** – **Biocapacité**

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Terre#/media/Fichier:Earth\\_by\\_the\\_EPIC\\_Team\\_on\\_21\\_April\\_2018.png](https://fr.wikipedia.org/wiki/Terre#/media/Fichier:Earth_by_the_EPIC_Team_on_21_April_2018.png)

 Lyon 1

Quels futurs possibles dans l'Anthropocène ?  
[Vidéo 1]

### Biocapacité et empreinte écologique

→ **Dépassement** = **EE** – **B**

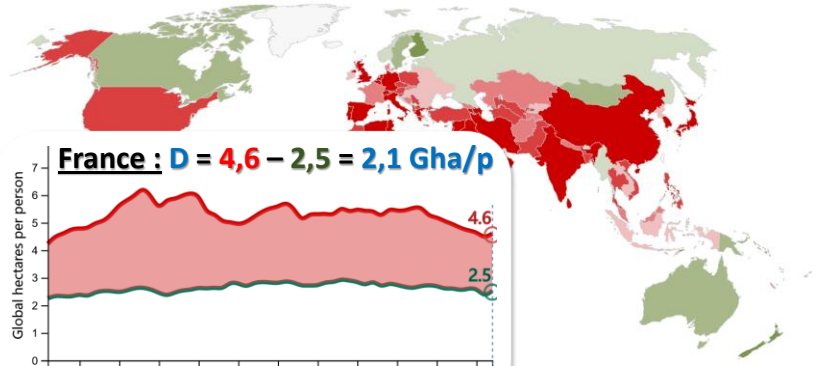
Excédent écologique vs. Déficit écologique

**B > EE → D < 0**

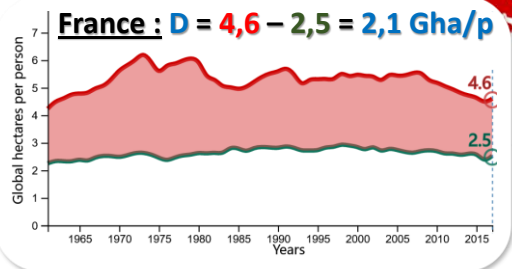
> 150%   100% - 150%   50% - 100%   50% - 0%

**B < EE → D > 0**

> 150%   100% - 150%   50% - 100%   50% - 0%



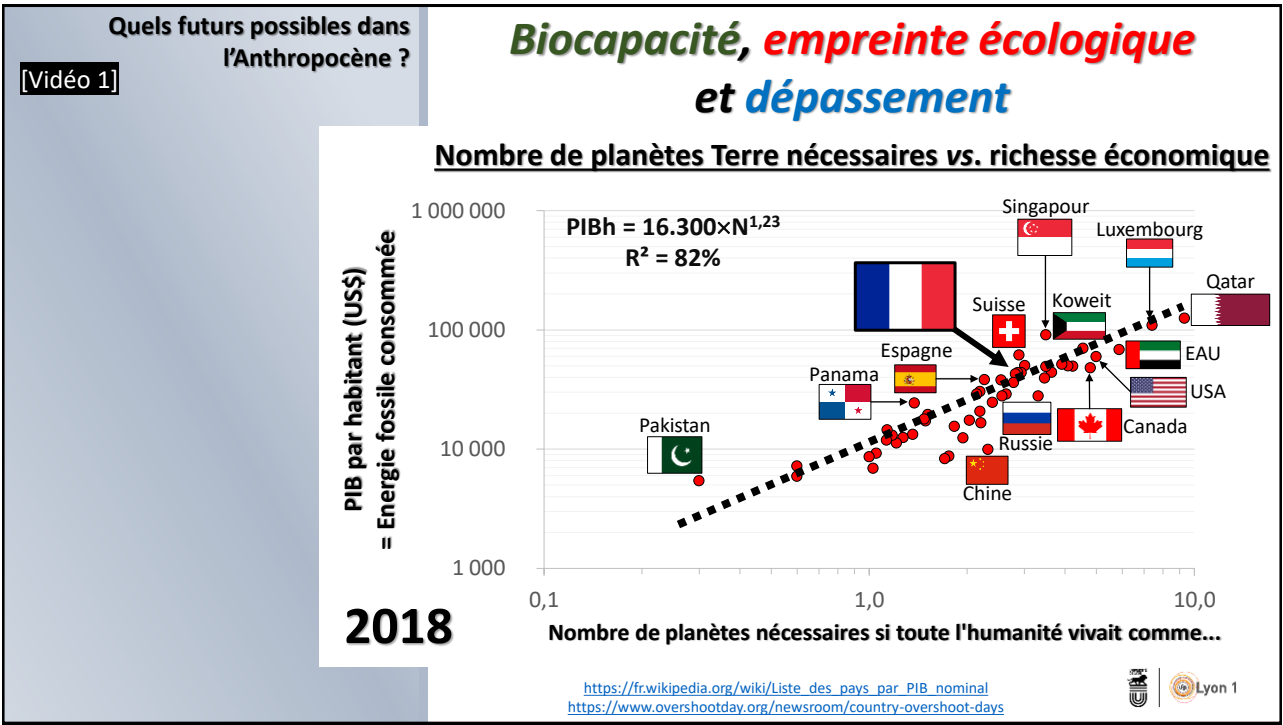
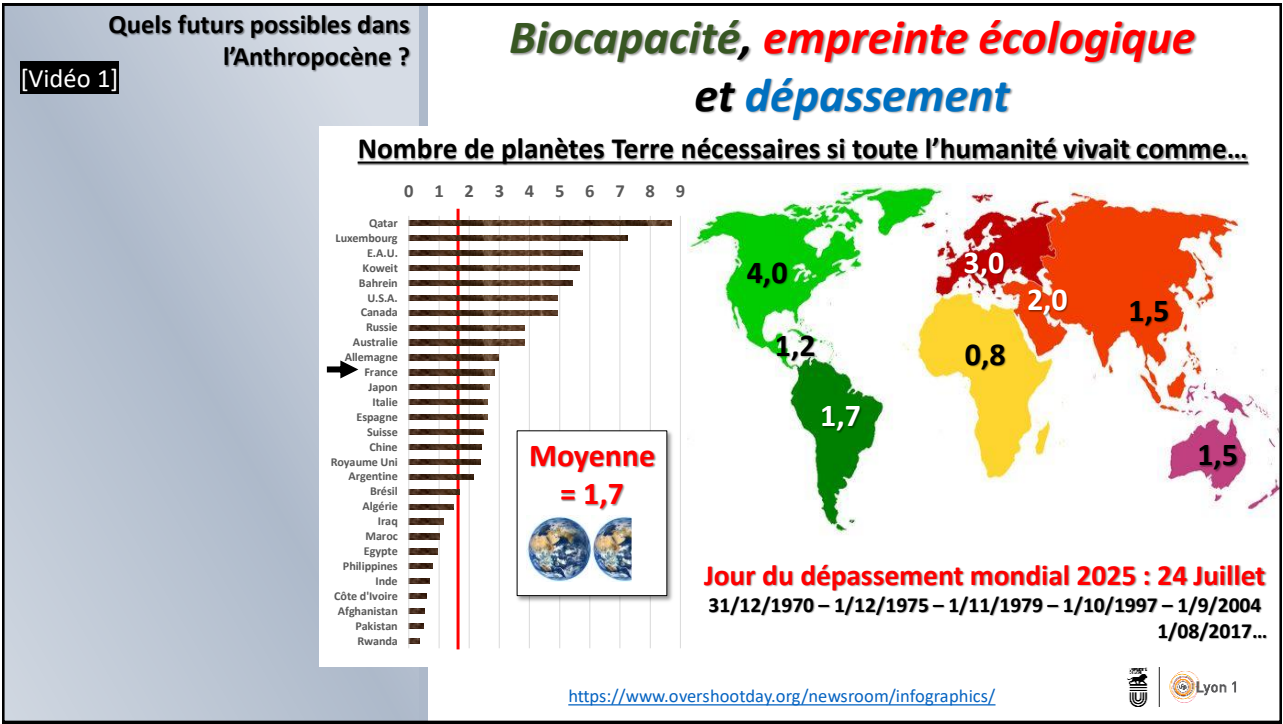
**France :  $D = 4,6 - 2,5 = 2,1$  Gha/p**



Global Footprint Network, 2021 – <https://data.footprintnetwork.org>

 Lyon 1

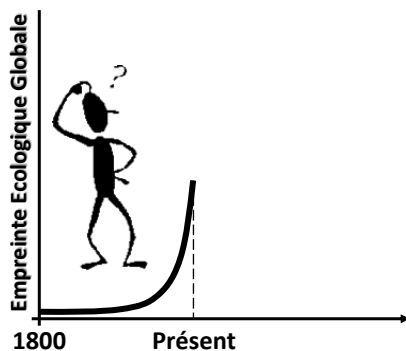
29



Quels futurs possibles dans  
l'Anthropocène ?

[Vidéo 2]

## Quel(s) futur(s) pour une dynamique exponentielle dans un monde fini ? Quatre scénarios possibles



Meadows et al. (2004) ; Arthur Keller (<https://www.youtube.com/watch?v=klzNPEjHHb8>)

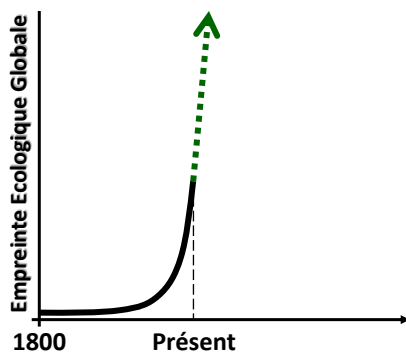


Lyon 1

Quels futurs possibles dans  
l'Anthropocène ?

[Vidéo 2]

## Quel(s) futur(s) pour une dynamique exponentielle dans un monde fini ? Quatre scénarios possibles



### #1- Scénario *illimitiste*

Limites très éloignées  
et/ou repoussables grâce à  
la technoscience

→ Stratégie « *Business as usual* » :  
Croître toujours de plus en plus, sans aucune limite  
grâce à la technoscience et au génie humain

Meadows et al. (2004) ; Arthur Keller (<https://www.youtube.com/watch?v=klzNPEjHHb8>)



Lyon 1

Quels futurs possibles dans l'Anthropocène ?

[Vidéo 2]

## Quel(s) futur(s) pour une dynamique exponentielle dans un monde fini ?

### Quatre scénarios possibles

**#1- Scénario illimitiste**

**#2- Scénario soutenabiliste**

Adaptation aux limites par l'innovation technoscientifique et l'imposition de contraintes réglementaires (lois, normes, taxes...)

→ **Stratégie de développement durable : faire toujours plus (de richesse) avec toujours moins (de ressources)**

Meadows et al. (2004) ; Arthur Keller (<https://www.youtube.com/watch?v=kLzNPEjHHb8>)

Quels futurs possibles dans l'Anthropocène ?

[Vidéo 2]

## Quel(s) futur(s) pour une dynamique exponentielle dans un monde fini ?

### Quatre scénarios possibles

**#1- Scénario illimitiste**

**#2- Scénario soutenabiliste**

**#3- Scénario transitionniste**

Découplage entre économie (↗) et écologie (↘)  
( 'Green-Tech' / 'Smart-Tech' / 'Clean-Tech' / 'Soft-Tech' / 'Low-Tech' ... )

→ **Stratégie de croissance verte et transitions (écologique, énergétique, alimentaire...)**

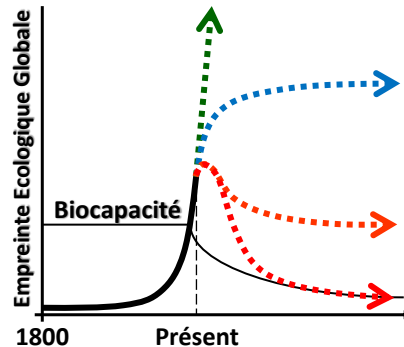
Meadows et al. (2004) ; Arthur Keller (<https://www.youtube.com/watch?v=kLzNPEjHHb8>)

Quels futurs possibles dans l'Anthropocène ?

[Vidéo 2]

## Quel(s) futur(s) pour une dynamique exponentielle dans un monde fini ?

### Quatre scénarios possibles



#1- Scénario *illimitiste*

#2- Scénario *soutenabiliste*

#3- Scénario *transitionniste*

#4- Scénario *effondriste*

Dépassement de la biocapacité  
→ diminution des stocks  
→ diminution de la biocapacité  
→ effondrement du système

→ Scénario de sobriété et de décroissance

Meadows et al. (2004) ; Arthur Keller (<https://www.youtube.com/watch?v=kzNPEjHHb8>)



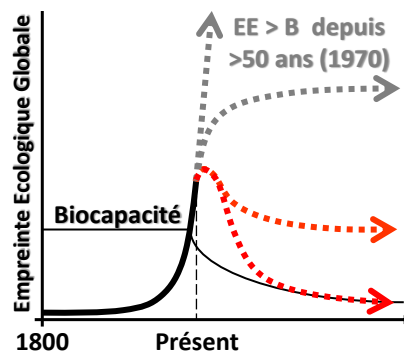
Lyon 1

Quels futurs possibles dans l'Anthropocène ?

[Vidéo 2]

## Quel(s) futur(s) pour une dynamique exponentielle dans un monde fini ?

### Quatre scénarios possibles



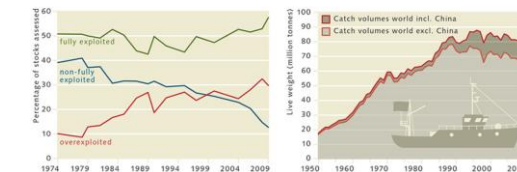
#1- Scénario *illimitiste*

#2- Scénario *soutenabiliste*

#3- Scénario *transitionniste*

#4- Scénario *effondriste*

➤ Les stocks de la plupart des ressources renouvelables diminuent depuis ~30 ans



Les stocks de poissons pêchés annuellement diminuent depuis le milieu des années 1990

Données FAO (2012) ; <https://worldoceanreview.com/en/wor-2/fisheries/state-of-fisheries-worldwide>



Lyon 1

Quels futurs possibles dans  
l'Anthropocène ?

[Vidéo 2]

## En résumé...

- Depuis 1970, l'**empreinte écologique** (pressions de prélèvement, dégradation, destruction...) de l'humanité dépasse la **biocapacité** (capacité de production de ressources et d'absorption de déchets) de la Terre, plaçant la biosphère dans une situation de **déficit écologique chronique depuis plus de 50 ans**.
- Aujourd'hui, l'humanité consomme la biocapacité équivalente à **1,7 planète Terre (dépassement mondial fin Juillet)** ; 3 planètes Terre (dépassement début Mai) seraient nécessaires pour ~8 milliards d'individus ayant le mode de vie des Français.es.
- En moyenne, **plus un pays est riche, plus son déficit écologique est grand**, conséquence directe de la spirale de croissance extractiviste-productiviste-consumériste.
- Quatre scénarios peuvent être proposés pour les décennies à venir : **illimitiste** (« business as usual »), **soutenabiliste** (développement durable), **transitionniste** (croissance verte et transitions) ou **effondriste** (sobriété et décroissance). Depuis ~30 ans différents exemples illustrent le scénario effondriste (p.ex., poissons pêchés, et plus largement, biodiversité).



Lyon 1



Lyon 1

## **Etape 6**

# **Anticiper l'imprévisible : L'approche systémique du modèle WORLD3**



**Gilles Escarguel**

LEHNA – Université Lyon 1

## **Climat et Transitions**

### **Anthropocène – dans quel monde vivons-nous ?**

- *Anthropocène* : un mot et une idée
- Le Quaternaire : cadre géologique de l'histoire humaine
- L'Anthropocène : comment, quand et pourquoi l'humanité est devenue une force géophysique majeure ?
- Les principaux symptômes de l'Anthropocène
- Quels futurs possibles dans l'Anthropocène ?
- **Anticiper l'imprévisible : l'approche systémique du modèle WORLD3**
- Et maintenant, on fait quoi ?

### **Objectif de cette étape**

- Se familiariser avec l'approche systémique du modèle de simulation WORLD3.
- Comprendre ce qu'est un « effondrement systémique ».



Anticiper l'imprévisible : l'approche systémique du modèle WORLD3

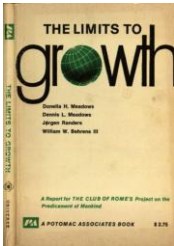
Le modèle de simulation WORLD3

L'approche systémique du 1<sup>er</sup> Rapport au Club de Rome (Meadows *et al.*, 1972)

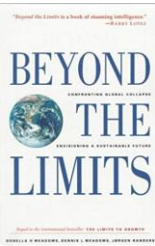




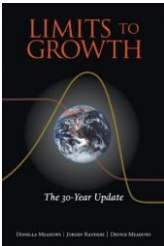
1972



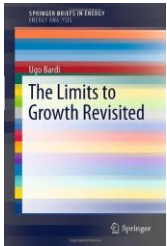
1992



2004



2011



12 millions d'exemplaires vendus en 37 langues



Anticiper l'imprévisible : l'approche systémique du modèle WORLD3

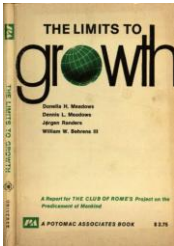
Le modèle de simulation WORLD3

L'approche systémique du 1<sup>er</sup> Rapport au Club de Rome (Meadows *et al.*, 1972)

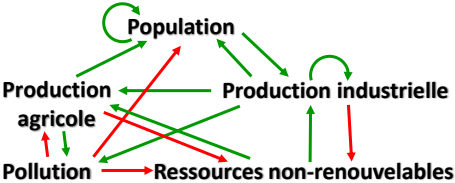




1972



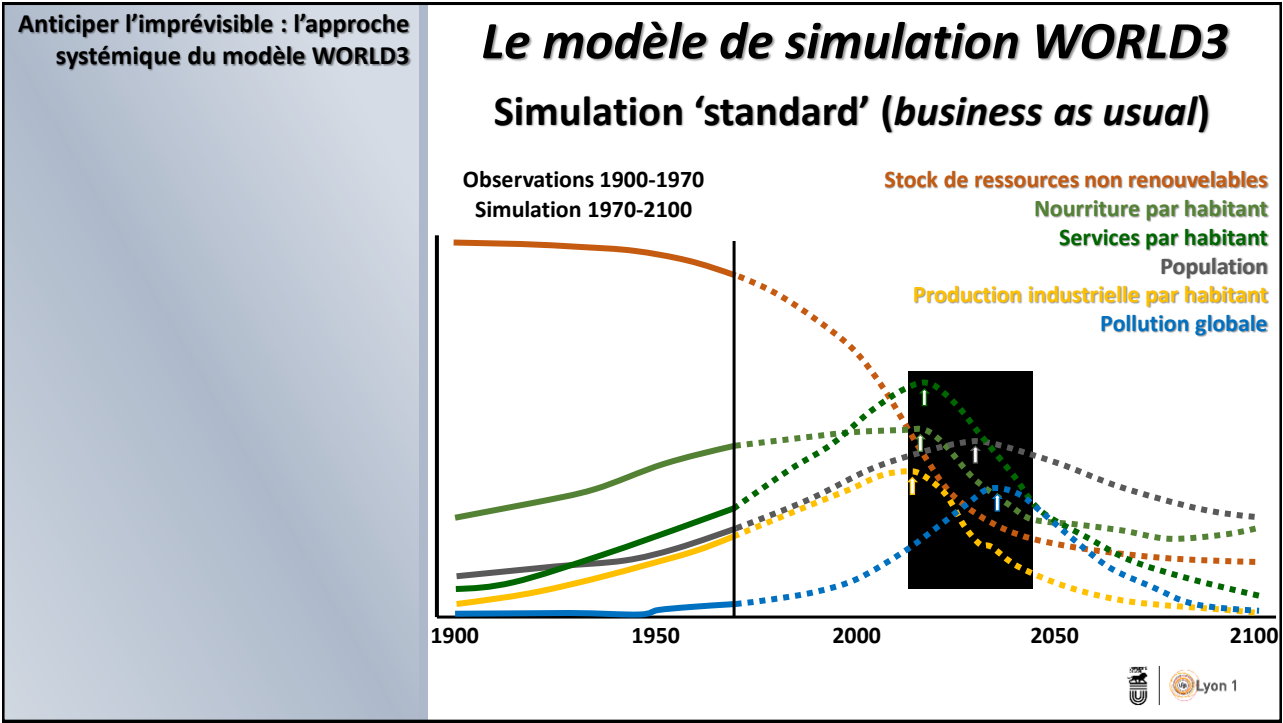
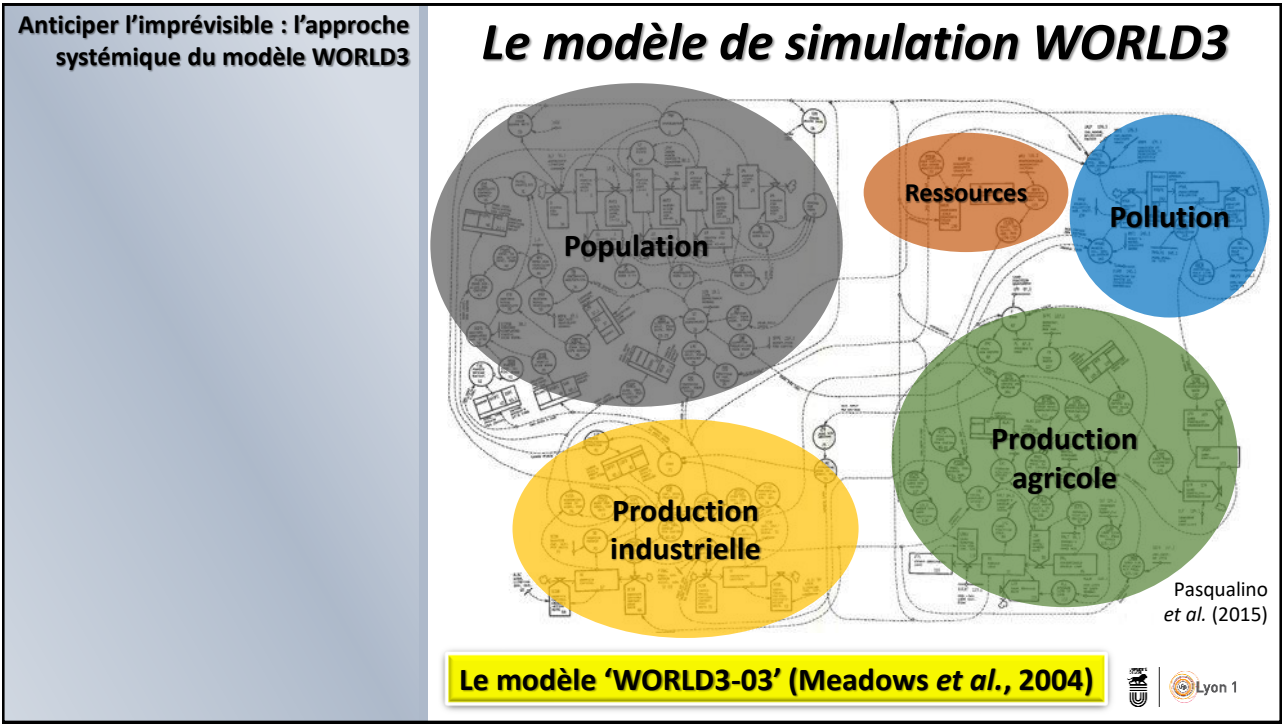
Modèle de simulation WORLD3  
(Donella Meadows, Dennis Meadows & Jorgen Randers)  
→ : effet positif (+ → +) ; → effet négatif (+ → -)

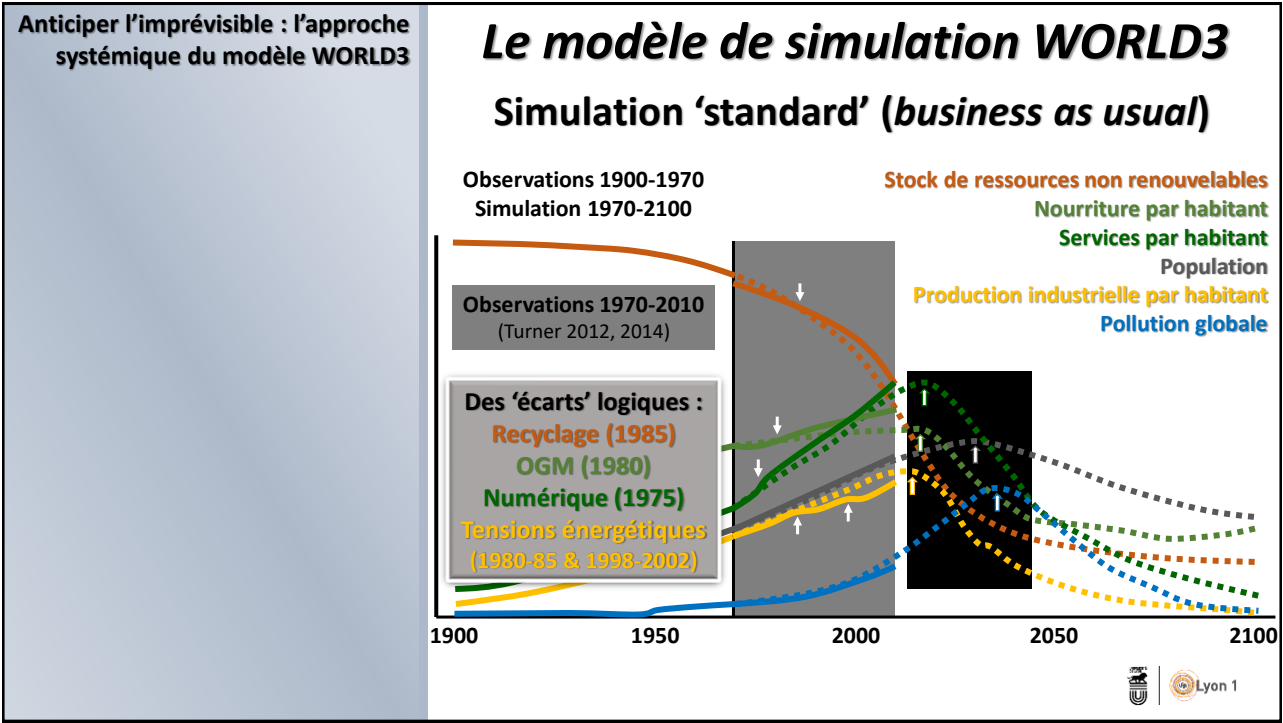
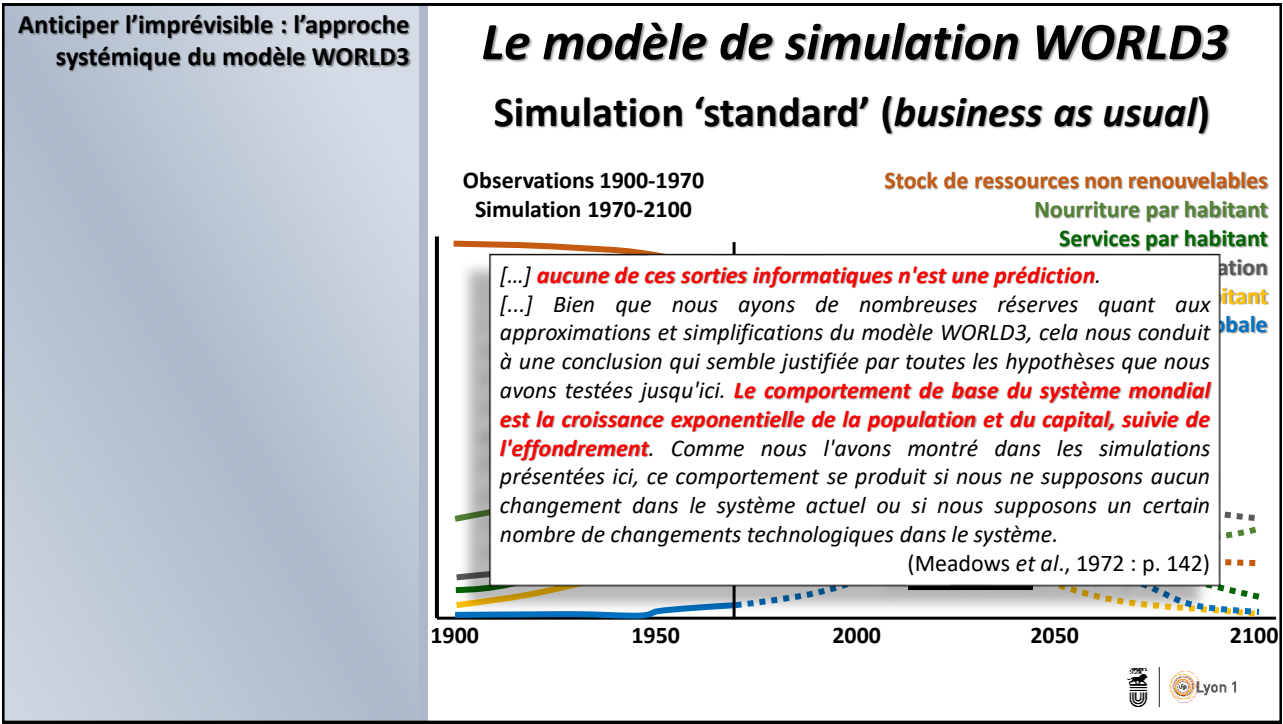


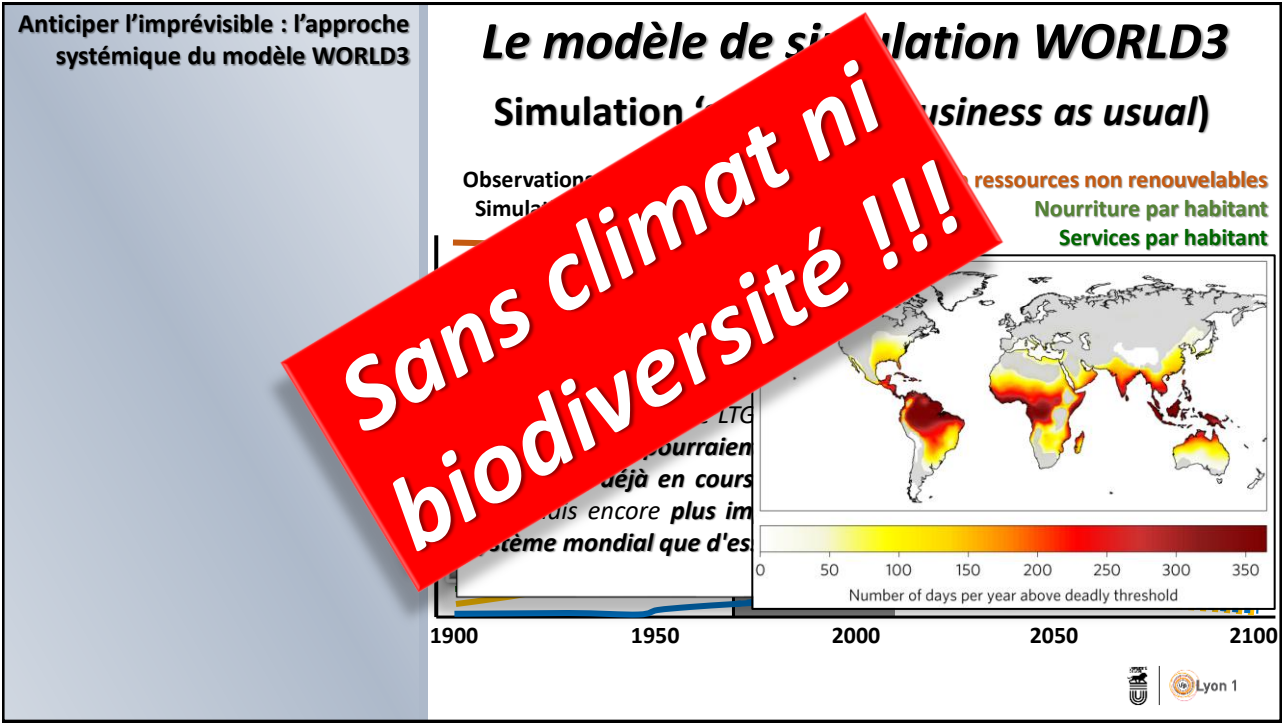
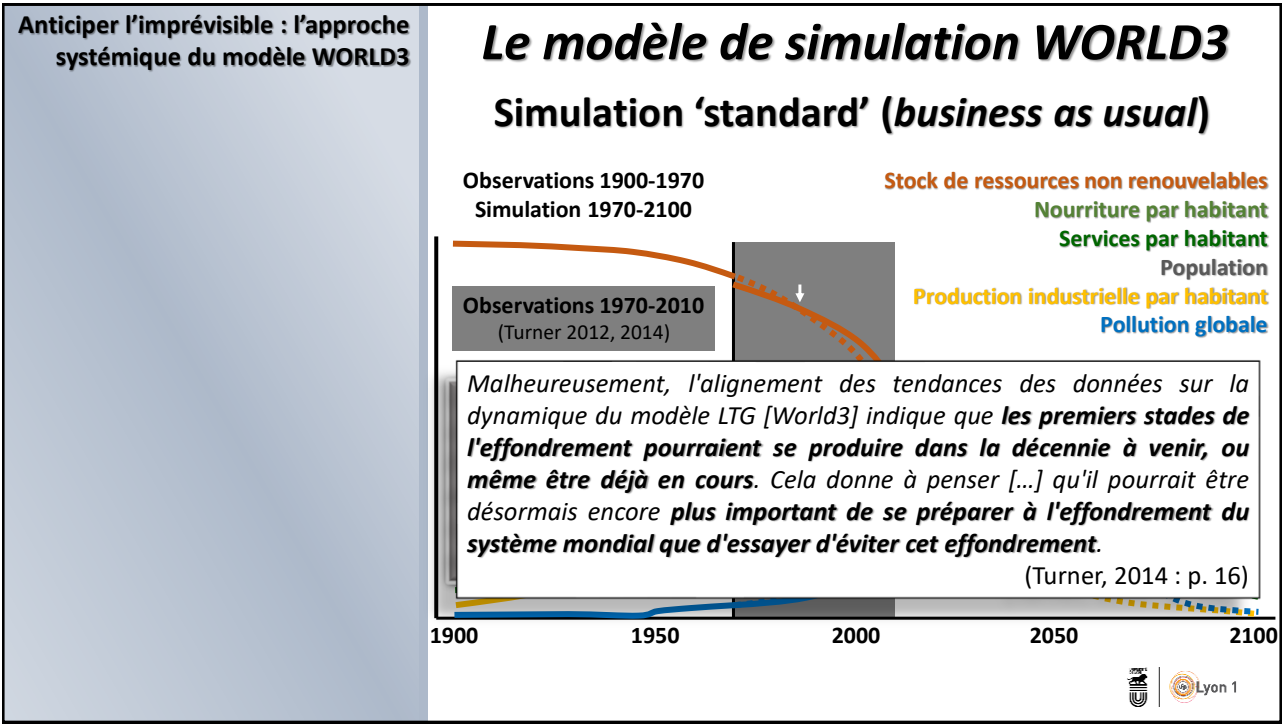
12 millions d'exemplaires vendus en 37 langues



36







Anticiper l'imprévisible : l'approche systémique du modèle WORLD3

### Qu'est-ce qu'un effondrement systémique ?

#### Effondrement biophysique

Baisse rapide des productions industrielles et agricoles (disparition des ressources) et de la population

Trois ingrédients principaux (Rapport Meadows 1972) :

- Croissance
- Limites
- Inerties

→ Dépassement

→ Erosion de la biocapacité (limites)

→ Diminution des productions

#### Effondrement structurel

Simplification rapide des structures sociétales (cultures et organisations)

Cinq stades-clés liés à des effondrements de 'croyances' :

- Financier (stabilité-prédictabilité, avenir)
- Commercial (marché, monnaie)
- Politique (état, protection, services publics, institutions)
- Social (éducation, santé, retraite...)
- Culturel (honnêteté, altruisme, solidarité, empathie, générosité...)

Pour aller plus loin...

Jared Diamond – Effondrement. Folio, 2009, 880 p.

Dmitri Orlov – Les cinq stades de l'effondrement : manuel du survivant. Culture & racines, 2021, 448 p.



Anticiper l'imprévisible : l'approche systémique du modèle WORLD3

### En résumé...

- Le 1<sup>er</sup> Rapport au Club de Rome, ou « Rapport Meadows », décrit les résultats d'un modèle de simulation (WORLD3) projetant l'évolution au 21<sup>ème</sup> siècle de différents descripteurs biotiques, abiotiques et socio-économiques.
- Les simulations réalisées (et validées pour la période 1970-2010) montrent que « le comportement de base du système mondial est la croissance exponentielle de la population et du capital, suivie de l'effondrement ».
- Un effondrement systémique présente deux composantes distinctes mais liées :
  - Un effondrement biophysique (baisse rapide des productions industrielles et agricoles et de la population) résultant d'une situation de dépassement écologique chronique (empreinte écologique > biocapacité) ;
  - Un effondrement structurel (simplification rapide des structures sociétales) résultant de la disparition de 'croyances' = confiances structurant les sociétés et les états.



# **Etape 7**

## **Et maintenant, on fait quoi ?**



**Gilles Escarguel**  
LEHNA – Université Lyon 1

## **Climat et Transitions**

### **Anthropocène – dans quel monde vivons-nous ?**

- *Anthropocène* : un mot et une idée
- Le Quaternaire : cadre géologique de l'histoire humaine
- L'Anthropocène : comment, quand et pourquoi l'humanité est devenue une force géophysique majeure ?
- Les principaux symptômes de l'Anthropocène
- Quels futurs possibles dans l'Anthropocène ?
- Anticiper l'imprévisible : l'approche systémique du modèle WORLD3
- **Et maintenant, on fait quoi ?**

<<<<<--->>>>>

### **Objectif de cette dernière étape**

- Identifier des pistes d'actions individuelles et collectives possibles pour les décennies à venir.
- Appréhender le triple défi que l'Anthropocène pose aujourd'hui à l'humanité.



Et maintenant, on fait quoi ?

### Energie (fossile)

→ **Croissance économique** → **Progrès** (éducation, congés, santé, protection sociale, chômage, retraite...)

→ **Dérive climatique** (réchauffement, événements extrêmes)

→ **Pollutions** (industrie, agriculture intensive, transports...)

→ **Effondrement de la biodiversité** (fonctionnement des écosystèmes, matières premières, alimentation, santé...)

### Deux approches complémentaires de réduction des risques :

**Atténuation** = maîtriser/réduire les empreintes environnementales de nos activités

↓

Agir sur les **causes** des aléas

**Adaptation** = maîtriser/réduire les effets néfastes et exploiter les potentiels effets bénéfiques

↓

Agir sur les **conséquences** des aléas

### Deux leviers d’actions possibles :

**innovation et sobriété**



Et maintenant, on fait quoi ?

### Se déplacer

→ **Moins voyager**

→ **Transports ‘doux’ et en communs**

→ **Énergies faiblement carbonées**

**Empreinte énergétique moyenne d’un.e français.e :**

**10 T eq.CO<sub>2</sub>**

27%

|                        |                           |
|------------------------|---------------------------|
| TGV                    | 1,47 kg CO <sub>2</sub> e |
| Intercités             | 4,49 kg CO <sub>2</sub> e |
| Autocar thermique      | 14,7 kg CO <sub>2</sub> e |
| Covoiturage électrique | 25,9 kg CO <sub>2</sub> e |
| Voiture électrique     | 51,7 kg CO <sub>2</sub> e |
| Covoiturage thermique  | 54,4 kg CO <sub>2</sub> e |
| Moto thermique         | 95,7 kg CO <sub>2</sub> e |
| Voiture thermique      | 109 kg CO <sub>2</sub> e  |
| Avion court courrier   | 129 kg CO <sub>2</sub> e  |

**Emissions comparées de CO<sub>2</sub> pour un voyage de 500 km :**

**Avion**

**= 1,2 × voiture thermique**

**= 5 × voiture électrique**

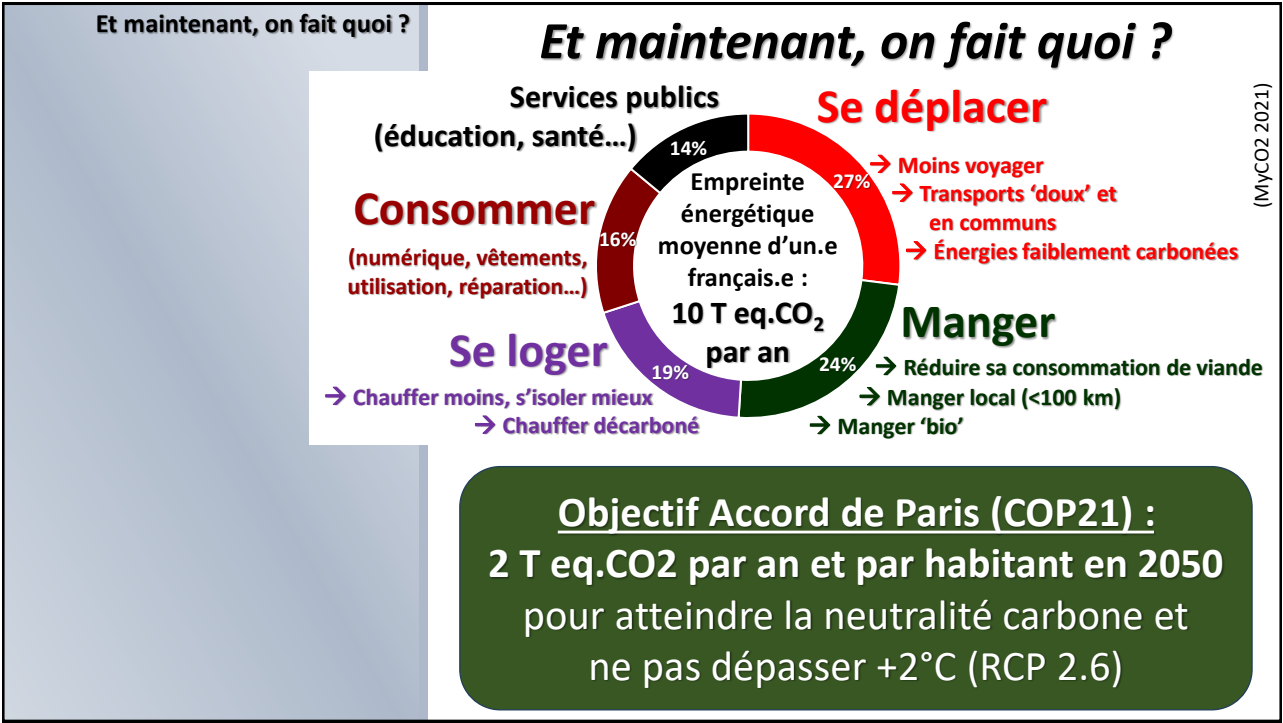
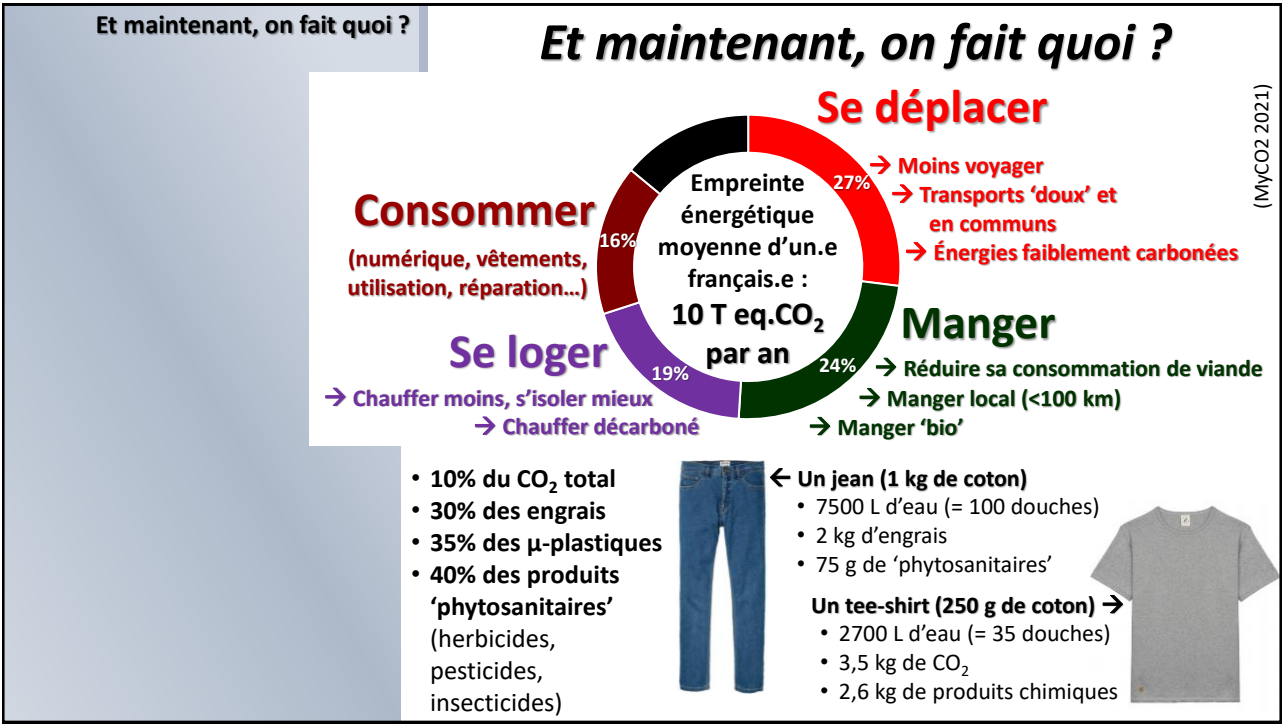
**= 88 × TGV**

<https://impactco2.fr>



(MyCO2 2021)

(M<sub>Y</sub>CO<sub>2</sub> 2021)(M<sub>Y</sub>CO<sub>2</sub> 2021)



Et maintenant, on fait quoi ?

## ***Et maintenant, on fait quoi ?***

### **Réduire notre Empreinte Environnementale Globale = s'attaquer collectivement aux causes et non aux symptômes**

- Démanteler les subventions à l'extraction des énergies fossiles et aux agricultures industrielles
- Repenser l'urbanisme (dimensionnement, organisation, transports...)
- Interdire la destruction des invendus alimentaires (35% dans le Monde ; 20% en France)
- Interdire les objets & processus hyper-énergivores substituables (vols court-courriers, SUV...)
- Mettre en place des moratoires technologiques (OGM, 5G, intelligence artificielle...)
- Mettre un terme à l'obsolescence programmée, au besoin en en faisant un délit
- Taxer les commerces de luxe et les transactions monétaires (p.ex., taxe Tobin)
- Eliminer les paradis fiscaux, réguler la spéculation boursière, interdire le trading haute-fréquence
- ... (Liste non-exhaustive !)

***Comment ? Expliquer en quoi ces mesures sont incontournables et en assurer la promotion (lobbying)***



Lyon 1

Et maintenant, on fait quoi ?

## ***Et maintenant, on fait quoi ?***

➔ Depuis le micro-local jusqu'au macro-global, une combinaison d'actions répondant à un **triple défi** :

- **Socio-économique** : définir un **contrat social** soutenable et durable
- **Politico-juridique** : repenser la **souveraineté des peuples et des états-nations** et, au-delà, les **fondements du droit**, notamment de la **propriété privée** et des **communs**
- **Anthropologique & Philosophique** : refonder une **alliance Humanité – Nature**

➔ **Inventer ensemble de nouveaux imaginaires institutionnels, socio-économiques, anthropologiques, philosophiques, éthiques, esthétiques, culturels, artistiques...**

**Et lutter pour leur défense**



Lyon 1

Et maintenant, on fait quoi ?

*De quelle société avons-nous **envie** ?*

*De quel monde avons-nous **besoin** ?*

*Quelles sont nos **priorités** ?*

*Que voulons-nous **conserver** à tout prix ?*

*Qu'acceptons-nous d'**abandonner** ?*



Lyon 1

Et maintenant, on fait quoi ?

## **En résumé...**

- La production et l'utilisation d'énergie à l'origine de la croissance exponentielle cause de l'Anthropocène, affectent désormais profondément le fonctionnement du système Terre (climat, pollutions, biodiversité...).
- Réduire significativement l'**empreinte environnementale de l'humanité** via la combinaison de choix et d'actions individuelles et collectives est un enjeu existentiel majeur qui questionne notre **contrat social**, notre **souveraineté**, les **fondements du droit** et, finalement, l'**alliance Humanité-Nature**.
- l'Anthropocène n'est pas qu'un ensemble de **défis technoscientifiques** (décarbonation de l'énergie, recyclage des ressources, agroécologie, etc.): il interroge d'abord et avant tout les **modalités d'existences de l'humanité sur Terre**, et partant de là le ou les systèmes de valeurs que nous nous fixons collectivement afin de garantir une existence soutenable et durable à cette humanité.



Lyon 1