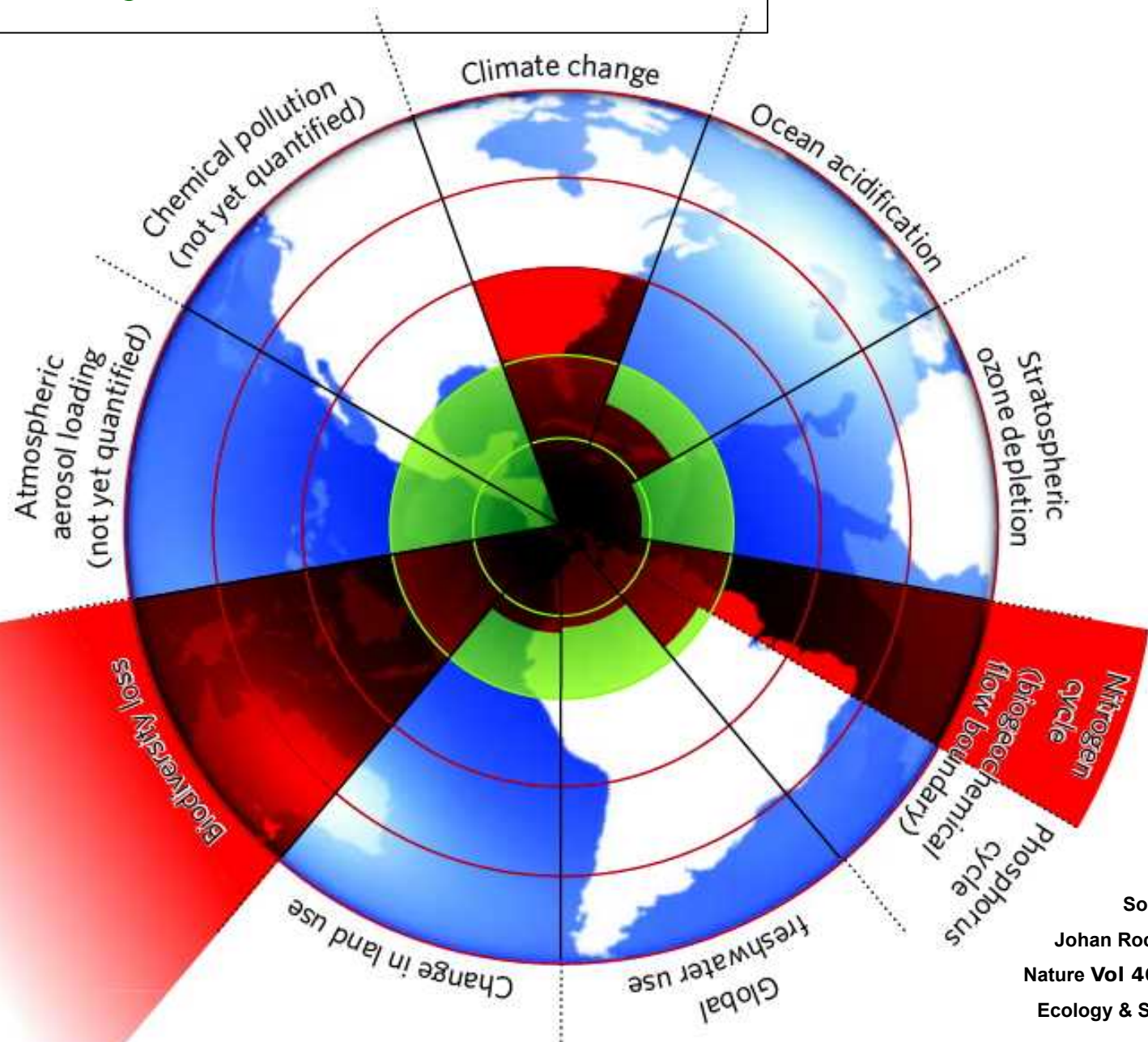




Les enjeux énergétiques mondiaux

<http://www.quelfutur.org>

Planetary boundaries



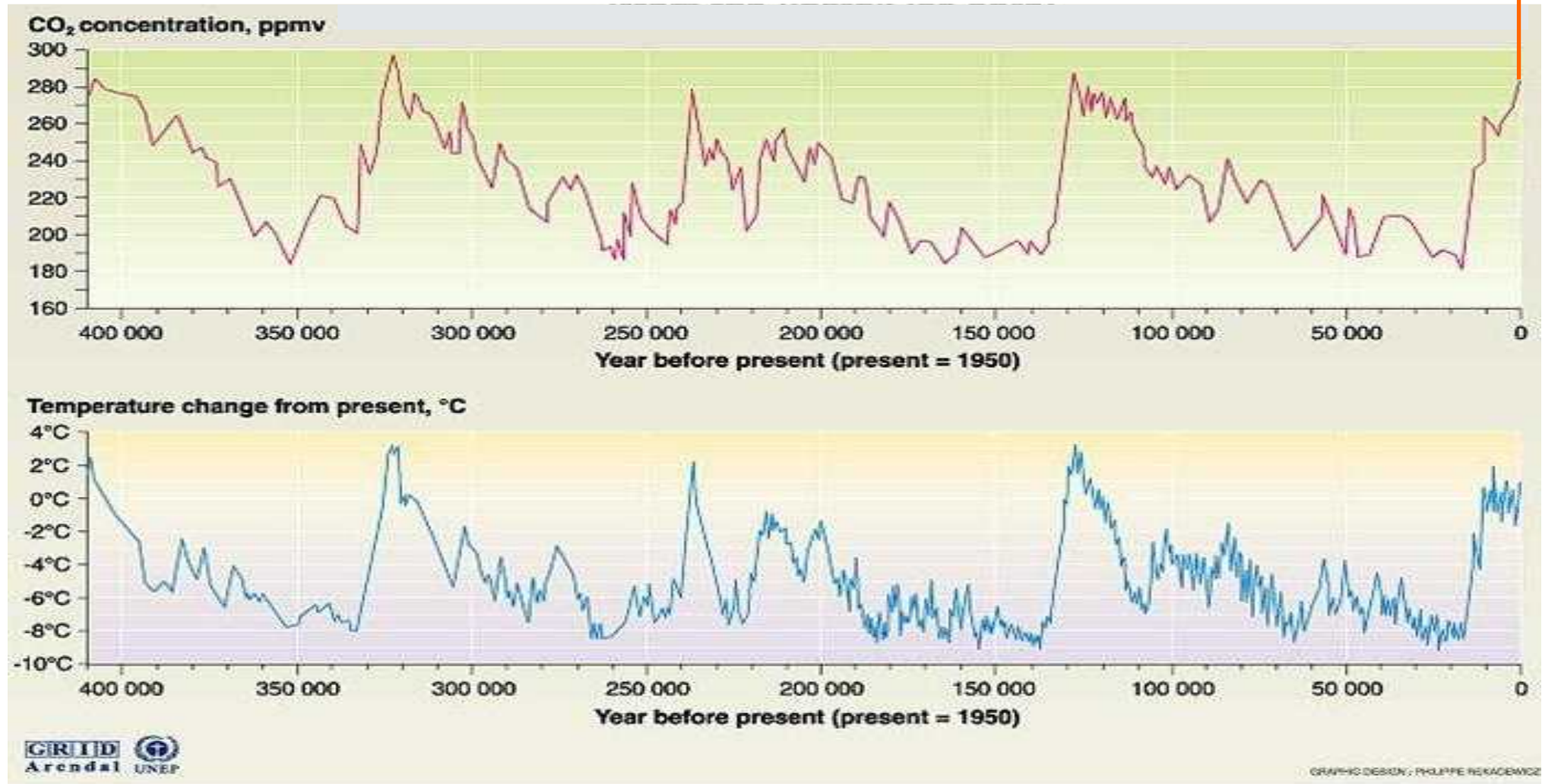
**A safe
operating
space for
humanity**

Source :
Johan Rockström et al.
Nature Vol 461,24 09/2009
Ecology & Society (14)2:32

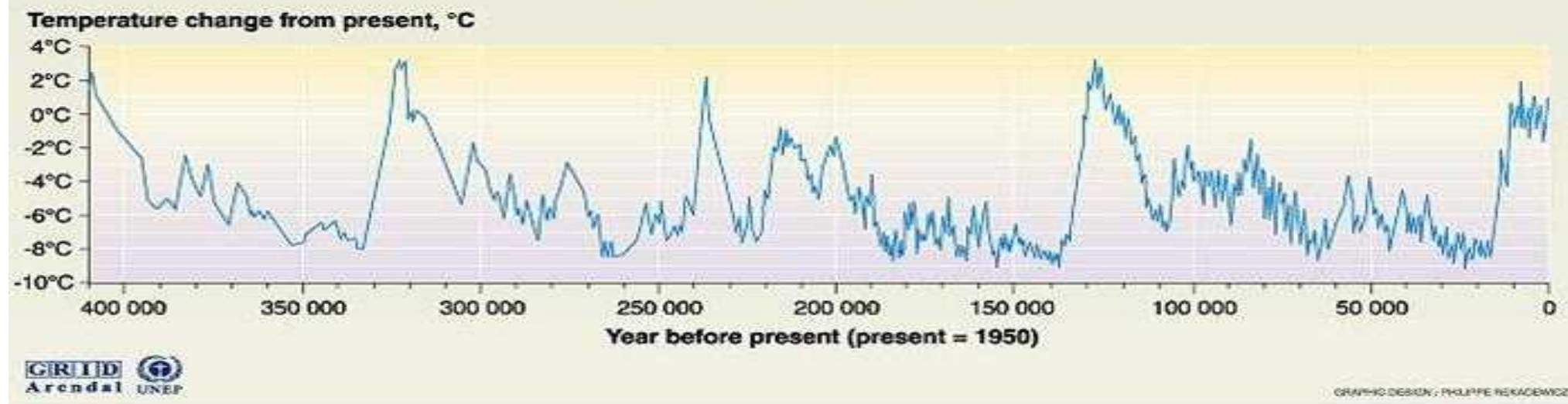
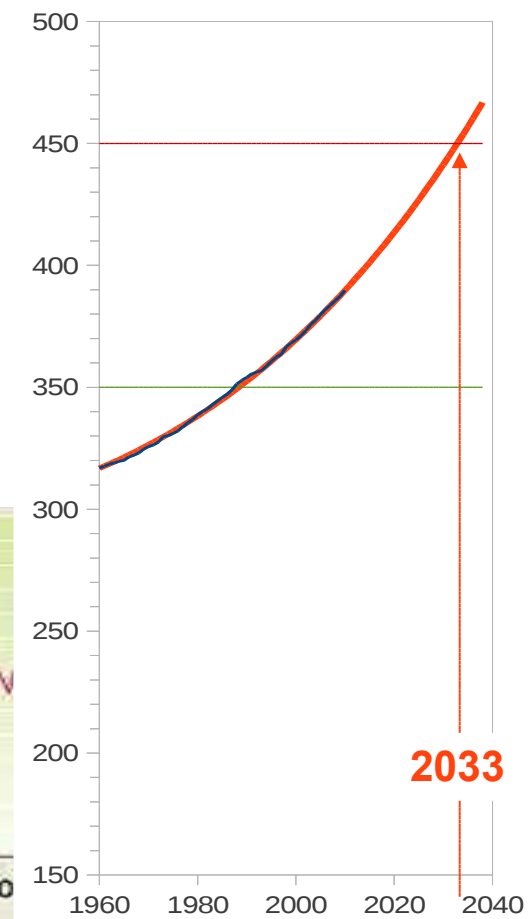
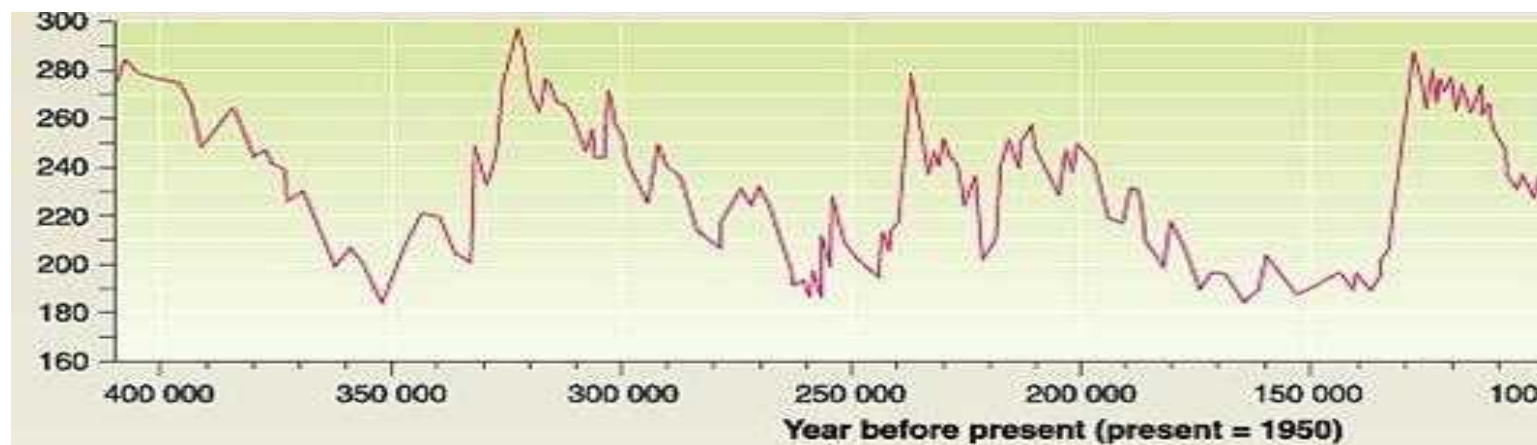
En 2050, 500 ppm ?

Limiter à 450 ppm (2°C) ?

Aujourd'hui 394 ppm
(www.co2now.org)



Source: J.R. Petit, J. Jouzel, et al. Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core in Antarctica, Nature 399 (3June), pp 429-436, 1999.



Source: J.R. Petit, J. Jouzel, et al. Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core in Antarctica, Nature 399 (3June), pp 429-436, 1999.

Holocène

grande stabilité climatique depuis 10.000 ans
chasseur-cueilleur → cultivateur-éleveur

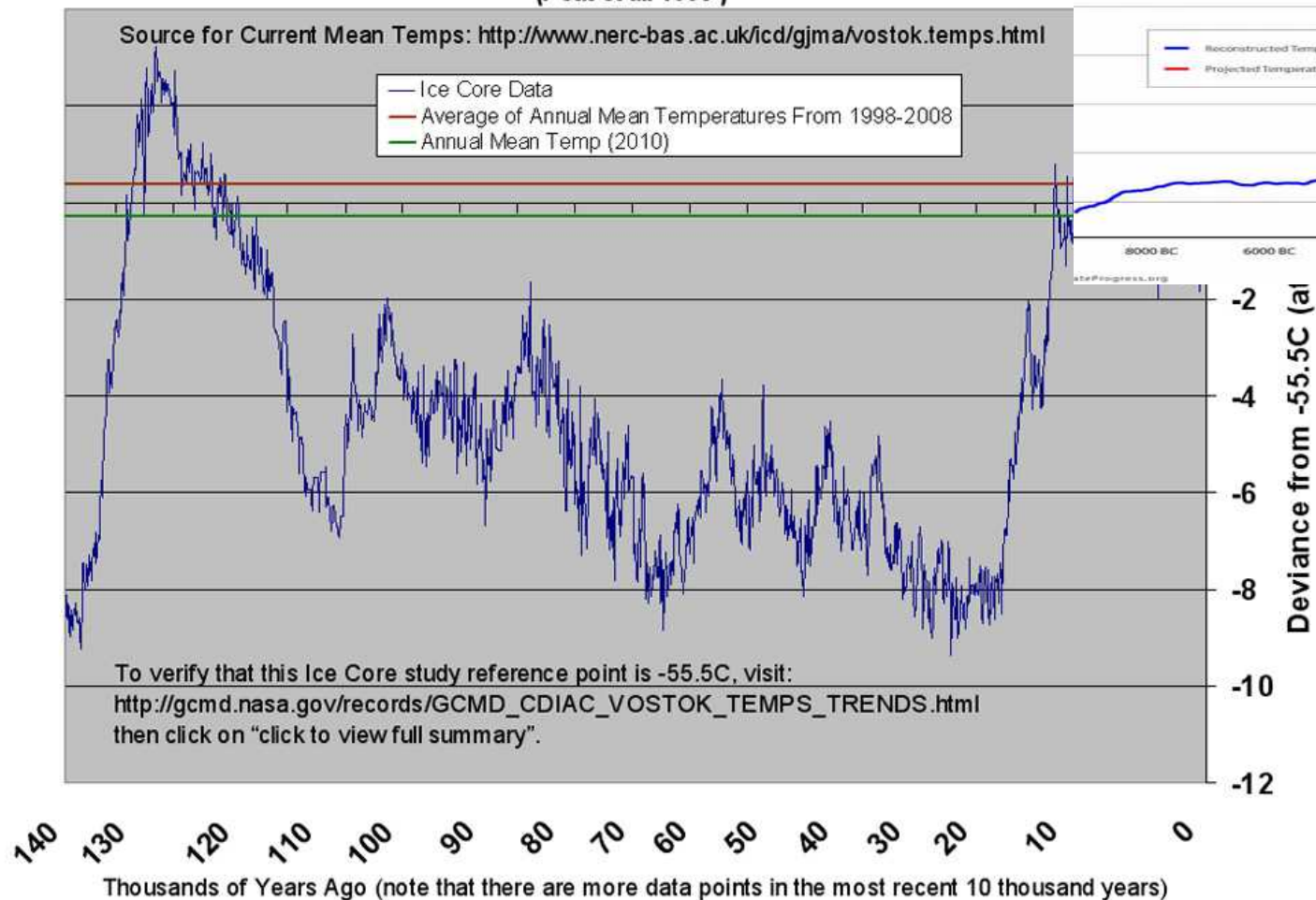
Anthropocène expansion accélérée, démographique & économique,
→ extinctions massives, crises environnementales

140,000 Years of Temperature Data at Vostok

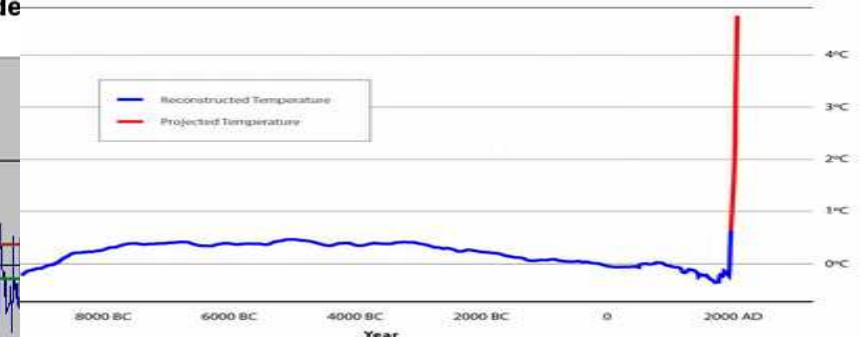
Source: ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/icecore/antarctica/vostok/vostok_de
(Petit et al. 1999)

Source for Current Mean Temps: <http://www.nerc-bas.ac.uk/icd/gjma/vostok.temps.html>

— Ice Core Data
— Average of Annual Mean Temperatures From 1998-2008
— Annual Mean Temp (2010)



Carbon Pollution Set To End Era Of Stable Climate



« *L'humanité est en train de mener une expérience non contrôlée à l'échelle du globe* »

Robert Socolow, professeur d'ingénierie à Princeton

JONAS
LE PRINCIPE
RESPONSABILITÉ



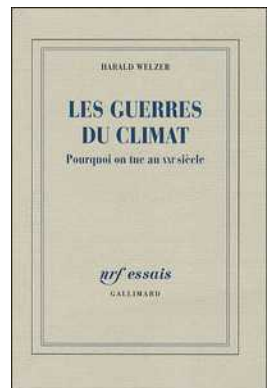
Champs
Flammarion

De l'*impératif catégorique* (Kant)
au *principe de responsabilité* (Jonas)

L'avenir de la civilisation humaine
dépend de sa capacité à ne plus
utiliser de combustibles fossiles !

Dissonance cognitive

Harald Weltzer
Les Guerres du Climat



Les formes d'énergie

- **Energies primaires**

se trouvent dans la nature

- Classiques

non relativistes

- Dérivés du solaire

ancien et récent (diapo suivante $\Rightarrow$)

- Non solaire

géothermie, marées

- Relativistes

$E = mc^2$

- Fission nucléaire

actuel (U_{235}), IVème génération (Pu, Th)

- Fusion nucléaire

ITER + enceinte + tritium

- **Energies secondaires**

produites par transformation

- Electricité, Hydrogène, ...

vecteurs = intermédiaires

- Mazout, ...

raffinage...

L'énergie solaire

- **Solaire ancien**

- Charbon
- Pétrole
- Gaz
- Non conventionnels (sables asph., schistes, eaux profondes)

combustibles fossiles

carbonifère

kéragène + 3.000m

- **Solaire récent**

- Hydraulique
- Biomasse
- Eolien
- Solaire

énergies renouvelables

cycle de l'eau

le vivant (photosynthèse)

+ hydrolien & houle

photovoltaïque et thermique

" En dehors de ces énergies, ni la science ni l'argent n'en feront découvrir de nouvelles, qui pourraient les remplacer. "

Mais qu'est-ce que l'énergie ?

En physique on distingue classiquement matière et énergie

- la matière seule est inerte,
- l'énergie est ce qui anime la matière, la transforme.

- L'énergie se conserve (**1^{er} principe**)
En réalité on ne la consomme donc pas !
- L'énergie peut être transformée
Entre ses différentes formes : mécanique, thermique, électromagnétique, lumineuse, chimique, nucléaire, etc.
- L'énergie se dégrade (**2^{ème} principe**)
Pour un Terrien, elle finit en chaleur à température ambiante qui est rayonnée dans l'espace.

L'énergie pour faire quoi ?

1) Énergie = transformation de la matière
couper, plier, fondre, chimie, soulever, accélérer, etc.

2) Produire = transformer (inputs → outputs)

3) Économie = Production = Transformation = Énergie

Maîtrise de l'énergie => maîtrise de l'économie !
(=> maîtrise du pouvoir)

Mythe du découplage absolu

JEAN-MARC
JANCOVICI
**CHANGER
LE MONDE**
Tout un programme !



calmann-lévy

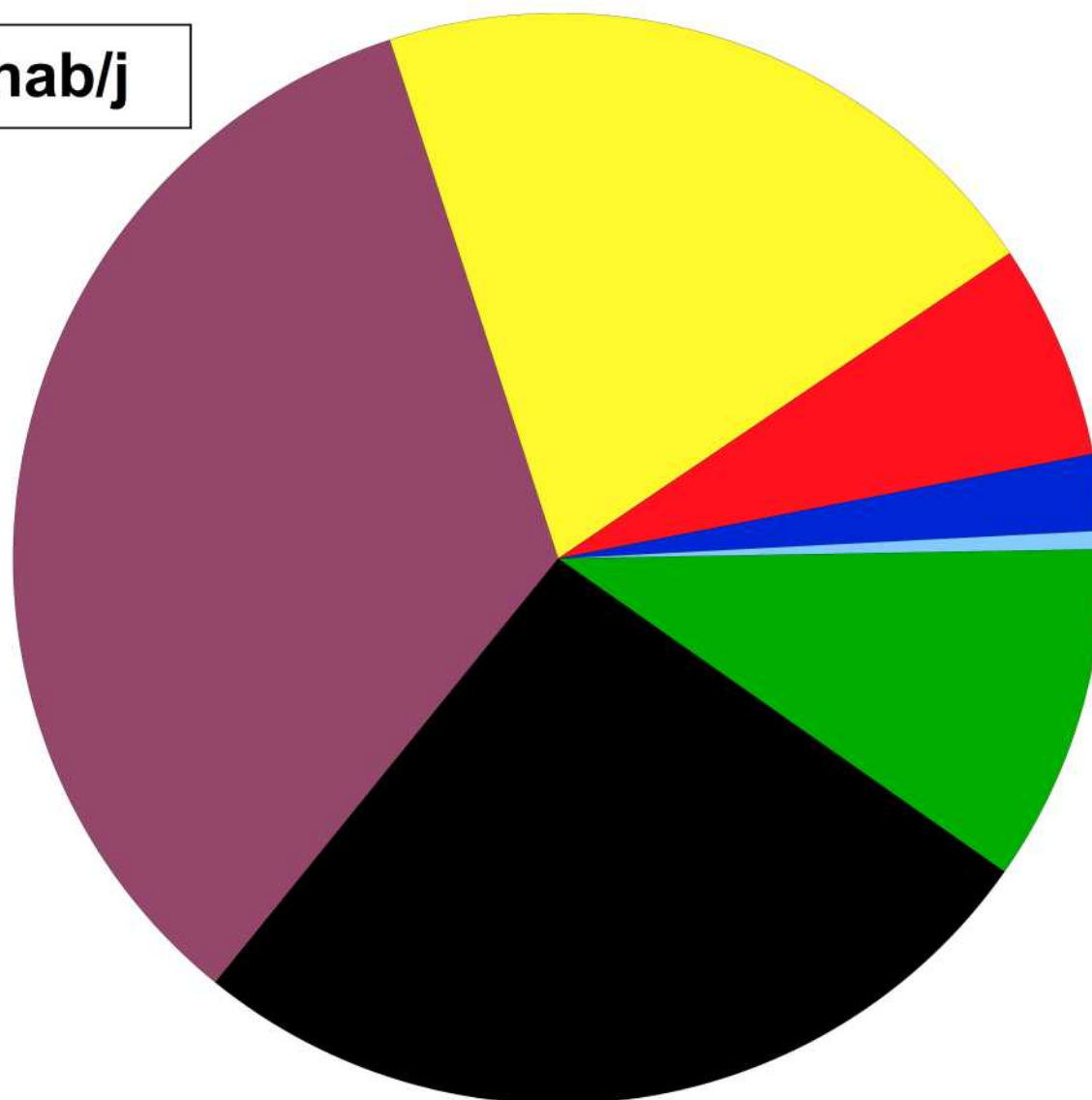
Changer le Monde – *Tout un programme !*, Jean-Marc Jancovici, [calmann-lévy](#) 2011

Monde

6.536.000.000 hab

48 hab/km²

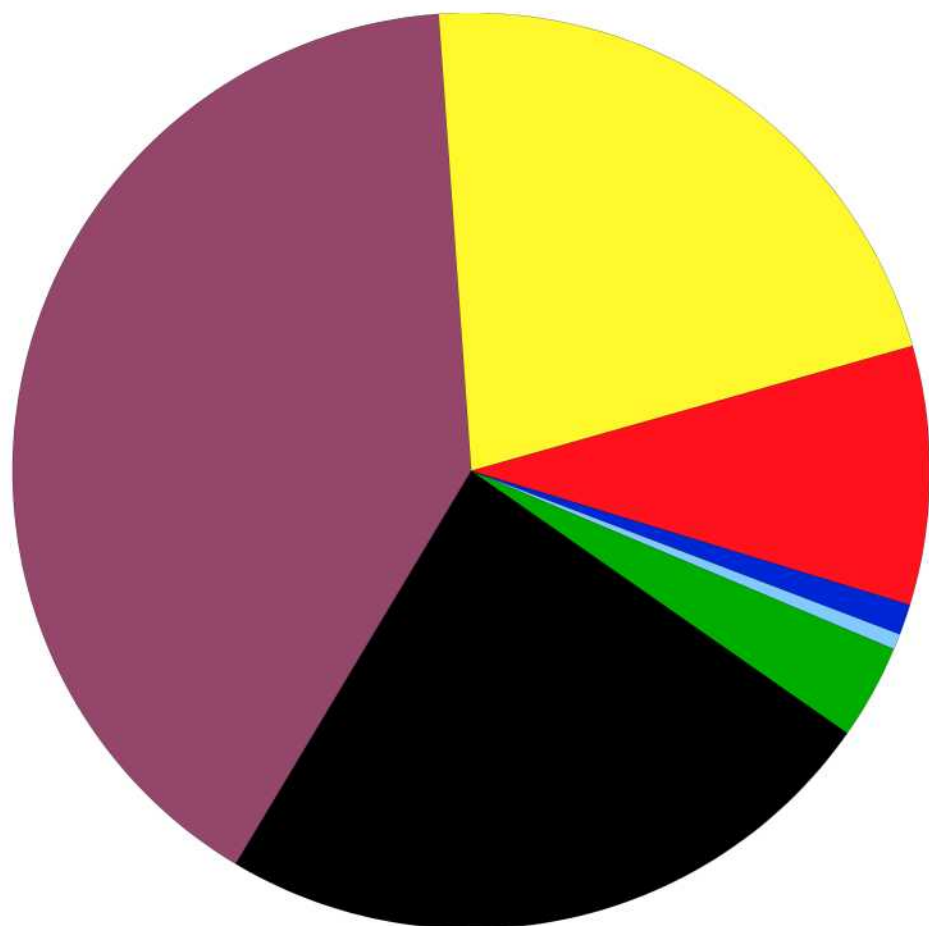
4,9 kep/hab/j



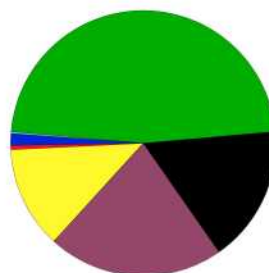
- Charbon
- Pétrole
- Gaz
- Nucléaire
- Hydro
- Autres renouv.
- Biomasse

Consommation d'énergie primaire par habitant selon la région

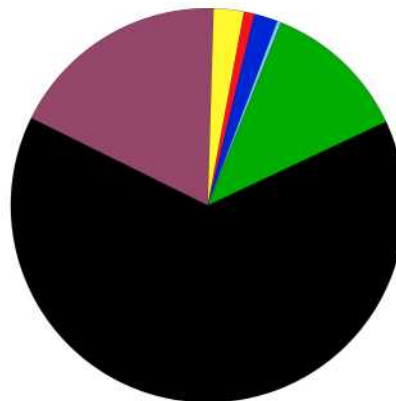
Monde : 4,9 kep/p/j



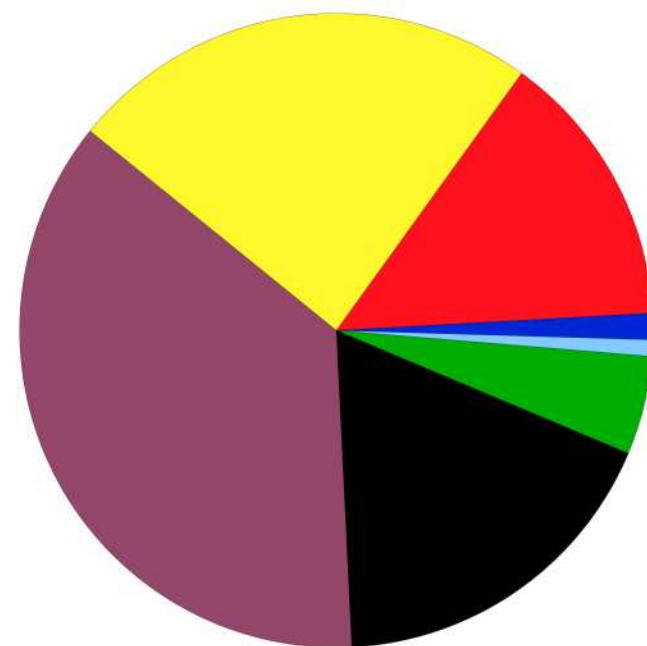
USA
21,2 kep



Afrique
1,8 kep



Chine
3,9 kep

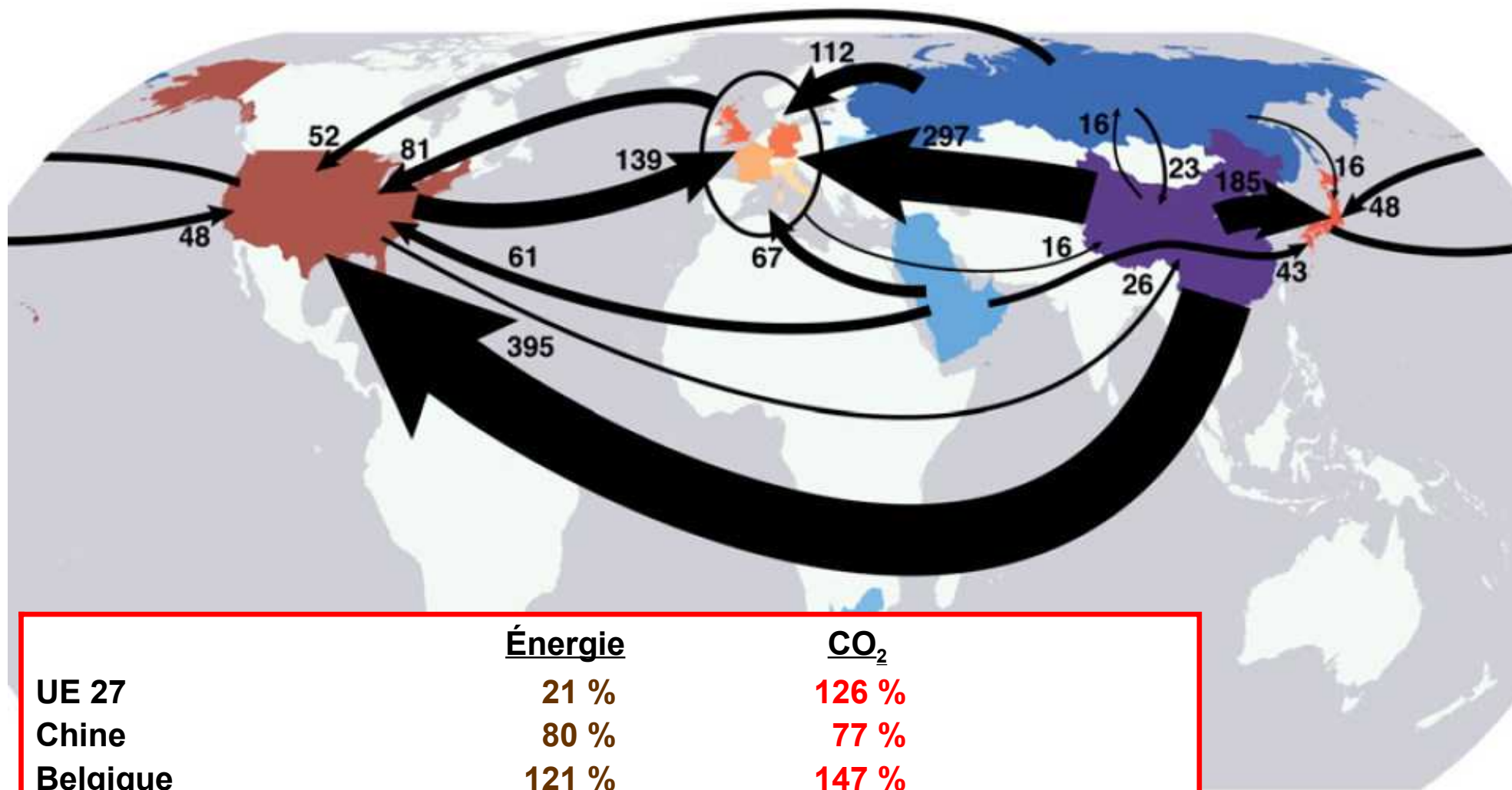


Europe 27
10,1 kep

Consommation versus Production

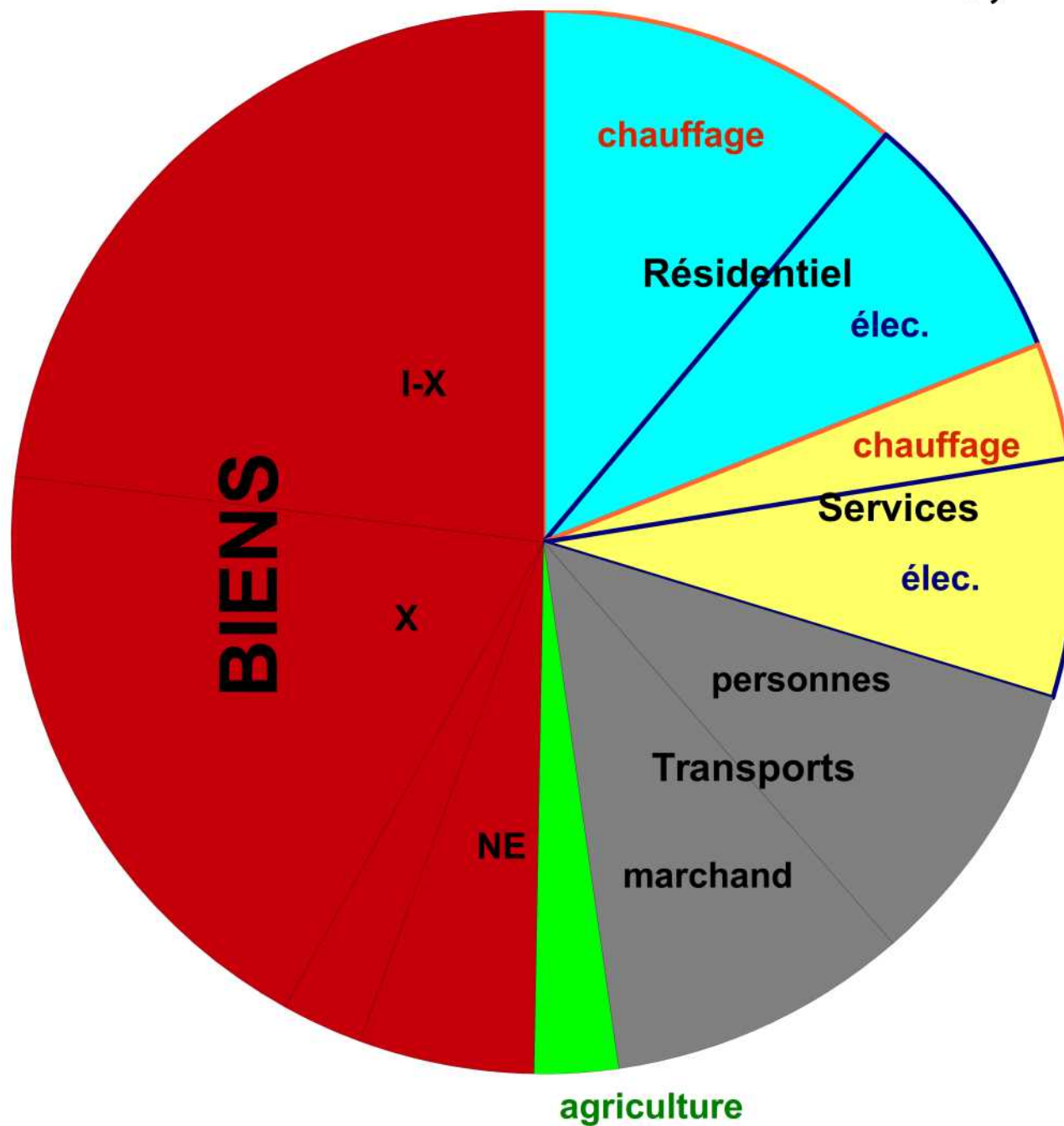
Davis & Caldeira

01/2010 PNAS

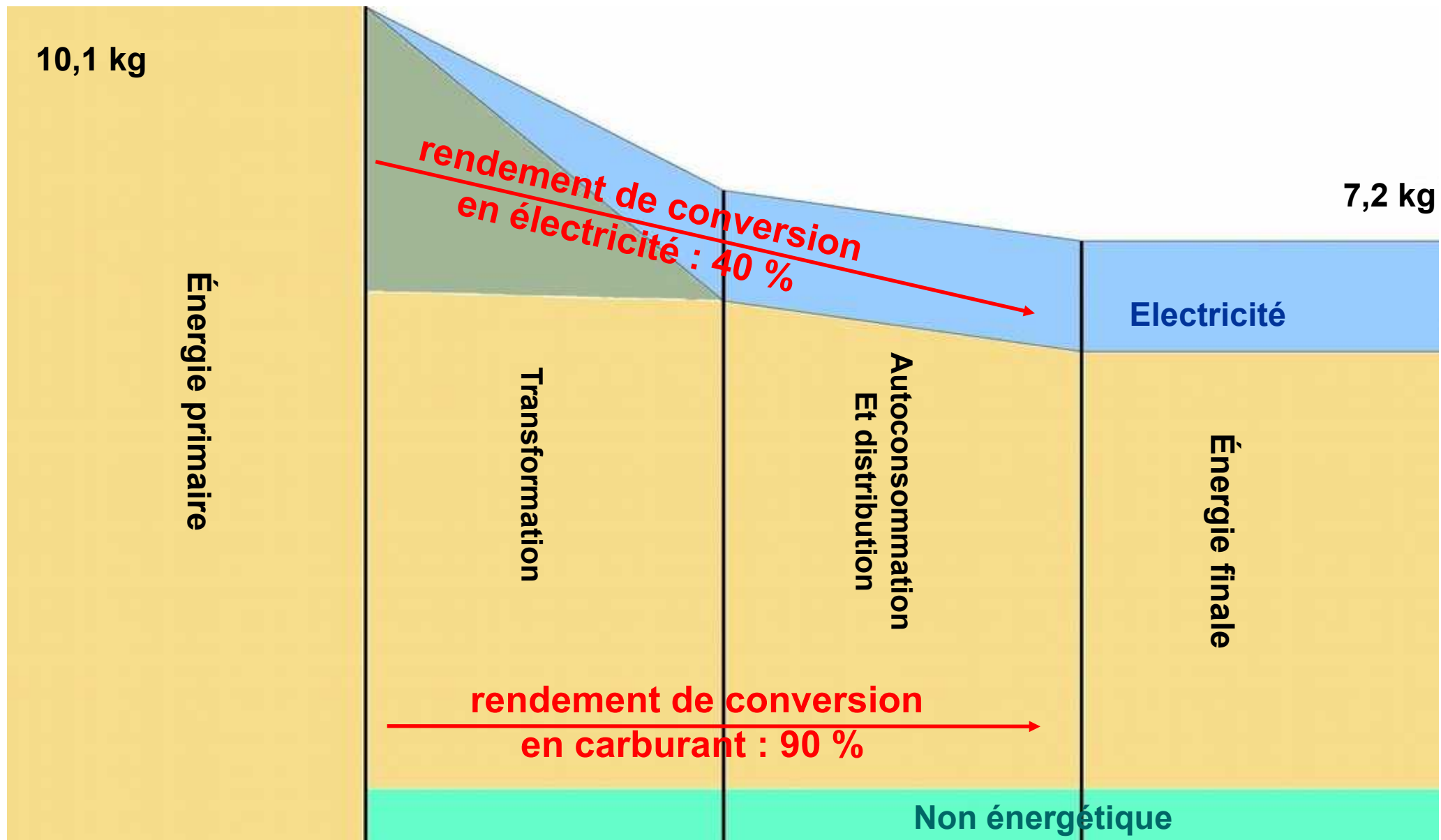


Europe 27

Énergie primaire
13,1 kep/jour/pers



Energie primaire → Consommation finale



Appréciation quantitative

1 kep = 42 MJ = 11,6 kWh

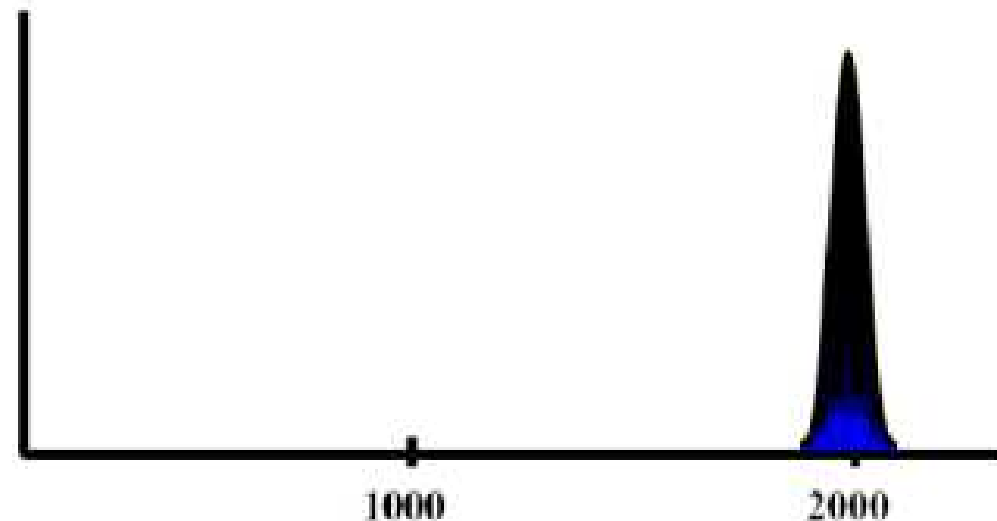
1 kep produit : 1 litre carburant, 1m³ gaz, 5 kWh

1 kep = monter 4000 sacs de 25 kg sur 14 étages

± 1 million d'années
consommées
chaque année !

Shifting baselines

Oil Production 2000 years



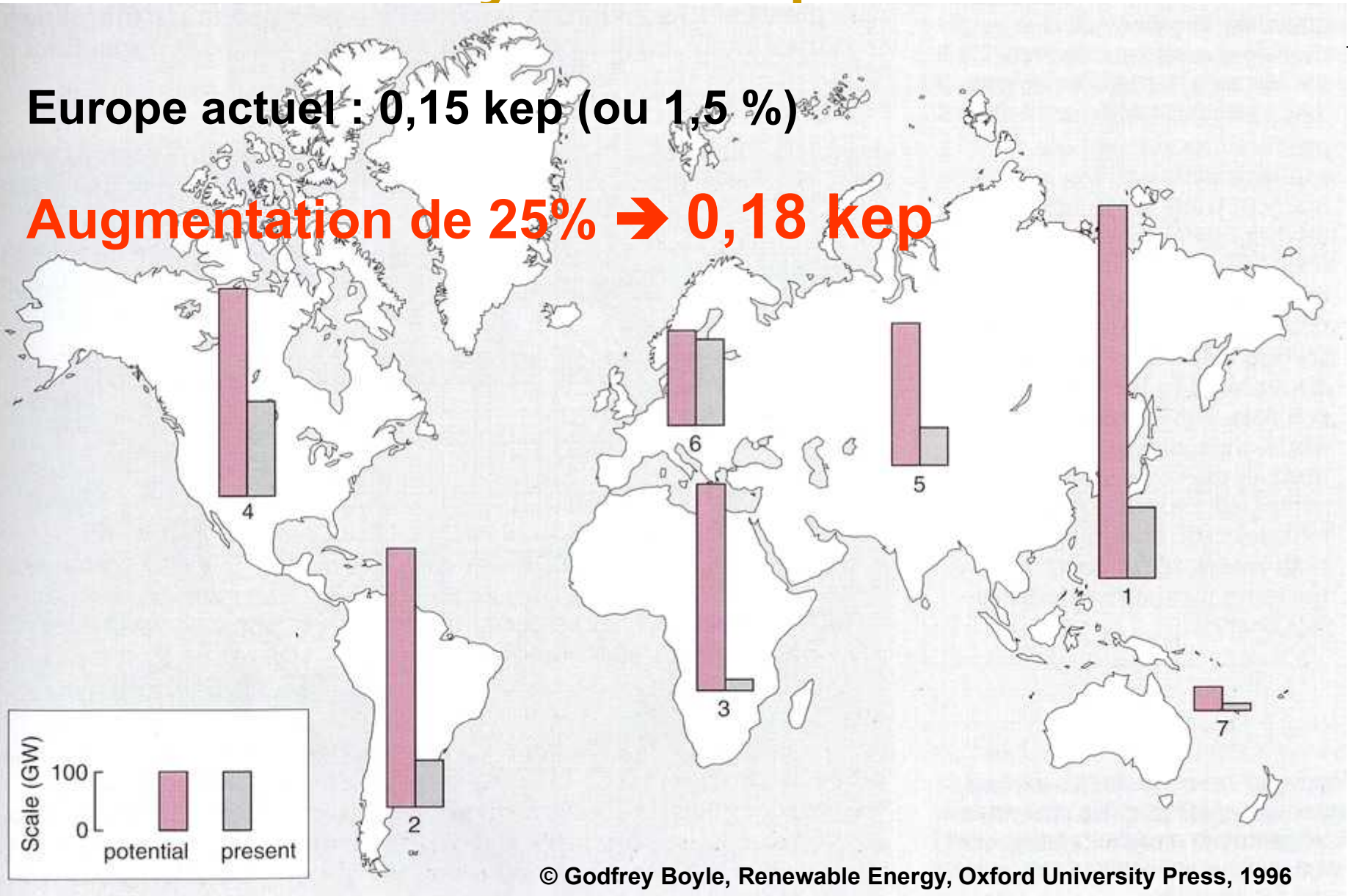
Source : James Leigh

Beyond Peak Oil and World Geopolitical Implications

Hydraulique

Europe actuel : 0,15 kep (ou 1,5 %)

Augmentation de 25% → 0,18 kep



Biomasse

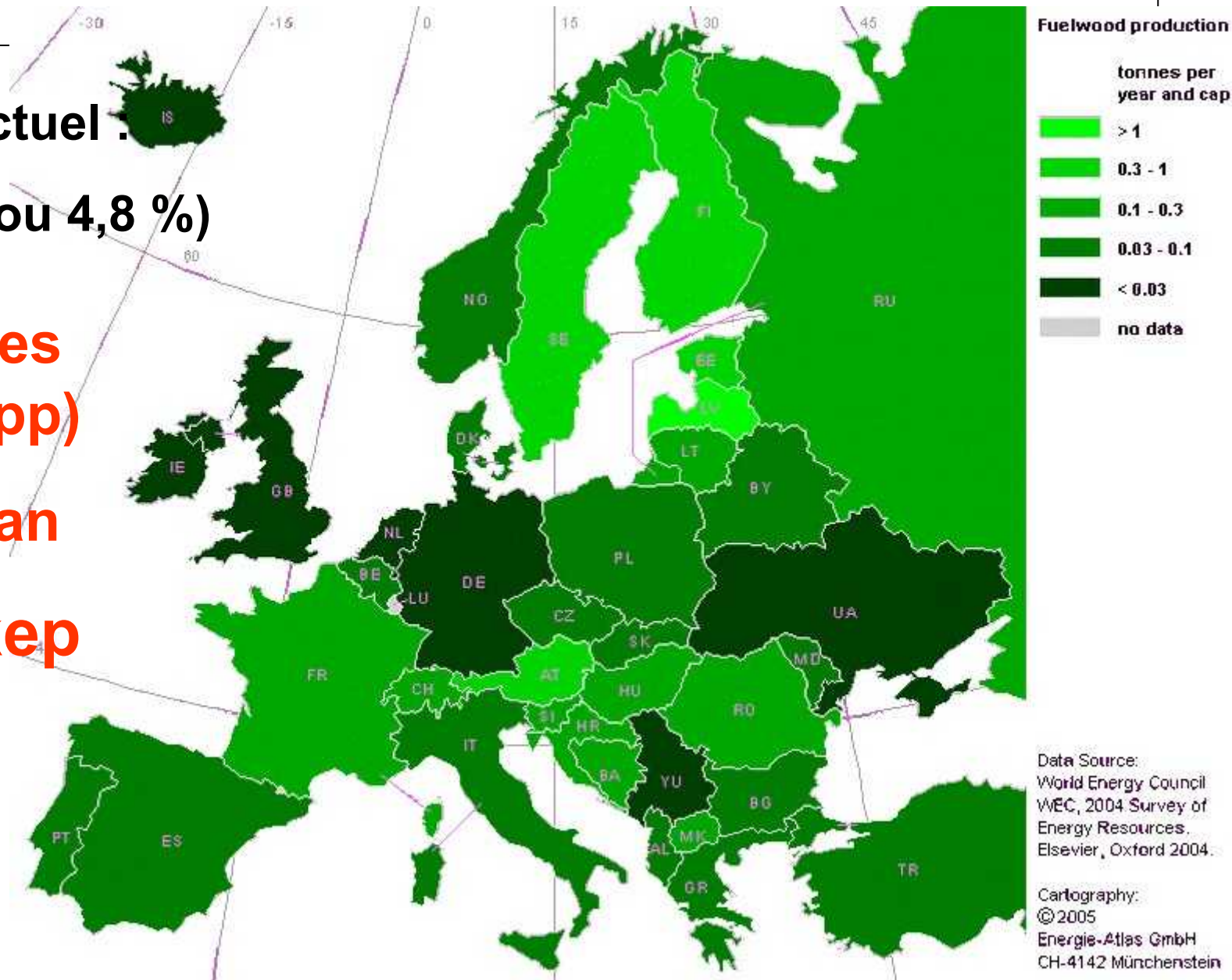
Europe actuel .

0,48 kep (ou 4,8 %)

1/6 des terres
(ou 15 ares pp)

et 2 tep/ha/an

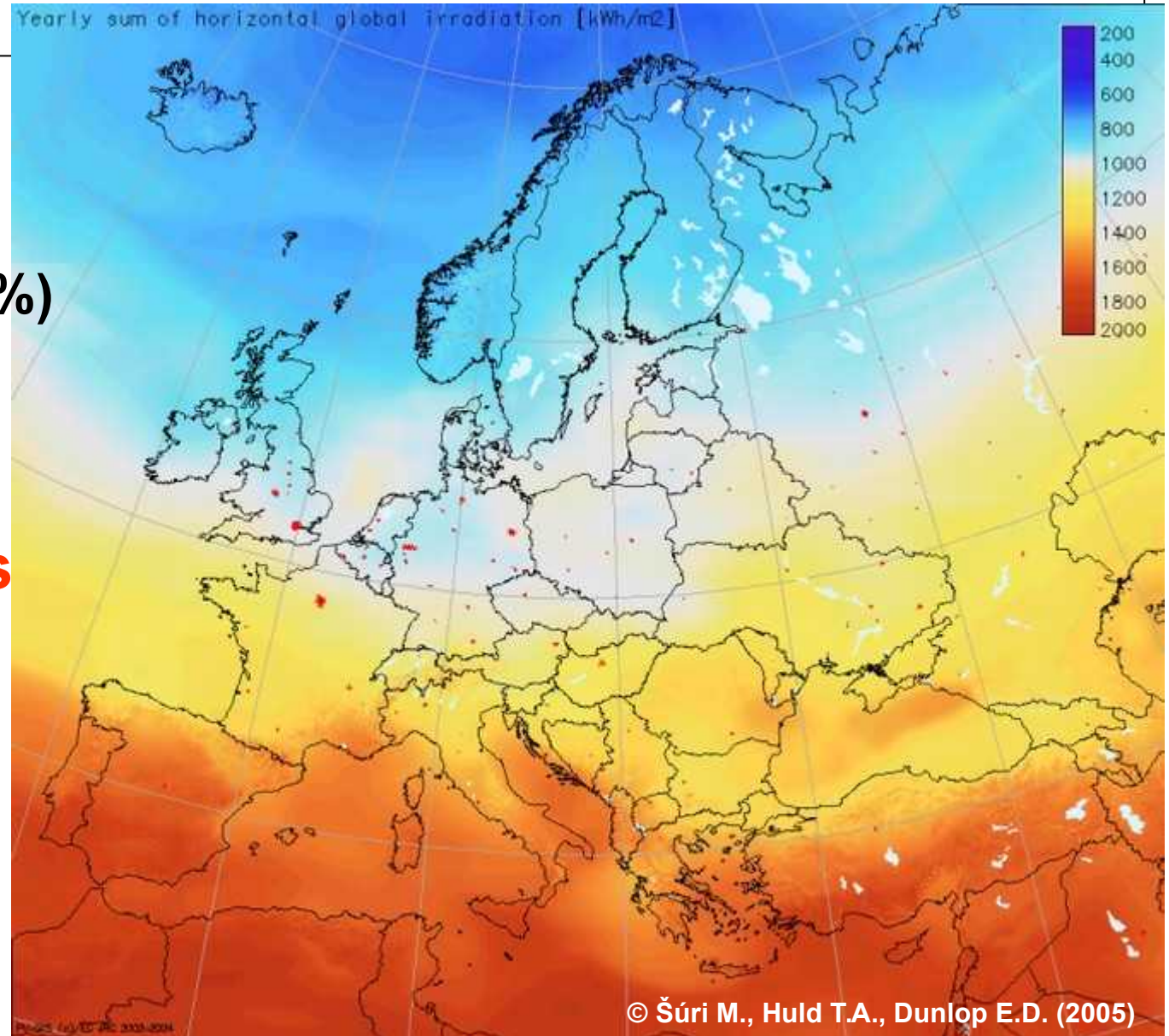
→ 0,81 kep



Le solaire

Europe actuel :
0,03 kep (ou 0,27 %)

20 m² de capteurs
par p. 20%
rendement →
0,47 kep



Éolienne

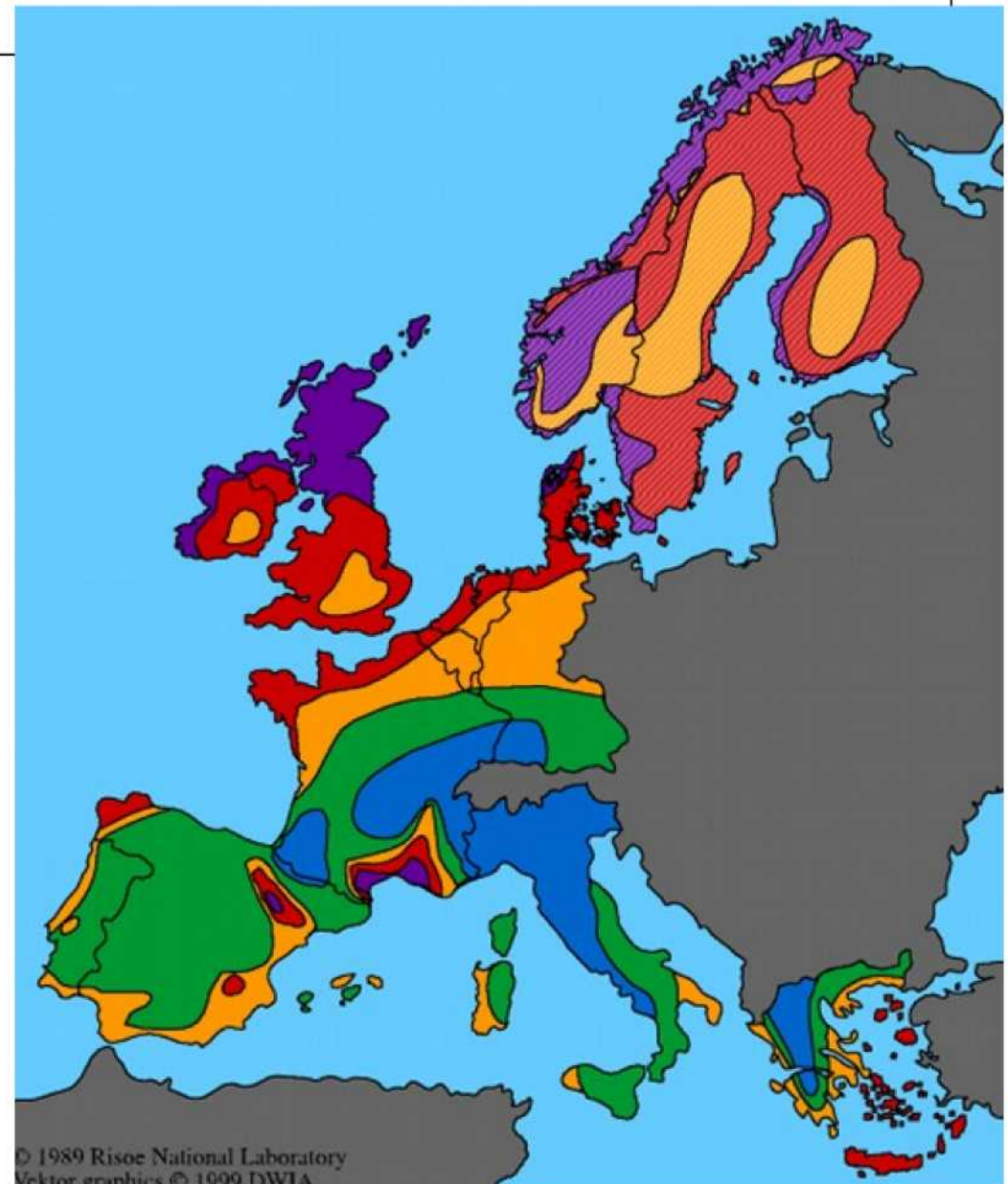
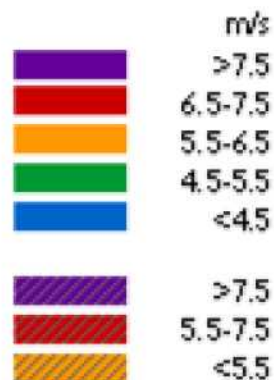
Europe actuel :

0,04 kep (ou 0,39 %)

**2 MW d'éolienne par
1.000 habitants**

→ 0,47 kep

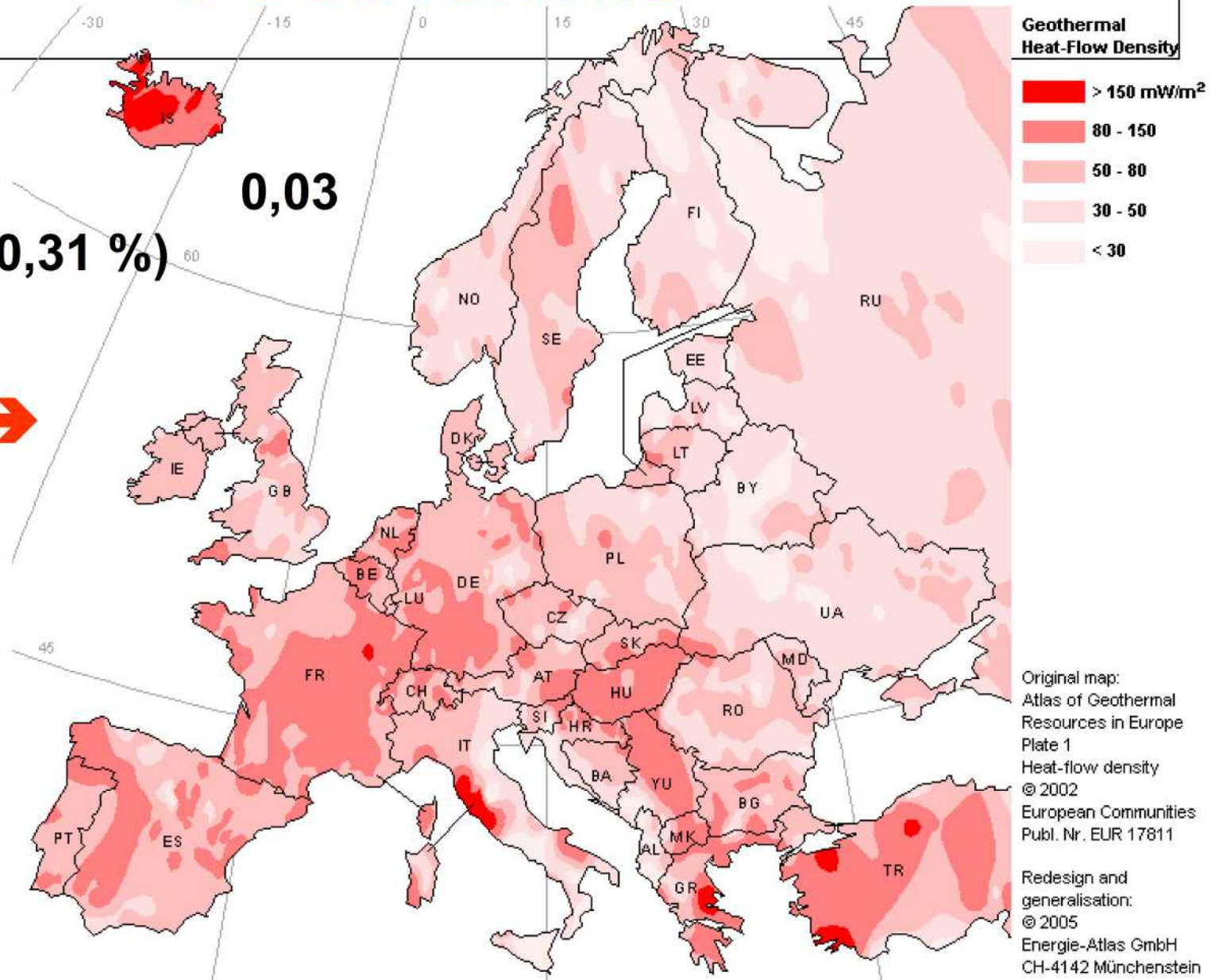
Wind Resources
at 50 (45) m
Above Ground
Level, open plain



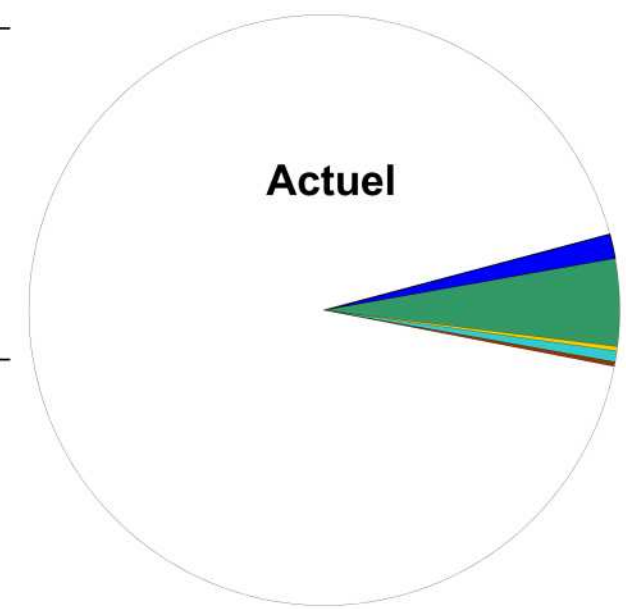
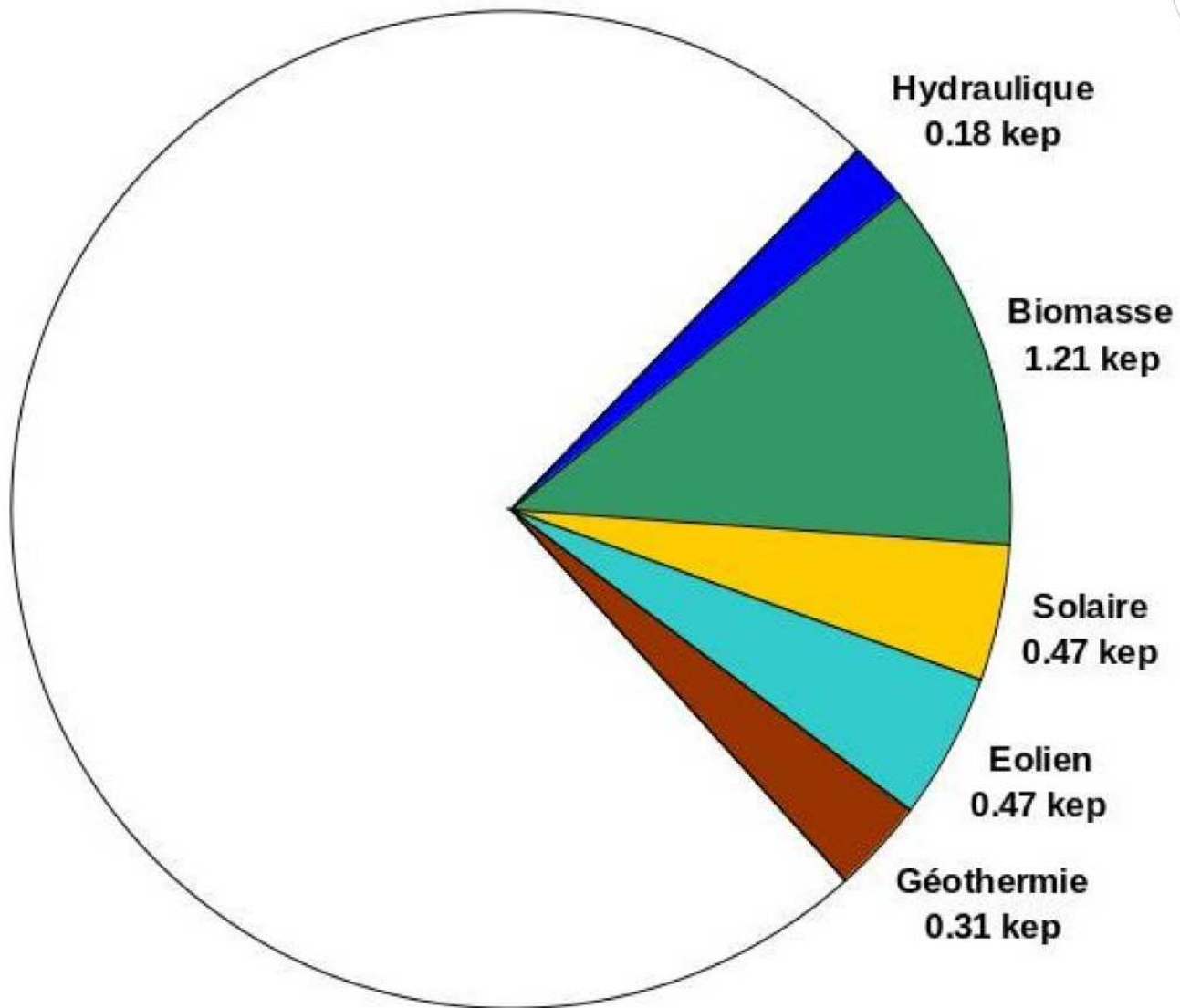
Géothermie

Europe actuel :
0,03
kep (ou 0,31 %)

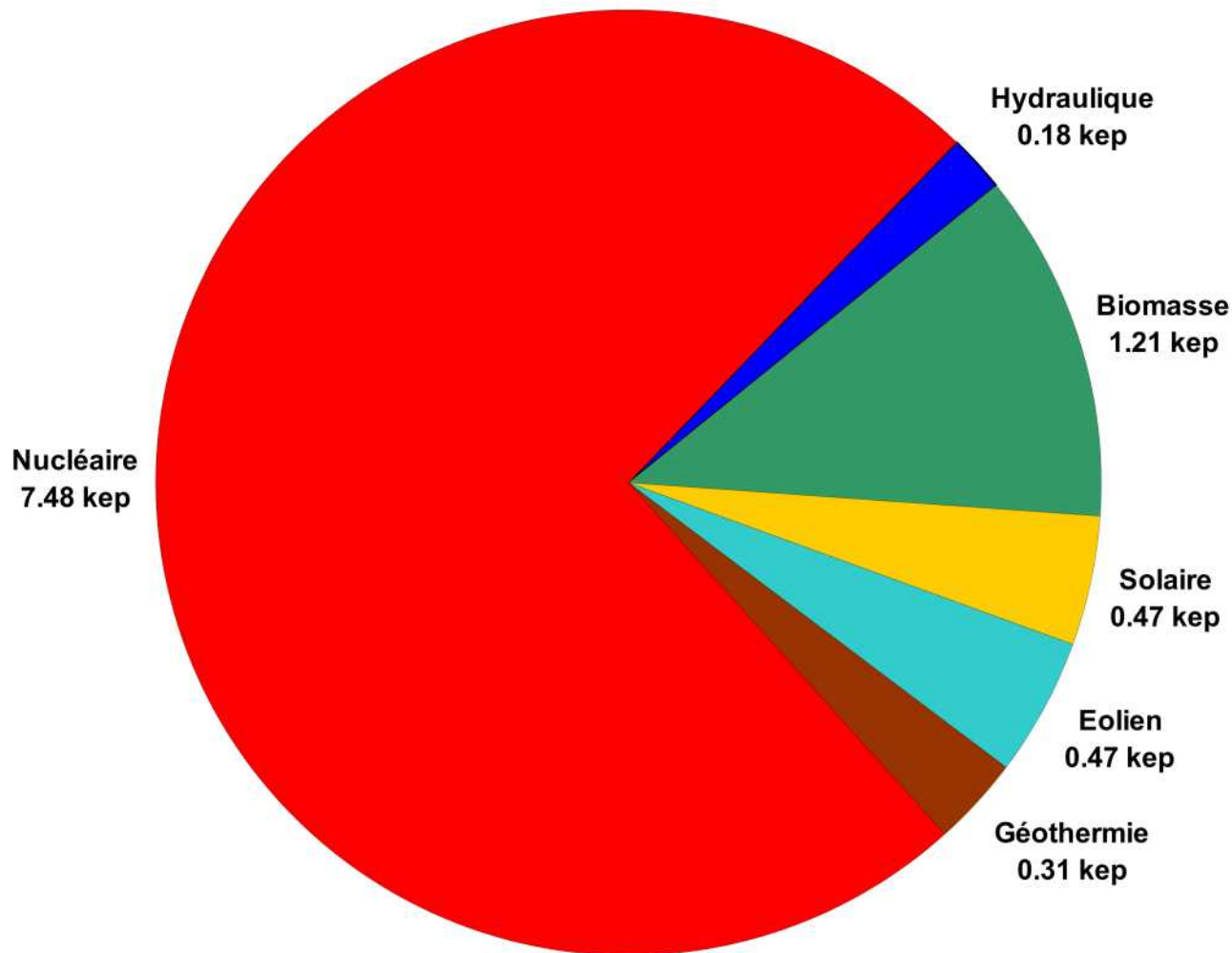
Décuplé →
0,31 kep



Renouvelables

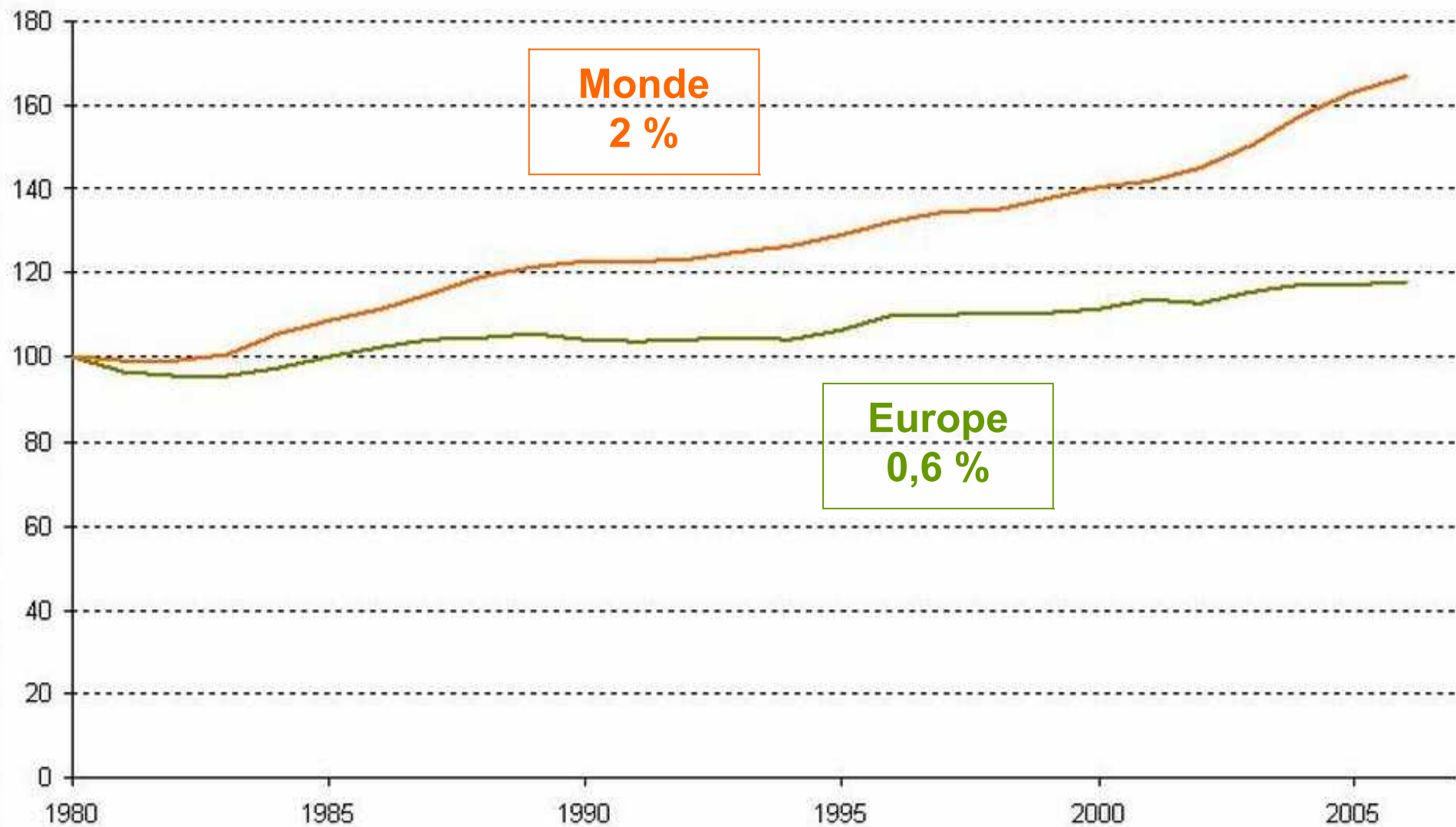


Avec nucléaire

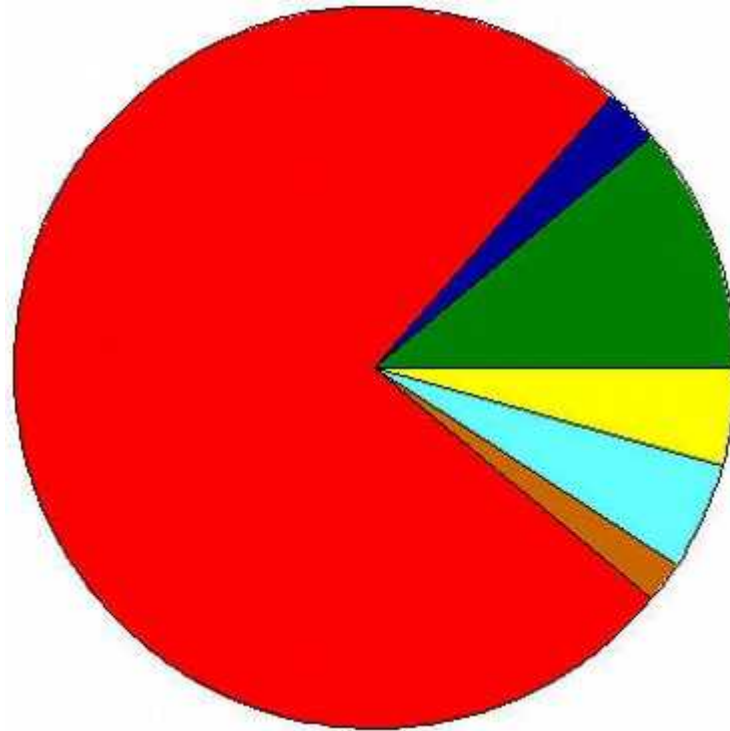


**Une centrale
nucléaire
(4 réacteurs
de 1GW)
par million
d'habitants !**

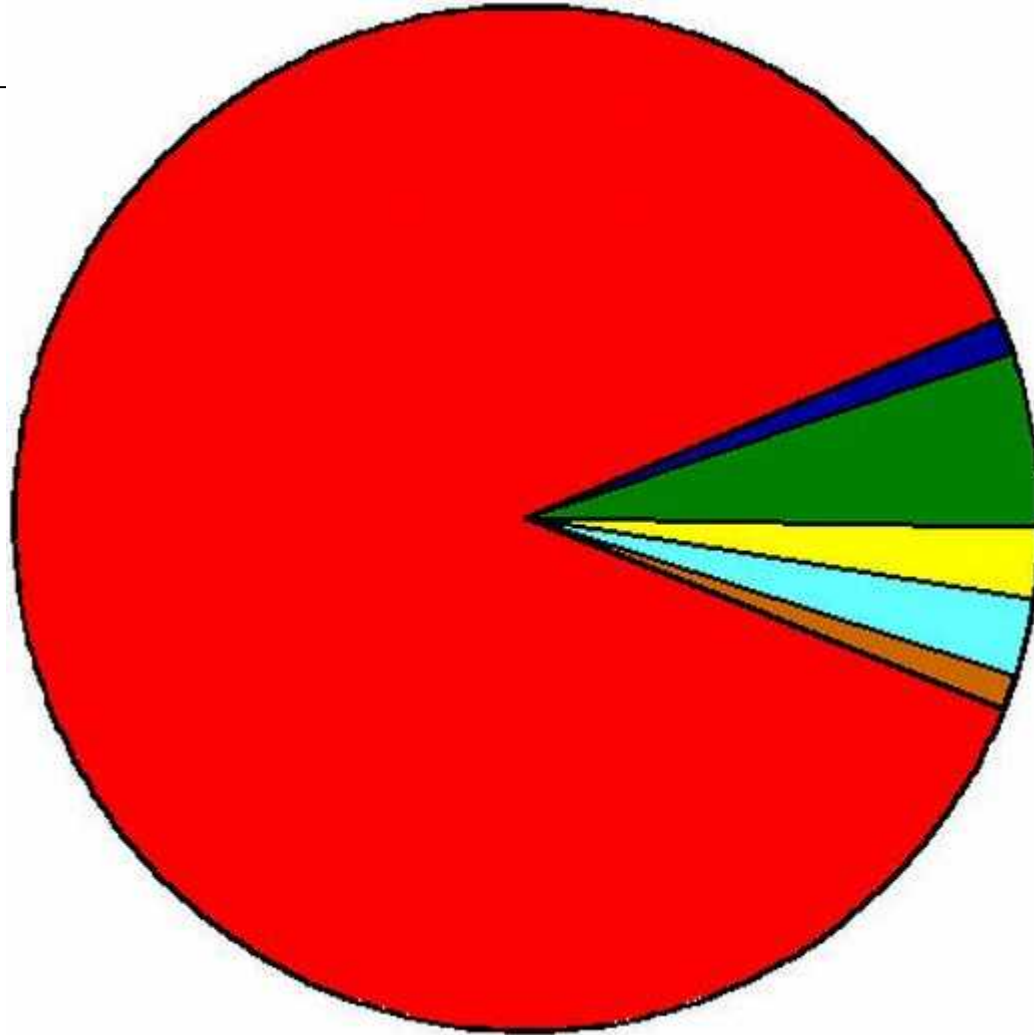
Croissance consommation énergie

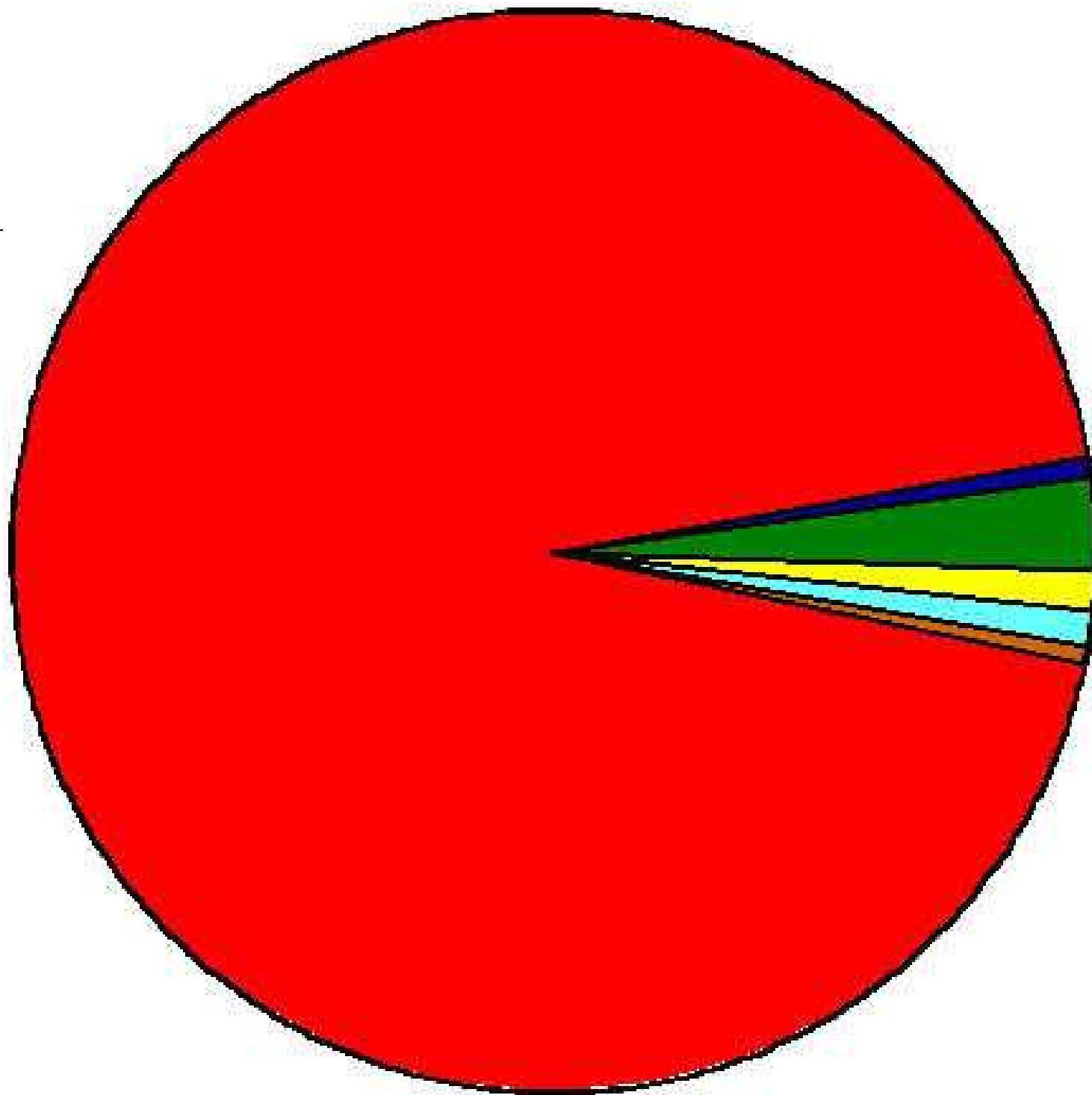


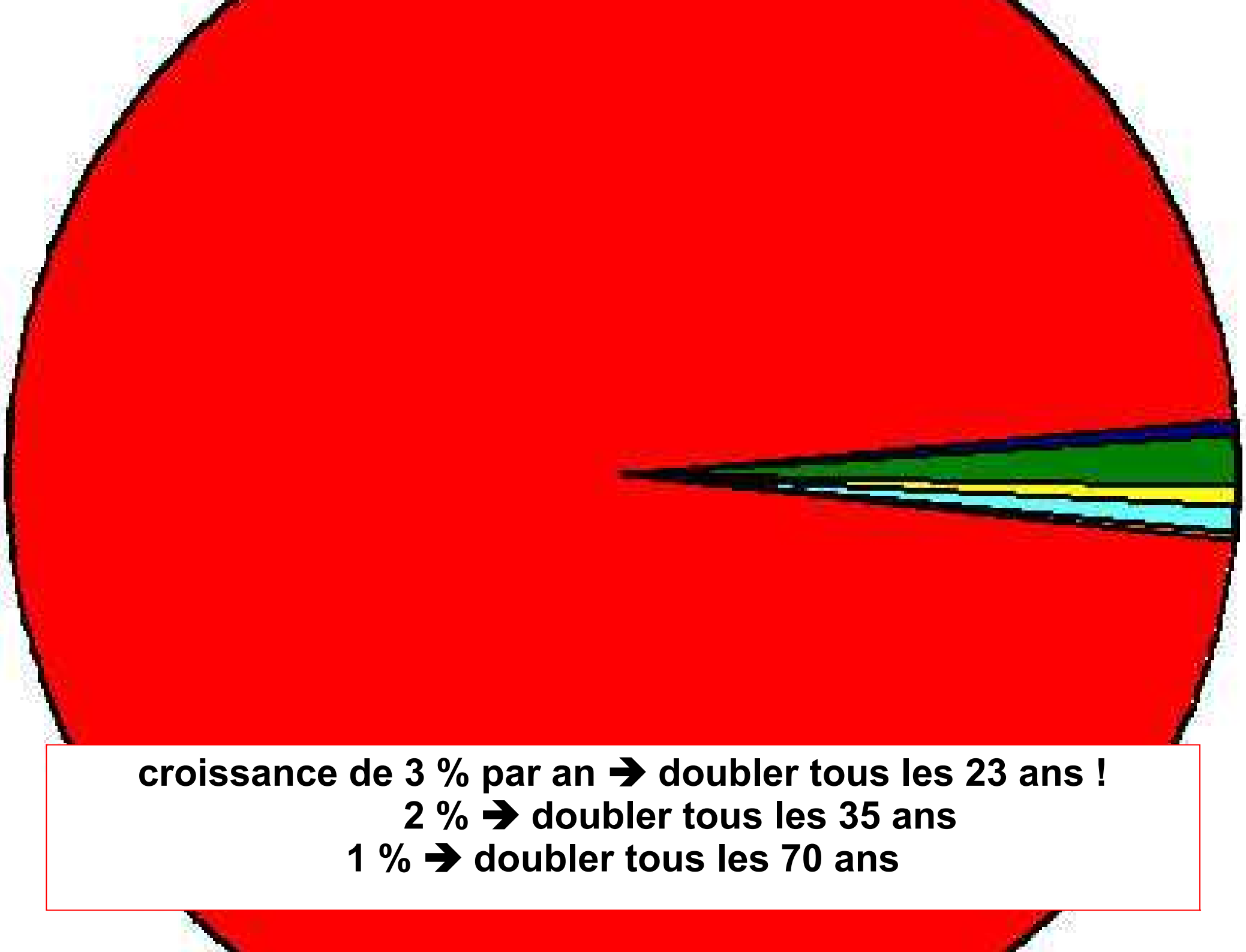
Croissance



Croissance







croissance de 3 % par an → doubler tous les 23 ans !
2 % → doubler tous les 35 ans
1 % → doubler tous les 70 ans

Économie <<<===>>> Physique

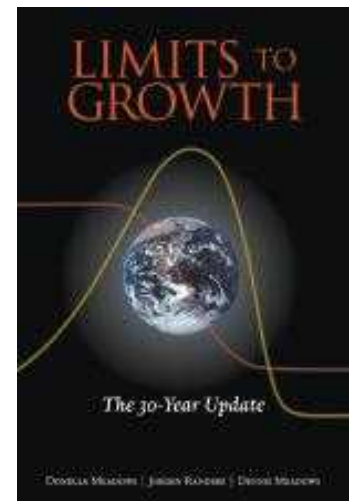
L'économie continuera à se développer exponentiellement dans le futur, comme elle l'a toujours fait dans le passé.

Des limites physiques étant atteintes, de profonds changements sont inévitables, tant dans l'organisation de l'économie que celle de la société.

"La croissance infinie dans un monde fini est une impossibilité physique."

Les limites de la croissance

MIT – Club de Rome - 1972



Richesse & bien-être

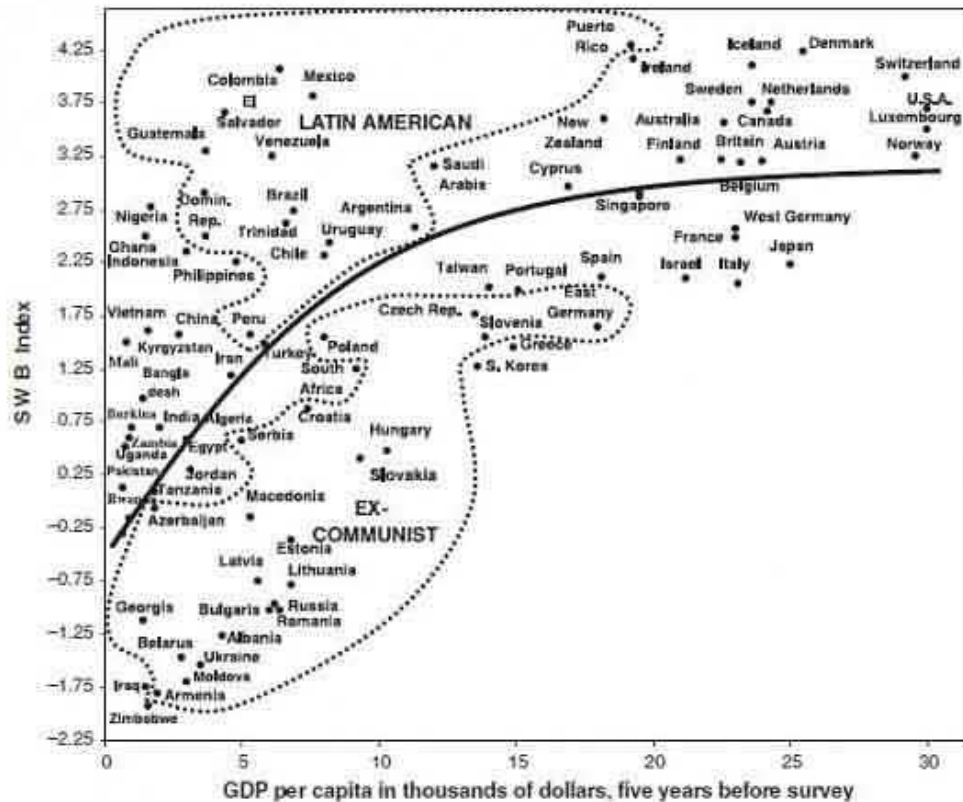
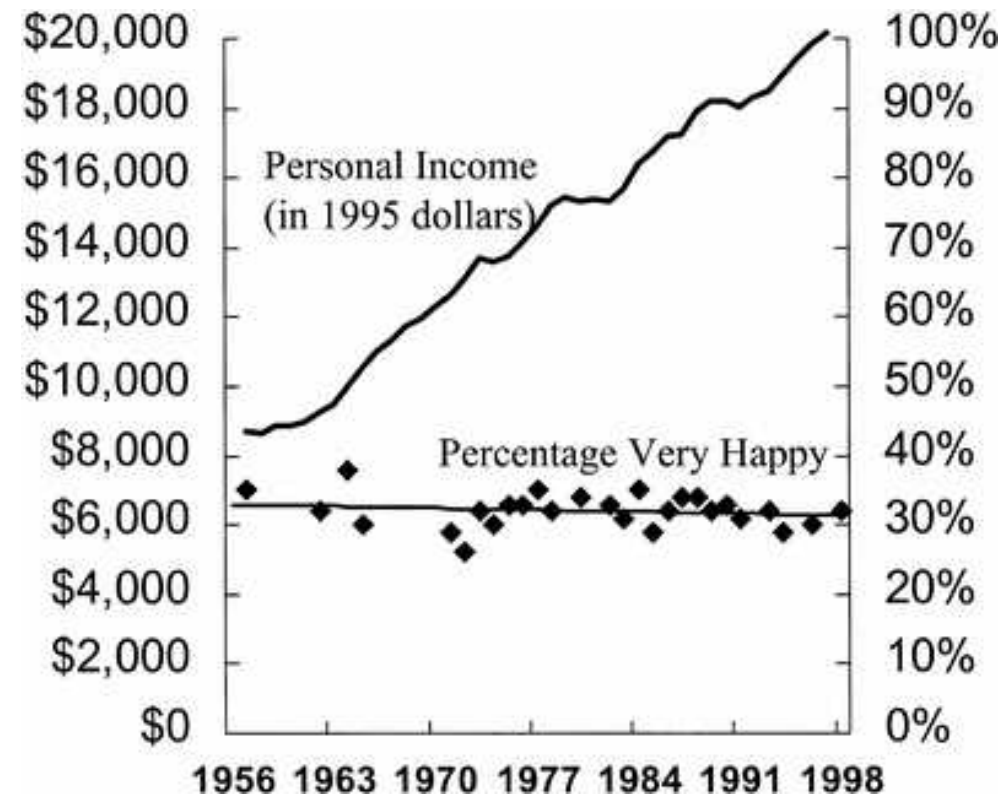


Fig. 2. Subjective well-being (SWB), per capita gross domestic product (GDP), and different types of societies. Well-being index is based on reported life satisfaction and happiness, using mean results from all available surveys conducted 1995–2007 (cubic curve plotted; $r = .62$). PPP = purchasing power parity estimates.

Source : Inglehart & al. (2008)

Psychologie positive Économie du bonheur



Source : Myers (2000)

Paradoxe de Easterlin (1974)

"Does Economic Growth Improve the Human Lot ? Some Empirical Evidence."

Efficacité énergétique

paradoxe de Jevons, postulat de Khazzoom-Brookes, effet rebond...

Faire plus avec moins !

possible mais limité (par les lois de la physique)

Mais ... actuellement ...

**des appareils qui consomment moins
font globalement consommer plus !!!**

**L'effet rebond est une conséquence
pratiquement automatique dans une
économie de marché capitaliste
(« *main invisible* » de Adam Smith).**

Pourquoi ?

Exemple : nouvelle chaudière

Effets microéconomiques

- un peu plus de chauffage
- remplacement des chaudières
- facture -> vacances plus loin

Effets macroéconomiques

- gaz moins cher
- plus d'automatisation
- augmentation du savoir
- nouvelles applications

Jevons paradox

W.S. JEVONS 1835 - 1882



The coal question

Thomas Newcomen → James Watt

Tsao et al.

J.Phys D

éclairage ? 0,72% du PIB

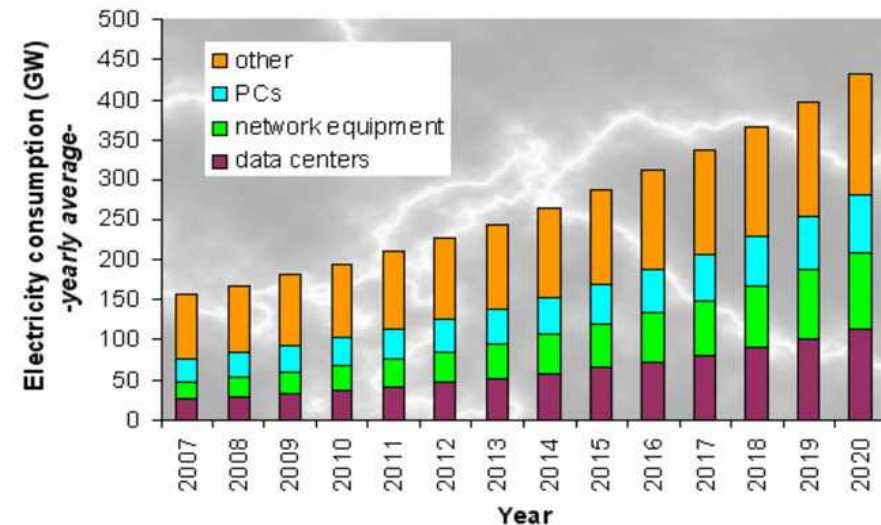
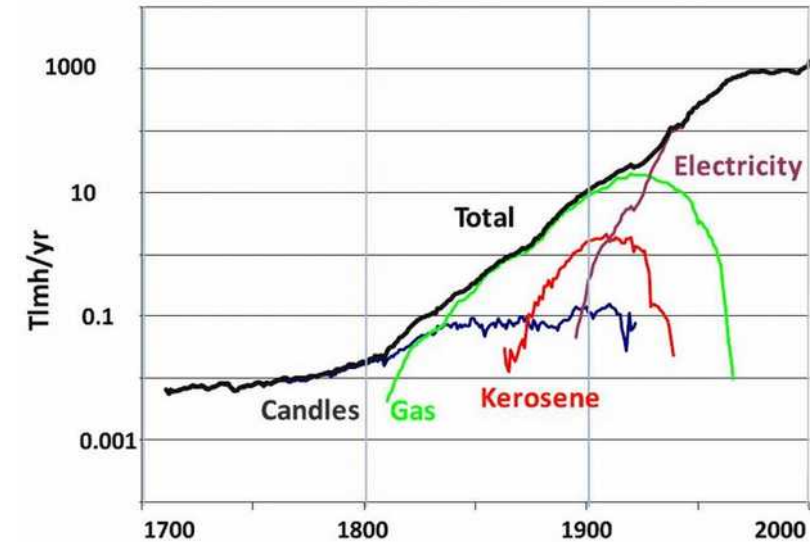
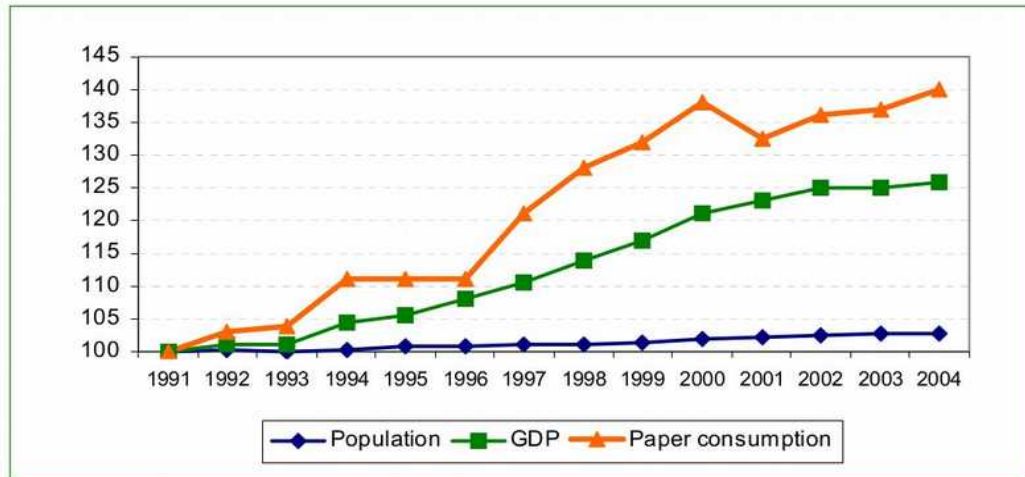
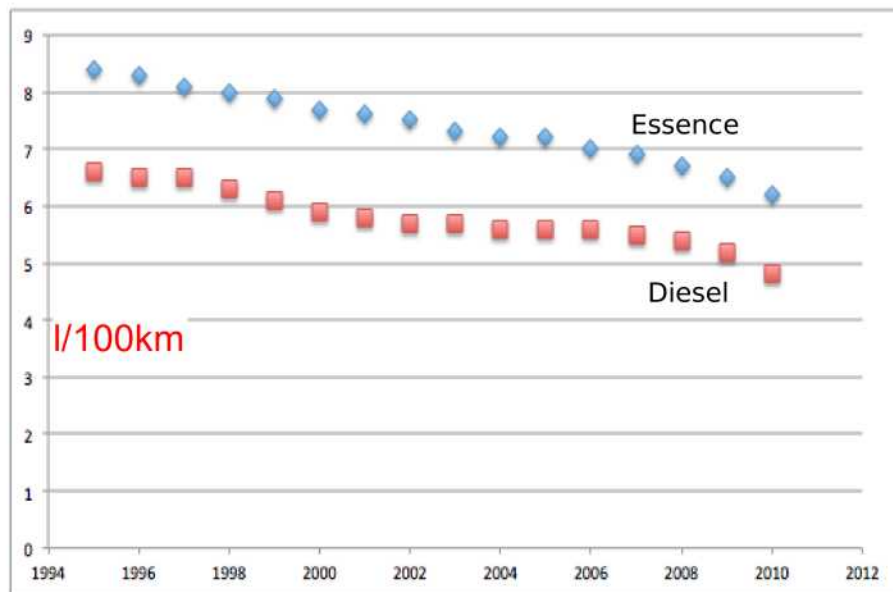


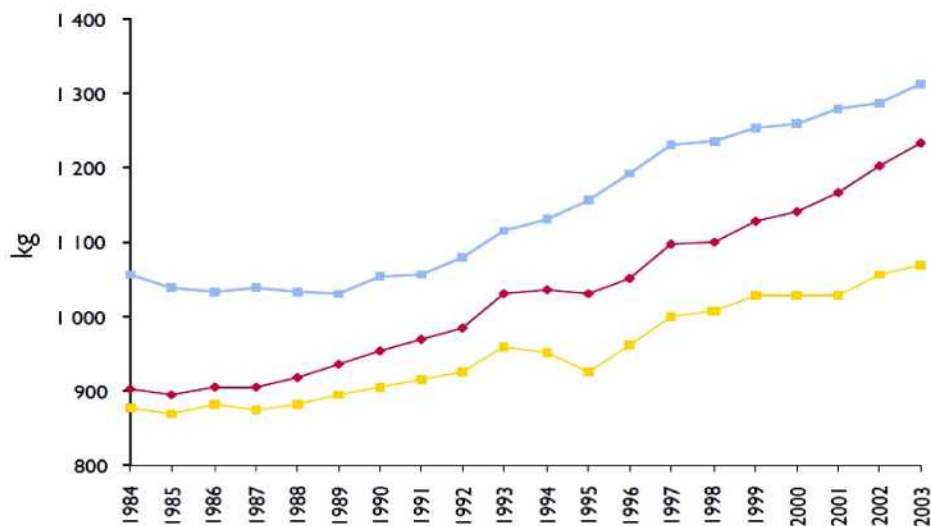
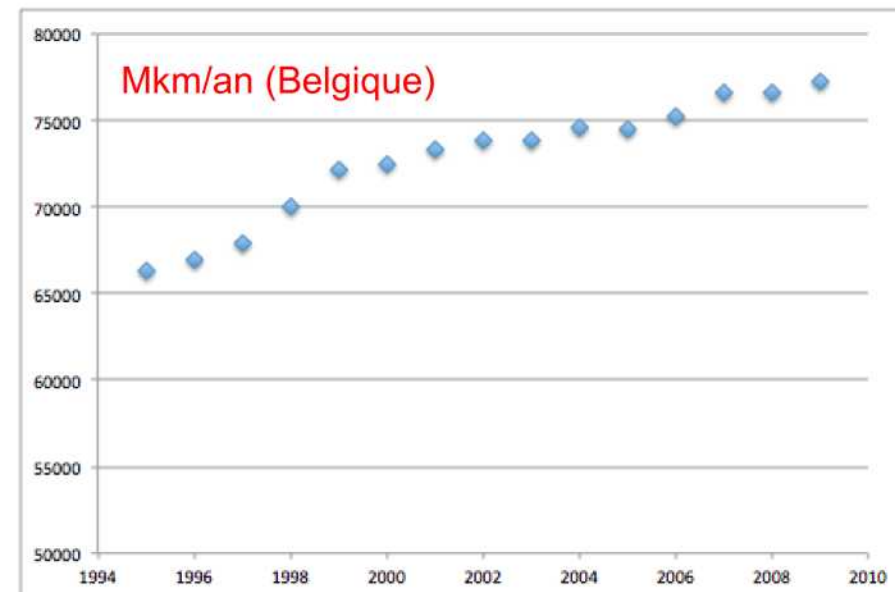
Exhibit 4-11: Increase in paper consumption since 1991 compared to GDP and population (indexed, in CEPI countries)



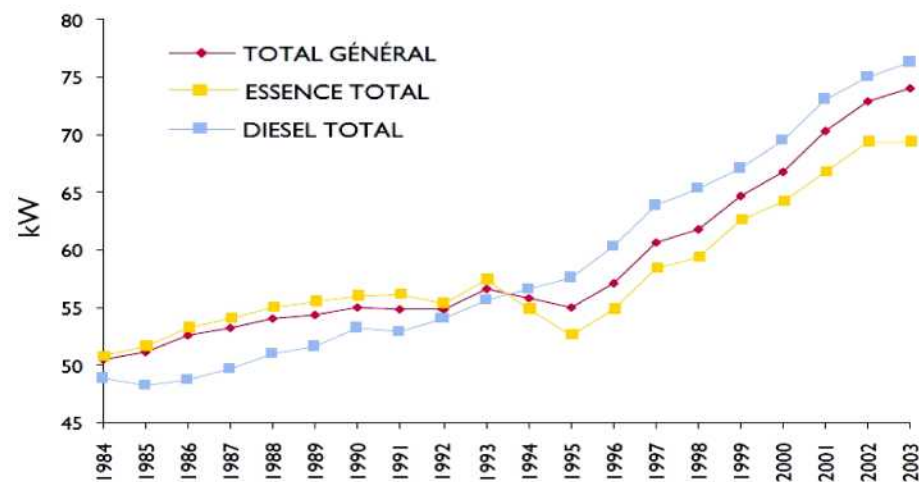
Exemple : l'automobile



Source: bureau fédéral du plan, Belgique

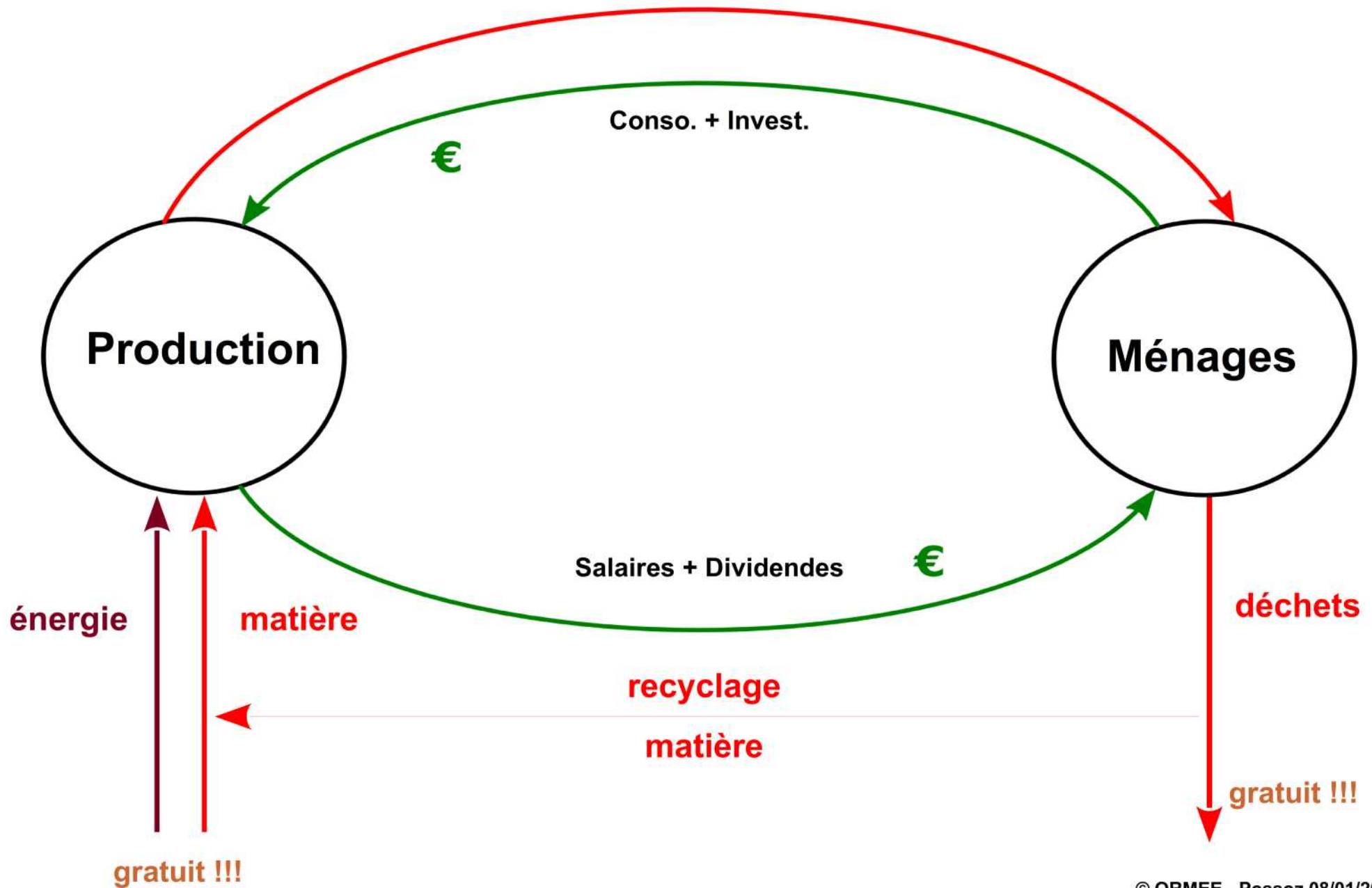


Source: ADEME, France



Machinerie économique

$$PIB = \sum productions_{fin.} = \sum consommations_{fin.} = \sum revenus_{prim.}$$



Approche économique

IPAT *Impact* = *P*opulation x *A*ffluence x *T*echnology

Kaya
$$\dot{Énergie} = Pop \cdot \frac{PIB}{Pop} \cdot \frac{\dot{Énergie}}{PIB}$$

intensité énergétique du PIB

À population stable, le **PIB per capita** ne peut tendre vers l'infini que si l'**intensité énergétique** tend vers zéro !

Ou encore, que si l'**efficacité énergétique** (l'inverse de l'intensité énergétique) tend vers l'infini !

And so what ?

Reste à examiner

- **Lien(s) entre PIB et consommation d'énergie** (couplage absolu/relatif) ?
 - Produire la même chose avec (beaucoup) moins d'énergie ?
 - Produire autre chose qui demande moins d'énergie (dématérialisation) ?
- **Cause(s?) de la croissance économique (du PIB) ?**
 - Le consommateur ?
 - Le producteur et/ou l'investisseur ?
 - Le gouvernement ?
- **Évolutions possibles ?**

Tirées d'un article de Jörg Friedrichs, University of Oxford, UK ; in Energy Policy, 2010.
« *Global energy crunch : How different parts of the world would react to a peak oil scenario* »

- Systèmes prédateurs (appropriation des ressources par la force),
- Systèmes autoritaires centralisés,
- Systèmes démocratiques avec modification des règles du jeu.

Lectures

Le principe de responsabilité, Hans Jonas, Flammarion 1987

Effondrement, Jared Diamond, Gallimard 2006

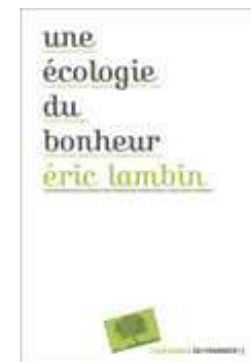
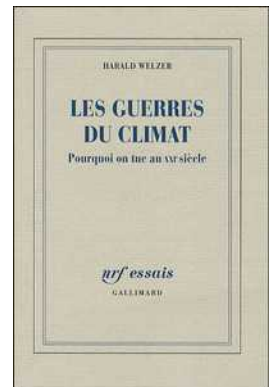
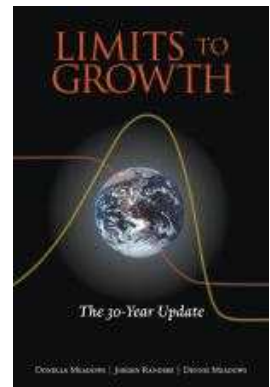
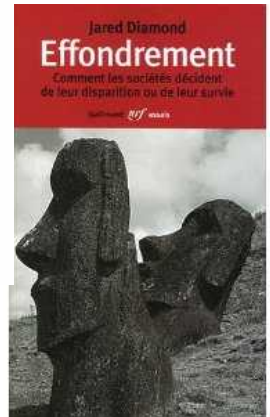
La dynamique du capitalisme, Fernand Braudel, Flammarion 2008

Limits to Growth. The 30-Year Update, Meadows et al. 2004

Prospérité sans croissance, Tim Jackson, Etopia-De Boek 2010

Les Guerres du climat, Harald Welzer, Gallimard 2009

Une écologie du bonheur, Éric Lambin, Le Pommier 2009



Lectures

Quel futur pour les métaux ?, Philippe Bihouix et Benoît de Guillebon, EDP Sciences 2010

Changer le Monde – *Tout un programme !*, Jean-Marc Jancovici, Calmann-Lévy 2011

Saison brune, Philippe Squarzoni, Delcourt 2012

Planetary Boundaries, Johan Rockström et al., Nature 2009

Les Apprentis Sorciers du Climat, Clive Hamilton, Seuil 2013



Merci

**"On peut aussi bâtir quelque chose
de beau avec les pierres qui
entravent le chemin."**

[Goethe]

**"Rien n'est trop difficile pour la
jeunesse."**

[Socrate]

<http://www.quelfutur.org>