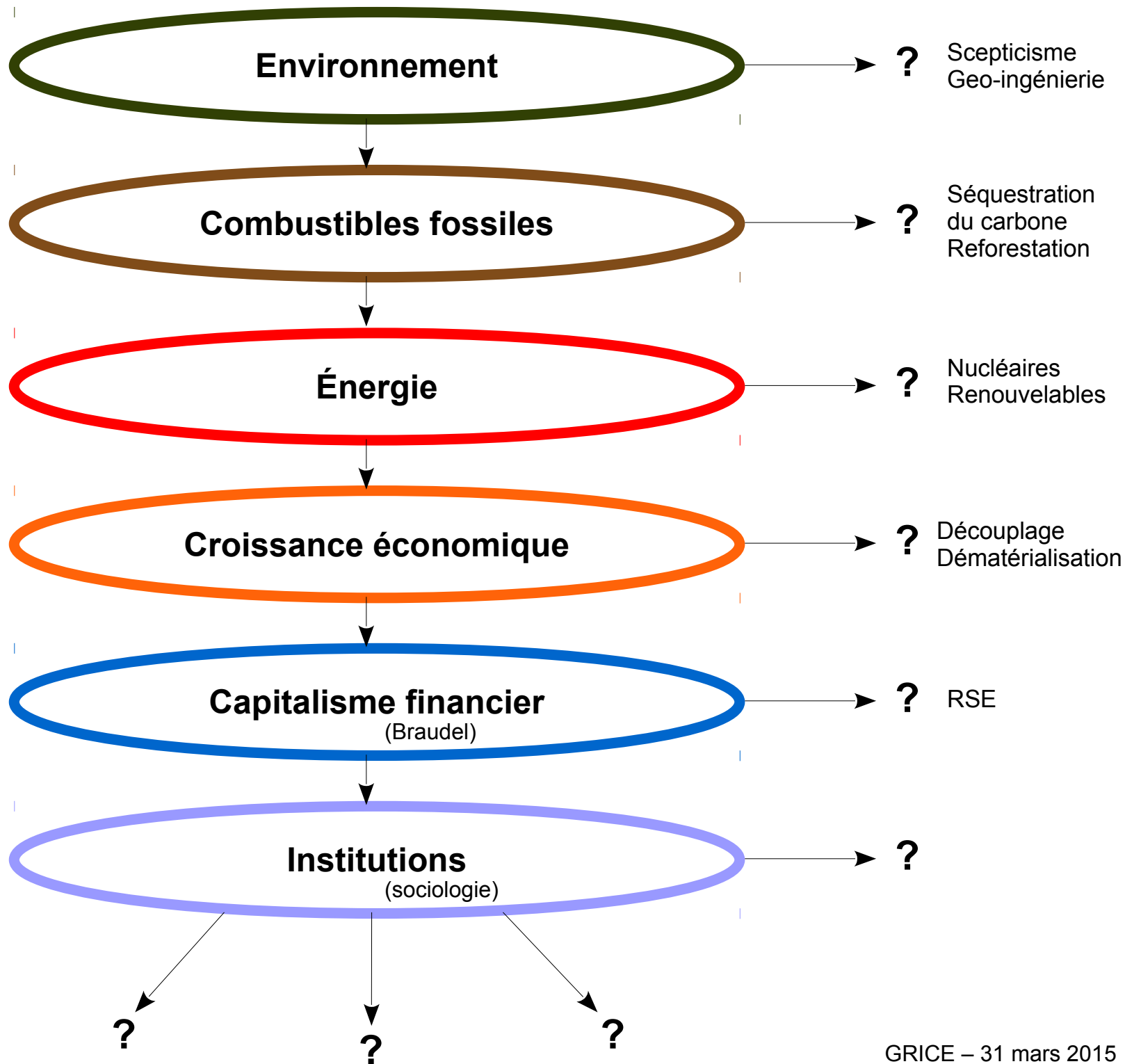


Technologies

Sociologie



La croissance à tout prix !



**Pourquoi
un Pacte national
pour la croissance,
la compétitivité
et l'emploi ?**

Le Gouvernement est déterminé à restaurer notre compétitivité, redresser notre industrie, retrouver la croissance et l'emploi.

Emploi et croissance : **"je prendrai tous les risques"**, assure Hollande lundi matin sur France Inter.

le 05/01/2015

« Ma première priorité sera de mettre la croissance et l'emploi au cœur des priorités de la prochaine Commission. »

Jean-Claude Juncker 2014.

« Pas assez de croissance en 2015 pour doper l'emploi »

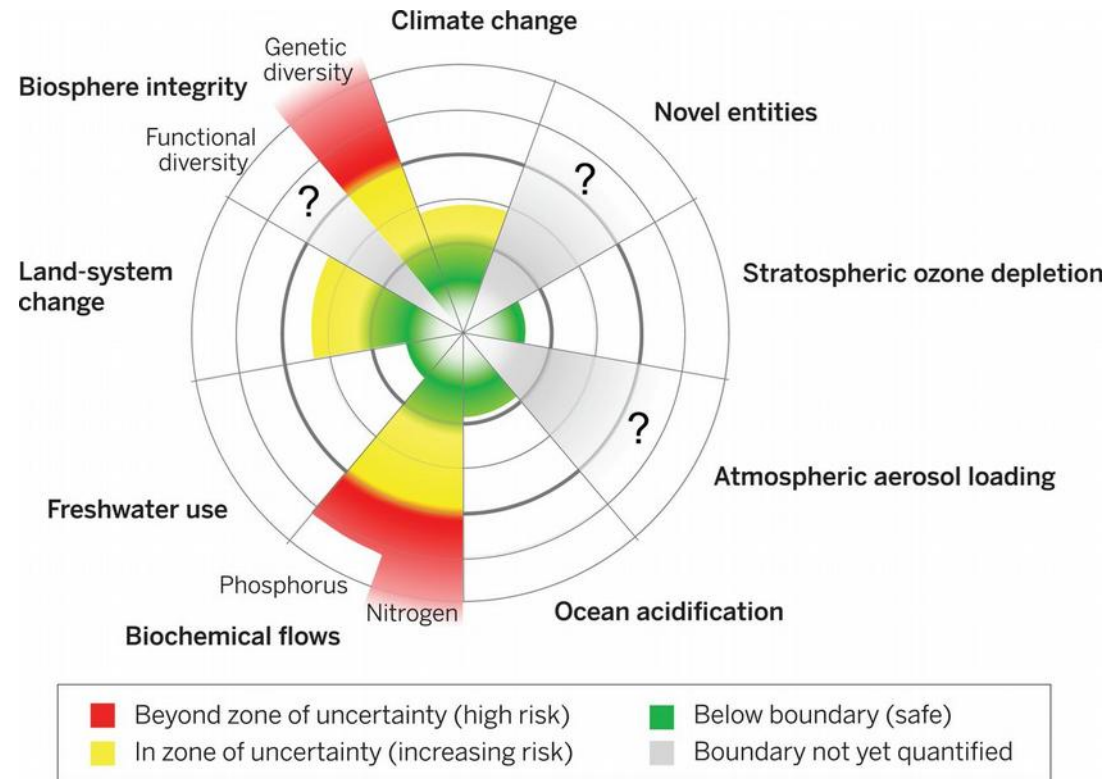
IRES-UCL à la RTBF
octobre 2014

Planetary boundaries

A safe operating space for humanity

Johan Rockström et al.
Nature Vol 461,24 09/2009

Current status of the control variables for seven of the planetary boundaries. The green zone is the safe operating space, the yellow represents the zone of uncertainty (increasing risk), and the red is a high-risk zone.



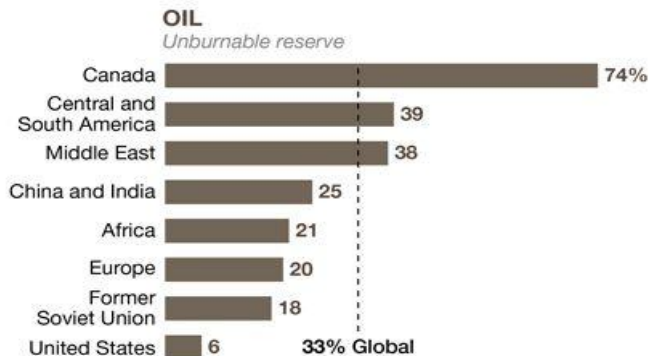
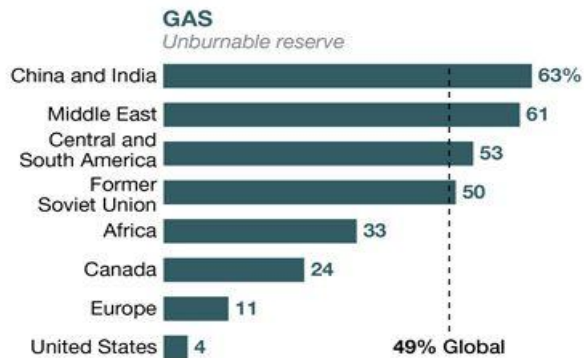
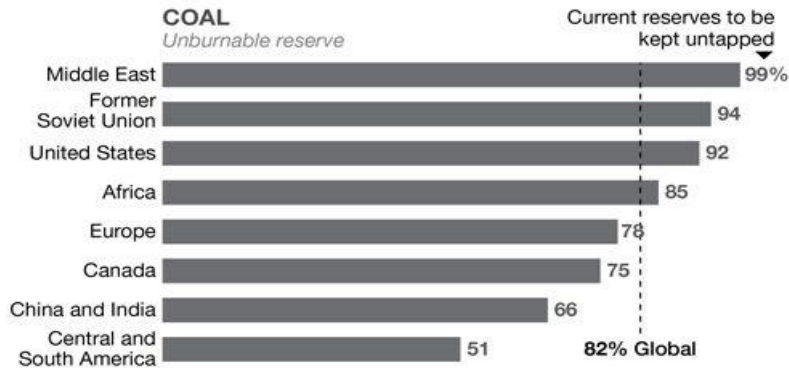
Science
AAAS

Guiding human development on a changing planet

Will Steffen et al. Science
2015;347:1259855

Un-burnable oil

Fossil fuels off-limits



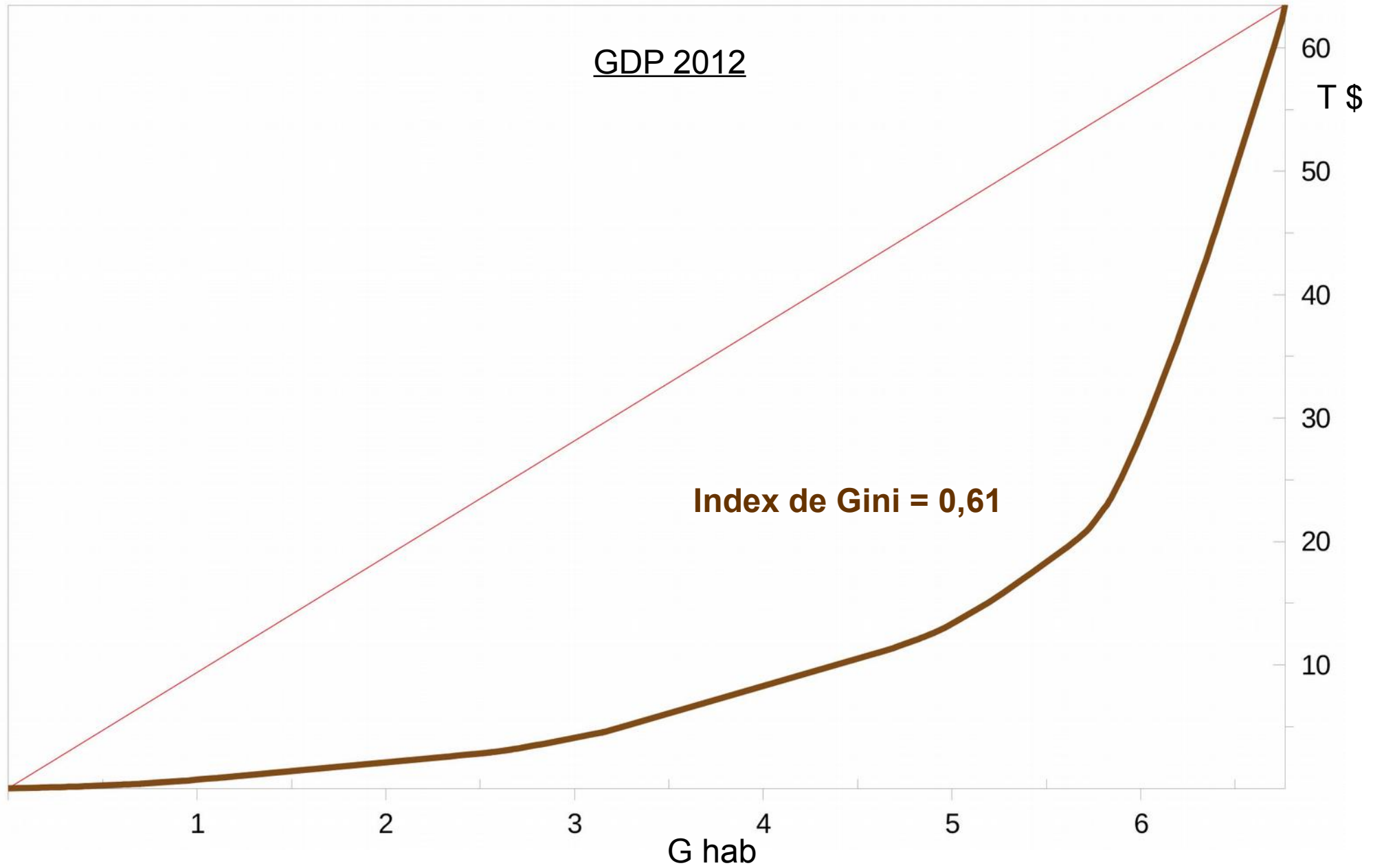
An examination of oil resource utilisation in a decarbonised energy system

The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2°C

*Our results suggest that, globally, a **third of oil** reserves, **half of gas** reserves and **over 80 per cent of current coal** reserves should remain unused from 2010 to 2050 in order to meet the target of 2°C.*

McGlade & Ekins, Nature 2015
Energy Policy 2014

Inégalités



Limits or no limits ?

Contexte :

- Les pays développés (OCDE) 'exigent' unanimement une croissance économique 'sérieuse', disons 3 %.
- Les pays développés absorbent, per capita, beaucoup plus de ressources naturelles que les autres (80-20). Les inégalités s'accroissent, nationales et internationales.
- L'empreinte écologique de l'humanité dépasse la biocapacité de la Terre. Les impacts environnementaux menacent la sécurité et la survie des sociétés.

Croissance économique & sécurité environnementale

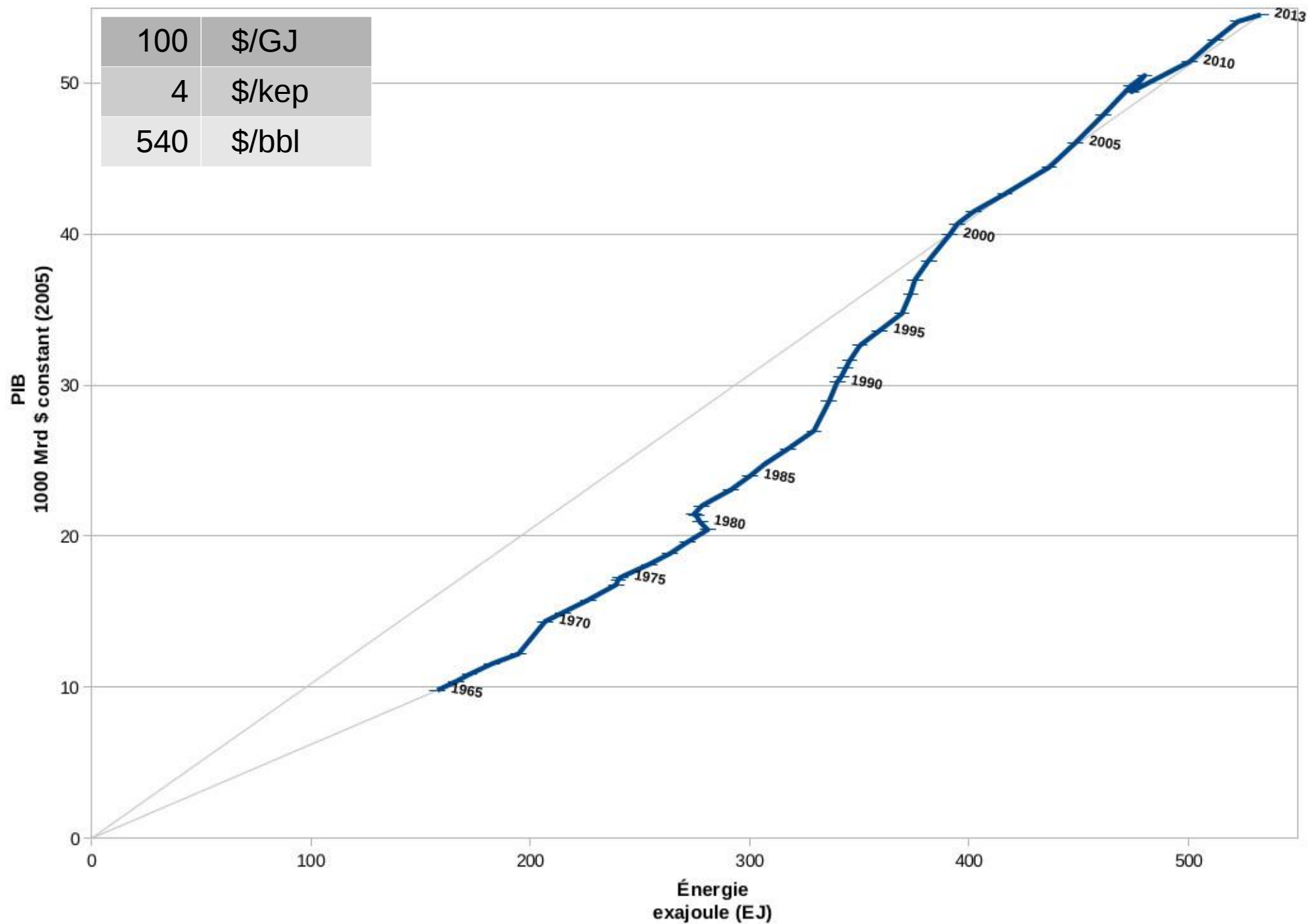
A) incompatibles ?

B) rien à voir ?

Économie & énergie

- Économie et énergie, dépendance mutuelle
 - Le couplage
 - Les 2 comptabilités de l'énergie
- Mesure ou démesure ? Question de chiffres
 - Exemple de scénario "tout renouvelables"
- Limites physiques et illimites économiques ?
 - Le "modèle du monde"
 - Les modèles macro économiques
 - Substitution
 - Efficacité énergétique (et intensité énergétique)
- L'effet rebond
 - Effets micro économiques
 - Effets macro économiques

Couplage historique



Énergie – production – économie

a) PIB

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

b) Énergie

- 1) Énergie = transformation, changement d'état de la matière
couper, plier, fondre, réaction chimique, soulever, accélérer, etc.
- 2) Produire = transformer (inputs → outputs)
- 3) Économie = Production = Transformation = Énergie

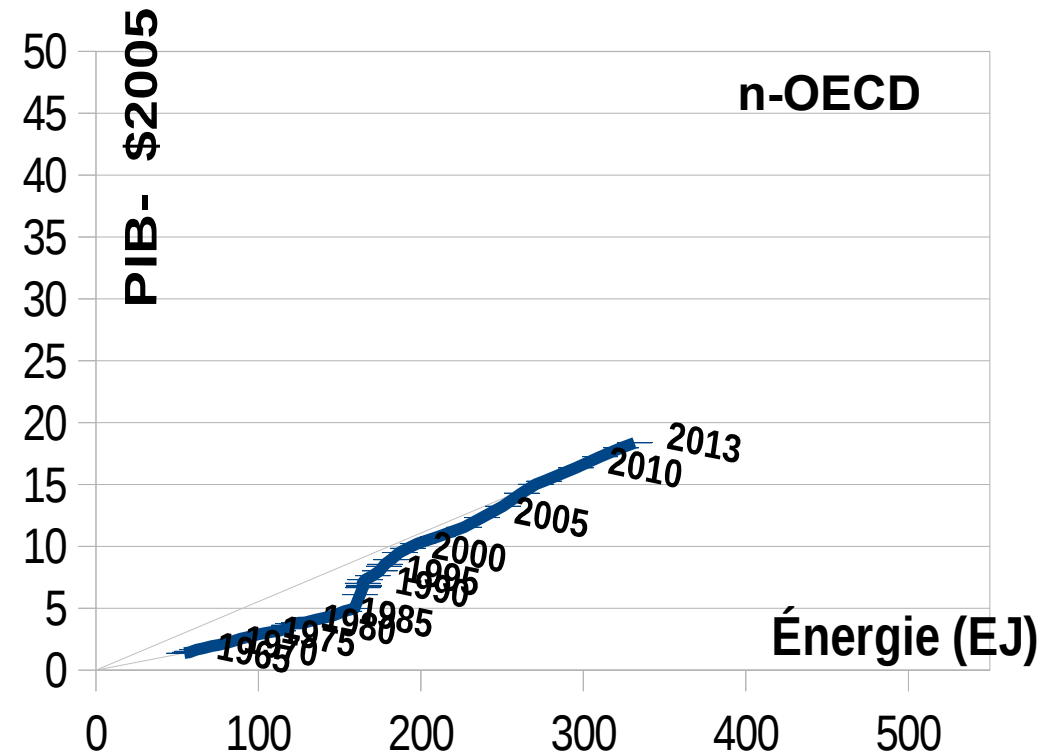
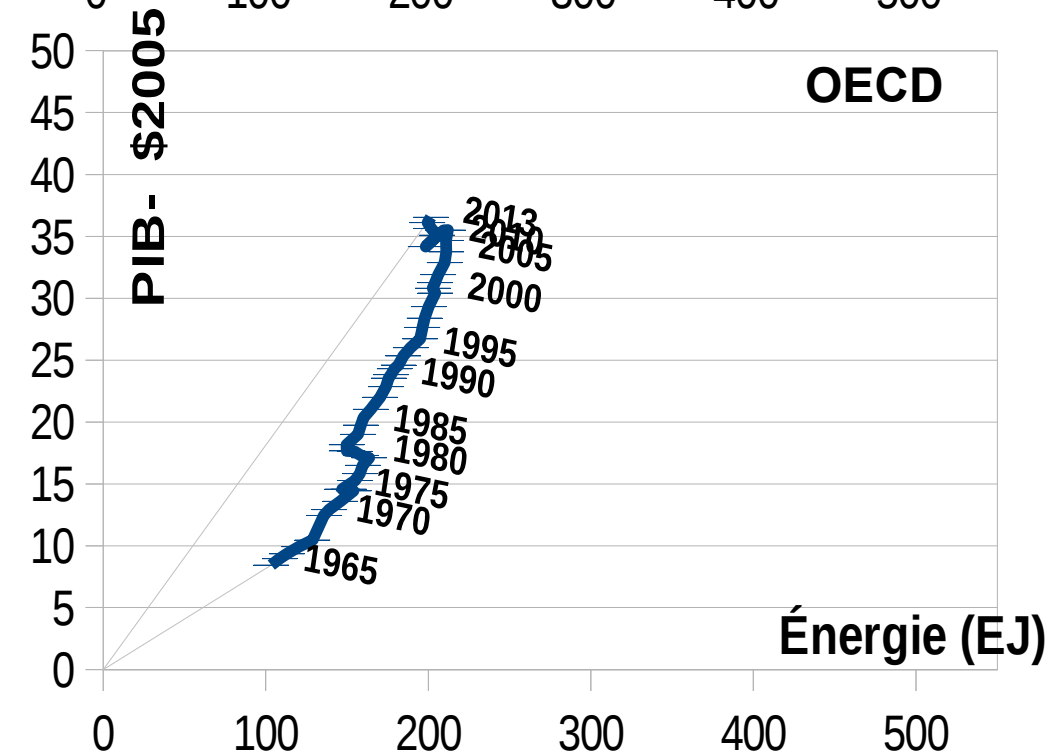
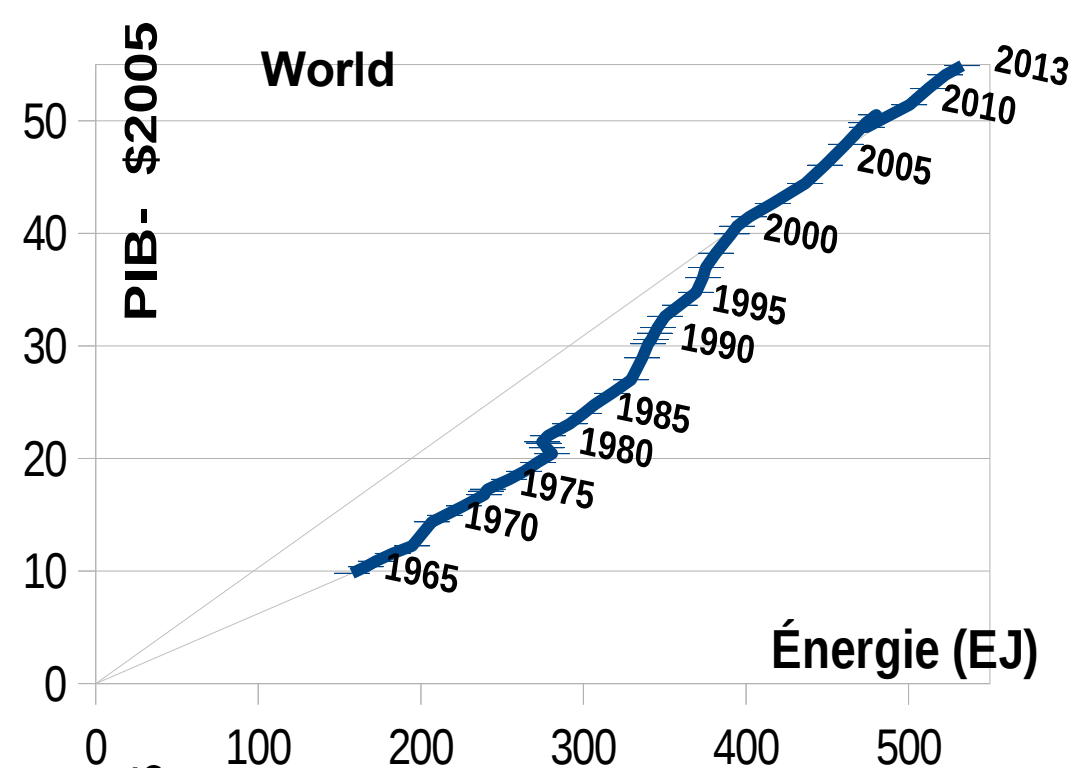
JEAN-MARC
JANCOVICI
**CHANGER
LE MONDE**
Tout un programme !



calmann-lévy

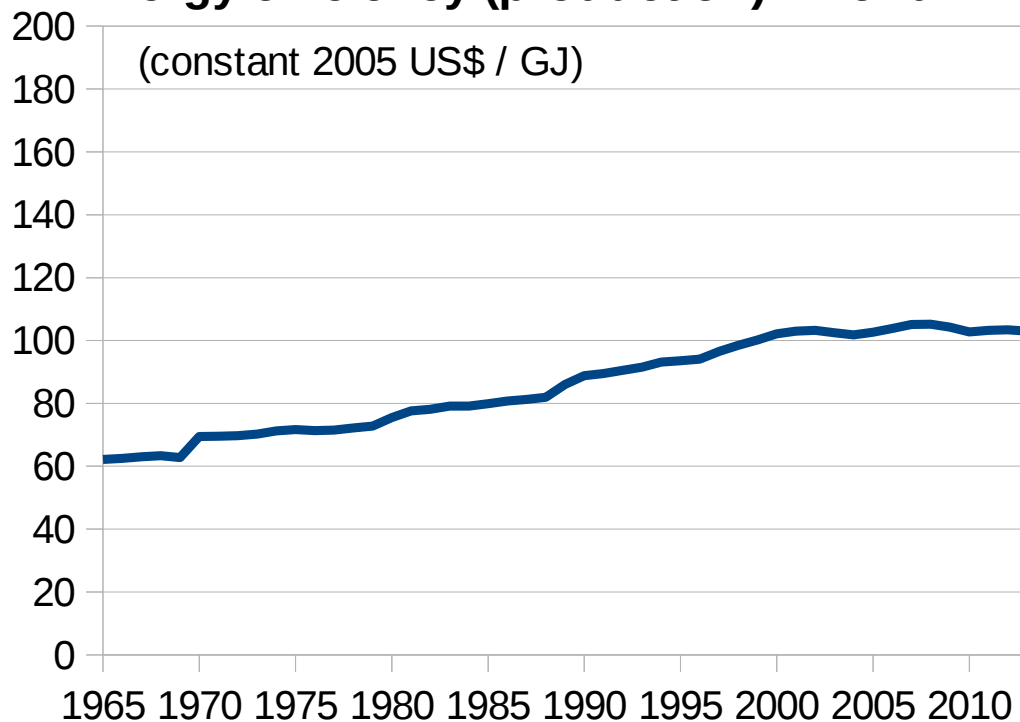
Changer le Monde – *Tout un programme !*, Jean-Marc Jancovici,
calmann-lévy 2011

Écarts régionaux



Energy efficiency (production) - World

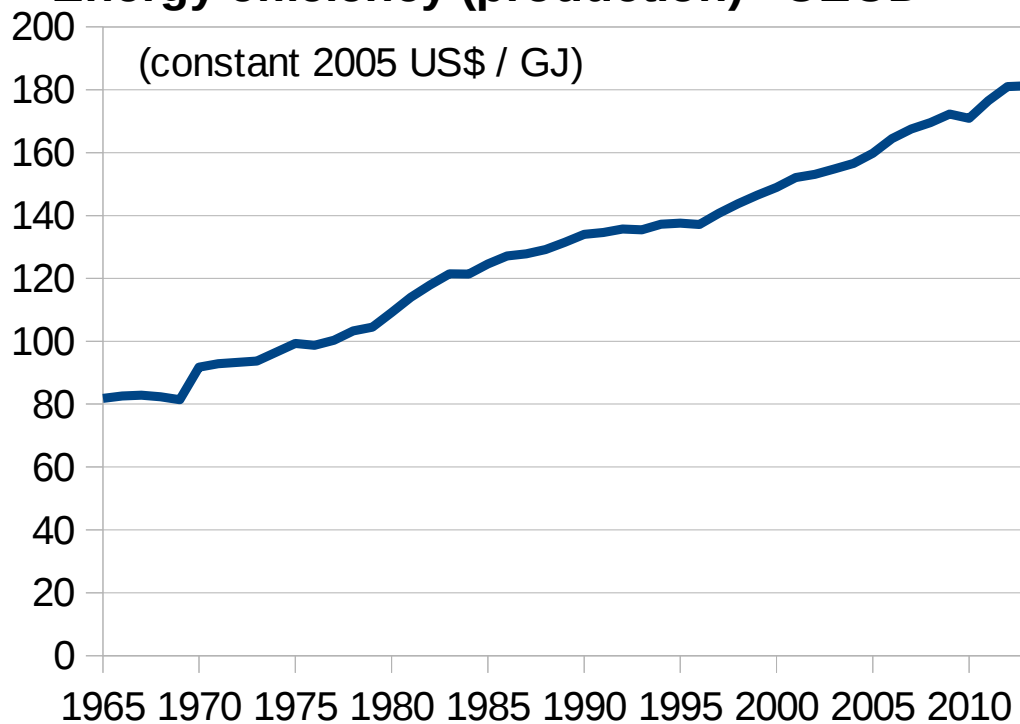
(constant 2005 US\$ / GJ)



Écarts
d'efficacité
énergétique

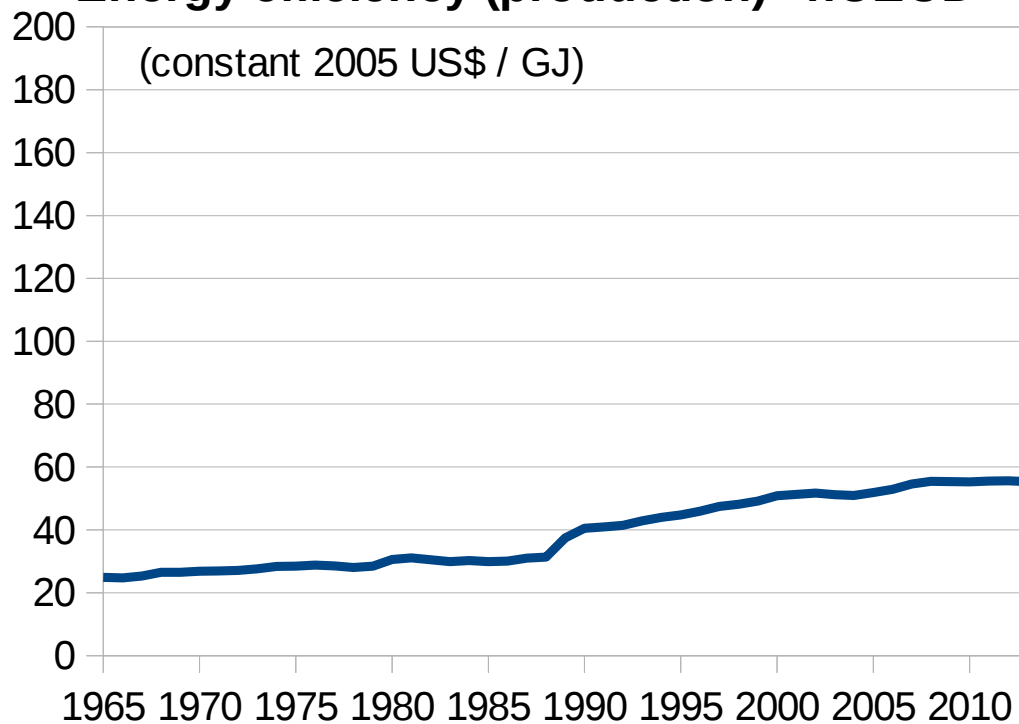
Energy efficiency (production) - OECD

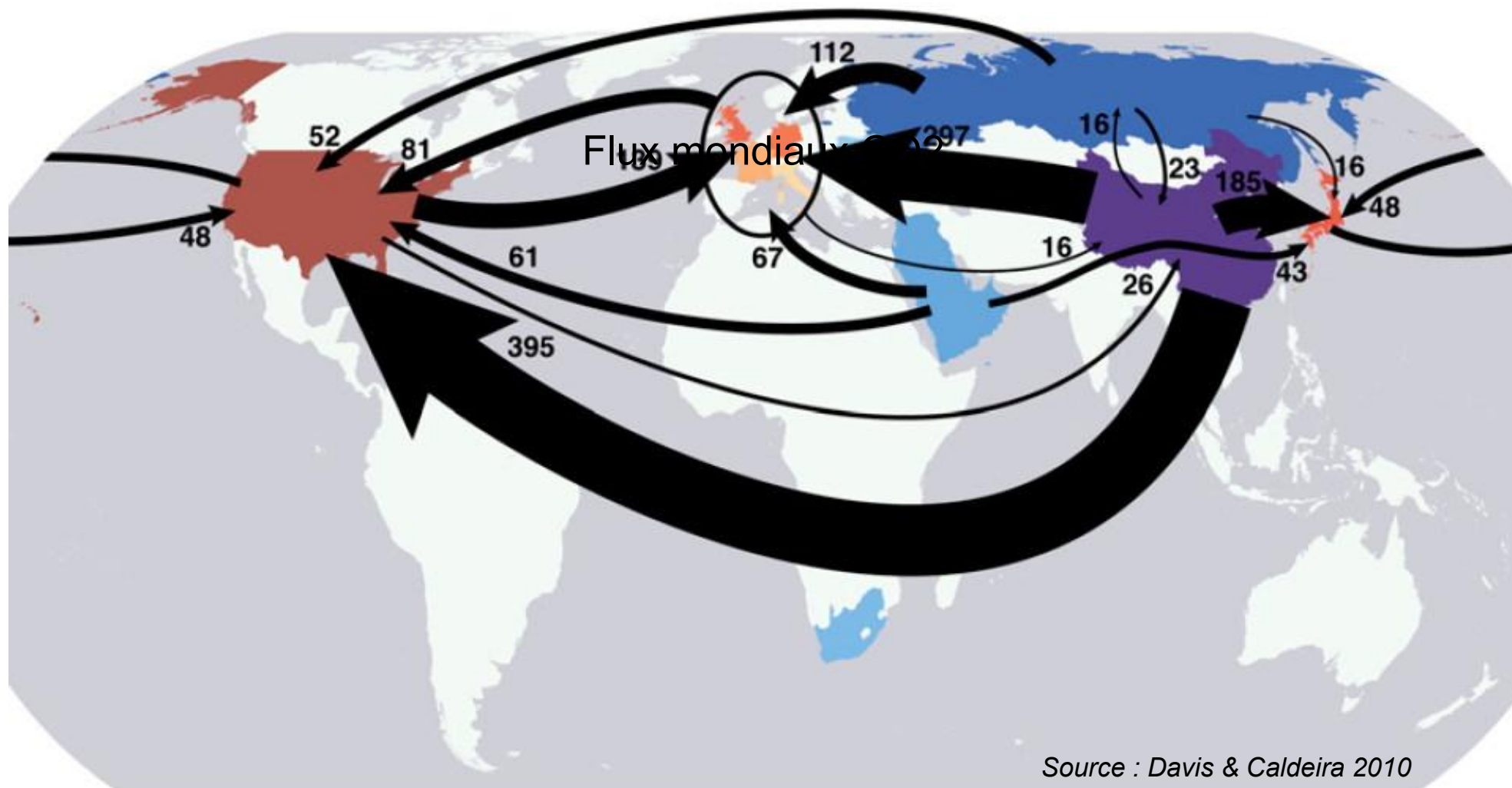
(constant 2005 US\$ / GJ)



Energy efficiency (production) - nOECD

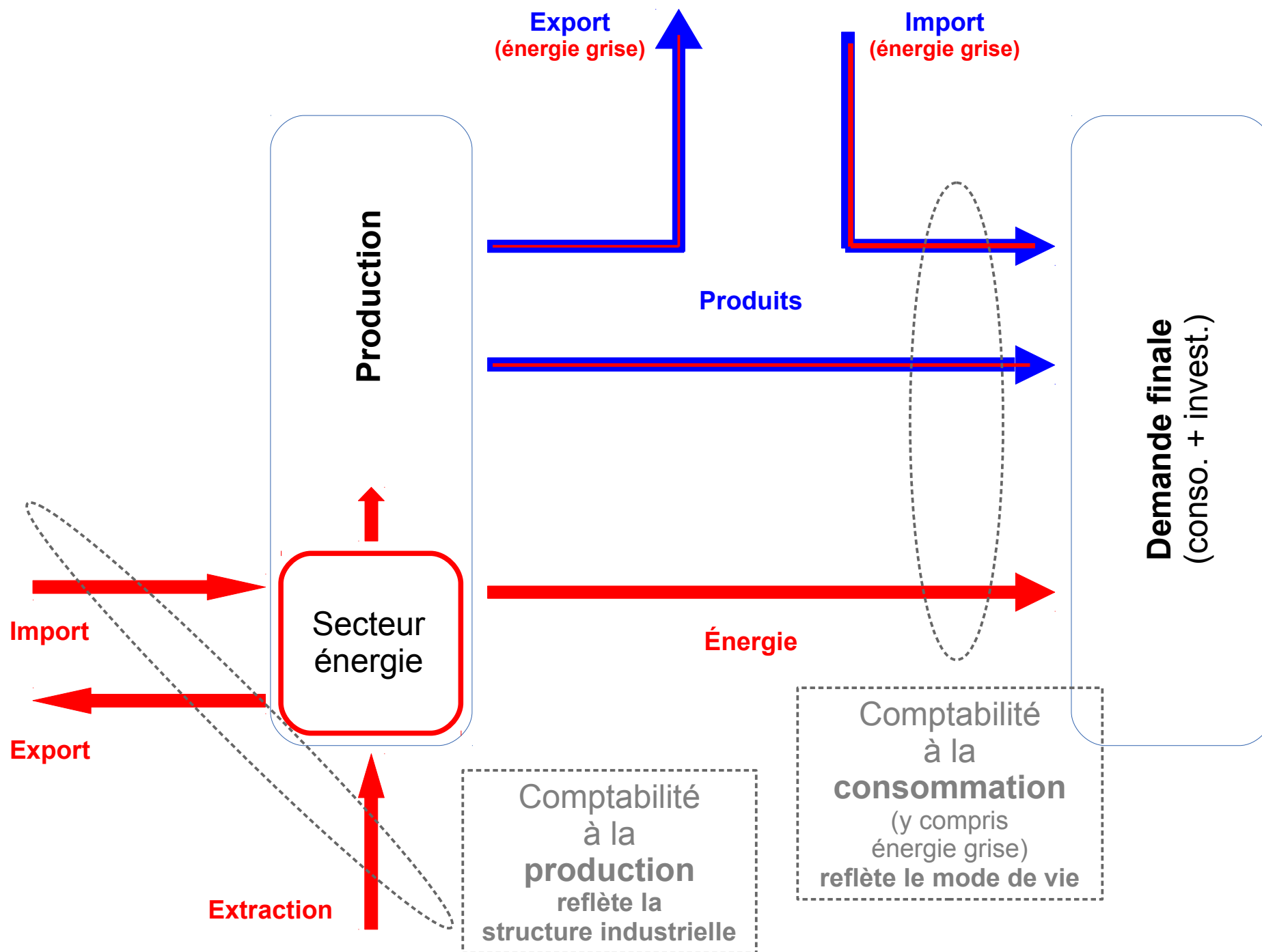
(constant 2005 US\$ / GJ)



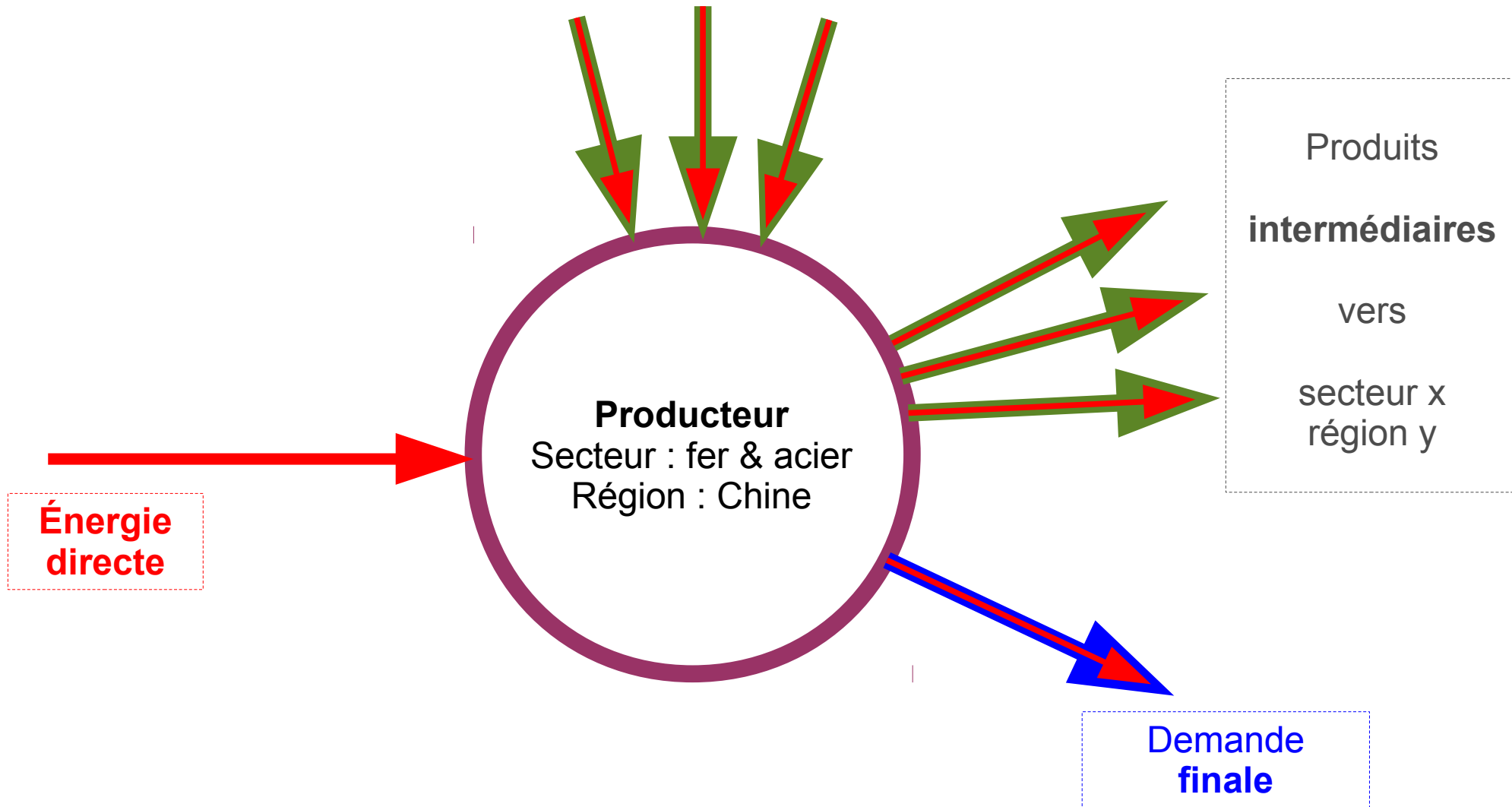


Largest interregional fluxes of emissions embodied in trade (Mt CO₂ / year)

	<u>Énergie</u>	<u>CO₂</u>
• UE 27	+ 21 %	+ 26 %
• Chine	- 20 %	- 23 %
• Belgique	+ 21 %	+ 47 %
• USA	+ 11 %	+ 12 %



Produits **intermédiaires**
depuis secteur x, région y



Base de données **GTAP**
129 régions x 57 secteurs = 7 353 nœuds

Couplage par pays

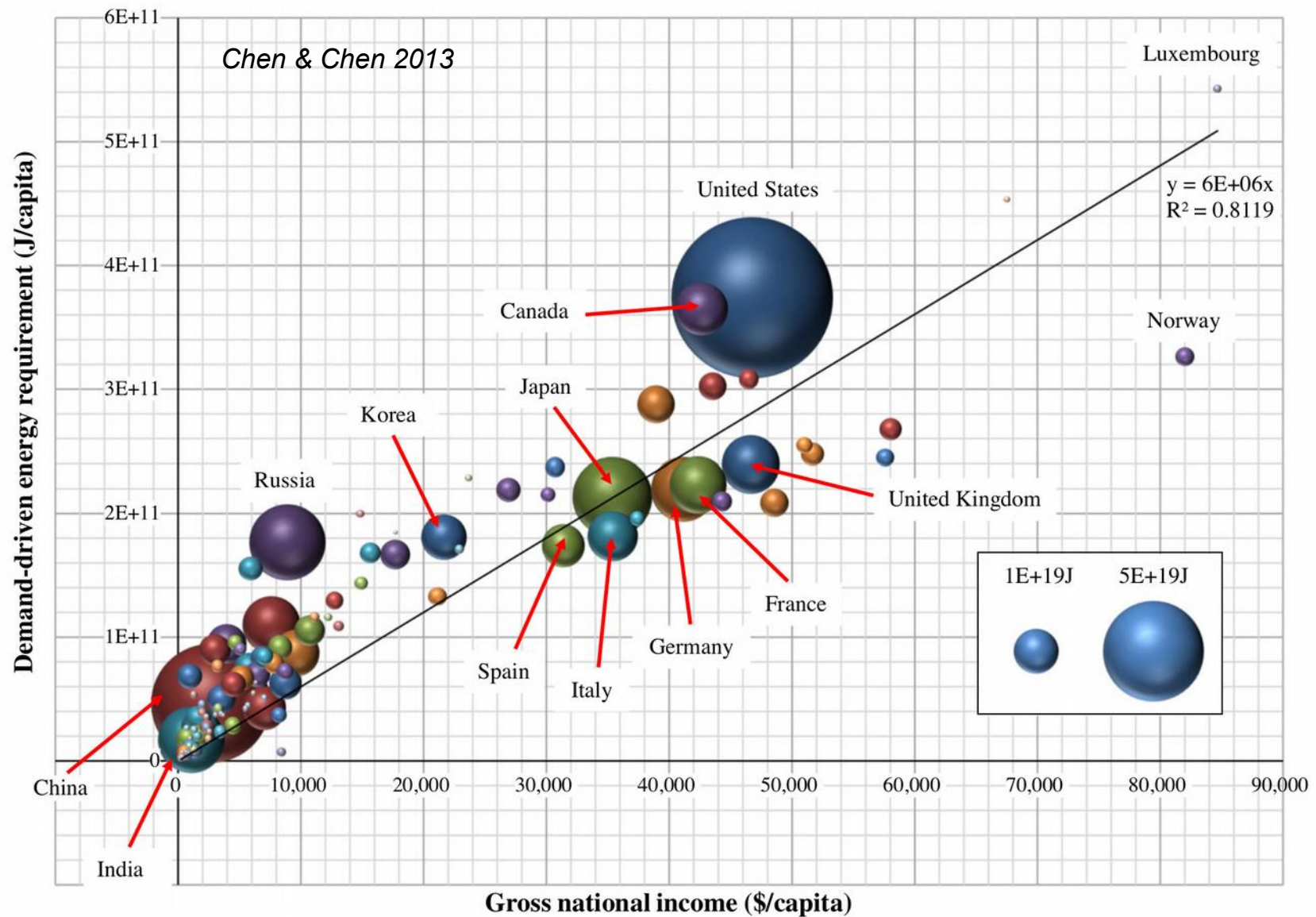


Fig. 4. Relationship between income level and demand-driven energy requirement of the 111 regions (exclude Rest of North America) in 2007.

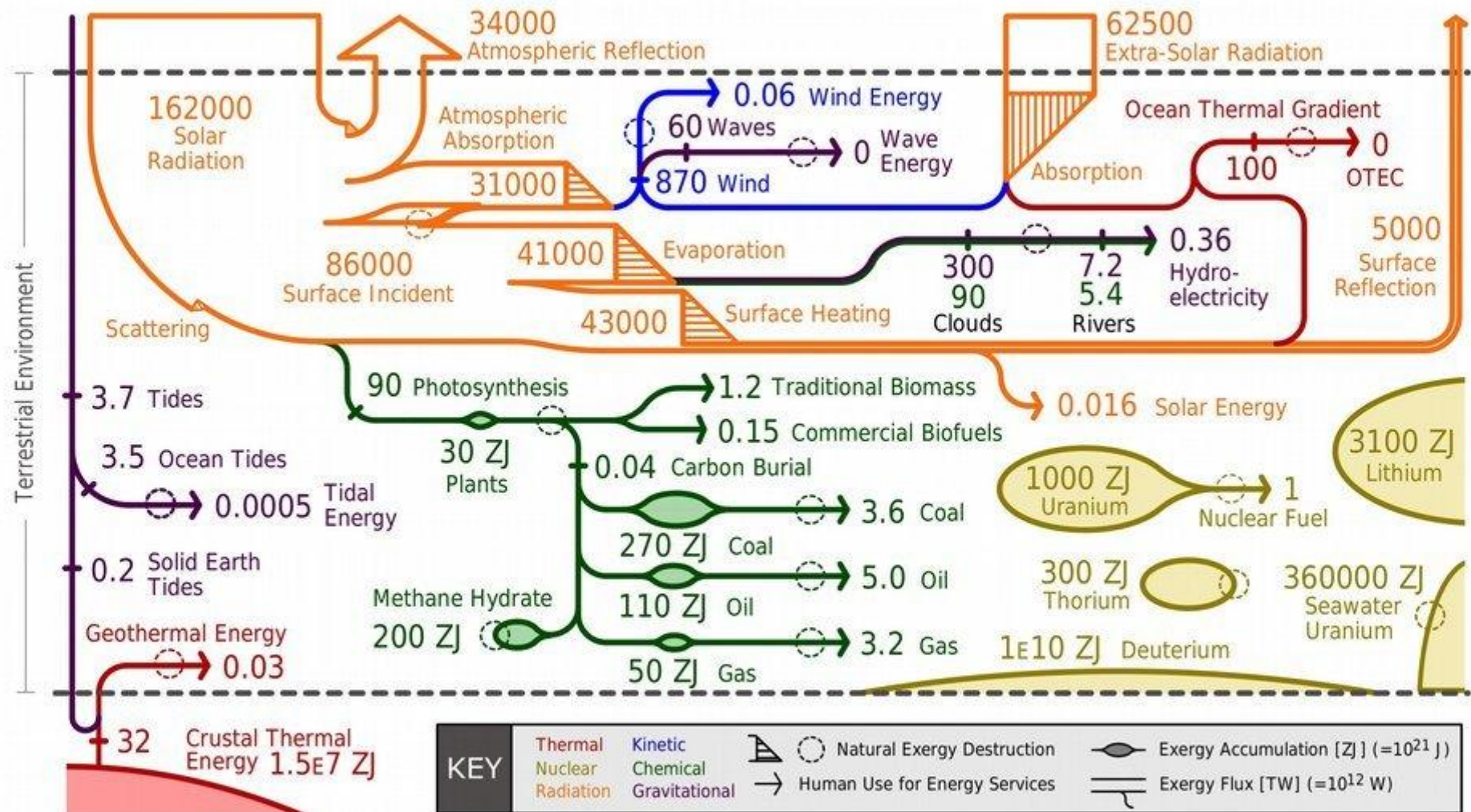
Couplage

- PIB et consommation d'énergie sont couplés
(dé)croissance de la consommation d'énergie

(dé)croissance du PIB
- Impression de découplage liée à la comptabilité
enjeux politiques
enjeux scientifiques (financement de la recherche)

Économie & énergie

- Économie et énergie, dépendance mutuelle
 - Le couplage
 - Les 2 comptabilités de l'énergie
- Mesure ou démesure ? Question de chiffres
 - Exemple de scénario « tout renouvelables »
- Limites physiques et (non) limites économiques
 - le modèle du monde
 - les modèles macro économiques
 - Substitution
 - Efficacité énergétique (et intensité énergétique)
- L'effet rebond
 - Effets micro économiques
 - Effets macro économiques



Exergy is the useful portion of energy that allows us to do work and perform energy services. We gather exergy from energy-carrying substances in the natural world we call energy resources. While energy is conserved, the exergetic portion can be destroyed when it undergoes an energy conversion. This diagram summarizes the exergy reservoirs and flows in our sphere of influence including their interconnections, conversions, and eventual natural or anthropogenic destruction. Because the choice of energy resource and the method of resource utilization have environmental consequences, knowing the full range of energy options available to our growing world population and economy may assist in efforts to decouple energy use from environmental damage.

Prepared by Wes Hermann and A.J. Simon

Global Climate and Energy Project at Stanford University (<http://gcep.stanford.edu>)

Ver. 1.1 © GCEP 2005, 2007

162000 TW → 1350 TW → 18 TW

0.81 Human food

thermodynamique & photoélectrique

World wind-water-sun (WWS)

*Plus guère capable de répondre par les progrès d'efficacité,
la technique répond le plus souvent par la taille.*

Table 4

Number of WWS power plants or devices needed to power the world and U.S. total energy demand in 2030 (11.5 and 1.8 TW, respectively, from Table 2), assuming a given partitioning of the demand among plants or devices. Also shown are the footprint and spacing areas required to power the world, as a percentage of the global land area, $1.446 \times 10^8 \text{ km}^2$. Derived from appendix A of Jacobson (2009).

Energy technology	Rated power of one plant or device (MW)	Percent of 2030 power demand met by plant/device	Number of plants or devices needed World	Footprint area (% of global land area)	Spacing area (% of global land area)	Number of plants or devices needed U.S.
Wind turbine	5	50	3.8 million	0.000033	1.17	590,000
Wave device	0.75	1	720,000	0.00026	0.013	110,000
Geothermal plant	100	4	5350	0.0013	0	830
Hydroelectric plant	1300	4	900 ^a	0.407 ^a	0	140 ^a
Tidal turbine	1	1	490,000	0.000098	0.0013	7600
Roof PV system	0.003	6	1.7 billion	0.042 ^b	0	265 million
Solar PV plant	300	14	40,000	0.097	0	6200
CSP plant	300	20	49,000	0.192	0	7600
Total		100		0.74	1.18	
Total new land				0.41 ^c	0.59 ^c	

^a About 70% of the hydroelectric plants are already in place. See Jacobson (2009) for a discussion of apportioning the hydroelectric footprint area by use of the reservoir.

^b The footprint area for rooftop solar PV does not represent an increase in land since the rooftops already exist and are not used for other purposes.

^c Assumes 50% of the wind is over water, wave and tidal are in water, 70% of hydroelectric is already in place, and rooftop solar does not require new land.

M.Z. Jacobson, M.A. Delucchi / Energy Policy 39 (2011) 1154–1169

Application à la Belgique

WWS - Belgique

Pop	11 195 138	0,16%
GDP (\$ int. 2005)	407 620 866 581	0,74%
Wind turbine	47 033	éoliennes (3MW)
Wave device	5 347	type PELAMIS (0,75MW)
Geothermal plant	40	géothermique (100 MW)
Hydroelectric plant	7	hydroélectrique (1,3 GW)
Tidal turbine	3 032	type SEAGEN (1,2 MW)
Roof PV system		
Solar PV plant	1 269 902 592	m ² de photovoltaïque (10m ² /kW)
CSP plant	5 458	type GEMASOLAR (20 MW)

Éoliennes

Macarthur Wind Farm (2012) – Australie

Superficie : 55 km²
Puissance : 420 MW
(140 x 3 MW)
Densité : 7,6 MW/km²
Diamètre : 112 m
Hauteur mat : 100 m

47 033 x 3 MW

**S utile : 50 %
=> 9,2 MW/km²**

Wave device – Énergie de la houle

PELAMIS (2007) - Écosse

Longueur : 120 m
Diamètre : 3,5 m
Puissance : 0,75 MW

5 347 x 0,75 MW

Géothermie

Centrale géothermique de Nesjavellir (1990) Islande

Puiss. élec. : 120 MWe
Puiss. therm. : 300 MWth

40 x 100 MW

Hydroélectricité

Barrage de Keban (1975) – Turquie

Hauteur : 207 m
Longueur : 1 100 m
Retenue : 675 km²
Puissance : 1,330 GW

7 x 1,3 GW



Tidal power - Énergie marémotrice

SEAGEN (2008) – Irlande du Nord

Diamètre : 2 x 16 m

Puissance : 2 x 0,6 MW



3 032 x 1,2 MW

Photovoltaïque

Rovigo (2010) – Italie (Vénétie)



Terrain : 28 000 m²
(2,8 ha)

Puissance : 70 MW

1 269 902 592 m²

ou

113 m²/hab.

ou

11 x tot. toitures

ou

1 814 x 70 MW

Solaire à concentration

GEMASOLAR (2011) – Espagne (Séville)



Tour : 140 m
Terrain : 185 ha
Puissance : 20 MW

5 458 x 20 MW

Application à la Belgique

WWS - Belgique

- Délocalisation ? (Sahara, ...)
 - Analyse géopolitique
 - Production, entretien et renouvellement des équipements et infrastructures ?
 - augmentation de l'ampleur du défi vu la distance
 - augmentation de la part des revenus (et donc du temps d'activité rémunérée) à y consacrer

Économie & énergie

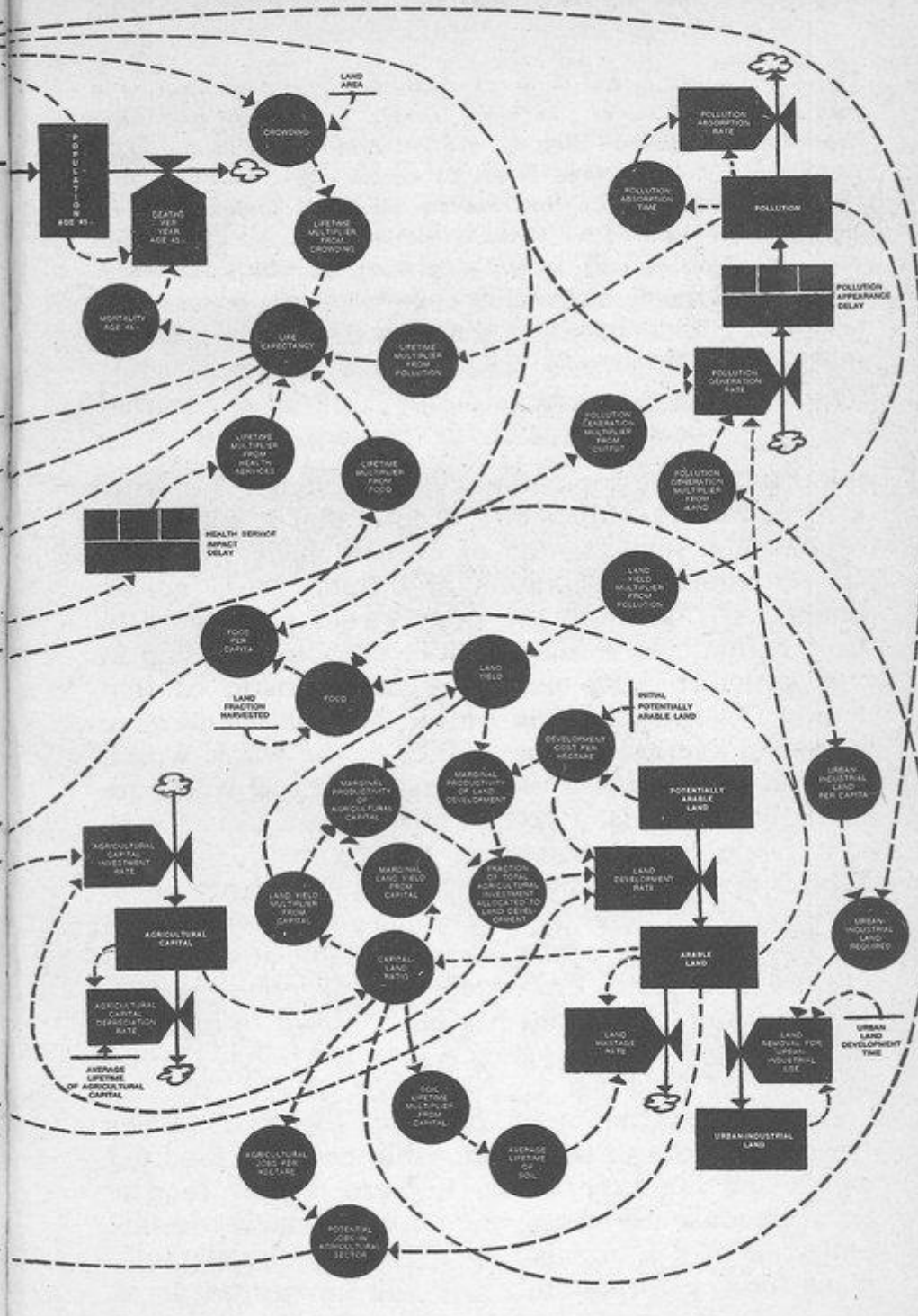
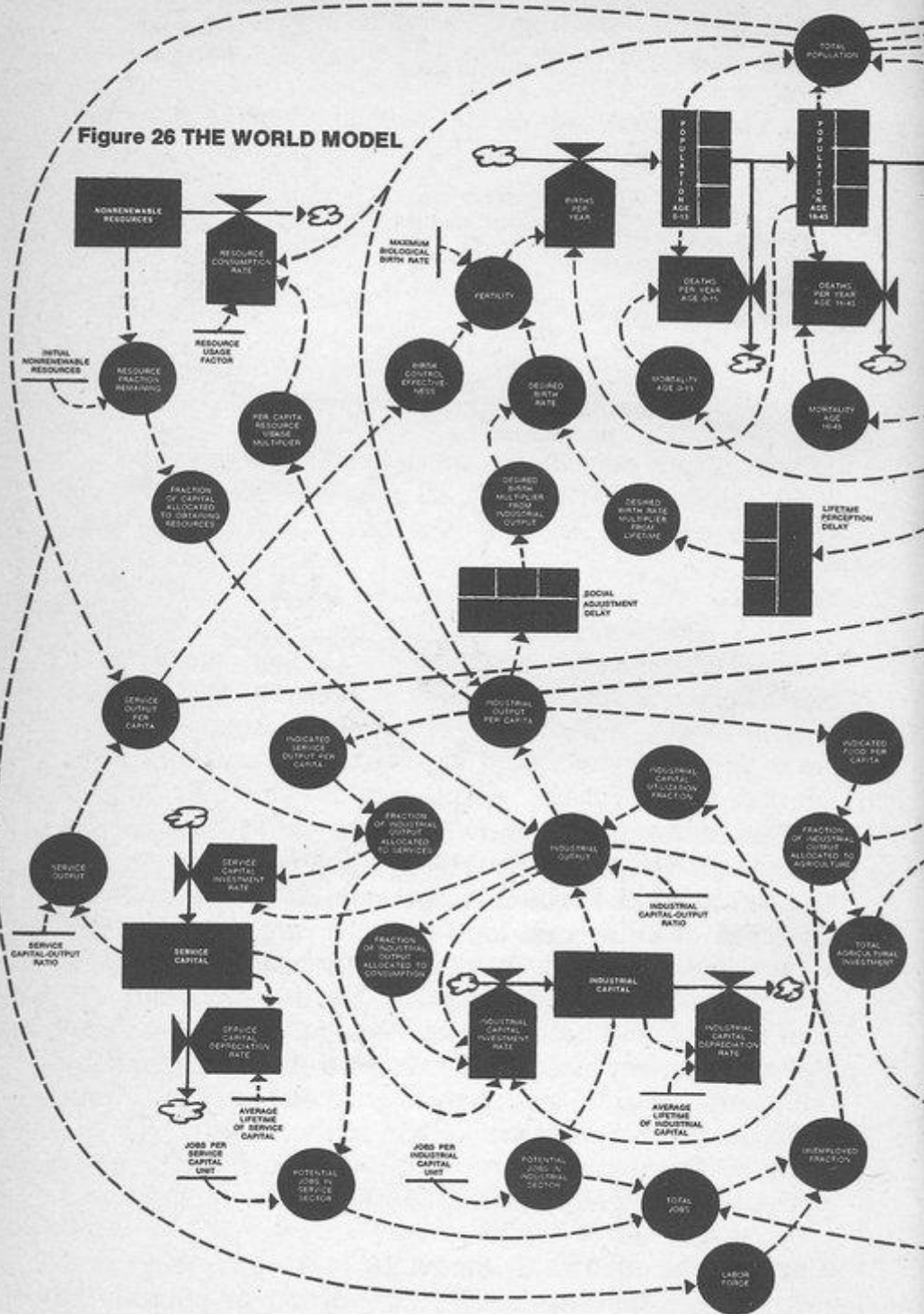
- Économie et énergie, dépendance mutuelle
 - Le couplage
 - Les 2 comptabilités de l'énergie
- Mesure ou démesure ? Question de chiffres
 - Exemple de scénario « tout renouvelables »
- Limites physiques et (non) limites économiques
 - le modèle du monde
 - les modèles macro économiques
 - Substitution
 - Efficacité énergétique (et intensité énergétique)
- L'effet rebond
 - Effets micro économiques
 - Effets macro économiques

Historique du débat sur les limites

- **1972** – Limits to growth (MIT, Club of Rome) Modèle du monde selon les méthodes de la dynamique des systèmes. La croissance économique provoque un overshoot suivi d'un effondrement à cause de l'épuisement des **ressources naturelles** et de la hausse de la **pollution**.
- **1974** – Réponse des économistes (DHSS in *Review of economic studies*) : modèle inapproprié. Selon les modèles économiques classiques, des prix croissants entraîneront les progrès technologiques nécessaires : l'**efficacité énergétique** d'une part, la **substitution** d'autre part.
- **2015** – La controverse reste pratiquement identique, les économistes néoclassiques (dominants dans les sphères économique et politique) d'un côté, les économistes écologiques et les physiciens de l'autre. Peu (très, trop) de débat scientifique contradictoire.

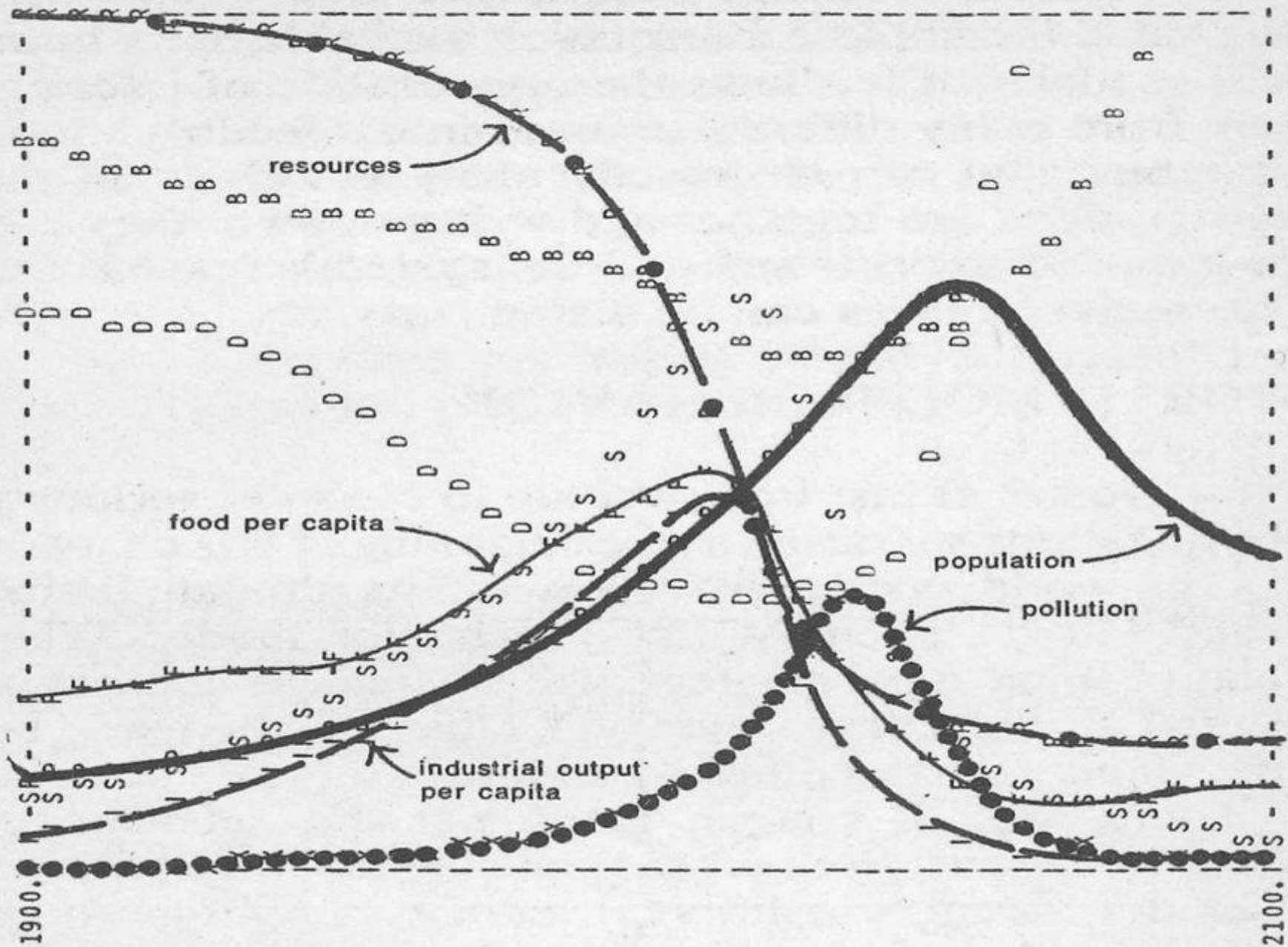
Le débat sur la réalité du réchauffement climatique étant pratiquement clos, celui sur la croissance économique face aux limites est aujourd'hui le débat scientifique le plus important et le plus urgent.

Figure 26 THE WORLD MODEL

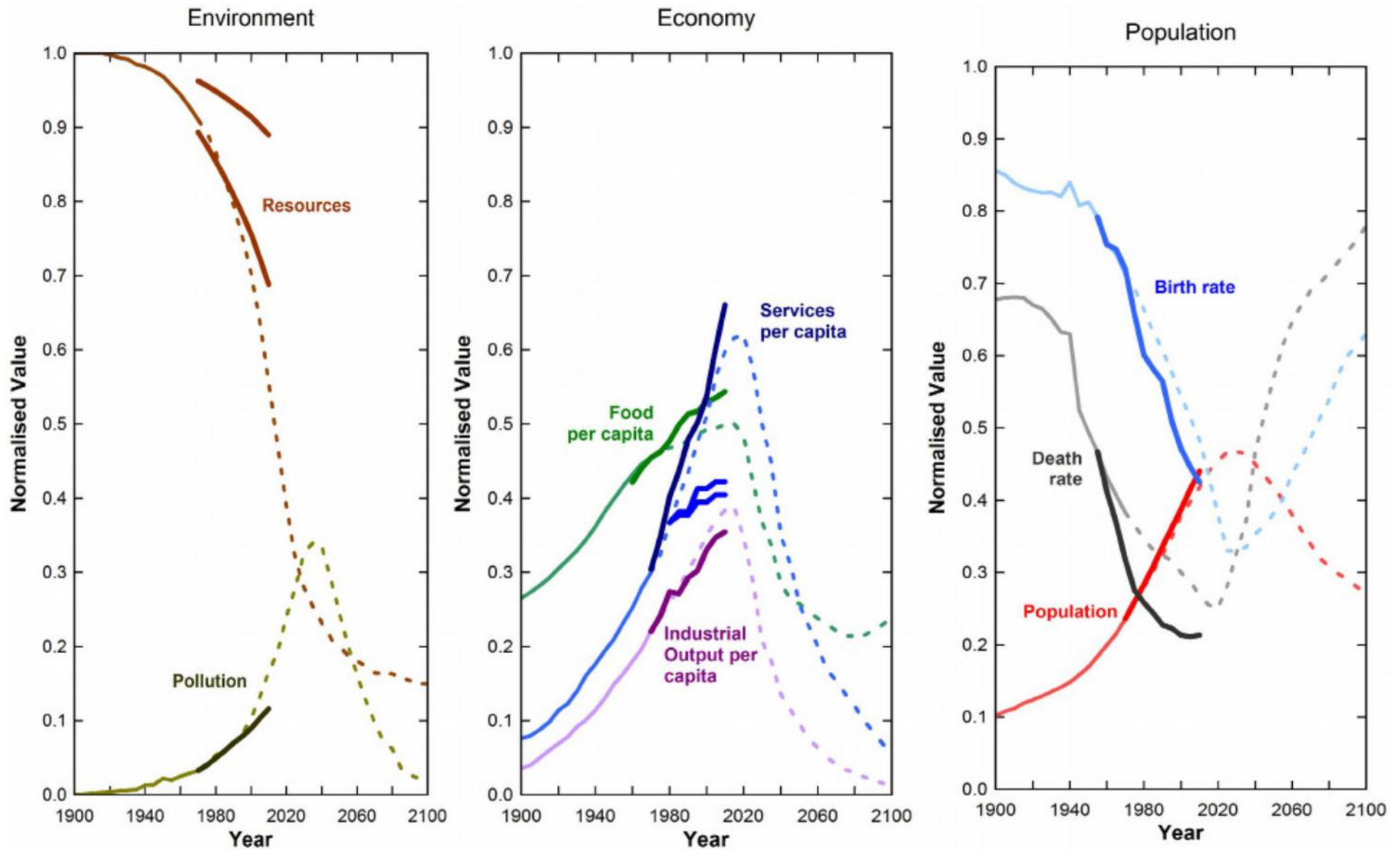


Limites de la croissance

Figure 35 WORLD MODEL STANDARD RUN



Comparison 1970 - 2014



Is Global Collapse Imminent?

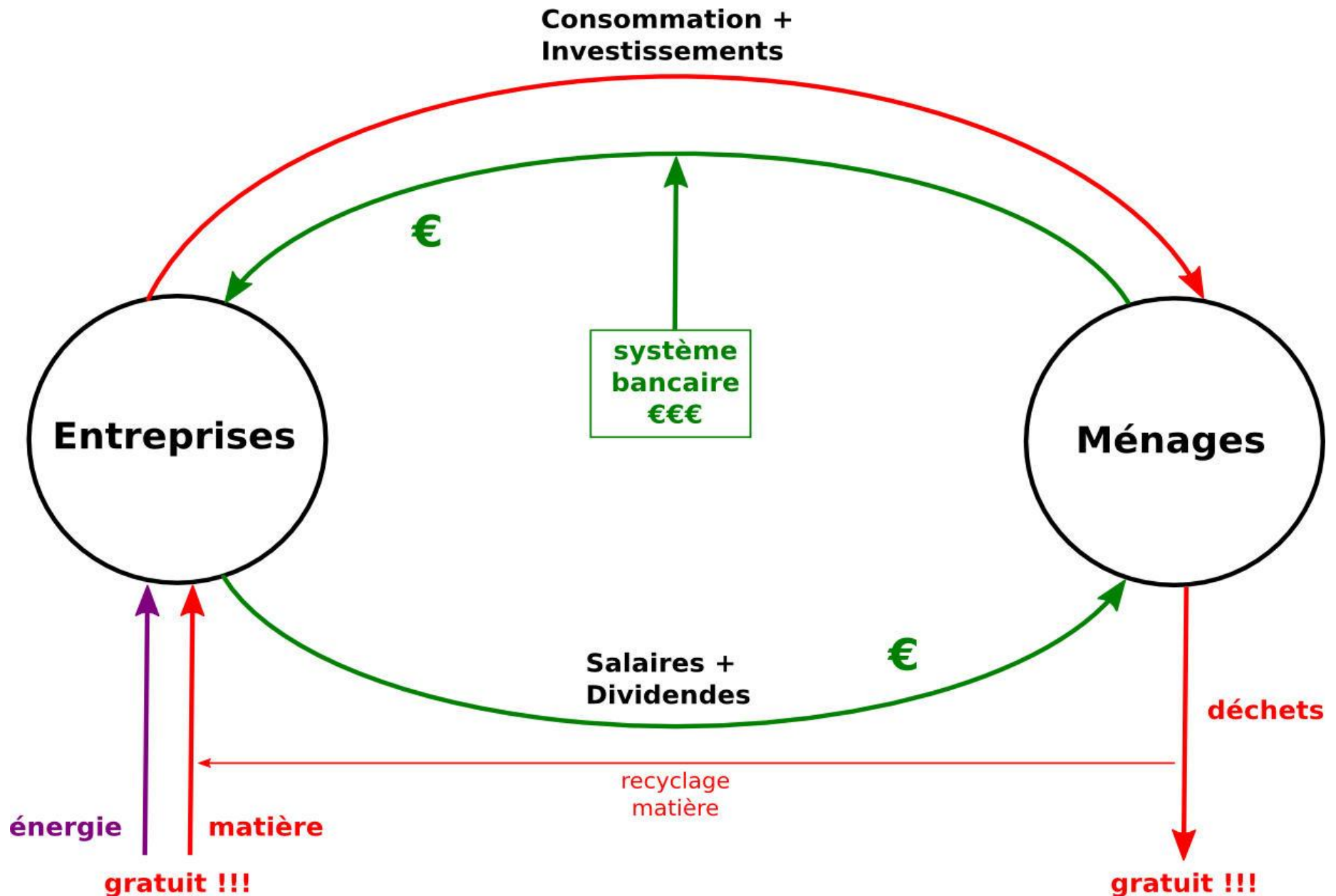
An Updated Comparison of *The Limits to Growth* with Historical Data

Turner 2014

La machinerie économique

- circuit monétaire
- circuit matériel

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

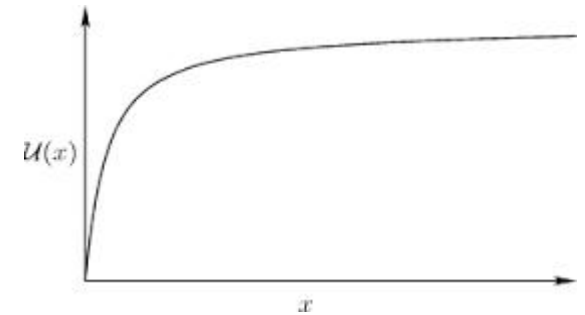


Modèle macro-économique

a) Consommateur : **rationalité individuelle** **maximalisatrice**

$$\text{Max} \sum_{t=1}^T \beta^t U(C(t))$$

$$\text{Max} \sum_{t=1}^T \beta^t \log(C(t))$$



b) Producteur : **optimisation**

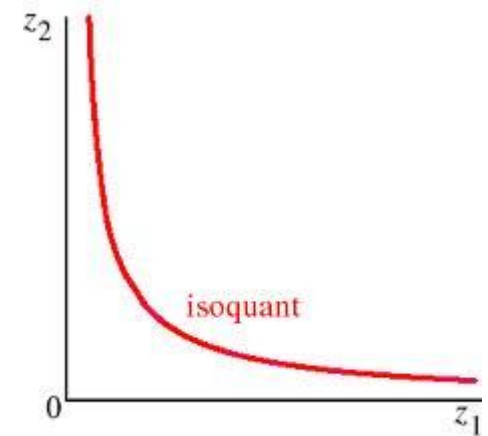
$$Y = A \cdot (a \cdot K^\gamma + (1-a) \cdot L^\gamma)^{1/\gamma}$$

$$Y = [a(K^\alpha \cdot L^{1-\alpha})^\gamma + b(E^\beta \cdot N^{1-\beta})^\gamma]^{1/\gamma}$$

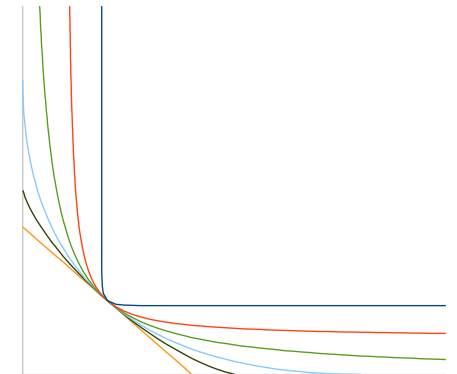
$$Y = C + I$$

$$\dot{K} = I - \delta K$$

$$\gamma = \frac{\sigma - 1}{\sigma}$$



- Base de la grande majorité des modèles macroéconomiques
- Différentes formulations du progrès technologiques mais toujours en croissance exponentielle
- Modèles complexes : découpage en secteurs industriels et régions géographiques et équilibre général



Économie néoclassique

L'analyse physique ne tient pas compte des mécanismes de prix !

Rareté => augmentation du prix =>

- 1) **Substitution** (produit de remplacement)
- 2) **Innovation** (production plus efficace)

Arguments :

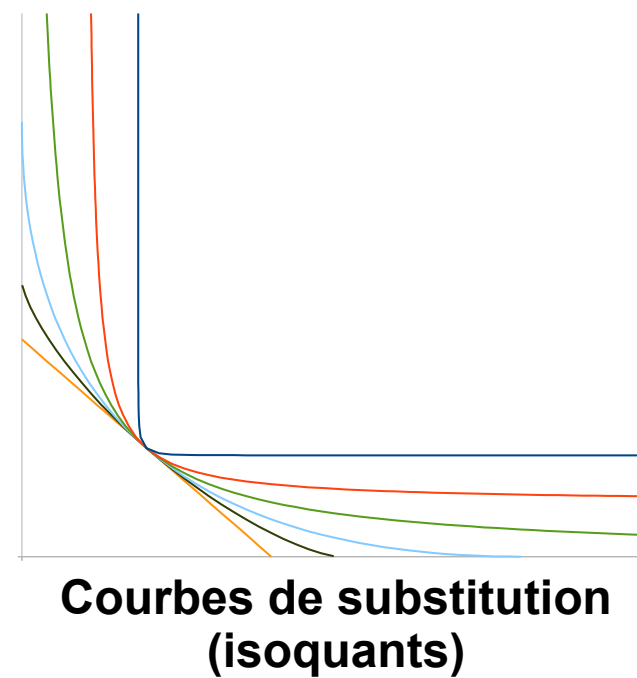
- Il faut avoir confiance dans le génie humain !
- Les cassandres se trompent, chaque fois qu'il y a eu un problème, on a trouvé une solution.

Substitution

Tout est-il substituable ? Et jusqu'à quel point ?

En simplifiant,

- l'économie néoclassique considère que pratiquement tout est substituable (pour peu que l'on ne rechigne pas devant l'importance de la compensation) et donc que le capital naturel peut être remplacé par du capital technique et du capital humain (les "savoirs"),
- l'économie écologique (et la physique) considère que le potentiel de substitution peut être (très) limité voire pratiquement nul dans certains cas et que le capital naturel est pour une grande part irremplaçable.
- On retrouve ainsi l'opposition entre **Soutenabilité faible - soutenabilité forte** (weak vs. strong sustainability)

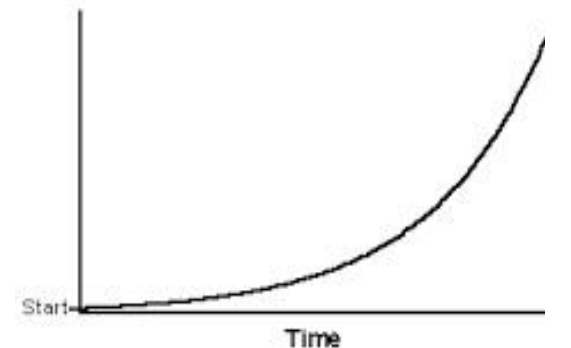


Progrès technologique

- 1) Le progrès technologique, fondement de la croissance économique ! (par accumulation du capital physique et humain)
- 2) Le progrès technique indéfini : **limité ou illimité** ? (converge ou diverge) ?

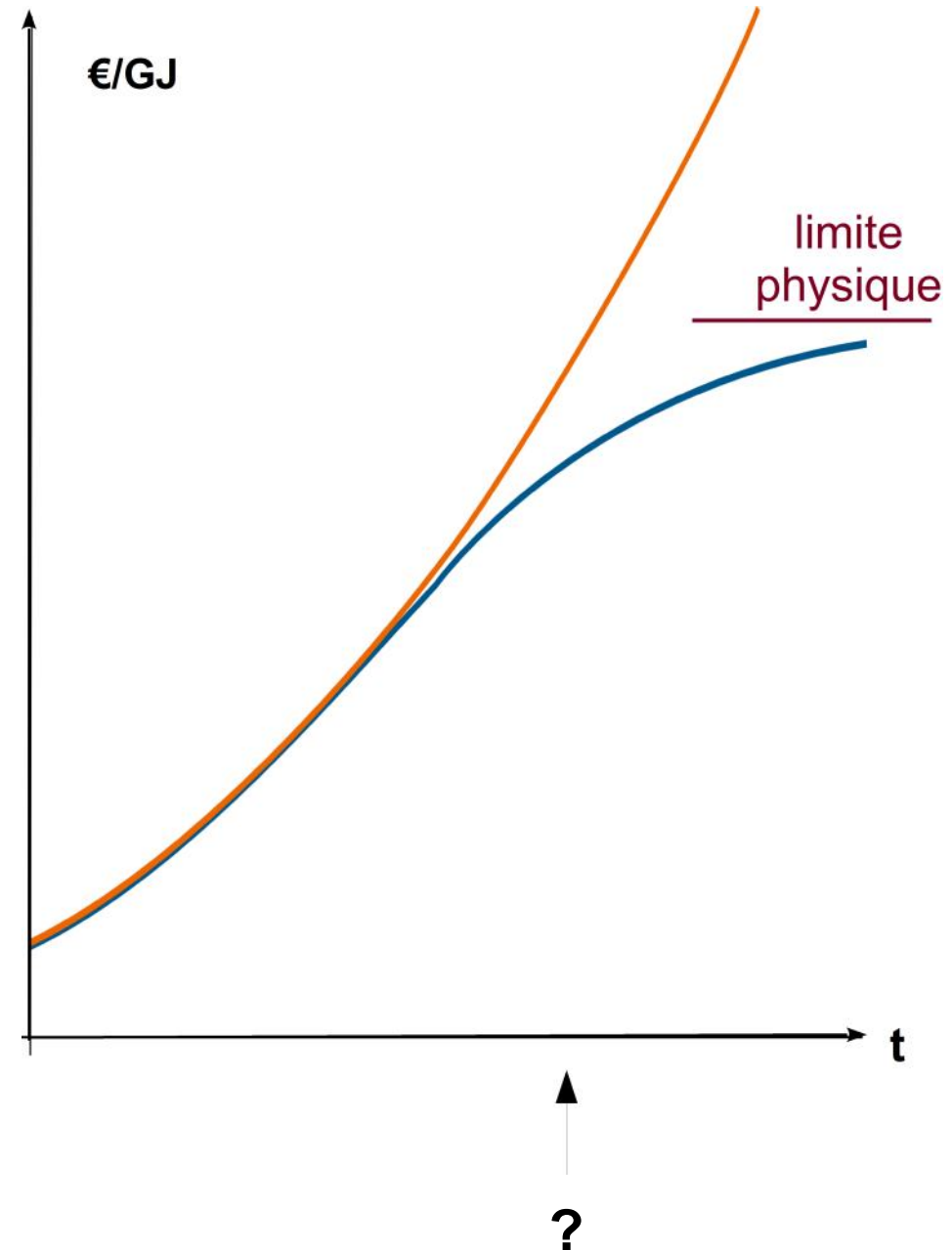
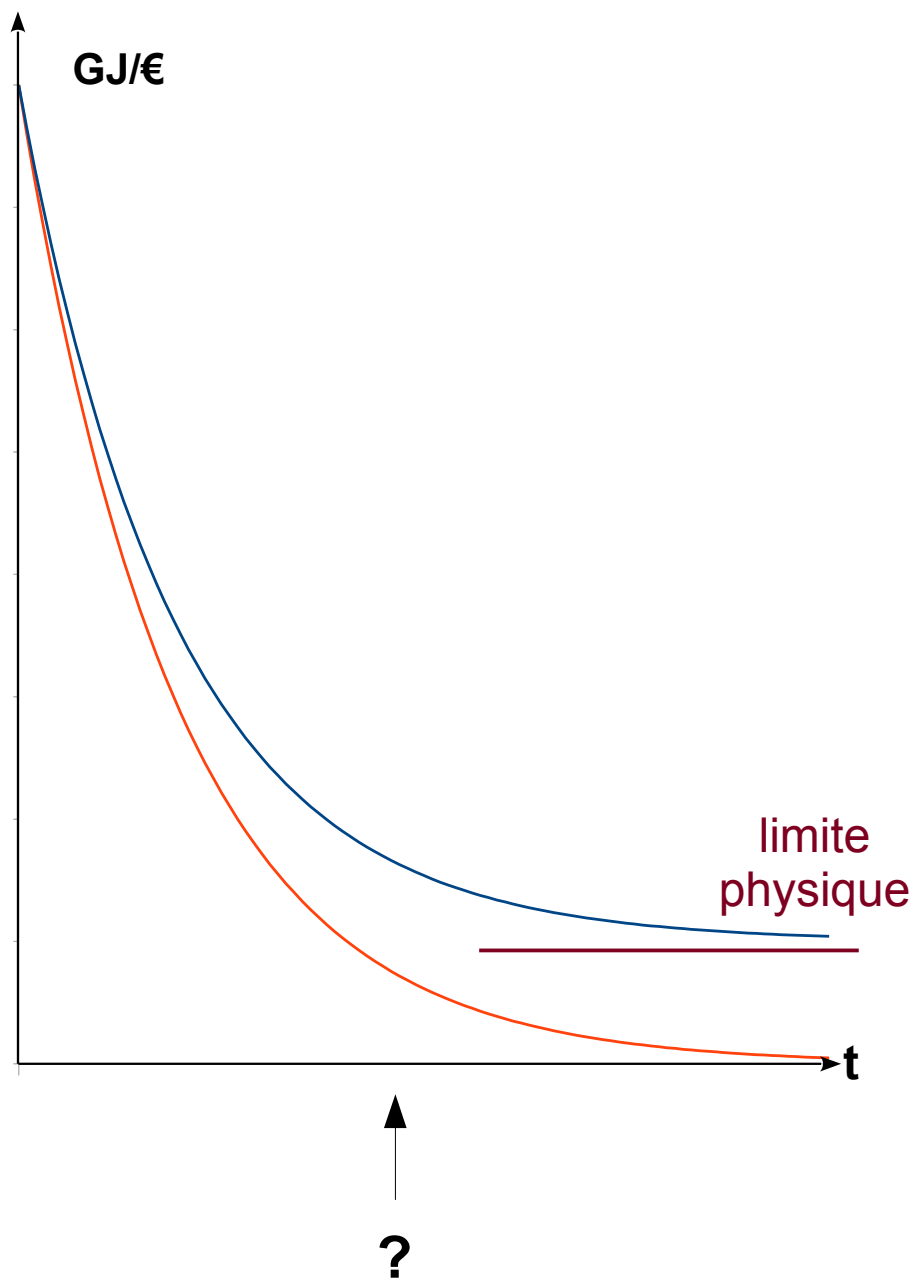
En simplifiant,

- l'économie néoclassique considère que le progrès technologique suit une exponentielle croissante (pour peu que la volonté politique et le *laissez faire* économique soient présents) et donc que l'on peut toujours produire plus avec moins de ressources naturelles,
- l'économie écologique (et la physique) considère que le progrès technologique est limité par les lois de la physique.



Croissance économique exponentielle

Intensité énergétique & efficacité énergétique



Théories de la croissance

- La "méthode orthodoxe" contient la croissance (exponentielle) dans son axiomatique, la méthode "dynamique des systèmes" rend compte des actions et réactions.
- Ce sont l'orthodoxie de niveau 1 (rationalité individuelle maximalisatrice) et celle de niveau 2 (substitution et efficacité exponentielle) qui définissent les politiques économiques contemporaine.
- La "la théorie des limites" (i.e. l'économie écologique) n'est pas (est peu) enseignée en contraste avec la "théorie économique orthodoxe" assurant de facto la position dominante de cette dernière dans la politique et la société.

Économie & énergie

- Économie et énergie, dépendance mutuelle
 - Le couplage
 - Les 2 comptabilités de l'énergie
- Mesure ou démesure ? Question de chiffres
 - Exemple de scénario « tout renouvelables »
- Limites physiques et (non) limites économiques
 - le modèle du monde
 - les modèles macro économiques
 - Substitution
 - Efficacité énergétique (et intensité énergétique)
- L'effet rebond
 - Effets micro économiques
 - Effets macro économiques

Jevons paradox

W.S. JEVONS 1835 - 1882



Effet rebond ou paradoxe de Jevons ou postulat de Khazoom-Brookes

Faire plus avec moins !

(recette favorite des environnementalistes, des politiques et des ingénieurs)

Possible mais limité (par les lois de la physique)

Historique :

Thomas Newcomen → James Watt (transition vers 1770)

The coal question (1865)

Micro

Effet direct : 10 – 30 % (GIEC 2014)

Effet de revenu : transfert de consommation

Macro

Effet de prix : opportunité d'achat

Effets macroéconomiques (innovation, etc.)

Confrontation des intuitions aux observations...

Conclusion : les faits

