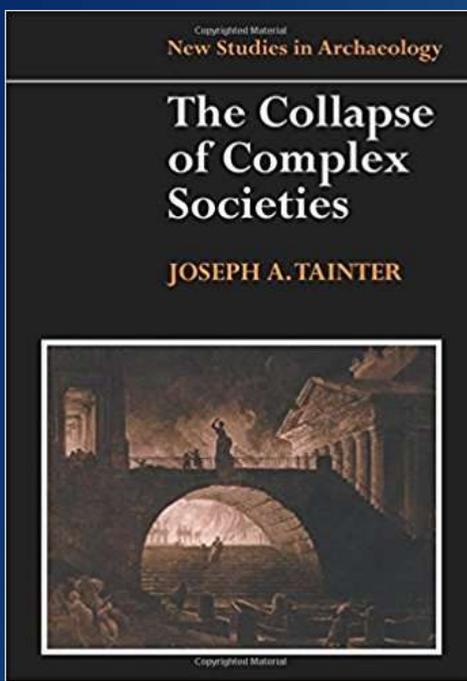


# La collapsologie

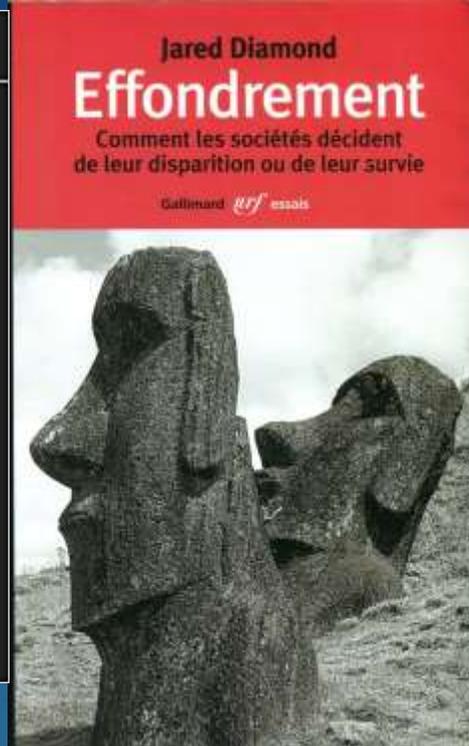
ÉTUDE DE L'EFFONDREMENT DE  
LA SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE



(Collabi, Collapsus, To collapse =  
s'effondrer)



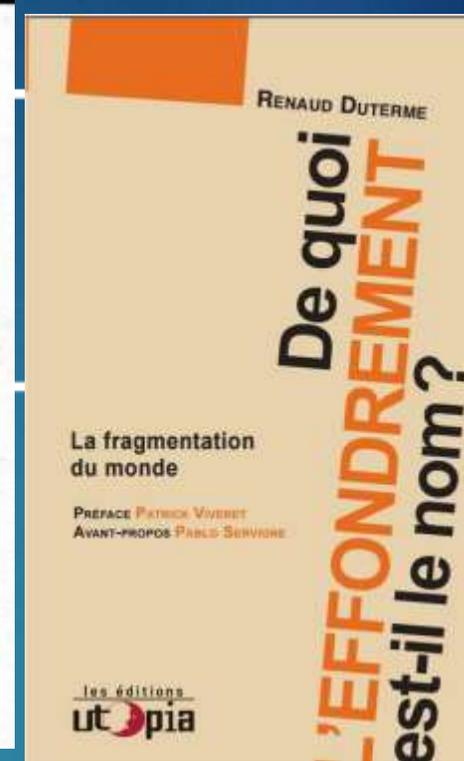
Joseph Tainter 2003



Jared Diamond 2006



Servigne/Stevens 2015



R. Duterme 2017



Paul Jorion 2018

## EXTRAITS VIDEOS

« *Le crash pétrolier : le réveil sera cruel* ». Réalisateur Ray McCormack et journaliste Basil Gelpke. Diffusé sur Arte en 2017, réalisé en 2006.

Jean-Marc Jancovici,  
« *A quand la rupture énergétique ?* », Cité des sciences novembre 2017

# Jared Diamond

« *Effondrement* » Comment les sociétés décident de leur disparition ou de leur survie

- ▶ L'effondrement une notion arbitraire
- ▶ « Réduction drastique de la population humaine et/ou de la complexité politique, économique et sociale »
  - ▶ Cités Mayas (Mexique, Amérique centrale)
  - ▶ Sociétés Moche et Tiahunaco (Amérique du sud)
  - ▶ Grèce Mycénienne et Crète minoenne (Europe)
  - ▶ Angkor (Asie)
  - ▶ Île de Pâques (Océanie)
  - ▶ Groenland Viking

# Les processus mis en cause par J. Diamond

- ▶ Déforestation
- ▶ Problèmes liés au sol : érosion, salinisation, perte de fertilité
- ▶ gestion de l'eau
- ▶ chasse excessive
- ▶ pêche excessive
- ▶ introduction d'espèces allogènes
- ▶ croissance démographique

# Processus à ajouter pour nos sociétés aujourd'hui selon J. Diamond

- ▶ Changement climatique
- ▶ Emissions de produits toxiques dans l'environnement
- ▶ **pénuries d'énergie**
- ▶ utilisation maximale de la capacité photosynthétique de la terre

# Pas la fin du monde

- ▶ L'effondrement n'est pas un scénario de fin du monde avec extinction de l'espèce humaine
- ▶ C'est (tout de même !):
  - ▶ Une baisse significative du niveau de vie
  - ▶ Le risque de disparition de valeurs « fondamentales »
  - ▶ Des guerres engendrées par l'insuffisance de ressources naturelles

# Paul Jorion

« A quoi bon penser à l'heure du grand collapse »  
(a annoncé la crise de 2008)

- ▶ Le risque systémique
  - ▶ réaction en chaîne qui finit par remettre en cause l'intégralité du système dont il fait partie
  - ▶ dégradation et destruction environnementale
  - ▶ complexité non maîtrisé et transfert de décisions vitales à l'ordinateur
  - ▶ système économique et financier à la dérive

# Renaud Duterme

« De quoi l'effondrement est-il le nom ? »

- ▶ Traite de l'effondrement à travers une analyse politique
  - ▶ Insoutenabilité écologique, sociale et financière (démonstré en 2008)
  - ▶ Nie la thématique de LA CRISE, « *non, nous ne retrouverons pas la situation antérieure* »
  - ▶ Les causes écologiques sont corrélées avec celles des inégalités sociales. Réintègre la lutte des classes.
  - ▶ Met en cause la démesure du productivisme et de l'extractivisme

# Joseph Tainter

The collapse of complex societies

- ▶ Vision assez romantique :
  - ▶ l'image des civilisations perdues est fascinante :
    - ▶ des cités enfouies sous des amoncellements de sable ou une jungle enchevêtrée ;
    - ▶ ruines et désolation, là où jadis se trouvaient des gens et l'abondance ».
    - ▶ *« qui n'a jamais imaginé une mégapole américaine, avec ses gigantesques gratte-ciel symbolisant la surpuissance capitaliste, dans « laquelle les arbustes engendrent un nouveau sous-sol » et où « le lierre gravit les six étages des immeubles d'habitation et des magasins abandonnés »*

# Yves Cochet

- ▶ « L'effondrement survient quand les besoins de base (eau, alimentation, logement, habillement, énergie, mobilité, sécurité) ne sont plus fournis à une majorité de la population par des services encadrés par la loi »
  - ▶ hôpitaux submergés de patients, magasins pris d'assaut, coupures d'électricité, pénuries de carburants, défaillances des réseaux d'eau potable, amoncellements d'ordures à chaque coin de rue, embouteillages monstres sur les autoroutes desservant la ville
  - ▶ Incapacité de l'État à faire régner l'ordre, entraînant émeutes et pillages
  - ▶ Emergence d'enclaves administrées par un ordre arbitraire

# La collapsologie

- ▶ La collapsologie est au carrefour de disciplines variées :
  - ▶ écologie,
  - ▶ économie,
  - ▶ climatologie,
  - ▶ géographie,
  - ▶ histoire,
  - ▶ sociologie,
  - ▶ démographie
  - ▶ physique
  - ▶ géologie
  - ▶ etc.

THEMA

EMERGENCY PURIFIED DRINKING WATER  
MFD. BY: E. O. S. FOOD LAB, INC.  
1000 W. 12th St.  
Grand Forks, ND 58001

EMERGENCY PURIFIED DRINKING WATER  
MFD. BY: E. O. S.  
1000 W. 12th St.  
Grand Forks, ND 58001



# L'énergie, une unité non intuitive

- ▶ Mètre
- ▶ Kilo
- ▶ Seconde
- ▶ Degrés Celsius
- ▶ Kilowatt ?

# L'énergie



Tous droits réservés

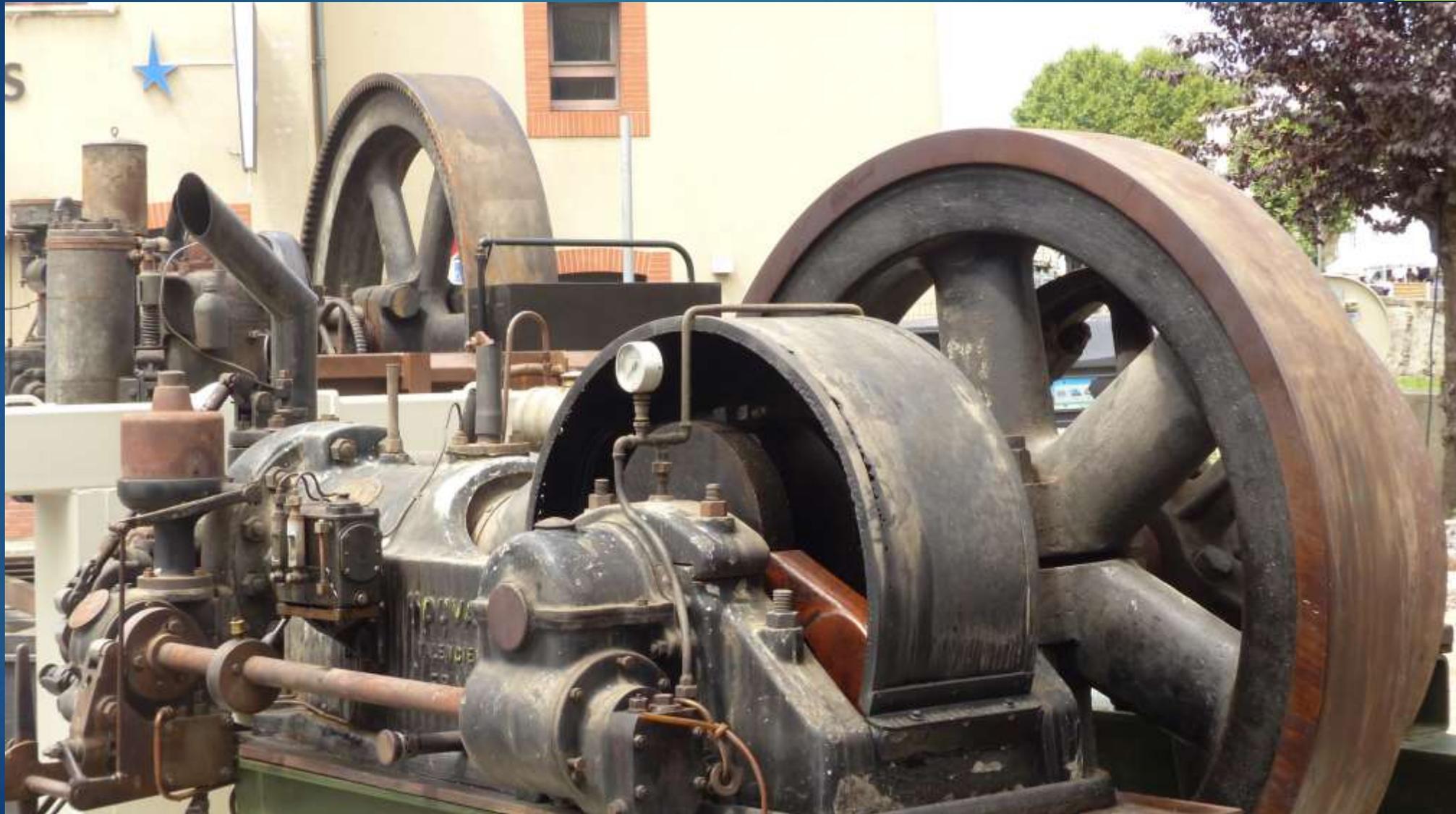
# L'énergie est ce qui permet d'agir sur le monde

- ▶ Les énergies et leurs « convertisseurs »
  - ▶ énergie chimique → l'homme, les animaux, les moteurs thermiques
  - ▶ énergie hydraulique → les barrages
  - ▶ énergie éolienne → les voiliers, les moulins, les éoliennes
  - ▶ énergie solaire → cellules photovoltaïques, fours solaires
  - ▶ énergie marine → hydroliennes, usines marémotrices,
  - ▶ énergie nucléaire → centrales nucléaires
  - ▶ etc.

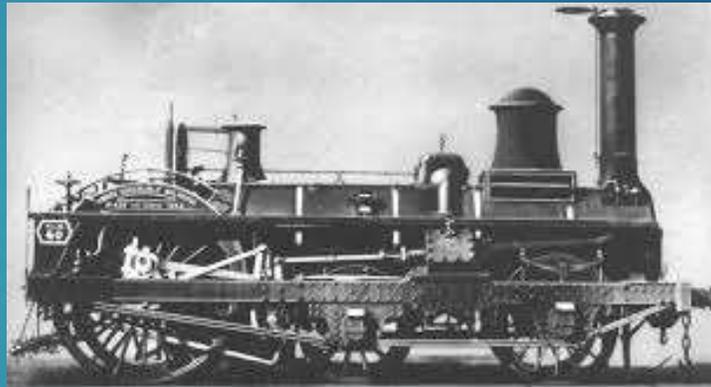
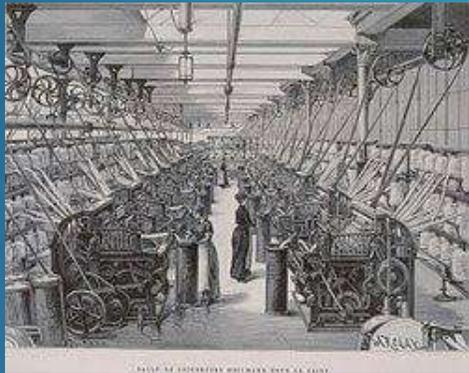
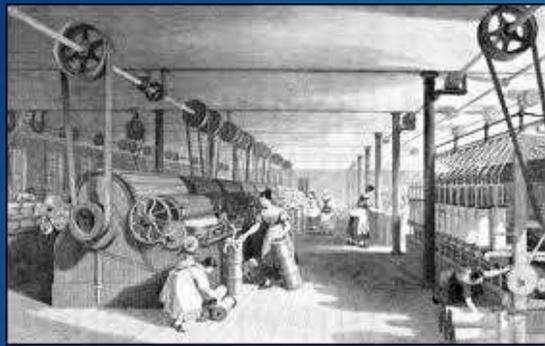
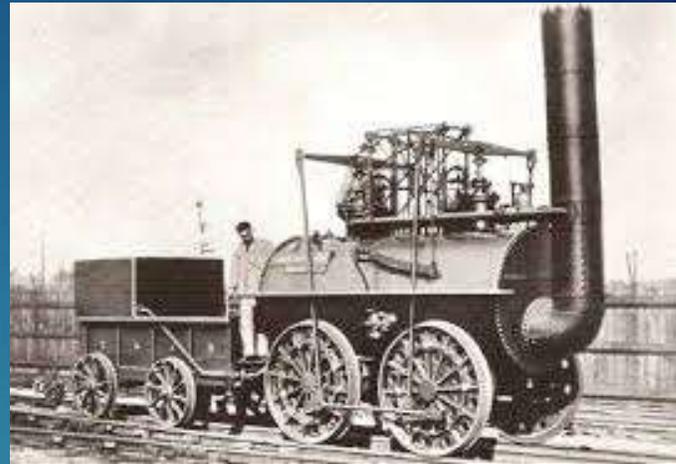
# sources d'énergie et « convertisseurs » avant la société industrielle

- ▶ l'eau → moulins, ...
  - ▶ le bois → feu, forge, ...
  - ▶ Le vent → moulins, bateaux, ...
  - ▶ La chimie (alimentation) → l'homme, les animaux, ...
- 
- ▶ Outils et machines quasi inchangés de l'Antiquité au Moyen Âge
  - ▶ La production d'objets est limitée

Et puis vint la révolution...

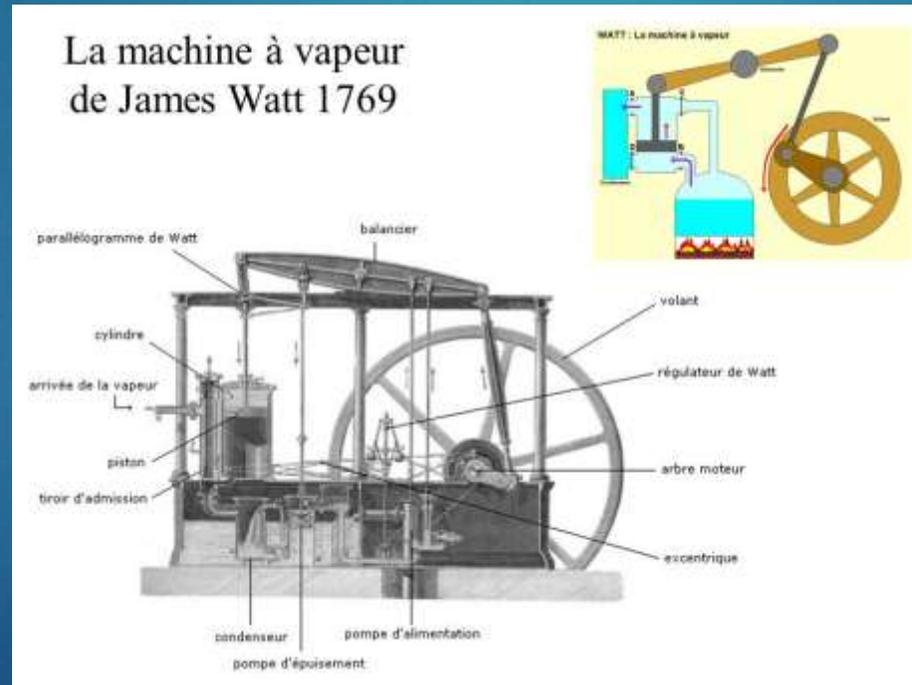






# La machine à vapeur

- ▶ La machine à vapeur bouleverse la donne !
- ▶ La machine à vapeur pratique est inventée par [James Watt](#) en 1769.



# La révolution industrielle par le moteur

- ▶ Avec la machine à vapeur l'homme peut exercer des forces considérables et travailler la matière comme jamais auparavant
  - ▶ Mises en forme de blocs de métal épais
  - ▶ Sciage, forage des matériaux résistants
  - ▶ Transports de marchandises, steamer, trains
  - ▶ Récoltes motorisées

# La société industrielle

- ▶ Les moteurs à vapeur permettent la production de masse.
- ▶ Les usines remplacent les **ateliers artisanaux** et les **manufactures**
- ▶ Passage d'une société à dominante **agraire** à une société **industrielle**
- ▶ Ce processus affecte profondément l'**économie**, la **politique** et l'environnement du monde
- ▶ Deuxième révolution industrielle avec le **pétrole**, l'**électricité** et l'**automobile**.



Tous droits réservés



80 kg + 10 kg  
x 2000 m de  
dénivelée  
≈ 0,5 kWh

→  
x 10

1 jour sur 2 : 100 kWh/an



6 m<sup>3</sup> terre x 1 m  
0,05 kWh  
(10 kWh/an)

→  
x 100



# L'énergie quasi gratuite

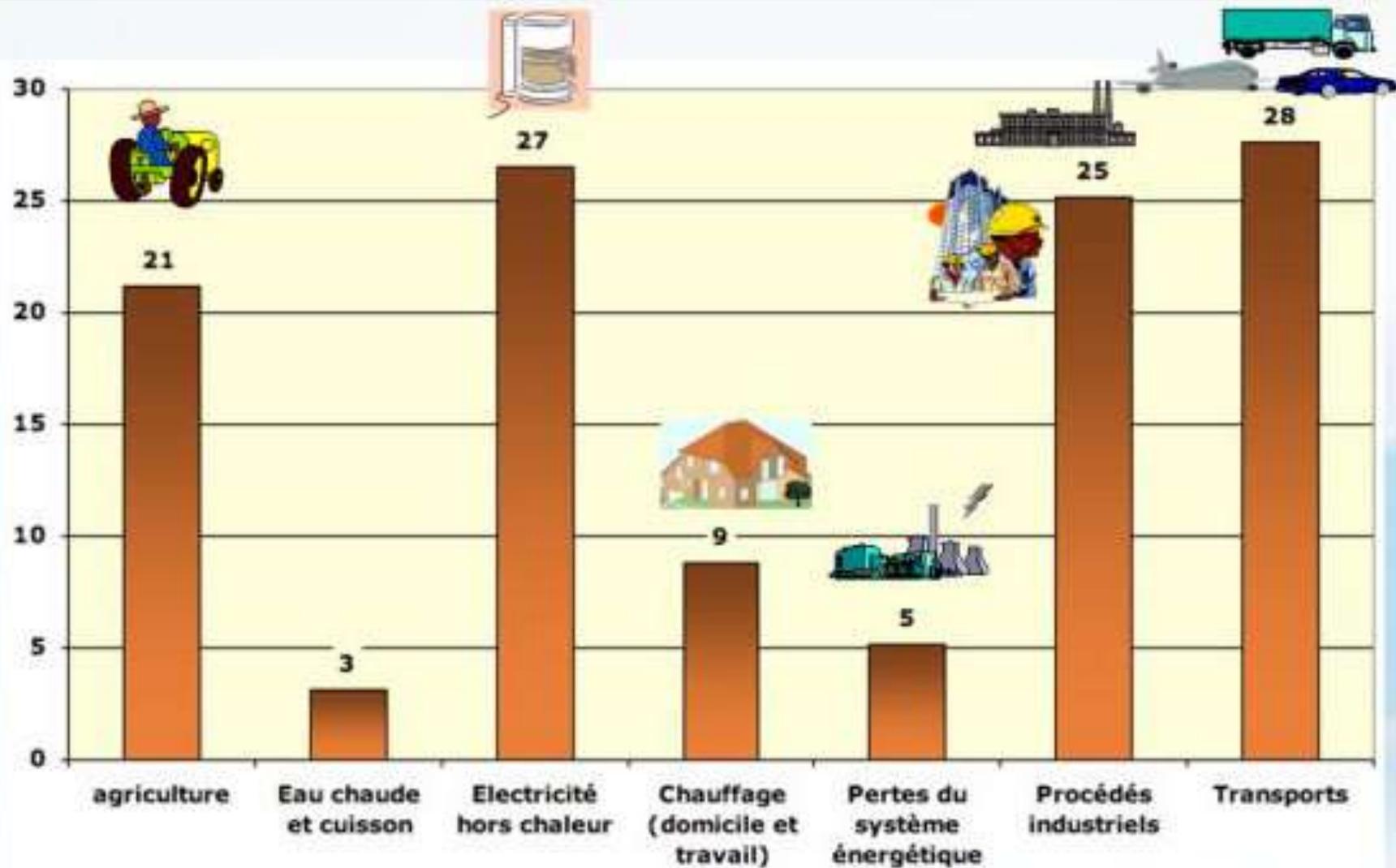
- ▶ Les sociétés industrielles reposent sur l'utilisation d'énergies quasi gratuites lorsqu'on les compare à l'énergie du travail humain

# L'énergie humaine est ridicule

- ▶  $E = mgh$  (énergie potentielle)
- ▶  $E =$  énergie en Joules
- ▶  $m =$  la masse
- ▶  $g =$  l'accélération terrestre (mg, le poids en kg)
- ▶  $h =$  la hauteur, mètres
- ▶ Creusement d'une tranchée en une journée :
- ▶  $6\text{m}^3$  de terre = 15 tonnes
- ▶  $E = 15000 * 9,81 * 1 = 147150$  Joules
- ▶ 1 kWh = 3600000 Joules
- ▶ Donc :  $147150 / 3600000 = 0,041$  kWh
- ▶  $0,041\text{kWh} * 100 \text{ jours} = 4,1 \text{ Kwh}$
- ▶  $4,1 \text{ kWh} = 1 \text{ litre d'essence}$

# L'énergie est quasi gratuite

- ▶ Prix du litre de « sans plomb » hors les taxes (TTIPP et TVA) : 41 centimes
- ▶ Donc prix de 4 kWh (1 l d'essence) = 41 centimes
- ▶ 100 jours de travail mécanique humain = 41 centimes !
  
- ▶ (film du début : 1 baril essence = 160 litres pour 100 dollars, équivalent travail de 12 hommes durant une année)



« Equivalent esclave » à la disposition de chaque Français de l'an 2000. Qui est modeste ??  
Calcul de l'auteur, 2008

Total 118 équivalents « esclaves »

# Un société de richesses matérielles et de confort

- ▶ La société industrielle repose sur l'extraordinaire capacité des « convertisseurs » d'énergie (moteurs et autres) à modifier notre environnement en vue d'améliorer notre qualité de vie et sur la quasi gratuité des sources primaires d'énergie (pétrole, charbon, gaz, uranium...)

# Le cas particulier du pétrole

- ▶ Pétrole possède une densité énergétique par unité de volume sans équivalent.
  - ▶ Transportable partout !
  - ▶ Très peu cher (ça va changer !)

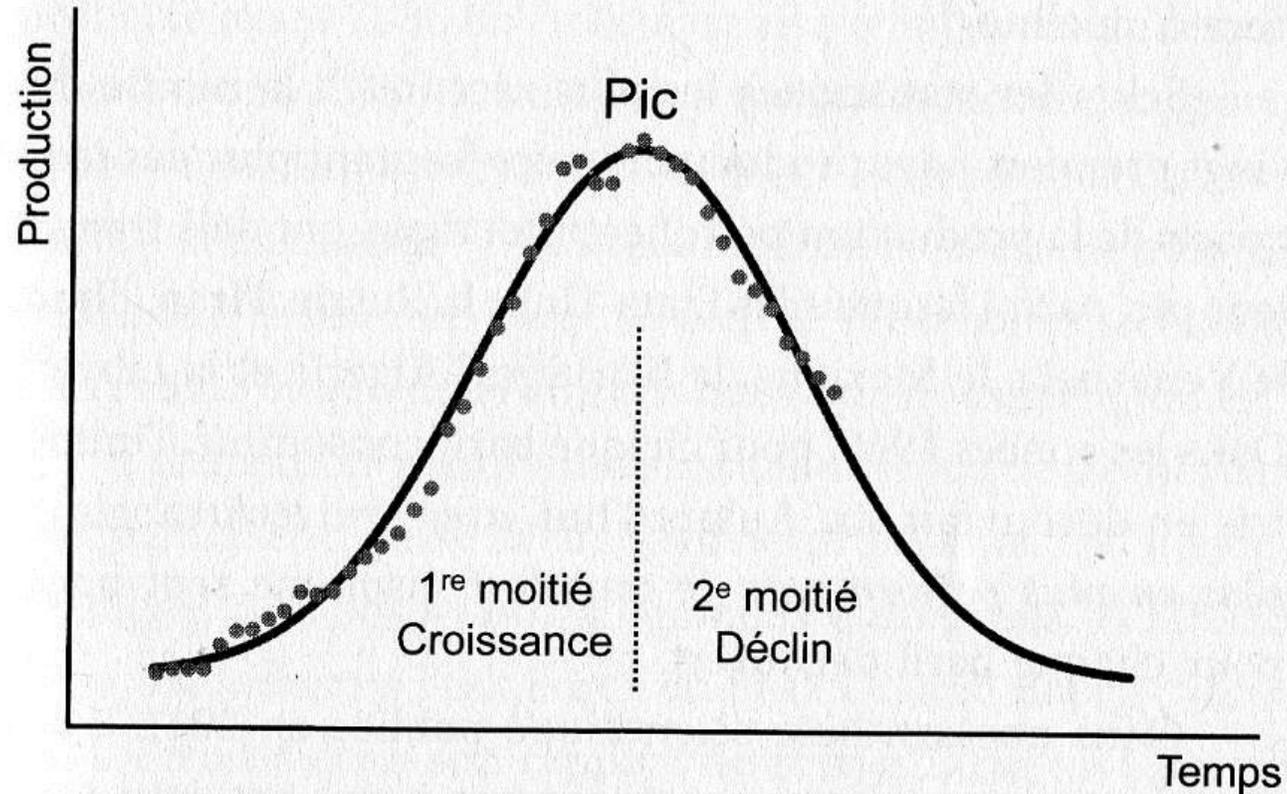
# Le pétrole



# La notion de pic

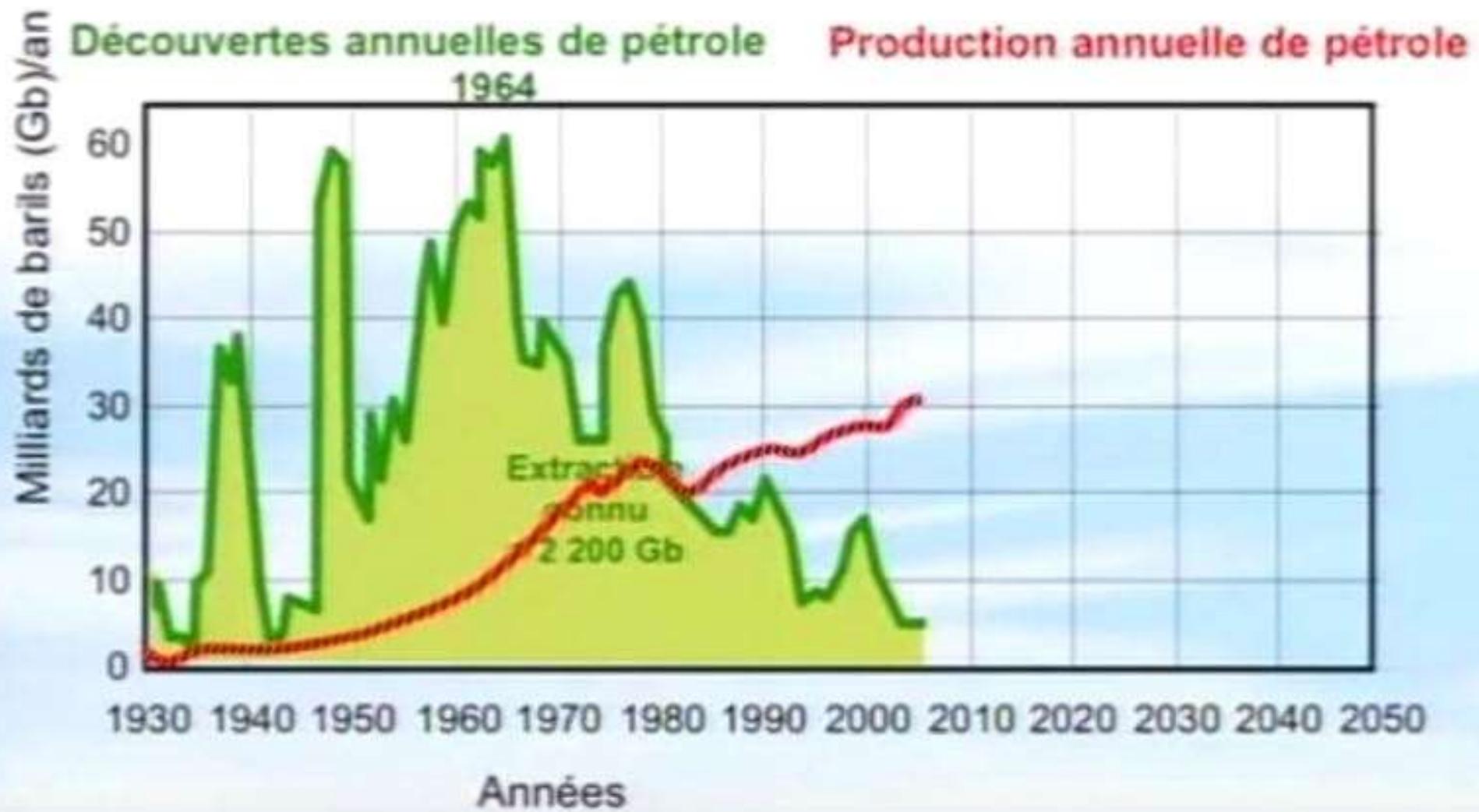


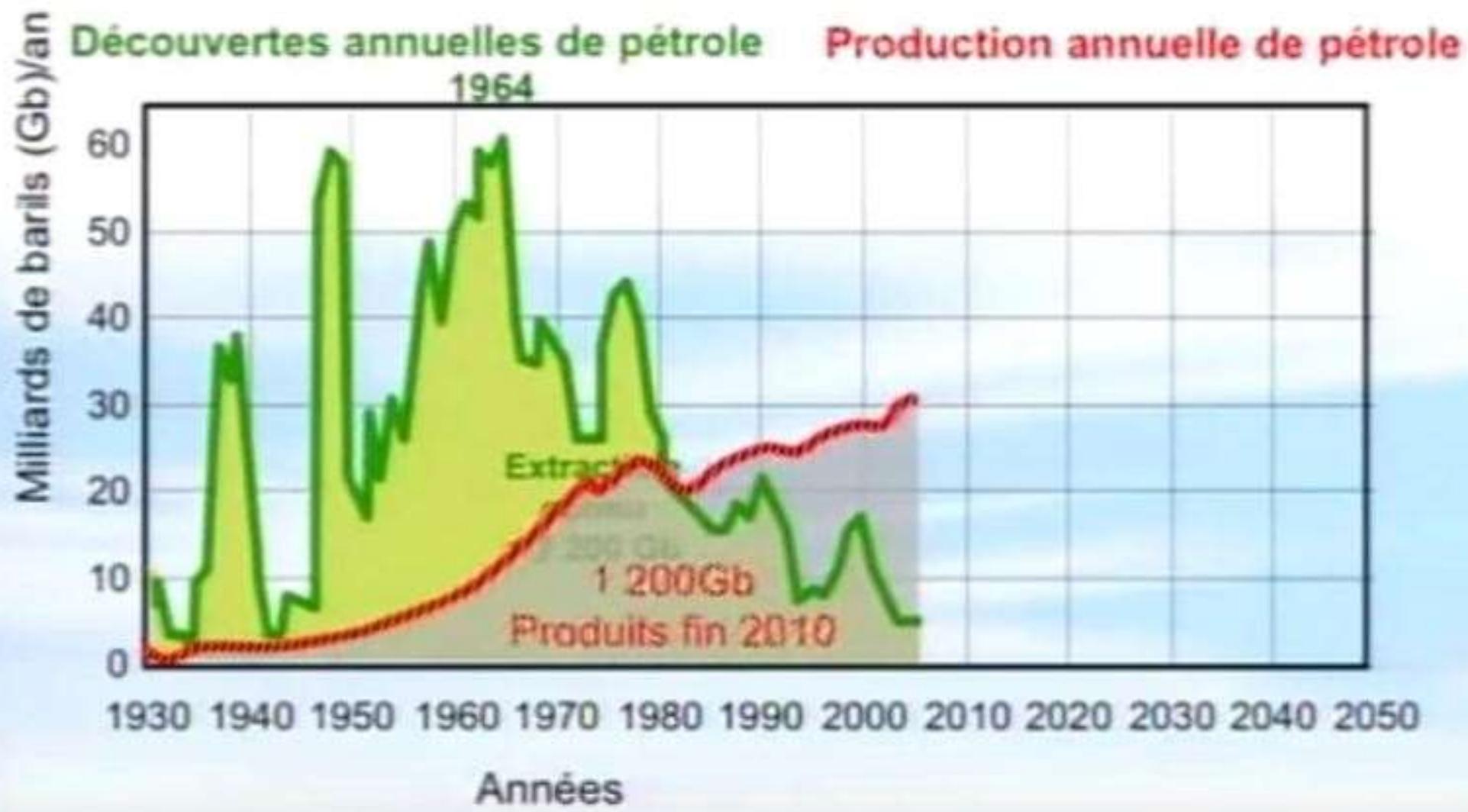
# Le pic pétrolier

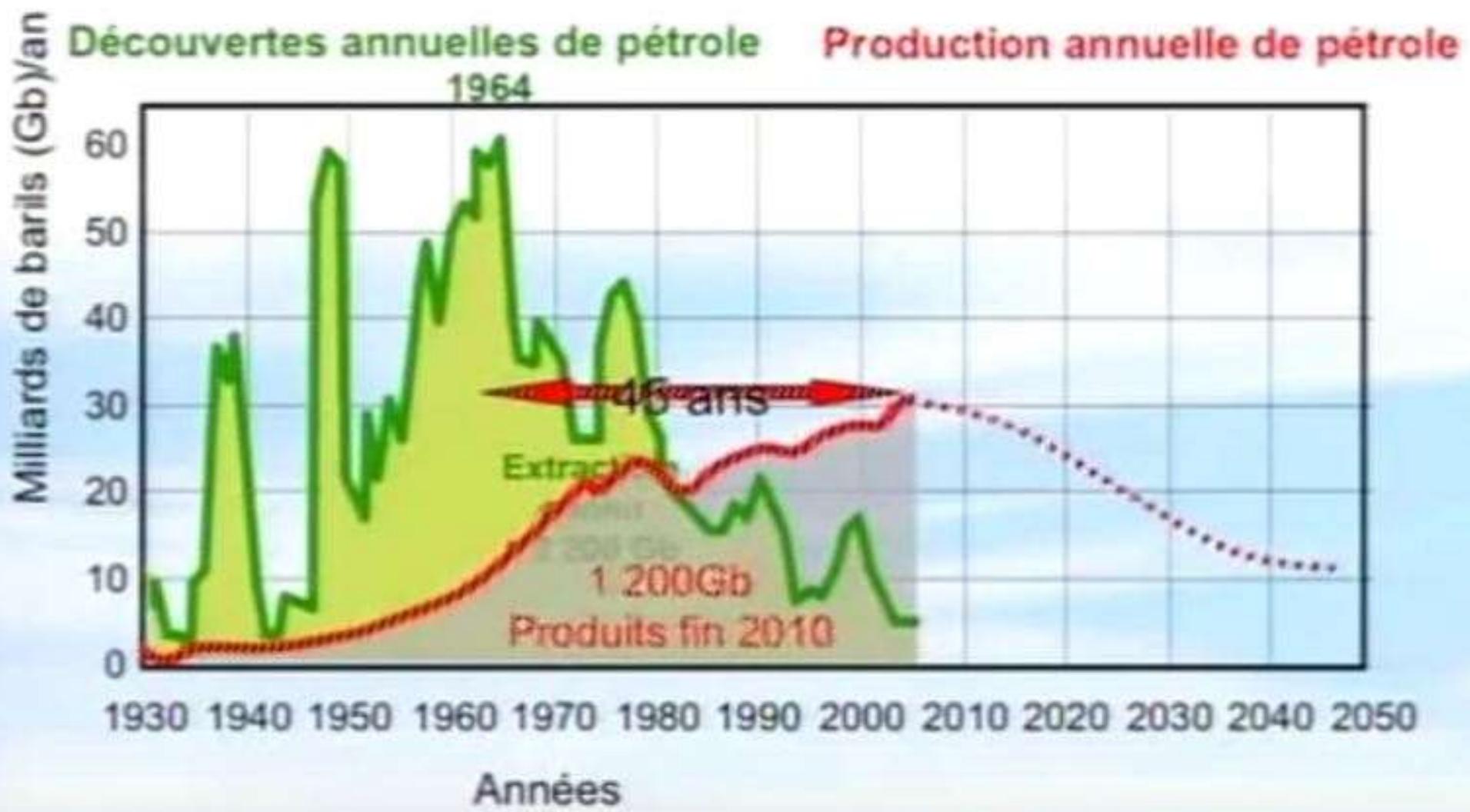


**Figure 3 - Le concept de « pic » a été présenté par le géophysicien Marion King Hubbert en 1956 pour la production de pétrole conventionnel aux États-Unis. Les pointillés gris qui suivent la courbe représentent la production de pétrole norvégienne qui a atteint son pic en 2001**

(Source des données : BP Stat. Review, 2013.)







# Où en est-on du pic ?

- ▶ AIE : pic mondial de production franchi en 2006
- ▶ La moitié des 20 premiers producteurs (plus des  $\frac{3}{4}$  de la production mondiale) ont franchi leur pic
  - ▶ USA, Russie, Iran, Iraq, Venezuela, Norvège, Algérie, Lybie
    - ▶ (source : « The oil product story : pre and post peak nations », association for the study of peak oil and gas USA, 2014)
- ▶ Années 60's : 1 baril consommé, 6 nouveaux sont découverts
- ▶ Année 2012 : 7 barils consommés, 1 nouveau découvert (42 fois moins!)
  - ▶ avec une technologie bcp plus performante

# Où en est-on du pic ?

## Ce qu'en disent les experts

- ▶ « *L'ère du pétrole facilement accessible est révolue, nous entrons dans une nouvelle époque* » (UK energy Research center)
- ▶ « *Comme nous atteignons le taux maximum d'extraction, nous devons être capables de planifier nos activités dans un monde [...] où les chocs des prix du pétrole ont le potentiel de déstabiliser l'activité économique et sociale* » (The UK Industry Task Force on Peak Oil and Energy Security)
- ▶ « *Seuls les scénarios pessimistes collent aux données réelles observées sur les onze dernières années* » (Forecasting the limits to availability and diversity of global conventional oil supply, Energy vol. 64 2014)

# Les pétroles non conventionnels peuvent-ils remplacer le brut conventionnel?

- ▶ Pétroles et gaz de schiste
- ▶ Sables bitumineux
- ▶ Offshore de très grandes profondeurs
- ▶ Biocarburants

# Taux de retour énergétique TRE

- ▶ Pour extraire du pétrole et l'amener à l'utilisateur final il faut utiliser de l'énergie.
  - ▶ Le taux de retour énergétique TRE est le rapport entre l'énergie récupérée de l'extraction et l'énergie investie dans l'extraction
- ▶ Début de XXème, pétrole américain → TRE 100:1
  - ▶ pour une unité d'énergie investie on en récoltait 100
- ▶ En 1990 on en était plus qu'à 35:1
- ▶ Aujourd'hui, le TRE moyen de la production mondiale de pétrole se situe entre 10:1 et 20:1

# TRE des énergies non conventionnelles, et ceux du gaz et du charbon

- ▶ Pétrole de schiste TRE 5:1
- ▶ Sables bitumineux TRE entre 2:1 et 4:1
- ▶ Agrocarburants TRE entre 1,1:1 et 1,6:1 (10:1 avec éthanol de canne à sucre)
  
- ▶ Gaz naturel 10:1
- ▶ Charbon 50:1 (en Chine 27:1)
  
- ▶ TOUT ces TRE sont en déclin, un déclin qui s'accélère

Sources d'énergie	TRE Cleveland <sup>2</sup>	TRE Elliott <sup>3</sup>	TRE Hore-Lacy <sup>4</sup>	TRE (Autres)
<b>Combustibles fossiles</b>				
Petrole				
- Jusqu'à 1940	> 100	50 - 100		5 - 15 <sup>5</sup>
- Jusqu'à 1970	23			
- Aujourd'hui	8			
Charbon				
- Jusqu'à 1950	80	2 - 7	7 - 17	
- Jusqu'à 1970	30			
Gaz naturel	1 - 5		5 - 6	
Schistes bitumineux	0,7 - 13,3			< 1
<b>Energie nucléaire</b>				
Uranium 235	5 - 100	5 - 100	10 - 60	< 1 <sup>6</sup>
Fusion nucleaire				< 1

# Le salut par les énergies de flux?

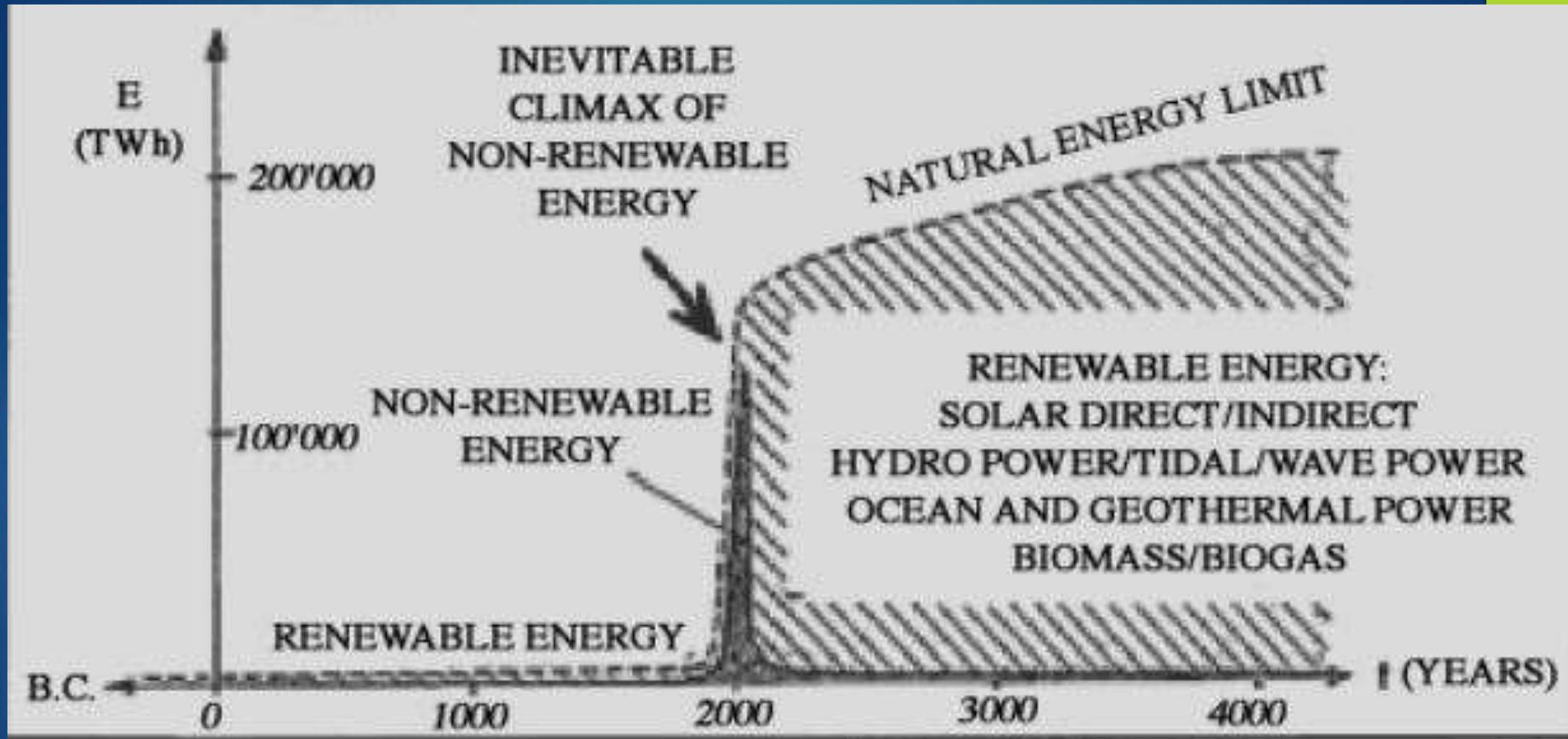
- ▶ Energies de flux : pas de pic !
- ▶ MAIS : leur production et leur distribution nécessitent un investissement en énergie.
- ▶ Solaire à concentration aux USA (miroirs) → TRE 1,6:1
- ▶ Photovoltaïque en Espagne → TRE 2,5:1
- ▶ Eolien → TRE 18:1
  - ▶ (hors intermittence. Avec, le TRE éolien tombe à 3,8:1)
- ▶ Hydroélectricité → TRE entre 35:1 et 49:1
  - ▶ Source (Energies intensities, EROI's (energy return on invested), and energy payback times of electricity generating power plant. *Energy vol 52, 2013*)

# Estimations des TRE des renouvelables

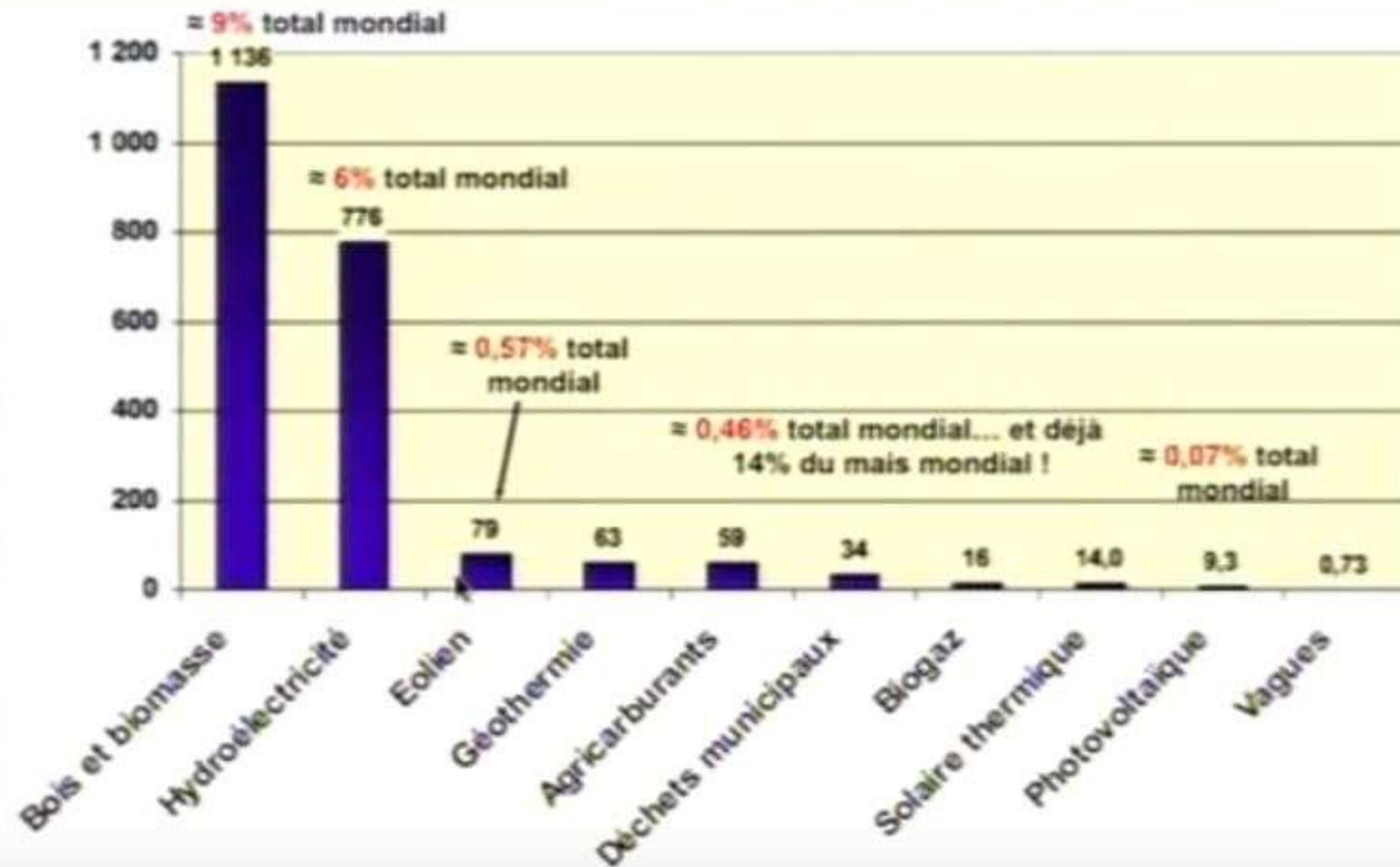
Sources d'énergie	TRE Cleveland <sup>2</sup>	TRE Elliott <sup>3</sup>	TRE Hore-Lacy <sup>4</sup>	TRE (Autres)
<b>Energies renouvelables</b>				
Biomasse		3 - 5	5 - 27	
Énergie hydroélectrique	11,2	50 - 250	50 - 200	
Énergie éolienne		5 - 80	20	
Géothermie	1,9 - 13			
Energie solaire				
- Énergie solaire thermique	4,2	3 - 9	4 - 9	7 - 20 <sup>7</sup>
- Énergie solaire photovoltaïque	1,7 - 10			
Ethanol				
- De canne à sucre	0,8 - 1,7			0,6 - 1,2
- De maïs	1,3			
- De résidus de maïs	0,7 - 1,8			
Methanol (de bois)	2,6			

Source Aspolitalia

## A Sustainable Future? The limits to Renewables



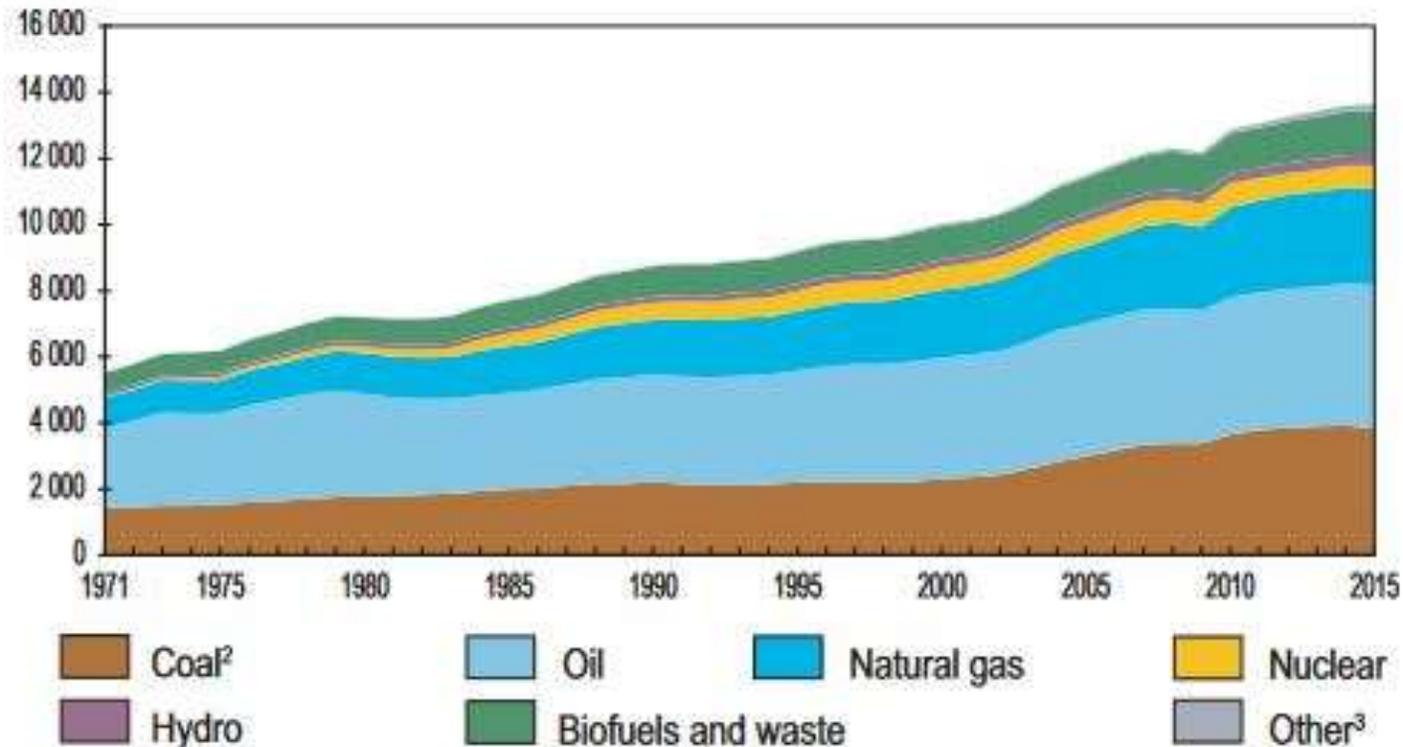
by David Elliott, Professor of Technology Policy at the Open University



Contribution des énergies renouvelables au bilan énergétique mondial en 2010. Toutes les sources purement électriques sont en équivalent primaire. Compilation de l'auteur.

# World total primary energy supply (TPES) by fuel

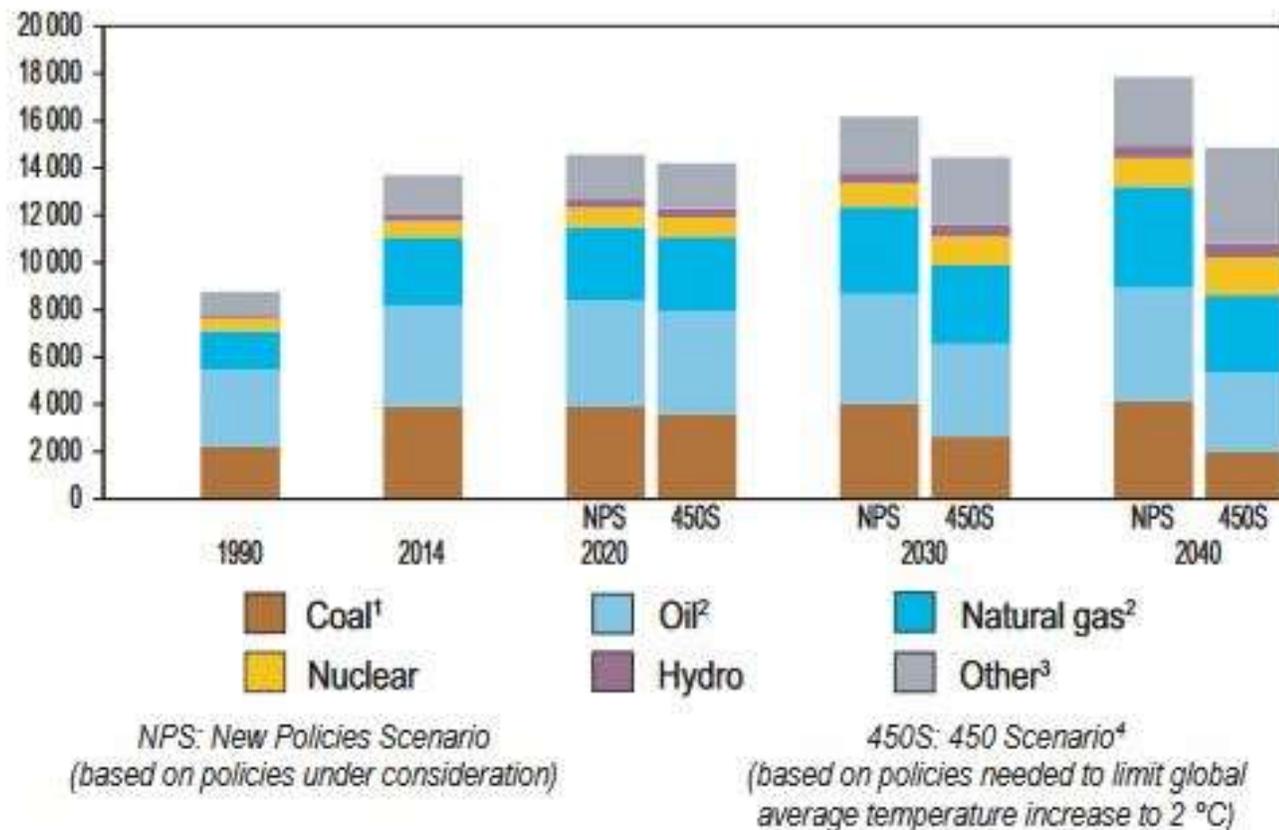
World<sup>1</sup> TPES from 1971 to 2015 by fuel (Mtoe)



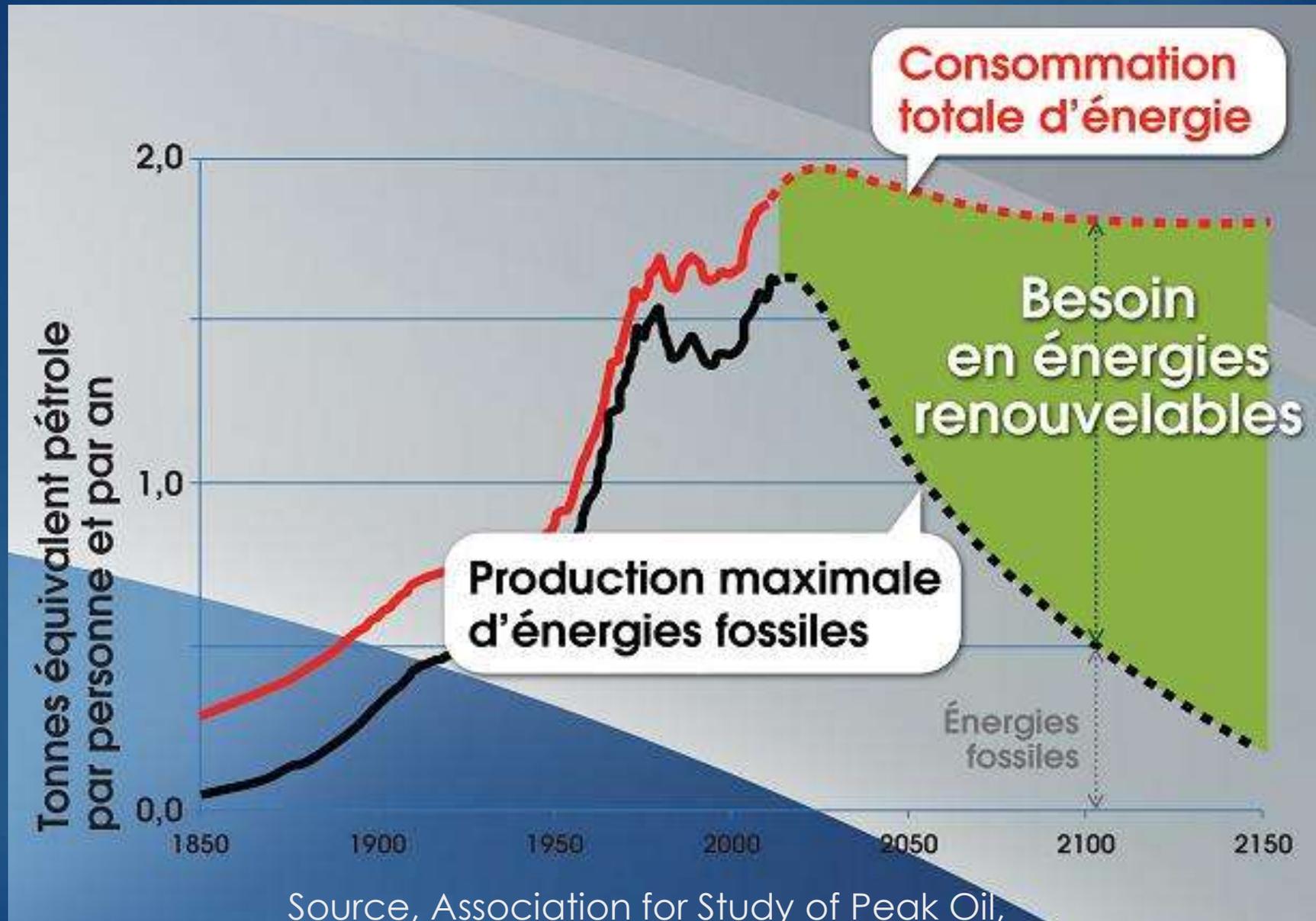
Source IEA

# Outlook for world total primary energy supply (TPES) to 2040

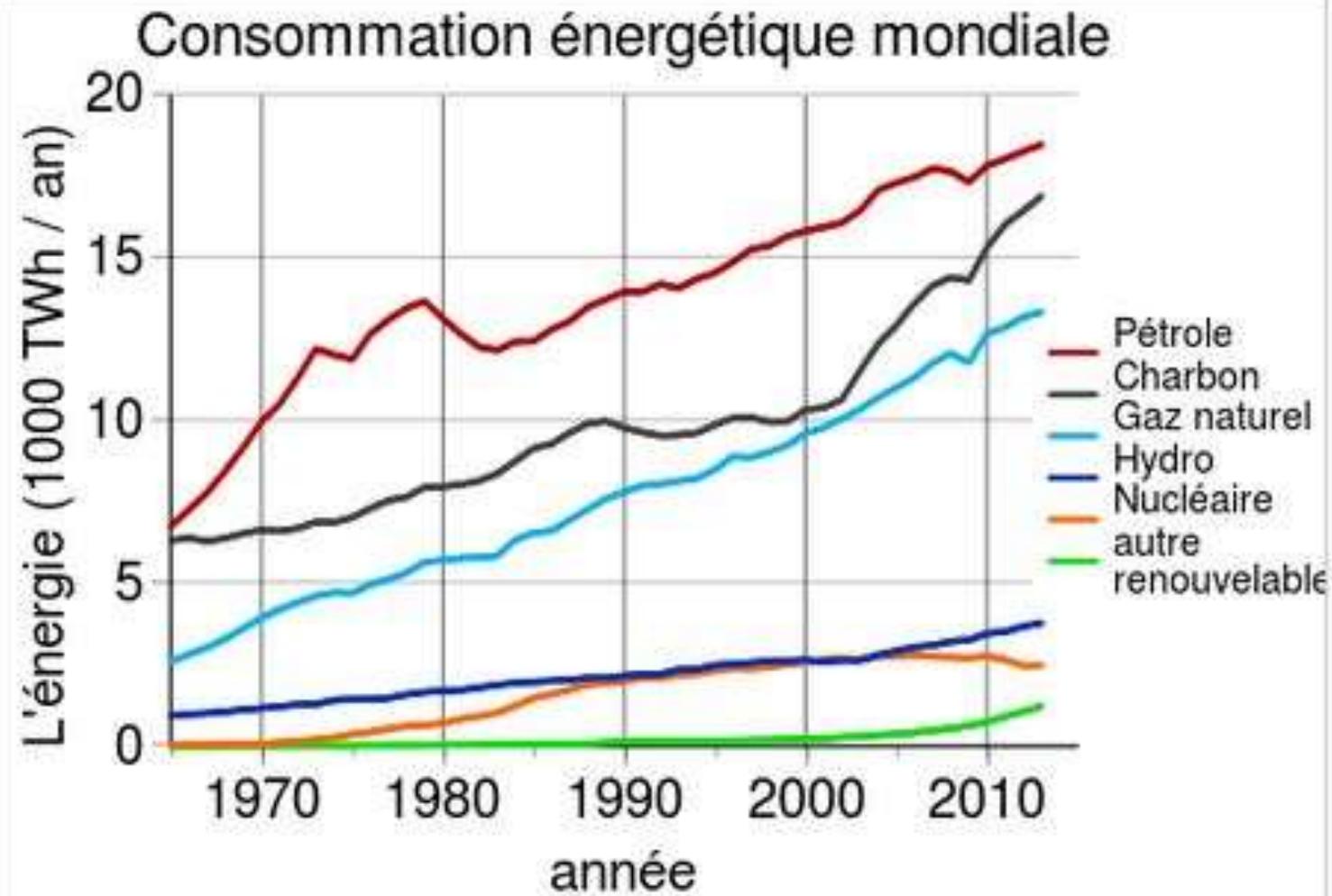
TPES outlook by fuel and scenario to 2040 (Mtoe)



Source IEA



Source, Association for Study of Peak Oil,  
(Aspo)



Consommation énergétique mondiale, en **térawatts-heures** (TWh), de 1965 à 2013<sup>1</sup> (Pétrole, charbon, gaz naturel, hydraulique, nucléaire, autre et renouvelable.)



# Le salut par les énergies de flux ?

- ▶ « Il n'y a pas assez d'énergies fossiles et de minerais pour développer massivement les énergies renouvelables de façon à compenser le déclin des énergies fossiles »

Gail Tverberg (spécialiste de l'économie de l'énergie)

# ERol extensif, TRE extensif

ERol = energy return on invested



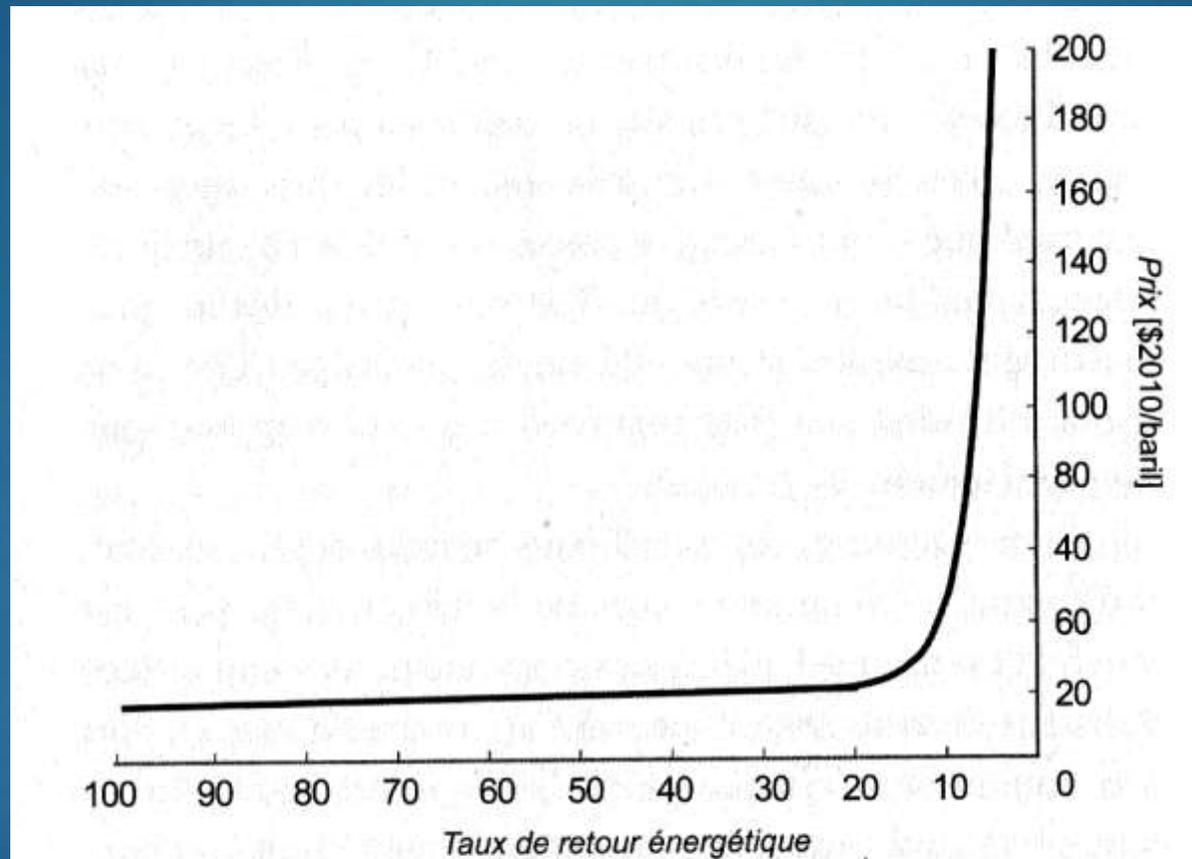
$$\text{ERol}_{\text{ext}} = \frac{\text{Energy returned to society}}{\text{Energy invested to get, deliver, and } \textit{use} \text{ that energy}}$$

# TRE minimal de nos sociétés

- ▶ Pour fournir l'ensemble des services actuellement offerts à la population le TRE minimal se situe entre 12:1 et 13:1
  - ▶ Par ordre de priorité
    - ▶ production alimentaire, construction habitat, chauffage, vêtements, système sanitaire
    - ▶ justice, sécurité nationale, défense, sécurité sociale, santé, éducation
- ▶ En dessous du TRE minimal, il faudra décider collectivement des services à conserver et ceux auxquels il faudra renoncer
- ▶ Pour la majorité des énergies renouvelables on approche de ce seuil !

Source Servigne et Stevens

# Evolution du prix du baril de pétrole en fonction du TRE



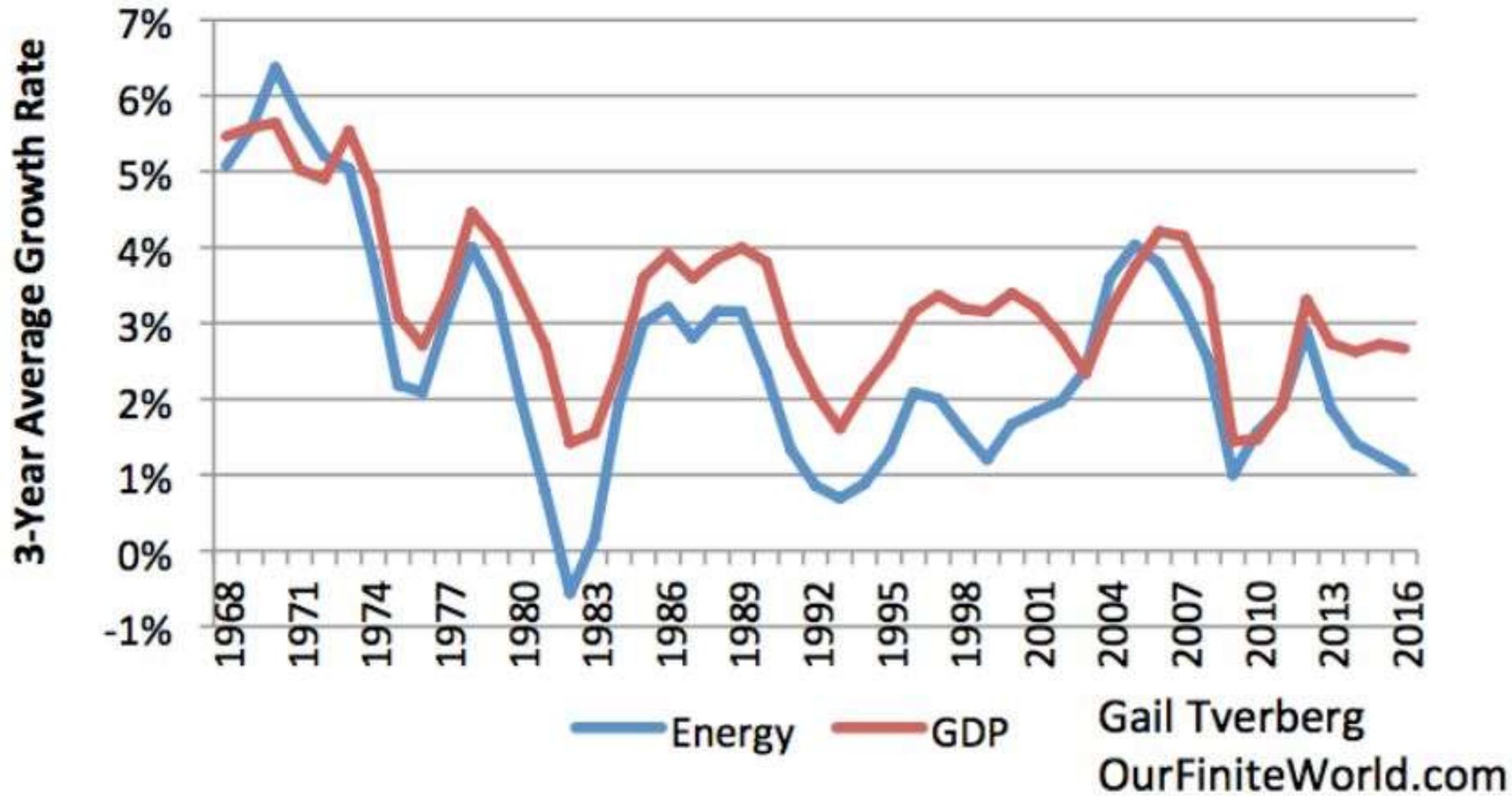
**Figure 4 - Modélisation du prix du baril de pétrole en fonction du TRE (à l'aide des corrélations historiques observées)**

(Source : d'après M. K. Heun et M. De Wit, « Energy return on (energy) invested (EROI), oil prices, and energy transitions », *Energy Policy*, vol. 40, 2012, p. 147-158.)

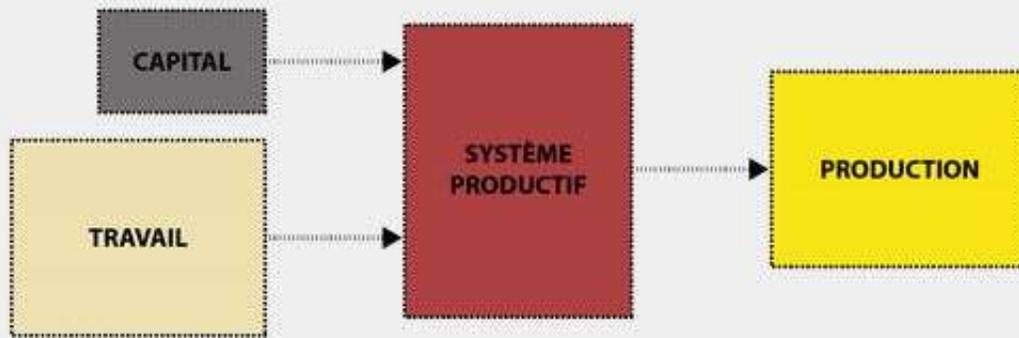
# Conséquences...

- ▶ TRE < 10:1 le prix augmente de façon exponentielle
- ▶ Règle valable pour : gaz, charbon, uranium
- ▶ Vrai pour les métaux et minerais nécessaires à la fabrication des « convertisseurs » d'énergies de flux (EnR)
- ▶ ==> « *Le déclin inexorable du TRE des énergies fossiles rendra la promesse de croissance économique impossible à tenir* »
  - ▶ Source Servigne et Stevens

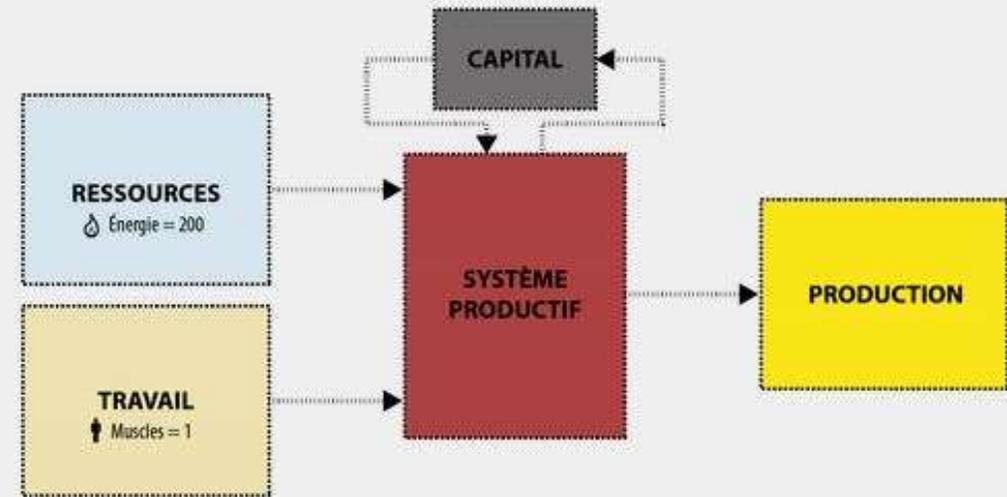
## World Energy Growth vs. GDP Growth



D'après une source Banque Mondiale

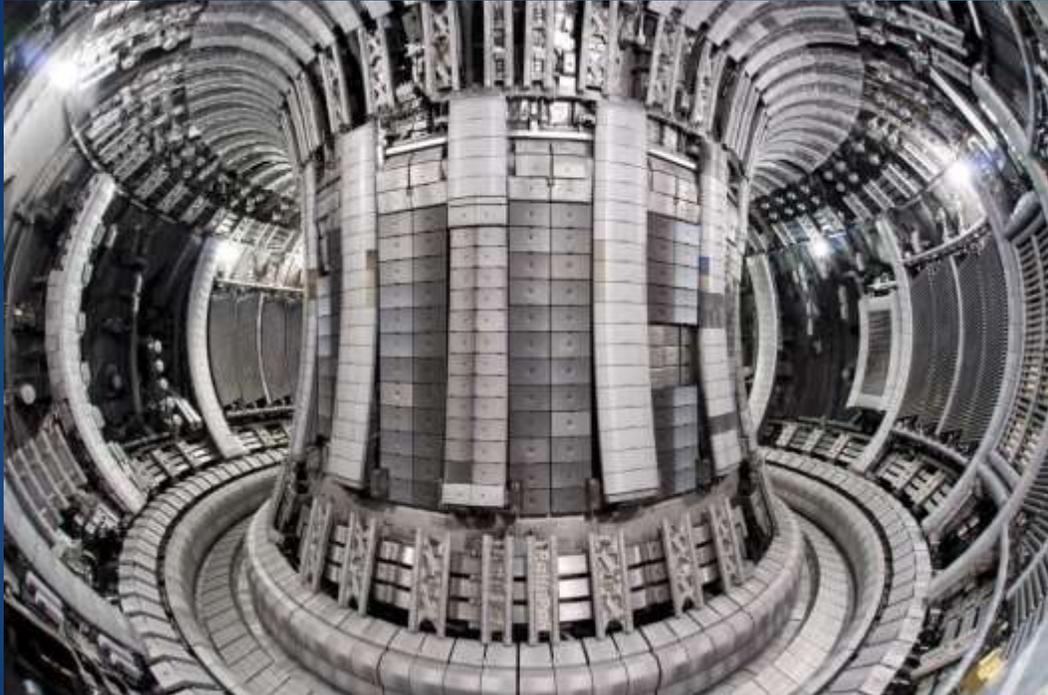


*Représentation schématique de l'économie apprise à l'école : la production vient du capital et du travail.*



*Représentation schématique de ce qui se passe en vérité : la production consiste à transformer des ressources avec du travail, et la création de capital n'est qu'une boucle de rétroaction interne au système.*

# Sauvé par la fusion thermonucléaire contrôlée ?



# Sauvé par la fusion thermonucléaire contrôlée ?

- ▶ Deuterium dans les océans = consommation d'énergie pour cent millions d'années
- ▶ 1 m<sup>3</sup> d'eau de mer = 700 t de pétrole
- ▶ **MAIS** enceinte pour « soupe » de plasma à 110 millions de degrés (10 fois le cœur du soleil)
  - ▶ Confinement magnétique (Tokamak)
  - ▶ laser Megajoule (petawatt, 1 million de milliards de watts)
- ▶ Une réaction d'un millième de milliardième de seconde a été réalisée... elle a consommé plus d'énergie qu'elle n'en a produite

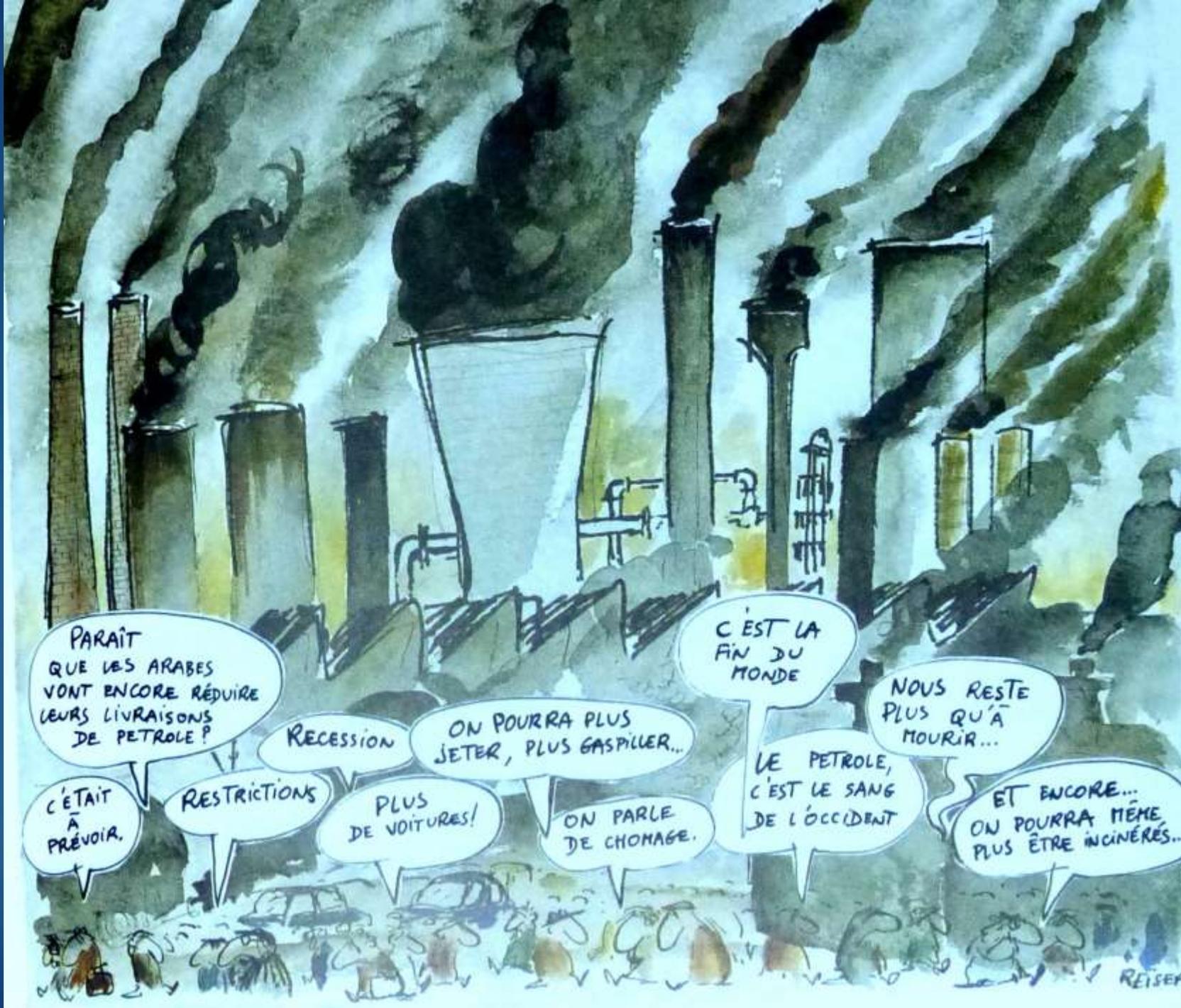


« Le déclin énergétique annonce la  
fin définitive de la croissance  
mondiale »

Pablo Servigne, Raphaël Stevens  
« Comment tout peut s'effondrer »

# Garder le moral ?





PARAÎT  
QUE LES ARABES  
VONT ENCORE RÉDUIRE  
LEURS LIVRAISONS  
DE PÉTROLE ?

C'ÉTAIT  
À PRÉVOIR.

RESTRICTIONS

RECESSION

PLUS  
DE VOITURES!

ON POURRA PLUS  
JETER, PLUS GASPILLER...

ON PARLE  
DE CHOMAGE.

C'EST LA  
FIN DU  
MONDE

LE PÉTROLE,  
C'EST LE SANG  
DE L'OCCIDENT

NOUS RESTE  
PLUS QU'À  
MOURIR...

ET ENCORE...  
ON POURRA MÊME  
PLUS ÊTRE INCINÉRÉS...

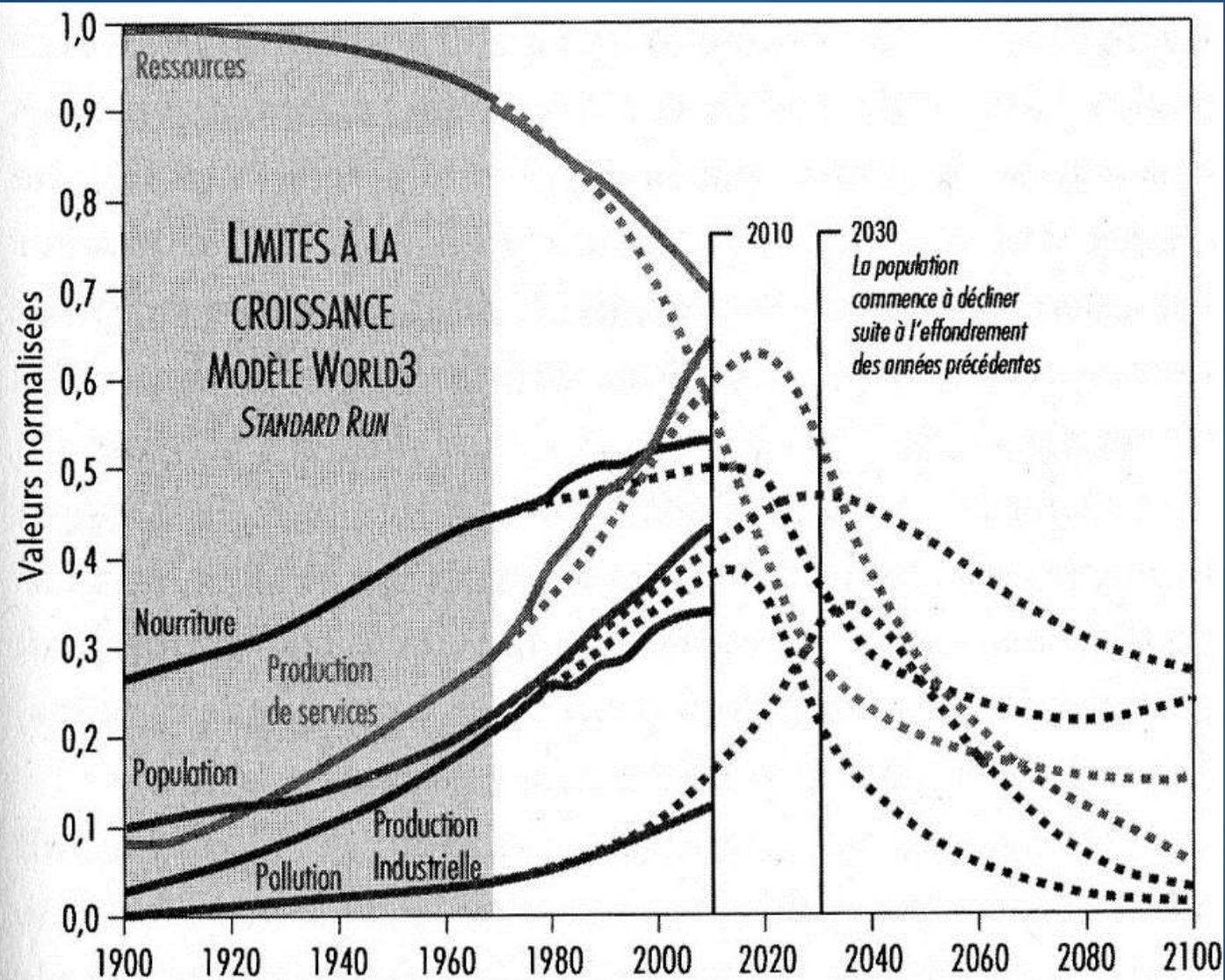
REISER

# Dennis Meadows tournée européenne 2011–2012

- ▶ *« Il est trop tard pour éviter un effondrement global, la fenêtre d'opportunité est en train de se refermer. Il est trop tard pour le développement durable. Il faut se préparer aux chocs... »*

# Modèle Meadows 2004

- ▶ S'il y a des limites physiques à notre monde, alors un effondrement généralisé de notre civilisation thermo industrielle aura très probablement lieu durant la première moitié du XXI ème siècle
- ▶ Standard run, i.e. « business as usual »
- ▶ Scénarios alternatifs → il faut mettre en place toutes les mesures simultanément dès 1980 ! pour une civilisation « soutenable ».
- ▶ Version 2004 trois conditions à réunir :
  - ▶ stabiliser rapidement la population
  - ▶ stabiliser la production industrielle à 10% au dessus de celle de 2000 et redistribuer équitablement les fruits de cette croissance
  - ▶ améliorer l'efficience des technologies pour diminuer pollution et érosion des sols tout en augmentant les rendements agricoles



**Figure 9 - Modèle Meadows « standard run » mis à jour par Graham M. Turner. En gras, les données réelles ; en pointillés, le modèle**

(Source : d'après Graham M. Turner, « On the cusp of global collapse? Updated comparison of *The Limits to Growth* with historical data », *GAIA-Ecological Perspectives for Science and Society*, vol. 21, n° 2, 2012, p. 116-124.)

## Réserves mondiales d'énergies et production annuelle 2016 par sources d'énergie

	Réserves mondiales (en unité physique)	Réserves mondiales (en Gtep)	Réserves mondiales (en %)	Production annuelle (en Gtep)	Nombre d'années de production à ce rythme
<b>Pétrole</b> <sup>b 1, N 1</sup>	1 707 Gbbl	233	25 %	4,4	51
<b>Gaz naturel</b> <sup>b 2, N 2</sup>	187 Tm <sup>3</sup>	168	18 %	3,2	53
<b>Charbon</b> <sup>b 3, N 3</sup>	1 139 Gt <sup>N 4</sup>	560	46 %	3,66	153
<b>Total fossiles</b>		<b>961</b>	100 %	11,3	<b>85</b>
<b>Uranium</b> <sup>N 5, 4</sup>	5,7 Mt	50	6 %	0,59 <sup>b 4</sup>	85
<b>Thorium</b> <sup>N 6, 5</sup>	6,4 Mt	56	6 %	ns	ns
<b>Total conventionnel</b>		<b>1067</b>	100 %	11,9	<b>90</b>
<b>Hydroélectrique</b> <sup>6</sup>	8,9 PWh	2,0		0,91 <sup>b 5</sup>	ns
<b>Énergie éolienne</b> <sup>7, N 7</sup>	39 PWh	8,8		0,22 <sup>b 6</sup>	ns
<b>Solaire</b> <sup>N 8</sup>	1 070 000 PWh	92 000		0,075 <sup>b 7</sup>	ns
<b>Biomasse</b> <sup>8</sup>	3 10 <sup>21</sup> J	70		1,32 <sup>9</sup>	ns

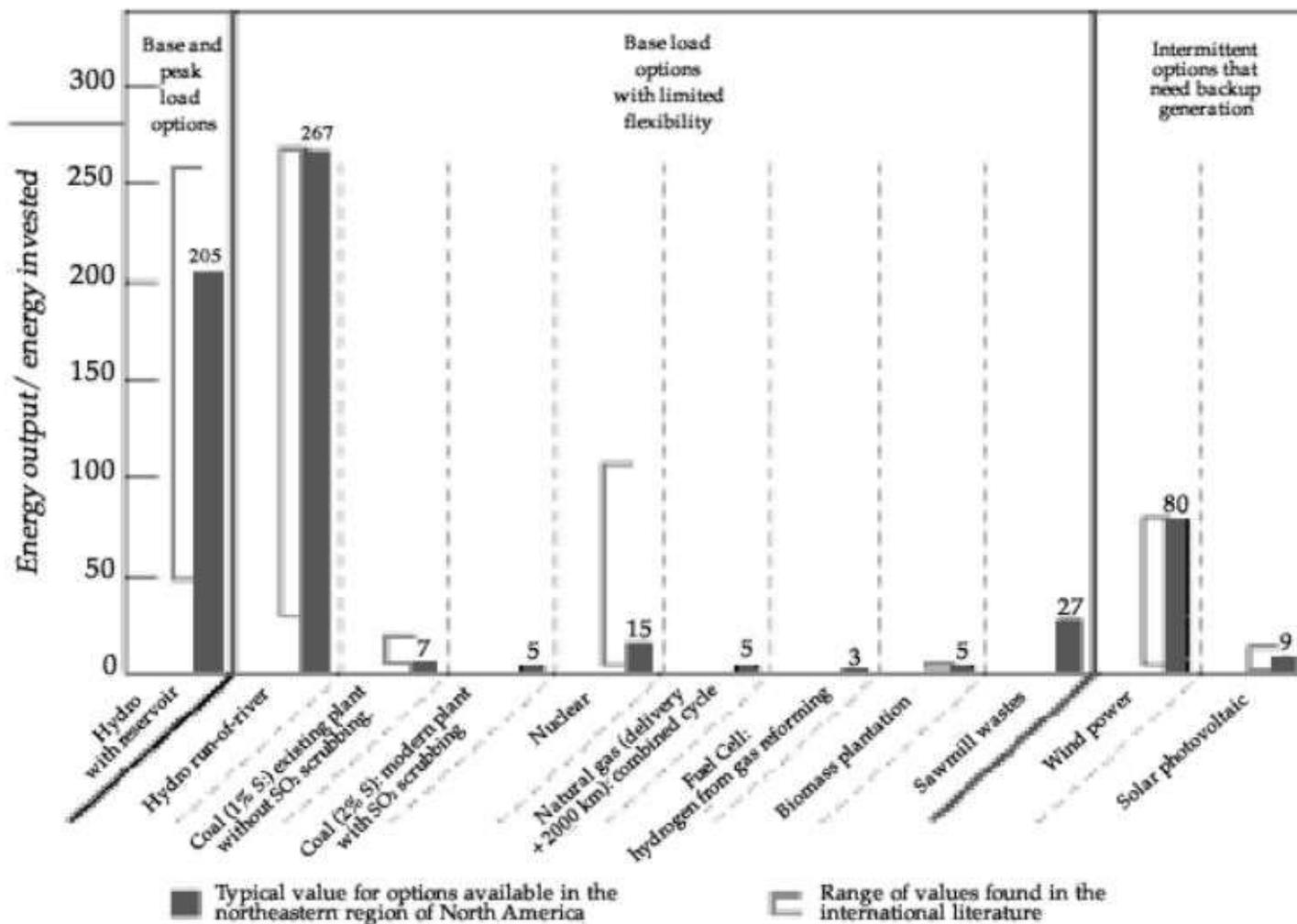
- 
- ▶ EN 2040 il y aurait deux fois plus de voitures qu'en 2017 dans le monde qui en compte 1 milliard !!

# A Sustainable Future? The limits to Renewables

- ▶ Most of the easy and cheap energy saving opportunities will be rapidly exhausted
- ▶ It is hard to see how efficiency gains can continually keep pace with the inexorable rise in energy demand of around 2% yearly.
- ▶ If we want to expand human energy use beyond these limits then we would have to find other sources of energy.
- ▶ Some people look to nuclear fusion, hot or cold, others to as yet even more unproven options like the so-called 'free energy' techniques. There is even talk of their being large amounts of hydrogen gas produced by bacteria deep underground.

▶ by David Elliott, Professor of Technology Policy at the Open University

(FIGURE 8A3) ENERGY PAYBACK RATIO OF ENERGY OPTIONS



Source: Luc Gagnon, Hydro Quebec, April 2000

# Energy return on Invested

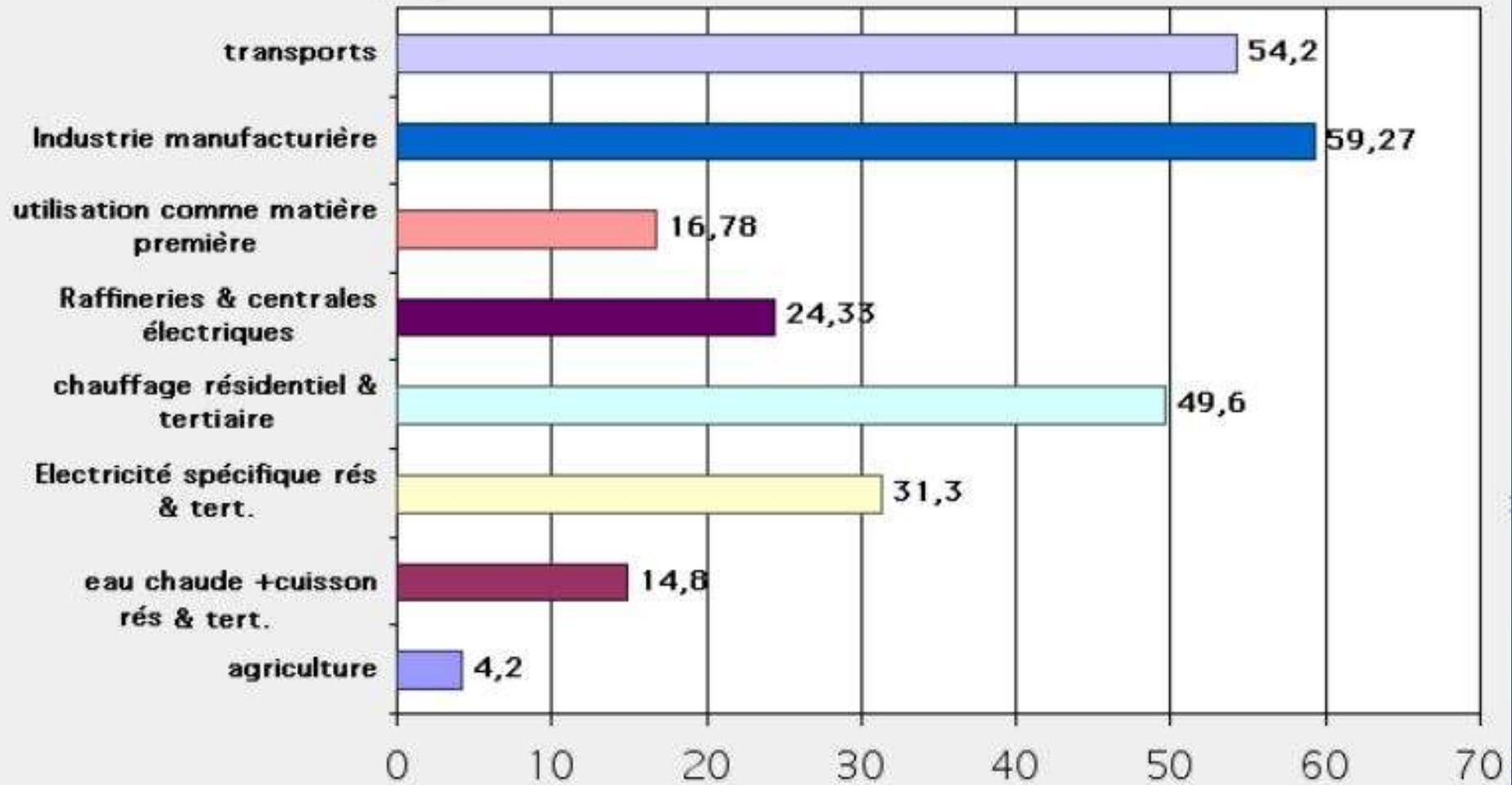
$$\text{EROI} = \frac{\text{Energy returned to society}}{\text{Energy required to get that energy}}$$

# Shall Oil, pétrole de schiste

- ▶ Continuation de la croissance de la consommation mondiale de pétrole exige :
  - ▶ 30 M barils/j de plus par an soit par an → 10,8 Md de barils
- ▶ Réserves mondiales de pétrole de schiste (difficiles à évaluer...) pour 48 pays :
  - ▶ 419 Md de barils (étude US EIA 2015) soit 38 ans

- 1 kilowatt-heure (kWh) = 3,6 MJ    1 calorie (cal) = 4,18 J
- Pétrole : tonne d'équivalent pétrole (tep)
- Gaz naturel : mètre cube, pied cube ou British thermal unit (btu)
- Charbon : tonne équivalent charbon (tec)
- Électricité : kilowatt-heure (kWh)
- 1 tonne d'équivalent pétrole (tep) = 42 GJ
- 1 tonne équivalent charbon (tec) = 29,307 GJ
- 1 British thermal unit (btu) = 1 054 à 1 060 J
- 1 tonne d'équivalent pétrole (tep) = 11 628 kWh
- 1 tonne d'équivalent pétrole (tep) = 1,4286 tec
- 1 tonne d'équivalent pétrole (tep) = 1 000 m<sup>3</sup> de gaz (équivalence conventionnelle du point de vue énergétique)
- 1 tonne d'équivalent pétrole (tep) = 7,33 barils de pétrole (équivalence conventionnelle du point de vue énergétique)
- 1 Mégawatt-heure (MWh) = 0,086 tep

### Consommation d'énergie primaire (Mtep)



Source, Observatoire de l'énergie

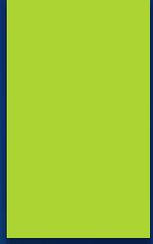
- 
- ▶ That means that we need to count in our equation not just the “upstream” energy cost of finding and producing the fuels themselves but all of the “downstream” energy required to deliver the service (in this case transportation), i.e. 1) building and maintaining vehicles, 2) making and maintaining the roads used, 3) incorporating the depreciation of vehicles, 4) incorporating the cost of insurance, 5) etc. All of these things are as necessary to drive that mile as the gasoline itself, at least in modern society. For the same reason businesses pay some 45 or 50 cents per mile when a personal car is used for business, not just the 10 cents or so per mile that the gasoline costs. So in some sense the dollar required for delivering the service (a mile driven) is some 4 to 5 times the direct fuel costs, and this does not include the taxes used to maintain most of the roads and bridges.

- 
- ▶ global energy needs rise more slowly than in the past but still expand by 30% between today and 2040. This is the equivalent of adding another China and India to today's global demand.
  - ▶ A global economy growing at an average rate of 3.4% per year, a population that expands from 7.4 billion today to more than 9 billion in 2040, and a process of urbanisation that adds a city the size of Shanghai to the world's urban population every four months
  - ▶ The largest contribution to demand growth – almost 30% – comes from India, whose share of global energy use rises to 11% by 2040

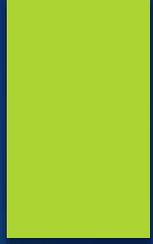
# Esclaves énergétiques

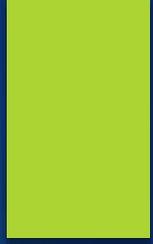
Esclaves énergétiques à disposition de chaque Français à tout instant (en moyenne)

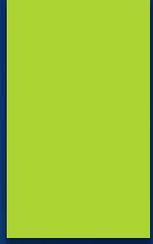
	Esclaves
Transports	17
Agriculture	20
Industrie	132
Résidentiel	247
TOTAL	416



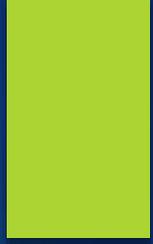


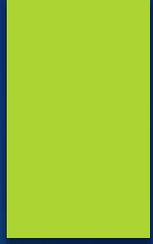


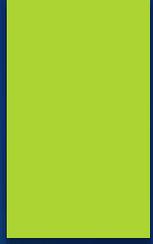




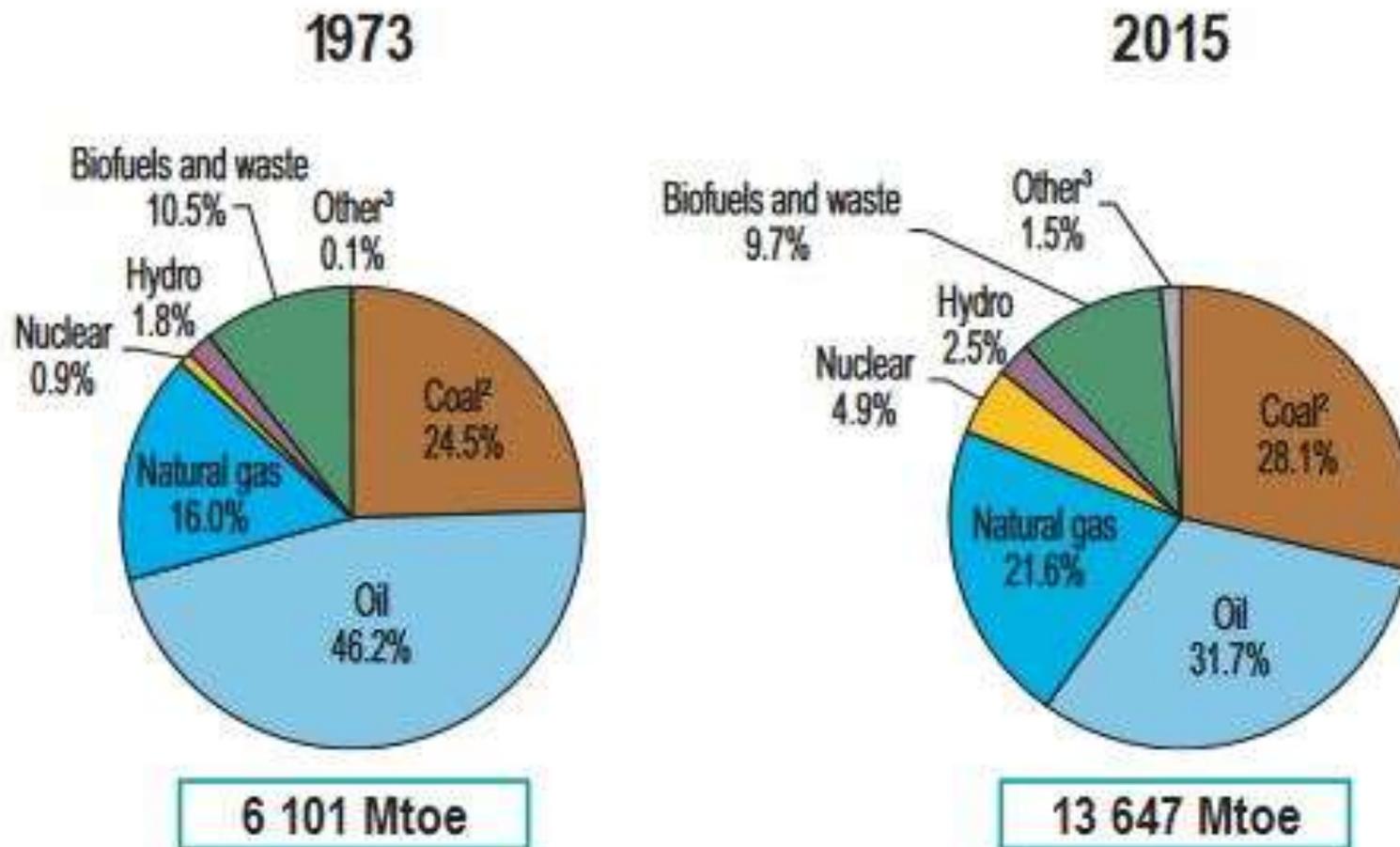








## 1973 and 2015 fuel shares of TPES



1. World includes international aviation and international marine bunkers.
2. In these graphs, peat and oil shale are aggregated with coal.
3. Includes geothermal, solar, wind, tide/wave/ocean, heat and other.

Source IEA

- 
- ▶ around 90,000TW equivalent), given the limitations of geographical access, only about 1000 TW is in any way actually available to us to use<sup>7</sup>. That is around 70 - 80 times current global energy generation (13TW). However, in practice there are technical limits on how much of this can actually be converted into useful energy.