



**Peut-on transitionner (vers
quoi, au fait) sans
nucléaire ?**

**Visiatome Marcoule
13 mars 2017**

Jean-Marc Jancovici

jmj@manicore.com

jean-marc.jancovici@carbone4.com

jean-marc.jancovici@theshiftproject.org

Je peux dire des horreurs à l'oral, mais j'y arrive aussi à l'écrit

Jean-Marc
Jancovici

Dormez tranquille
jusqu'en **2100**

 et autres
malentendus
sur le **climat**
et l'**énergie**


Odile
Jacob



**Quand on ne sait pas où
l'on va, l'essentiel est d'y
aller le plus vite possible**



Selon vous, qu'est-ce que l'énergie ?

♦A:

**Ma facture d'électricité
(voire de gaz)**

♦B:

♦C:

♦D:

On ne va quand même pas passer la nuit sur 5% de nos charges...



= 5%



= 5%



= 2%





Selon vous, qu'est-ce que l'énergie ?

♦A:

**Ma facture d'électricité
(voire de gaz)**

♦B:

**Il faut l'économiser, mais
pourquoi ?**

♦C:

**Ce que l'on ressent un matin
où l'on est en forme**

♦D:

**Ce qui compte la transformation,
ou j'ai dit une bêtise ?**

L'énergie, plus fort que les euros

L'énergie est là dès que le monde change :
Modification de température



Modification de la vitesse



Modification de forme



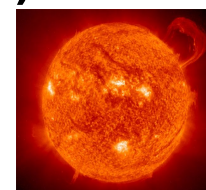
Modification de la composition chimique



Modification de la position dans un champ
(magnétique, électrique, gravitationnel...)



Changement de composition atomique



Transfert de rayonnement à de la matière



Compter l'énergie, c'est compter la transformation physique du monde qui nous entoure



Nietzsche voulait des surhommes : le carbone l'a fait



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

→
x 10



1,5 €/L :
0,4 €/kWh

10 kWh
2-4 kWh
mécanique

1 L

→
÷ 500

→
÷ 10-100

→
x 100

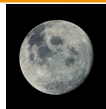
→
÷ 5000

1 jour sur 2 : 100 kWh/an
Au SMIC : 200 €/kWh

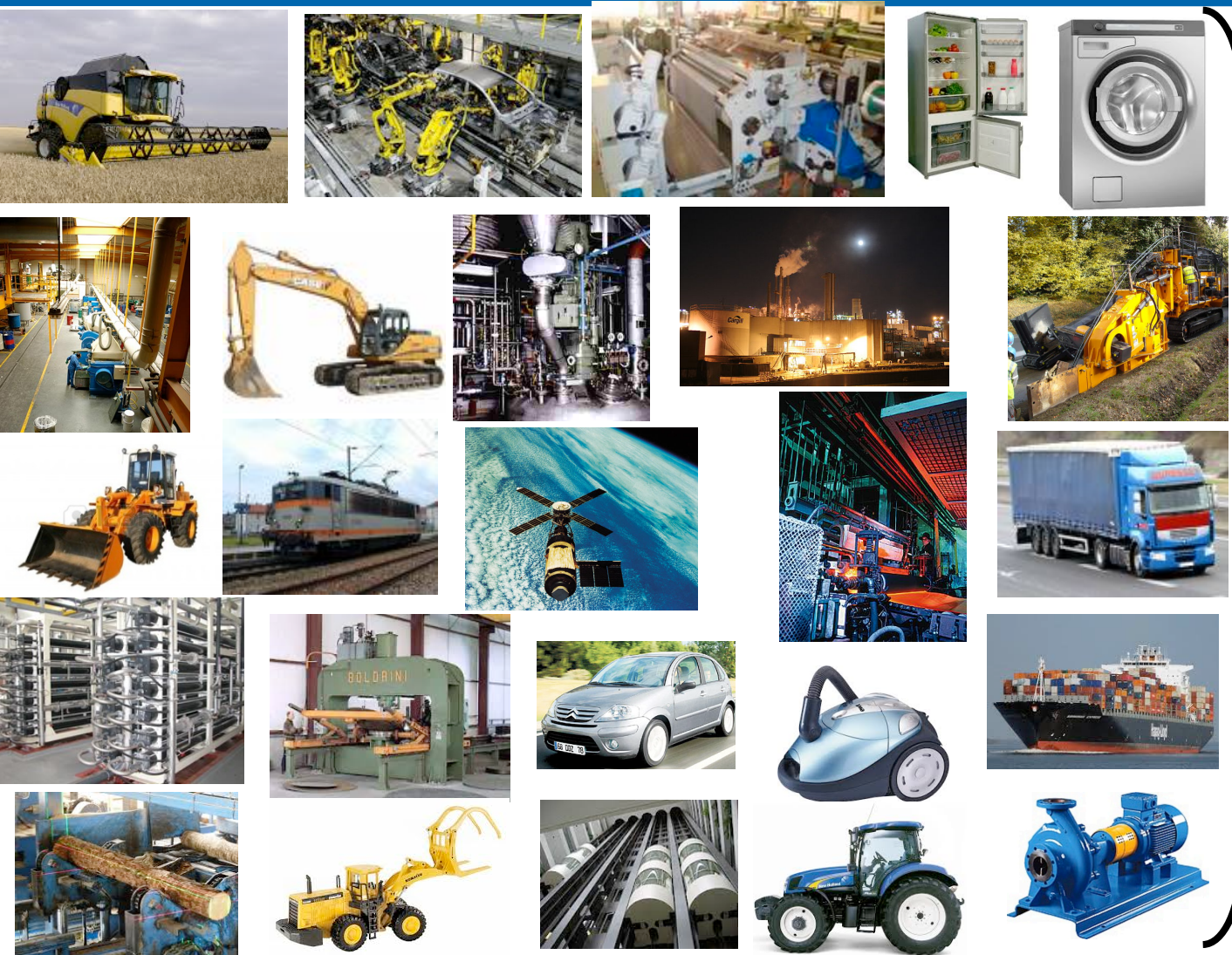
Même un esclave : 4-40 €/kWh



6 m³ terre x 1 m
0,05 kWh
(10 kWh/an)
2000 €/kWh



Les voici, nos esclaves des temps modernes !



200 (moyenne mondiale) à 600 (moyenne française)



L'homme produit avec la machine, ou la machine produit avec l'homme ?



= 100 W pour les jambes, 10 W pour les bras



= 60 kW \approx 600 paires de jambes



= 100 kW \approx 10.000 paires de bras



= 400 kW \approx 4.000 paires de jambes



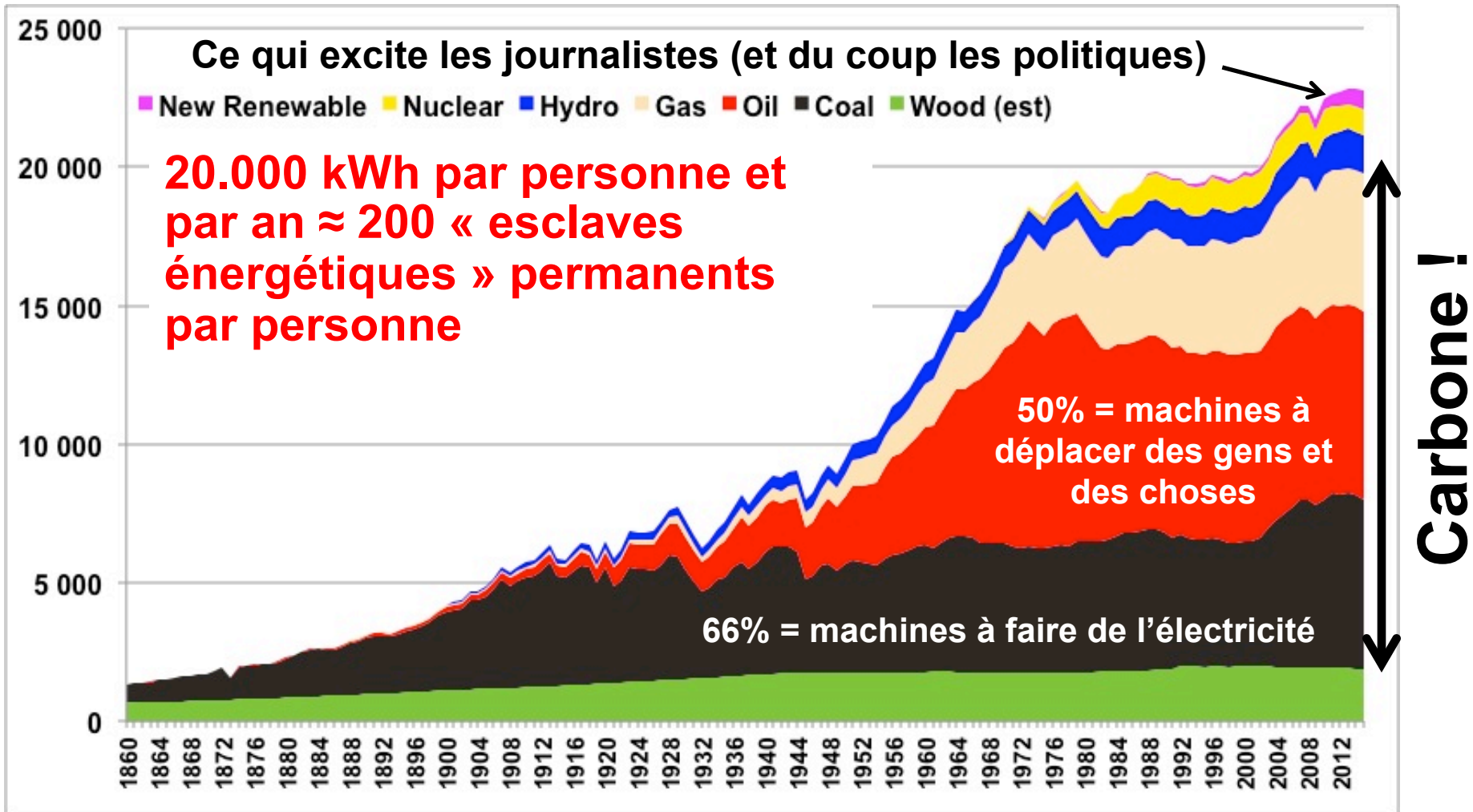
= 100 MW \approx 1.000.000 paires de jambes...



= 100 MW \approx 10.000.000 paires de bras !



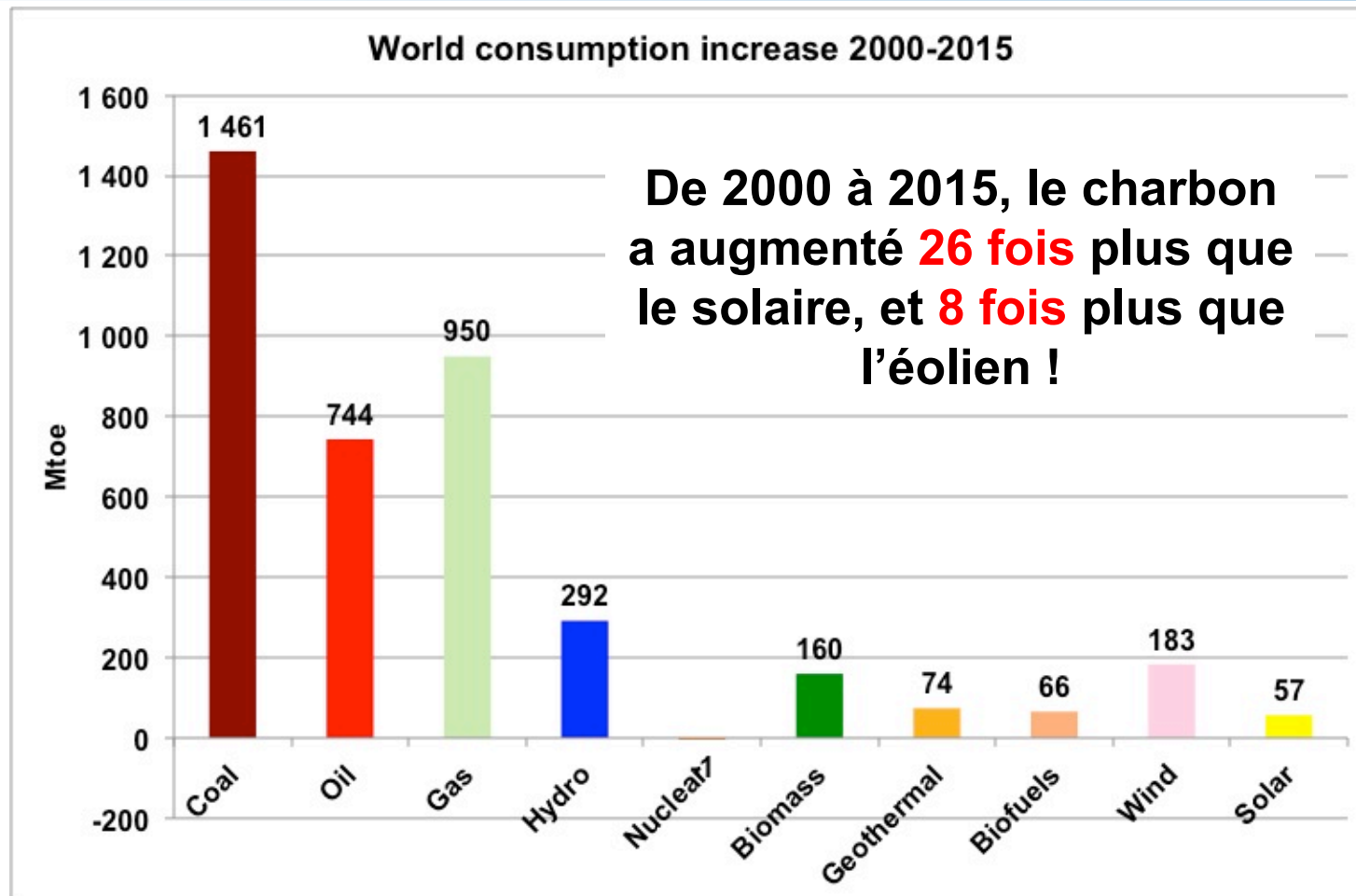
Miam miam kWh



Consommation d'énergie par personne, moyenne mondiale 1860-2015. Jancovici, 2016

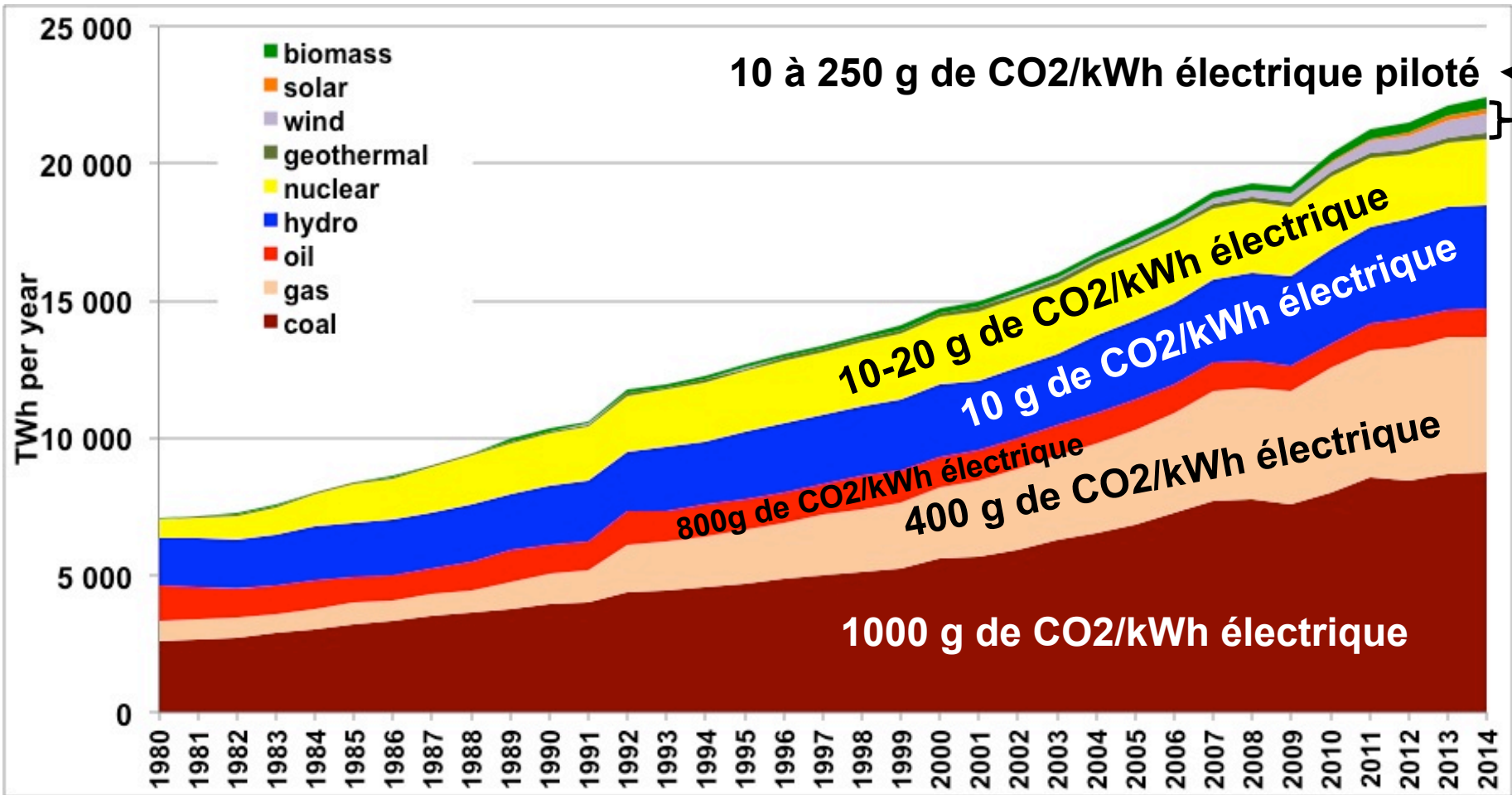


Le solaire, énergie la plus en vogue, vraiment ?



Surplus de consommation mondiale par énergie entre 2000 et 2015. Jancovici, sur données BP Statistical Review 2016 & divers

L'électricité sent plus fort le carbone que le panneau

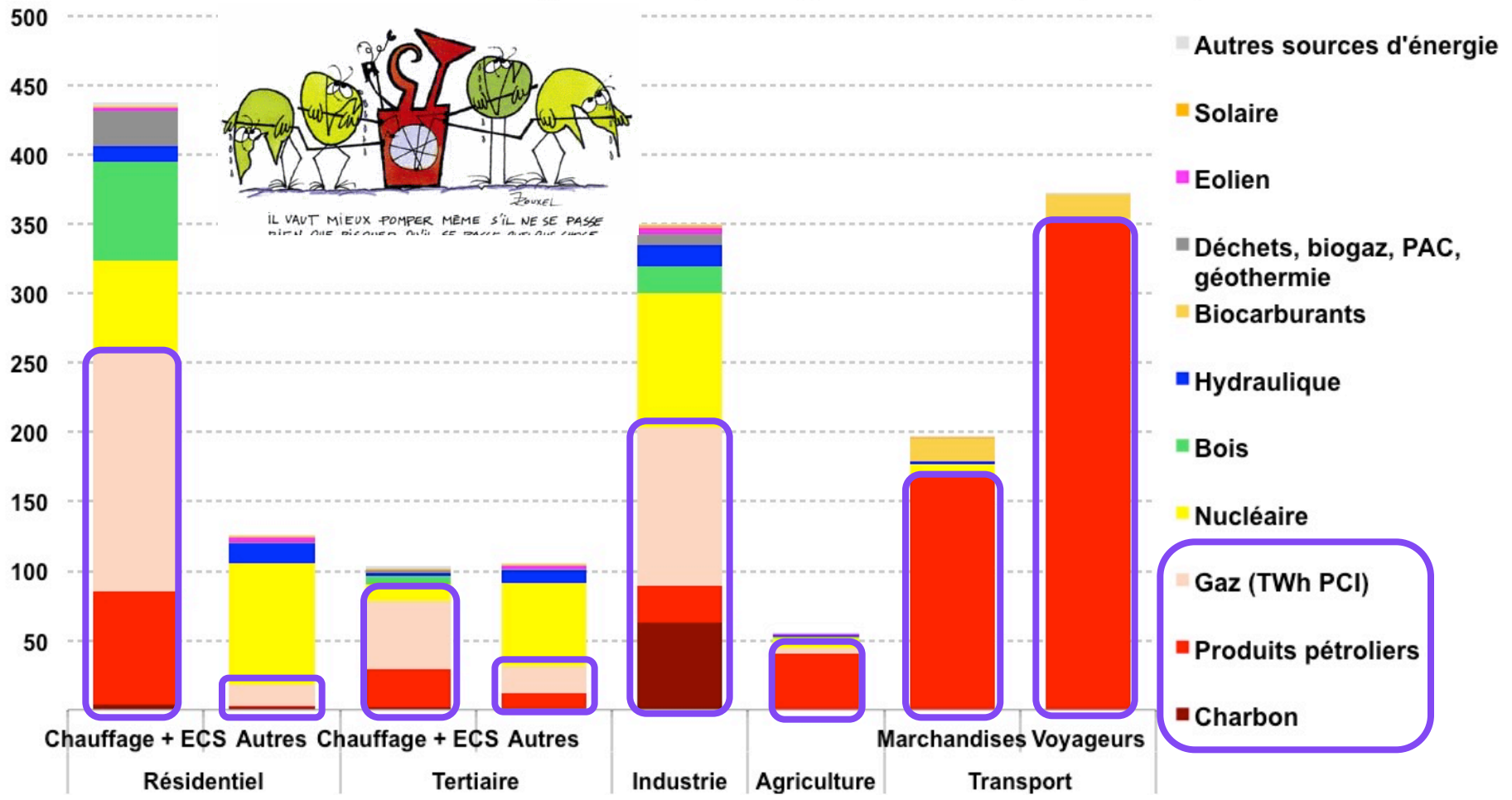


Évolution de la production électrique mondiale entre 1980 et 2014. Jancovici, sur données BP Statistical Review 2015 & divers



La France, pays « tout nucléaire » ?

Consommation finale d'énergie en 2014 (en TWh) Source: SOeS, RTE, CEREN, SNCU

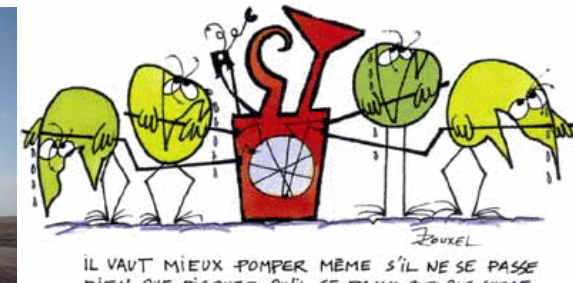
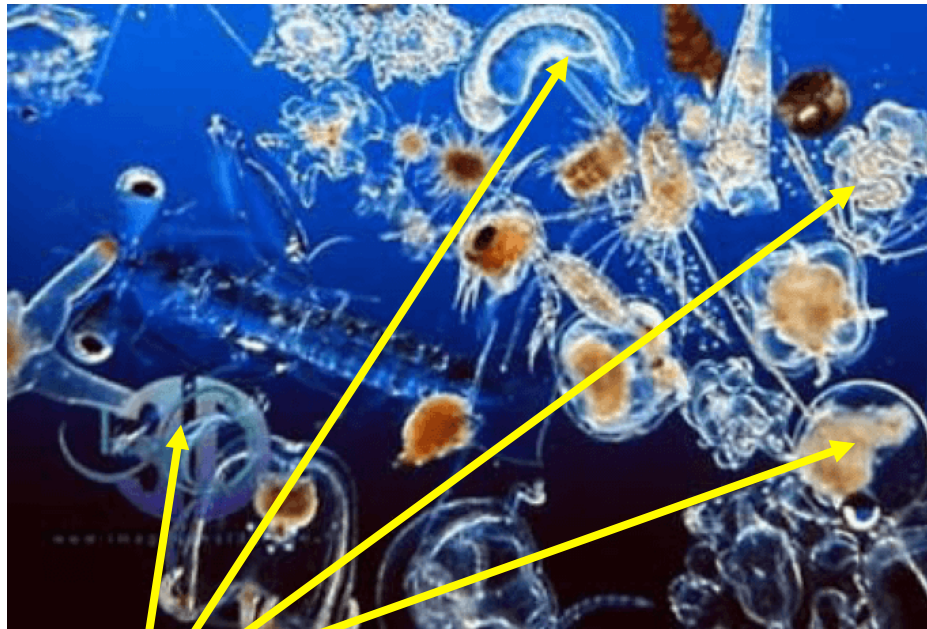


Répartition de la consommation d'énergie finale en France en 2014. Source Carbone 4, 2016.



Merci, mère nature !

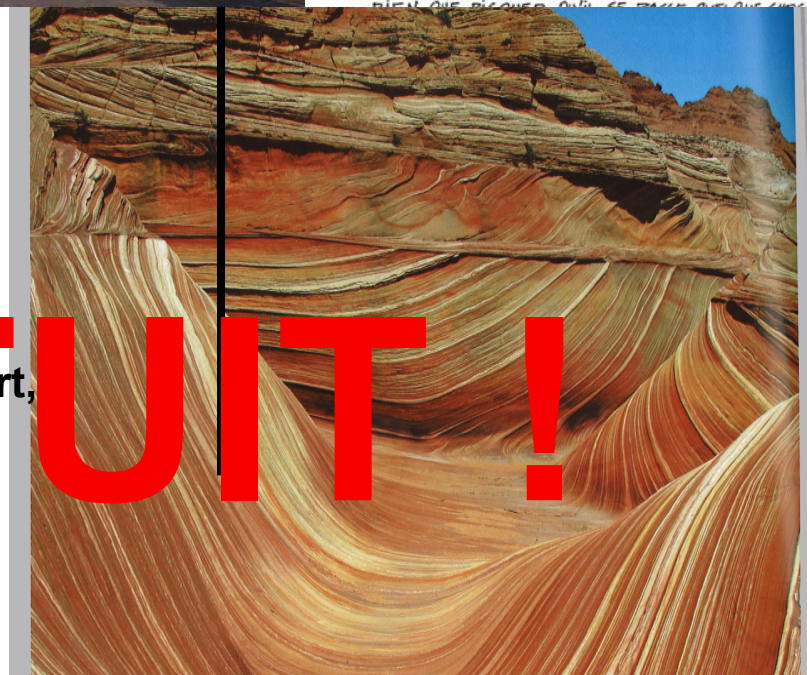
et miracle... (après 15 à 800 millions d'années et dans 0,0000000001% des cas)



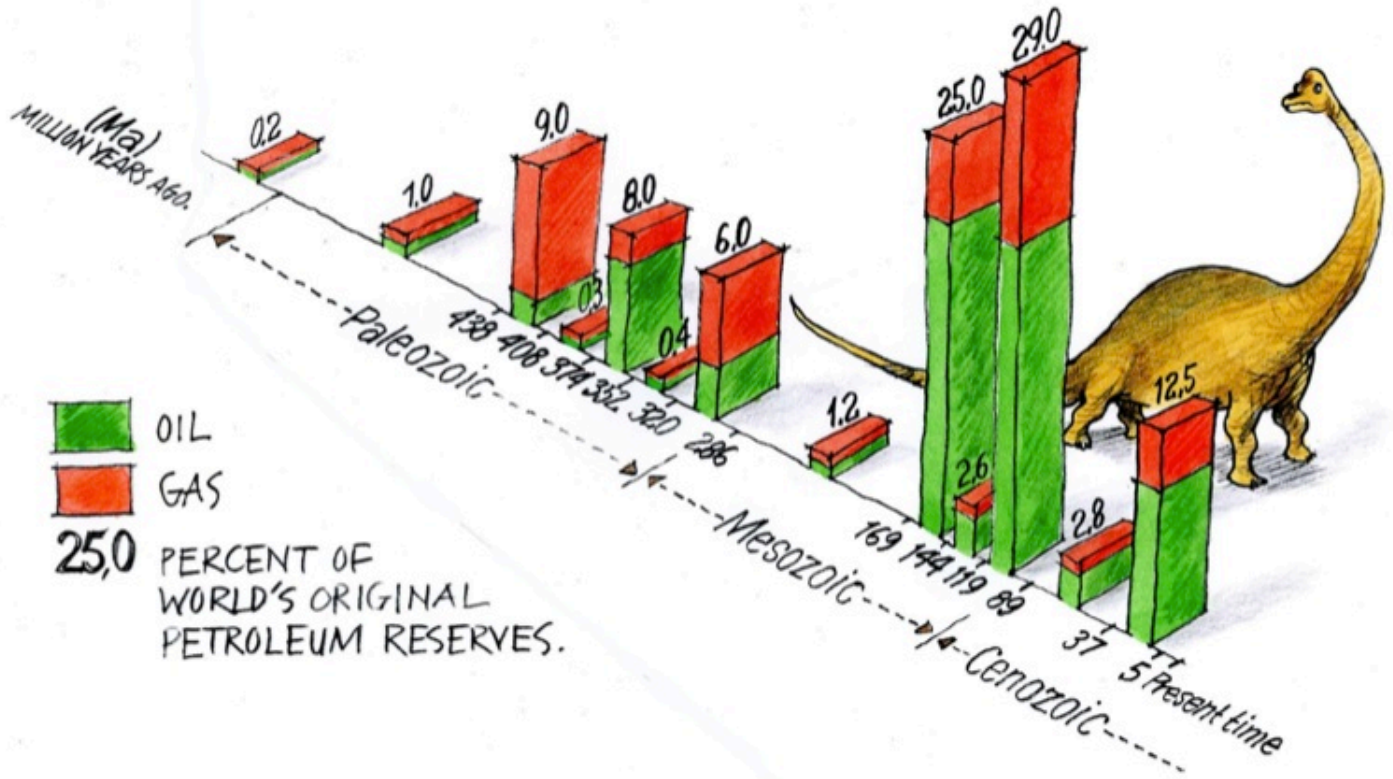
Carbone !

Je laisse tomber au fond de l'océan un corps mort,
se mélanger avec le sédiment minéral,
se faire enfouir par la tectonique des plaques,
se faire cuire par la géothermie,

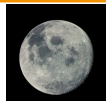
GRATUIT !



Pétrole et gaz, des énergies de dinosaure !

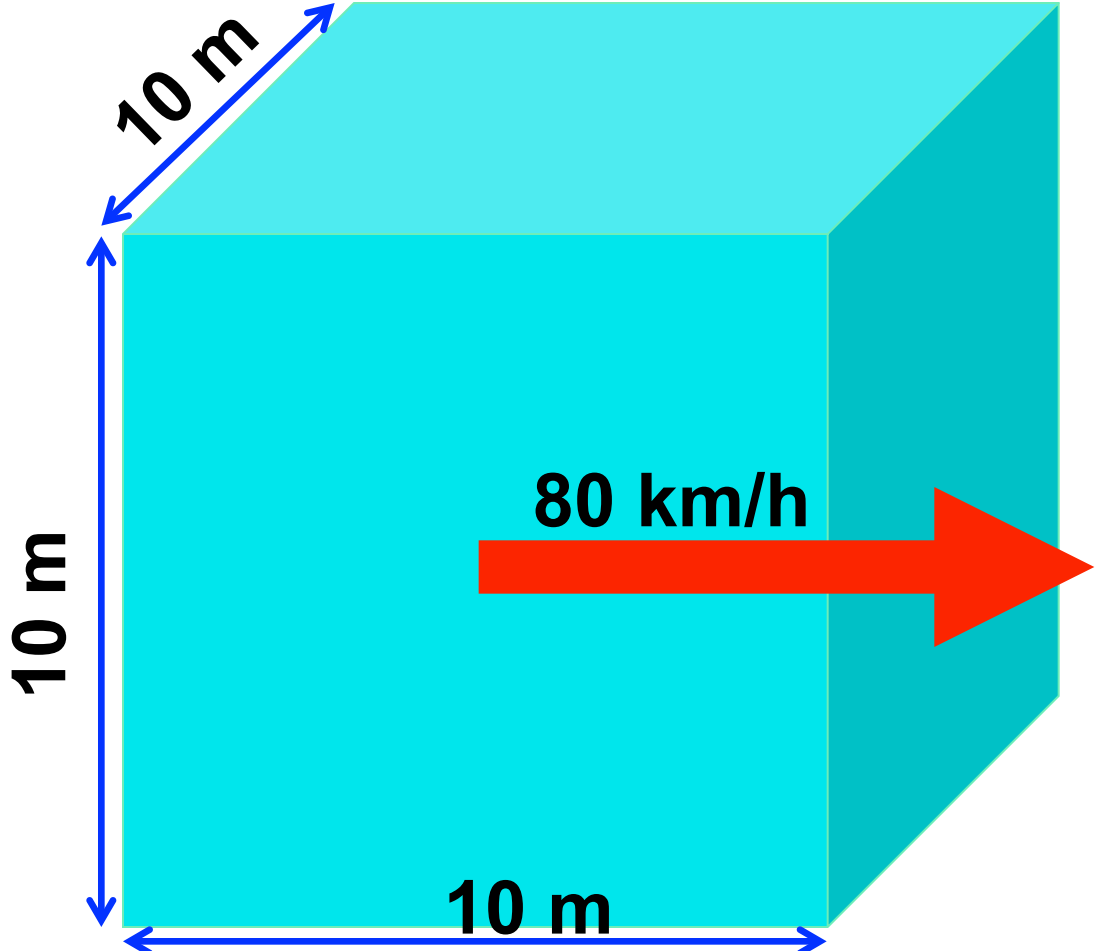


Époques de formation du pétrole et du gaz, en pourcentage des réserves mondiales. Source Université d'Uppsala, Suède, 2011



Pourquoi Diable être passé des ENR au pétrole diabolique ?

Renouvelables -> fossiles : prix / 50-100



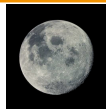
=



3 millilitres !

0,3 centimes par kWh (piloteable)

8 centimes par kWh sans pilotage, 25 à 50 avec



La physique sera toujours plus forte que les promesses de campagne

La loi de conservation impose que **l'homme ne peut rien faire d'autre que d'exploiter à son profit une source d'énergie déjà existante dans l'environnement**

Toutes les énergies primaires sont gratuites : personne n'a rien payé pour que se forment le pétrole, le gaz, l'uranium, le soleil ou le vent. Les hydrocarbures sont aussi gratuits que les renouvelables.

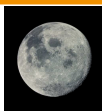
Le « cout de l'énergie » représente **uniquement les revenus humains qu'il a fallu payer pour extraire l'énergie de l'environnement**. La nature ne se fait jamais payer.

Plus une énergie est diffuse et non pilotable, plus elle coutera cher. C'est juste de la physique.

L'économie vue par Super Mario (ou Super Manuel !)



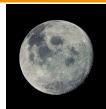
Systeme productif



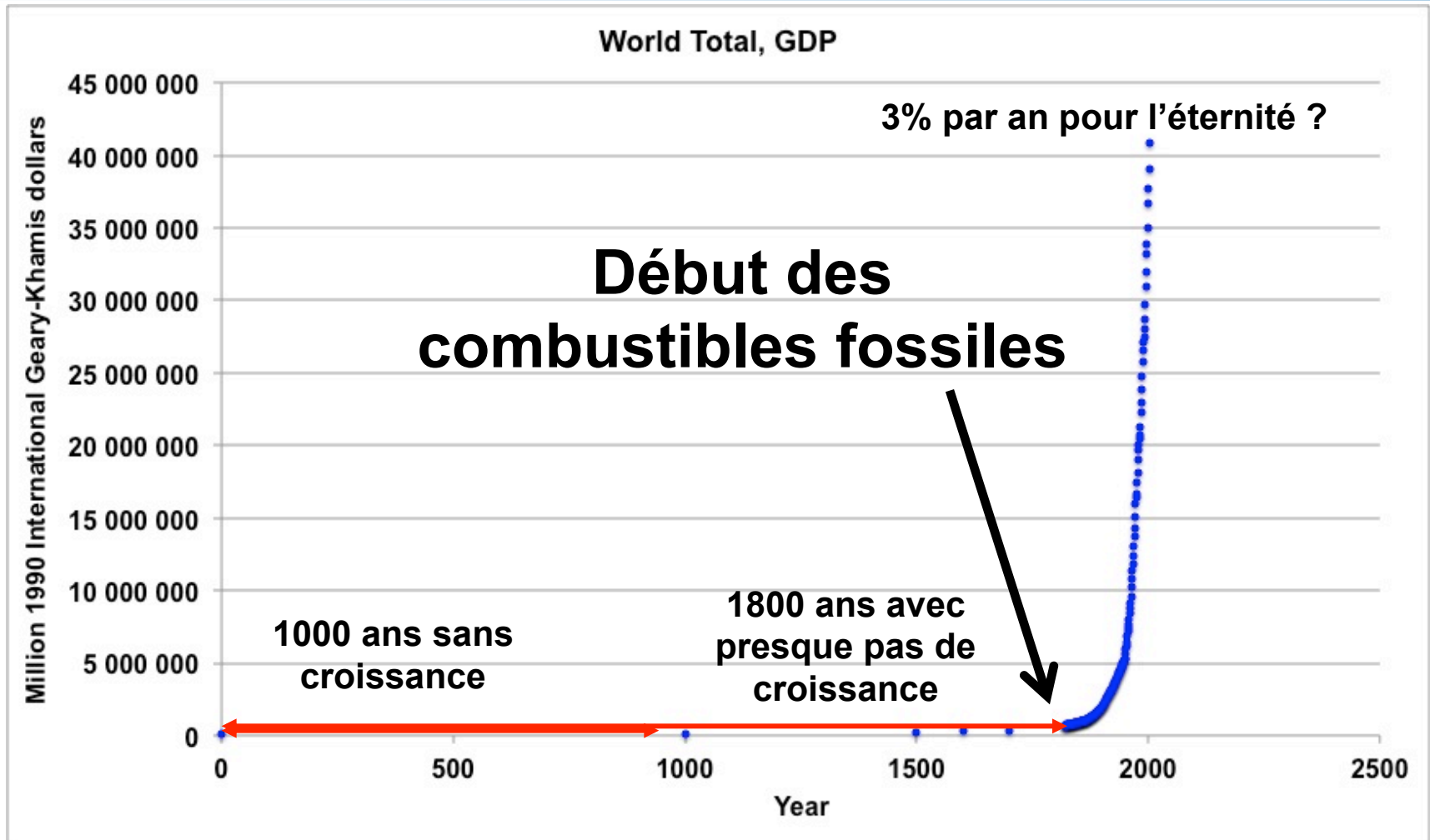
En fait, il vaut mieux avoir de la ressource...



Travail

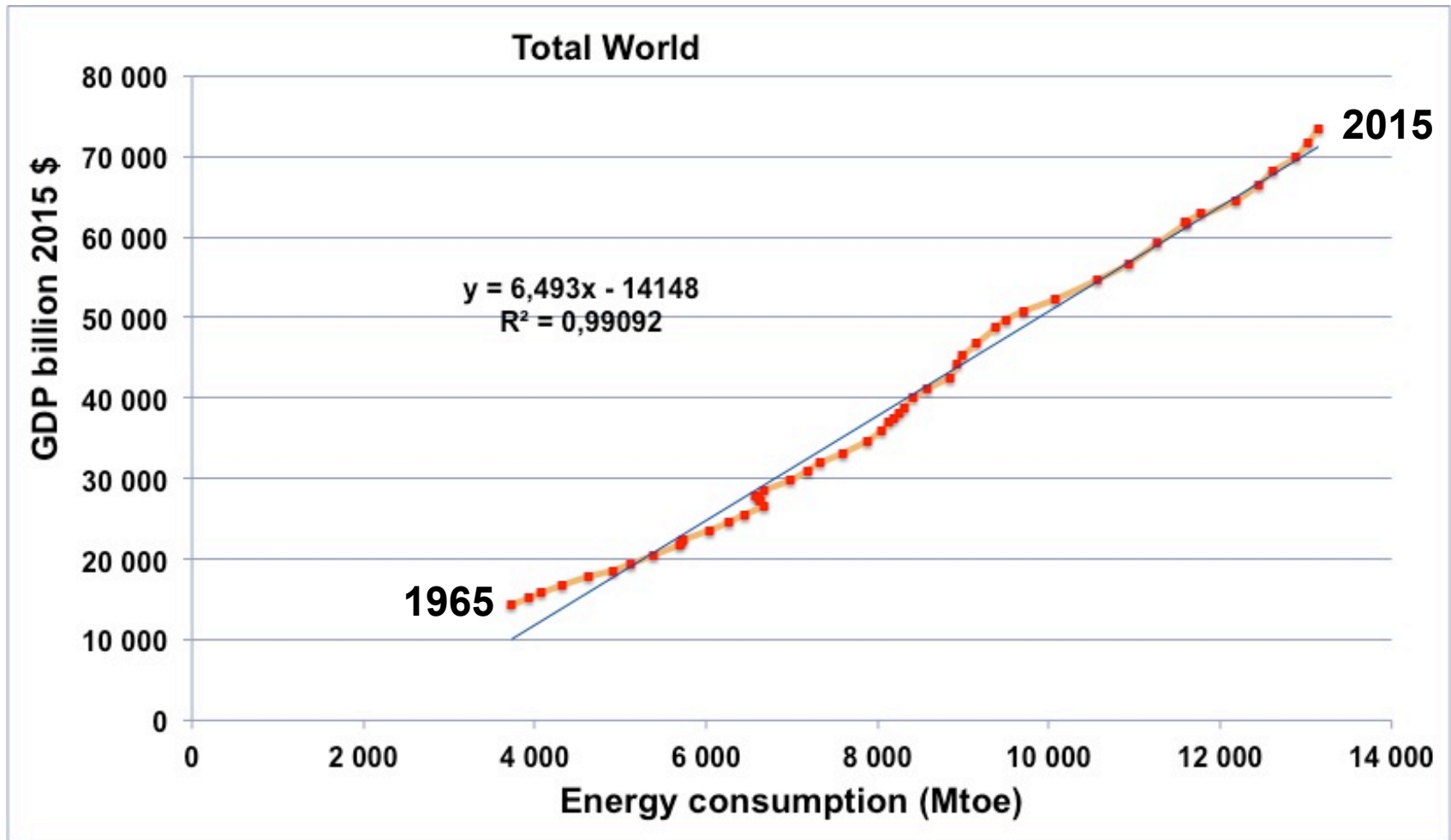


Hollande et Sarkozy auraient du se présenter il y a 1000 ans !



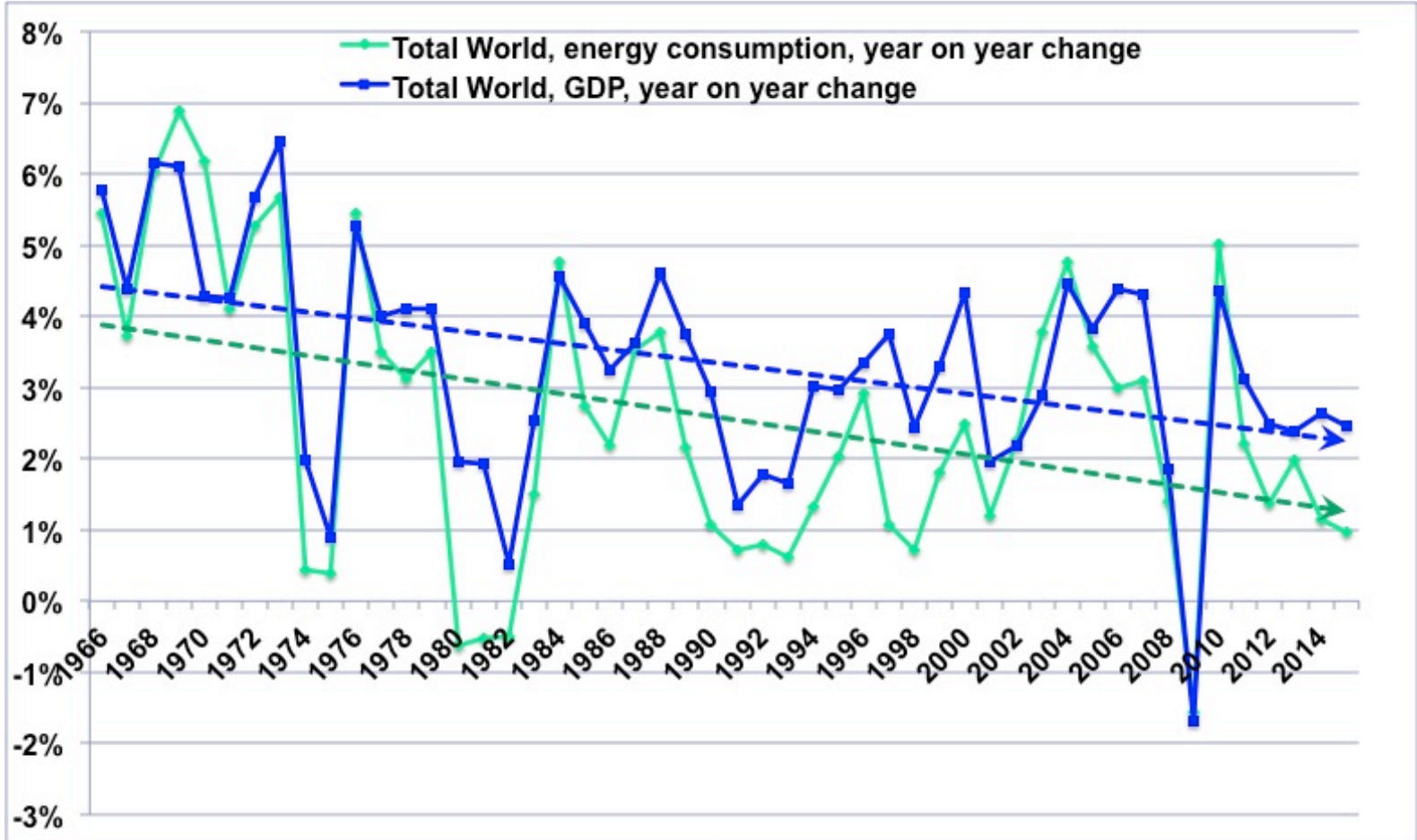
PIB mondial reconstitué de l'an 0 à 2003. Source Maddison, 2010

Le meilleur modèle macro-économique du monde : une droite



Energie consommée (en abscisse) et PIB en dollars constants (ordonnée) pour le monde, de 1965 à 2015. Données World Bank pour le PIB et BP stat pour l'énergie

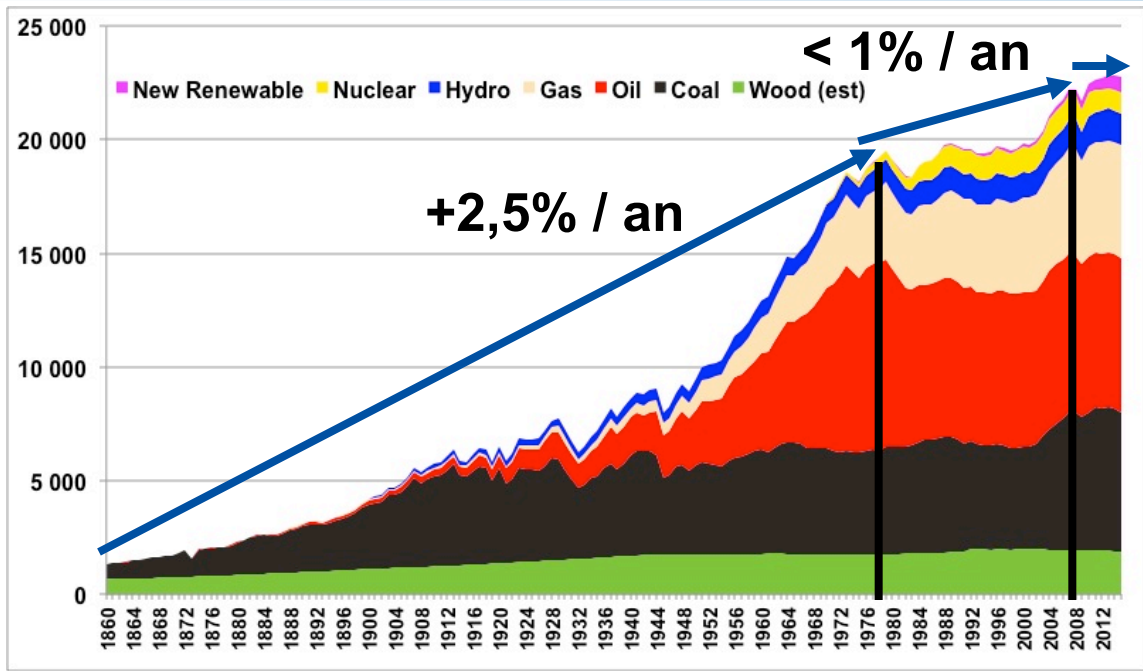
Puis-je avoir du PIB sans énergie ?



Variation de la consommation d'énergie (en vert) et du PIB en dollars constants (en bleu), pour le monde. Données World Bank pour le PIB et BP stat pour l'énergie



C'est la valse à trois temps...



≈ 0

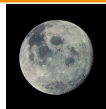
Midas se fatigue, et appelle à sa rescousse la tertiarisation et la dette

Midas part en vacances, la dette explose, le taux d'emploi baisse, les inégalités s'accroissent...

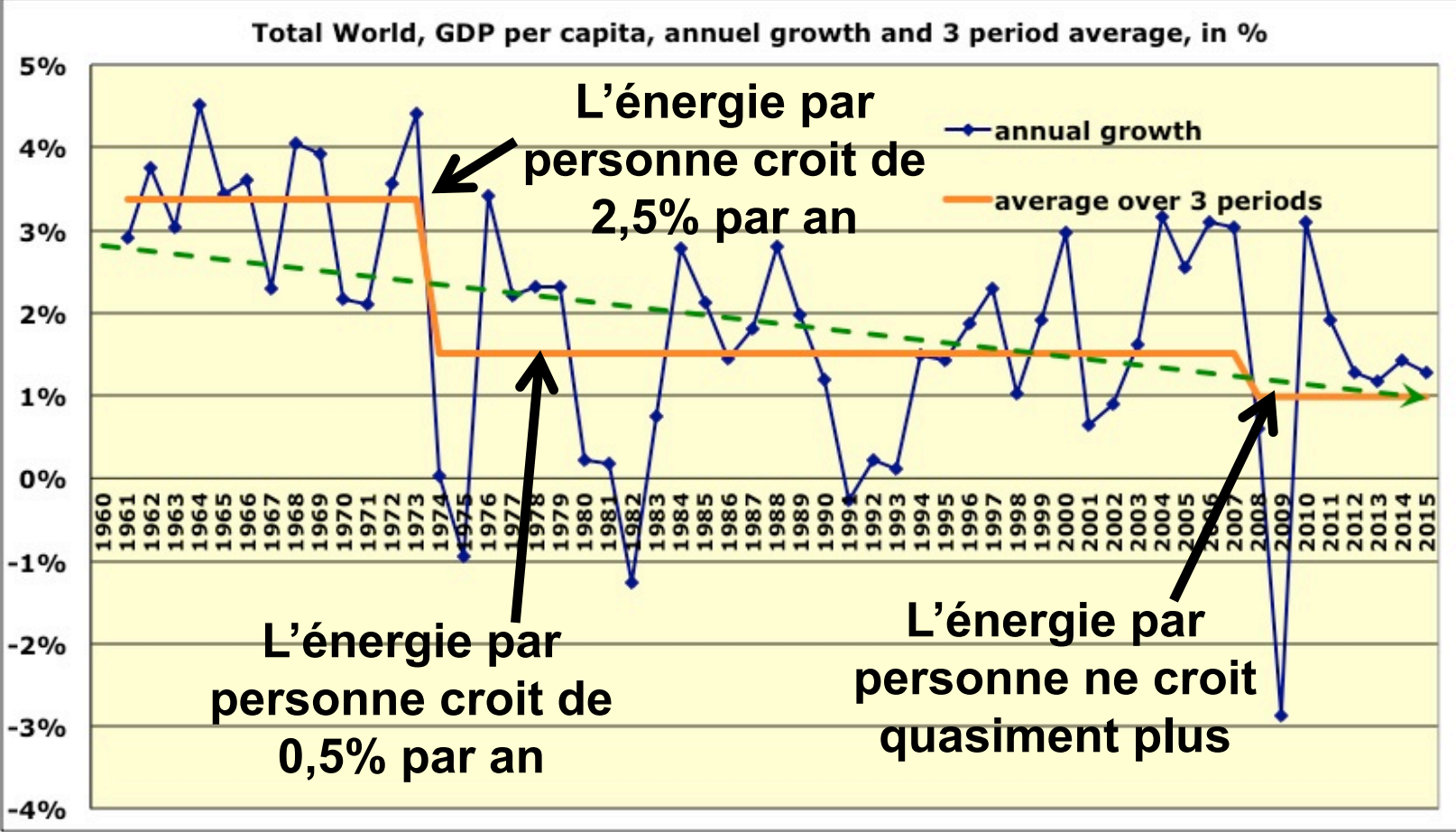
\Leftrightarrow chaque année, le parc de machines par personne augmente d'au moins 2,5%

\Leftrightarrow chaque année, la transformation de ressources par personne augmente d'au moins 2,5%

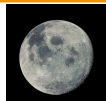
\Leftrightarrow chaque année, la production économique par personne augmente d'au moins 2,5%



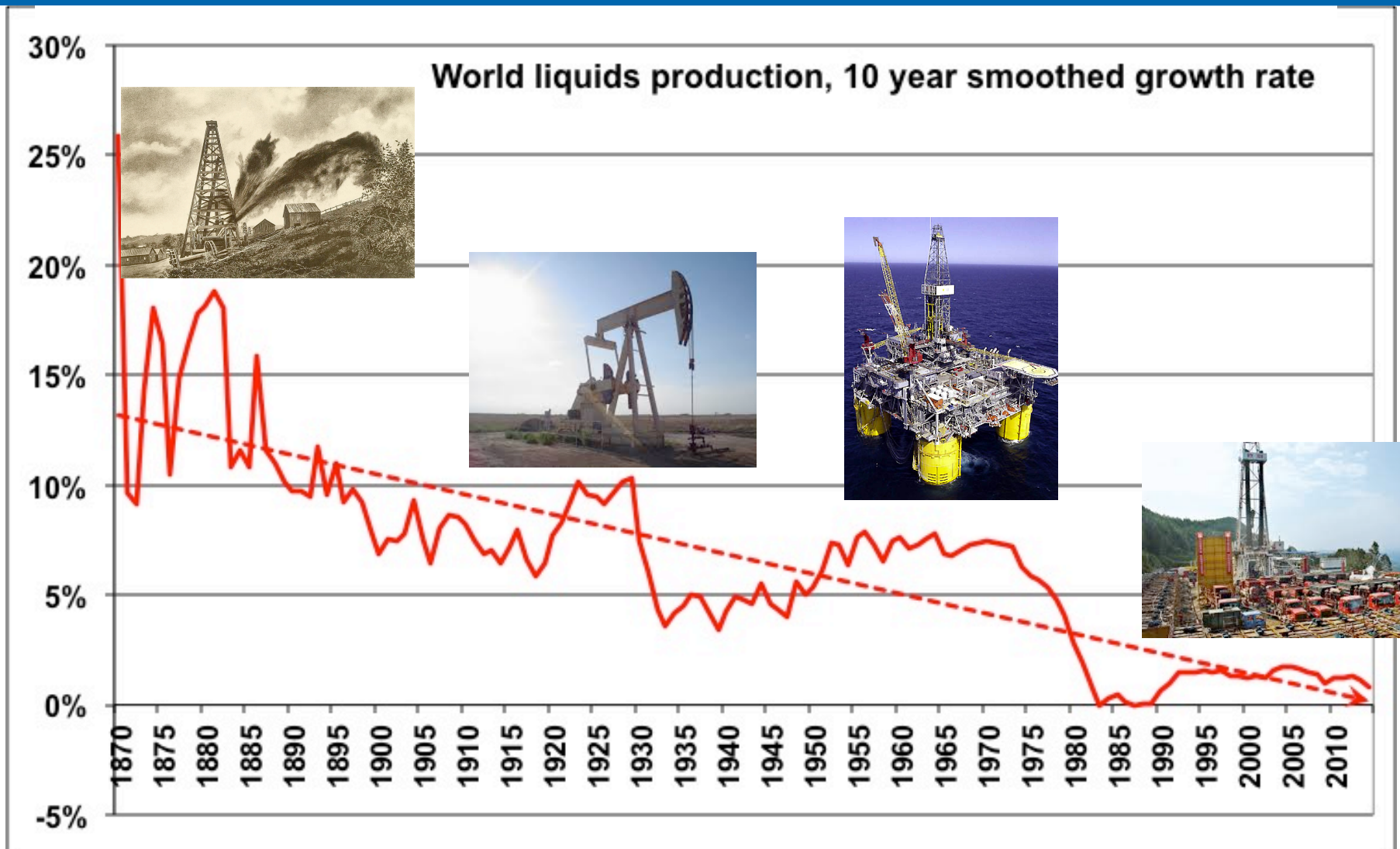
It's the kWh, stupid!



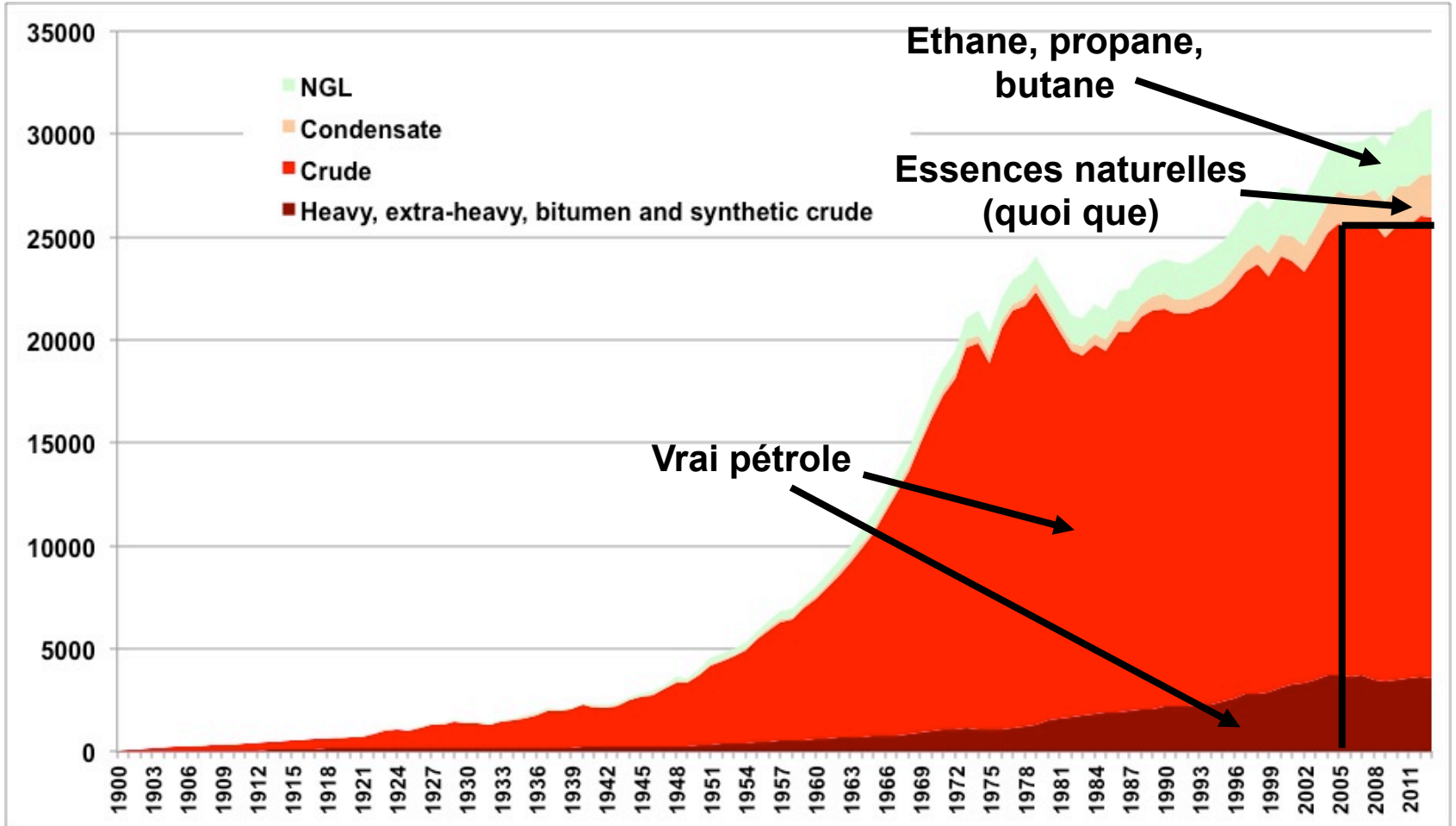
Variation annuelle du PIB par personne en moyenne mondiale. Jancovici, sur données World Bank.



C'est la grosse bête qui descend, qui descend...



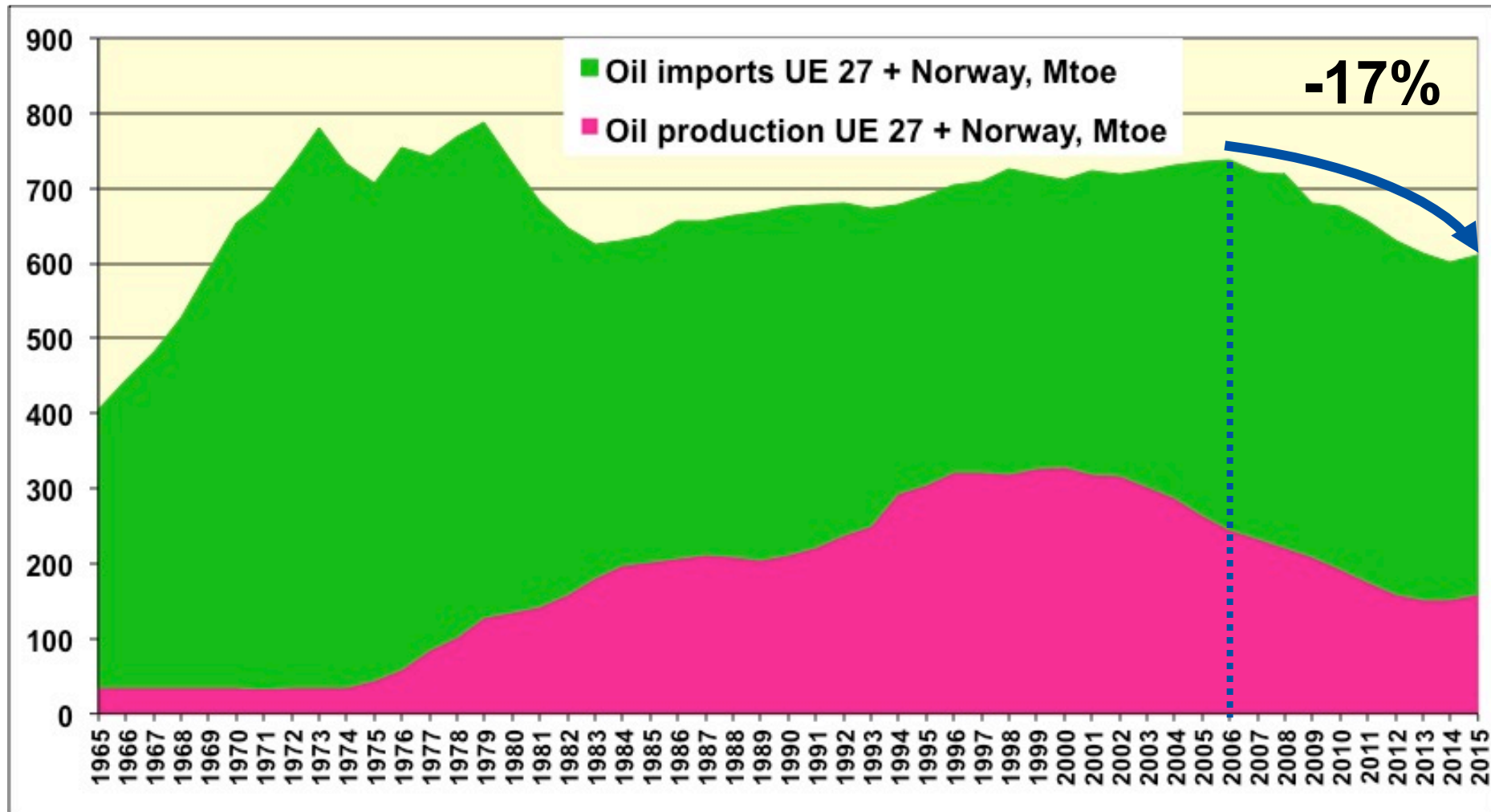
Il y a pétrole et pétrole



Production mondiale de liquides décomposée par catégorie depuis 1900. Données non publiques.



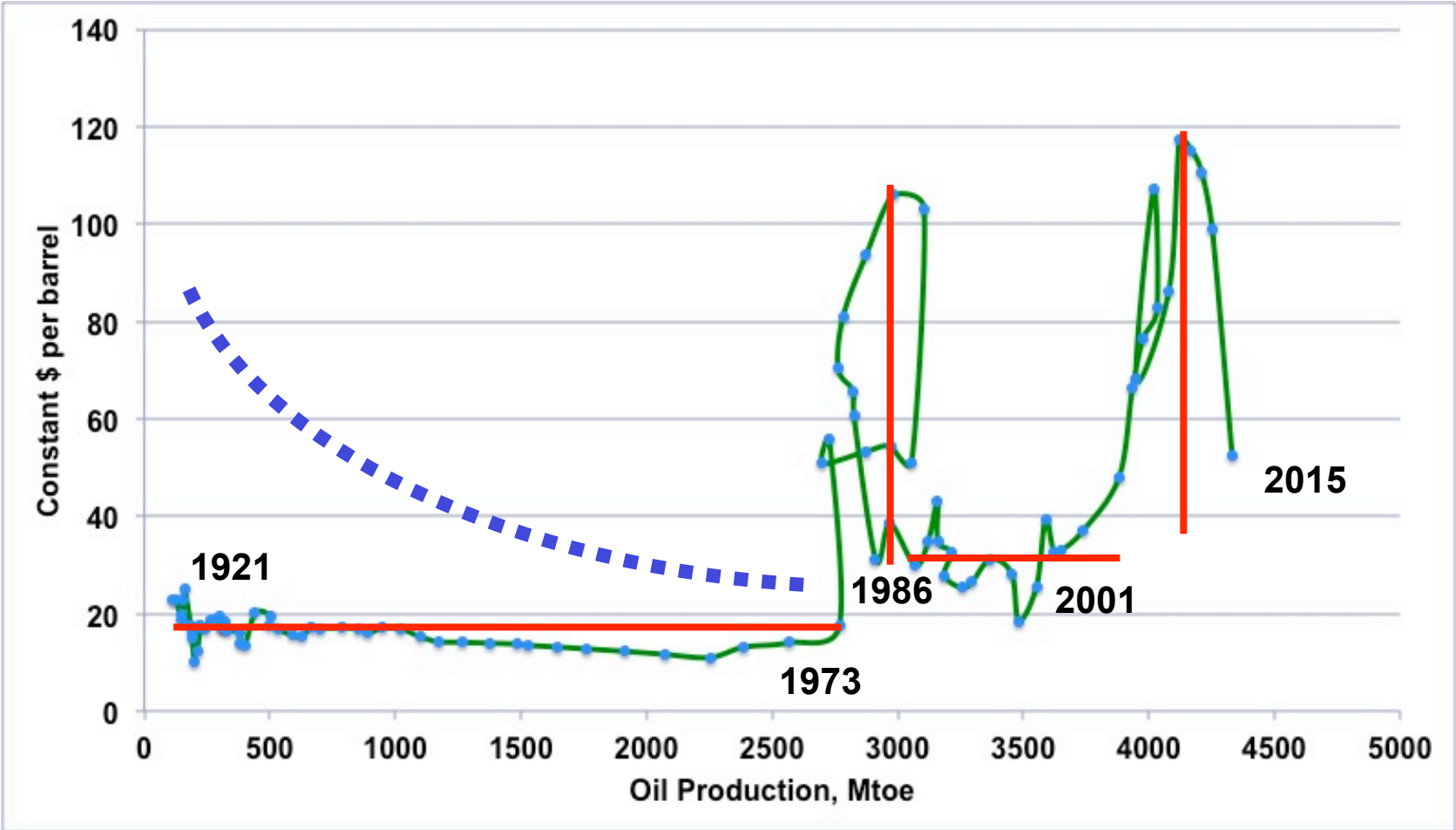
Pas de sécurité d'approvisionnement en pétrole



Approvisionnement pétrolier de l'Europe depuis 1965. Données BP Statistical Review, 2016



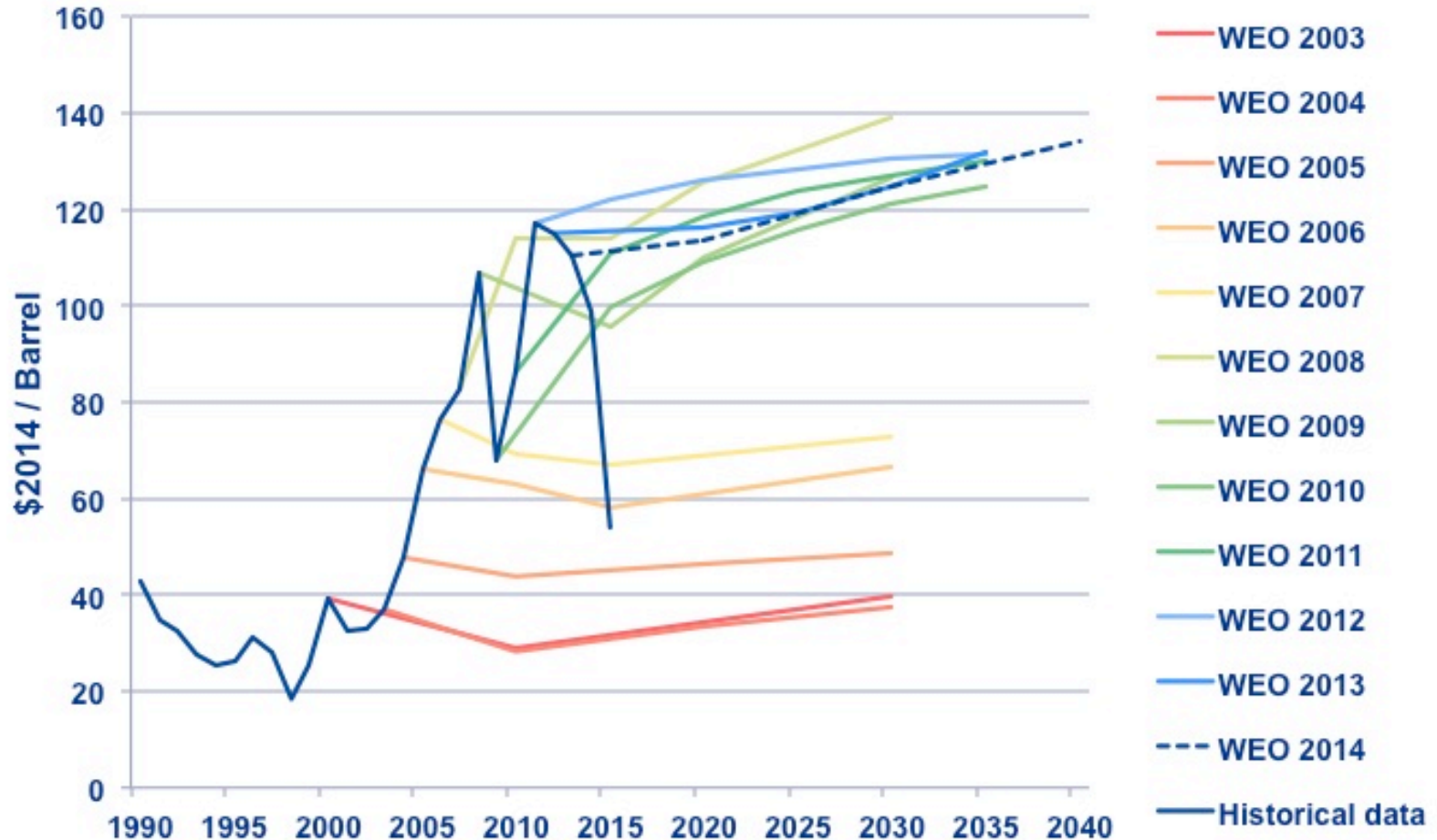
Le prix du pétrole est-il élastique ?



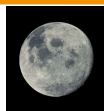
Prix du baril (en abscisse) vs. PIB en dollars constants (ordonnée) de 1921 à 2015. Jancovici, 2016, sur données World Bank & BP Statistical Review



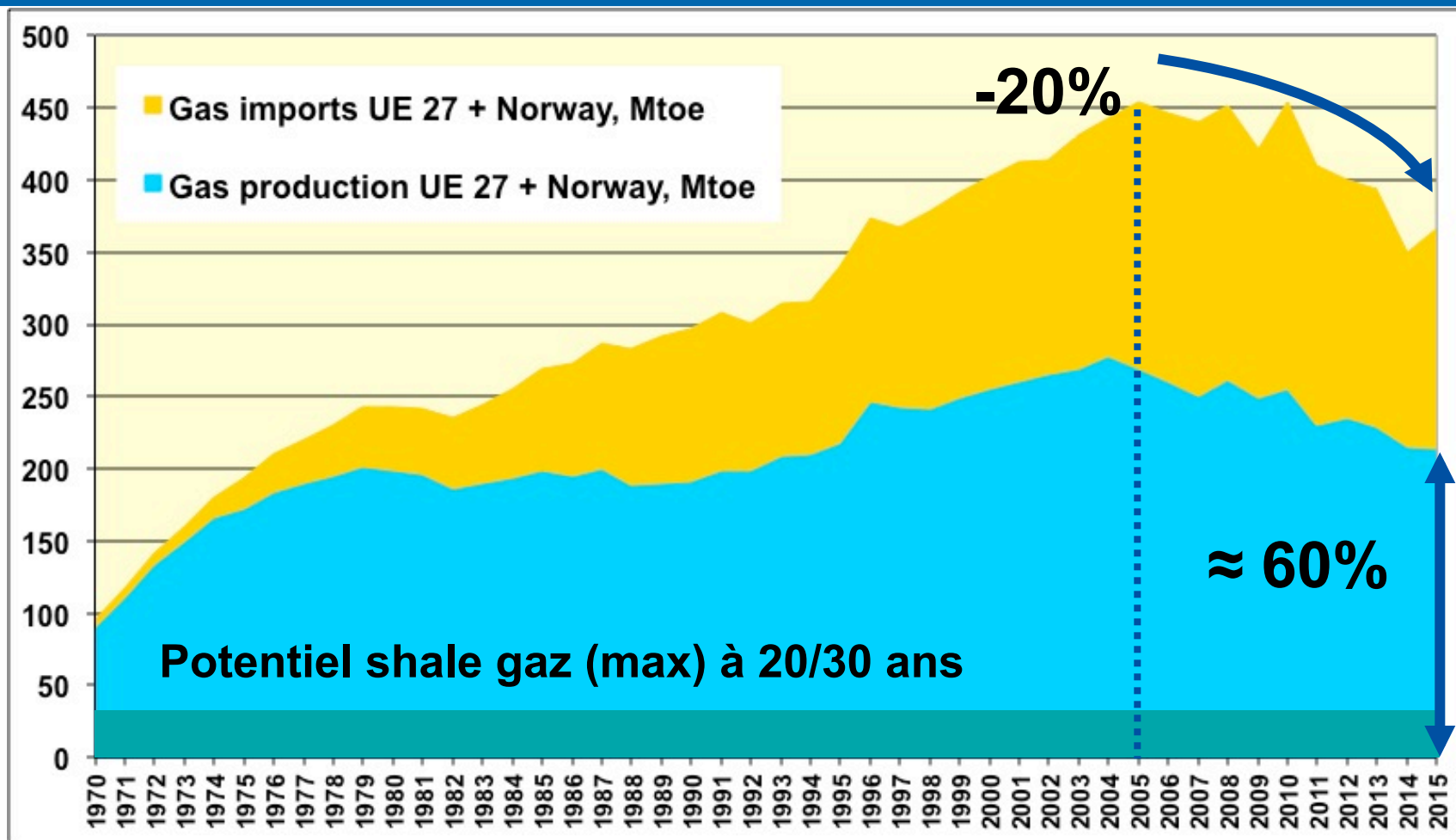
Il vaut mieux prévoir le prix passé que le prix futur



Prix constaté du baril (courbe bleue) vs. projections faites par l'AIE de 2003 à 2014. Source Carbone 4, 2016.



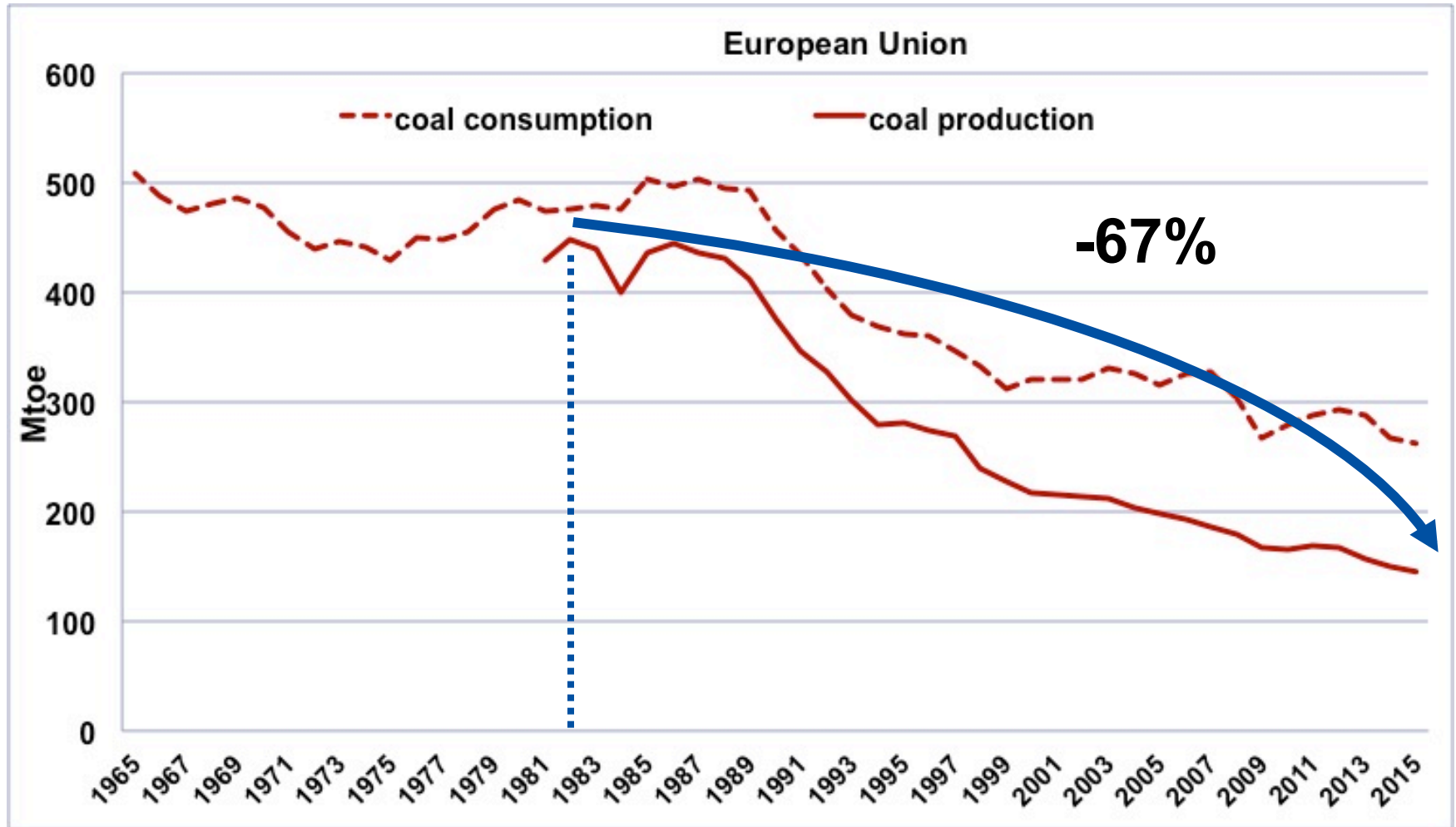
Pas de sécurité d'approvisionnement en gaz



Disponibilité en gaz en Europe. Données BP Statistical Review 2016

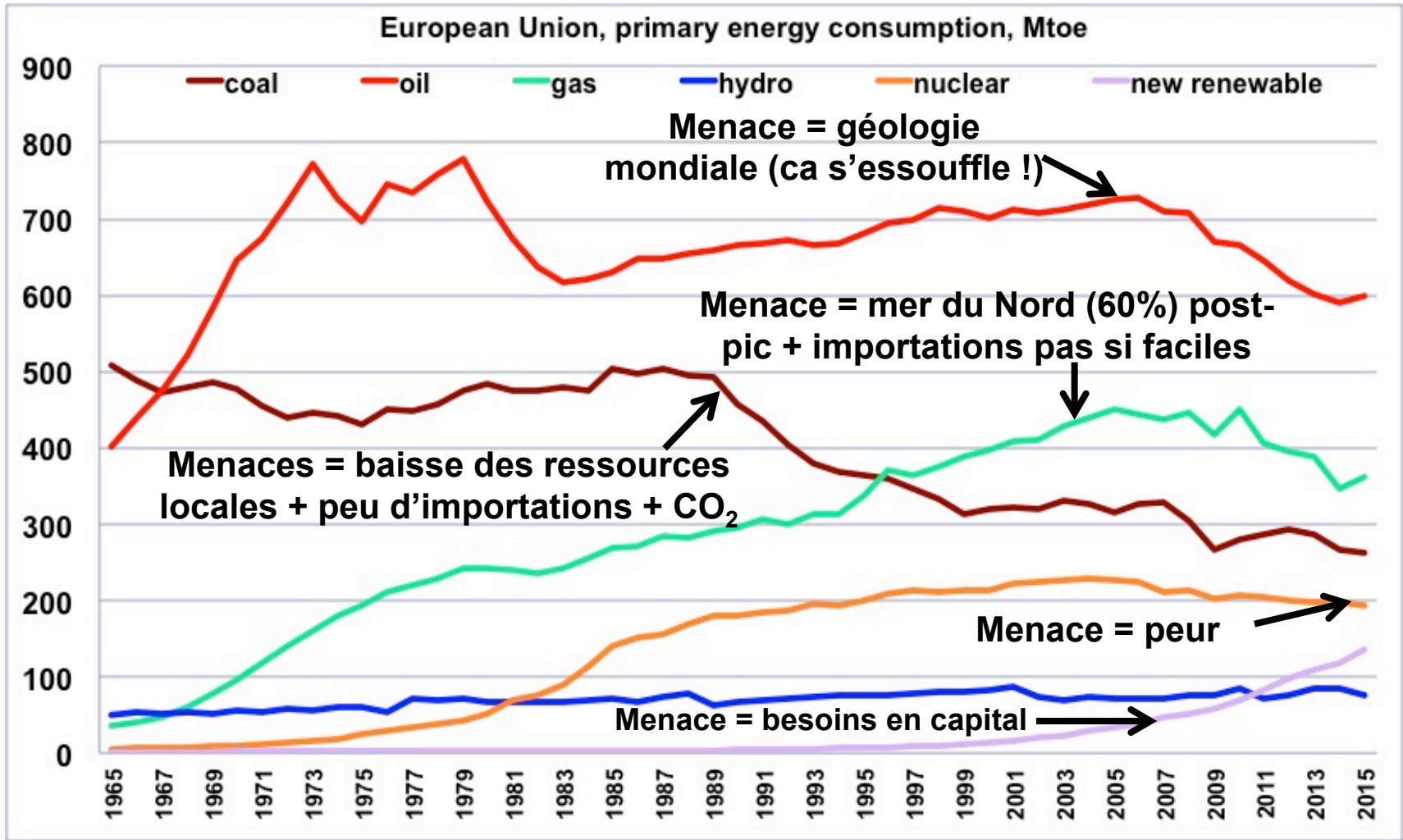


Pas de sécurité d'approvisionnement en charbon

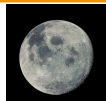


Production et consommation de charbon en Europe. Données BP Statistical Review, 2016

Sécurité d'approvisionnement ? Quelle sécurité ?

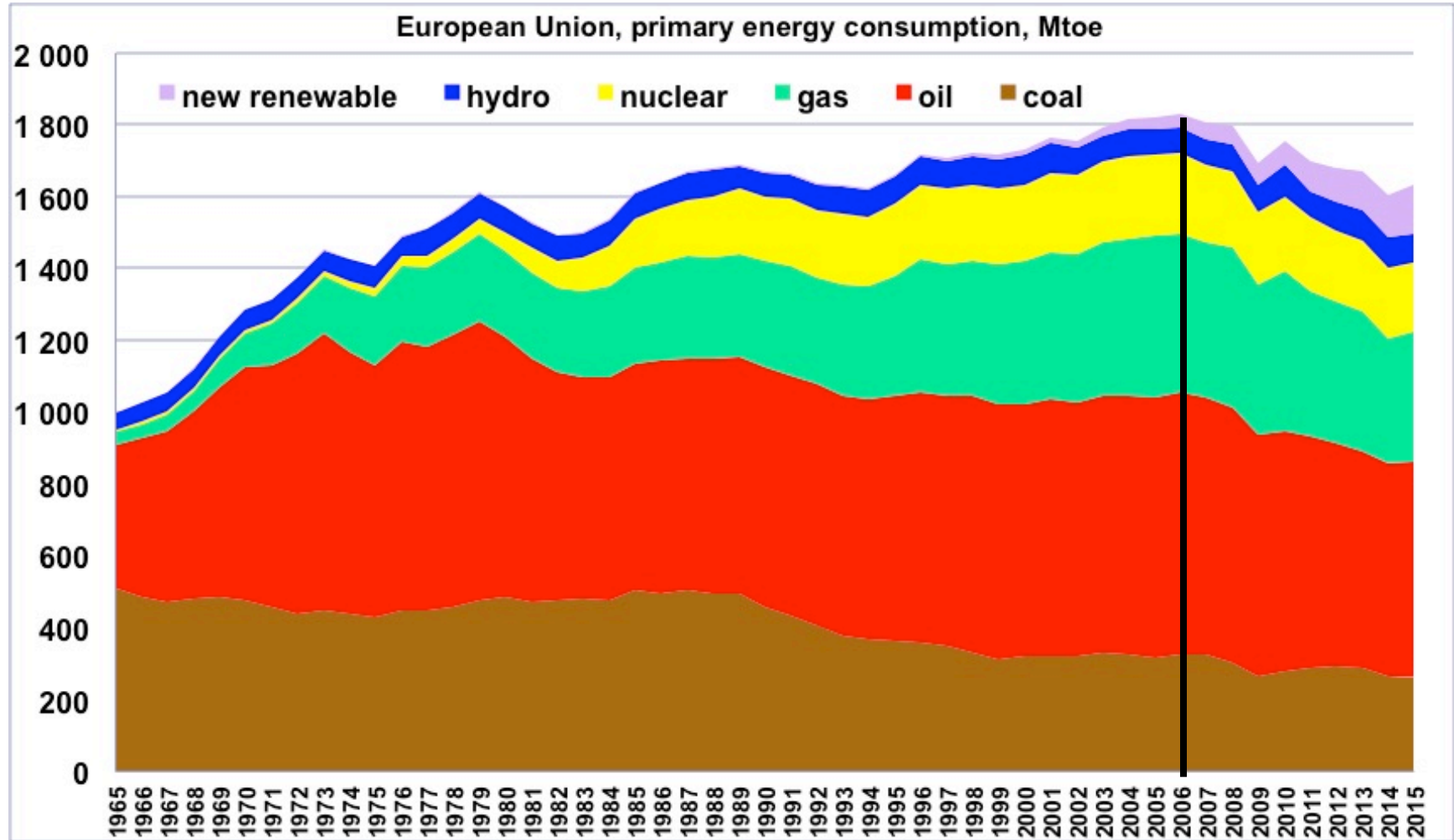


Consommation d'énergie par européen depuis 1965. Données BP Statistical Review, 2016



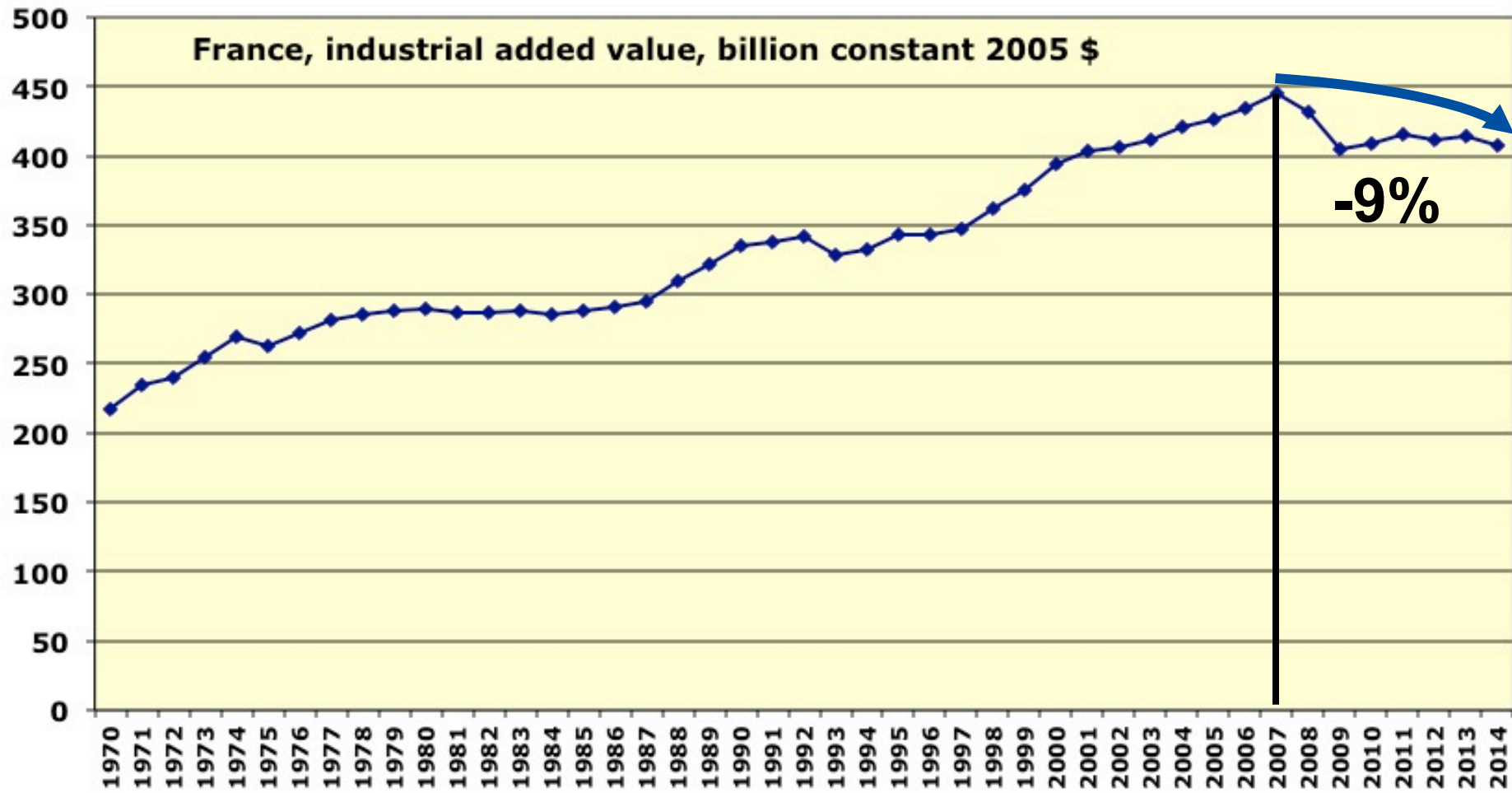
Sécurité d'approvisionnement ?

Quelle sécurité ?



Consommation d'énergie en Europe depuis 1965. Données BP Statistical Review, 2016

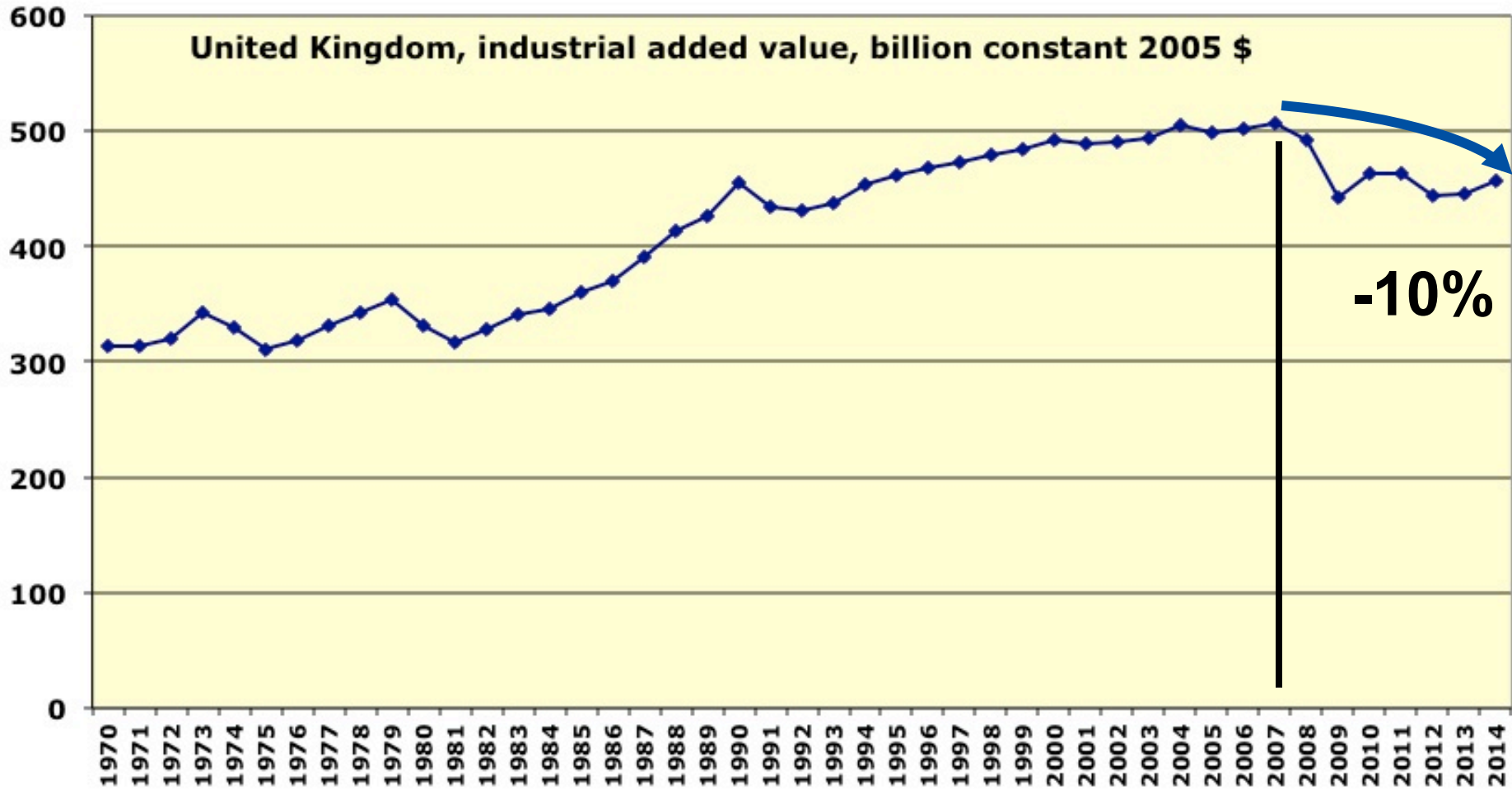
France, ton industrie fout le camp ! (air connu)



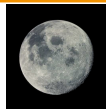
Production industrielle de la France depuis 1970. Données World Bank



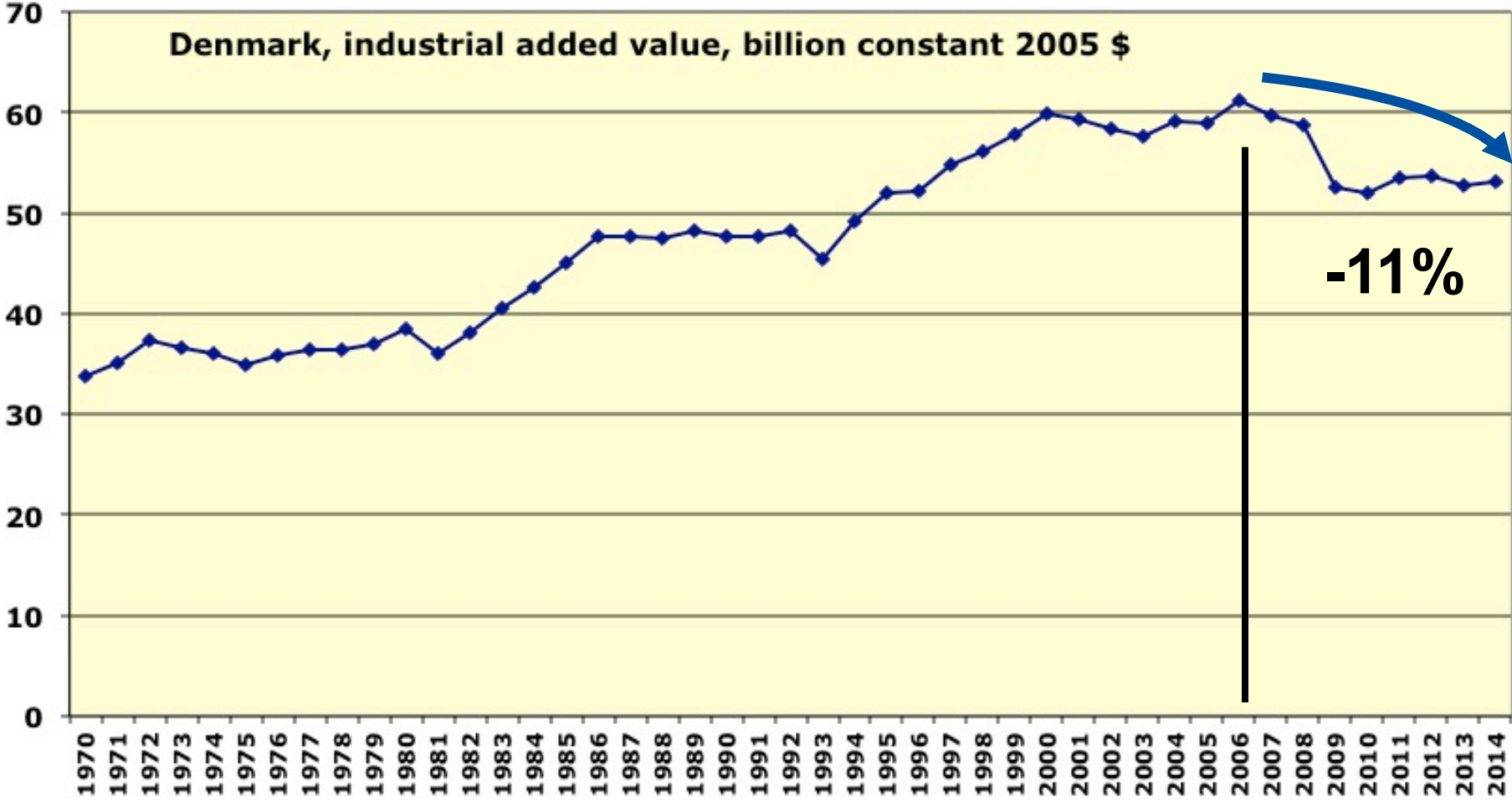
Mieux au Nord-Ouest ?



Production industrielle de la Grande-Bretagne depuis 1970. Données World Bank

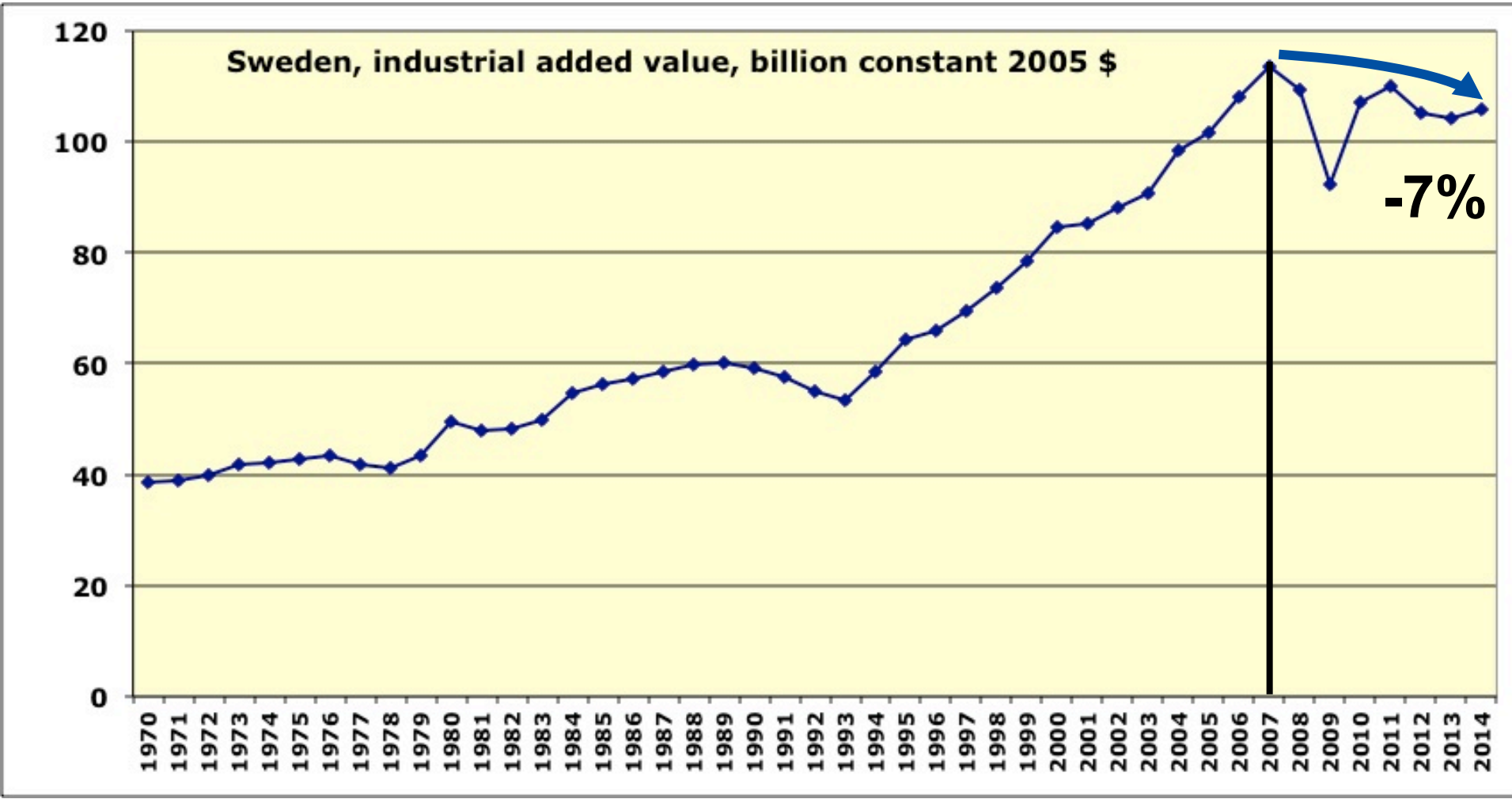


Mieux au Nord ?



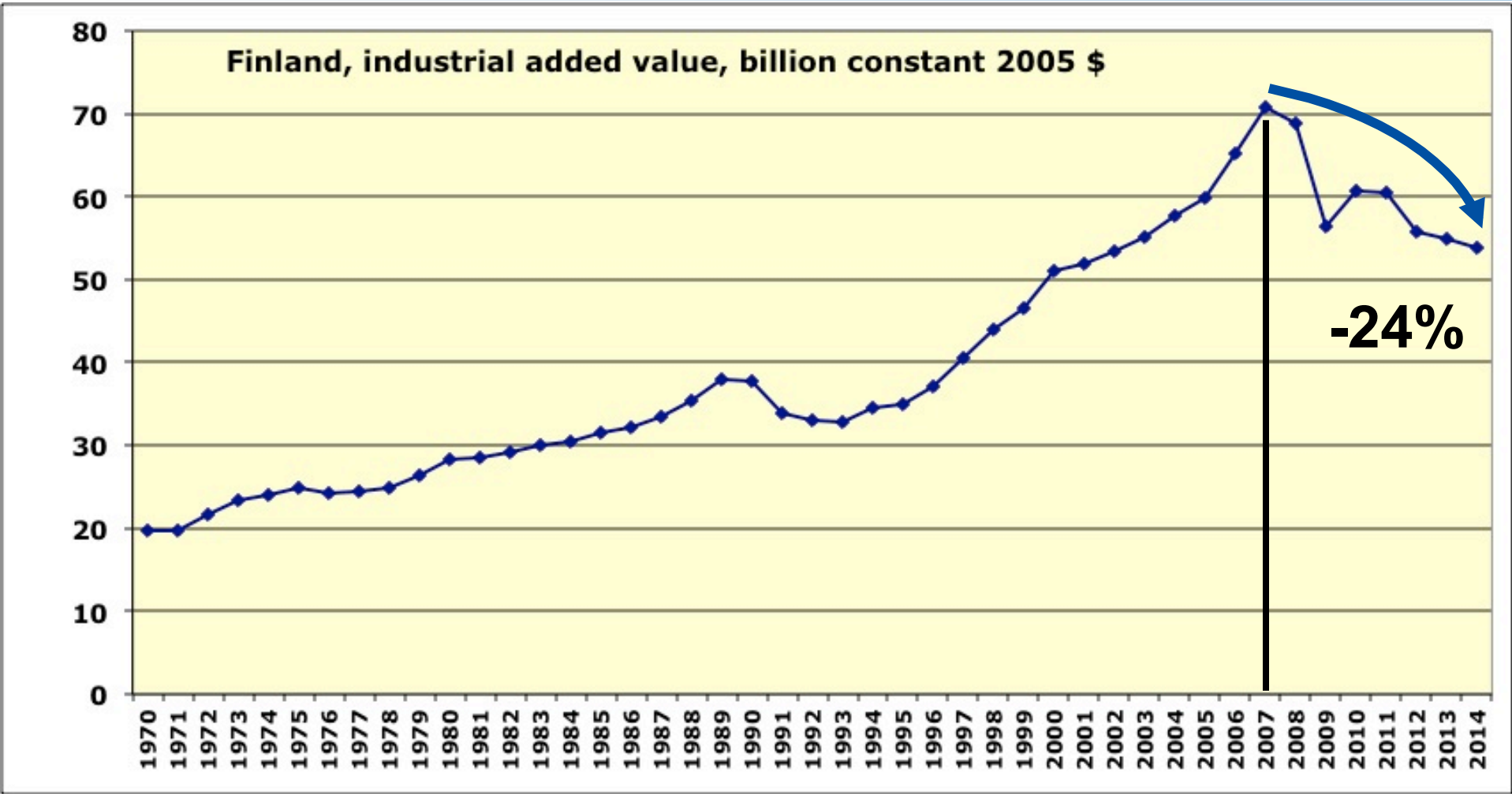
Production industrielle du Danemark depuis 1970. Données World Bank

Mieux au Nord ? (bis)



Production industrielle de la Suède depuis 1970. Données World Bank

Mieux au Nord ? (ter)



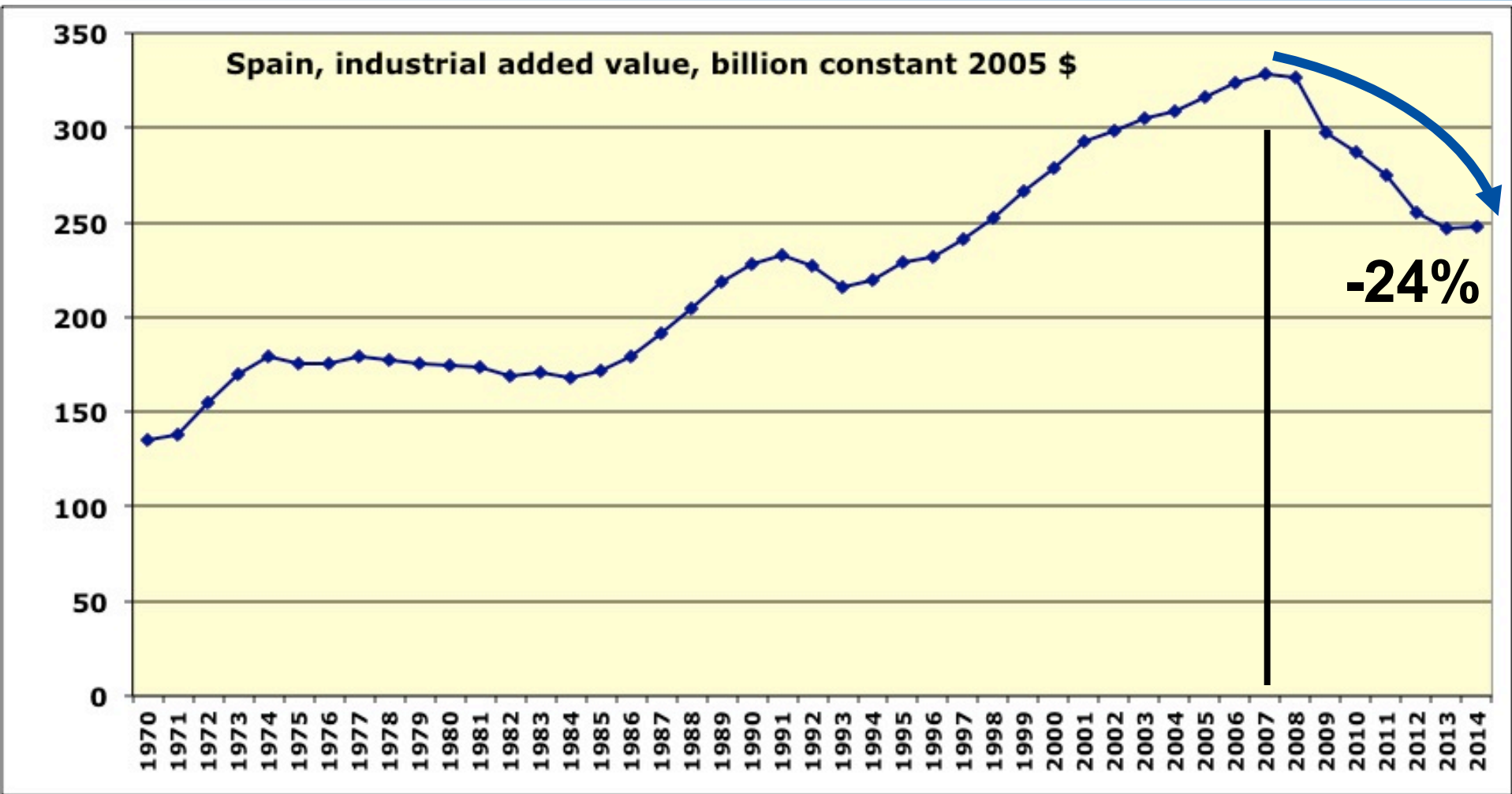
Production industrielle de la Finlande depuis 1970. Données World Bank

Et voici le champion ! (ou la championne, plutôt)

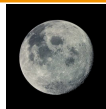


Production industrielle de l'Allemagne depuis 1970. Données World Bank

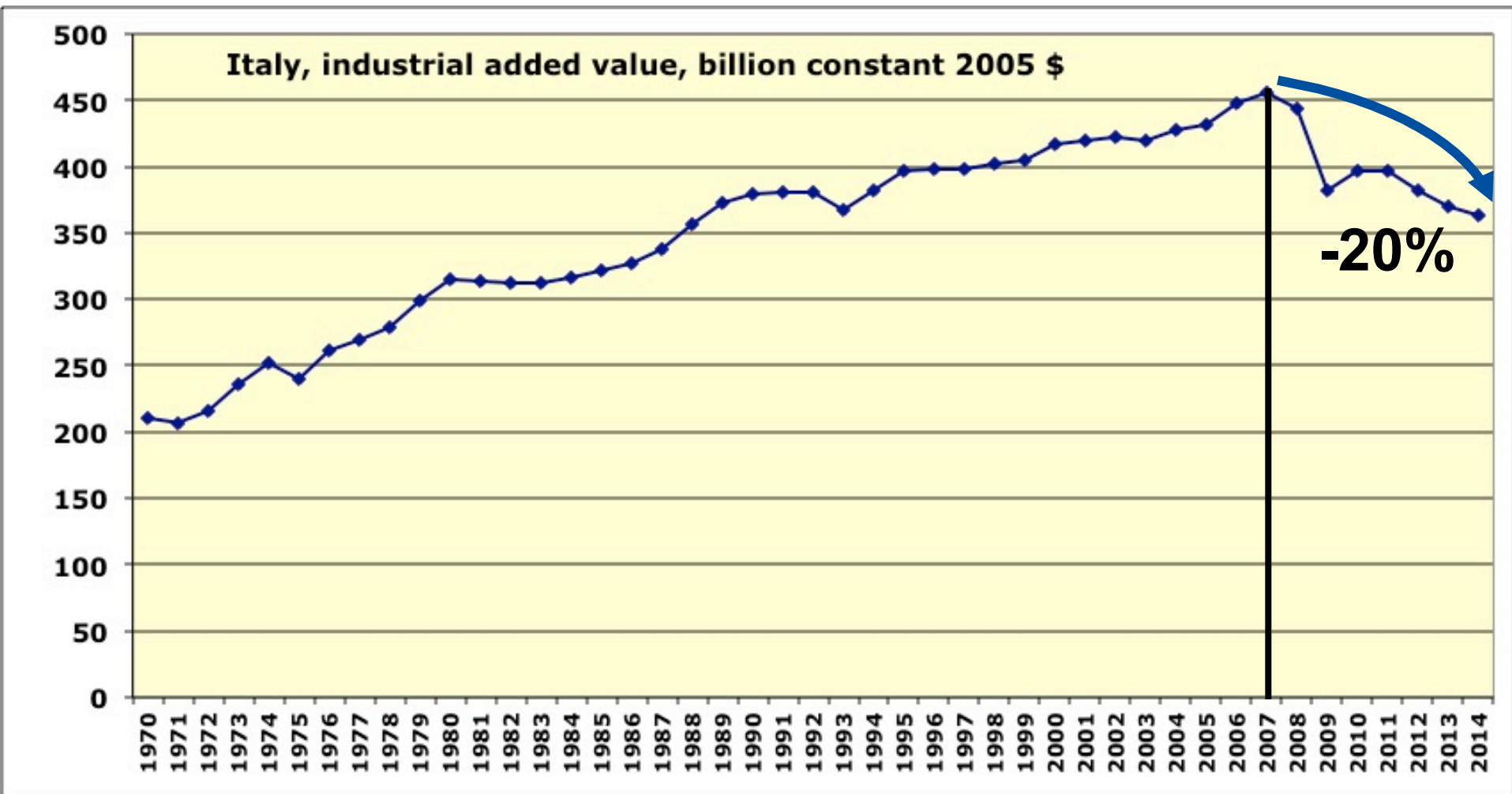
L'industrie ne se dope pas aux tapas



Production industrielle de l'Espagne depuis 1970. Données World Bank

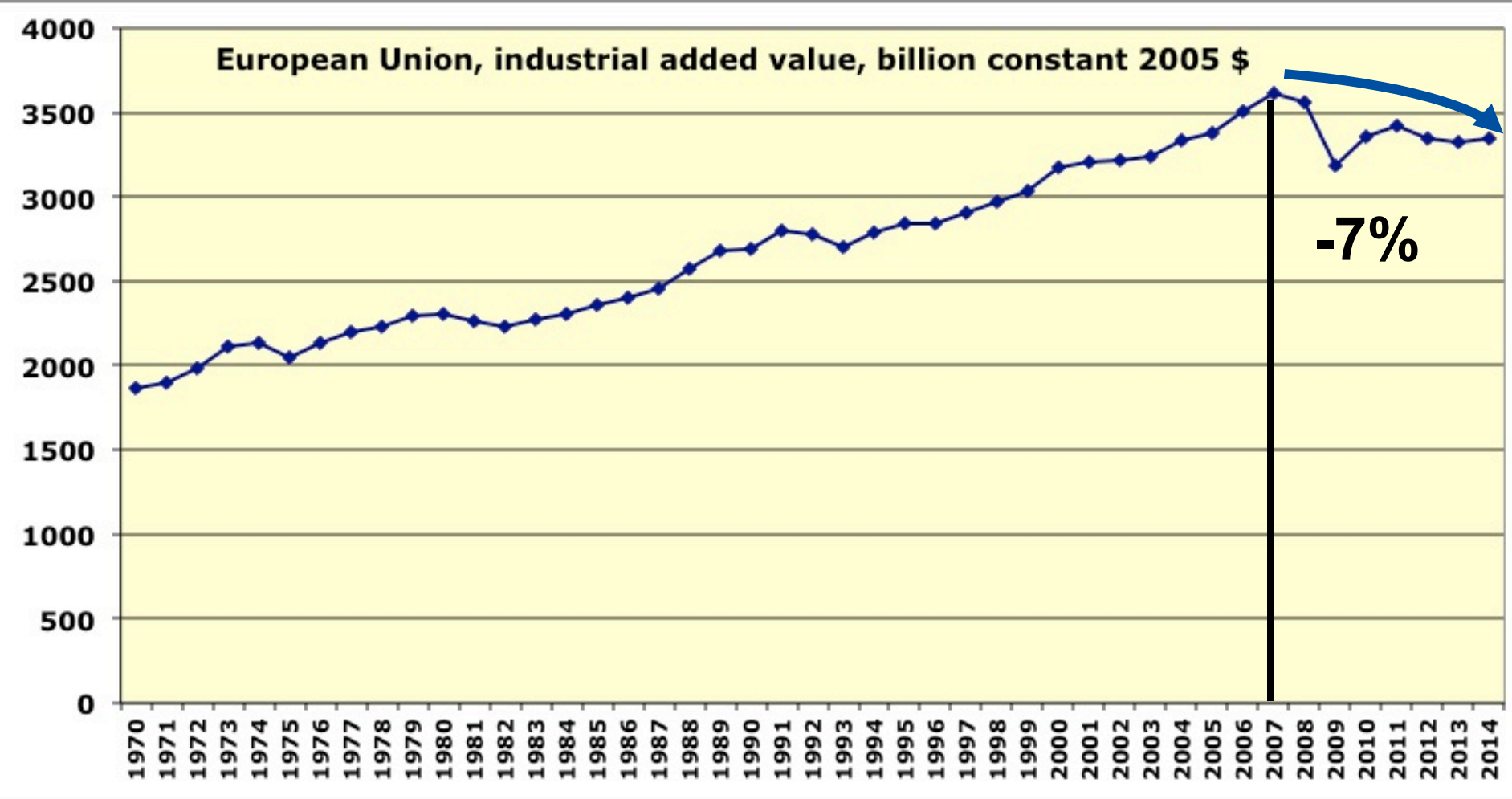


Et l'industrie ne se dope pas aux linguine



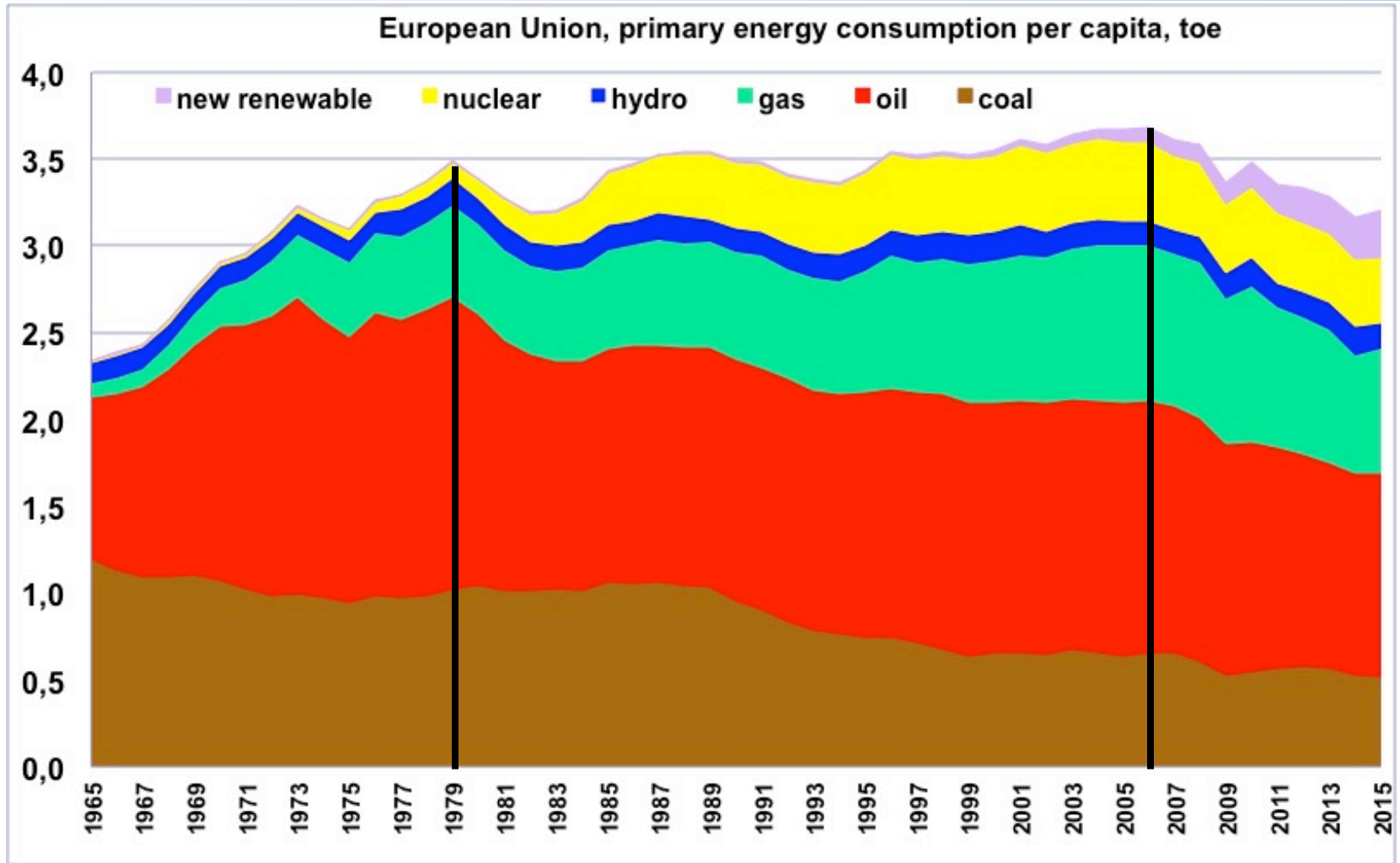
Production industrielle de l'Italie depuis 1970. Données World Bank

C'est mieux à 28 ?



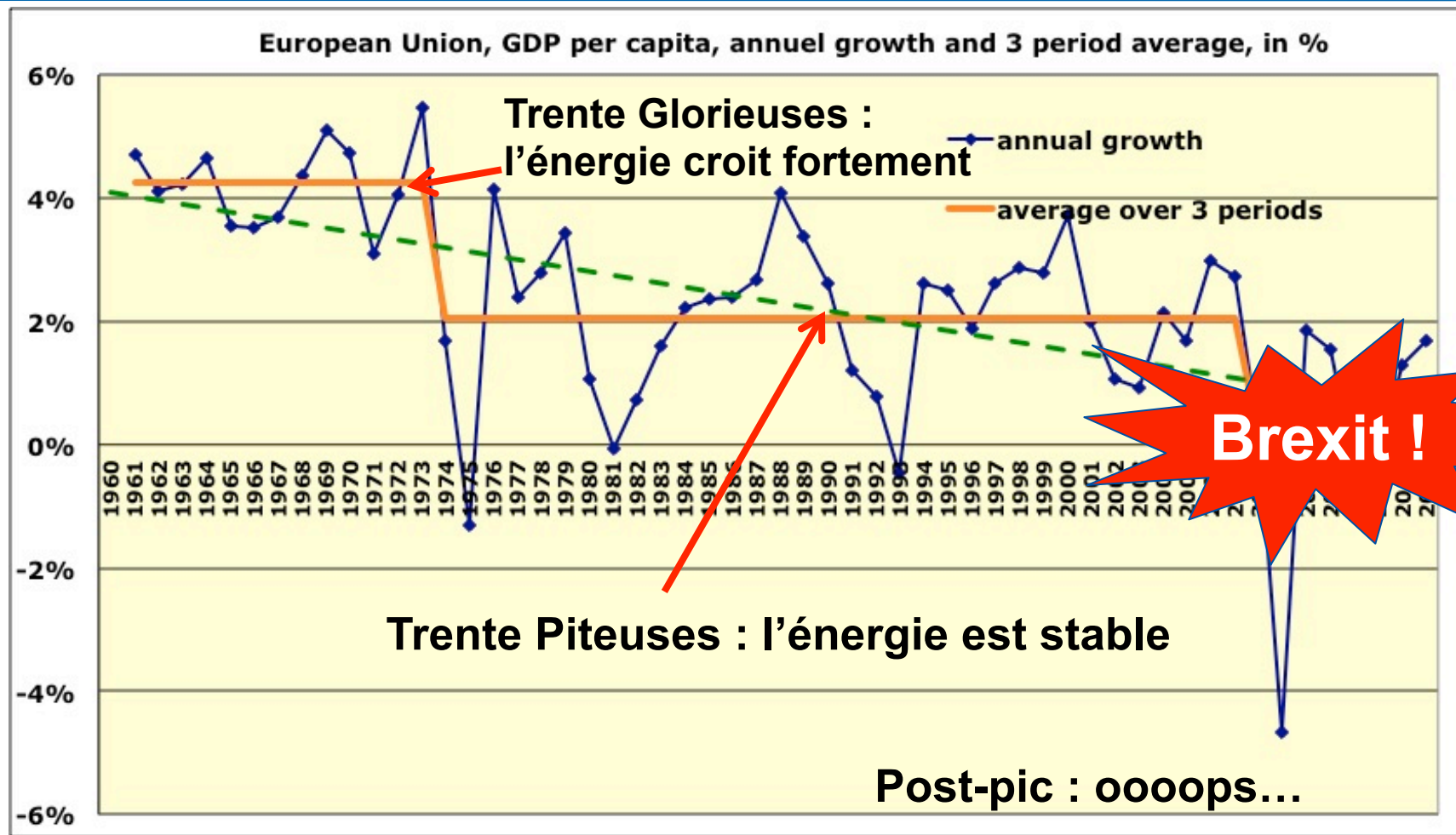
Production industrielle de l'Union Européenne depuis 1970. Données World Bank

C'est (à nouveau) la valse à trois temps



Consommation d'énergie par européen depuis 1965. Données BP Statistical Review, 2016

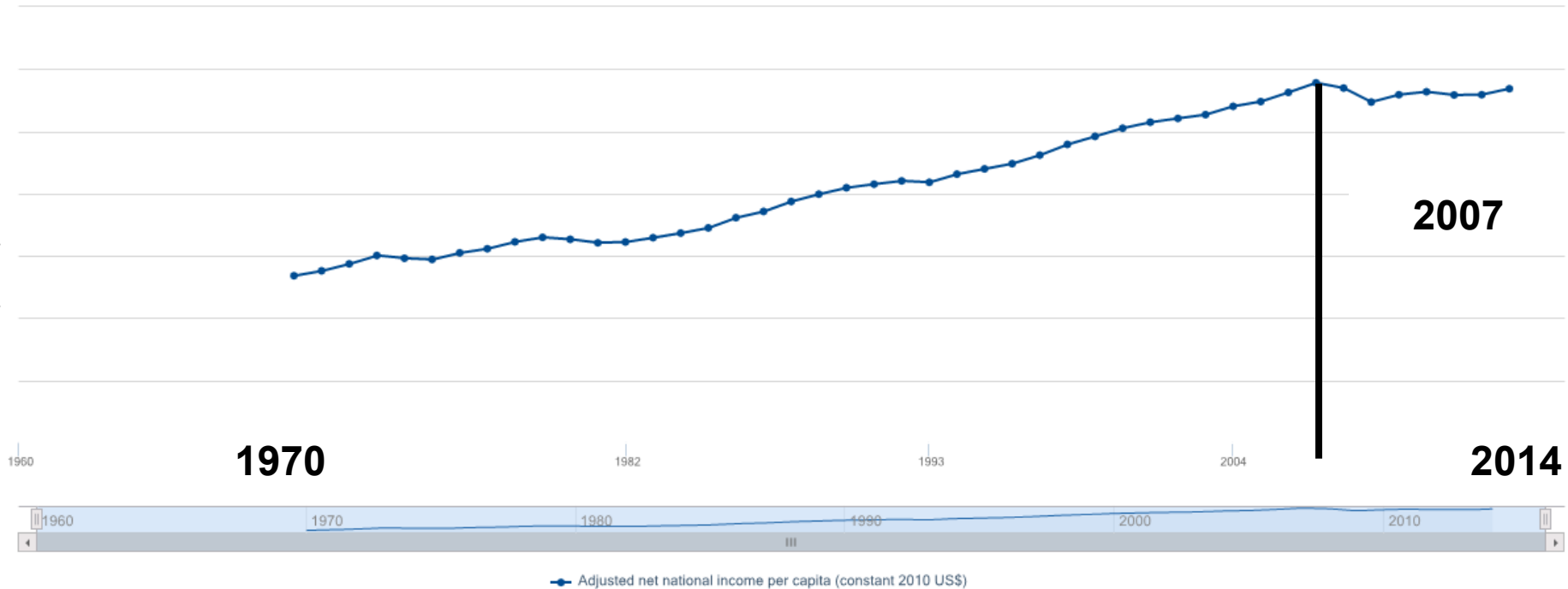
Les kWh (ou leur absence) et l'Europe sont dans un bateau



Variation annuelle du PIB par personne en Europe. Jancovici, sur données World Bank.



Et c'est le désenchantement à un temps !

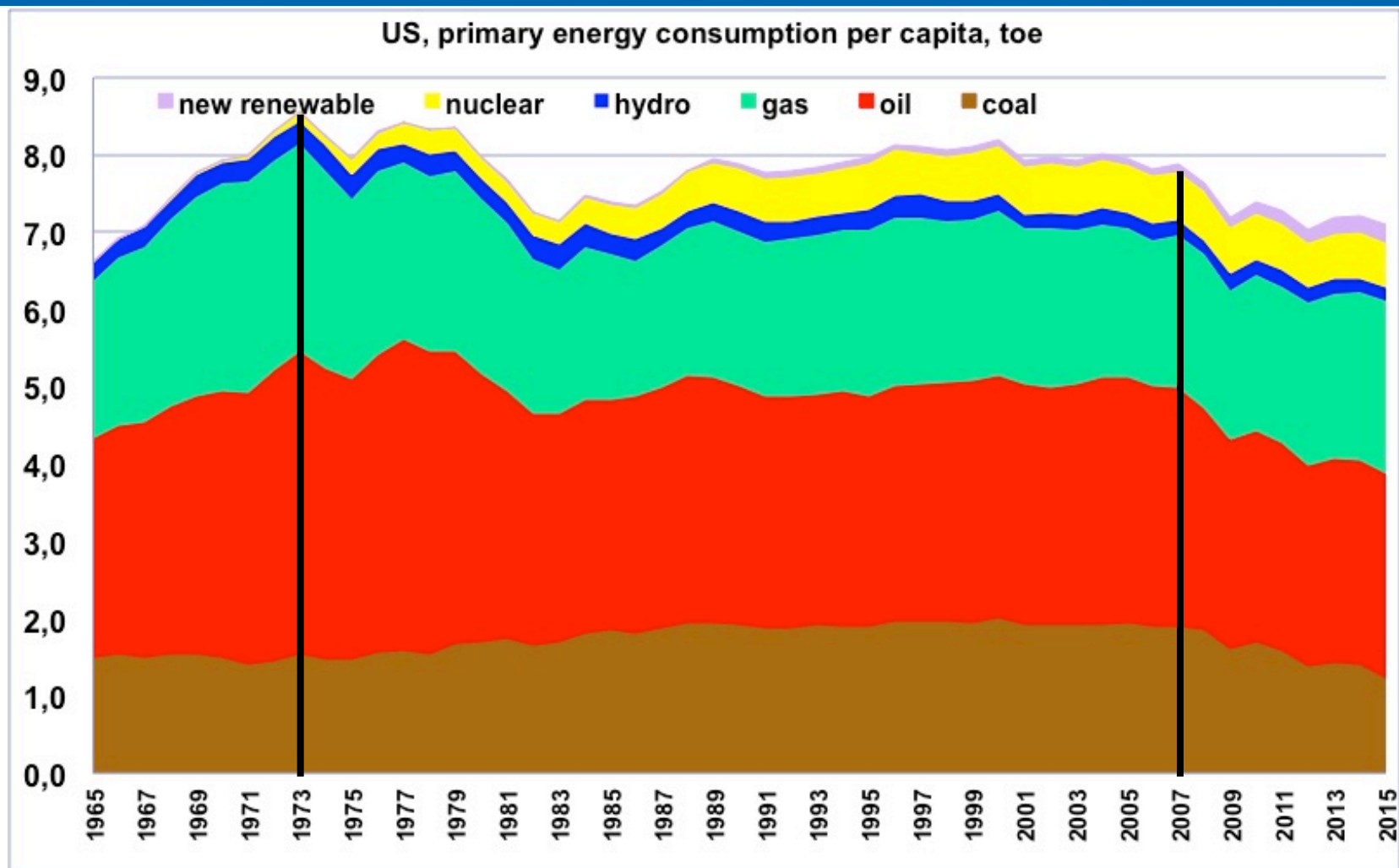


Country : European Union
Source: World Development Indicators
Created on: 03/06/2017

Revenu par personne dans l'Union Européenne en dollars constants. Source World Bank



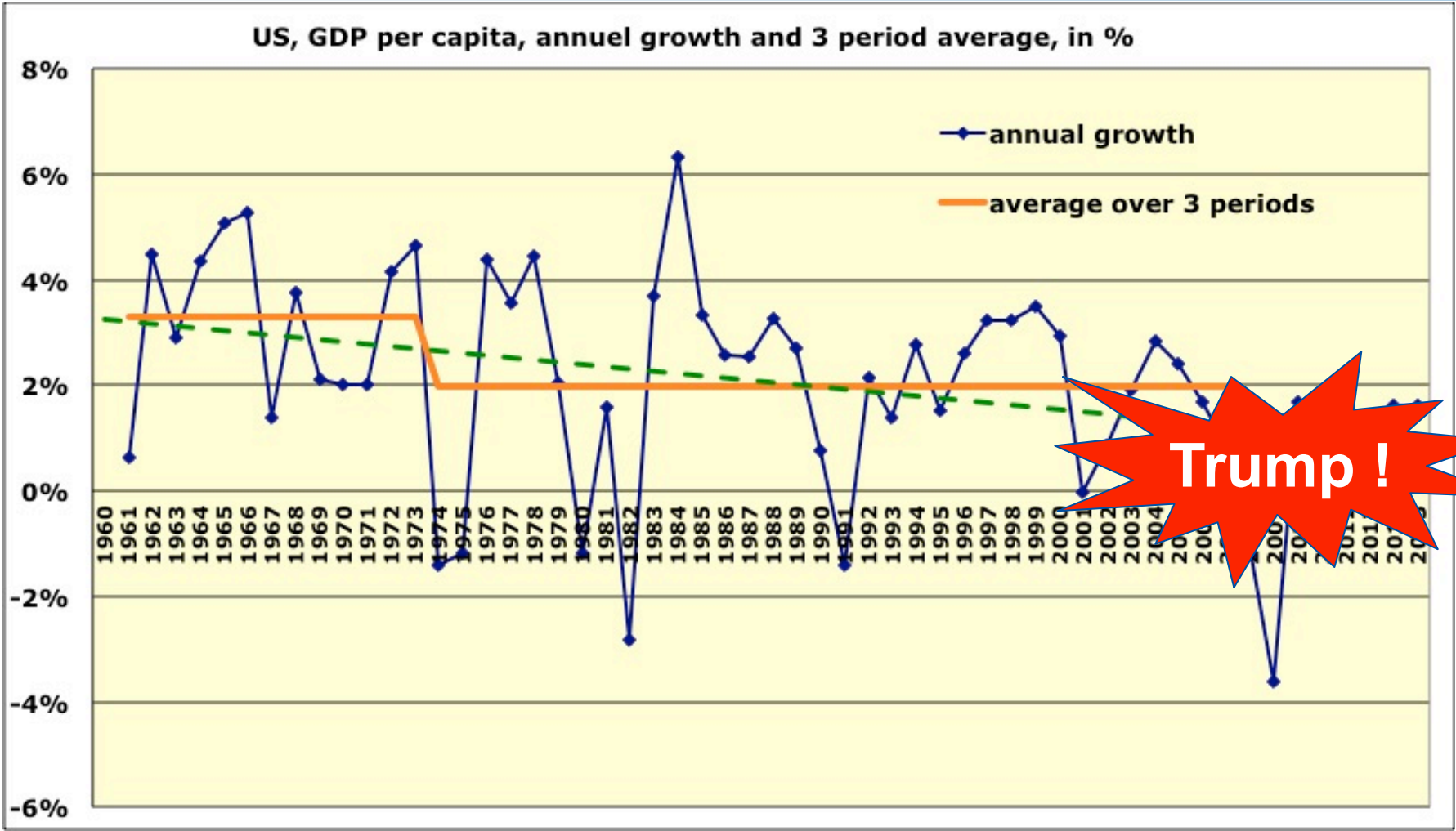
Vive le gaz de schiste !



Consommation d'énergie par américain depuis 1965. Données BP Statistical Review, 2016

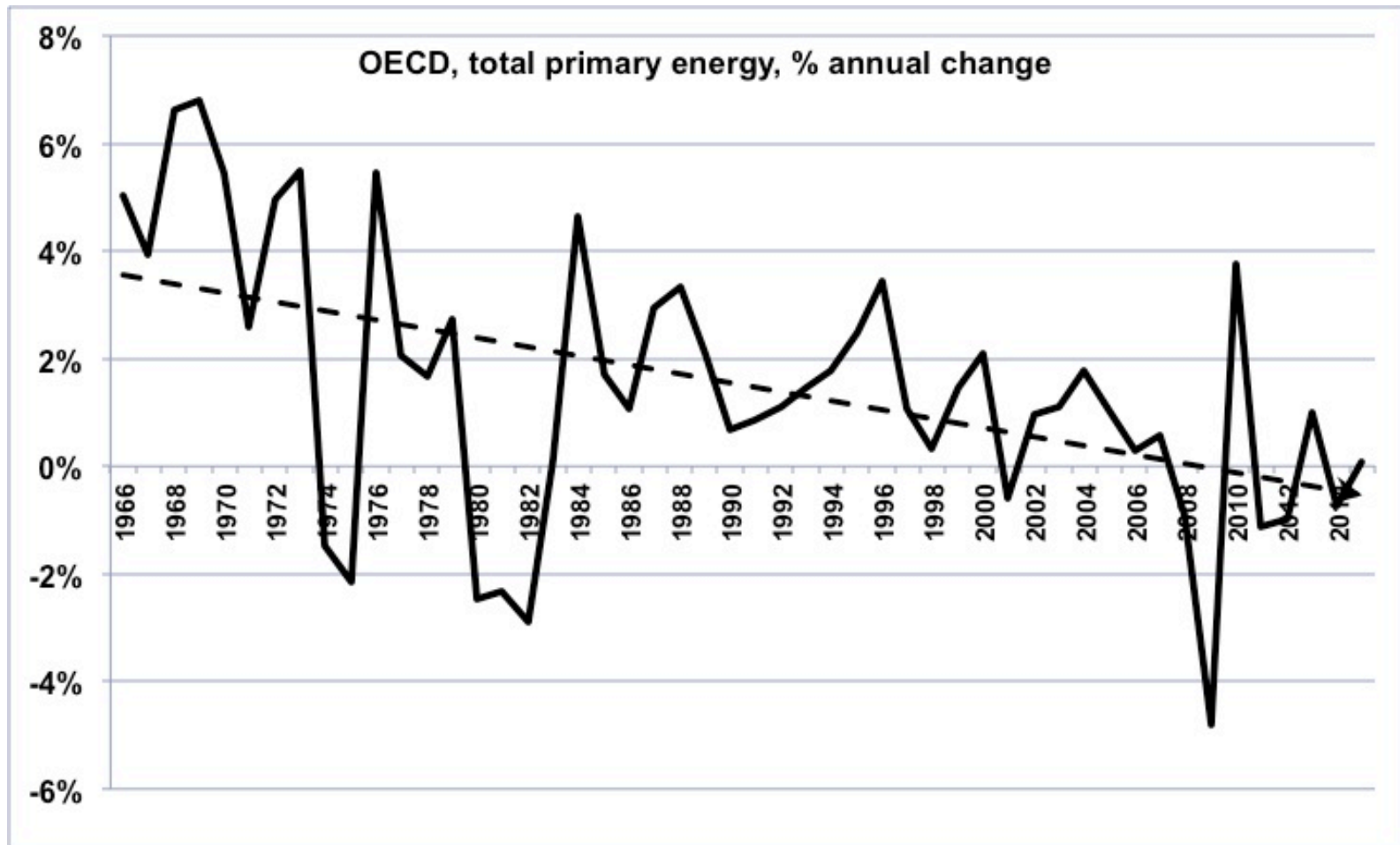


Et donc...



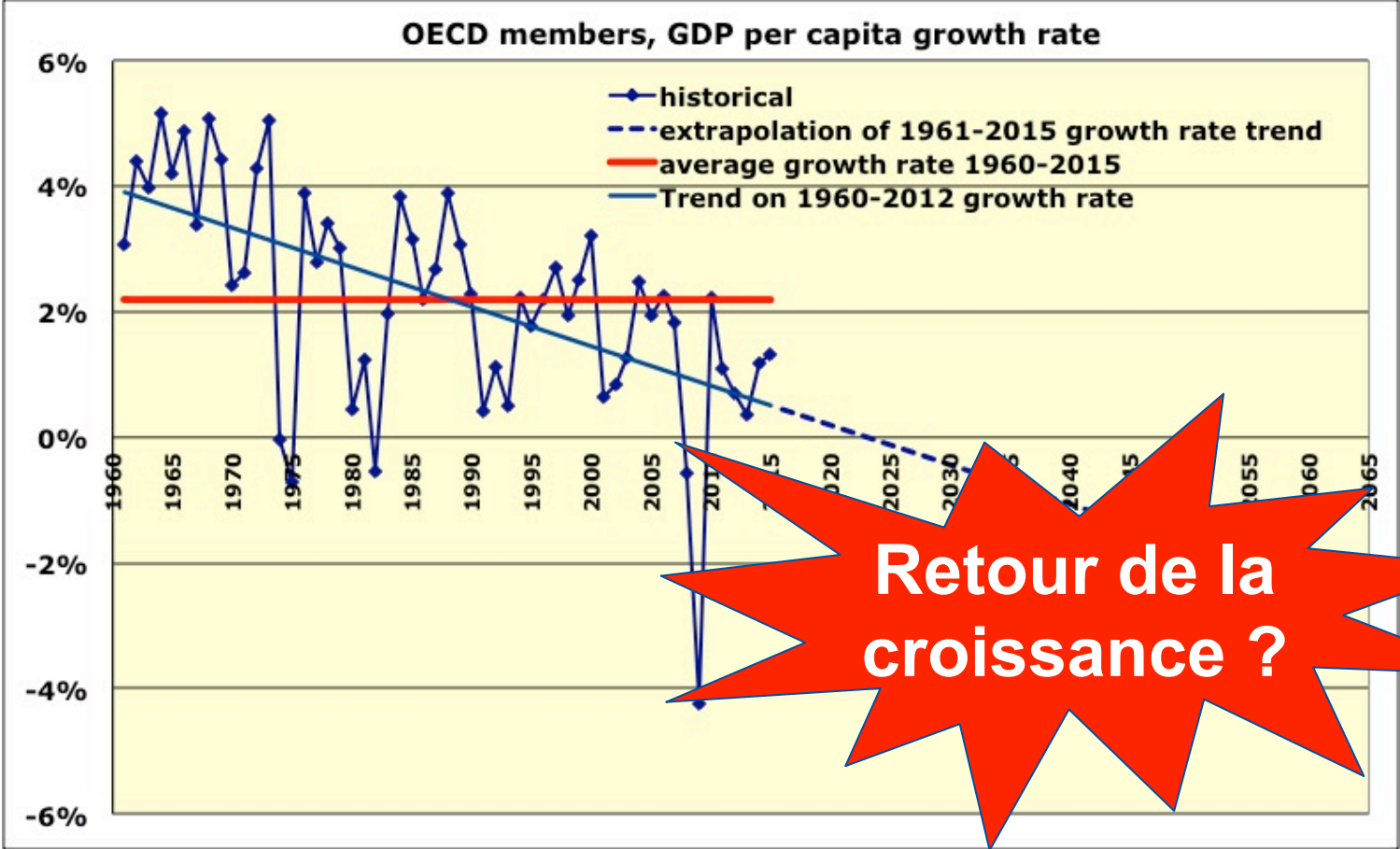
Variation annuelle du PIB par personne aux USA. Jancovici, sur données World Bank.

OCDE cherche mines et barils, désespérément

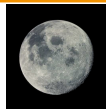


Taux de croissance de l'approvisionnement énergétique de la zone OCDE depuis 1965.
Calculs Jancovici sur données BP Statistical review

Saloperie de physique !



Taux de croissance du PIB par personne dans l'OCDE sur la période 1960-2015 (bleu), de la moyenne sur la période (rouge), de la tendance passée (bleu plein), et de la prolongation de la tendance (pointillé). Calculs Jancovici sur données World Bank



La physique reste plus forte que les promesses de campagne

À partir de maintenant, nous sommes en décroissance physique, et donc, aux effets correctifs de la hausse de la dette près, en récession structurelle

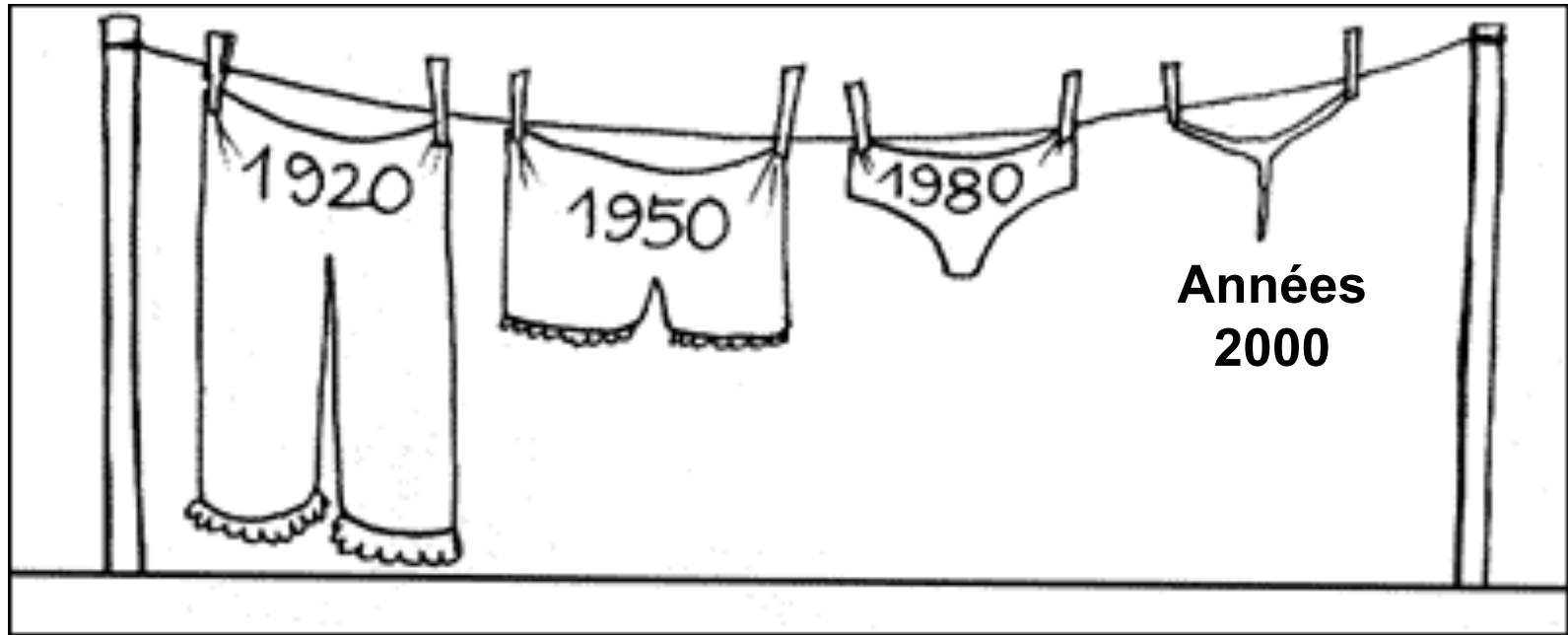
Dans ce contexte, toute mesure qui vise à résoudre un problème donné pour 10 alors qu'on pourrait le résoudre pour 1 accroît la vitesse de la chute et détruit inutilement du capital

Exemple : la France a déjà consacré ≈ 50 milliards (Σ des contrats déjà passés) au PV, soit le cout du grand carénage, pour... 1% de l'électricité !

C'est aussi efficace que, si vous êtes sur un bateau dans la tempête, entraîné vers les récifs, avec une voile qui se déchire, vous commencez par remplacer le gouvernail qui grince un peu par un qui ne grince pas

L'observation, mère de toutes les lois en physique

Il est évident qu'Allègre néglige des données d'observation irréfutables



Effet du relèvement des températures l'habillement depuis 1920 Source :
Petit Bateau ; Playtex ; Aubade ; Princesse Tam Tam

Vivement 2050 ?

L'effet de serre, de la vieille science...

1824 : Joseph Fourier, physicien français, publie "Remarques générales sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires", où il expose que la température du sol est augmentée par le rôle de l'atmosphère

1838 : Claude Pouillet, physicien français, puis Joseph Tyndall, un irlandais, attribuent l'effet de serre naturel à la vapeur d'eau et au gaz carbonique. Pouillet affirme que toute variation de la quantité de vapeur d'eau, comme de CO₂, doit se traduire par un changement climatique

1896 : Svante Arrhenius, chimiste Suédois (Prix Nobel 1903) prédit que l'utilisation intensive des combustibles fossiles engendrera un réchauffement climatique. Il donne un ordre de grandeur : 4°C en plus pour un doublement du CO₂ dans l'air.

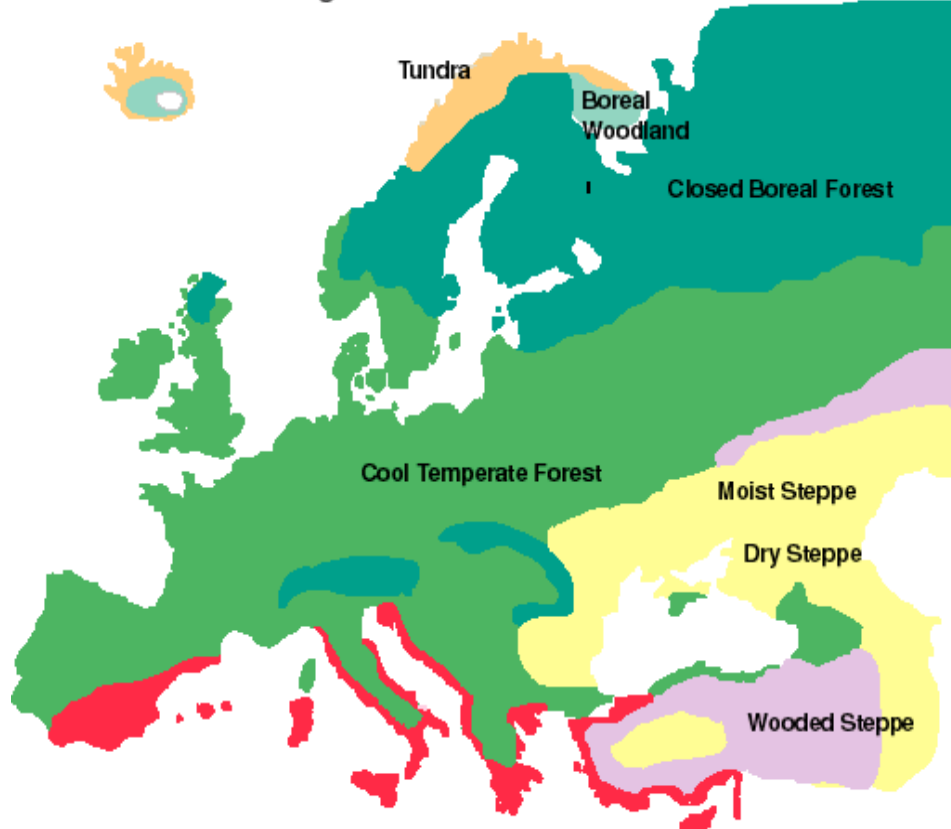
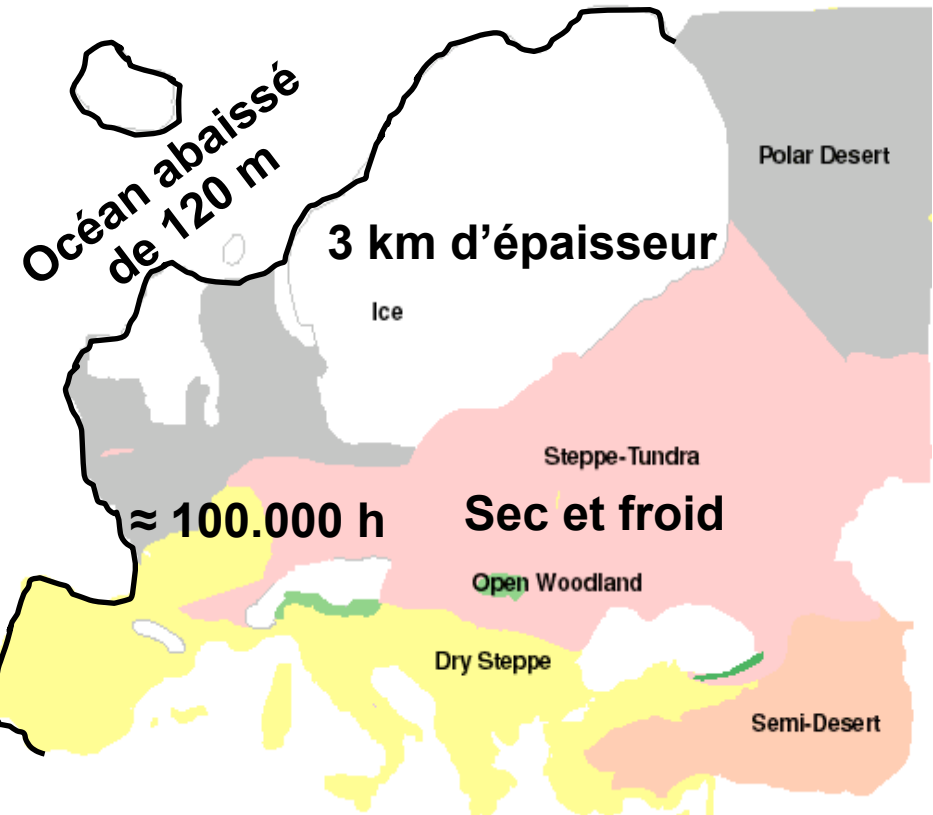
1950 : Le premier ordinateur (l'ENIAC) est utilisé pour expérimenter le premier modèle numérique de prédiction météorologique



5°C, juste un pull en moins ?

22,000 – 14,000 ¹⁴C years ago

Present Potential Vegetation



Source: Quaternary Environments Network

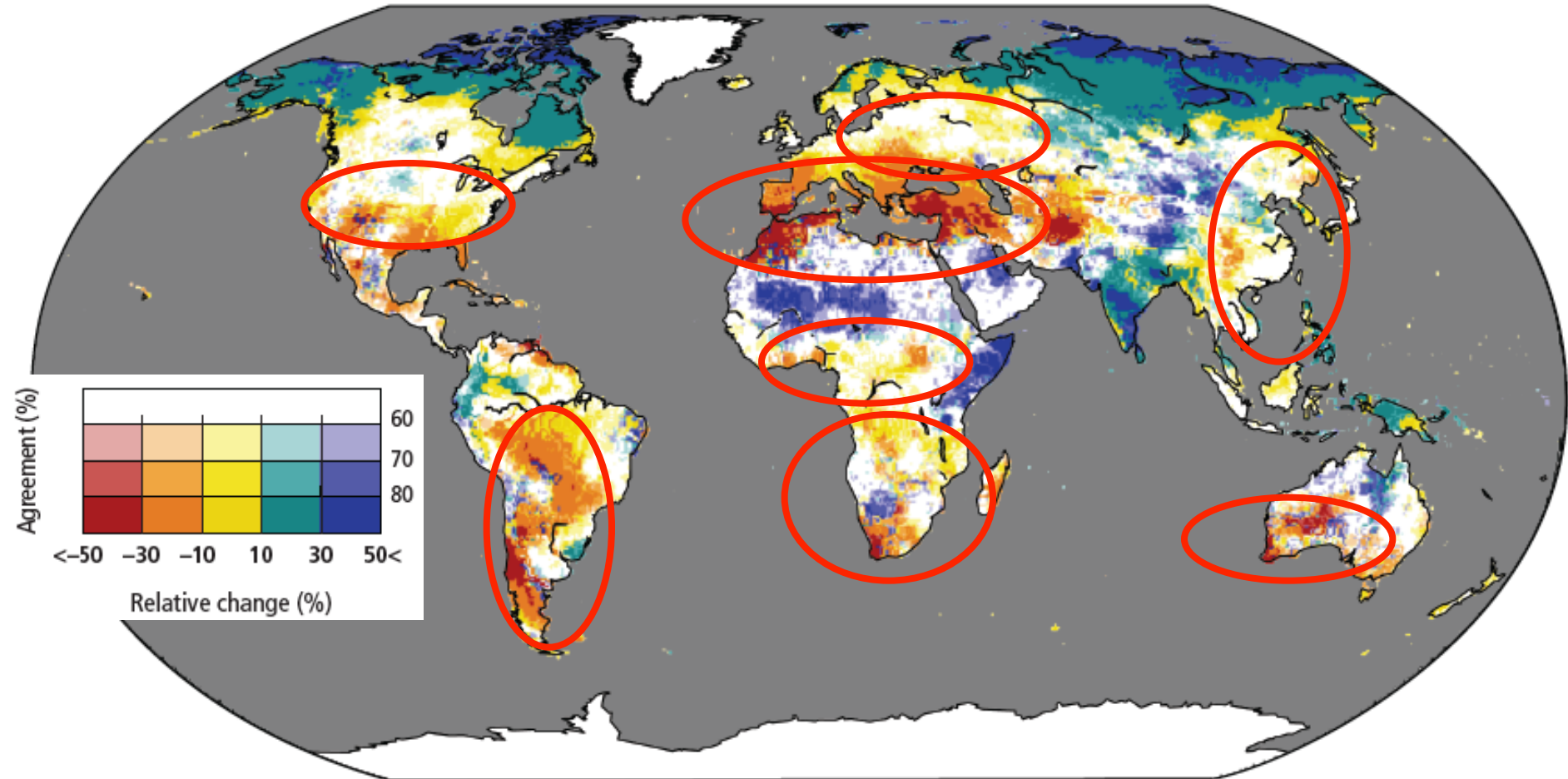
L'Europe il y a 20.000 ans

L'Europe actuelle

Moyenne ↗ +5°C

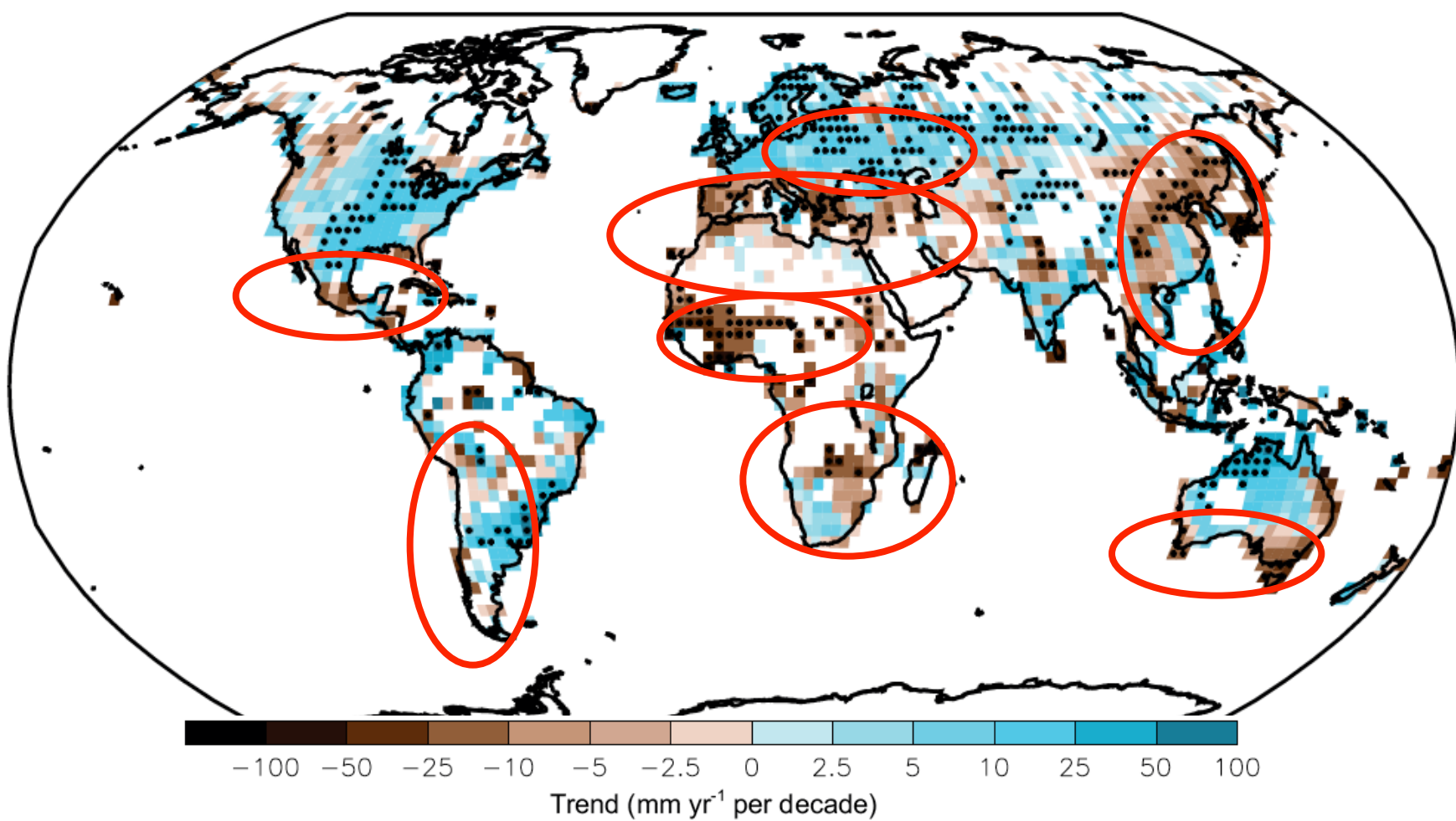


Mais un climat, ce n'est pas juste une température moyenne

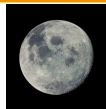


Moyenne inter-modèles de l'évolution des précipitations pour une hausse de 2°C de la moyenne par rapport à 1980-2010. Source : GIEC, 5^e rapport d'évaluation, 2014

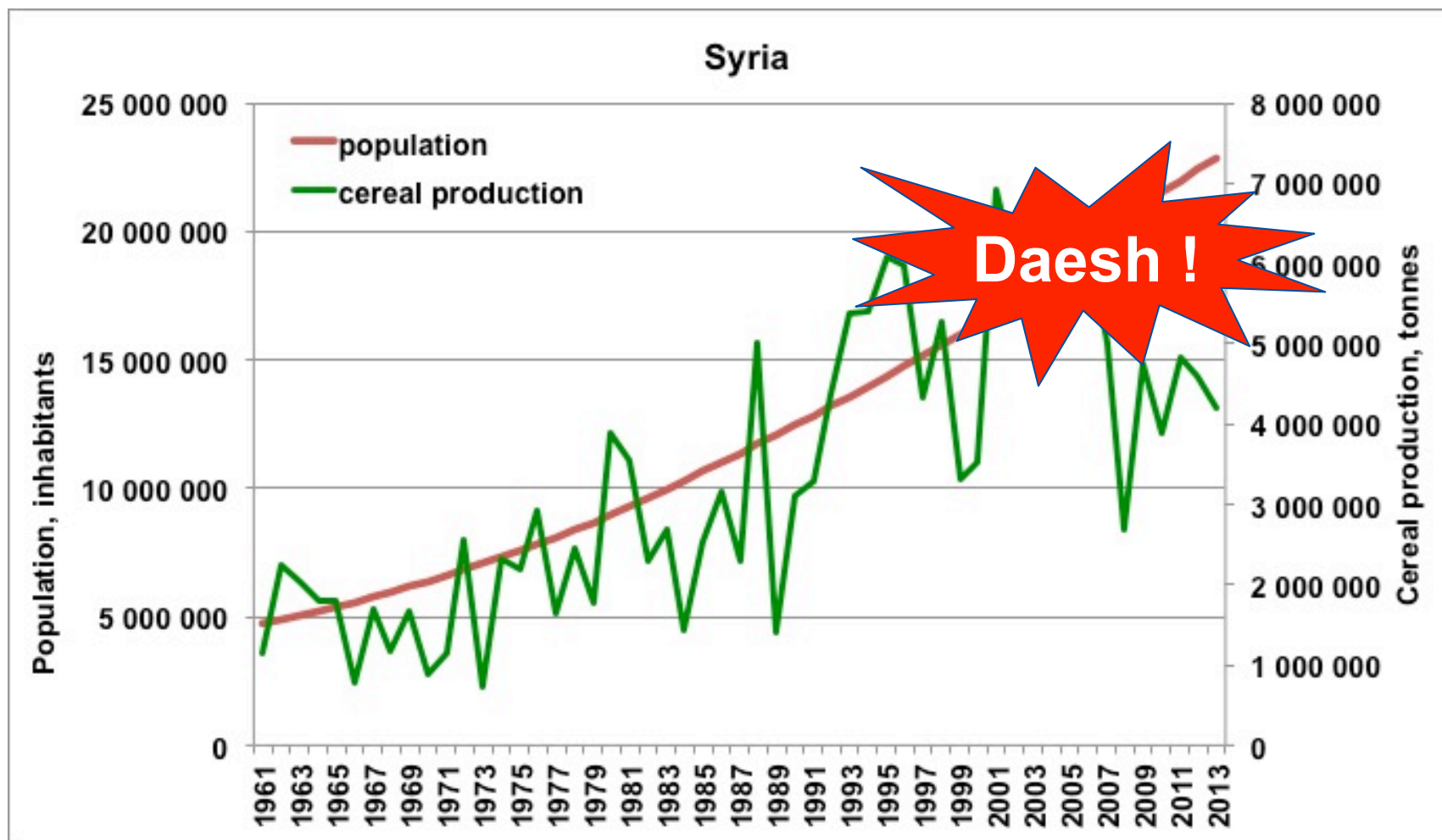
Pleuvra, pleuvra pas ?



Évolution constatée des précipitations sur la période 1951-2010. Source : IPCC, 5^e rapport d'évaluation, 2013



Ventre affamé n'a point d'oreilles



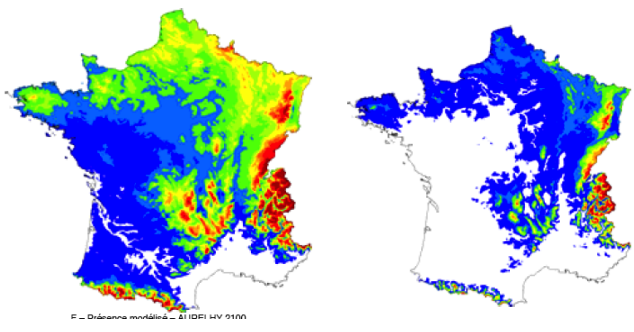
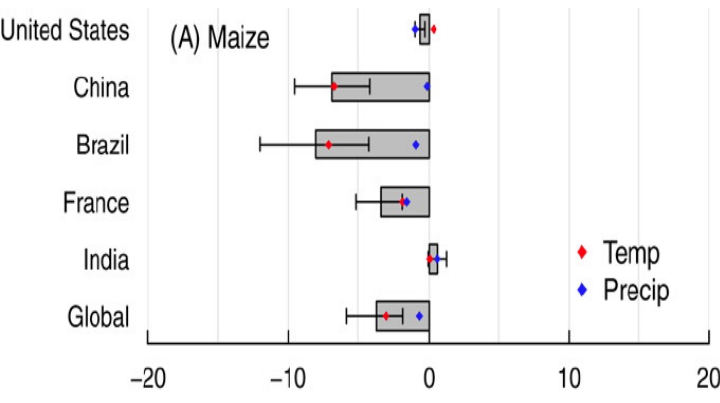
Daesh !

Production de céréales et population en Syrie depuis 1960. Données World Bank.

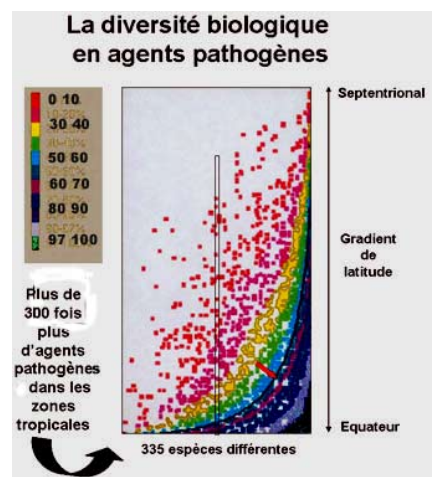


Un jour, l'avenir devient le présent

Avec une ampleur qui dépendra de nos émissions

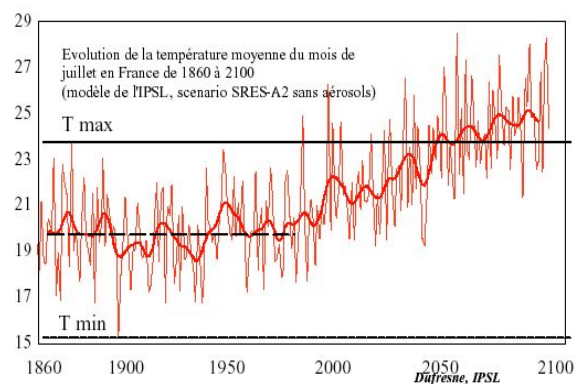


Atteinte aux écosystèmes

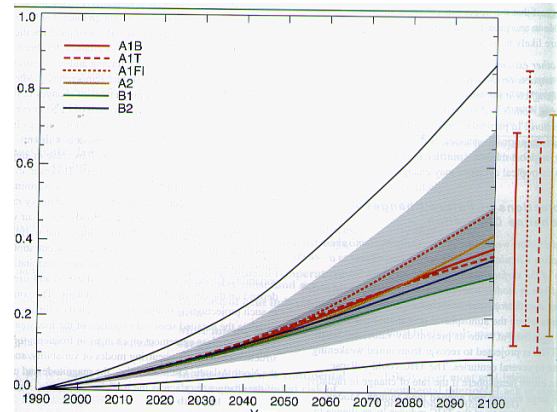


Agents pathogènes

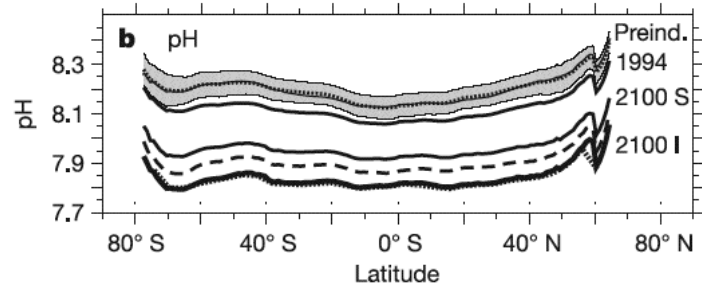
Baisse des rendements agricoles



Vagues de chaleur



Hausse du niveau de l'océan

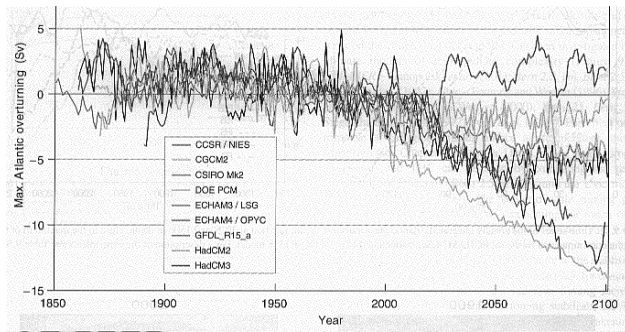


Acidification de l'océan

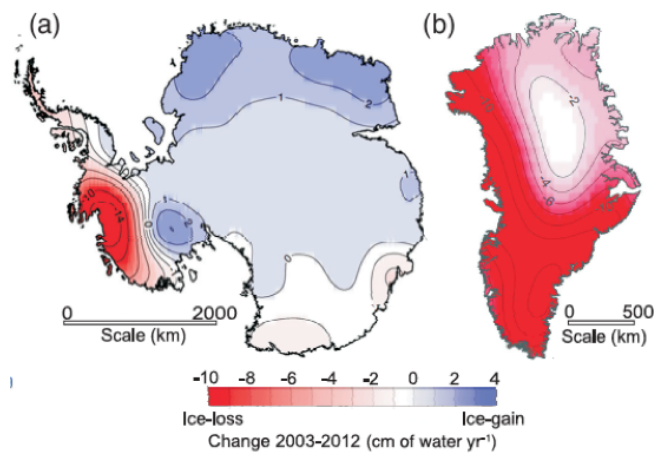


Partez pas, y'a du rab

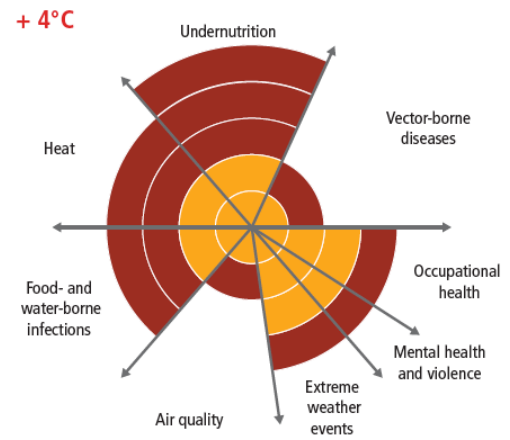
Avec une ampleur **qui dépendra de nos émissions**



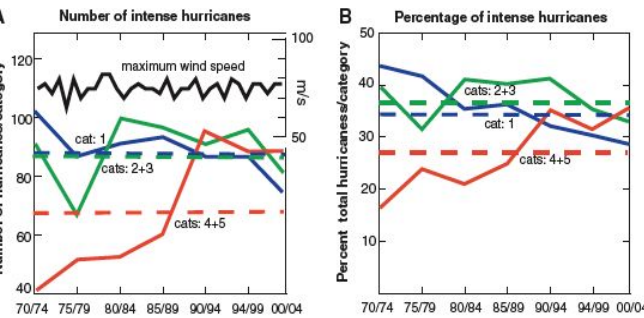
Changement de la circulation océanique



Fonte/désagrégation des calottes

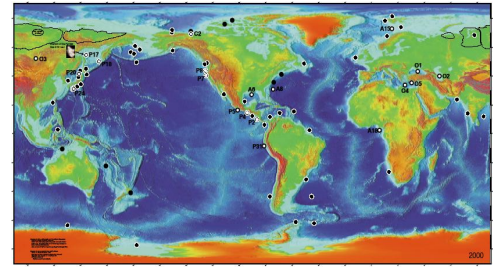
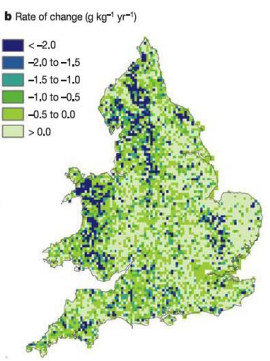


Conséquences sanitaires

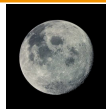


Intensification des phénomènes extrêmes

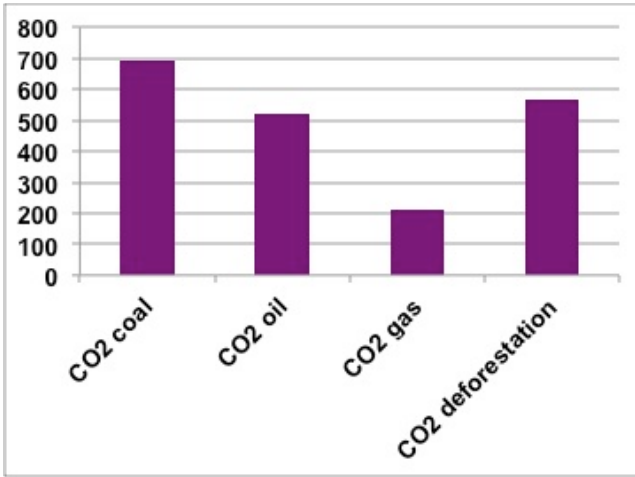
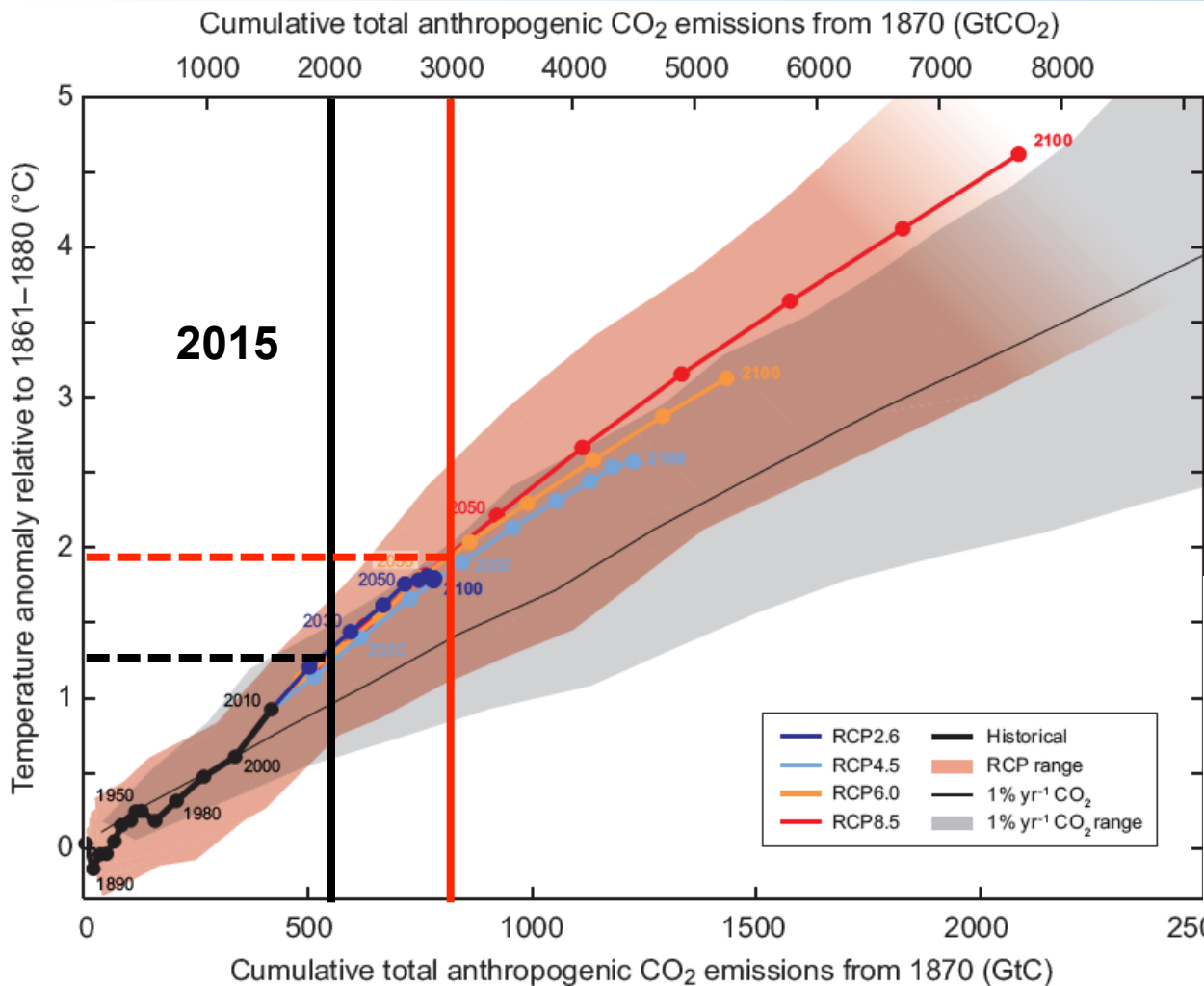
Relargage du carbone des sols



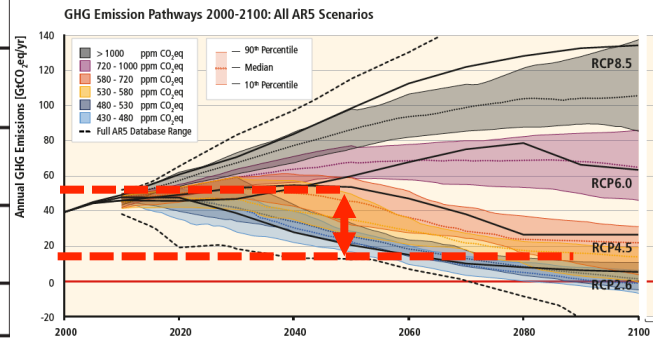
Et nous ne verrons jamais venir à l'avance toutes les conséquences possibles, puisque l'expérience est inédite



2°C, fingers in the nose?

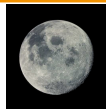


Emissions cumulées de CO₂ depuis 1870 en Gt



÷ 3 en 2050

Élévation de température en 2100 en fonction du cumul émis depuis 1870. IPCC, 2015



Divisons par trois, donc, mais quoi ?



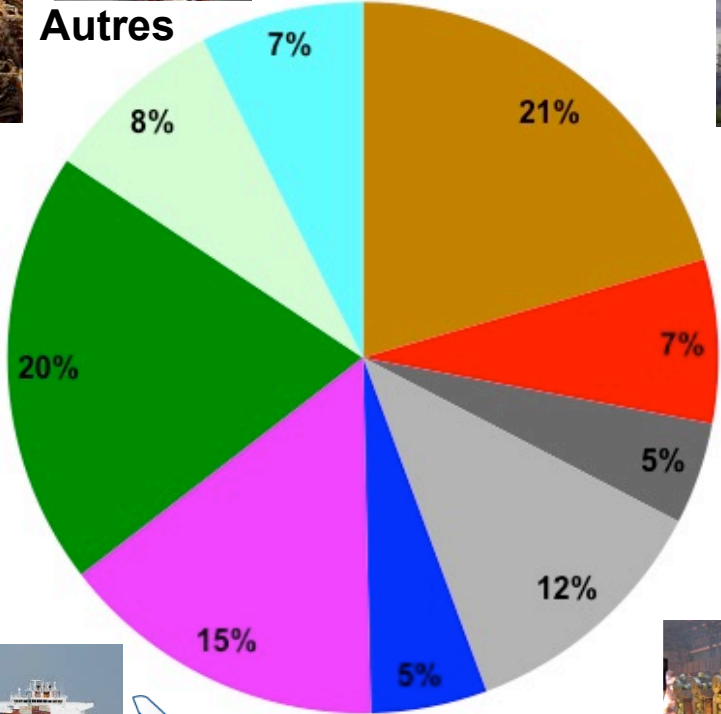
Déforestation



Autres



Centrales à charbon



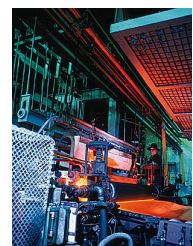
Centrales électriques gaz & fioul



Ciment



Bâtiments Reste de l'industrie



Agriculture



≈ 4%
Transports



≈ 2%



≈ 2%

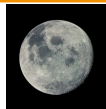


Bâtiments

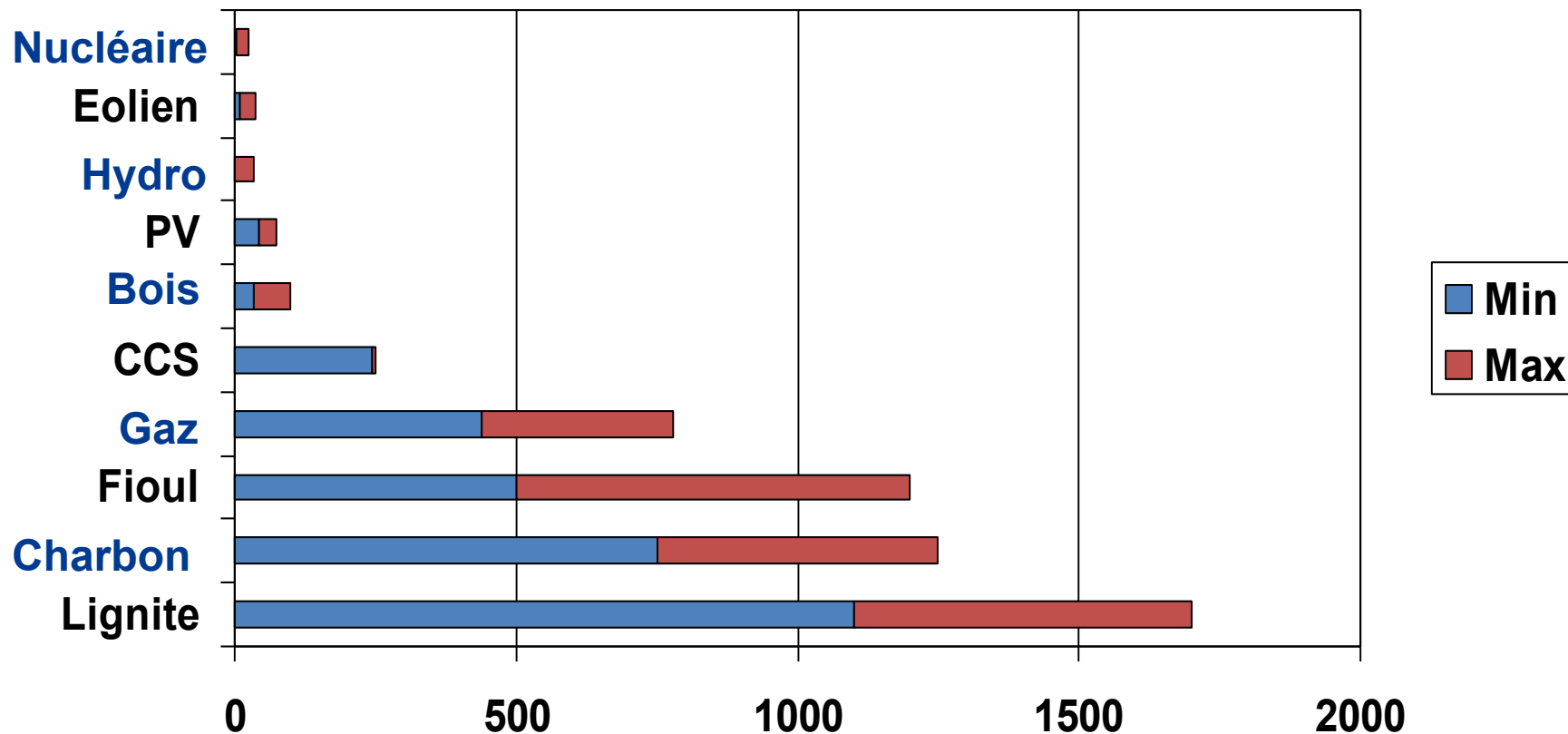


≈ 6%

Décomposition des émissions mondiales en 2014. Jancovici, données diverses.

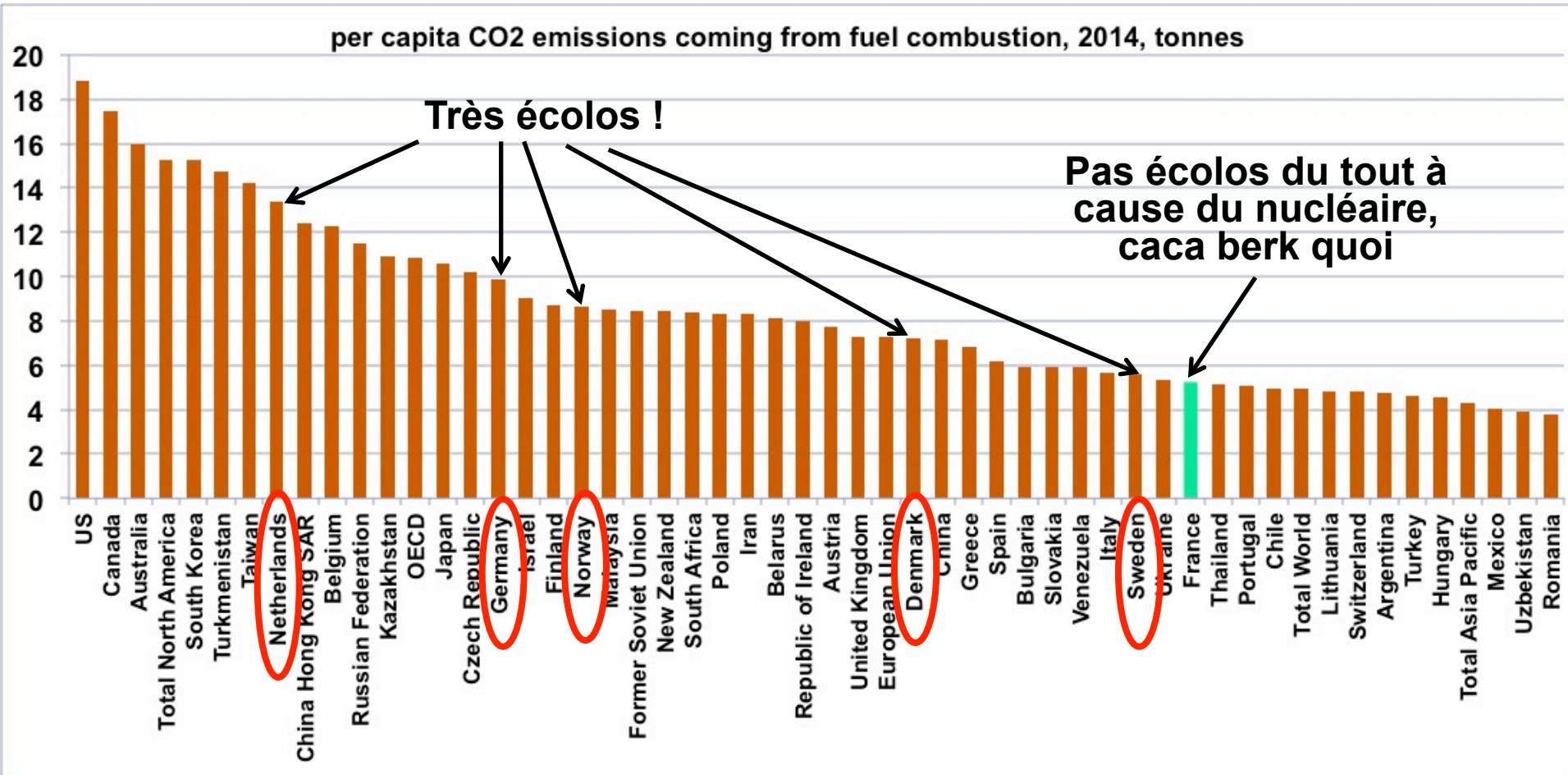


Le nucléaire contribue-t-il à l'effet de serre ?



Grammes de CO2 par kWh pour divers modes de production électrique dans le monde. Sources diverses

Le nucléaire contribue-t-il à l'effet de serre ?



Tonnes de CO2 par personne en 2014. Calculs Jancovici sur données BP Stat et World Bank

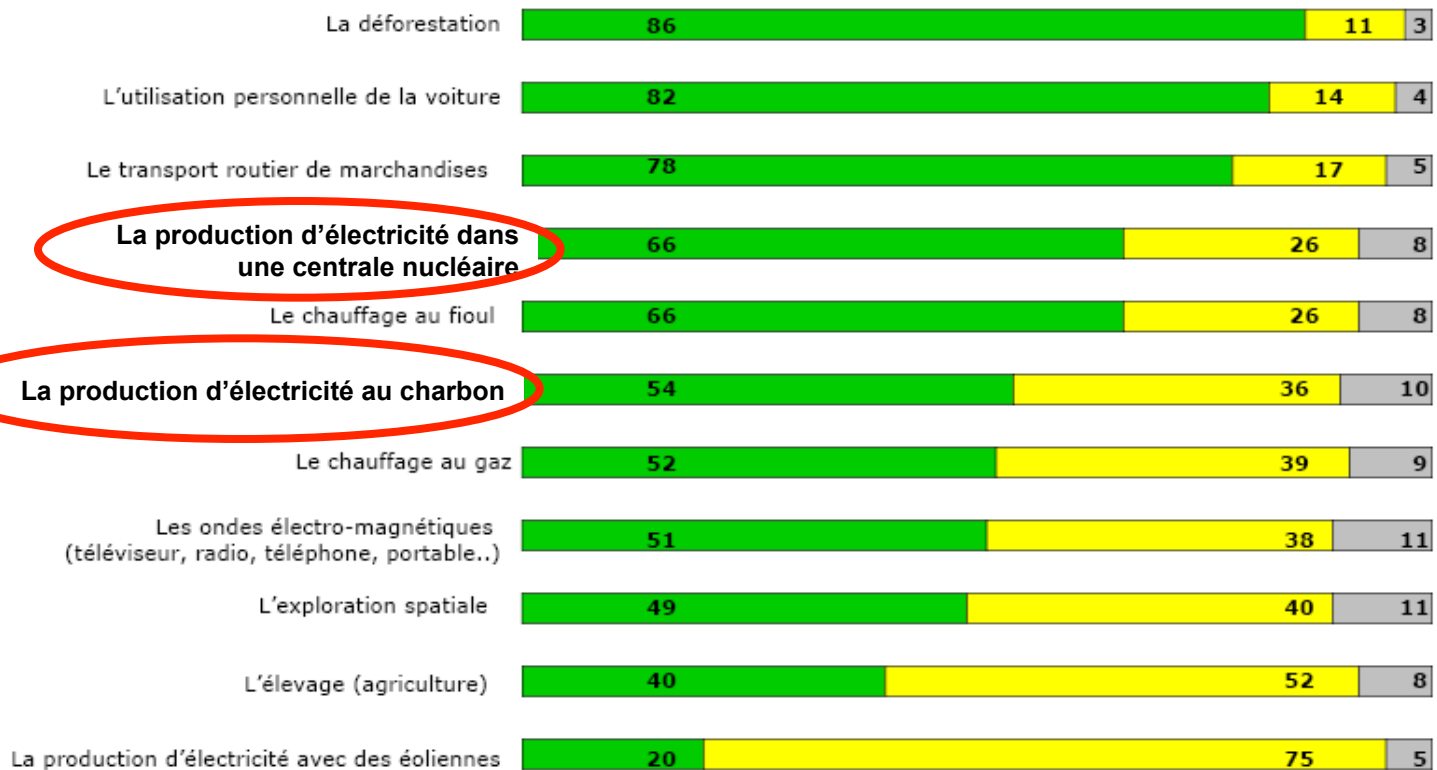


Et qu'en dit l'électeur ?

Les causes perçues du changement climatique

Question : Pour chacune des activités humaines suivantes, dites-moi si d'après vous elle est une des causes possibles du risque de changement climatique ?

en %



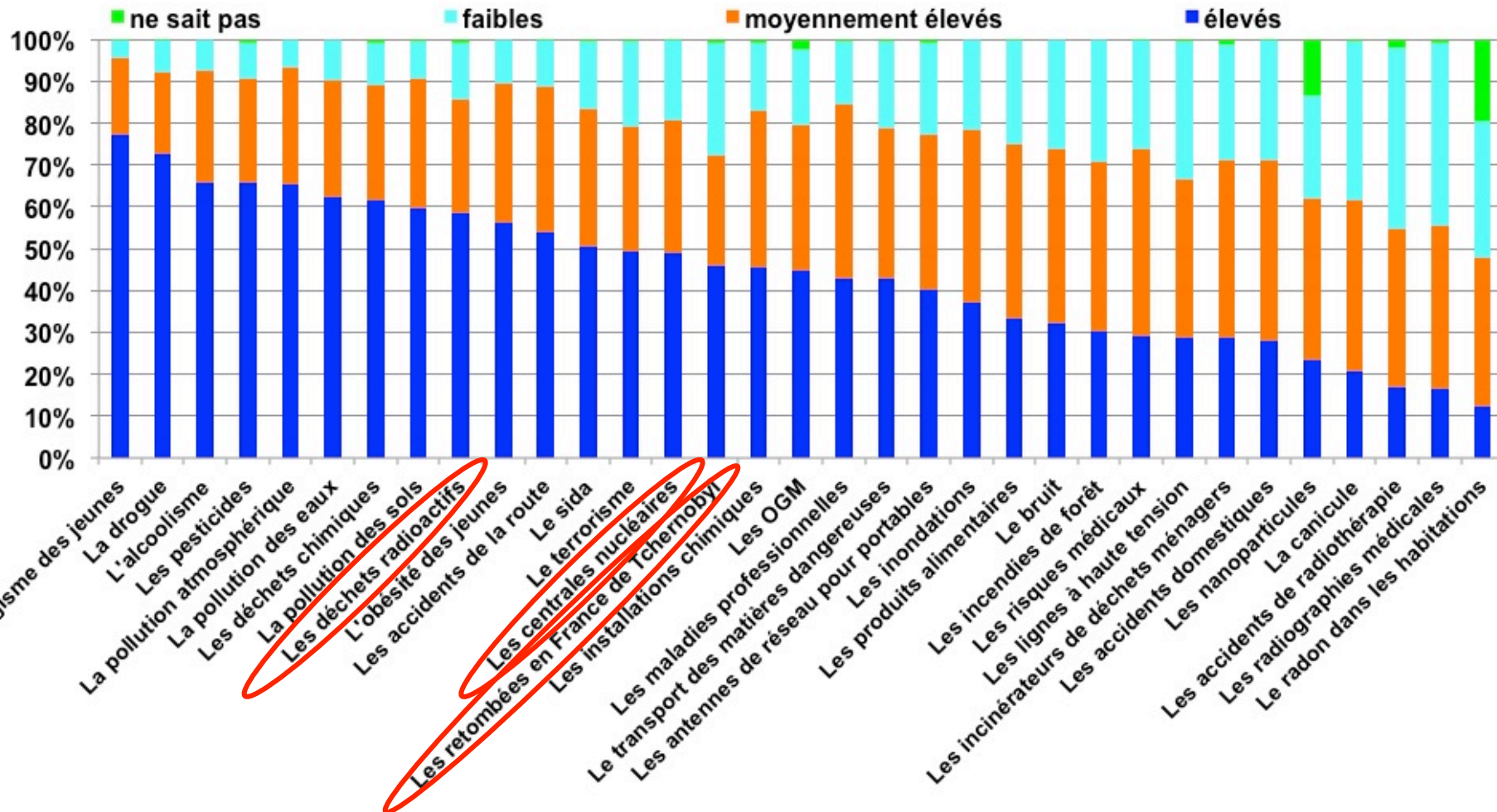
IFOP, novembre 2006

■ Oui ■ Non

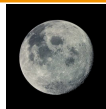
■ Ne sait pas



L'avis qu'on en a



Perception du risque par la population pour divers facteurs. Source Baromètre IRSN, 2014



Ce que disent les chiffres

Causes de mortalité en France (rangées dans l'ordre de la perception des risques):

Tabagie \approx 70.000 morts par an

Drogue \approx 1.000 morts par an (y compris accidents de la route)

Alcoolisme \approx 30.000 morts par an

Pollution atmosphérique \approx 10.000 morts par an

Les déchets nucléaires : 0 mort par an

Obésité \approx 50.000 morts par an

Accidents de la route \approx 3.000 morts par an

SIDA \approx 300 morts par an

Terrorisme \approx quelques centaines de morts par an

Les centrales nucléaires : 0 mort par an

Les retombées en France de Tchernobyl : 0 mort par an

Maladies professionnelles et accidents du travail \approx 500 morts par an

Accidents domestiques \approx 10.000 morts par an

Le radon \approx 2.000 morts par an

J'aime les Nations Unies... ou pas !



UNEP

United Nations
Environment Programme



**World
Meteorological
Organization**

Weather • Climate • Water



UNEP

United Nations
Environment Programme



WHO

World Health
Organization

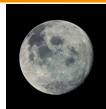


1988



**United Nations Scientific Committee on
the Effects of Atomic Radiation**

1955



Et clairement les antinucléaires n'aiment pas les Nations Unies

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

SOURCES, EFFECTS AND RISKS OF IONIZING RADIATION
UNSCEAR **2013 Report**

Volume I

REPORT TO THE GENERAL ASSEMBLY

SCIENTIFIC ANNEX A:

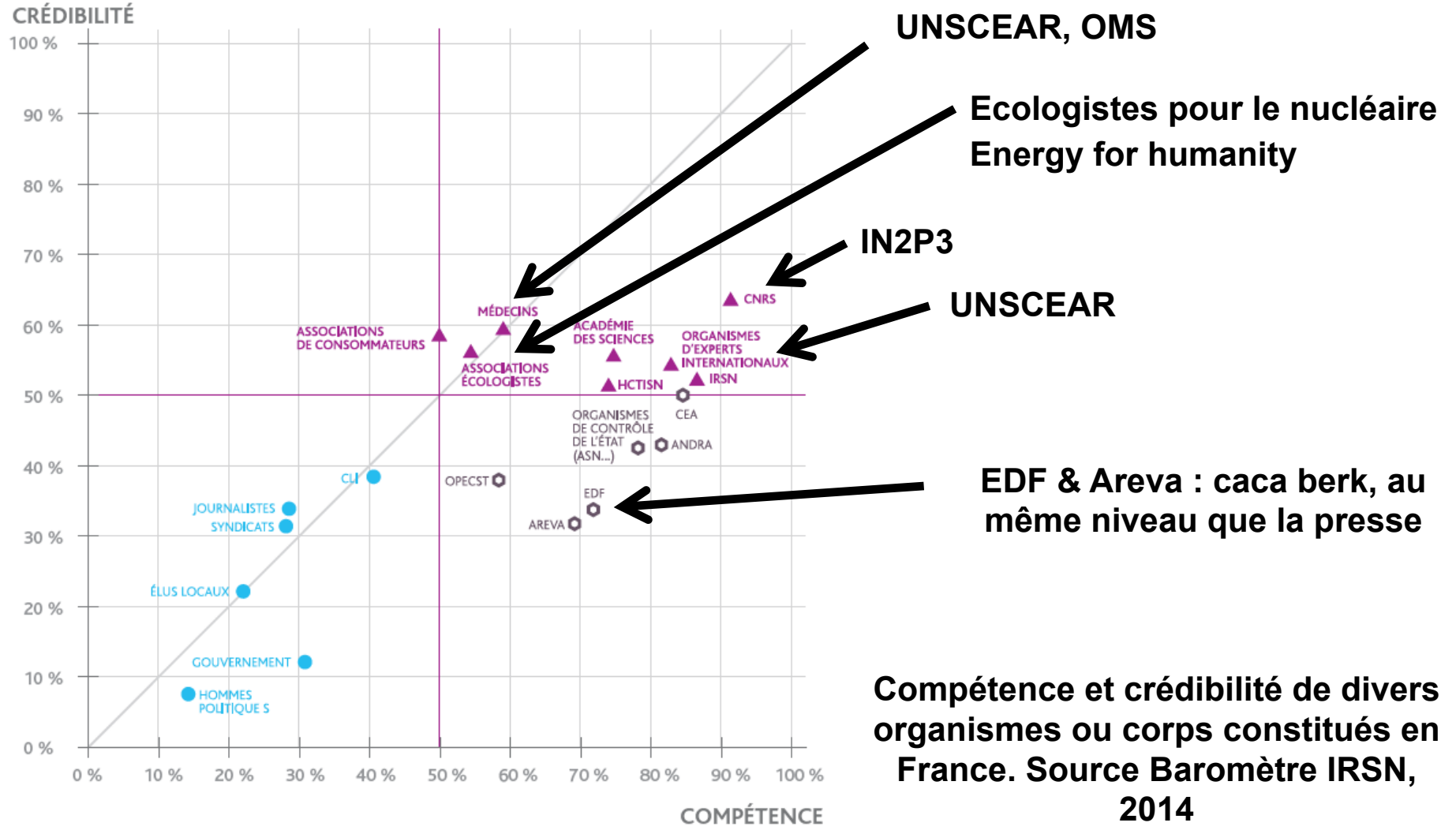
Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami

321 pages (personne ne les lit)

Page 10 : The doses to the general public, both those incurred during the first year and estimated for their lifetimes, are generally low or very low. **No discernible increased incidence of radiation-related health effects are expected** among exposed members of the public or their descendants.



Qui est crédible ?

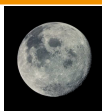


100% ENR pour pas plus cher ?

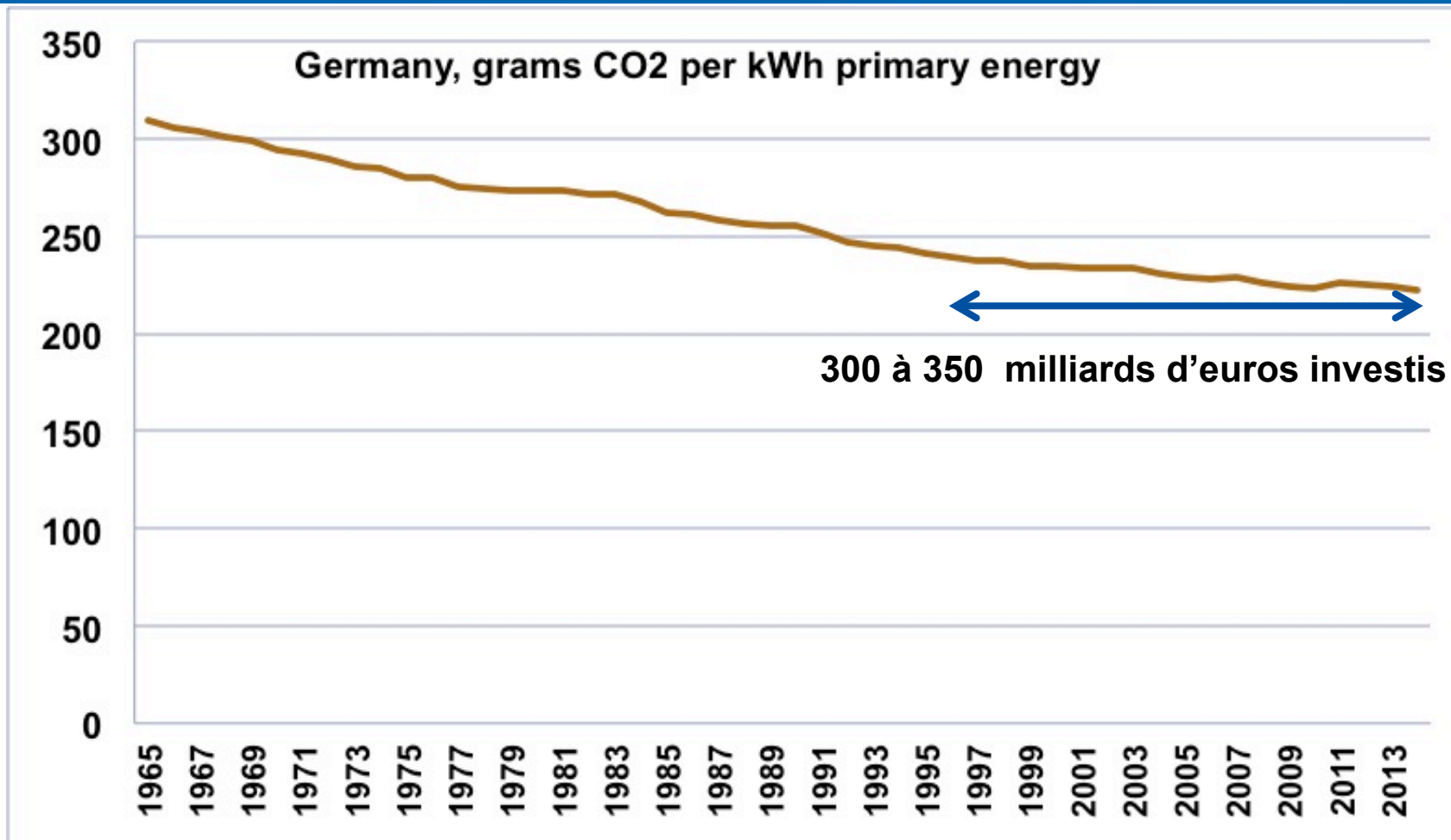
100% Nucléaire

100% Eolien

Facteur de charge	80%	$\xrightarrow{\times 3-4}$	15%-20%
Durée de vie	60 ans	$\xrightarrow{\times 2-3}$	20 à 30 ans
Réseau	≈ 0	$\xrightarrow{\times 1,5-2}$	$\approx 0,5$ à 1 fois cout éolienne
Stockage	10%	$\xrightarrow{\times 2}$	50%-60%
Cout au kW	3-5.000 €	$\xrightarrow{\div 2-3}$	1.500 €
Total capex/kWh		$\approx \times 10-20$	



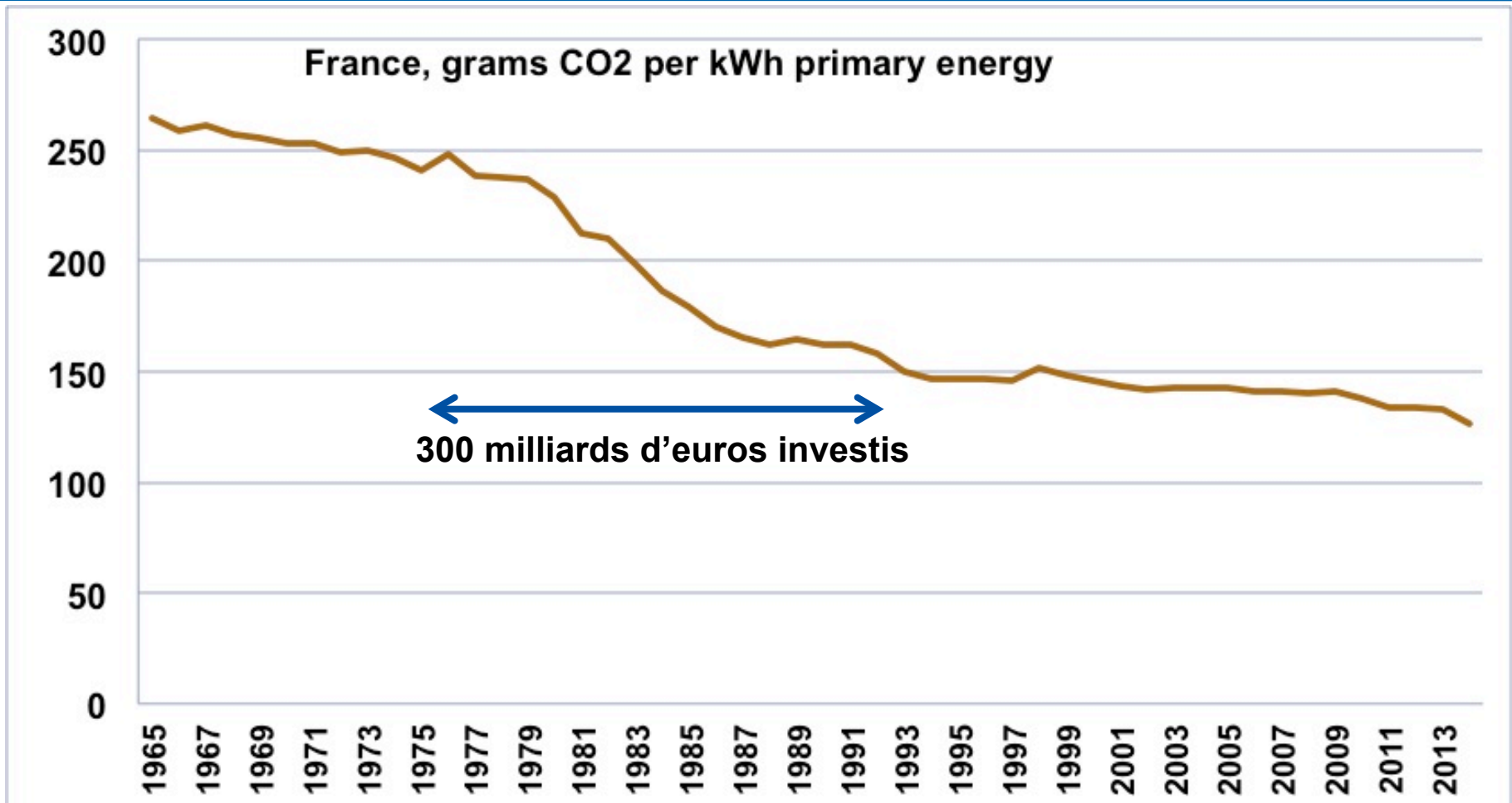
Je dépense 300 milliards € pour faire moins de CO₂ : 1^{ère} option



Emissions de CO₂ par kWh d'énergie primaire en Allemagne depuis 1965. Jancovici, sur données BP Statistical Review



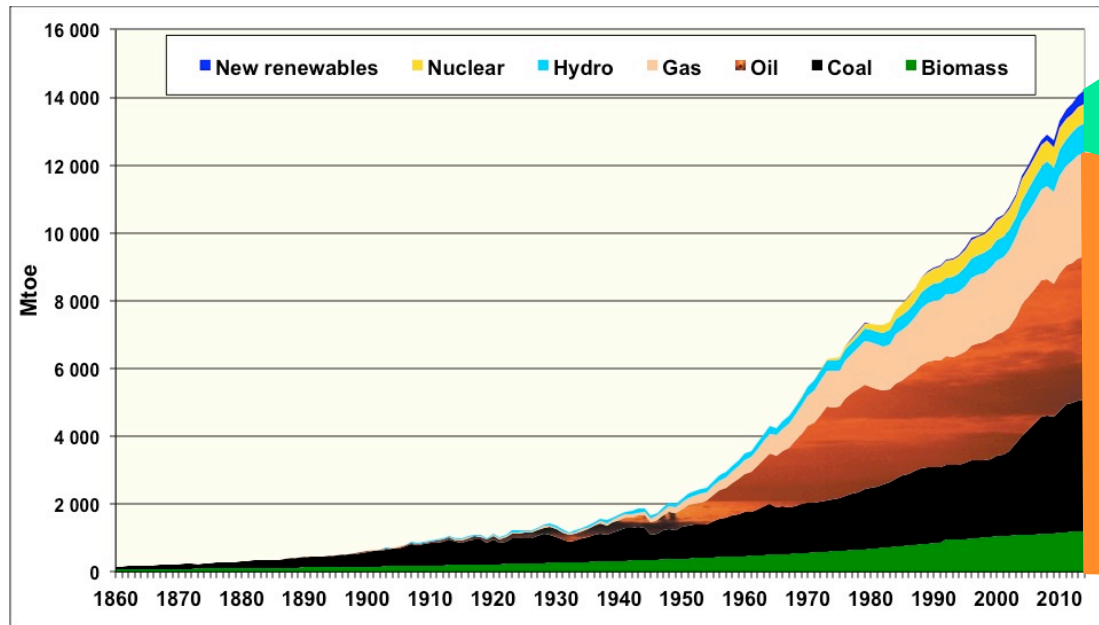
Je dépense 300 milliards € pour faire moins de CO₂ : 2^{ème} option



Emissions de CO₂ par kWh d'énergie primaire en France depuis 1965. Jancovici, sur données BP Statistical Review



Voici le but du jeu



**+7% par an
(incl. nucléaire)**

-3,1% par an



Est-ce que le nucléaire peut sauver le climat et la croissance réunis ?

7% de croissance sur 35 ans, c'est ≈ 3000 GW nucléaires en 2050 (≈ 300 aujourd'hui), 6.000 si 50% de pertes après production de l'électricité pour « autre chose » (stockage, conversion en H_2 , etc), 10.000 à 15.000 si peu de contribution des renouvelables.

Y aura-t-il les capitaux ? (5.000 GW ≈ 20.000 G\$, $\approx 30\%$ du PIB mondial 2014)

Y aura-t-il les compétences ?

Y aura-t-il la volonté en démocratie, avec 20 ans de préavis ?

Y aura-t-il les emplacements ? Etc etc

Sauver le climat sans nucléaire sera impossible, mais ne compter que sur le nucléaire pour y arriver tout autant



Des questions ?

