

# \* Découpler production et pollution : un mirage ?

(d'après l'ouvrage de Thierry Caminel et al., Editions Les Petits Matins) :

« Produire plus, polluer moins : l'impossible découplage ? »

- \* Au cœur du débat sur la transition énergétique
- \* Un des objectifs de la croissance verte de l'OCDE
- \* Pas l'apanage des institutions et acteurs dominants
- \* Même les scénarii de lutte contre le changement climatique envisagent une croissance à long terme (Nicholas Stern)
- \* Une telle hypothèse semble incompatible avec la réduction des GES et des autres impacts (métaux, biodiversité, ...)
- \* Alors? Découplage irréaliste? Essayons de voir cela.

**\* Le découplage : un concept essentiel de la transition énergétique**

- \* Découplage déjà contenu dans les travaux pionniers de Nicholas Georgescu-Roegen, du Club de Rome, dans les publications de Herman Daly, Robert Ayres, Kenneth Boulding
- \* Tim Jackson : « Prospérité sans croissance », 2009, attire l'attention :
  - \* Progrès en matière de découplage relatif (cf. infra)
  - \* Mais pas dans le découplage absolu : la hausse du PIB concomitante à une diminution des impacts environnementaux
  - \* Pertinence du découplage comme horizon politique, grille de lecture, feuille de route, dans l'OCDE
  - \* Mais la division internationale du travail tend à transférer nos activités polluantes vers les pays en développement : suffira-t-il de transférer nos « technologies vertes » au Sud pour avoir un e somme écologiquement nulle?

\* **Le rapport de Tim Jackson**

\* Découpler : que peut-on? Que veut-on? Le bien-être de la croissance? La croissance des pollutions? De la consommation des matières, de l'énergie? Voyons :

\* Les diverses déclinaisons du découplage, à l'aune de l'intensité carbone, l'intensité matières, l'intensité énergétique (au moyen du TRE). Or ces TRE sont en baisse tendancielle. La technologie peut-elle pallier ces réalités physiques incontournables?

\* Le découplage énergétique : nous produisons autant de richesses avec moins d'énergie. Mais :

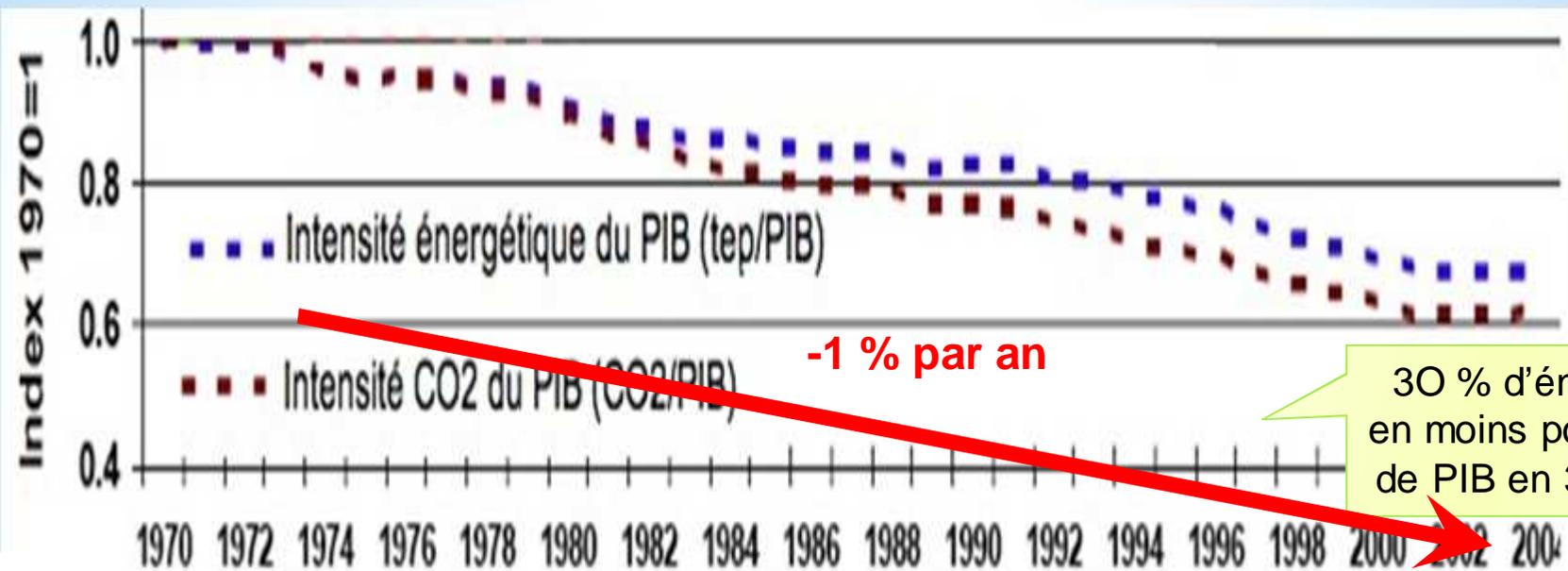
\* *quid* des énergies grises (nécessaires au cycle de vie des produits)?

\* Lien structurel peu étudié entre croissance et consommation énergétique

\* Les indicateurs de flux de matières : découplage relatif mais pas absolu à l'échelle mondiale, et même pas si on tient compte des flux cachés (liés aux importations ou aux matières extraites non utilisées : rôle des délocalisations

\* En définitive rupture nécessaire avec nos modes de production et de consommation actuels

\* **Des questions en suspens...**



## The material footprint of nations

Thomas O. Wiedmann<sup>a,b,c,1</sup>, Heinz Schandl<sup>b,d</sup>, Manfred Lenzen<sup>c</sup>, Daniel Moran<sup>c,e</sup>, Sangwon Suh<sup>f</sup>, James West<sup>b</sup>, and Keiichiro Kanemoto<sup>c,g</sup>

<sup>a</sup>School of Civil and Environmental Engineering, The University of New South Wales, Sydney, NSW 2052, Australia; <sup>b</sup>Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) Ecosystem Sciences, Canberra, ACT 2601, Australia; <sup>c</sup>Integrated Sustainability Analysis (ISA), School of Physics A28, The University of Sydney, Sydney, NSW 2006, Australia; <sup>d</sup>Australian National University, School of Sociology, Canberra, ACT 2601, Australia; <sup>e</sup>Programme

\* Regardons le passé : intensité énergétique et intensité carbone

Ressource	TRE
Gaz et Pétrole 1930	➤ 100
Gaz et Pétrole 1970	30
Gaz et Pétrole 2005	11 à 18
Pétrole importé 1990	35
Pétrole importé 2005	18
Pétrole importé 2007	12
Charbon 1950	80
Charbon 2000	80
Sables bitumineux	2 à 4
Huiles de schiste	5
Énergie nucléaire	5 à 15
Énergie hydraulique	➤ 100
Énergie éolienne	18
Énergie photovoltaïque	6,8
Éthanol (canne à sucre)	0,8 à 10
Éthanol (maïs)	0,8 à 1,6
Biodiesel	1,3

- \* Pour sortir de cette baisse des TRE
- \* TRI et croissance verte (Jeremy Rifkin)
  - \* Mise en réseau de moyens de production d'électricité renouvelable décentralisés en utilisant Internet
  - \* EnR
  - \* Hydrogène (+ autres stockages)
  - \* Transformation du parc immobilier
  - \* Véhicules électriques
- \* Or certaines ressources renouvelables ont un TRE faible
- \* Lois qui en obèrent l'efficacité : « cannibalisme énergétique, Liebig

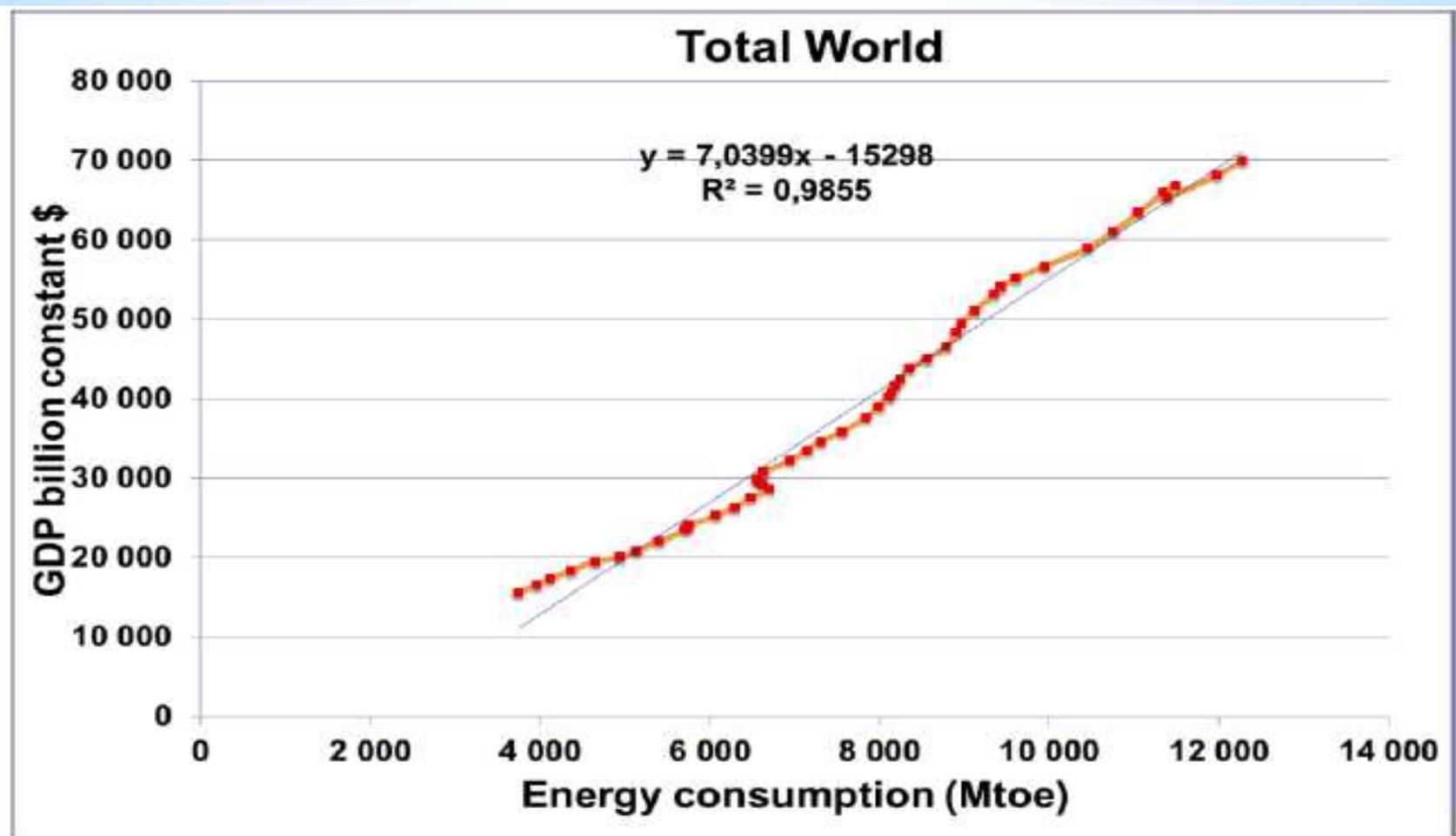
**\* Le progrès technique à la rescousse?**

- \* Concept de Joshua Pearce : lorsque la croissance rapide d'un système énergétique crée le besoin en énergie : le taux de croissance ne doit pas dépasser l'inverse de son temps de retour énergétique (exemple du panneau solaire)
- \* Au-delà, toute l'énergie produite est réinvestie dans la création de nouvelles capacités de production. Idem pour toute technologie visant à améliorer l'efficacité énergétique.
- \* Ainsi, si EnF limitées, le rythme de modification de nos systèmes techniques est également limité.

## \* Le cannibalisme énergétique

- \* Technologies requièrent des matériaux :
  - \* Envoie de raréfaction
  - \* Nécessitant de l'énergie quant à leur extraction
  - \* Contraintes géopolitiques
  - \* Difficultés d'approvisionnement
  - \* Incidence sur l'énergie grise (nécessaire au cycle de vie du produit, de sa production à son recyclage, en passant par le transformation-fabrication-transport-utilisation, ...)
- \* Quelques exemples : voitures légères (aciers spéciaux), batteries (lithium), ...
- \* La matière est facteur limitant : Loi du minimum de Liebig = la non-disponibilité d'un composant limite la production entière d'un produit. Et elle se renforcera.
- \* Ainsi : pas d'amélioration nette de l'efficacité énergétique, et certains arguments nous indiquent une aggravation (cf. infra)

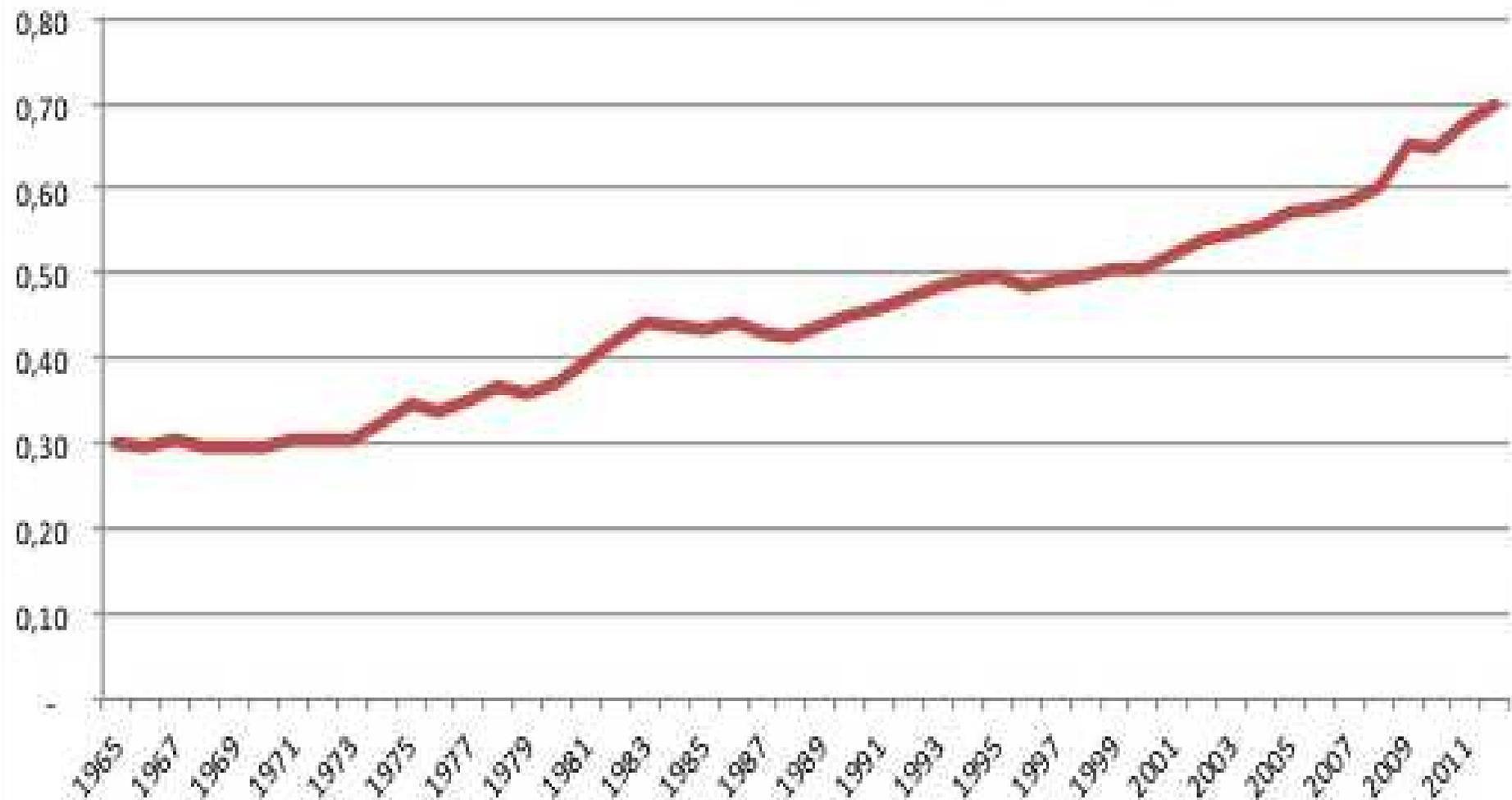
\* **La Loi de Liebig**



Source : BP statistical review, 2012, Shilling et al. 1977, EIA, 2012, et Banque Mondiale (PIB), 2012.

\* **Énergie et croissance du PIB : les tendances passées (I)**

## OECD, constant 2012 \$ per kWh primary NRJ



\* Dollars constants produits par quantité d'énergie primaire dans l'OCDE

\* Un premier outil : l'équation de Kaya, tautologique

$$F = P \times (G/P) \times (E/G) \times (F/E) = P \times g \times e \times f$$

\* Même esprit :

$g = (E/P) \times (G/E) = (E/P) \times (1/e)$  : le PIB/hbt se décompose en l'inverse de l'intensité énergétique.

\* Pour le taux de croissance, on a :

$$\Delta g = \Delta(E/P) + \Delta(1/e)$$

\* **Comprendre le rôle de l'énergie dans la croissance**

- \* 1965-1981 : croissance du PIB de 3,5%/an en moyenne dans le monde = 2,5% + 1%
- \* 1981-2013 : la croissance du PIB est à 1,5% (car les 2,5% sont passés à 0,5%).
- \* Dans certains pays comme le Japon, depuis 2000 : 0% = 0% + 0% !

\* Analyse historique de l'équation de Kaya

- \* Lien étroit entre énergie et croissance

- \* Tournant des années 1970 :

- \* Chocs pétroliers (ont affecté plus le prix que la quantité disponible). De plus retour du prix du baril par le contre-choc pétrolier de 1985 : l'explication se trouve ailleurs.

- \* Pic de productivité des puits américains : donc contraintes physiques et géopolitiques sur le volume de pétrole quotidien disponible empêchant les pays du Nord de profiter du contre-choc

- \* Réduction de dépendance du pétrole des pays occidentaux

**\* Énergie et croissance du PIB : moins de consommation, moins de croissance?**

\* Impact de la consommation d'énergie primaire sur la croissance

\* Dans plus de 40 pays : 10% de conso supp = 6% de PIB/hbt en + (dépendance à 0,6, contre 0,12 pour le capital)

\* Or mainstream prétend 0,1 (argument micro-économique) = part du coût de l'énergie dans le PIB

\* Robert Solow : 86% énergie, 14% salaires et capital

\* Robert Ayres

\* La causalité va dans le sens : possibilité d'augmenter la consommation qui provoque la croissance. Donc réduire notre dépendance à l'énergie = enjeu majeur du découplage.

\* **Dépendance PIB/énergie : une nouvelle estimation**

- \* Tenir compte de l'énergie dans le PIB , c'est minimiser la part du capital
- \* Or le rôle des énergies est majeur
- \* La croissance sera désormais résiduelle si nous ne pouvons modifier l'équation du taux de croissance ( $\Delta g = \Delta(E/P) + \Delta(1/e)$ ).

**\* L'énergie sous-évaluée par l'orthodoxie économique**

- \* Mettre des liens entre les flux économiques et physiques et les questions de découplage.

- \* Ainsi les flux physiques :

  - \* Modèle du Club de Rome (coupler TRE et équations économiques)

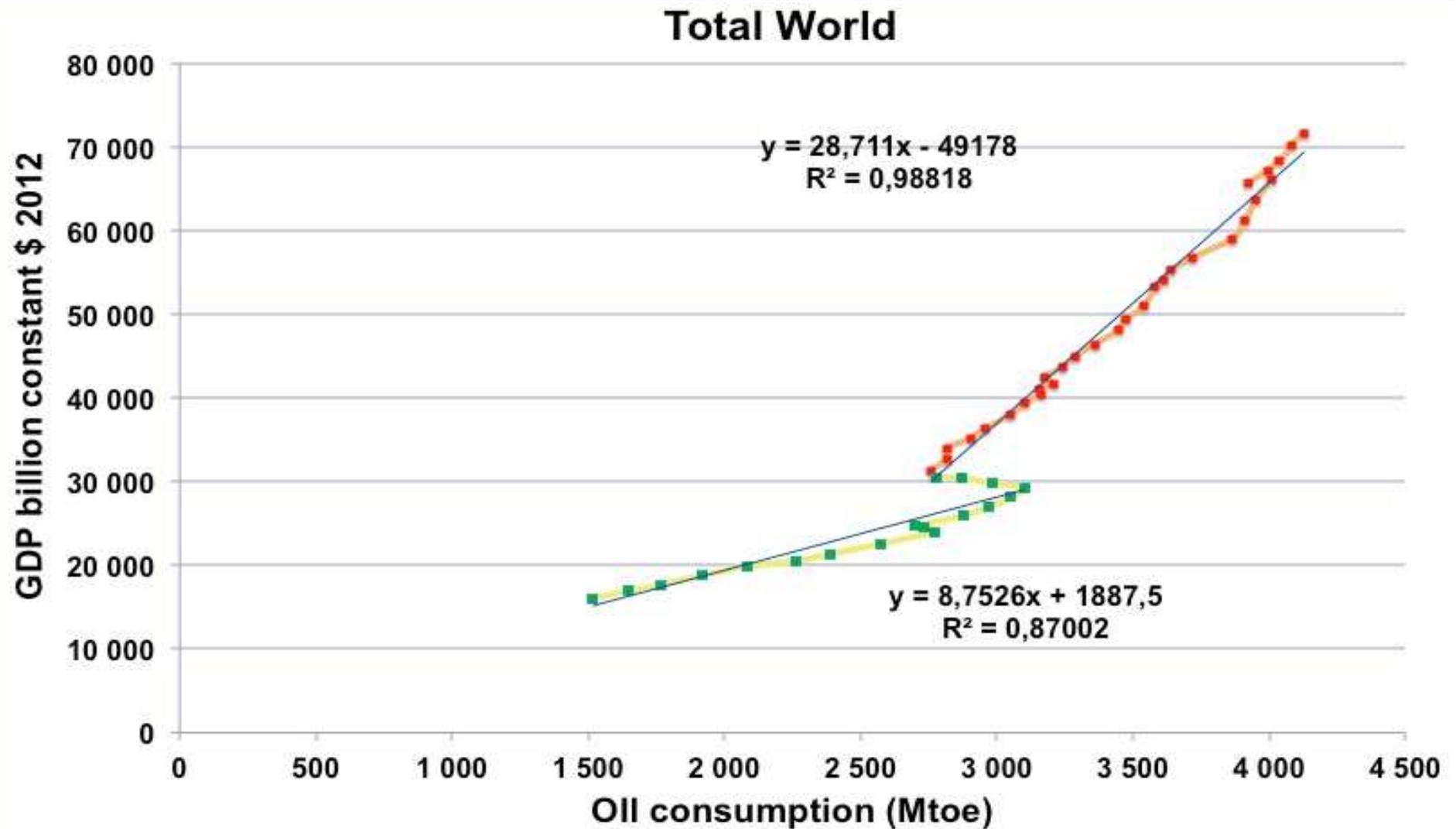
  - \* Travaux des physiciens Reiner Kümmel et Robert Ayres (cf. supra) : l'exergie.

**\* Modélisations macro-économiques :  
intégrer les flux physiques**

- \* Majorité des modèles quantitatifs supposent des rendements décroissants
- \* Remis en cause par Solow : la croissance provient du progrès technique (également théorie de Piketty)
- \* Or les deux tiers (86% selon les auteurs) non expliqués de la croissance...
- \* Les rendements constants? : pur artefact comptable
- \* Les rendements croissants, inquiétude des économistes néo-classiques

**\* Remettre en cause les rendements décroissants**

# Évolution du PIB en dollars constants (2013) selon la consommation de pétrole



\* Vive la transition énergétique !