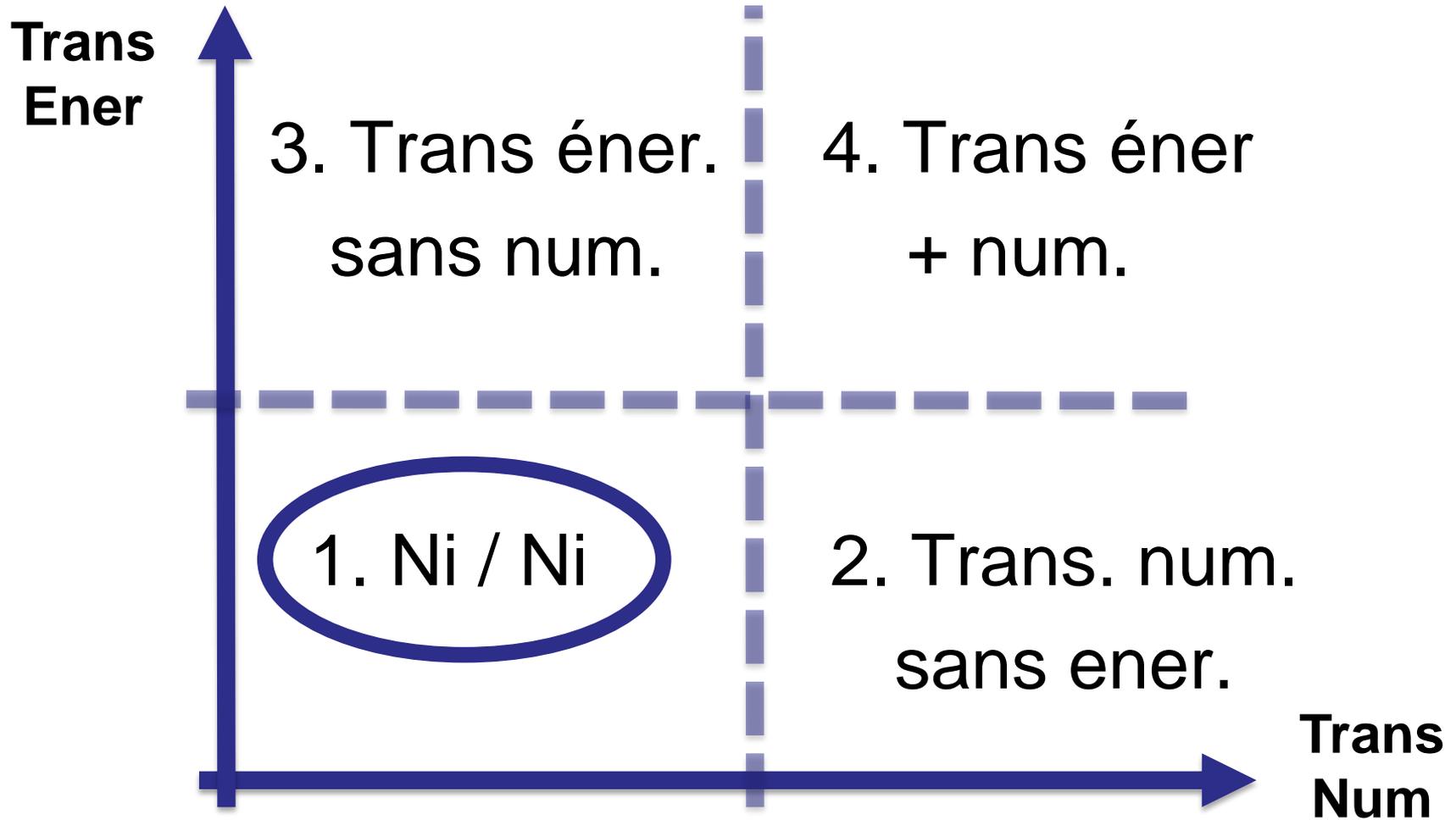


Transition énergétique, transition numérique: impacts pour l'énergie et les matières premières

P. Criqui

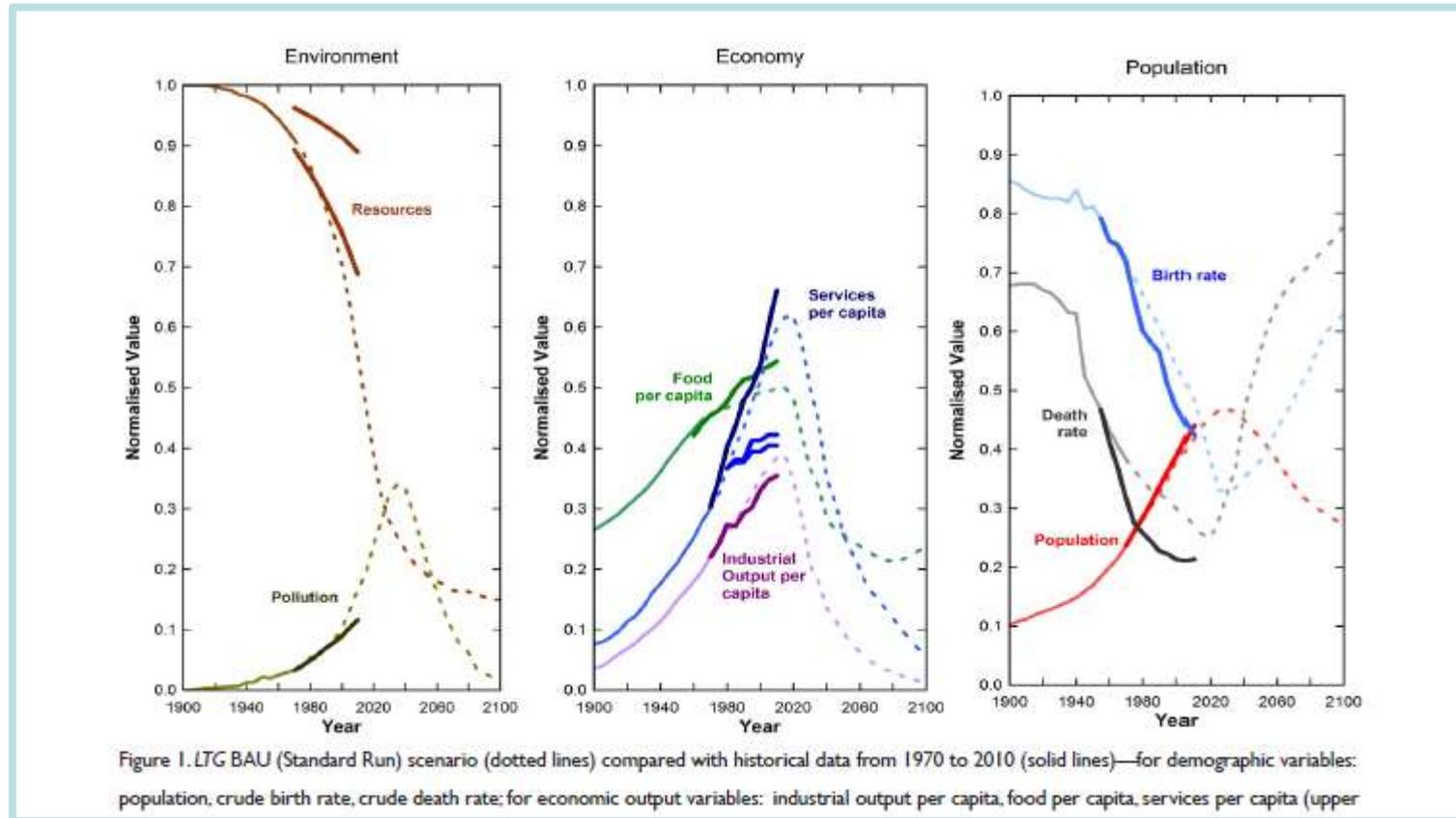
Journées Jacques Cartier, 2018

4 scénarios: impacts pour l'énergie et les mat. prem.



Vers l'effondrement ?

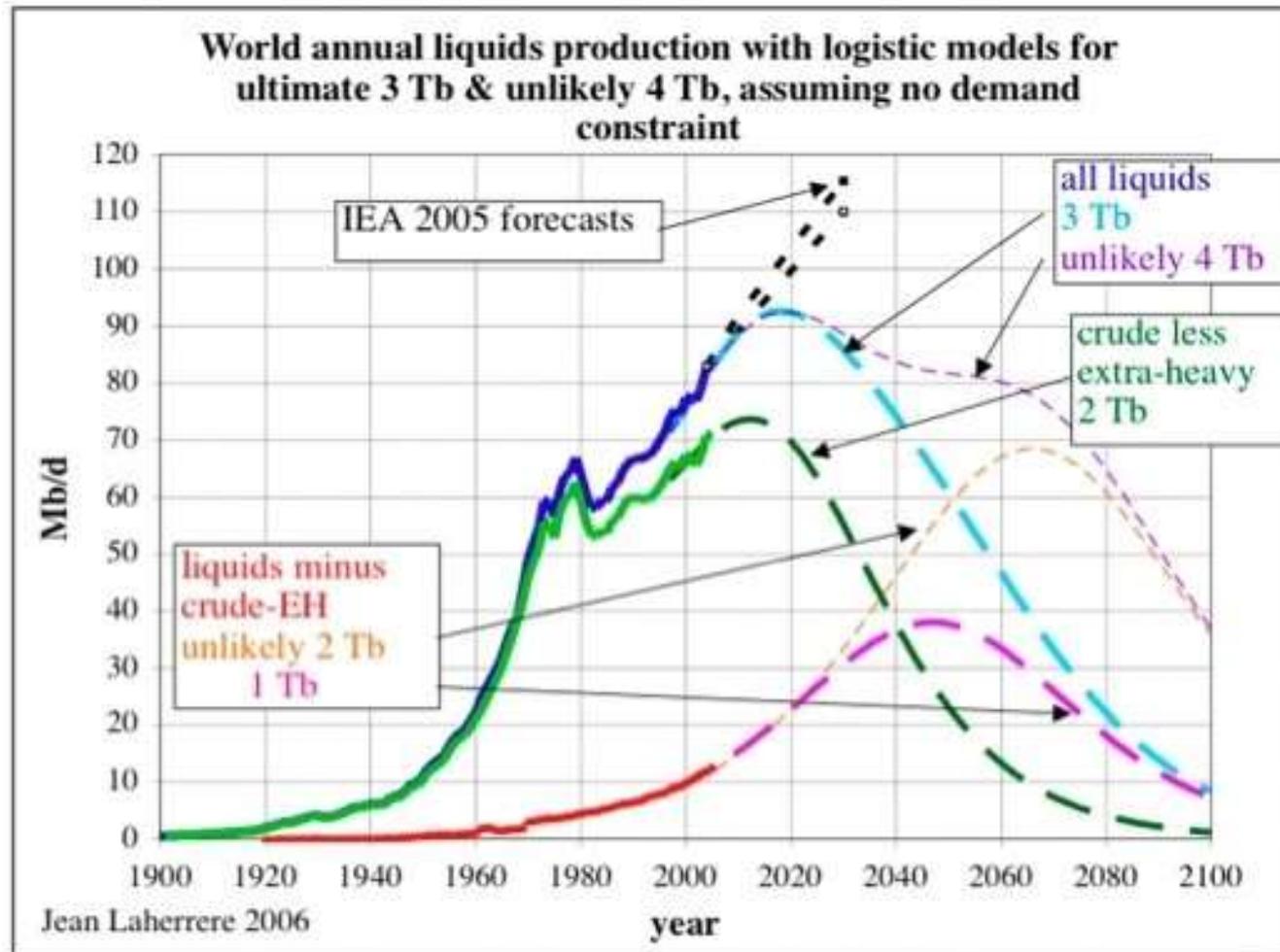
“Global collapse”: Meadows (1972)... puis Turner (2014)



Source: Turner 2006-2014

La fin de la fin du “pic pétrolier” ?

Hubbert (1959)... puis Campbell & Laherrère (2006, 2014)



Source: Laherrère 2006

EROI: la dépense énergétique comme nouvelle limite à la croissance

Georgescu-Roegen (1971)... puis Court & Fizaine (2016)

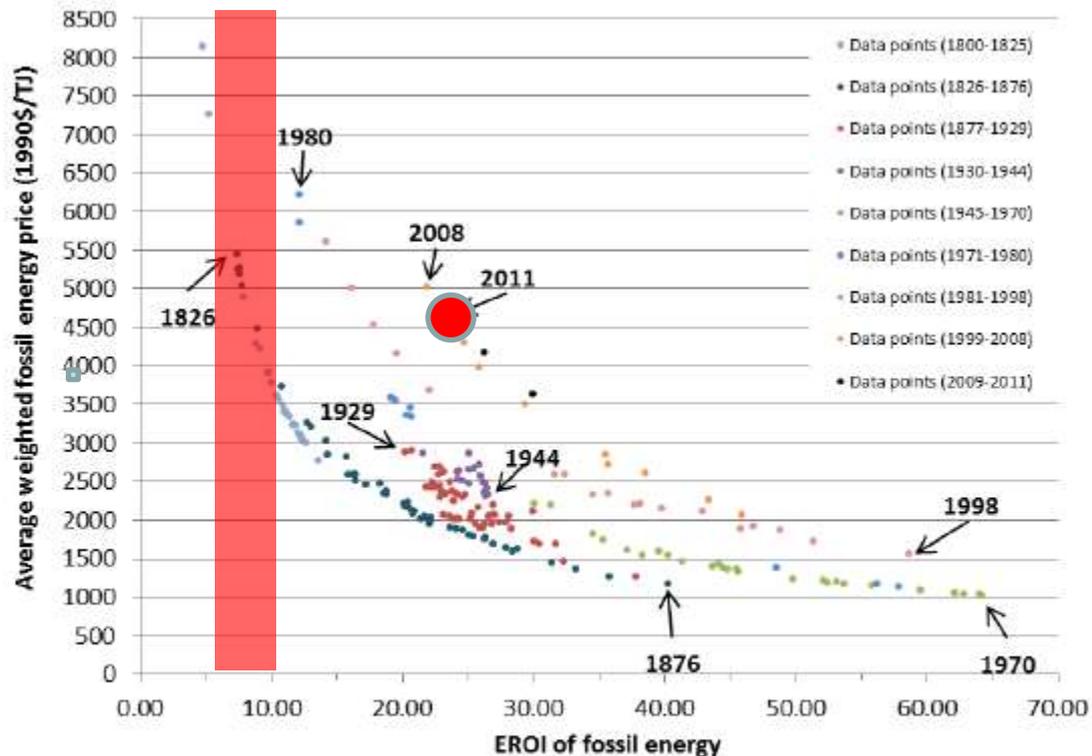
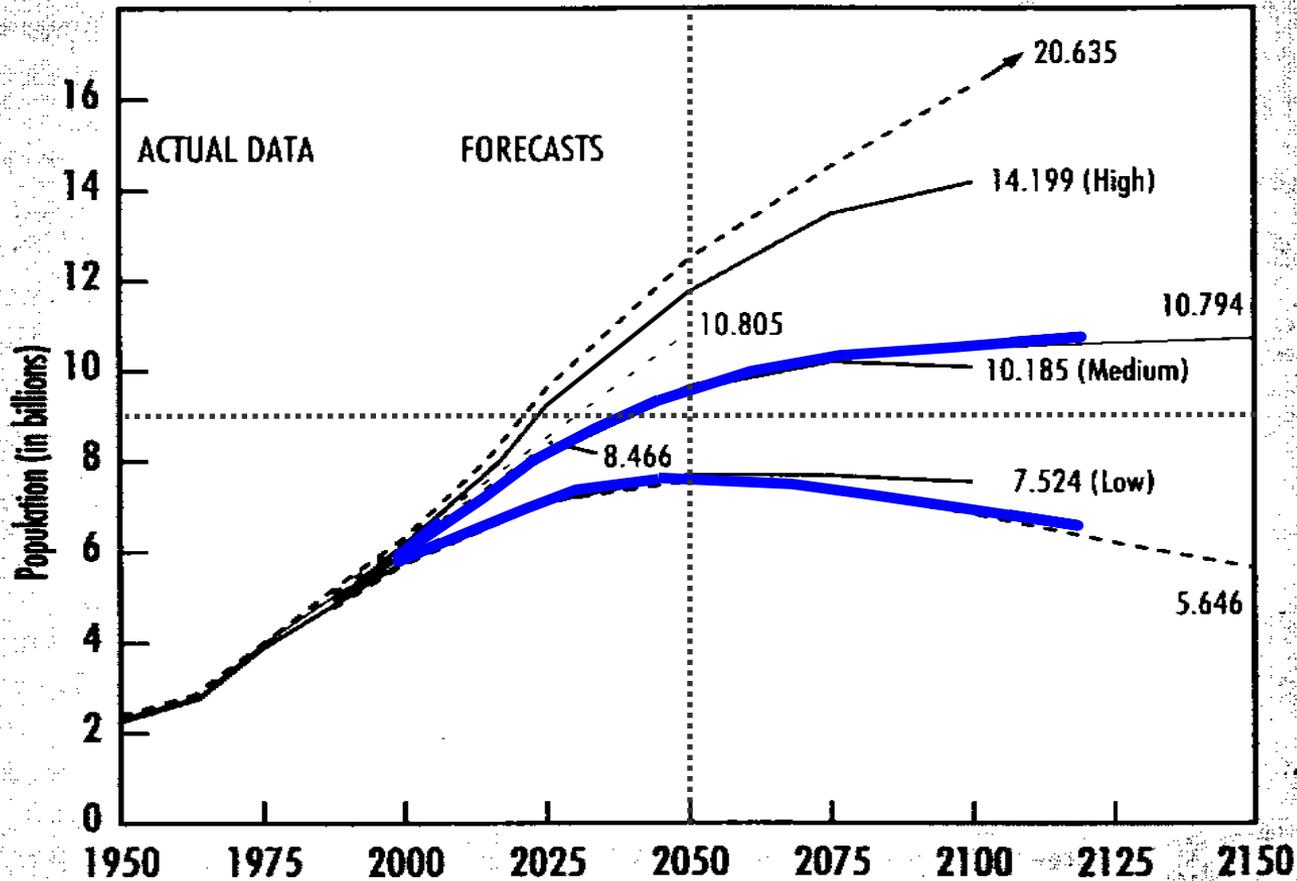


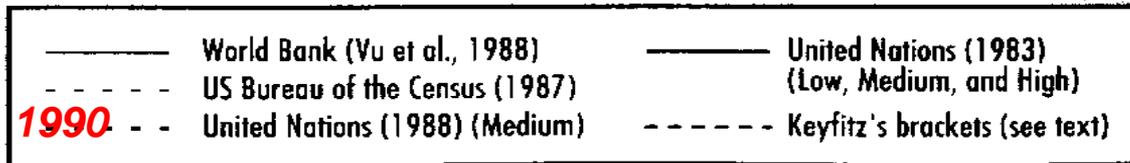
Figure 5. Relationships between the global EROI of the primary fossil energy sector and the global average weighted price of fossil energy with a temporal segmented set of data from 1800 to 2011 recovered from Court and Fizaine (2015).

***Ou ralentissement de la
croissance et ajustement des
flux de matières et d'énergie ?***

Population: stability in the prospect for stabilization

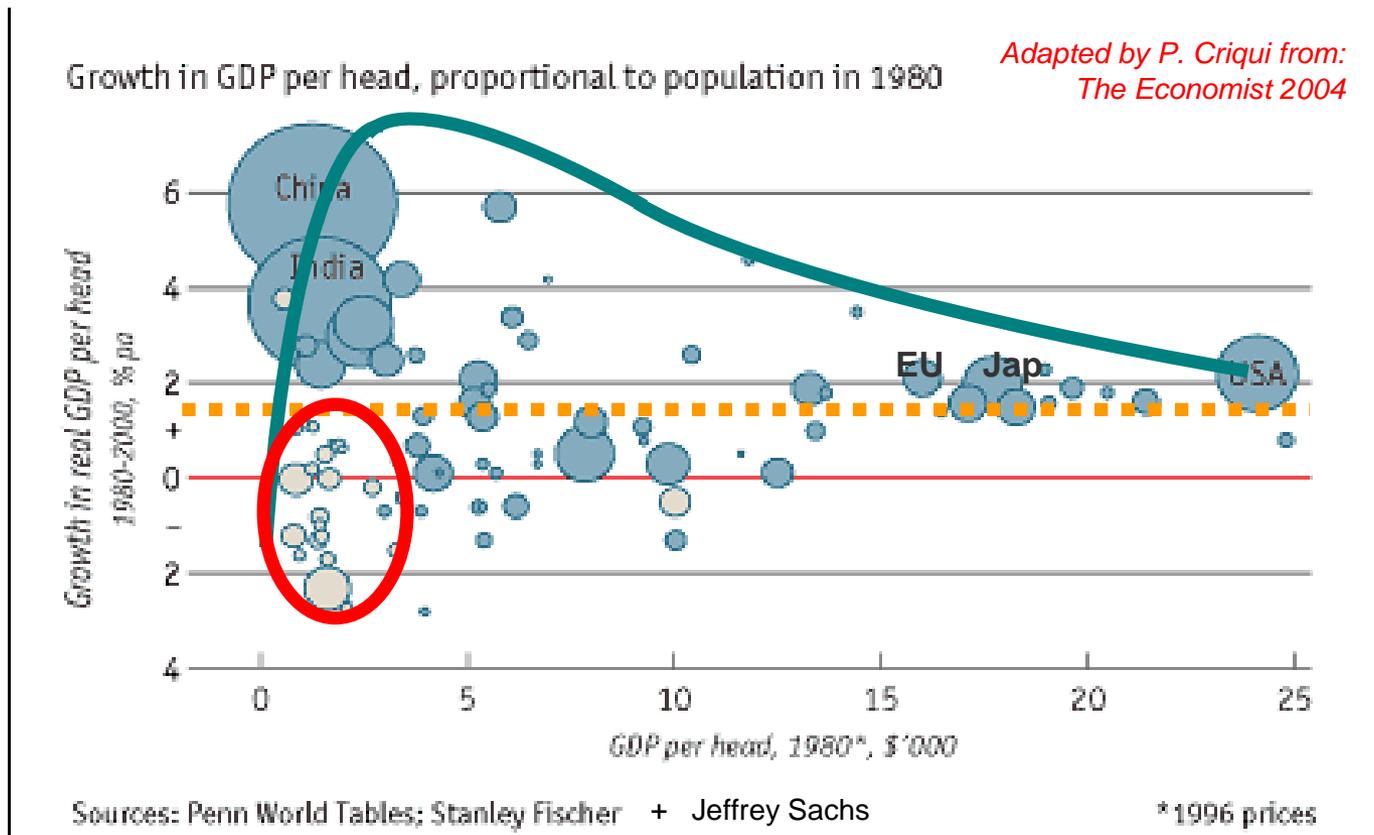


Source: Keyfitz, 1990

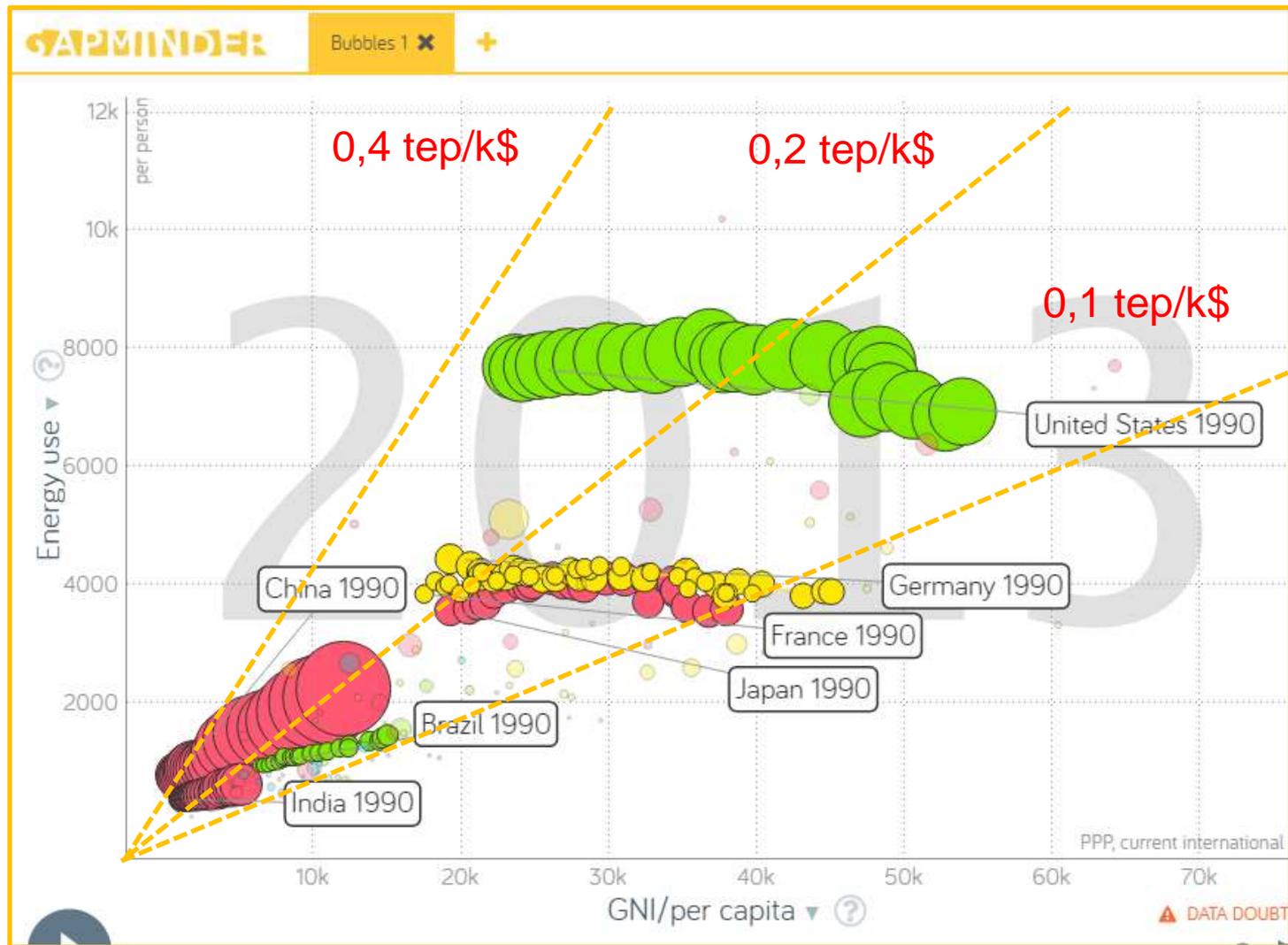


Convergence and slowdown

- ◆ Divergence and convergence in GDP growth rates: catch-up to the “technological frontier” and slowdown (Aghion)



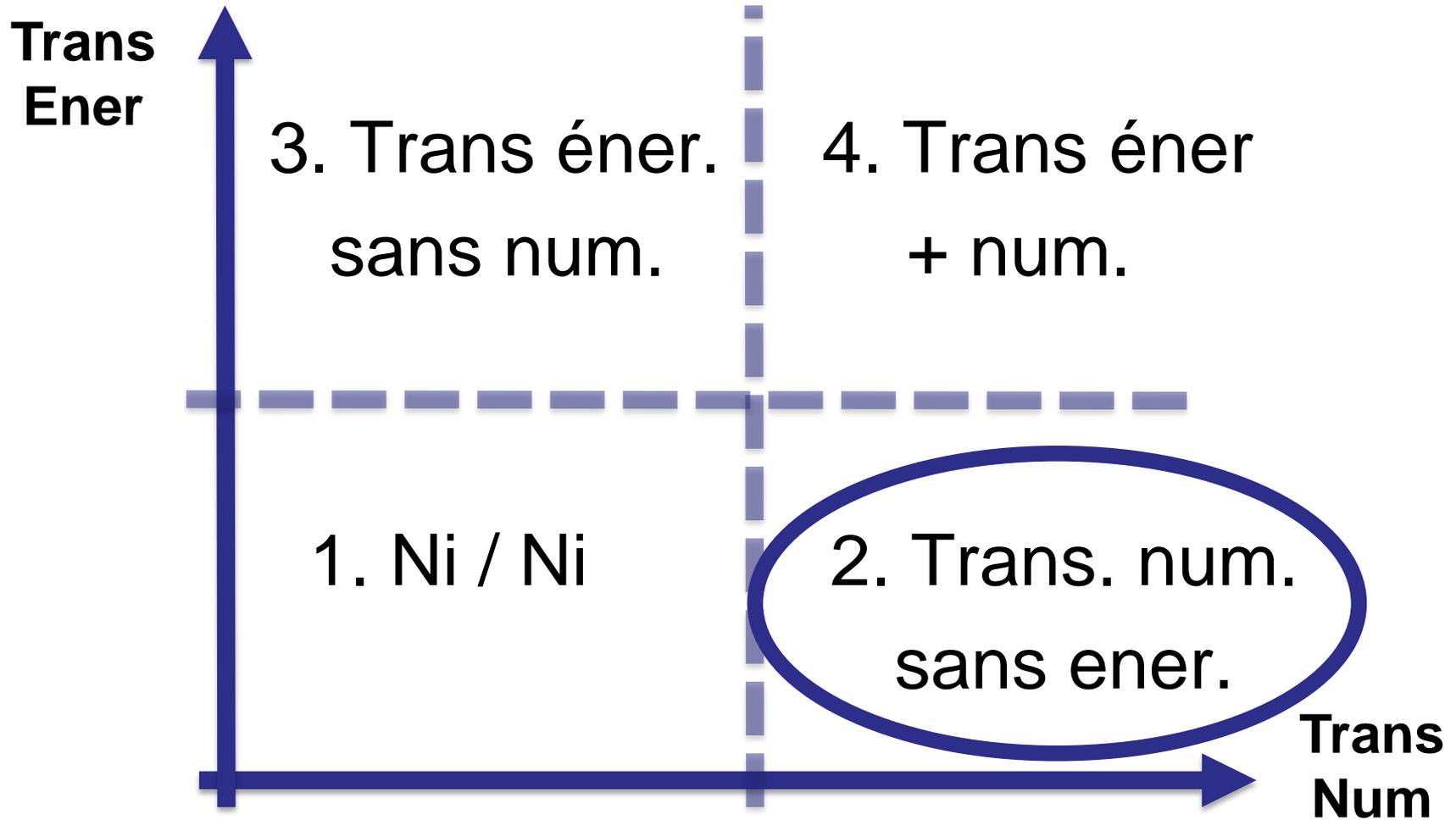
Per capita energy



Ni transition énergétique, ni transition numérique

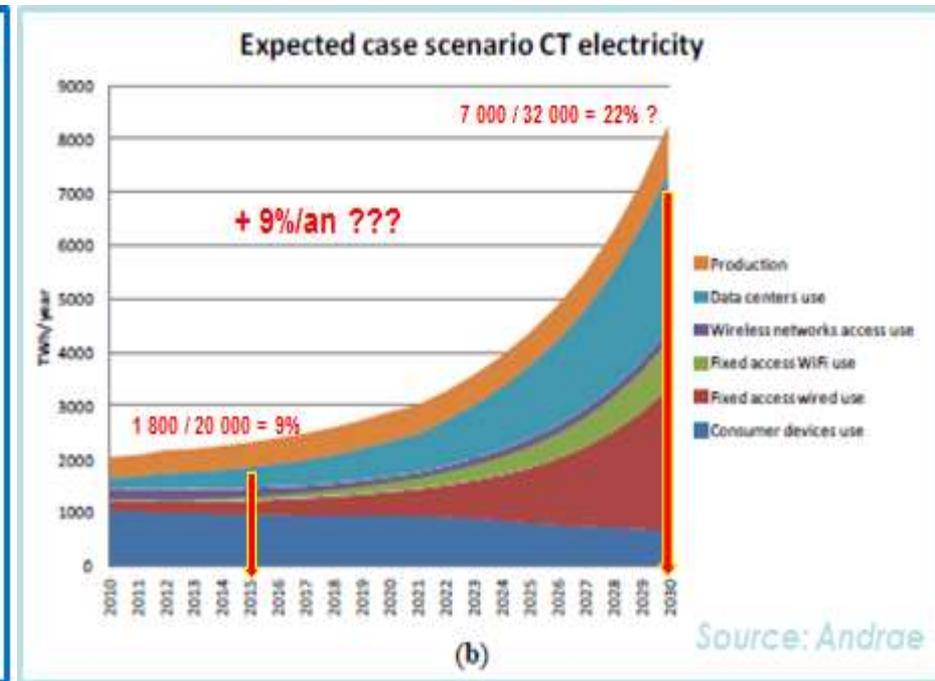
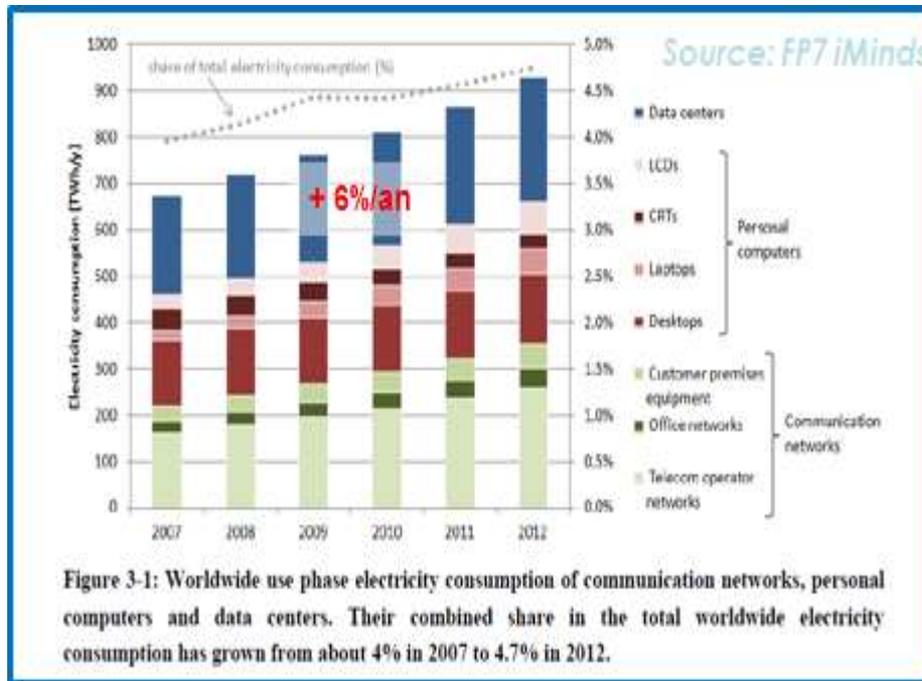
- ◆ En l'absence de contrainte climatique et de transition énergétique, il est peu probable qu'à l'échelle du siècle l'humanité butte sur une contrainte absolue de ressources énergétiques fossiles
- ◆ Et quand bien même... le défi d'une transformation des ressources charbonnières pour remplacer le pétrole et le gaz fossile serait facile à résoudre face au défi de la décarbonation (voir l'Allemagne pendant WWII et l'Afrique du Sud pendant l'embargo)

4 scénarios: impacts pour l'énergie et les mat. prem.



La révolution numérique et la consommation d'électricité

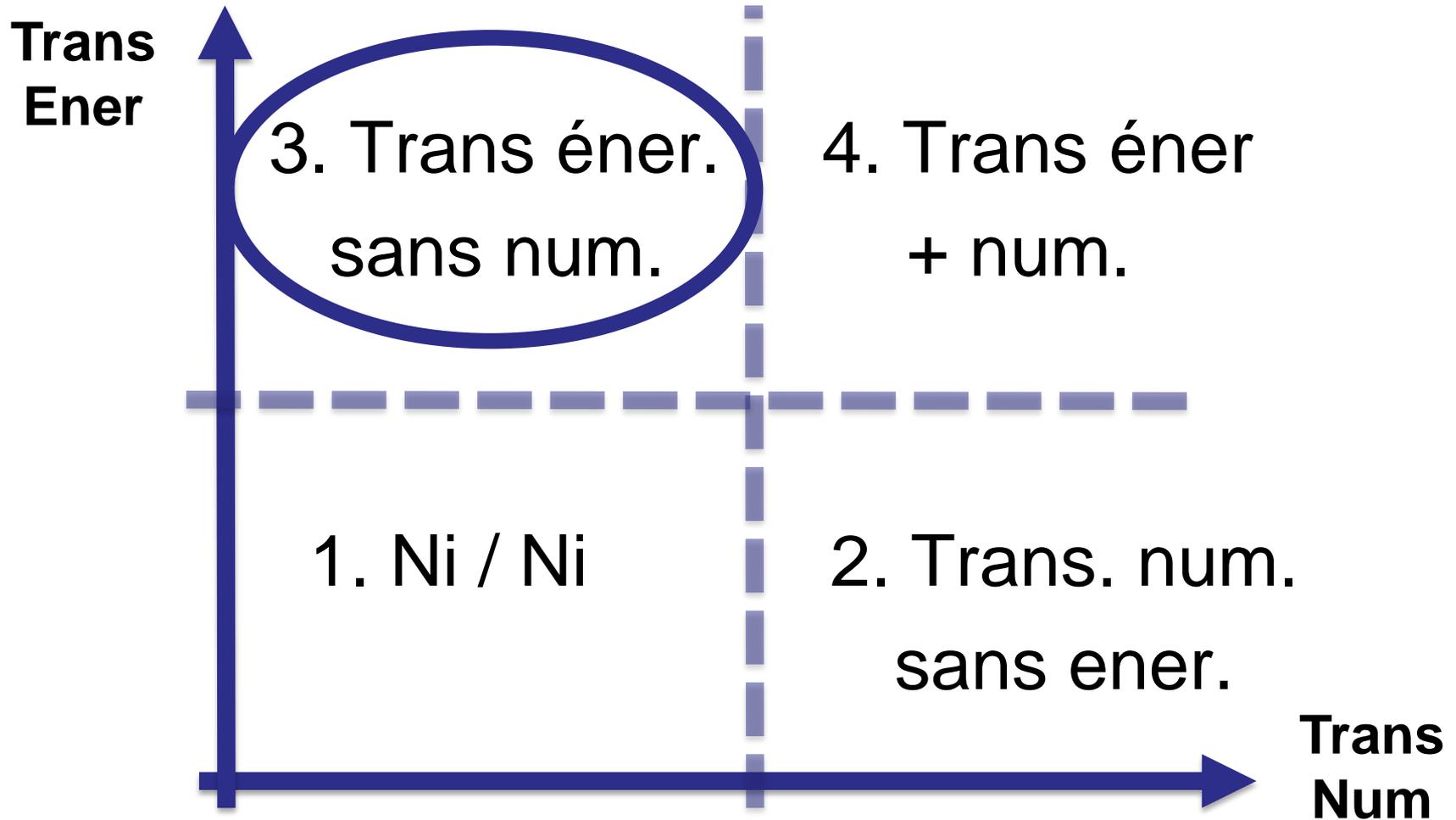
- ◆ Aujourd'hui la part du numérique dans la consommation mondiale d'électricité est estimée selon les sources à 5-9% de l'électricité totale
- ◆ Le taux de croissance est estimé entre 6 et 9%/an; à ce rythme, la part pourrait croître à plus de 22% en 2030

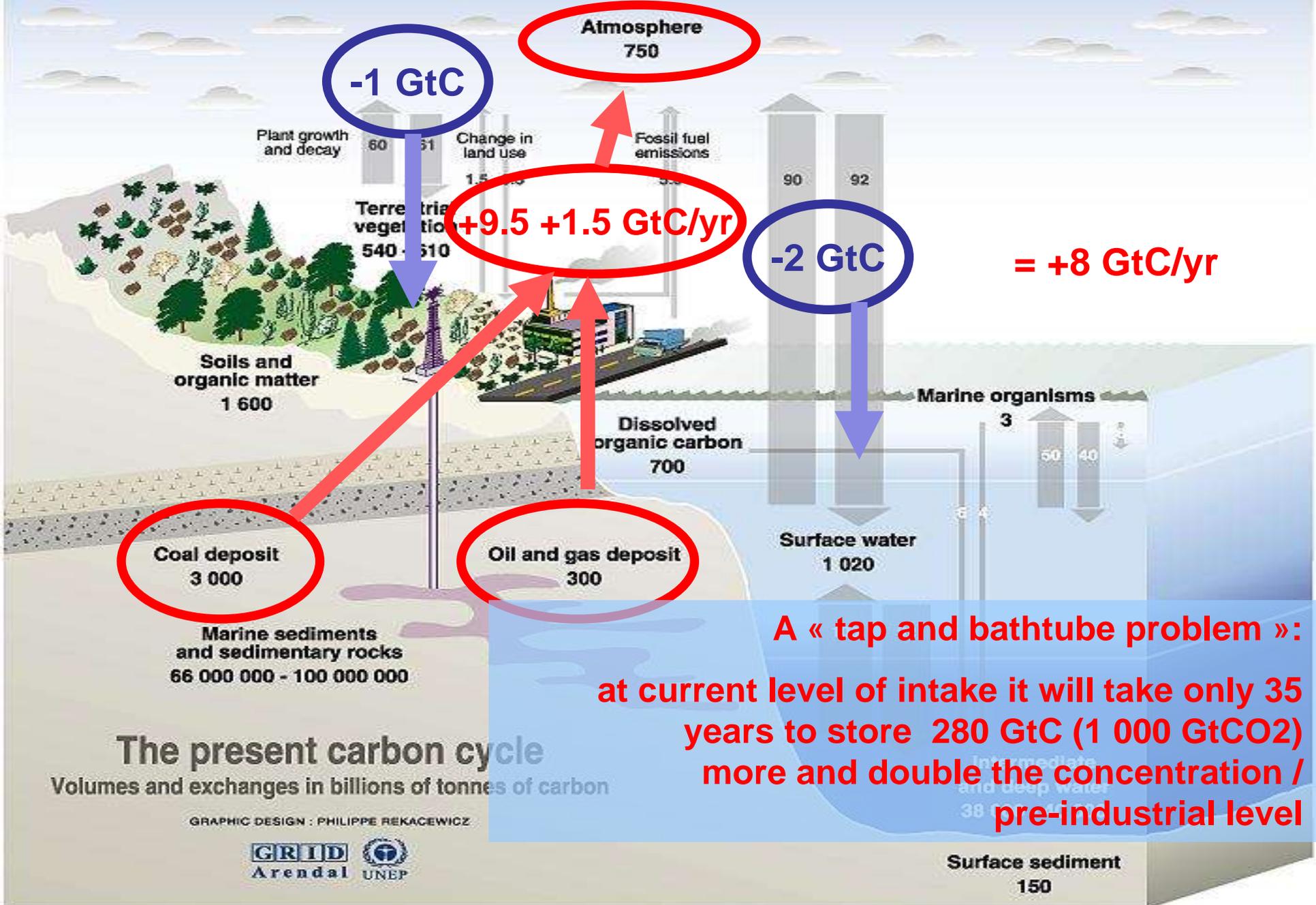


Dynamiques et impacts

- ◆ Le développement massif du big data, des cryptomonnaies et de l'Internet des Objets, sans transition vers l'efficacité, peut de fait aboutir à une très forte augmentation de la consommation d'électricité
- ◆ Avec des impacts très différenciés selon la nature du mix électrique de chaque pays (charbon, nucléaire, renouvelables...)
- ◆ Mais il est probable que dans ce cas le développement du numérique profiterait avant tout au charbon, source abondante et bon marché (fermes à bitcoin en Chine)

4 scénarios: impacts pour l'énergie et les mat. prem.





A « tap and bathtub problem » :
at current level of intake it will take only 35
years to store 280 GtC (1 000 GtCO₂)
more and double the concentration /
pre-industrial level

Trois étapes-clé dans la négociation climat

- ◆ De Kyoto (COP3, 1997) à Copenhague (COP15, 2009): à la recherche d'un accord global
- ◆ De Copenhague à Paris (COP21, 2015): échec et nouveau départ, du “top-down” au “bottom-up”
- ◆ Après Paris: au delà des Contributions Nationales, vers la “neutralité carbone”

COP21, les lignes rouges dans la dernière nuit ! [tweets J-M Nollet](#)

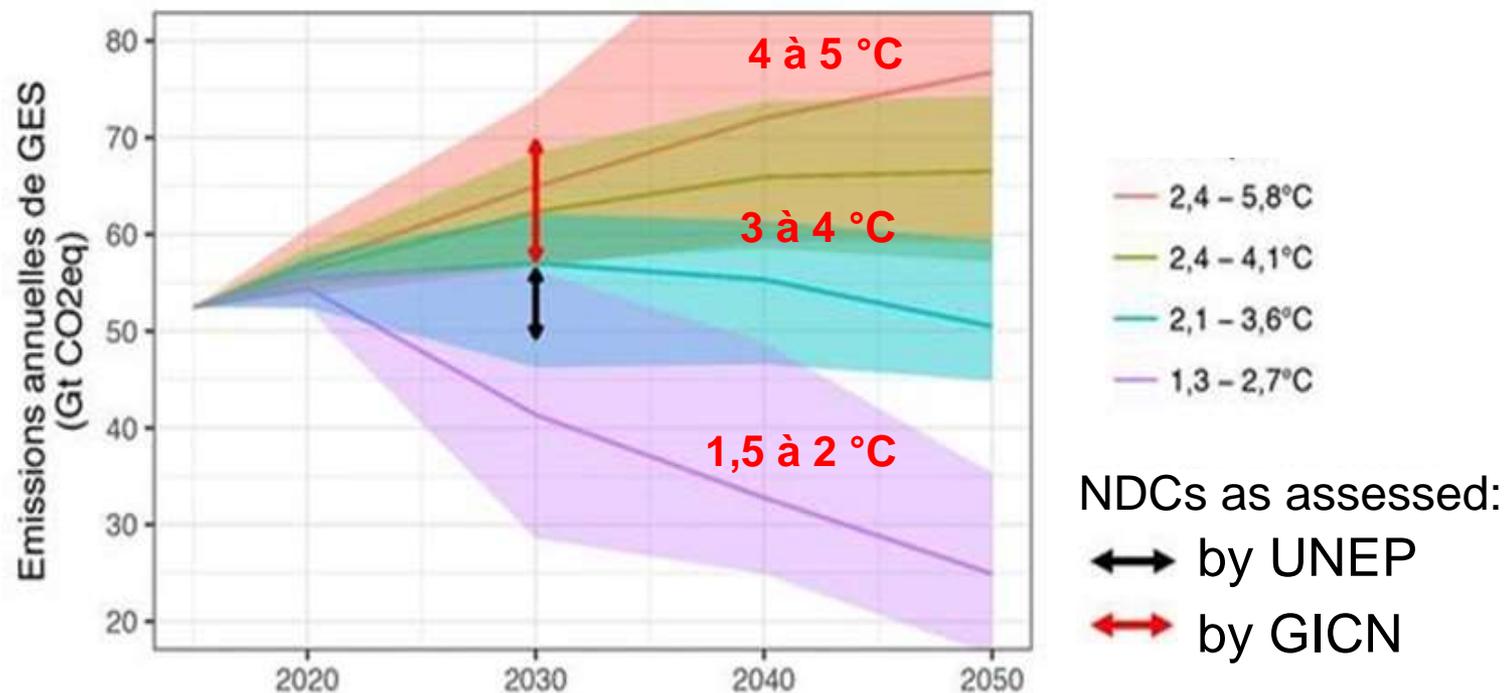


12 Décembre 2015: l'Accord de Paris



Un accord dont l'ambition doit être renforcée

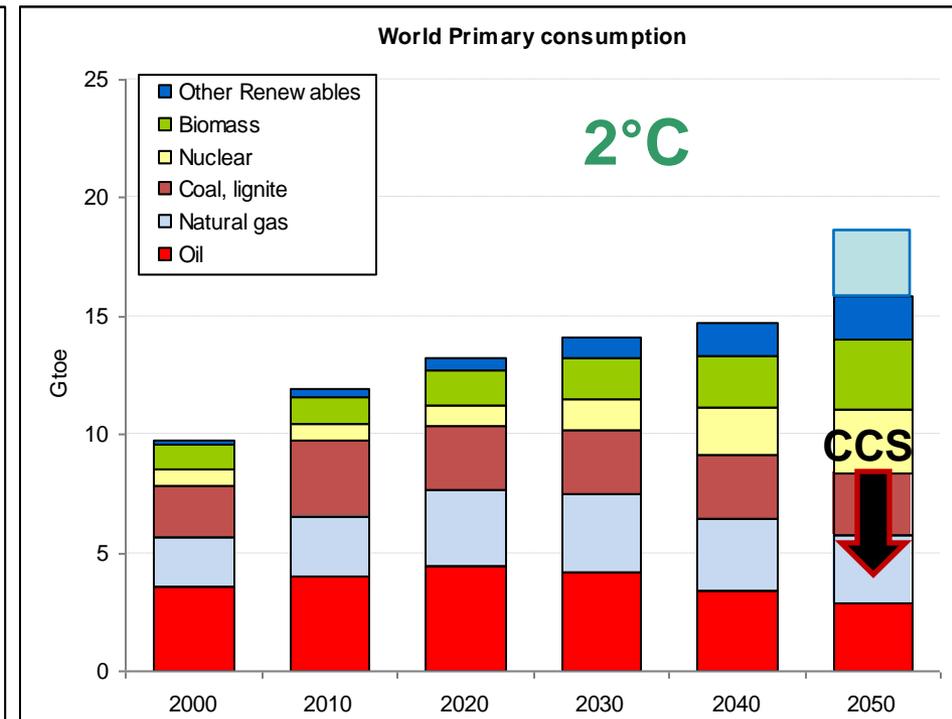
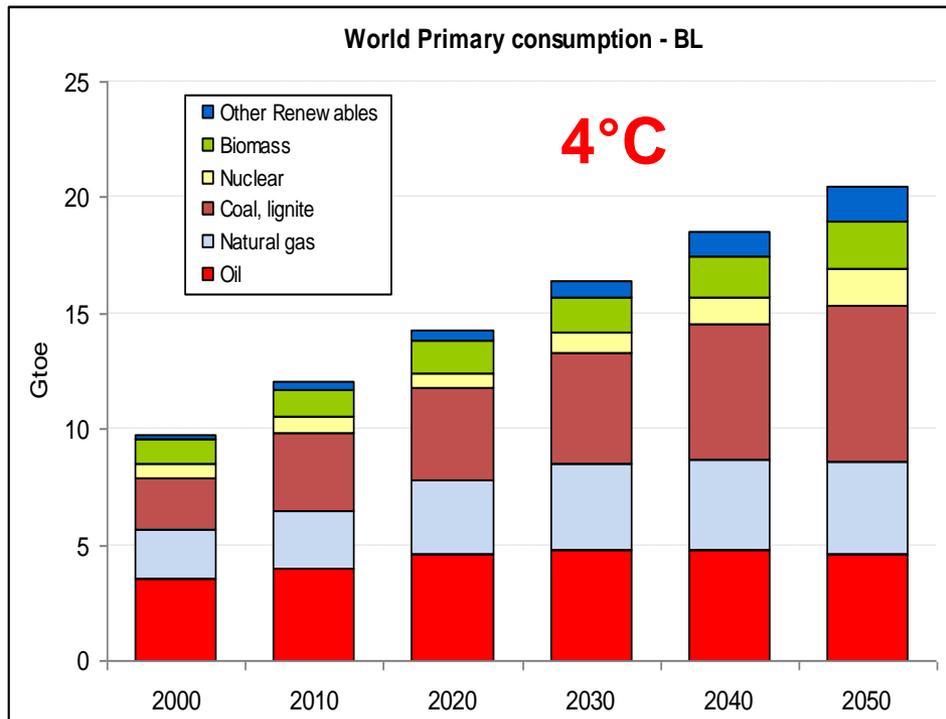
- ◆ Evaluation des NDCs de la COP21 par le GICN (Environmental Research Letter, 2018)



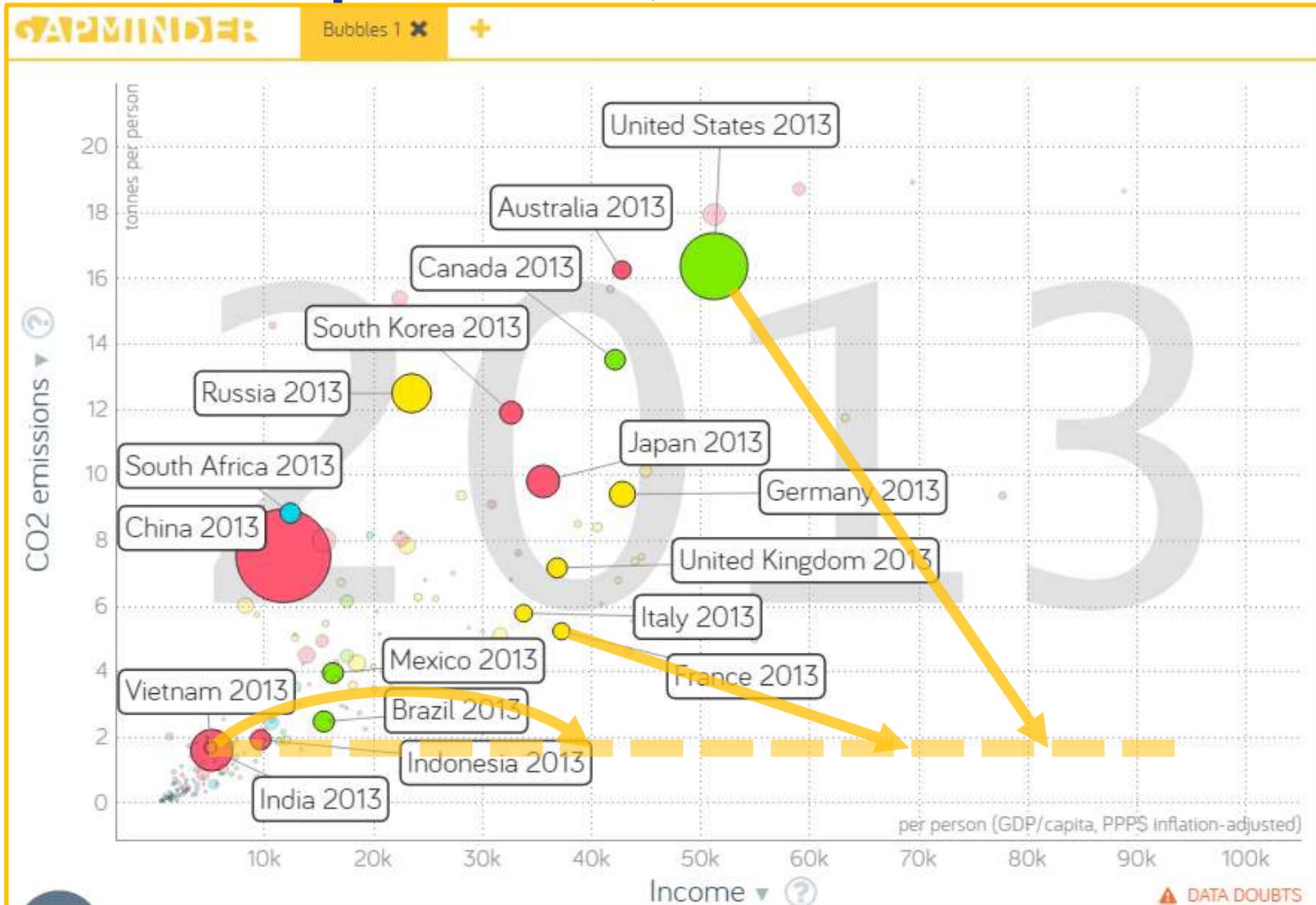
Source GICN

From Baseline to 2°C scenarios

- ◆ Baseline scenarios result in a doubling of primary energy consumption with a come-back of coal
- ◆ 2°C scenario imply lower consumption, less gas and oil, and still much less coal *(POLES model, from 2005 WETO study)*

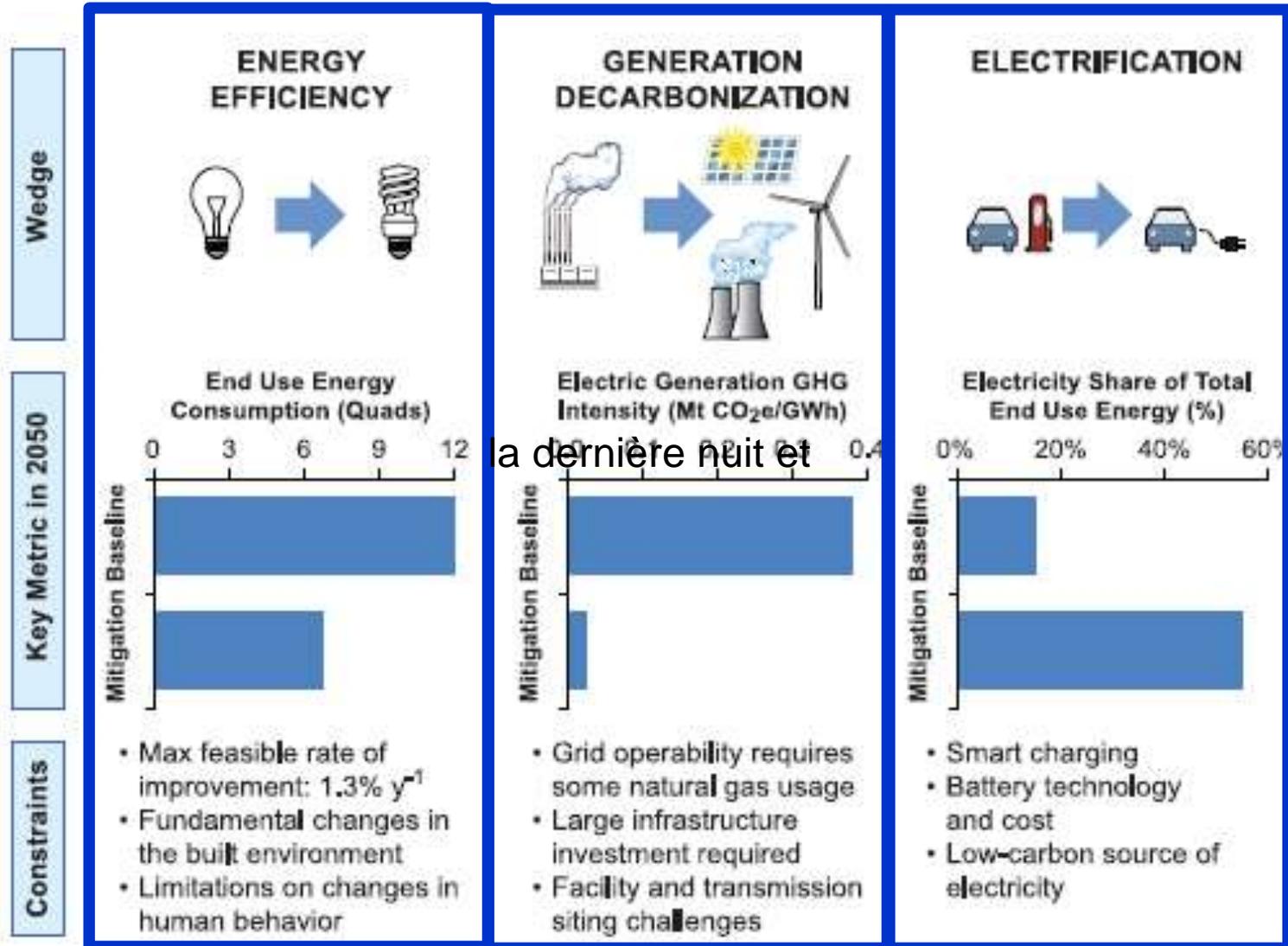


Before COP21, the DDPP study: a “focal point” of 1,7 tCO₂/hab after 2050



The three pillars of decarbonization

(Jim Williams, E3 San Francisco, Science 2012)

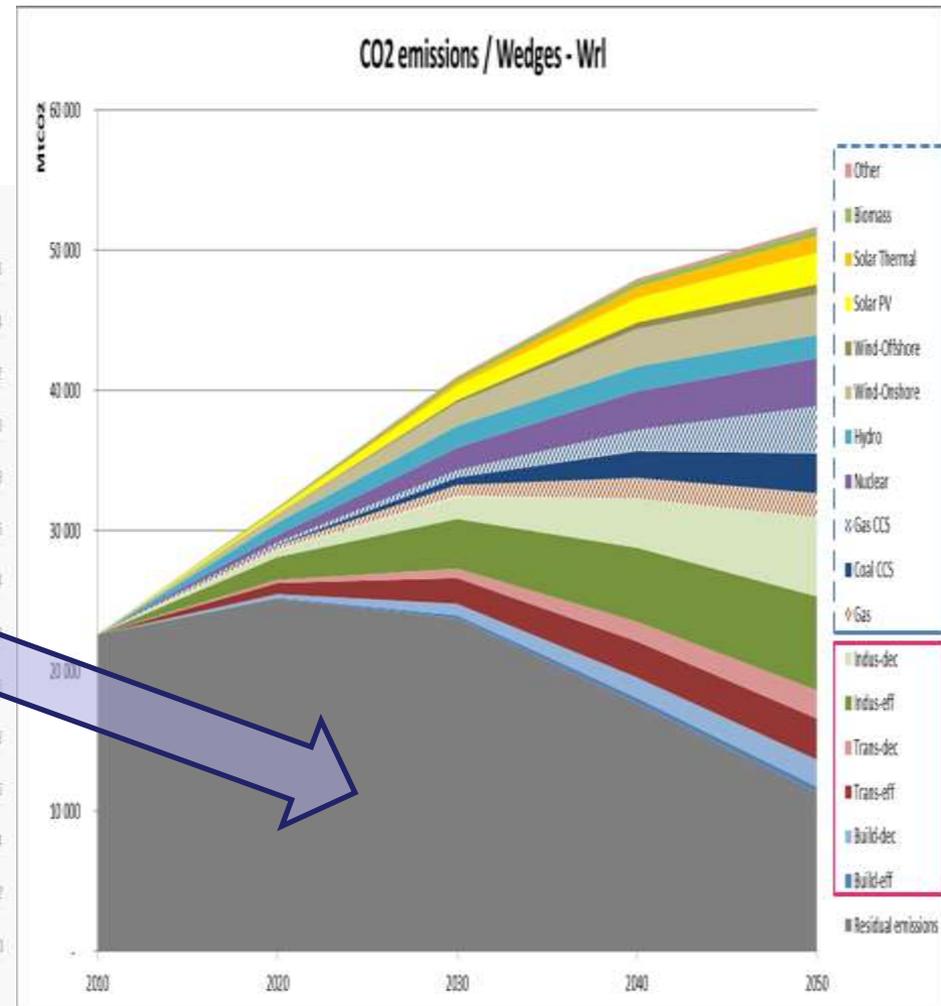
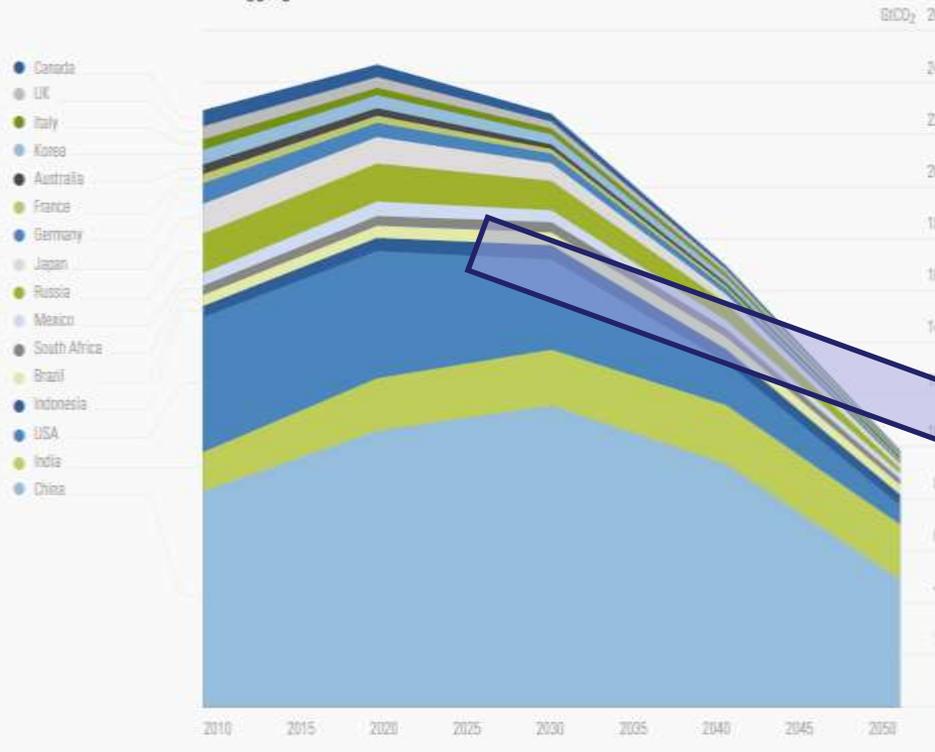


à la dernière nuit et

Les résultats du projet DDPP traduits en “leviers de décarbonation” (ANCRE 2015)

- ◆ Des profils-pays aux leviers de décarbonation

Figure 1. Emissions trajectories for energy CO₂, 2010-2050, showing most ambitious reduction scenarios for all DDPP countries. 2050 aggregate emissions are 57% below 2010 levels.



“Unburnable fossil reserves”

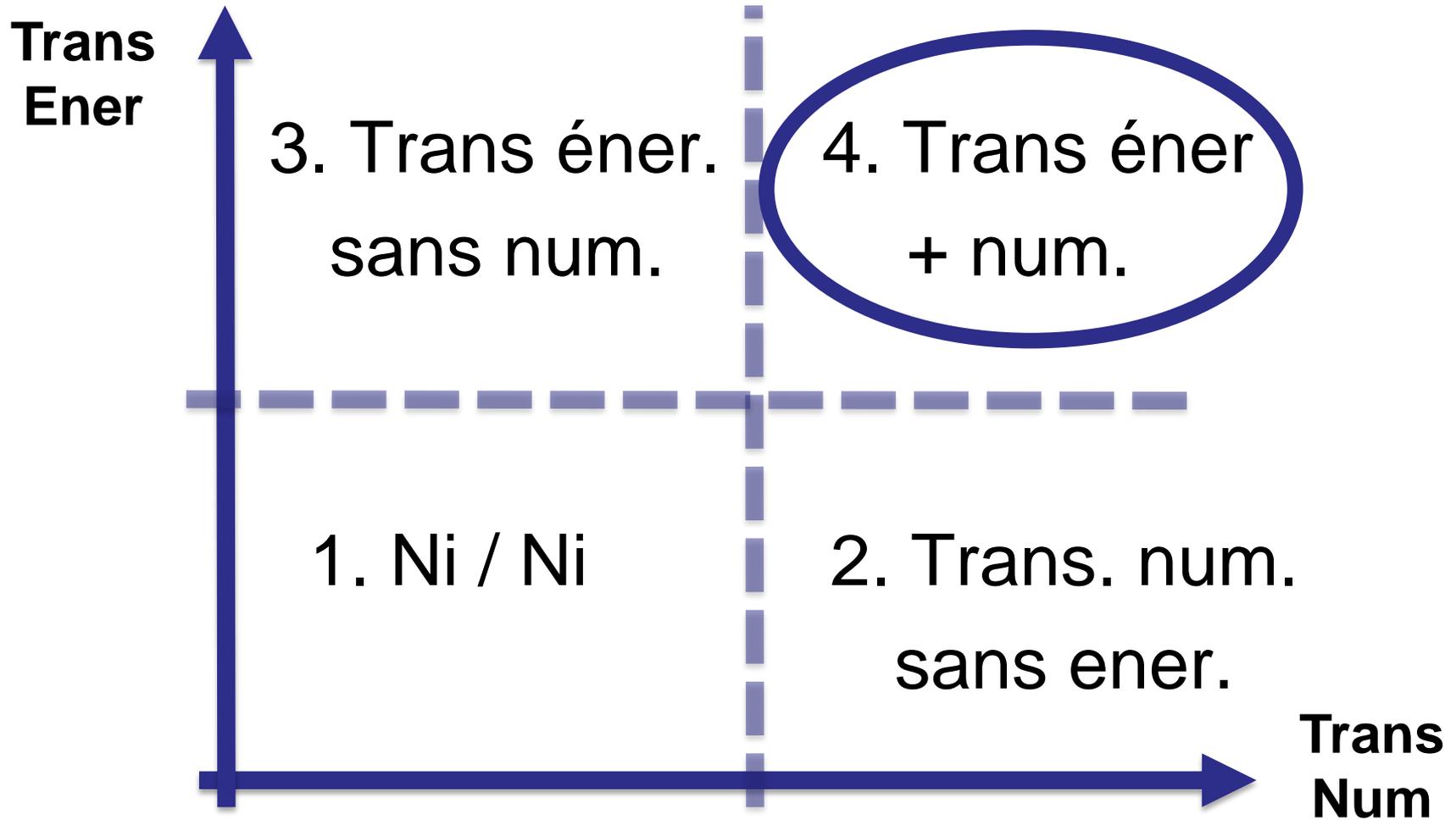
- ◆ Under 2°C scenarios, 1/3 of oil, 1/2 of gas and 80% of coal reserves would be unburned (McGlade and Ekins 2015)

Table 1 | Regional distribution of reserves unburnable before 2050 for the 2 °C scenarios with and without CCS

Country or region	2 °C with CCS						2 °C without CCS					
	Oil		Gas		Coal		Oil		Gas		Coal	
	Billions of barrels	%	Trillions of cubic metres	%	Gt	%	Billions of barrels	%	Trillions of cubic metres	%	Gt	%
Africa	23	21%	4.4	33%	28	85%	28	26%	4.4	34%	30	90%
Canada	39	74%	0.3	24%	5.0	75%	40	75%	0.3	24%	5.4	82%
China and India	9	25%	2.9	63%	180	66%	9	25%	2.5	53%	207	77%
FSU	27	18%	31	50%	203	94%	28	19%	36	59%	209	97%
CSA	58	39%	4.8	53%	8	51%	63	42%	5.0	56%	11	73%
Europe	5.0	20%	0.6	11%	65	78%	5.3	21%	0.3	6%	74	89%
Middle East	263	38%	46	61%	3.4	99%	264	38%	47	61%	3.4	99%
OECD Pacific	2.1	37%	2.2	56%	83	93%	2.7	46%	2.0	51%	85	95%
ODA	2.0	9%	2.2	24%	10	34%	2.8	12%	2.1	22%	17	60%
United States of America	2.8	6%	0.3	1%	235	92%	4.6	9%	0.5	6%	245	95%
Global	431	33%	95	49%	819	82%	449	35%	100	52%	887	88%

FSU, the former Soviet Union countries; CSA, Central and South America; ODA, Other developing Asian countries; OECD, the Organisation for Economic Co-operation and Development. A barrel of oil is 0.159 m³; %, Reserves unburnable before 2050 as a percentage of current reserves.

4 scénarios: impacts pour l'énergie et les mat. prem.



The Fourth Industrial Revolution

- ◆ The Fourth Industrial Revolution is not about information by itself
- ◆ It is about the use of ICTs to manage the material world (buildings, transport systems, industry...)
- ◆ The challenge is to maximize the positive impacts and minimize extra consumptions of energy and materials

 WORLD ECONOMIC FORUM
COMMITTED TO IMPROVING THE STATE OF THE WORLD

Navigating the next industrial revolution

Revolution	Year	Information
	1	1784 Steam, water, mechanical production equipment
The Coal Era		
	2	1870 Division of labour, electricity, mass production
The Oil and Gas Era		
	3	1969 Electronics, IT, automated production
Efficiency, Renewables, Nuclear (?)		
	4	? Cyber-physical systems

La « quatrième révolution industrielle » selon l'OCDE

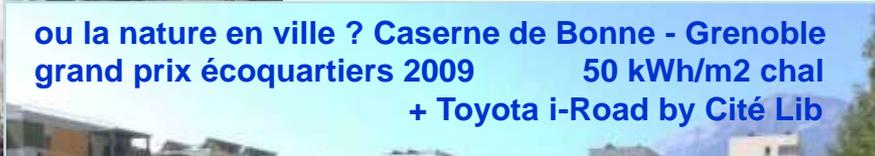
1. Biologie de synthèse
2. Neurotechnologies
3. Imprimantes 3D
4. Nanomatériaux
5. Stockage énergie
6. Internet des objets
7. Micro-nano satellites
8. Big data
9. Intelligence artificielle
10. Blockchain

FIGURE 1: Megatrends and technology trends covered in this brochure.



Transition énergétique et transformation des villes: des canyons urbains

Le cauchemar du CATO Institute



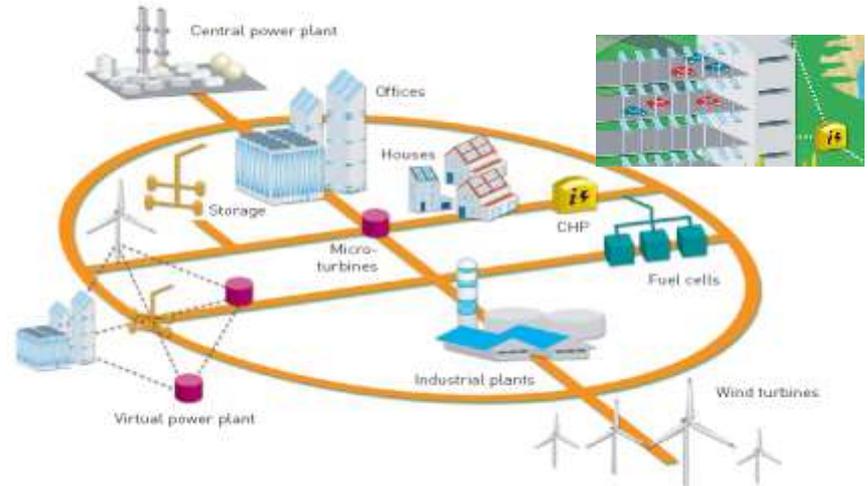
ou la nature en ville ? Caserne de Bonne - Grenoble
grand prix écoquartiers 2009 50 kWh/m2 chal
+ Toyota i-Road by Cité Lib

aux écoquartiers et à la smart city

Bâtiments, îlots à énergie positive: HIKARI à Lyon 2015
100 kWh/m2 chal+elec, 80% local (PV 180 kWh/m2)
+ SunMoov



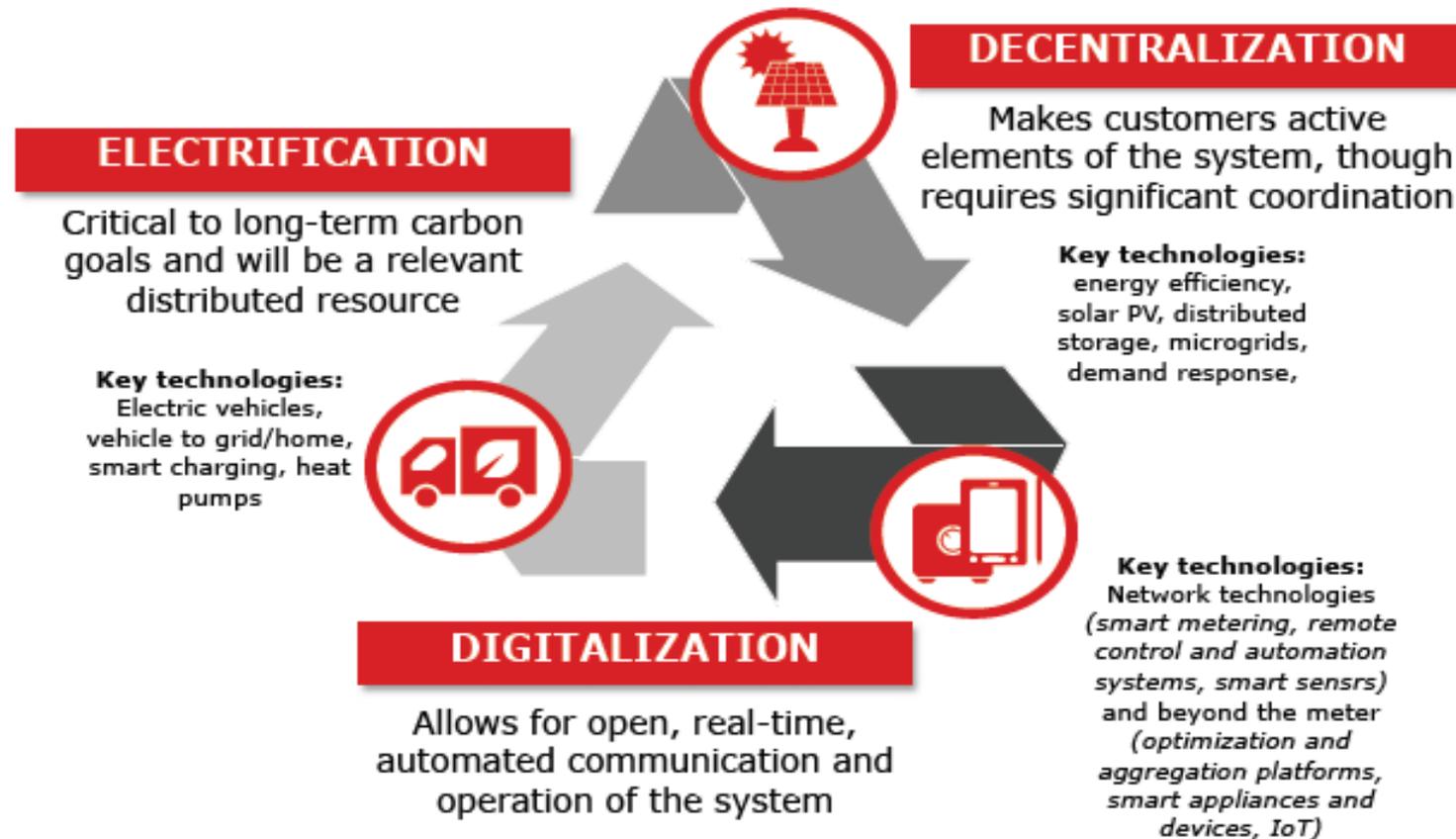
Plateforme Technologique *Smart grids*



Future: Operation of system will be shared between central and distributed generators. Control of distributed generators could be aggregated to form microgrids or 'virtual' power plants to facilitate their integration both in the physical system and in the market.

The grid edge transformation

Figure 1: Three trends of the grid edge transformation



Impacts sur les trajectoires et les actions

◆ Impacts potentiels sur les trajectoires de transition

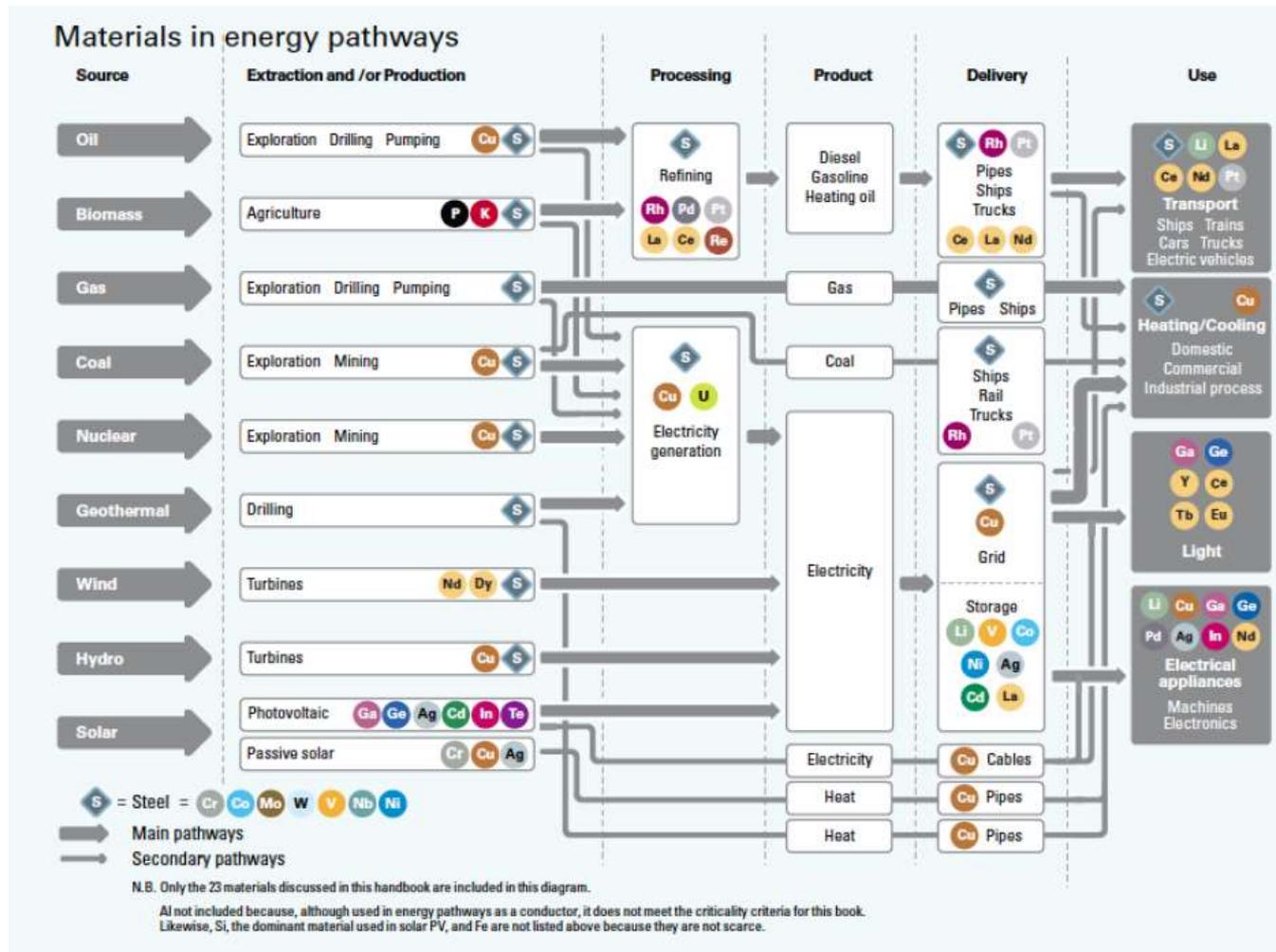
- Le digital affectera la consommation d'électricité, la gestion de la demande (flexibilité-stockage) et la gestion des réseaux à toutes les échelles
- Les impacts sur la demande ne sont pas évalués comme provenant d'un secteur TICs, mais intégrés au sein de chaque secteur de consommation d'énergie finale => problème de mesure
- Les impacts sur la gestion des réseaux seront particulièrement importants pour les systèmes à forte proportion d'énergies renouvelables variables

◆ Priorités d'action

- Promouvoir toutes les actions en vue de la réduction des consommations: i. des équipements individuels, ii. des réseaux de communication, iii. des data center
- Concevoir le développement des réseaux intelligents dans une perspective multi-échelle, de la plaque européenne aux micro-grids de quartier
- Etudier le potentiel de la blockchain pour de nouveaux dispositifs d'échange visant à la valorisation de la flexibilité de la demande et de la production décentralisée

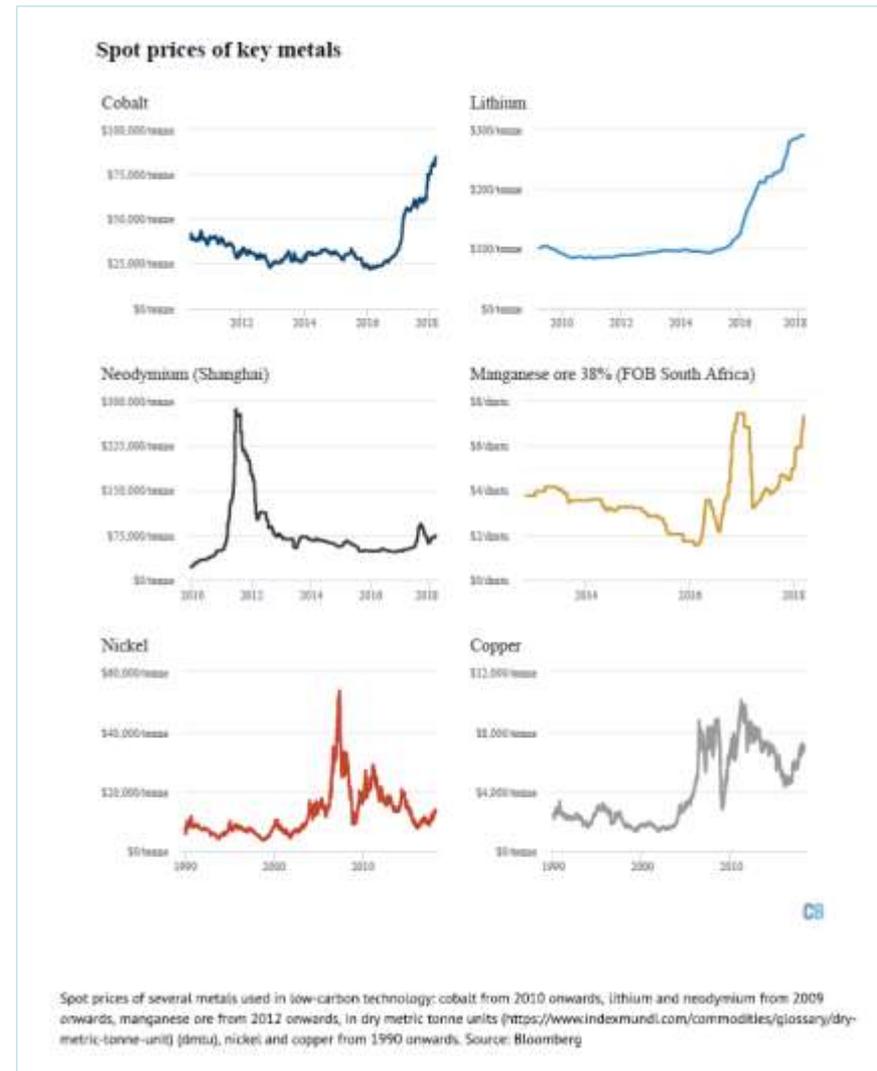
La question critique des matériaux critiques (et structurels)

Tous les matériaux sont dans l'énergie...



Six critical metals for a low carbon future

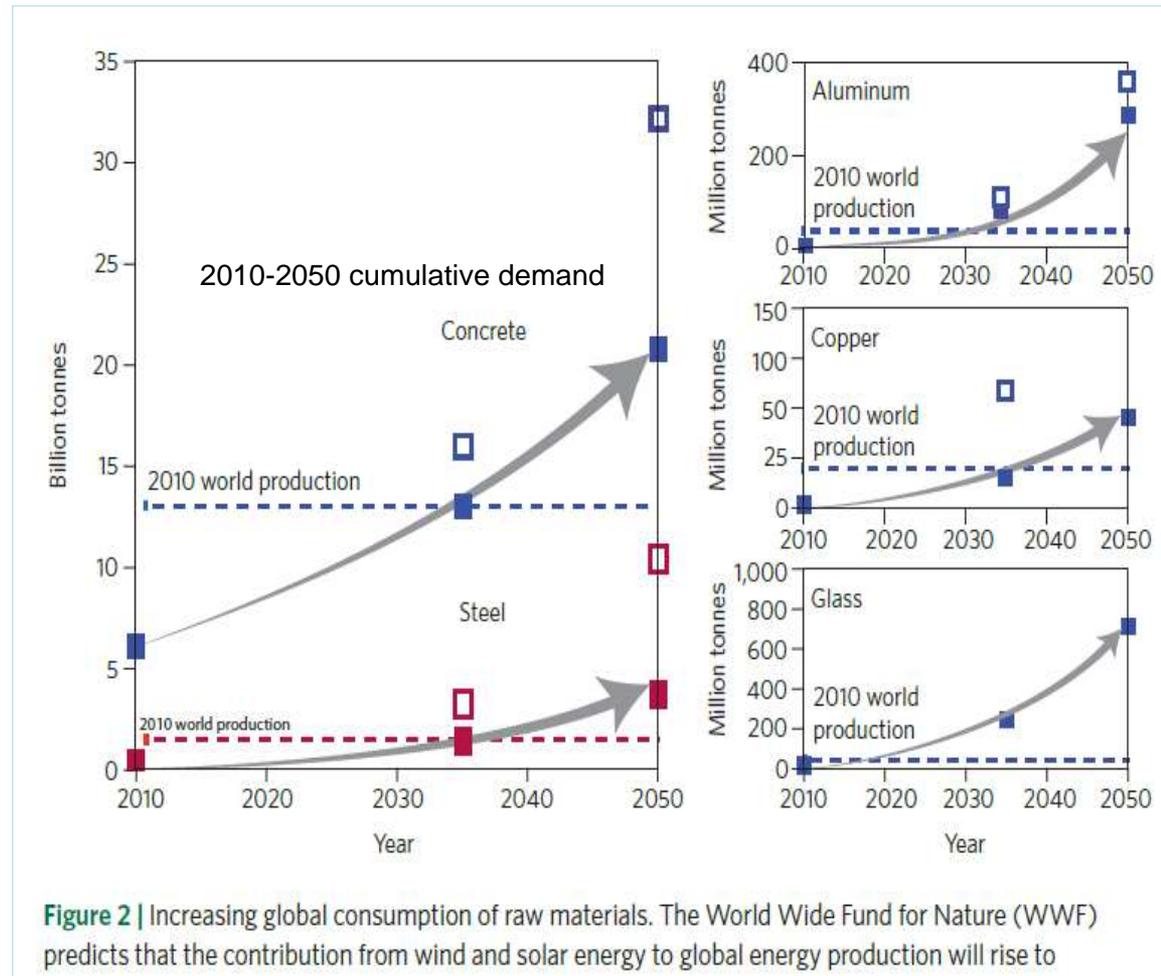
- ◆ The price of six key metals for low carbon technologies are on the rise:
 - Lithium, Cobalt, Manganese and Nickel for batteries
 - Rare Earth Elements (REE), e.g. Neodymium, for magnets in wind turbines and electric motors
 - Copper for electric motors and wiring



Source: Bloomberg 2018

Demand for 5 structural materials (Vidal & al. 2013)

- ◆ In the “100% renewable” energy scenarios, demand for “structural materials” (steel, concrete, aluminium, glass, copper) may be significantly impacted



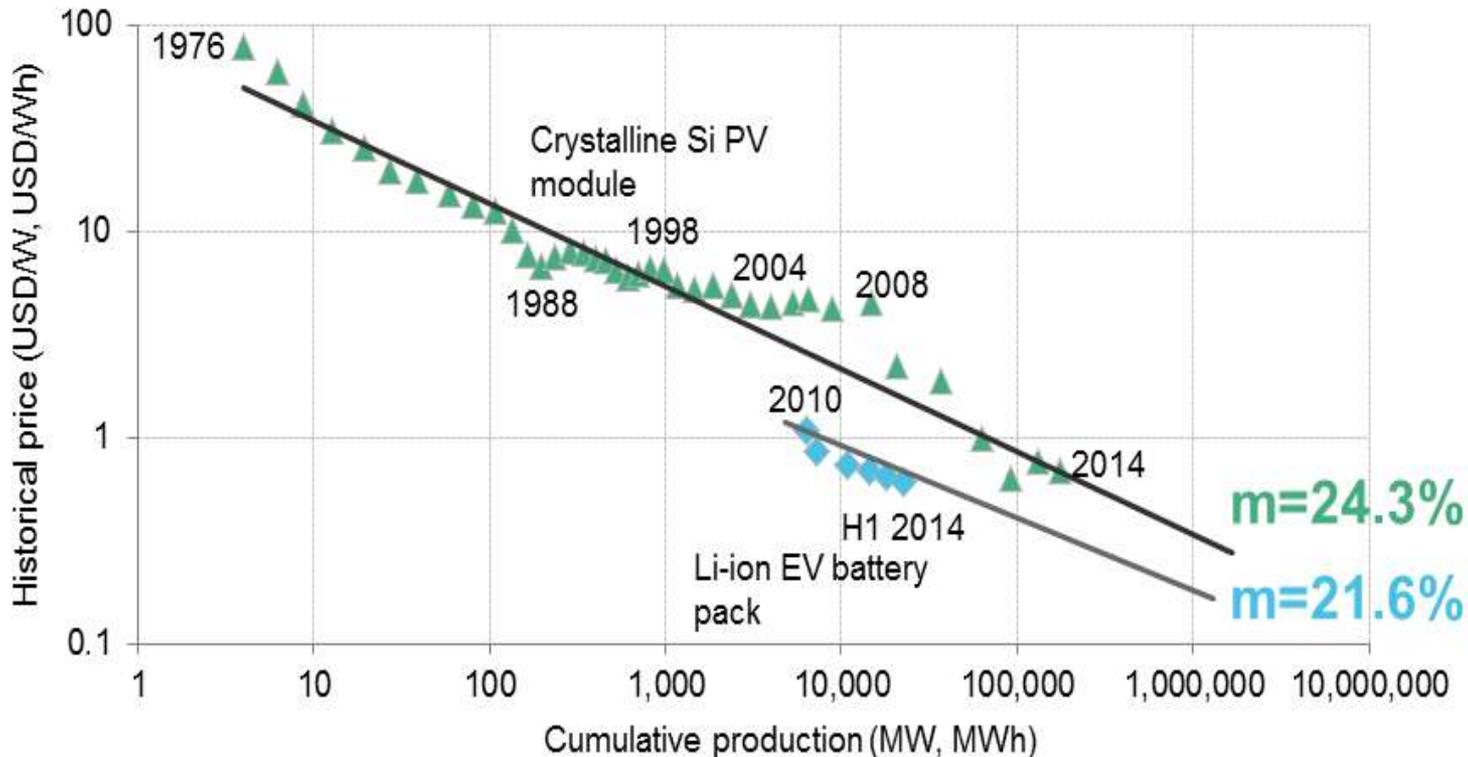
Pour une vision systémique et dynamique des problèmes...

ou le nécessaire couplage des ACV aux modèles globaux

Les technologies sont des objets dynamiques

LITHIUM-ION EV BATTERY EXPERIENCE CURVE COMPARED WITH SOLAR PV EXPERIENCE CURVE

Bloomberg
NEW ENERGY FINANCE



Note: Prices are in real (2014) USD.

Source: Bloomberg New Energy Finance, Maycock, Battery University, MIT

Michael Liebreich, New York, 14 April 2015

@MLiebreich

#BNEFSummit

1

Dynamic LCA coefficients (Arvesen et al., 2018)

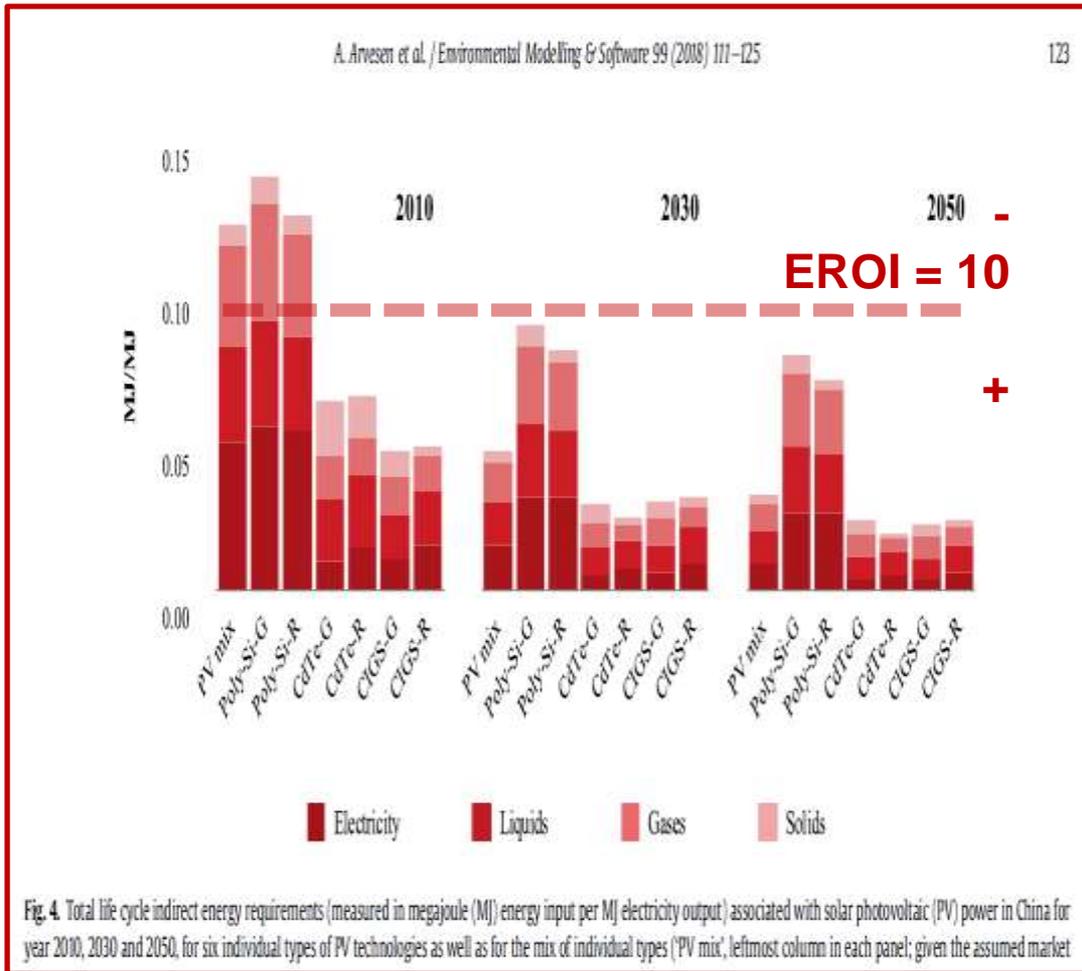


Fig. 4. Total life cycle indirect energy requirements (measured in megajoule (MJ) energy input per MJ electricity output) associated with solar photovoltaic (PV) power in China for year 2010, 2030 and 2050, for six individual types of PV technologies as well as for the mix of individual types ('PV mix', leftmost column in each panel; given the assumed market

◆ Electric vehicles provide the clearest example of the necessity to adopt a dynamic and systemic LCA approach:

- at 800 gCO₂/kWh
120 gCO₂/km
- at 80 gCO₂/kWh
12 gCO₂/km

“Neutralité carbone” et “économie circulaire”

- ◆ Depuis l’Accord de Paris, la “neutralité carbone” (ou Zéro Emissions Nettes) est devenu le nouvel “objet frontière” des politiques énergie-climat
- ◆ Dans le bâtiment et les transports les scénarios ZEN supposent des changements de technologies ET de comportements; dans l’industrie la mise en oeuvre d’une “économie circulaire”
- ◆ Reduce-Reuse-Recycle sont les concepts-clé; appuyés en amont par l’économie de la fonctionnalité (Product-Service-Systems), en aval par des systems de gestion de l’énergie performant... faisant probablement appel au numérique

Propos d'étape

- ◆ La transition énergétique n'est pas au choix, mais elle sera difficile car nécessitant un mix d'innovations technologiques, sociétales et comportementales (sobriété)
- ◆ Elle peut, peut-être, se réaliser sans le numérique, mais risque dans ce cas de plus mobiliser les solutions "dures" (nucléaire, géo-ingénierie...)
- ◆ De son côté, la révolution numérique doit tenir ses promesses: combien de mirages, combine de miracles ?
- ◆ Une seule chose est certaine: mieux vaut se battre pour les transitions en respectant des lignes d'action mobilisant la sobriété et l'économie de moyens en énergie et matériaux

Merci de votre attention...

P. Criqui sur

THE CONVERSATION - France

The image shows three sequential screenshots of a web browser displaying the website 'Patrick Criqui - The Conversation'. The browser interface includes a search bar, navigation buttons, and a list of articles. The articles are as follows:

- Article 1 (Left):** "Du Vietnam à la Corée : comment sortir du nucléaire... et en même temps du charbon". Date: juillet 17, 2017. Author: Patrick Criqui, Université Grenoble Alpes. Summary: L'arrêt de plusieurs programmes nucléaires en Asie du Sud-Est repose la question de la transition énergétique et notamment de la place du charbon dans la production d'électricité.
- Article 2 (Middle):** "Centrale thermique de Marie-Galante : les dilemmes de la transition énergétique". Date: mai 3, 2017. Author: Patrick Criqui, Université Grenoble Alpes. Summary: La polémique autour de deux projets concurrents pour la construction d'une centrale thermique agite Marie-Galante. Jusqu'où pousser la transition énergétique en négligeant les aspects économiques ?
- Article 3 (Right):** "Quatre scénarios pour comprendre les programmes des candidats en matière d'énergie". Date: mars 16, 2017. Author: Patrick Criqui, Université Grenoble Alpes et Michel Colombari, Idem. Summary: Maîtrise des consommations, nucléaire et renouvelables : décryptage des propositions énergétiques des principaux candidats à la présidentielle.
- Article 4 (Left):** "Les sept enjeux de la COP22". Date: novembre 9, 2016. Author: Benoît Leguet, Institut Louis Bachelier et Patrick Criqui, Université Grenoble Alpes. Summary: La COP22 de Marrakech parviendra-t-elle à concrétiser les changements prévus dans l'Accord de Paris ? Réponse en sept défis.
- Article 5 (Middle):** "Une Allemagne sans charbon en 2040, c'est mal parti pour l'instant". Date: octobre 6, 2016. Author: Patrick Criqui, Université Grenoble Alpes. Summary: Si la transition énergétique allemande est souvent donnée en exemple pour la fin du nucléaire et l'essor des renouvelables, la fin du charbon est, elle, beaucoup plus problématique.
- Article 6 (Right):** "En Californie, une révolution énergétique pour les riches". Date: septembre 1, 2016. Author: Patrick Criqui, Université Grenoble Alpes. Summary: Avec le récent rachat de Solarcity par Tesla, la Californie devient le laboratoire du déploiement des énergies renouvelables, solaire en tête.
- Article 7 (Left):** "Électrifier sans (trop) polluer, le défi énergétique indien". Date: juin 26, 2016. Author: Patrick Criqui, Université Grenoble Alpes. Summary: Un quart de la population indienne n'a aujourd'hui pas accès à l'électricité. Pour approvisionner cet immense pays en respectant les engagements pris à la COP21, Delhi mise sur l'énergie solaire.
- Article 8 (Middle):** "Compteur électrique Linky : comprendre la polémique". Date: mai 23, 2016. Author: Patrick Criqui, Université Grenoble Alpes et Stéphane La Branche, Sciences Po Grenoble. Summary: La contestation se fait de plus en plus vive autour de l'installation des nouveaux compteurs électriques dits « Intelligents » d'ERDF. Analyse économique et sociologique du cas Linky.
- Article 9 (Right):** "Comment la Chine se prépare à l'après-charbon". Date: mai 16, 2016. Author: Patrick Criqui, Université Grenoble Alpes. Summary: Les émissions de CO₂ en Chine devraient connaître leur pic autour de 2030... après cela, c'est un tout nouveau monde qui se dessine.
- Article 10 (Left):** "La bonne équation pour réduire massivement les émissions de CO₂". Date: avril 5, 2016. Author: Patrick Criqui, Université Grenoble Alpes. Summary: En 2014 et 2015, les émissions de CO₂ énergétique se sont stabilisées. Mais pour tenir les engagements de la COP21, il est nécessaire de passer à la vitesse supérieure.
- Article 11 (Middle):** "Le gaz (de schiste) américain, nouveau prix directeur des énergies ?". Date: février 8, 2016. Author: Patrick Criqui, Université Grenoble Alpes. Summary: Comment le développement, depuis 2009, des hydrocarbures non conventionnels aux États-Unis a entraîné la baisse des prix du pétrole, ancien « maître-mot » des prix de l'énergie.
- Article 12 (Right):** "Prix du pétrole : comment décrypter les chocs et les contre-chocs". Date: janvier 26, 2016. Author: Patrick Criqui, Université Grenoble Alpes. Summary: Les fluctuations des prix du pétrole peuvent s'expliquer par les fondamentaux du marché et certaines caractéristiques de l'économie des ressources naturelles.
- Article 13 (Left):** "Non, la COP ne fut pas « un sommet pour rien »". Date: décembre 21, 2015. Author: Patrick Criqui, Université Grenoble Alpes et Michel Damien, Université Grenoble Alpes. Summary: Contrairement à ce qu'avance Jean Tirole, l'instauration d'un marché mondial des permis carbone ne suffira pas à réduire rapidement les émissions de gaz à effet de serre qui perturbent le climat.