



Économie des ressources naturelles

Avril 2016

Laboratoire d'Économie Forestière (LEF),
INRA – AgroParisTech

Antoine Leblois

Antoine.leblois@inra.fr



Plan du cours

1/ Économie **de l'environnement**:

Introduction: historique

GIEC & changement climatique

concepts de biens communs et d'externalités

2/ **Ressources naturelles**:

Concepts (définition, droits de propriété)

Renouvelables et non renouvelables

Application à des cas concrets



Qu'est-ce que l'économie de l'environnement ?

Economie : (*oikos* - *nomos*) allocation efficiente des ressources
⇒ équilibre (Walras) & optimum (Pareto)

- **Impact** de l'économie sur l'environnement.
- **Relations** économiques entre société et environnement.
- Réglementer l'activité économique afin de trouver un équilibre entre environnement, économie et social.

L'économie transforme la nature : puise des matériaux qu'elle utilise directement ou transformés, et elle y rejette les déchets que son activité crée.

Économie de l'environnement: décrit les modalités selon lesquelles peuvent être gérés les rejets, pollutions ou nuisances qu'entraînent les activités économiques.
⇒ impact des activités humaines.



Ouvrages de référence :

Bontems P. et Rotillon G. (2003). Economie de l'environnement. Collection Repères, La Découverte, Paris, 125p.

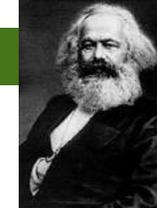
Rotillon G. (2010). Economie des ressources naturelles. Collection Repères, La Découverte, Paris, 125p.

Tietenberg T. et Lewis L. (2013). Economie de l'environnement et développement durable. 6ème édition. Pearson France, Montreuil. 390p.



L'approche économique de l'environnement

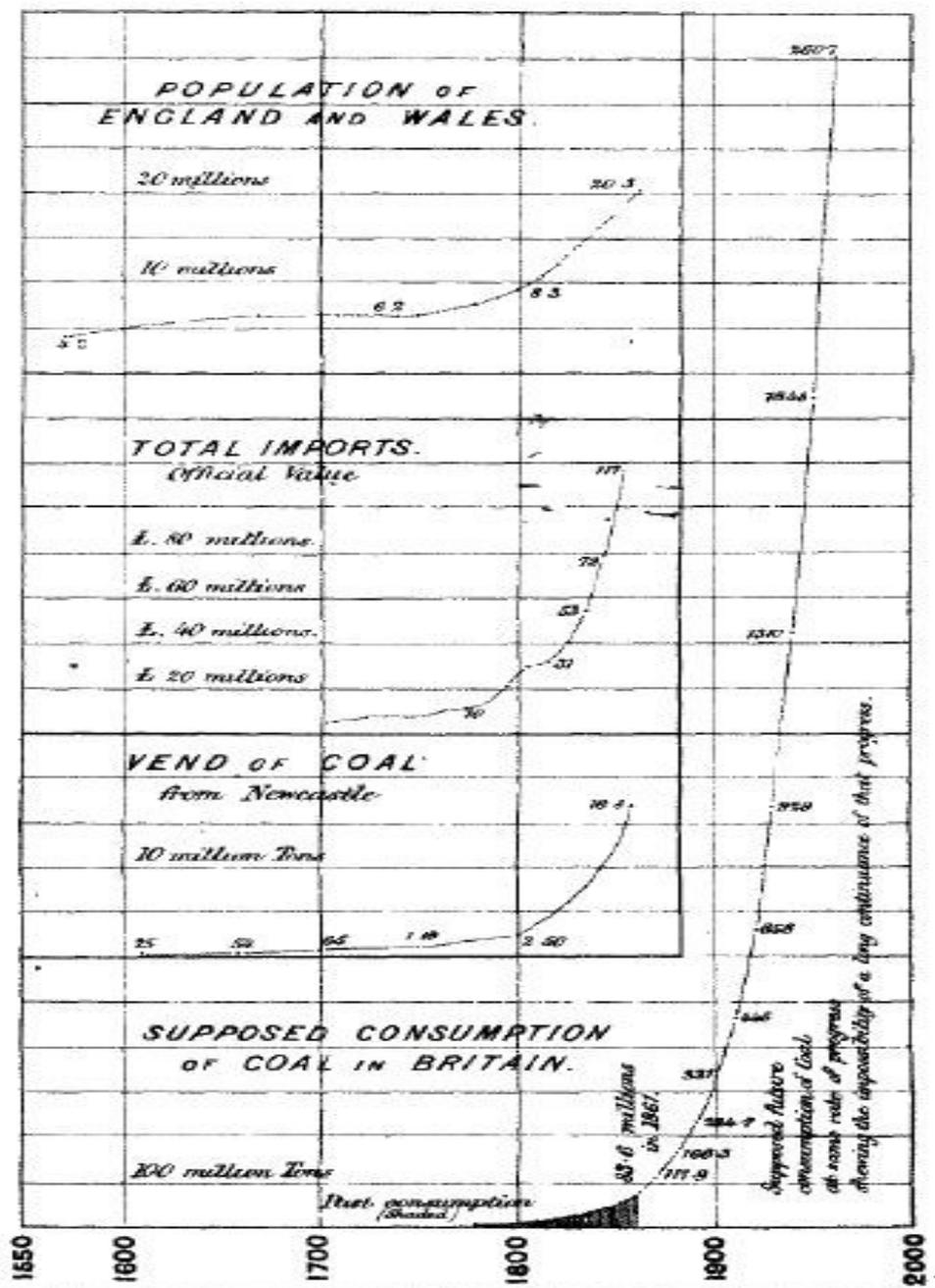
L'environnement dans la pensée économique



L'économie préoccupée **état stationnaire** (classiques) puis **croissance** fondée sur l'utilisation des ressources naturelles ⇒ Rareté grandissante d'un facteur de production essentiel.

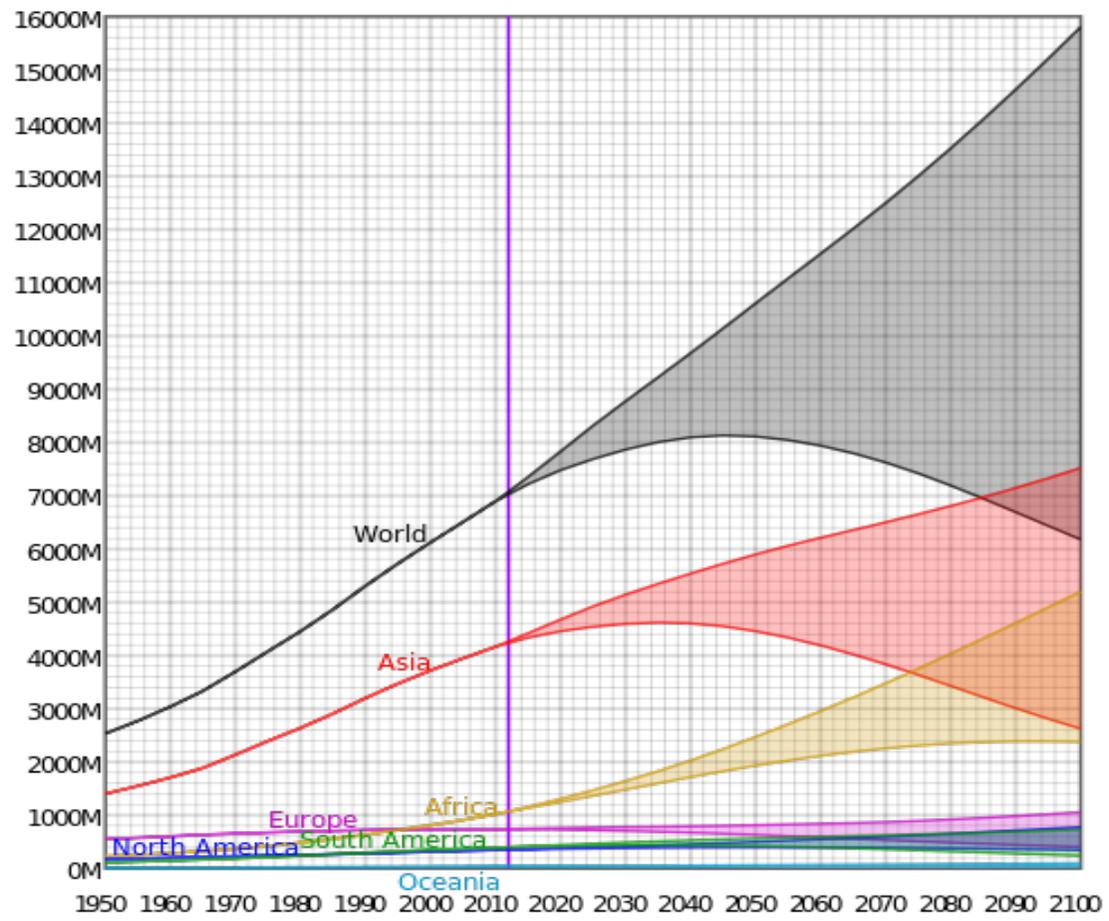
R. Malthus (1798) et D. Ricardo (1817): la terre / S. Jevons (1865): le charbon.

Le diagnostic s'appuie toujours sur une projection des évolutions passées dans le futur qui conduit à pronostiquer la rupture.





Hausse de la population



Retour point de vue Malthusien?... (R. Malthus, classique, 18e S.)
Source: ONU



ATION

WORLD POPULATION : 170,060,000

YEAR

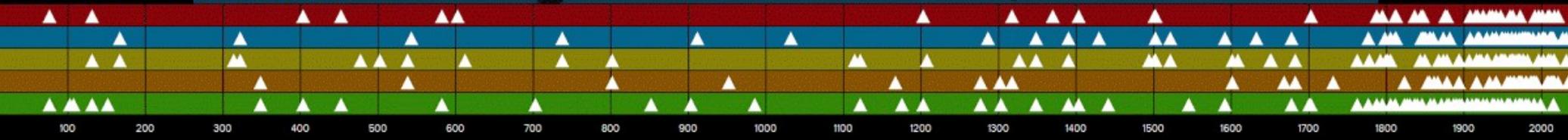
OVERLAYS

MAP FEATURES

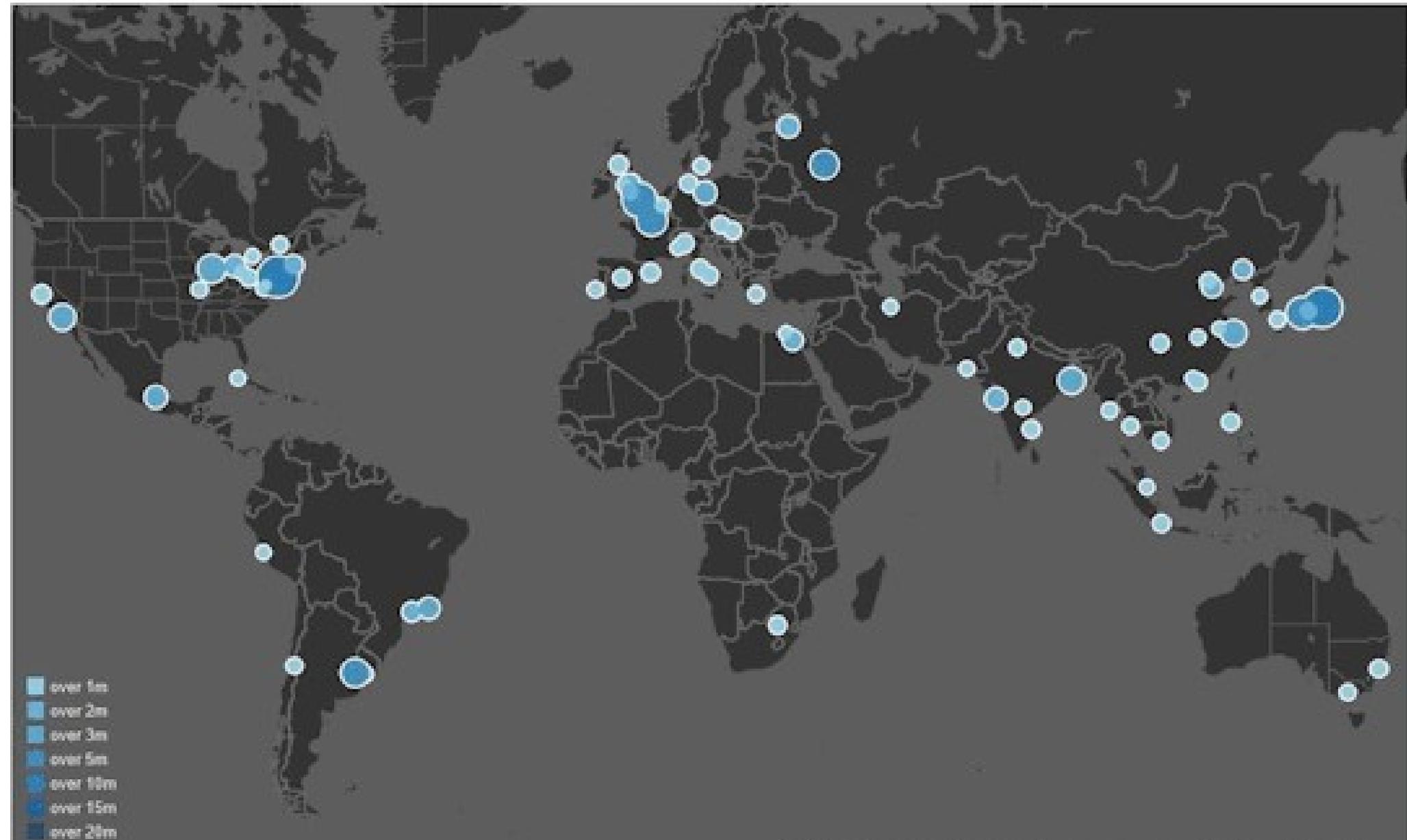
MENU

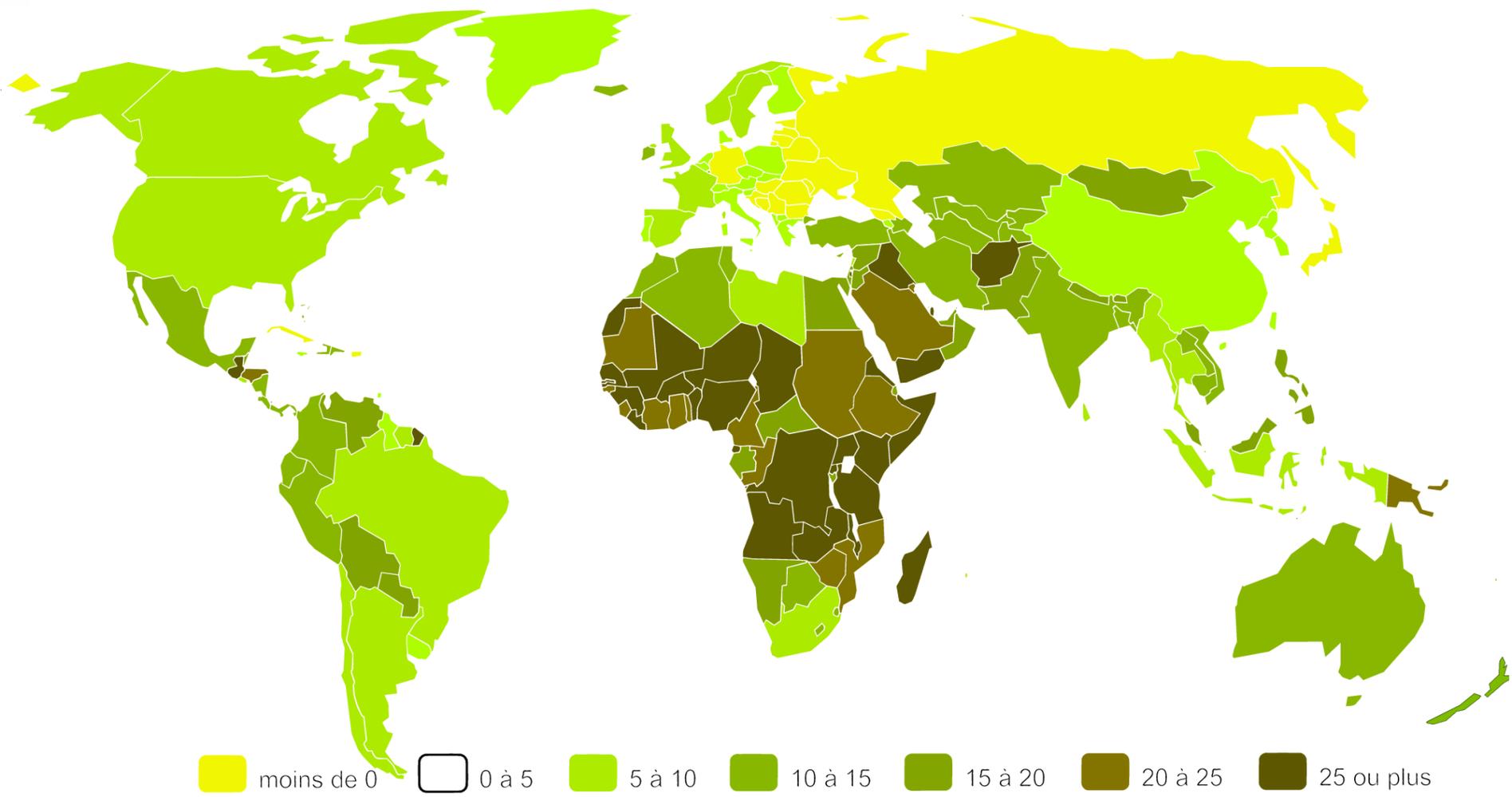


0,000 PEOPLE ○ 1,000,000 PEOPLE (ANNOTATED) ▲ MILESTONE

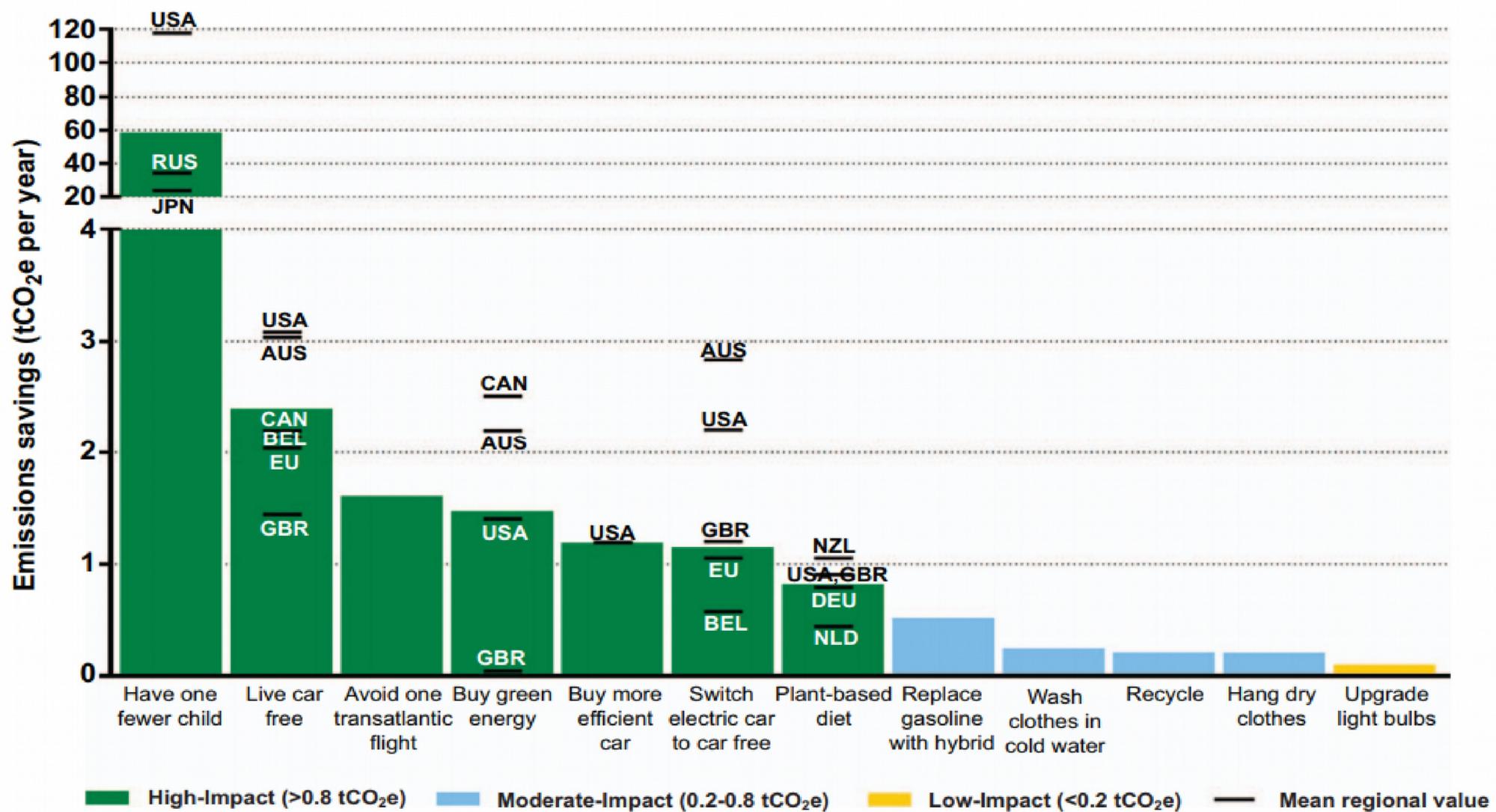


Cities with over one million residents in 1950





Taux net de croissance population par pays,
Source: Ined, 2012



Wynes & Nicholas, *REL*, 2017, plutôt bon sens et pas économistes



Réduire son empreinte carbone

Réductions des émissions (en tonnes équivalent CO² par an)

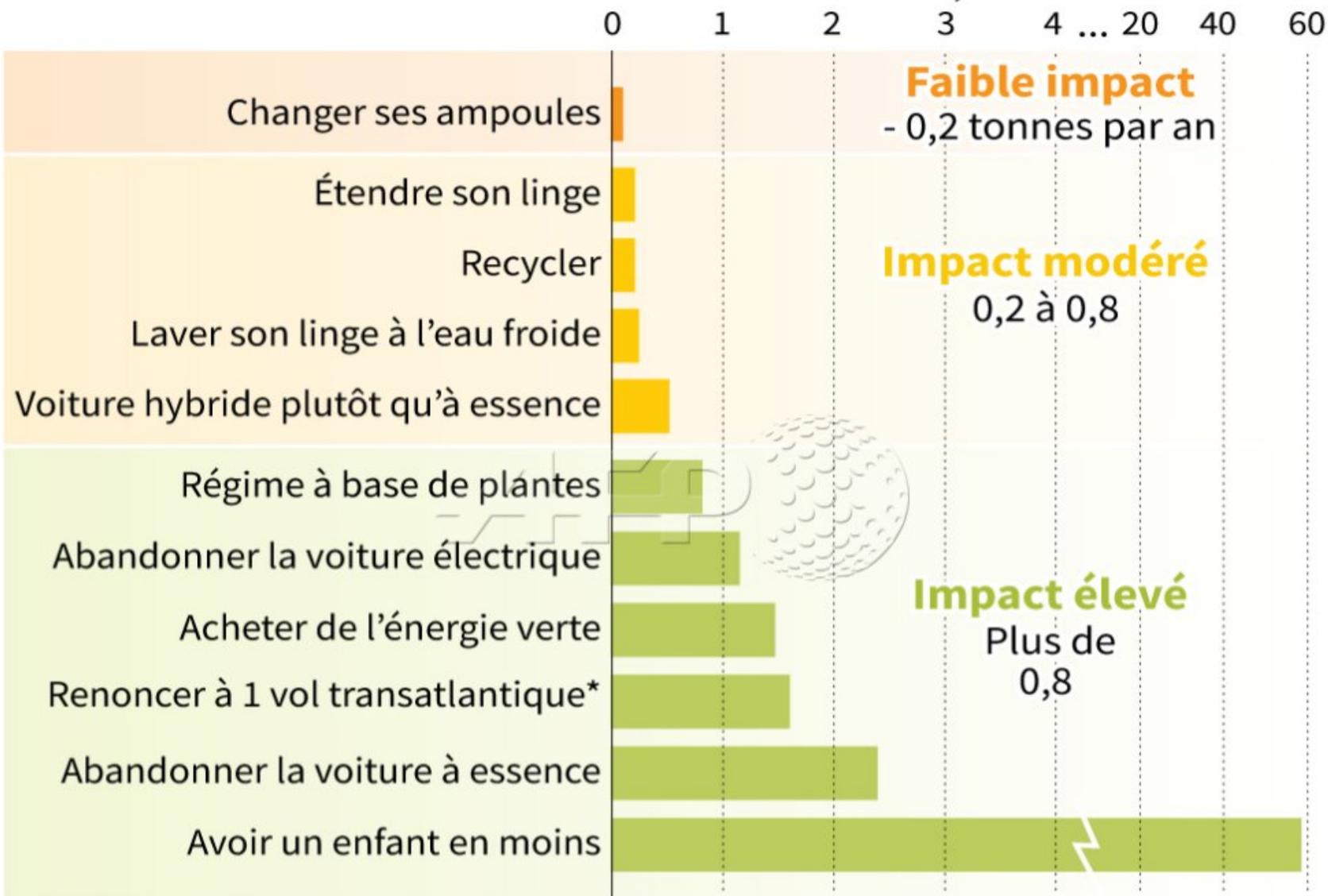
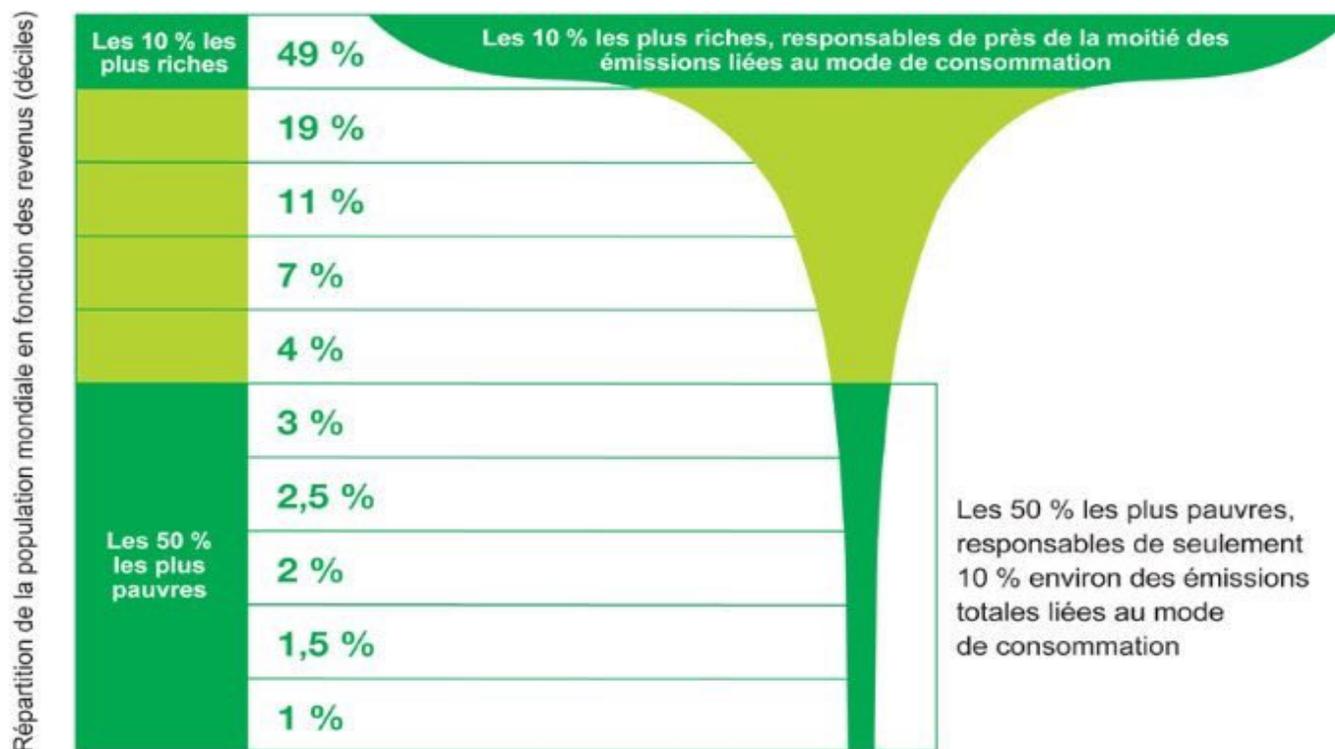




Figure 1 : Déciles de revenus au niveau mondial et émissions dues au mode de consommation correspondantes

Pourcentage des émissions de CO₂ dans la population mondiale



Source : Oxfam



L'approche économique de l'environnement

L'environnement dans la pensée économique



Économistes préoccupés **état stationnaire** (classiques) puis **croissance** fondée sur l'utilisation des ressources naturelles ⇒ fin d'un cycle ? Rareté grandissante d'un facteur de production essentiel.

R. Malthus (1798) et D. Ricardo (1817): la terre / S. Jevons (1865): le charbon.

Le diagnostic s'appuie toujours sur une projection des évolutions passées dans le futur qui conduit à pronostiquer la rupture.

Révolution industrielle: processus historique du XIX^e siècle qui fait basculer une société à dominante agraire et artisanale vers une société industrielle et commerciale ⇒ réallocation sectorielle: affecte profondément agriculture, économie, politique, société et environnement.

K. Marx: « *la liberté se fonde sur la nécessité d'une gestion rationnelle des limites de la nature, du renouvellement des ressources naturelles* ». Mais aussi échos chez **J. M Keynes** « *perspectives éco pour nos petits enfants* », 1930, ...

⇒ Apparition et développement assez récents de l'économie de l'environnement:

Janvier 1991, OCDE demande à ses membres de faire un usage plus important et cohérent des instruments économiques pour une meilleure gestion de l'environnement.

Idée: il revient à l'homme de maîtriser ses activités afin de ne pas mettre en danger sa propre survie.

Objectif: réintégrer l'environnement dans le cadre de l'économie.



1. Naissance de la discipline



1.1. Prise de conscience générale à l'égard de l'environnement, des ressources naturelles

1.1.1 L'apprentissage par l'échec et la catastrophe

Chocs pétroliers (1973 et 1979): hausse massive & rapide du prix du pétrole ⇒ crise pour les pays qui sont dépendants de l'importation ⇒ prise de conscience : pétrole ressource rare & épuisable.

Sinistres et catastrophes écologiques ponctuels: Torrey Canyon (1967), Seveso (1976), Amoco Cadiz (1978), Bhopal (1984), Tchernobyl (1986), Exxon Valdez (1989), Erika (1999), AZF (2001), Fukushima (2011)...

Catastrophes écologiques d'origines diffuses: réchauffement climatique, pollution eau, sol et air, déforestation, perte de biodiversité, trou dans la couche d'ozone...

Crises sanitaires: crise de la vache folle (1999),
fièvre aphteuse (2001),
grippe aviaire (2004)...





1.1.2 Coordination internationale

Conférence de Stockholm (1972): 1ère conférence internationale sur l'environnement => aboutie à PNU pour l'environnement.

Rapport Meadows (1972): « Halte à la croissance » => dangers écologiques de la croissance économique et démographique que connaît le monde => envisage la croissance zéro => initié par le Club de Rome.

Rapport Brundtland (1987): Rapport de la « Commission mondiale sur l'environnement et le développement, Notre avenir à tous », présidente de la Commission: Mme Brundtland.
Définition actuelle du DD: « *Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs* ».

Le sommet de Rio (1992) ou « sommet de la terre »: les chefs d'Etat adopte la CCNUCC.
=> Principe de précaution, principe de responsabilité commune mais différenciée, principe du droit au développement économique.

Le protocole de Kyoto (1997): les pays s'engagent à limiter et réduire les GES qui provoquent le réchauffement de la planète et le changement climatique.





Sommet de Johannesburg (2002) ou « sommet mondial sur le DD »: adoption d'une série de mesures pour réduire la pauvreté et protéger l'environnement.

Rapport Stern (2006) : rapport réalisé pour le compte du gouvernement britannique => compare les coûts des dommages provoqués par le réchauffement climatique et les sacrifices nécessaires pour limiter les émissions de GES et la hausse des températures.

4ème Rapport du GIEC (2007) sur le réchauffement climatique: causes, conséquences, et actions à mener.



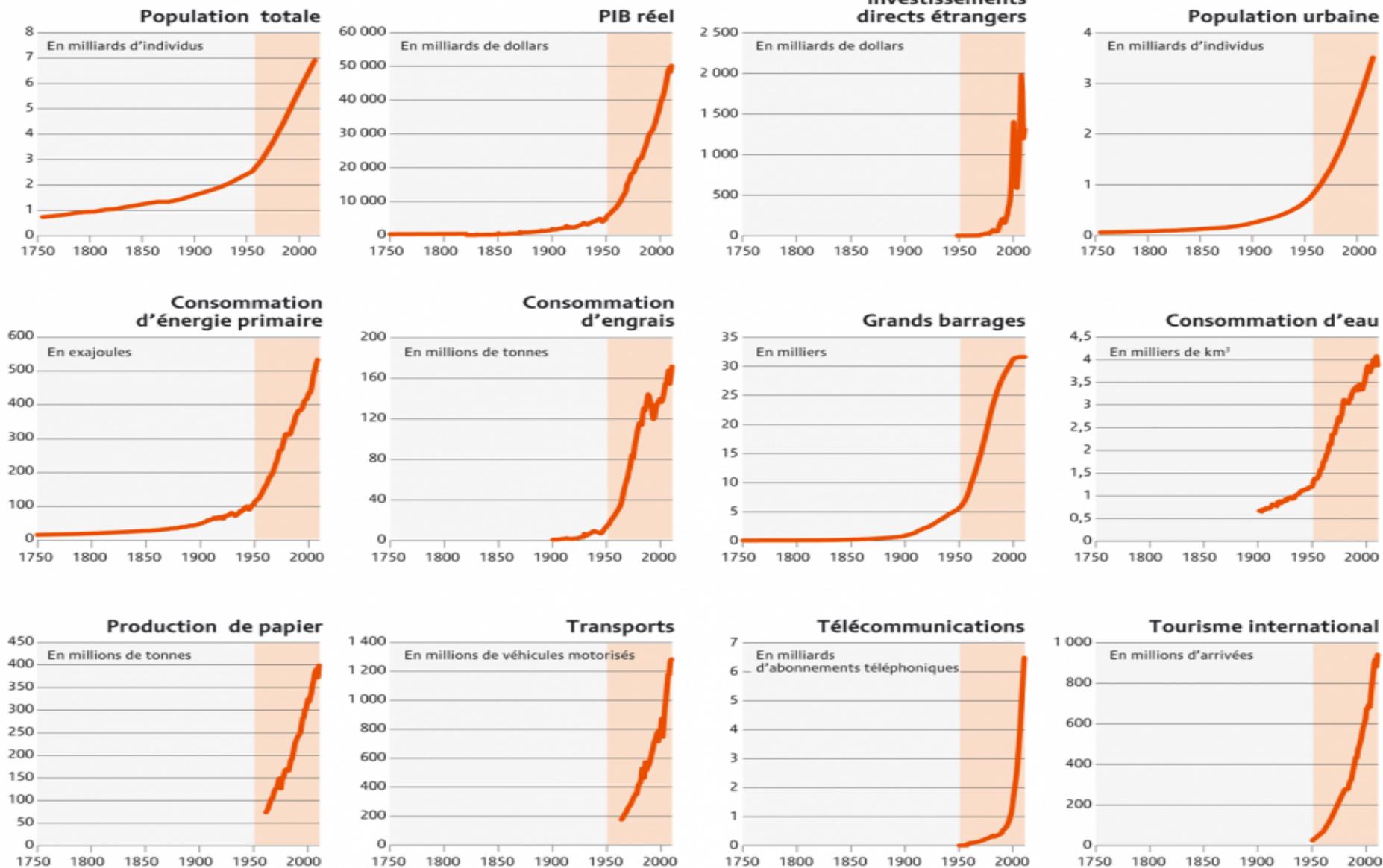
Conférence de Copenhague sur le climat (2009): abouti au « premier accord réellement mondial » visant à ne pas dépasser une augmentation moyenne de 2°C en 2100 par rapport à l'ère préindustrielle soit 1850.

Conférence de Doha sur le climat (2012): acte II de Kyoto, aide des pays industrialisés vers pays du sud, limiter CC à 2 °C en 2100.

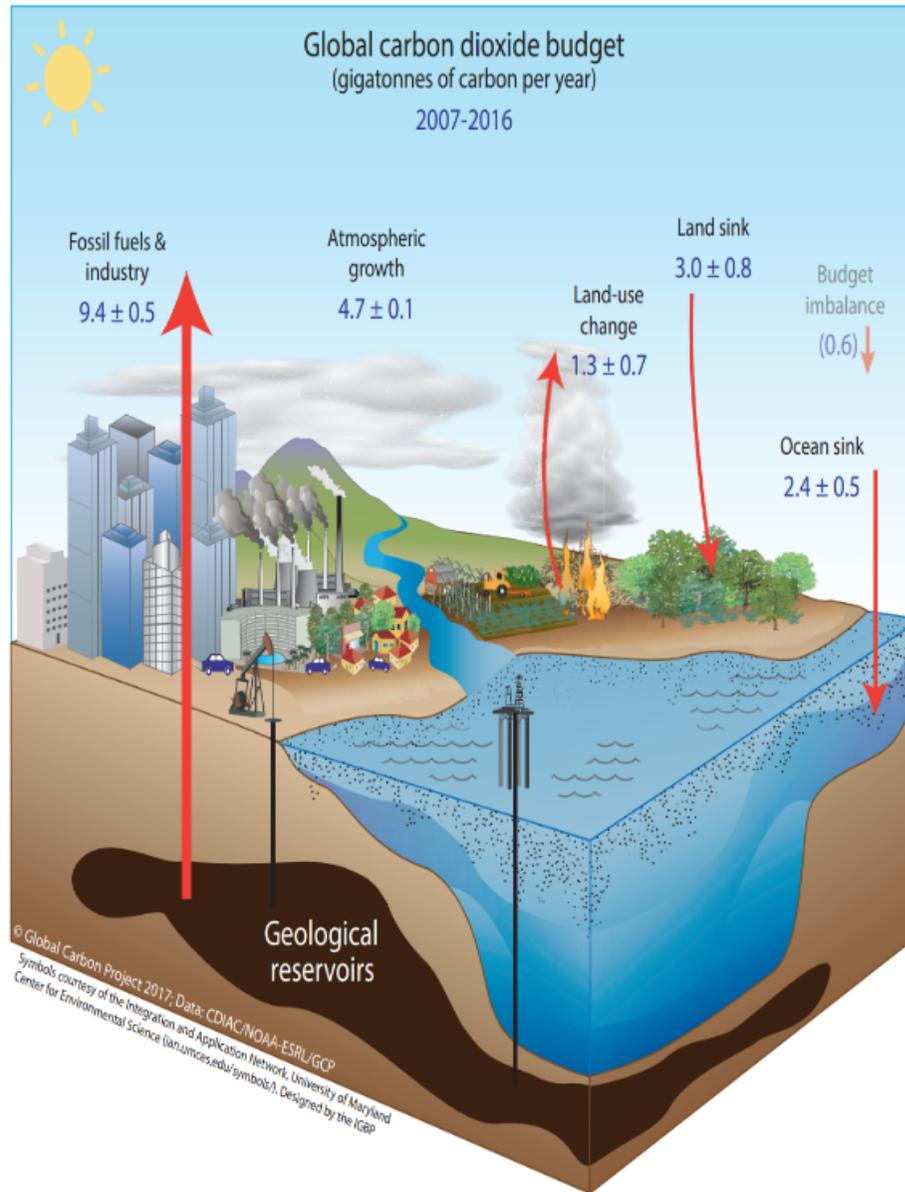
CCL: A partir des 70's => mutation profonde de la vision de l'environnement jusqu'alors considéré comme un réservoir illimité pour les intrants et les extrants. Au contraire, l'environnement montre des limites tant en approvisionnement (surexploitation des ressources) qu'en débouché (pollution).

5ème (2014) et 1.5 vs. 2°C (2018) rapports GIEC: probabilité 95% (extrême) cause anthropique, risques majeurs avant 2°C

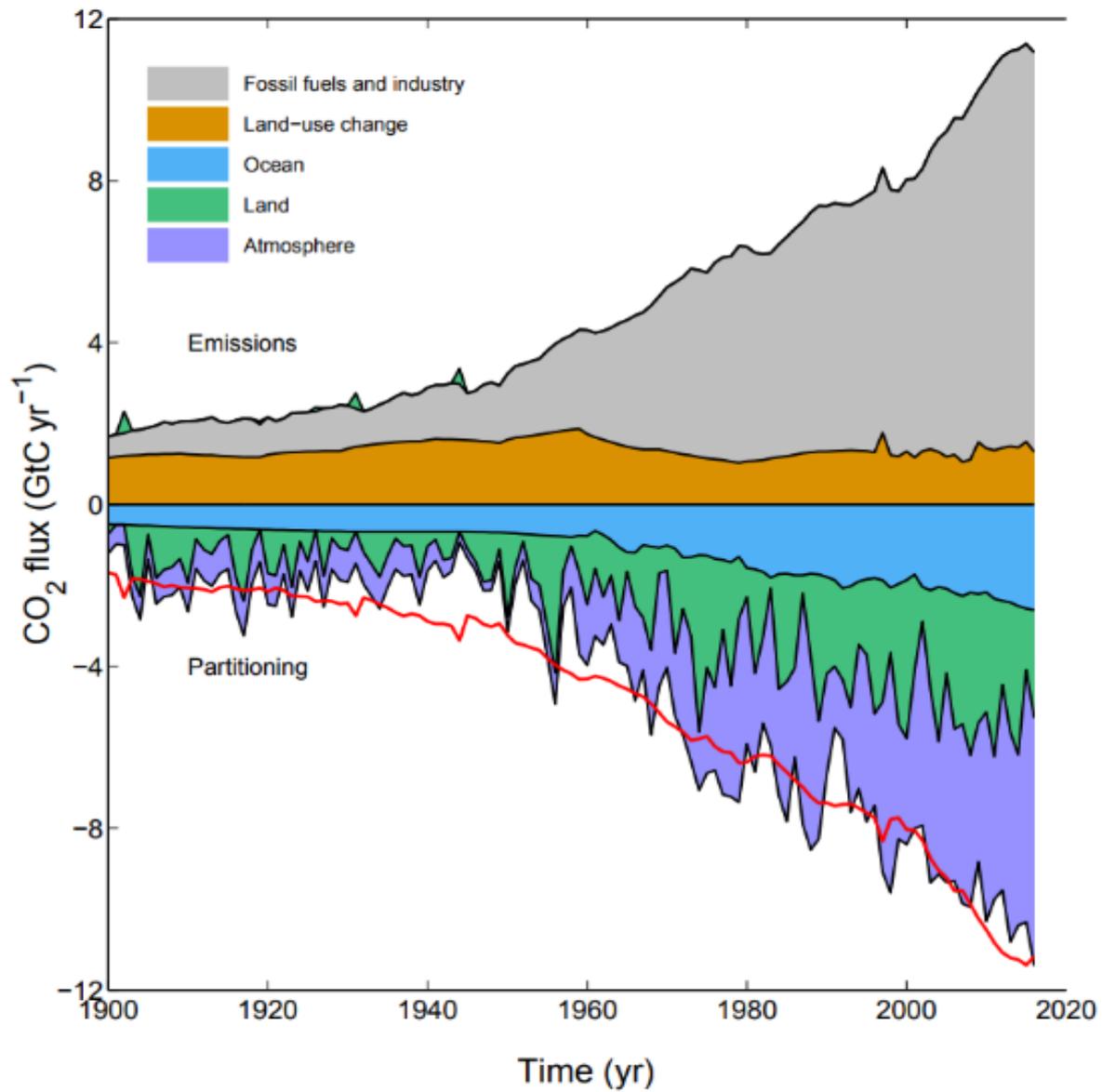
Développement socio-économique

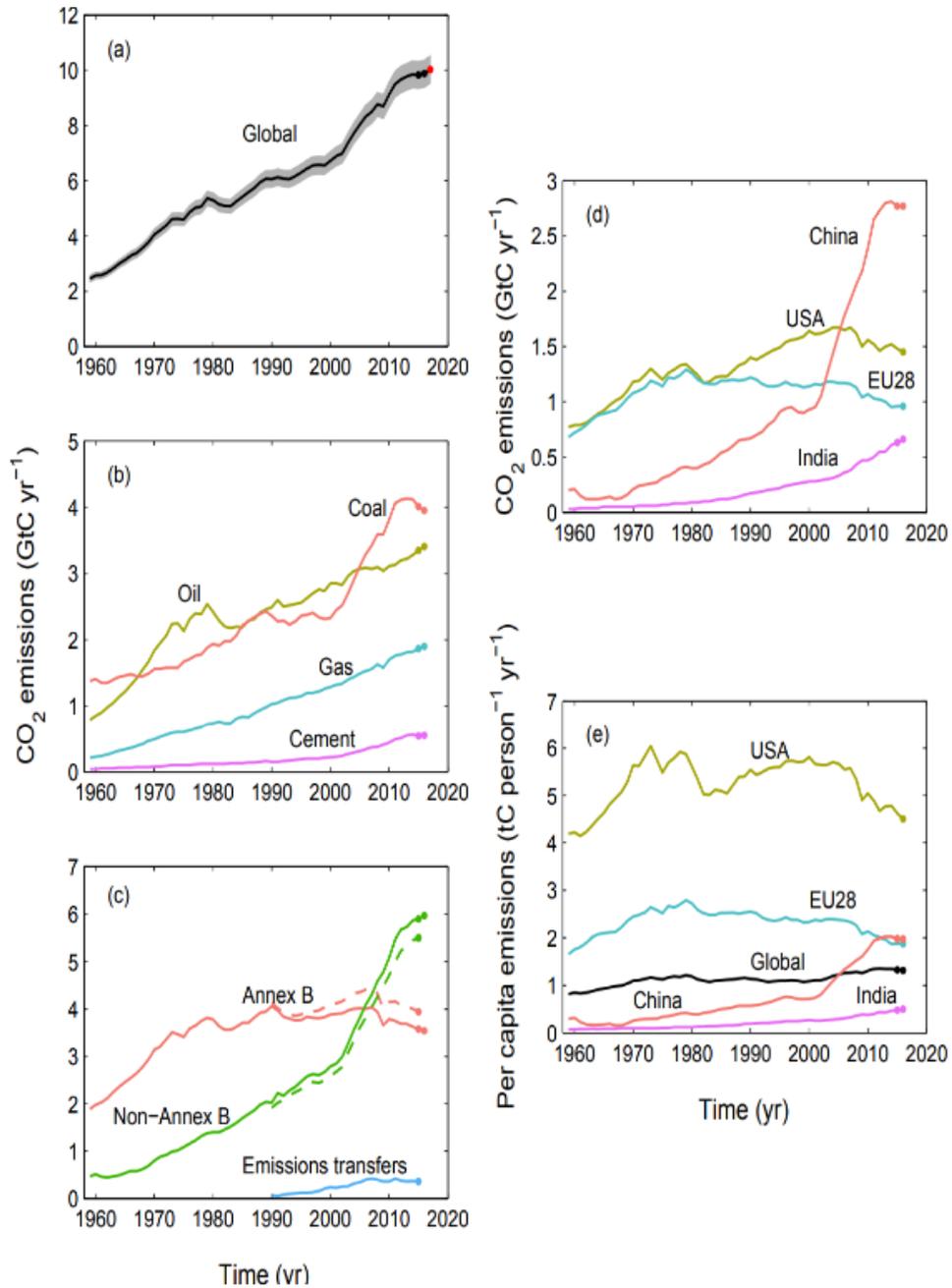


Source : Will Steffen, Wendy Broadgate, Lisa Deutsch, Owen Gaffney et Cornelia Ludwig, « The trajectory of the Anthropocene : the Great Acceleration », *The Anthropocene Review*, 2015 (données : International Geosphere-Biosphere Programme et Stockholm Resilience Centre).



Le Quéré et al.,
2017







1.2 Le protocole de Kyoto (1997-2005)

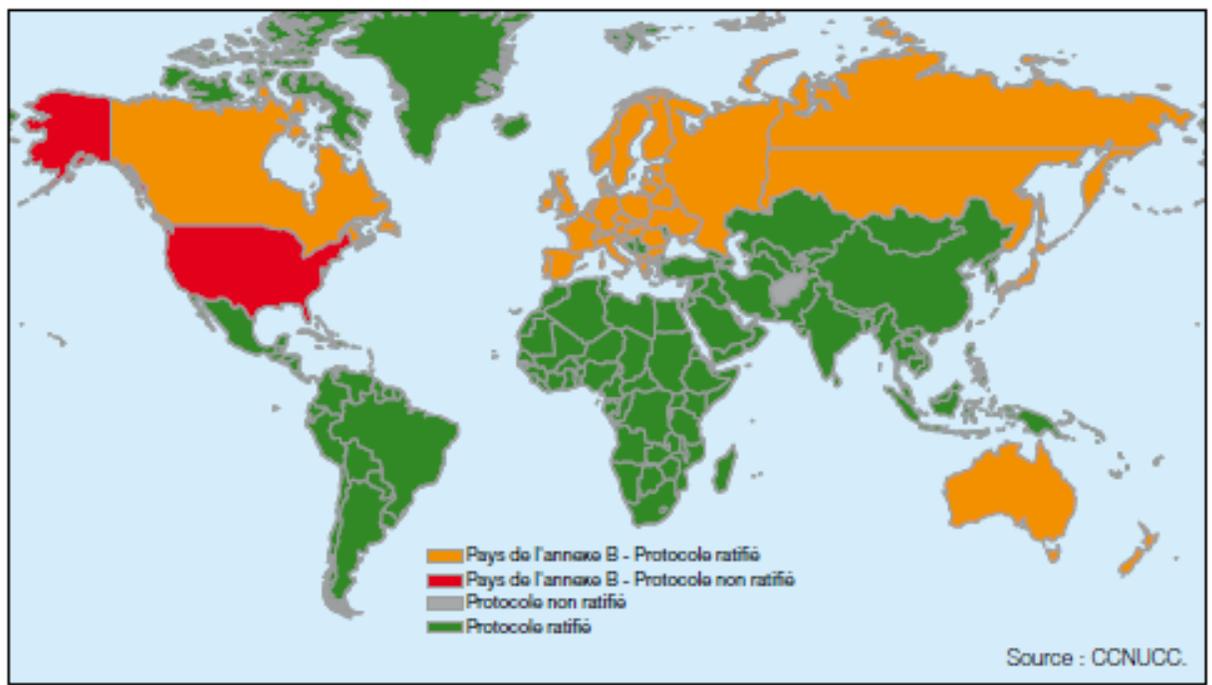


En 1997, le protocole de Kyoto explicite les objectifs et les moyens pour mettre en œuvre la CCNUCC.

Objectifs:

- Les émissions de **40 pays les plus industrialisés** (annexe B) doivent être réduites d'au moins 5% sur la période 2008-2012 par rapport à **1990** (longues négociations). L'objectif est différencié par pays.
- émissions considérées comprennent **6 GES d'origine anthropique** : CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆.
- Les pays hors annexe B n'ont pas d'engagements d'émissions.

Pays signataires du protocole de Kyoto au 30 septembre 2010



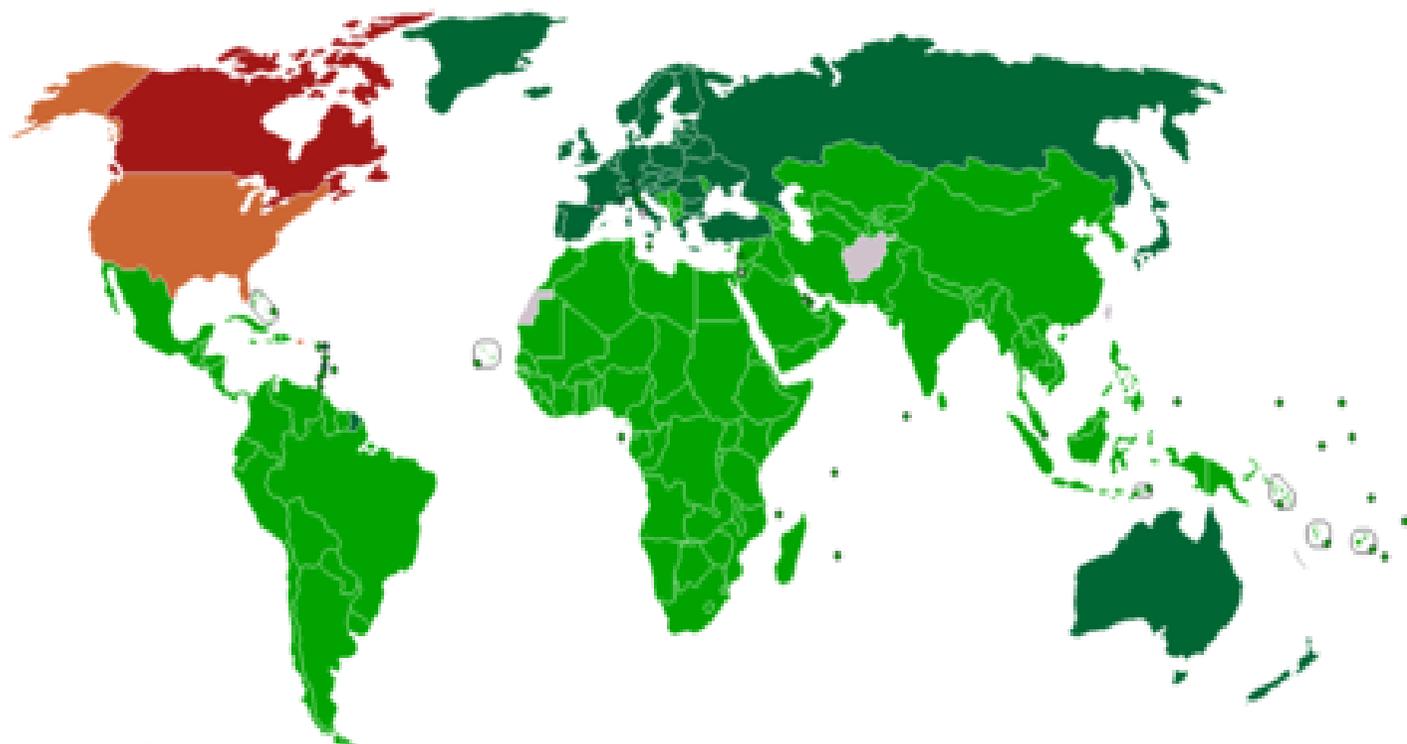
Signé en 1997, il n'entrait en vigueur qu'après sa ratification par au moins 55 États représentant au minimum 55% des émissions de l'Annexe B en 1990.

Ce quorum a été atteint en novembre 2004 avec la ratification de la Russie, permettant l'entrée en vigueur du Protocole en 2005.

Seuls les États-Unis ne l'ont pas ratifié parmi les pays de l'Annexe B. Ils n'ont donc pas d'engagements de limitation de leurs émissions.



Gouvernance internationale : protocole de Kyoto (1997)



Responsabilités communes mais différenciées du Nord et Sud (Annexes I, 38 pays développés, & II, émergents ou en développement)

Participation au protocole de Kyoto en janvier 2011 :

Verts : Pays ayant ratifié le protocole (forcé annexe I)

Orange : Pays signataires refusant pour l'instant de le ratifier

Rouge : Pays s'étant retiré du protocole

Gris : Pays encore non signataires

Source: Wikipedia



Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC-UNFCCC) & COP (*conference of parties*)

Voit le jour en 1992 (sommet de la terre)

Reconnait 3 principes:

- le principe de précaution,
- le principe des responsabilités communes mais différenciées,
- le principe du droit au développement.

La Conférence de Bali (COP13) en 2007 ==> Namas (stratégies et plan d'application nationales de la mitigation)
Poznań (COP14) en 2008
Copenhague (COP15) en 2009
Cancún (COP16) en 2010
Durban (COP17) en 2011
Doha (COP18) en 2012
Varsovie (COP19) en 2013
Lima (COP20) en 2014

La Conférence de Paris (COP21) en 2015, 2016 Marrakech, Pologne (COP 24 en 2018)...



évolution des émissions de gaz à effet de serre de 1990 à 2004,

objectifs nationaux de réduction des émissions pour la période 2008-2012 entre parenthèses

Allemagne : -17 % (-21 % *)

Canada : +28 % (-6 %) : Cette augmentation s'explique par la hausse du prix du brut qui a intensifié l'exploitation des sables bitumeux d'Alberta. Celle-ci est très polluante, car il faut brûler un baril pour en produire deux.

Espagne : +49 % (+15 % *)

États-Unis d'Amérique : +16 % (N/A)

France : -3,2 % (0 % *)

Grèce : +27 % (+25 % *)

Irlande : +23 % (+13 % *)

Japon : +6,5 % (-6 %)

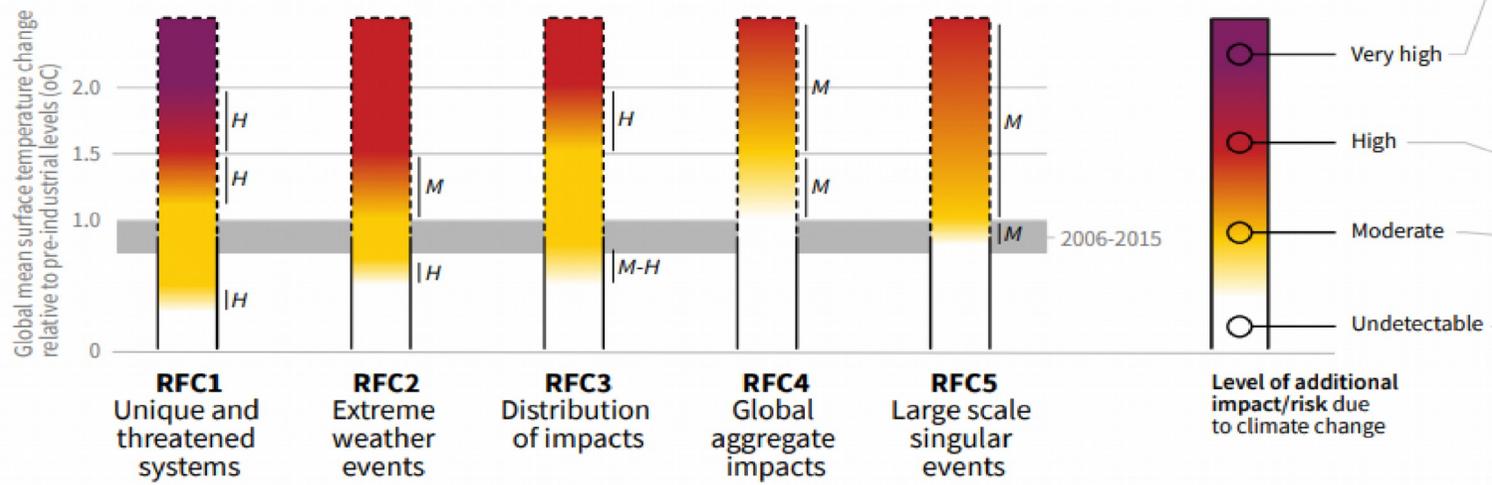
Royaume-Uni : -14 % (-12,5 % *)

Portugal : +41 % (+27 % *)

(*) : Le calcul des objectifs de ces pays de l'UE résulte de la ventilation de l'objectif européen de -8 % entre les États membres (processus appelé burden sharing) en fonction de leurs performances environnementales passées et de leurs besoins de développement futurs.



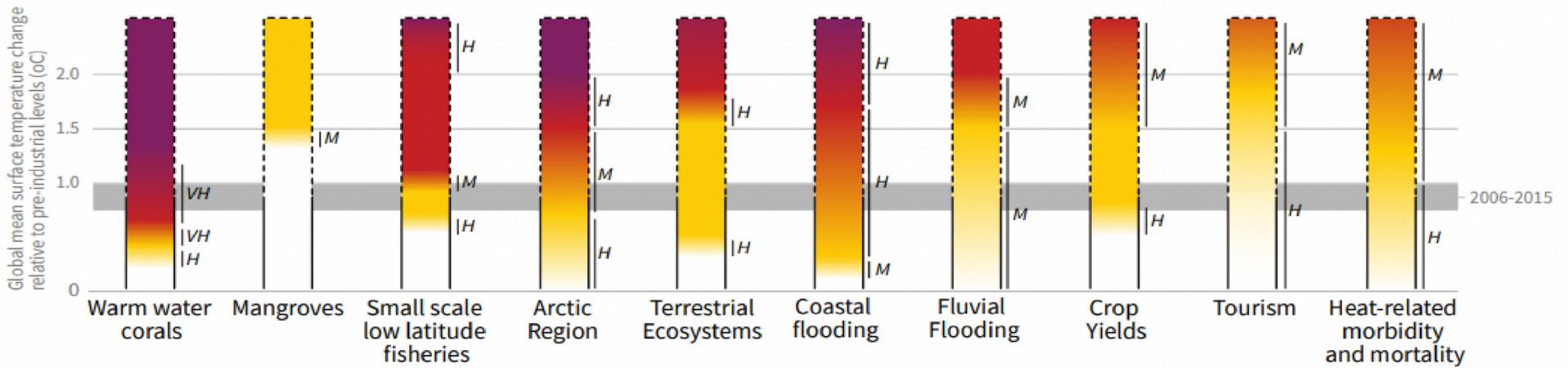
Impacts and risks associated with the Reasons for Concern (RFCs)



and the presence of significant irreversibility or the persistence of climate-related hazards, combined with limited ability to adapt due to the nature of the hazard or impacts/risks.

Red indicates severe and widespread impacts/risks. **Yellow** indicates that impacts/risks are detectable and attributable to climate change with at least medium confidence. **White** indicates that no impacts are detectable and attributable to climate change.

Impacts and risks for selected natural, managed and human systems



Confidence level for transition: L=Low, M=Medium, H=High and VH=Very high

Besoin de renouvellement ou changement de paradigme ?

De Cline/Nordhaus à Stern en passant par Mendehlson/Tol, les économistes **sous-évaluent** probablement largement les **effets de changement climatique**

Hypothèses :

- Substituabilité facteurs (soutenabilité faible)
 - Linéarité dans les courbes de coûts
 - Taux d'actualisation de très long terme (Giglio et al., *QJE*, 2015)
 - Pb de l'approche sentier émissions optimal (coût social du carbone) :
 - risques (Weitzman)
 - IAM = flawed & useless (R. S. Pindyck, 2013) / Untested (Millner & McDermott, PNAS, 2016)
- "the social cost framework is under fire"*, K. Arrow and colleagues (Revesz et al. 2014).

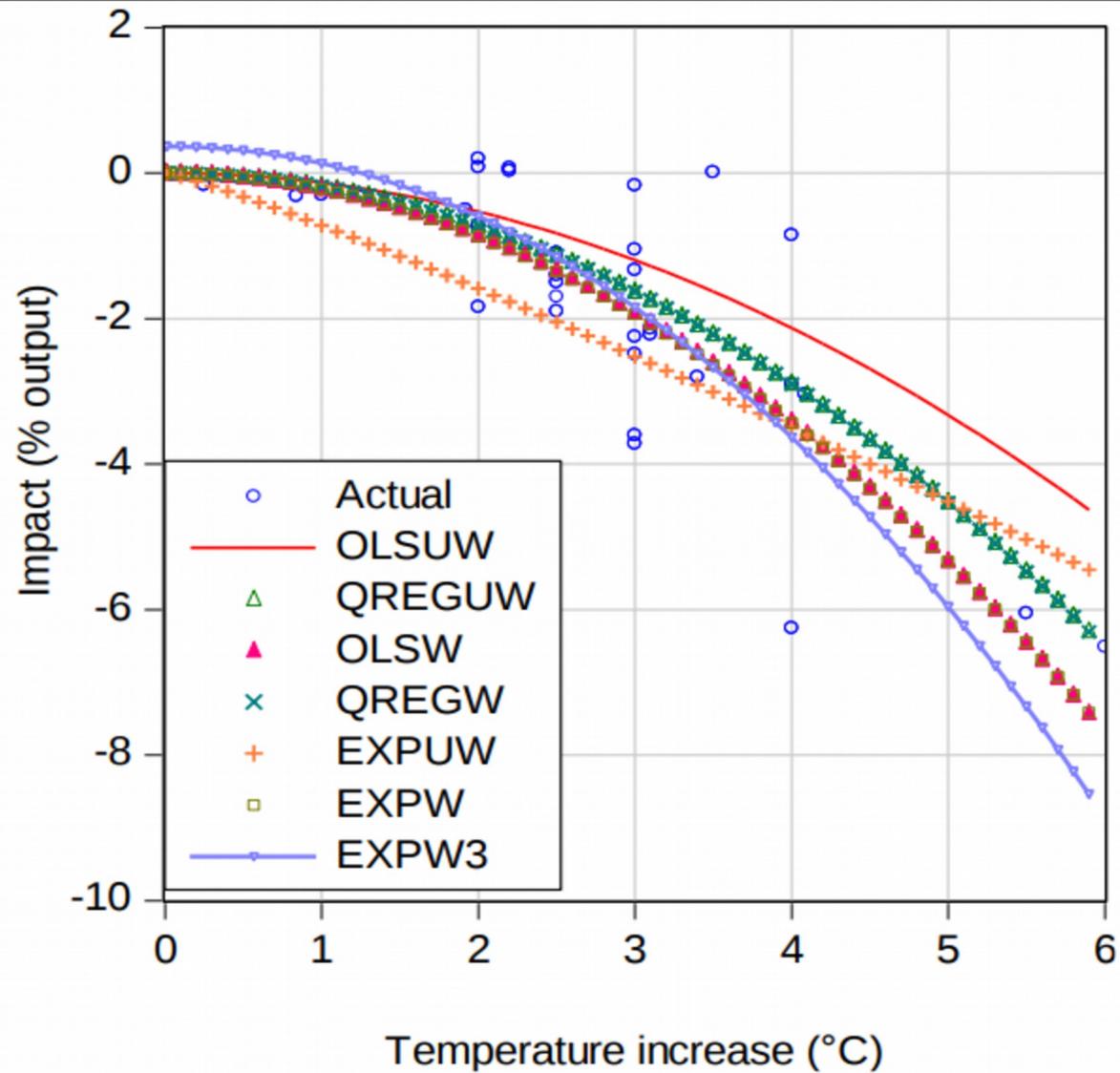


Figure 2. Scatter plot of actual and alternative specifications^{viii}

Pb optimisme de l'économie ?

1400 ppm (parts per million) at the end of this planning horizon, yielding global warming in excess of 3° C...

Mais :

Retard du fait de l'absorption océan

+ **rétroactions** :

- terres : Permafrost, cf. C. Hope, 2015 : augmentation coût social du carbone.

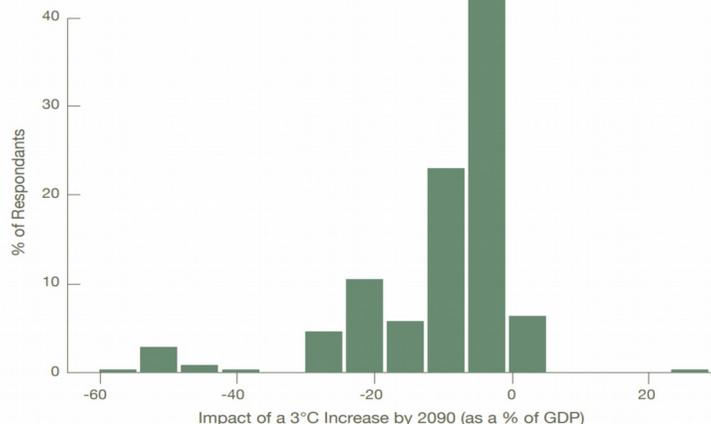
- mer : Coraux + phytoplancton & modifs haut de chaîne alim.

⇒ des travaux existent : PAGES / RESPONSE

Pb biodiversité, rupture radicale dans le taux d'extinctions

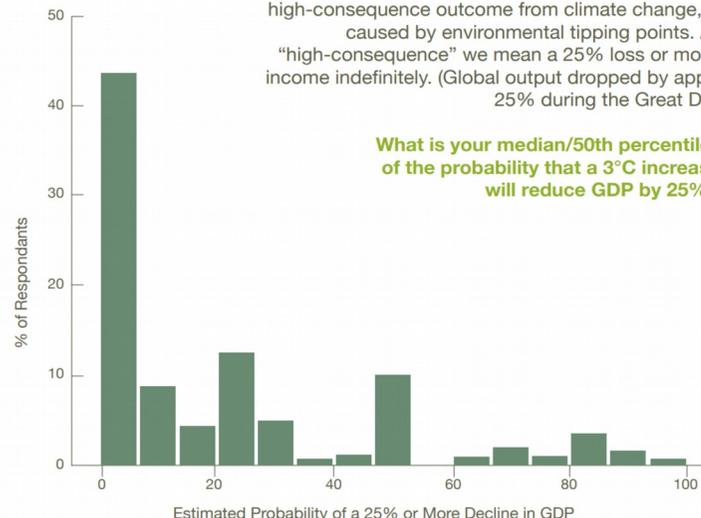
Scenario: global mean temperature increases by 3°C relative to the pre-industrial era by approximately 2090 (i.e., a 2.1°C increase from the current period).

What is your best guess (median/50th percentile estimate) of the impact on global output, as a percentage of GDP?

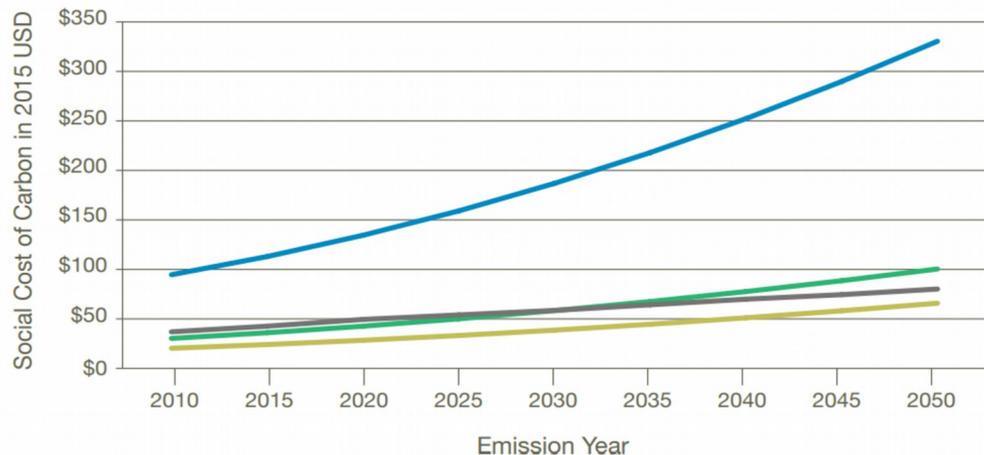


Some people are concerned about a low-probability, high-consequence outcome from climate change, potentially caused by environmental tipping points. Assume by "high-consequence" we mean a 25% loss or more in global income indefinitely. (Global output dropped by approximately 25% during the Great Depression.)

What is your median/50th percentile estimate of the probability that a 3°C increase by 2090 will reduce GDP by 25% or more?



The Social Cost of Carbon for emissions from 2010 to 2050 in 2015 U.S. dollars using damage functions calibrated from our survey results



■ Our Survey Results ■ DICE-2013R
■ Nordhaus (1994) ■ 2013 U.S. Government Intergovernmental Working Group

Howard & Sylvan, 2011
N=1187

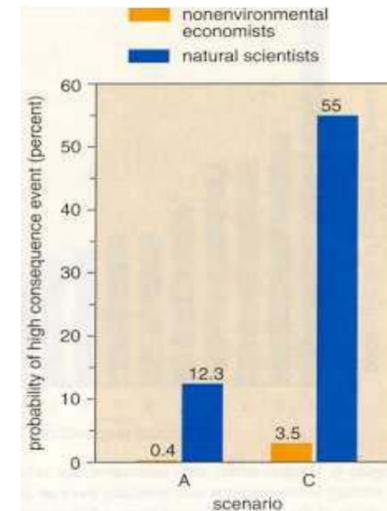


Figure 4. Difference in academic discipline separated those making high estimates of the economic impacts from global warming from those who were comparatively unconcerned. Natural scientists' estimates were 20 to 30 times higher than mainstream economists'.

Nordhaus, 1994



Externalités: interactions hors marché

- **Négatives:** Pb de pollution
diffuse vs. locale: différence du point de vue de la gestion, car non observable et attribuable à un agent + pb passager clandestin qd globale :
Ozone ou microparticules vs. CO₂, cigarette vs. nappe phréatique.

Exemple de l'usine en amont et de l'eau potable dans ville en aval.

- **Positives:** exemple de l'apiculture et de l'agriculture

2 instruments de politique économique:

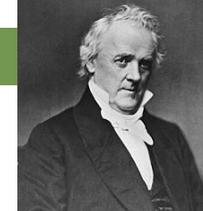
Solution de régulation par les prix (Pigou, 1920), cout social = cout privé + taxe pollueur payeur, taxe ou subvention du montant de l'externalité

Solution de régulation « privée » (Coase, 1960), droit de propriété
Permis de polluer, droit négociable sur un marché,
Prix = coût marginal (d'une unité supplémentaire) de dépollution



1.3 La théorie des biens publics

1.3.1 Définition



Bien public (Samuelson, 1954): bien qui satisfait à la fois les conditions de **non-rivalité** et de **non-exclusion**.

Principe de non-rivalité: la consommation du bien par un individu ne diminue pas la consommation des autres individus.

Principe de non-exclusion: personne ne peut être exclu de la consommation du bien.

Bien privé pur (Samuelson, 1954): bien qui ne satisfait ni la condition de **non-rivalité**, ni la condition de **non-exclusion**, ex : jardin, bâtiments historiques.

Bien club (Buchanan, 1965): bien qui satisfait la condition de **non-rivalité**, mais pas la condition de non-exclusion, ex : accès à la télévision cryptée.

Bien commun (Hardin, 1968): bien qui satisfait la condition de **non-exclusion** mais pas la condition de non-rivalité, ex: route sans péage mais subissant des encombrements, pâture vs. enclosure (privatisation 16^e-19^e S. John Lock).

	Rivalité	Non-rivalité
Exclusion	Bien privé Ex: stylo	Bien club Ex: chaînes TV payantes
Non-exclusion	Bien commun Ex: route	Bien public Ex: air



1.3.2 Le marché tenu en échec par la non-exclusion

Un agent qui produit un bien non-exclusif en fait bénéficier les autres agents.

- Nombreux agents concernés non identifiables.
- Impossibilité d'exclure un utilisateur, même s'il ne contribue pas au financement du bien.
- Chaque agent a individuellement intérêt à consommer le bien, mais il n'a pas intérêt à le financer dans l'espoir que les autres le feront ⇒ **Passager clandestin** (Olson, 1965).
- Manque d'incitation à produire (quantité insuffisante).
- Défaillance de marché (externalité).
- L'autorité publique doit intervenir pour produire ou faire produire le bien non-exclusif ou dans la définition des droits de propriété afin de garantir une gouvernance assurant la durabilité.



Bien publics, (tragedy of commons) & coordination

▫ Notion de biens publics mondiaux (air, eau, climat...)

Jeu à somme non-nulle : **Dilemme du prisonnier**, ou l'Intérêt à l'effort minimal

▫ Pb souveraineté nationale et potentielles coordinations à plus de deux joueurs (protocole de Kyoto illustre bien)



		Prisonnier 2	
		Avouer	Ne Pas Avouer
Prisonnier 1	Avouer	(5, 5)	(0, 7)
	Ne Pas Avouer	(7, 0)	(1, 1)



Le dilemme du prisonnier: Pêche versus renouvellement de la ressource

- 2 entreprises de pêche A et B.
- Choix: sortir en mer et pêcher 200 poissons vendus 3€ chacun.
- Ne pas sortir afin de laisser la ressource se renouveler (chaque poisson laissé dans la mer assurera un profit futur estimé à 2€).
- La population considérée ce jour est de 1000.
- Gain d'une firme = valeur de sa pêche du jour + valeur du stock total restant.



		Individu A	
		Pêche	Non pêche
Individu B	Pêche	$\pi_A: 1800$ $\pi_B: 1800$	$\pi_A: 1600$ $\pi_B: 2200$
	Non pêche	$\pi_A: 2200$ $\pi_B: 1600$	$\pi_A: 2000$ $\pi_B: 2000$

$= 200 \times 3 + (1000 - (2 \times 200)) \times 2$

$= (1000 - 200) \times 2$

$= 1000 \times 2$

$= 200 \times 3 + (1000 - 200) \times 2$



Stratégie de la firme A:

Si B pêche: A a intérêt à pêcher son profit sera plus élevé (1800 au lieu de 1600).

Si B ne pêche pas: A a intérêt à pêcher son profit sera plus élevé (2200 au lieu de 2000).

⇒ Pour la firme A pêcher est une **stratégie dominante** (= stratégie qui apporte des gains toujours \geq quelle que soit la stratégie adoptée par l'autre firme).



		Individu A	
		Pêche	Non pêche
Individu B	Pêche	π_A : 1800 π_B : 1800	π_A : 1600 π_B : 2200
	Non pêche	π_A : 2200 π_B : 1600	π_A : 2000 π_B : 2000



Stratégie de la firme B:

Si A pêche: B a intérêt à pêcher son profit sera plus élevé (1800 au lieu de 1600).

Si A ne pêche pas: B a intérêt à pêcher son profit sera plus élevé (2200 au lieu de 2000).

⇒ Pour la firme B pêcher est une **stratégie dominante** (= stratégie qui apporte des gains toujours \geq quelle que soit la stratégie adoptée par l'autre firme).



		Individu A	
		Pêche	Non pêche
Individu B	Pêche	$\pi_A: 1800$ $\pi_B: 1800$	$\pi_A: 1600$ $\pi_B: 2200$
	Non pêche	$\pi_A: 2200$ $\pi_B: 1600$	$\pi_A: 2000$ $\pi_B: 2000$



Au final chaque firme a intérêt à pêcher (quelle que soit la stratégie adoptée par l'autre firme).

L'**équilibre** qui résulte de cette situation est donc:

A pêche et gagne 1800.

B pêche et gagne 1800.

Soit un profit global de 3600.

Alors que l'**optimum** serait:

A ne pêche pas et gagne 2000.

B ne pêche pas et gagne 2000.

Soit un profit global de 4000.



		Individu A	
		Pêche	Non pêche
Individu B	Pêche	$\pi_A: 1800$ $\pi_B: 1800$	$\pi_A: 1600$ $\pi_B: 2200$
	Non pêche	$\pi_A: 2200$ $\pi_B: 1600$	$\pi_A: 2000$ $\pi_B: 2000$

Equilibre de Nash = situation dans laquelle personne n'a intérêt à changer unilatéralement de stratégie: (pêche; pêche)

Optimum de Pareto = situation qui maximise la somme des profits : (ne pêche pas ; ne pêche pas).





1.4 Les biens communs et la tragédie des communs (Hardin 1968)

Les biens communs caractérisés par **principes rivalité & non-exclusion**

Hardin (1968): Tragédie des communs
compétition pour l'accès à une ressource limitée \Rightarrow conflit entre intérêt individuel & bien commun
conséquence rationnelle : surexploitation de la ressource (perdant-perdant).

\Rightarrow Considération: intérêt privé, pas l'impact de son comportement sur la ressource commune.

Illustration : Une forêt en libre accès.

		Individu B	
		Exploite peu	Exploite beaucoup
Individu A	Exploite peu	(10,10)	(-1,11)
	Exploite beaucoup	(11,-1)	(0,0)

A exploite peu, B a intérêt à exploiter beaucoup (**11**>10).
A exploite beaucoup, B a intérêt à exploiter beaucoup (**0**>-1).
 \Rightarrow Stratégie dominante pour B = exploiter beaucoup.

B exploite peu, A a intérêt à exploiter beaucoup (**11**>10).
B exploite beaucoup, A a intérêt à exploiter beaucoup (**0**>-1).
 \Rightarrow Stratégie dominante pour A = exploiter beaucoup.

Chacun ne considère que son propre intérêt de sorte que l'équilibre final se situe à l'équilibre (0,0)
 \Rightarrow **équilibre de Nash** alors que l'**Optimum de Pareto** = (10,10).



Conclusion Section 1

Les **externalités** et les **biens publics** constituent une partie du soubassement théorique en microéconomie pour analyser les problèmes environnementaux.

⇒ garantir l'**allocation optimale** des **ressources**: Nécessite de **corriger les limites du marché**.

Mais plusieurs difficultés apparaissent:

- évaluation des coûts,
- évaluation des dommages ou bénéfices.

Deux outils de l'économie de l'environnement :

- Méthodes d'évaluations des biens environnementaux.
- Analyse coûts-bénéfices.



2. Les ressources naturelles



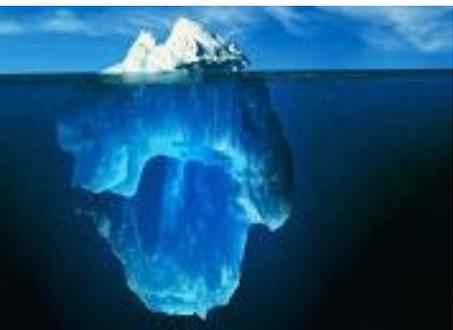
2.1 Définition et typologie

« Les principales classes de ressources naturelles sont les **terres agricoles et forestières** et leurs multiples produits et services; les **zones naturelles préservées** dans un but esthétique, scientifique ou de loisirs, les **pêcheries** en eau douce ou salée, les ressources **minérales énergétiques et non-énergétiques**, les **sources d'énergie solaire, éolienne et géothermique**, les ressources de l'**eau**, et la capacité d'assimilation des déchets par l'ensemble des parties de l'environnement » (Howe, 1979).

- **ressources utiles à l'activité humaine** - de consommation ou de production - **tirées de la terre** en général, et, en particulier, des divers **milieux physiques et des milieux vivants**.

- De ces ressources, on tire des produits de base ou matières premières qui, en général, ne sont pas directement utilisables par un consommateur final, mais doivent être transformés pour devenir des produits finis.

- Les ressources naturelles sont le plus souvent des **biens rares**.





Une typologie des ressources naturelles



Disponibilité	Propriétés physiques			
	Biologiques	Minéraux non énergétiques	Energies	Environnementaux
Consommables	La plupart des produits agricoles	Sel	Radiation solaire, énergie éolienne, Hydroélectricité Ethanol	Qualité de l'air, Qualité de l'eau, Qualité sonore
Renouvelables	Produits forestiers Poissons Cheptel Animaux sauvages Bois Baleines Fleurs Insectes		Bois de chauffage Hydroélectricité 	Eaux souterraines Air Pollution de l'air, de l'eau persistantes Populations animales Forêts
Epuisables	Espèces menacées (tortue à cou de serpent) 	La plupart des minéraux comme l'or, le minerai de fer, la bauxite 	Pétrole Gaz naturel Charbon Uranium 	Lieux vierges Couche d'ozone Eaux dans les aquifères





« *Les richesses naturelles sont inépuisables, car, sans cela, nous ne les obtiendrions pas gratuitement. Ne pouvant être ni multipliées ni épuisées, elles ne sont pas l'objet des sciences économiques* » Jean-Baptiste Say (1803).

→ **prise de conscience** récente du caractère épuisable de certaines ressources.

Une caractéristique fondamentale des ressources naturelles est leur **caractère épuisable ou non**.

- **non renouvelable** / épuisable : ne peut pas être **reproduite**, c'est-à-dire produite à nouveau dans le cadre de l'activité normale du producteur.
Ex: le pétrole, l'or, le charbon...
- **renouvelable** : peut être reproduite.
Ex: énergie marémotrice, éolienne, solaire, poisson, forêt...

Du point de vue de **l'analyse économique** standard:

- Une ressource renouvelable est une ressource naturelle qui peut fournir indéfiniment des intrants (*inputs*) à un système économique.
- Une ressource naturelle non renouvelable ou épuisable est une ressource avec un stock fini ou une offre finie.

Notion de 'Naturel / Artificiel'



Notion de 'Naturel / Artificiel'

Naturel / Artificiel (synthétisé, construit par l'homme qui a interagit avec son environnement de tout temps)





2.2 Ressources naturelles et droits de propriété

Droits de propriété = caractéristiques définissant les droits et les devoirs liés à l'usage d'une ressource particulière.



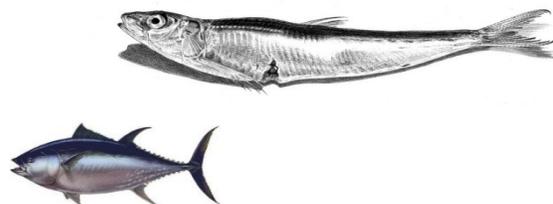
Différents régimes de droit de propriété:

Régime de la propriété de l'État ou de collectivités publiques: propriété et utilisation contrôlées par l'État. Individus peuvent être autorisés à utiliser la ressource mais selon des règles imposées par l'État. Ex: forêts domaniales et communales, parcs, mines.

Régime de la propriété privée: usage de la ressource, ainsi que achats et ventes sont contrôlés par des individus. Ex: forêts privées, prairies.

Régime de la propriété commune: groupe de propriétaires peut contrôler l'usage de la ressource et prévenir les autres de l'utilisation de la ressource. Les membres de ce groupe ont précisé leurs droits et obligations. Ex: terres communes.

Régime d'accès libre: chaque utilisateur potentiel de la ressource a une complète autonomie en matière d'utilisation de la ressource même si personne n'a le droit de s'approprier la ressource et d'en exclure l'usage d'une tierce personne. Ex: poissons.





Les **droits de propriété**, ou leur absence, vont jouer un rôle central dans l'économie des ressources naturelles.

Un stock de ressources naturelles particulier crée un **surplus économique** :
différence entre prix de marché & les coûts d'extraction ou de récolte de la ressource.

Cette différence représente la valeur d'une unité de cette ressource naturelle, appelée « **rente économique** ».
→ En économie de marché, le comportement des firmes est de **maximiser le profit**. Dans le cas des ressources naturelles, il s'agit de maximiser la rente tirée de l'utilisation de la ressource.

Quand cette rente est reçue par un propriétaire particulier, et que ce dernier est sûr qu'il y aura une demande dans le futur, il est dans l'intérêt des utilisateurs de la ressource de **gérer la ressource efficacement**.

Typiquement, sous un régime de **libre accès**, il n'y a pas de propriétaire ⇒ incitation à la gérer efficacement ou à la conserver. Il manque alors un **accord** liant qui assure à chaque utilisateur que, s'il arrête la surexploitation de la ressource, alors les autres en feront autant.

On revient tardivement sur ce dilemme social de *tragédie des communs* notamment suite aux travaux d'**E. Oström** (Nobel, 2009) sur l'action collective et gestion des communs (biens publics), comme la pêche en Indonésie et les communautés indigènes des forêts tropicales.



Les ressources biologiques renouvelables sont souvent des ressources en **libre accès**.

→ Exemples de ressources halieutique en accès limité:

- Harengs de la Mer du Nord = interdiction par un accord international.
- Thons rouges = quotas et interdictions.

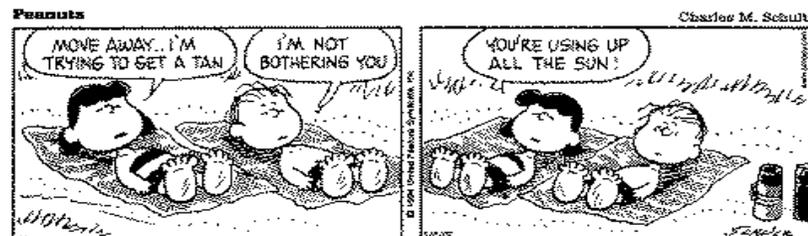
Tragédie des communs: de Hardin (1968) dans « *Tragedy of the commons* ».

→ Competition pour l'accès à une ressource limitée ⇒ un conflit entre intérêt individuel et bien commun dont la conséquence rationnelle est la **surexploitation** de la ressource (perdant-perdant).

Texte original **G. Hardin (1968)**

exemple d'un village d'éleveurs, où chacun peut faire paître ses animaux dans un pré n'appartenant à personne en particulier. En d'autres termes, il décrit comment l'accès libre à une ressource limitée pour laquelle la demande est forte mène inévitablement à la surexploitation de cette ressource et finalement à sa disparition. Chaque individu ayant un intérêt personnel à utiliser la ressource commune de façon à maximiser son usage individuel, tout en distribuant entre chaque utilisateur les coûts d'exploitation, est la cause du problème.

=> Nordhaus (1982) élargit cette analyse aux **biens collectifs planétaires** : couche d'ozone, climat...



Common Good? Rival or Non-Rival?



2.3 La théorie des ressources naturelles épuisables

Définition

La définition économique des ressources naturelles non renouvelables (ou épuisables) : somme intertemporelle de tous les biens et services fournis par un stock donné d'une ressource épuisable est **fini**.

→ mise en évidence de la perspective de long terme.

=> problème économique de ces ressources : comment allouer ce stock **au cours du temps**, *i.e.* à différentes périodes ou entre **générations** ?

Pour un stock initial donné de ressources épuisables, qui peut être réparti sur plusieurs sites, la quantité de ressource disponible diminue à mesure qu'elle est consommée.

→ La taille du stock est une fonction décroissante du taux d'utilisation de la ressource.

On ne s'intéresse pas à l'ensemble des ressources possibles mais à celles qui sont **techniquement accessibles et économiquement exploitables**.



Les réserves en ressources non-renouvelables

Réserves = réserves prouvées + réserves probables:

Réserves prouvées : ressources découvertes et récupérables, et économiquement exploitables (prix, technologie).

Réserves probables : ressources découvertes mais non mesurées ni évaluées, et exploitables (avec 50% de chance).

Ressources non découvertes = ressources présumées + ressources spéculatives:

Ressources présumées : ressources non découvertes sur des sites connus et déjà explorés.

Ressources spéculatives : ressources non découvertes sur des sites non connus.

On ne peut pas fabriquer des ressources naturelles et leur renouvellement se fait sur une échelle de temps longue.

→ Leur recyclage, s'il est possible, est réalisable à un coût prohibitif.

Rôle fondamental dans la **croissance économique**, dans l'industrialisation et l'économie moderne:

→ Production énergétique des pays développés = > 50 % ressources fossiles (pétrole, gaz, charbon et uranium).

→ Production agricole intensive aussi intensive en énergie (synthèse ammoniacale etc.)

→ Difficile d'imaginer la production industrielle actuelle sans aluminium, plomb, fer ou plastique...

→ TIC : métaux rares + dépenses énergétique (refroidissement + flux & serveurs), France 13 % conso elec en 2009.





Problèmes

- Disponibilité limitée des ressources = frein à la croissance économique et au bien-être ?
- Est-ce qu'une économie de marché, avec un objectif principal de croissance économique, peut épuiser ces ressources sans se soucier du bien-être des générations futures ?
 - Est-ce que le taux d'extraction issu d'un programme de maximisation du profit d'un industriel est approprié d'un point de vue social ?
 - Comment intégrer la notion de rareté de la ressource dans l'analyse économique ?

Deux règles en économie pour répondre à ces questions:

- la **règle d'Hotelling** (1931)
- la **règle d'Hartwick** (1977)



2.3.1 Le modèle de Hotelling (1931)



Question/obj.: utilisation optimale d'une ressource naturelle non renouvelable.

Problème: allouer un montant fini et donné d'un stock de ressources à différentes périodes de temps afin de maximiser l'utilité ou le bénéfice de consommation de cette ressource.

Intuitions de l'analyse:

Particularité d'une ressource épuisable est qu'elle est disponible en quantité donnée pour l'avenir (stock fixé).

⇒ Extraction d'une unité de la ressource génère deux coûts :

- le coût de l'extraction ;

- le coût d'usage ou la rente d'épuisement, c'est-à-dire le coût (d'opportunité) de la diminution du stock disponible pour les usages futurs.

⇒ Ces deux coûts doivent être pris en compte pour déterminer la trajectoire d'extraction.



Contexte du modèle

- s'attaque ainsi à la philosophie du « mouvement conservationniste » américain qui prône un ralentissement, voire un arrêt, de l'extraction des ressources naturelles au moyen d'une augmentation de leurs prix, y compris par le biais de taxes imposées par l'État
- redonner un rôle central au **prix** et au marché comme mécanismes régulateurs fiables et socialement optimaux de l'épuisement des ressources.
- bâtir une théorie de l'entreprise minière exploitant une **ressource non renouvelable** reprend les éléments et outils de la théorie micro-économique du producteur.

Hypothèses du modèle

- Le détenteur de la ressource est un producteur privé en concurrence (CPP).
- La demande cumulée épuise tout juste le stock. La fonction de demande $q=f(p,t)$ est une fonction décroissante du **prix** de vente p de la ressource, qui s'annule à la date T d'épuisement de la réserve $f(p,T)=0$.
- Le **stock** S de la ressource est connu au départ.
- Le **coût marginal d'extraction** c est constant.
- Le taux d'**actualisation** est noté: r .



Contexte du modèle

- s'attaquer ainsi à la philosophie du « mouvement conservationniste » américain qui prône un ralentissement, voire un arrêt, de l'extraction des ressources naturelles au moyen d'une augmentation de leurs prix, y compris par le biais de taxes imposées par l'État
- redonner un rôle central au **prix** et au marché comme mécanismes régulateurs fiables et socialement optimaux de l'épuisement des ressources.
- bâtir une théorie de l'entreprise minière exploitant une **ressource non renouvelable** reprend les éléments et outils de la théorie micro-économique du producteur.

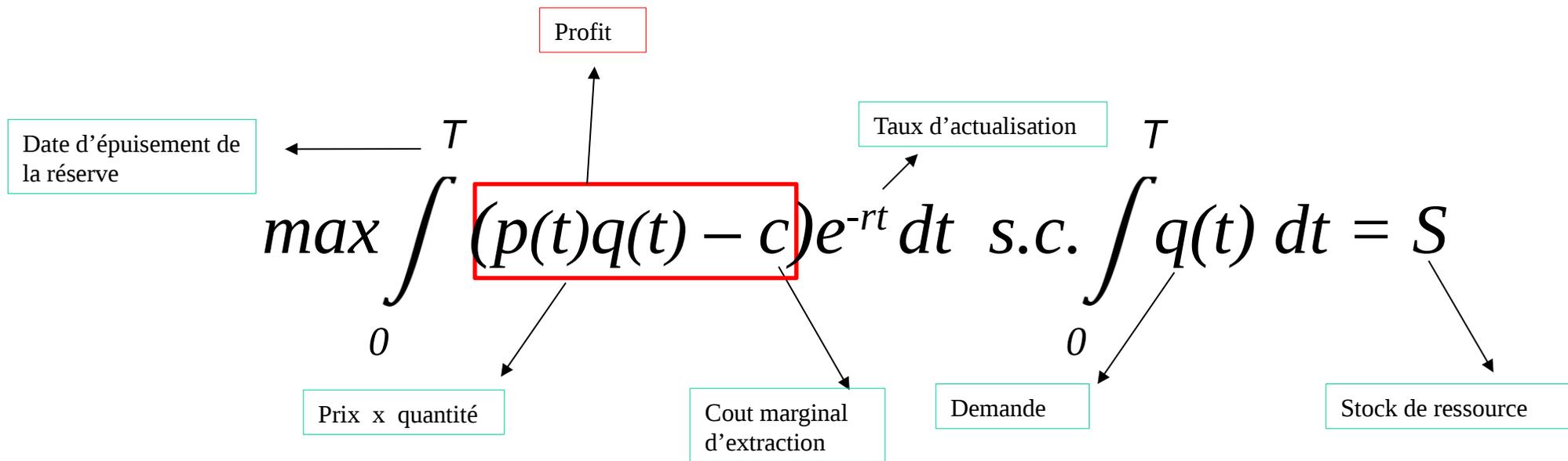
Hypothèses du modèle

- Le détenteur de la ressource est un producteur privé en CPP.
- La demande cumulée épuise tout juste le stock. La fonction de demande $q=f(p,t)$ est une fonction décroissante du **prix** de vente p de la ressource, qui s'annule à la date T d'épuisement de la réserve $f(p,T)=0$.
- Le **stock** S de la ressource est connu au départ.
- Le **coût marginal d'extraction** c est constant.
- Le taux d'**actualisation** (intérêt ou préférence pour le présent) est noté: r .



Programme du producteur

- Ressource naturelle pour le propriétaire de la mine = **stock** de biens (par hyp., de taille connue) diminue au fur et à mesure de son extraction.
- Gestion optimale du stock = déterminer **flux** de ressource apporte le plus de revenu sur la période d'exploitation.
- Le producteur rationnel cherche à **maximiser** la séquence de ses **profits** actualisés sur durée de vie T du gisement sous contrainte de stock disponible.

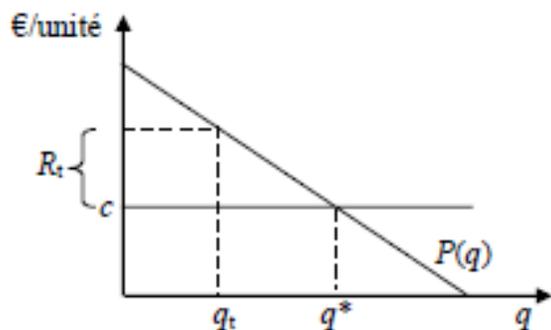




La rente de rareté

Par définition, la rente de rareté à la date t est la différence entre l'utilité marginale de la consommation et le coût marginal d'extraction, évaluée en t : $R_t = P(q_t) - c$.

La figure ci-dessous représente les différents éléments constitutifs du modèle de Hotelling.



Abscisse: quantité extraite et consommée de la ressource.

Ordonnée: valeur, en euros par unité.

=> On représente alors l'Um de la consommation et le Cm de l'extraction .

Le modèle d'Hotelling montre qu'une ressource non renouvelable se gère différemment.

- Pour un **bien standard** (peut être produit sans limite), optimalité: **Um consommation = Cm production**.

→ quantité q^* .

- Pour les ressources non renouvelables, le résultat de Hotelling montre que, le long de la trajectoire d'extraction optimale, **$R_t = Um - Cm > 0$**

Utilité marginale de la consommation – coût marginal de l'extraction: **rente de rareté** est positive.

=> Cette différence mesure le coût d'usage de la ressource, c'est-à-dire la **perte d'utilité future**, évaluée en valeur actuelle, due à l'extraction présente d'une unité additionnelle. Ce coût s'ajoute au Cm d'extraction.



Règle de Hotelling

Hotelling démontre qu'il existe un **sentier optimal d'épuisement** d'une ressource épuisable dont la réserve est supposée connue au départ et qu'à ce sentier est associé un rythme optimal d'évolution du prix de cette ressource.

La règle en supposant que $c = 0$:

Soit un actif de rendement $r(t)$ sur la période $[t, t+1]$

Soit une ressource de prix $p(t)$ à la date t , on peut la revendre $p(t+1)$ à la date $t+1$

Si la valeur des actifs vaut $p(t)$ à la date t , elle vaudra $p(t) [1+r(t)]$ à la date $t+1$

En CPP, on a: $[p(t+1)-p(t)] / p(t) = r(t)$

La règle de Hotelling est une condition d'équilibre: « *Le prix de la ressource naturelle, et donc la **rente** qui y est attachée, doit croître à un taux égal à celui du taux d'actualisation* ».

→ c'est le principe fondamental de l'économie des ressources épuisables.

$$P_t = P_0 \cdot e^{-rt}$$

P_t le prix de la ressource à la période t ,

P_0 le prix initial de la ressource



Dans ce contexte, que se passe t-il ?

Si le prix de marché de la ressource augmente ?

⇒ Hausse du prix, donc baisse demande donc retarde l'épuisement du stock.

Quand on découvre de nouvelles réserves ?

⇒ Durée optimale d'exploitation augmente.

Si le taux d'intérêt augmente ?

⇒ épuise la ressource non-renouvelable plus rapidement car le propriétaire de la ressource souhaite sécuriser dès aujourd'hui les gains de l'extraction plutôt que d'attendre ...

NB : Importance du **taux d'actualisation** (analyse coûts / bénéfiques) en général en économie de l'environnement (long terme), un investissement rapportant **1 million d'euros** dans 300 ans (énorme à l'échelle d'une vie humaine, rien pour l'humanité) est estimé à **50 000 euros** aujourd'hui si le taux est à **1%**, à **50 cents** si il est à **5%**.

Débats majeurs depuis 2010, (égalité entre générations... mais incertitude & teneur de la croissance future)



Amélioration de Hotelling: prix de monopole & incertitude

Prix de monopole:

Si **élasticité** prix de la demande élevé (>1): **substituts** deviennent plus intéressants

Monopole (plus conservateur) tentera d'éviter cette situation: en ayant un prix plus élevé au début puis plus faible que le prix de CPP proche de l'épuisement, pour faire durer sa rente

Chasseriaux (1982) applique la théorie du monopole pour expliquer les pics pétroliers de 1973 et 1979 (USA et Golfe Persique: nouveaux gisements)

Incertitude:

Sur **état du stock**, **demande future**, **progrès technologique** (baisse constante des coût d'extraction)



2.3.2 La règle de Hartwick

Les contributions de Hartwick (1977) et Solow (1974) se font écho: Solow définit un objectif d'équité et Hartwick, le moyen pour l'atteindre.

Solow: la stabilité intertemporelle de la consommation par tête constitue l'objectif d'**équité intergénérationnelle**

→ critère d'équité entre générations est « *que la consommation par tête soit constante à travers le temps de façon à ce qu'aucune génération ne soit favorisée par rapport à une autre* ».

⇒ Il s'agit donc dans ces conditions de déterminer « *le plus haut niveau fixe de consommation par tête pouvant être indéfiniment maintenu compte tenu de l'ensemble des contraintes existantes, parmi lesquelles le caractère fini des ressources* ».

⇒ Le critère de bien-être est donc « *le niveau de consommation atteint par la génération la moins bien lotie. Dit autrement, la génération actuelle est toujours fondée à prendre autant qu'elle veut du fonds commun intertemporel pourvu qu'elle laisse à chacune des générations suivantes la possibilité de se situer au même niveau de bien-être que le sien* ».

Après avoir défini l'objectif, il restait encore à concevoir le moyen de l'atteindre: **Hartwick.**



Hartwick (1977): la réalisation de l'objectif de Solow exige l'investissement en capital reproductible (par exemple des machines) des rentes et des profits obtenus par l'exploitation des ressources épuisables.

Idée: obligation de compenser en permanence l'utilisation du capital naturel par un investissement en capital reproductible (machine par exemple).

→ Hartwick: « *Avec un tel programme, la génération présente convertit des ressources épuisables en machines et vit des flux courants provenant des machines et du travail. On peut supposer que le stock total de capital productif n'a jamais été épuisé puisqu'en fin de compte le stock de ressources épuisables sera converti en un stock de machines et, compte tenu du fait que les machines sont supposées ne pas se déprécier, aucun stock ou de machines, ou de ressources épuisables ne sera jamais épuisé* ».

⇒ Hartwick a montré qu'en appliquant une règle simple – investir toute la rente des ressources dans d'autres actifs (ex. Politique norvégienne) –, on obtiendra un développement durable avec des ressources épuisables.

→ C'est la fameuse règle de Hartwick, que Solow (1986) a qualifiée de « *règle empirique pour le développement durable* ».



En d'autres termes...

Supposons une économie qui ne possède que deux types de capitaux: un capital physique et un stock de ressource épuisable.

Comme le stock de ressource ne peut que diminuer si on l'utilise, on est devant un investissement négatif, la valeur du stock diminuant de la valeur du montant prélevé, qui est la rente hotellienne (rente de rareté).

Pour que la consommation reste constante, il faut selon la règle d'Hartwick, que le stock de capital physique s'accroisse d'une valeur égale à cette rente.

D'où la formulation de la **règle d'Hartwick**: investir à chaque instant la rente tirée de l'exploitation des ressources naturelles dans le capital physique.



La règle d'Hartwick suppose une substituabilité parfaite entre les différents types de capitaux = **durabilité faible**.

La **durabilité faible** est une conception du DD qui admet le principe de substitution entre les stocks de capitaux (économiques, environnementaux et sociaux) du DD, du moment que la somme total des stocks reste inchangée. Ainsi, selon cette conception, il est possible de détruire le stock de capital environnemental si on le remplace par des technologies qui fournissent les mêmes services.

Opposition avec **durabilité forte**: conception du DD, selon laquelle aucune des trois dimensions (ou capitaux) du DD (économiques, environnementales, et sociales) ne doit diminuer.

→ impose qu'au moins certains capitaux naturels ne doivent pas descendre au-dessous de niveaux critiques.

Pour Daly (1994), « *le capital naturel et le capital fabriqué par l'homme sont fondamentalement des compléments, et seulement de façon marginale des substituts.* »

→ Énorme enjeu du point de vu des modèle macroéconomique, généralement avec deux intrants: $Y=A.(K,L)$

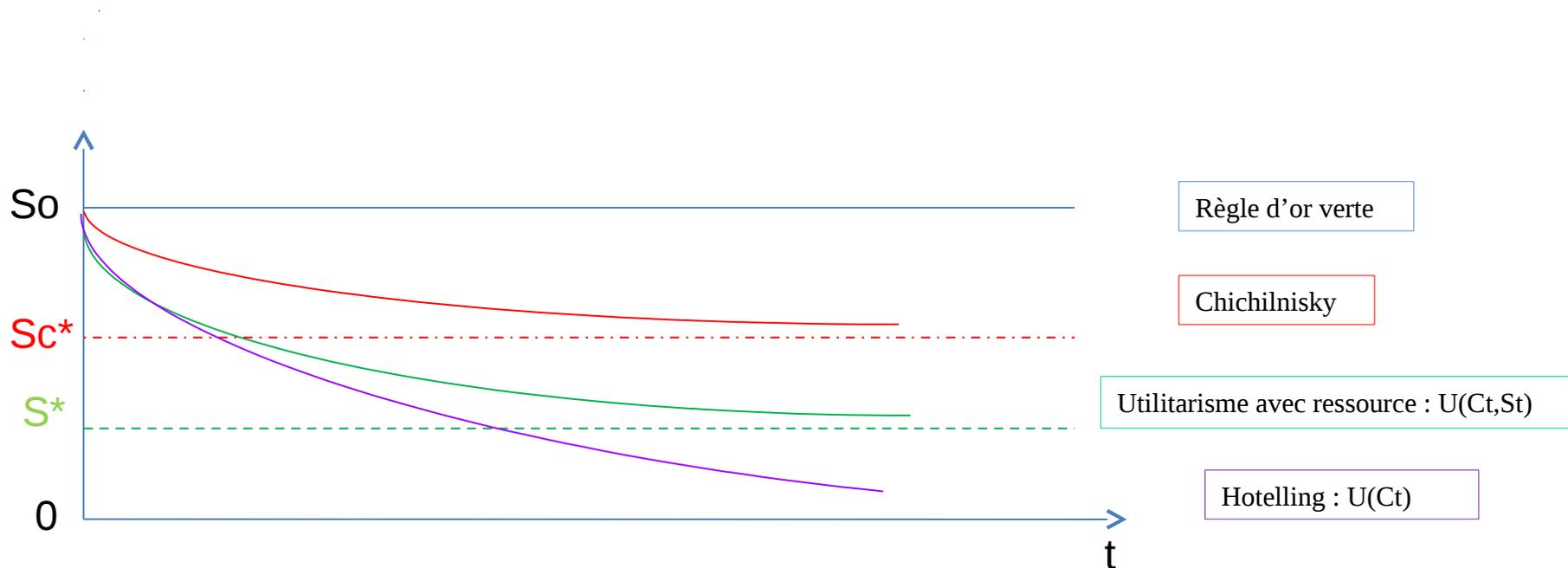
Incomparabilité entre l'échelle de temps d'accumulation des stocks de combustibles fossiles (100aines milliers d'années) et leur consommation (centaines d'années).

2.3.3 Allocation intertemporelle des ressources épuisables & durabilité

A: La règle d'or verte: inspiré égalitarisme rawlsien, niveau générationnel, revient à maximiser utilité à horizon infini

B: Utilitarisme avec niveau de ressource procurant de l'utilité

Chichilnisky (1996), pondération des deux critères: $\alpha A + (1 - \alpha) B$.





2.3.4 La controverse sur la rareté des ressources naturelles épuisables

La vraie question fondamentale : la rareté des ressources est-elle effective ?

→ débat empirique sur la mesure adéquate de la rareté d'une ressource.

Les indicateurs de rareté:

nombre d'année restantes: réserves/consommation, dépend de la demande (efficacité prod)



nb année restantes = ratio réserves / consommation		
Minéral	res. prouvées	Res. estimées
Aluminium	207	252
Cuivre	33	62
Minerai de fer	152	233
Plomb	23	47
Nickel	59	137
Etain	41	59
Zinc	20	48

Source: World resource Institute

Autre exemple: Phosphates (3/4 réserves Sahara Occ., 25 % engrais azotés: NPK)

Dans le cas du pétrole, dépend de l'efficacité de l'utilisation.

année	res./conso
1950	22
1960	37
1972	35
1980	27
1990	45



2.3.4 La controverse sur la rareté des ressources naturelles épuisables

La vraie question fondamentale : la rareté des ressources est-elle effective ?

→ débat empirique sur la mesure adéquate de la rareté d'une ressource.

Les indicateurs de rareté:

nombre d'année restantes: réserves/consommation, dépend de la demande (efficacité prod)

Coût d'extraction

Barnett et Morse (1963); Barnett (1979) => Rejettent l'hypothèse d'une rareté croissante des ressources naturelles.

Prix de marché

Nordhaus (1973); Jorgenson et Grilliches (1967), dépend aussi de l'évaluation (imparfaite) des stocks (qui changent aussi avec le progrès technique: ex. schistes).

Rente de rareté

Hartwick et Olewiler (1986); Devarajan et Fisher (1982) => Conclusions divergentes selon les ressources et les périodes.

=> Nombreux débats entre économistes quant à savoir laquelle des ces variables fournit le meilleur indicateur de rareté.

=> Pertinence des indicateurs de rareté discutée: Norgaard (1990).



2.3.5 Les indicateurs économiques

Le prix de marché

Anthony Fisher (1979):

indicateur de rareté doit prendre en compte : coûts directs & indirects de l'obtention d'une unité de ressource.

Or selon le modèle d'Hotelling: $\text{Prix} = \text{coût d'extraction} + \text{valeur en terre}$.

- Mais le prix peut décroître pendant un certain temps du fait du **progrès technique** alors que la rareté augmente.
- Le prix peut augmenter pour d'autres raisons qu'une rareté croissante (\neq structure de marché, ex. des chocs pétroliers).

=> **Le prix n'est pas un bon indicateur.**

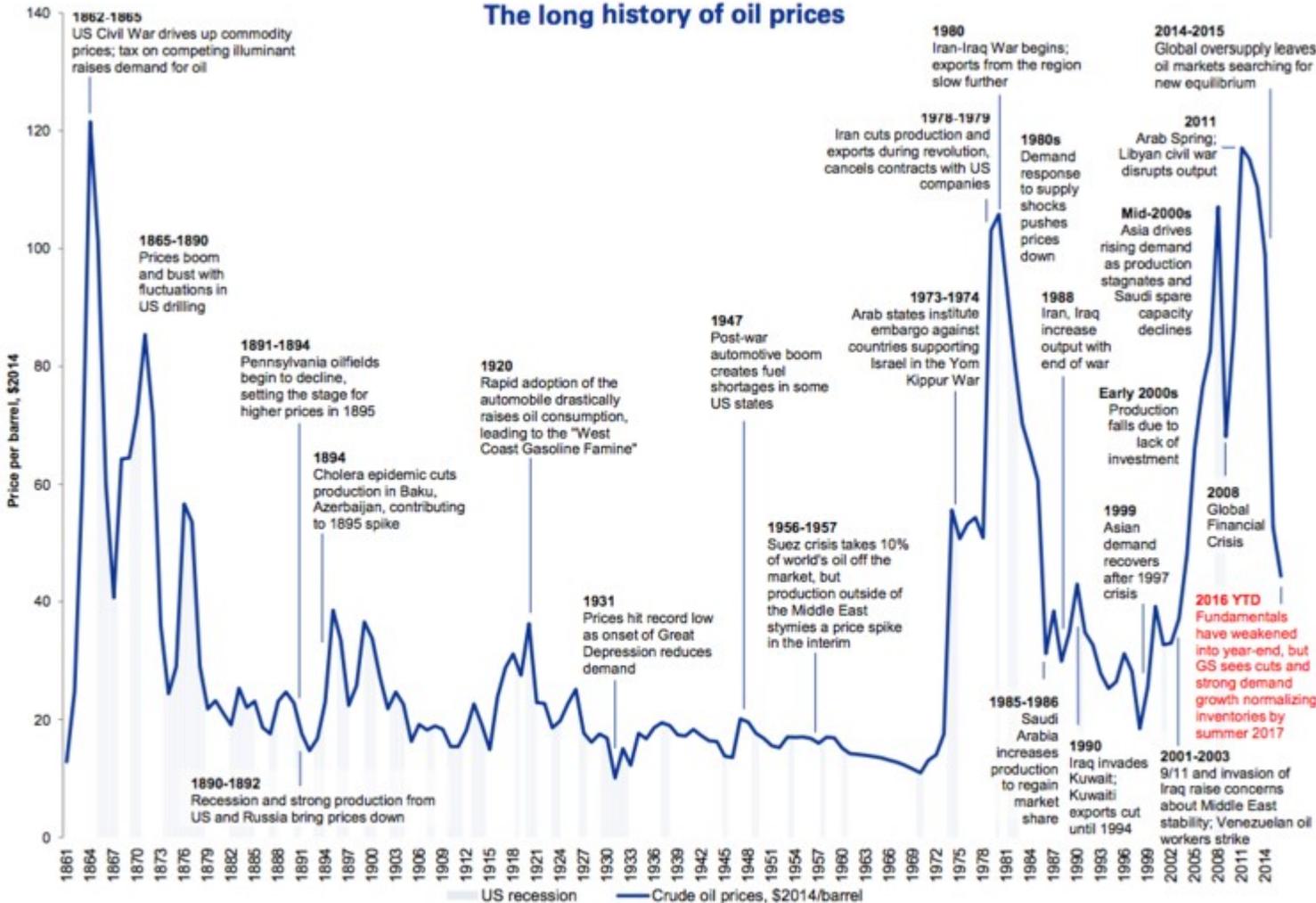
Le **coût d'extraction** est également clairement un indicateur biaisé, il peut baisser sous l'influence du progrès technique alors que la rareté augmente.

- C'est un indicateur statique traduisant un accès immédiat + ou - aisé.
- Il ne capte l'information que sur le côté offre alors que la rareté peut augmenter du fait d'une augmentation de la demande plus rapide que la décroissance des coûts.
- Les coûts d'extraction peuvent augmenter alors que la rareté diminue du fait du développement de substitut.

=> **Le coût d'extraction n'est pas un bon indicateur.**

2.3.6 Un cas concrets: Fossil fuels (non renewable), causes

The long history of oil prices



An earlier version of this chart appeared on pg. 16 of Top of Mind Issue #52: OPEC and Oil Opportunities.

Note: 2016 price shown is YTD average as of Dec. 19, 2016.

Source for data: BP, NBER/Federal Reserve Bank of St. Louis, Haver Analytics.

Source for annotations: ©James Hamilton, "Historical Oil Shocks," University of California, San Diego, February 2011; various news sources; Goldman Sachs Global Investment Research.

Loi offre / demande
 ==> pression sur
 prix
 + VOLATILITE
 (stocks...)

Energie nécessaire
 pour la production :
 De biens & services
 (matières plastiques +
 process de production
 énergivores, data centers
 + capacité de calcul)
 De l'alimentation (intrants :
 engrais)
 Du transport...

Fossil fuels (non renewable), impacts

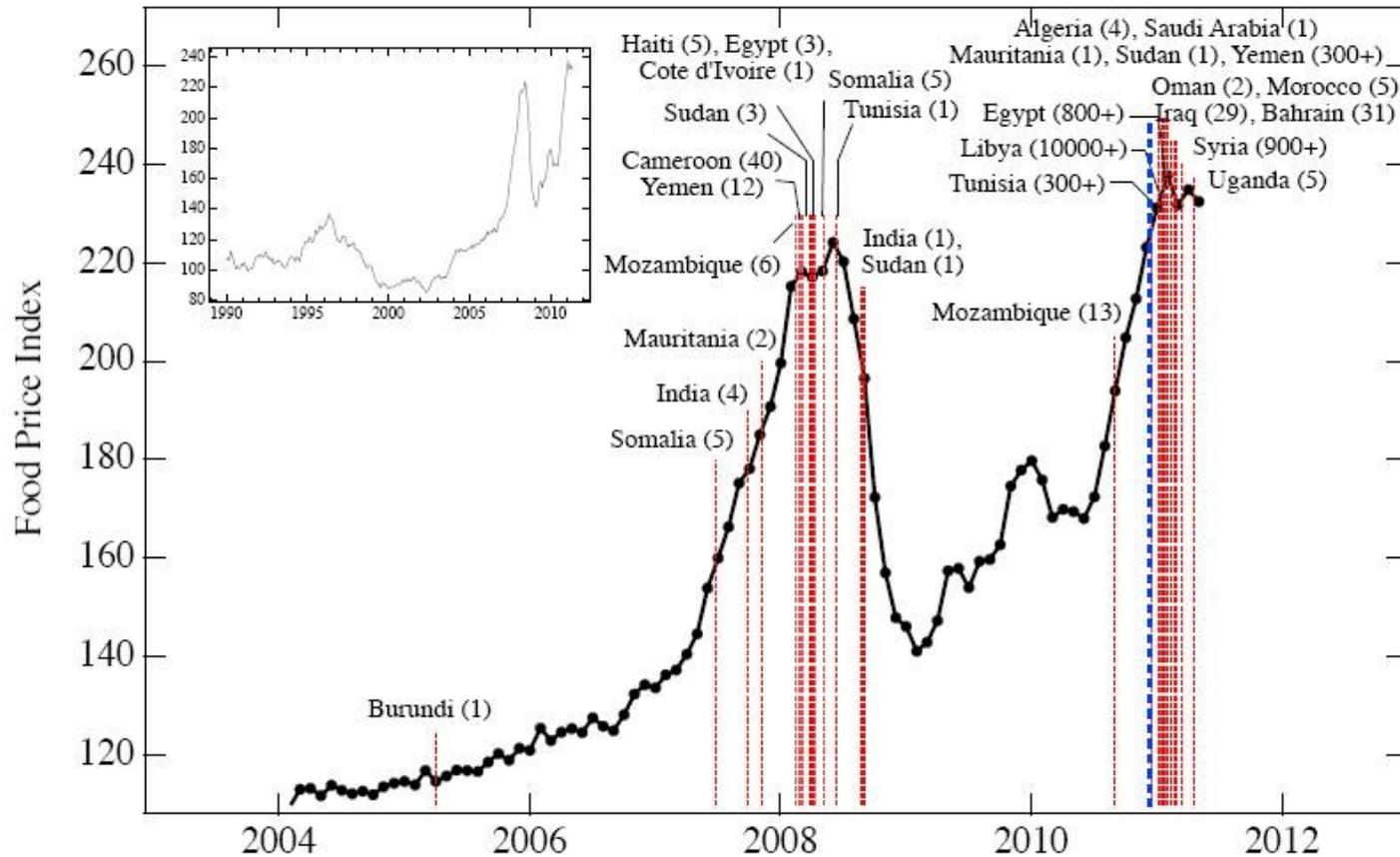
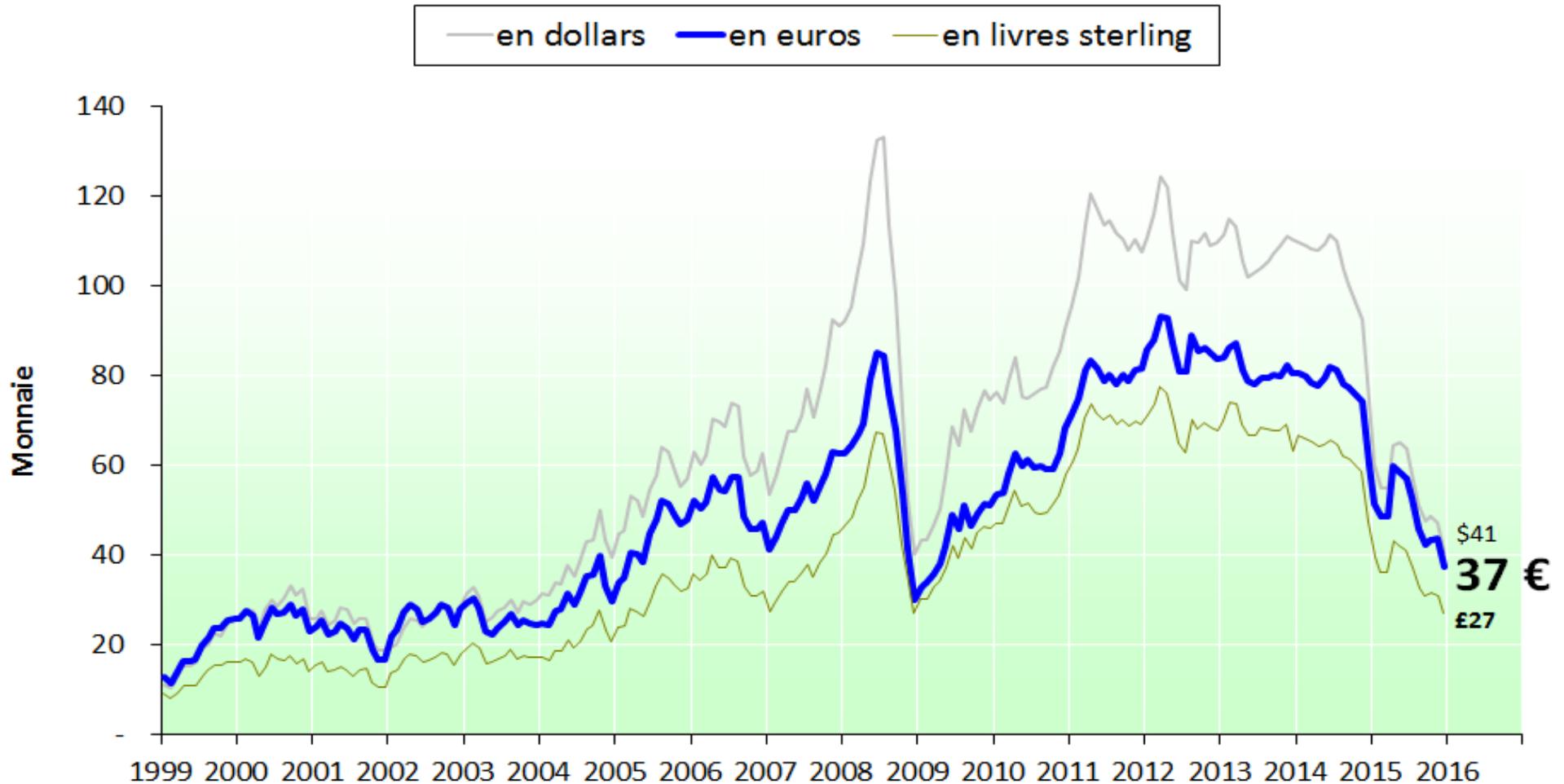


FIG. 1: Time dependence of FAO Food Price Index from January 2004 to May 2011. Red dashed vertical lines correspond to beginning dates of “food riots” and protests associated with the major recent unrest in North Africa and the Middle East. The overall death toll is reported in parentheses [26–55]. Blue vertical line indicates the date, December 13, 2010, on which we submitted a report to the U.S. government, warning of the link between food prices, social unrest and political instability [56]. Inset shows FAO Food Price Index from 1990 to 2011.

Cours mensuel moyen du baril de Brent



Peak oil ? Aujourd'hui a 60\$, (combinaison des gaz de schistes américains et de la politique de l'arabie saoudite pour faire face à cette offre supplémentaire) une très mauvaise nouvelle pour l'environnement ?



2.4 La théorie des ressources naturelles renouvelables

Définition

- Les ressources renouvelables utilisées dans la consommation / processus de production.
- Ressources épuisables **extraites** & ressources renouvelables **récoltées**.
- Certaines ressources renouvelables comme les stocks de poissons ou les forêts capables de fournir des biens sur une longue période de temps.

- Pour de nombreuses ressources naturelles renouvelables, **l'intervention de l'homme** va influencer la continuation et le volume de leurs **flux, la taille et la survie de leurs stocks**.
Ex : le nb de poissons dépend en grande partie de la pêche.

- Pour d'autres ressources naturelles, le flux est **indépendant** des activités humaines. Leur flux est continu au cours du temps. Le montant consommé par la génération présente ne réduit pas le montant à consommer par les générations futures
→ Pas de problème de gestion.
Ex: énergie solaire, énergie géothermique, énergie éolienne, énergie des marées.

- La plupart des ressources renouvelables peuvent être **épuisées** et devenir **non renouvelables**.
Ex: un stock de poissons peut être pêché au point d'entraîner son épuisement.
→ L'extinction d'une espèce végétale ou animale est le stade ultime d'une telle évolution.



Certaines ressources naturelles renouvelables peuvent être **stockées**.

Ex: Energie solaire dans la biomasse à partir de la photosynthèse. La biomasse, par sa durée de vie et son renouvellement, constitue l'essentiel des stocks de ressources naturelles.

Le stockage des ressources naturelles a d'autres effets que celui des ressources épuisables.

→ Stocker des ressources épuisables étend leur vie économique.

→ Stocker des ressources renouvelables permet d'amortir les fluctuations dues aux déséquilibres entre offre et demande.

Ex: silos pour les matières agricoles, barrages pour l'eau.





2.4.1 Formalisation de ces principes

Dans le cas des ressources naturelles renouvelables, la dynamique est essentielle.

- Renouvellement de la ressource = phénomènes biologiques (Ex : croissance des arbres), taux de croissance naturelle.
- Analyse dynamique : analyse des conséquences sur l'état futur de la ressource d'une politique de prélèvement menée aujourd'hui.

Deux dynamiques liées:

- **Dynamique naturelle:** fonction des caractéristiques biologiques de l'espèce constituant la ressource.
- **Dynamique économique:** détermine la gestion et l'exploitation de la ressource en fonction de critères économiques.
 - La ressource peut toujours disparaître si son exploitation s'avère incompatible avec ses caractéristiques biologiques.
- Pour une ressource renouvelable, son stock n'est pas fixé mais il peut être augmenté ou diminué:
 - Il augmentera si le stock peut se régénérer.
 - Il existe un **prélèvement soutenable maximum**: aucune ressource ne peut se régénérer à des niveaux supérieurs à la **capacité de charge de l'écosystème** (taux de croissance nulle: valeur limite= équilibre stable: au dessus: mortalité > natalité, inverse en dessous).
 - Il peut décliner si son **taux d'extraction** > de façon persistante son **taux de croissance**.



2.4.2 Modèle général d'exploitation d'une ressource renouvelable

Soit $x(t)$ le stock de la ressource renouvelable à une date t qui a pour dynamique :

$$\dot{x} = G(x(t)) - h(t) \quad \text{avec } x(0) = x_0, x(t) \geq 0, h(t) \geq 0$$

Taux naturel de reconstitution
de la ressource

Taux de prélèvement
sur cette ressource

Profit / flux des bénéfices nets à chaque date t fonction du stock de la ressource et du prélèvement:

$$\pi = \pi[x(t), h(t), t]$$

⇒ Le propriétaire va maximiser la somme des bénéfices nets actualisés sur une infinité de périodes étant donné la dynamique de la ressource et une contrainte de prélèvement maximal.

Règle d'optimalité : Règle de productivité marginale de l'accumulation optimale du capital.

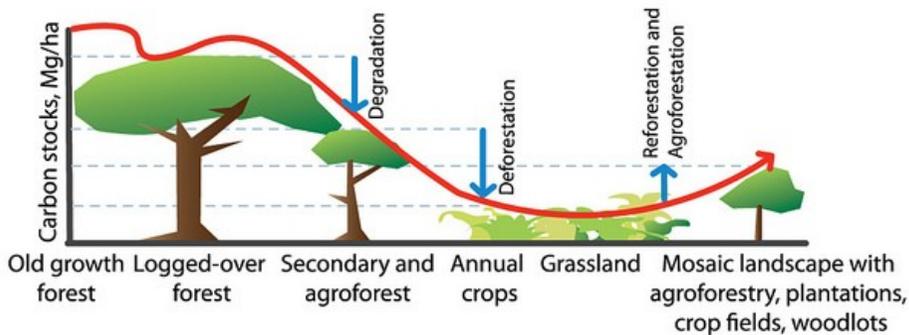
→ Le stock optimal de ressource naturelle renouvelable est telle que la **productivité marginale de la ressource** renouvelable doit être **égale** au **taux d'actualisation**.

2.5 Courbe de Kuznet environnementale

À l'origine une relation (fait stylisé) entre inégalités et revenu

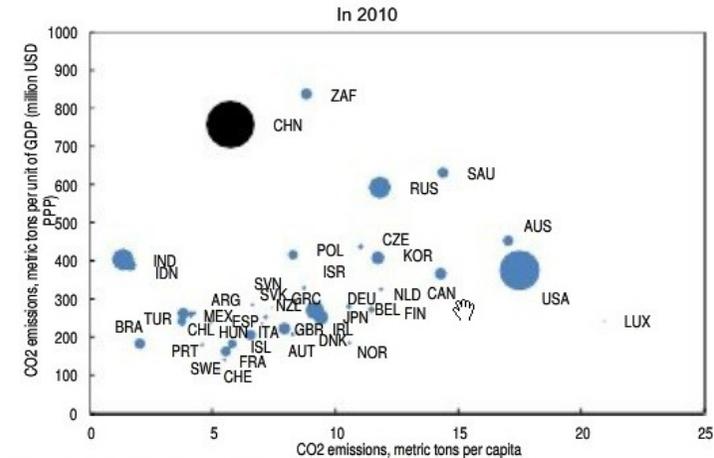
Puis dégradations env.

Puis ressources naturelles (foret: transition forestière)



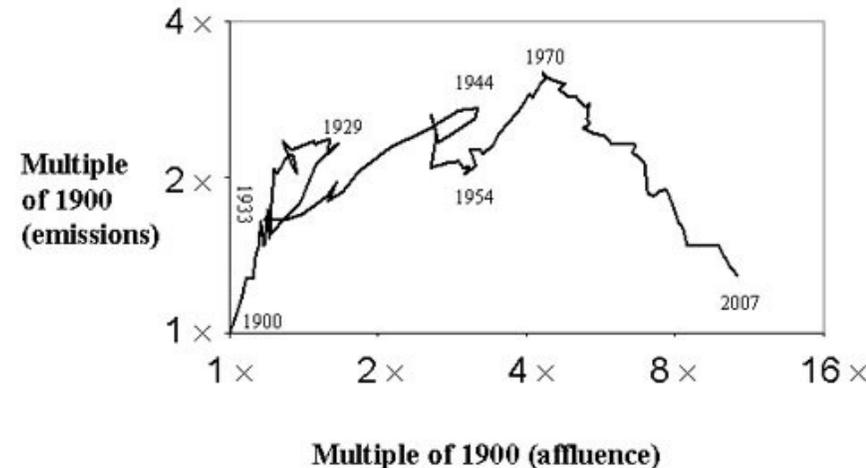
Time, GDP?, governance? Human development index?

Figure 2. International CO₂ emissions and emissions intensity



Note: The size of circles indicates the volume of CO₂ emissions.
Source: OECD.

Environmental Kuznets Curve for USA sulfur dioxide emissions

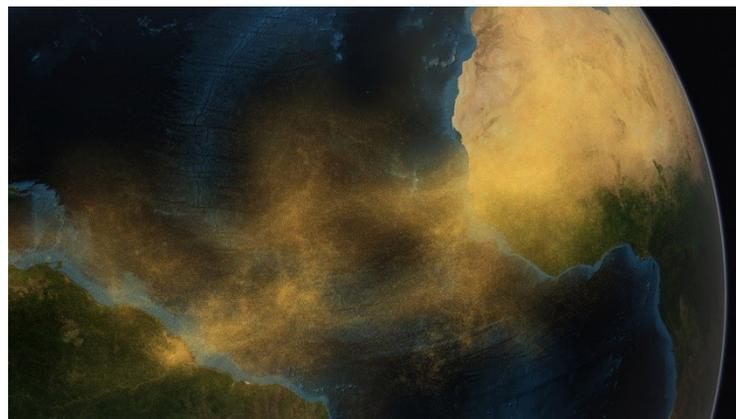




3. Ressources: des exemple de rareté et de gestion

Quelques ressources (renouvelables)

- Ressources **halieutiques** (quotas)
- **Forêt** (suivi par imagerie satellite)
- **Climat** / émissions GES (marché)
- Biodiversité (legislation)
- **Eau** (assurances et prévisions saisonnière pour agriculture)

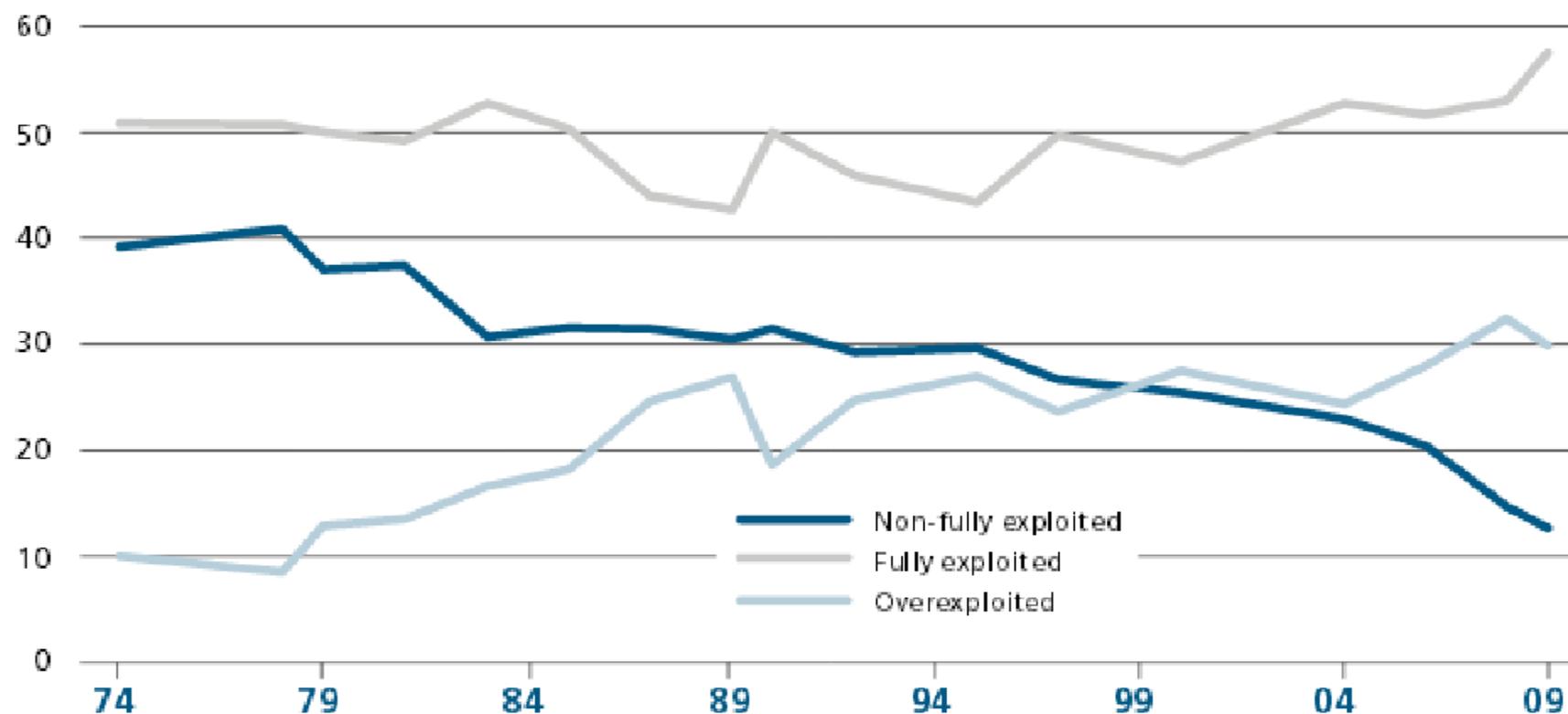




1/ Fish: renewable, source : WFP.

Global trends in the state of world marine fish stocks since 1974

Percentage of stocks assessed





Exemple du thon rouge

- Pb de statistiques du au fait que les flottent battent pavillons de petits pays, non membres des institutions régulatrices régionales (un Etat ne peut contrôler que ses propres bateaux en haute mer)
- Une organisation pour la conservation du thon rouge (CICTA) a donc mis en place un système de certificat d'origine. Contournements sanctions, cycles...
- Pbq que biens communs, espèce migratrices (entre zones de haute mer de différentes juridictions) ou stocks chevauchant ces zones.



2/ Forêt

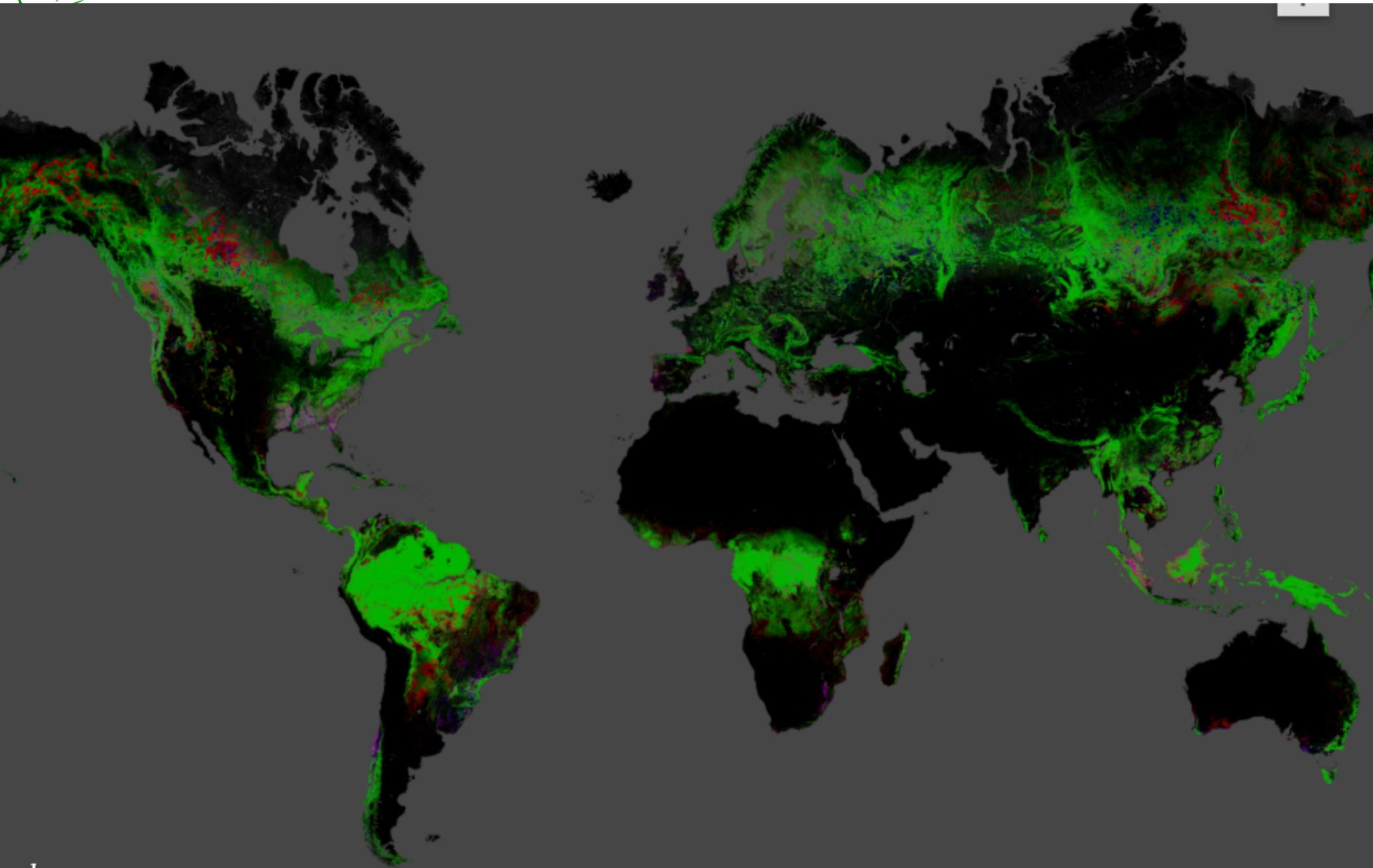
Multifonctionnalité: production (bois + pdts non ligneux), biodiversité, énergie renouvelable, Protection des sols (érosion, inondations), cycle de l'eau et du carbone, tourisme

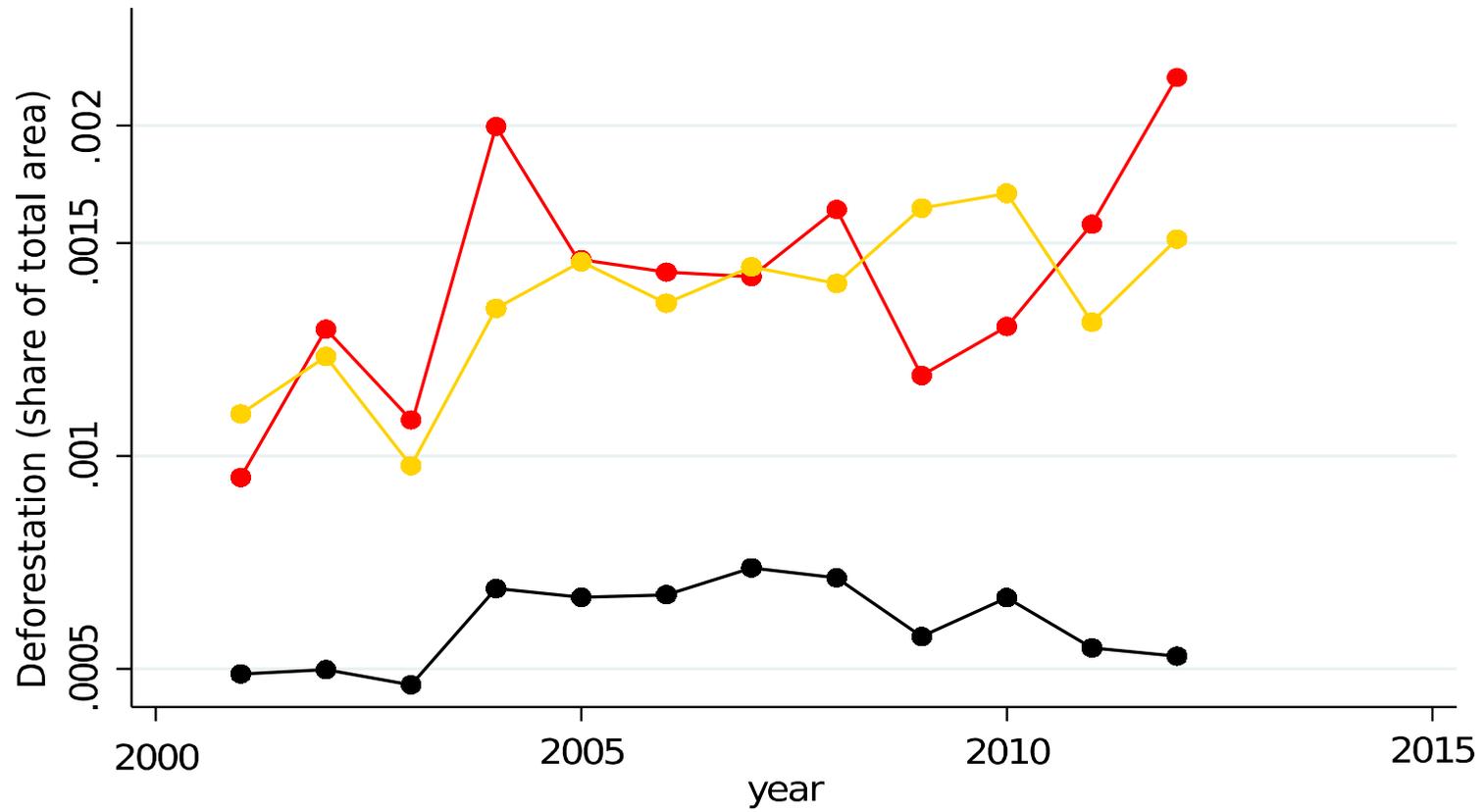
Primaire vs. Secondaire : couvrait 50% de surface terrestre (8000 ans) 30% auj.

Déforestation:

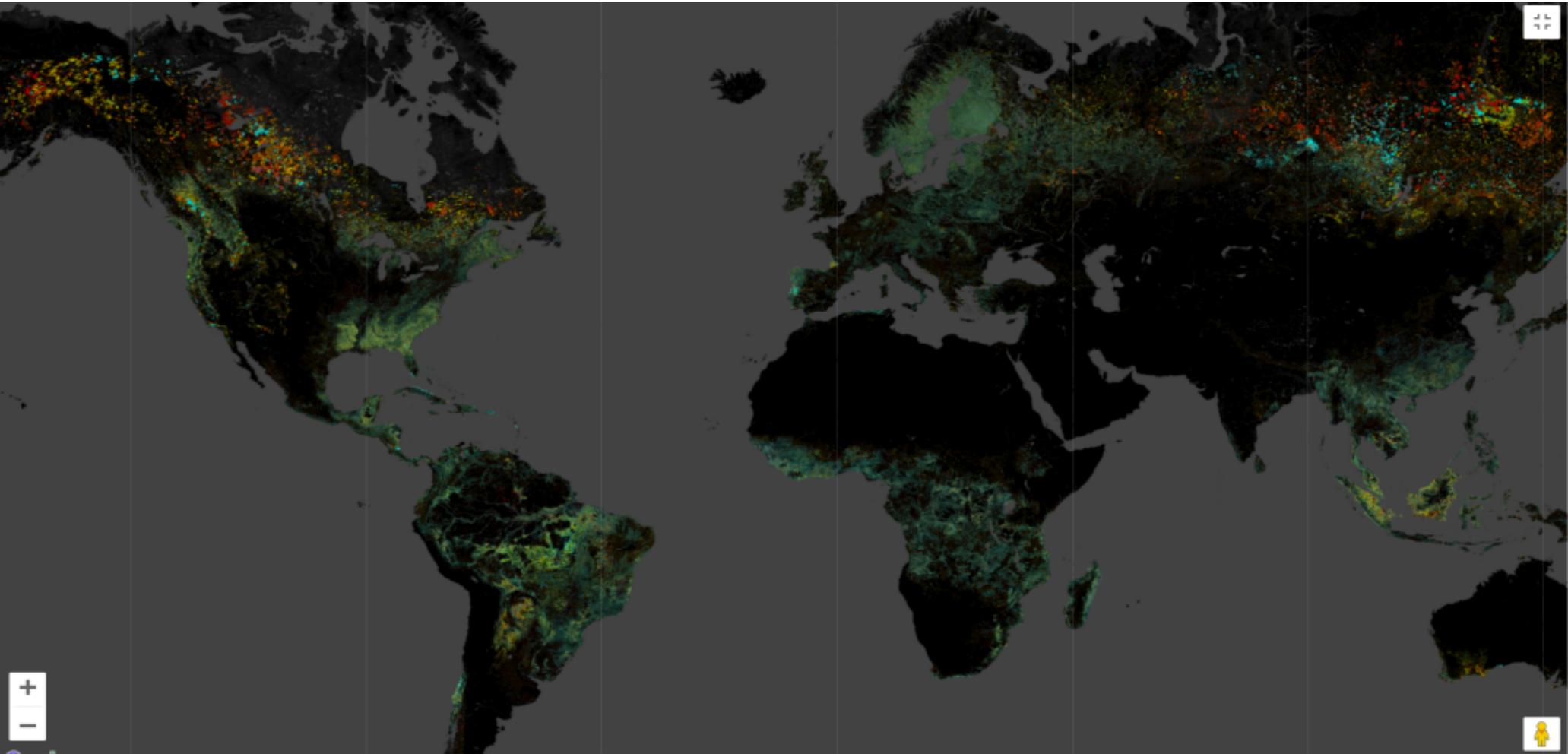
- Causes: feux (origine humaine ou non), extraction de ressources naturelles: agriculture, sables bitumineux...
- Conséquences (forêt primaires): pertes de biodiversité, retenue de l'eau (inondations), climat local (albedo), irréversibilité (800 ans)
- Potentielle gestion lorsque l'observation en temps réel est possible, (monitoring), REDD+
...
+ certifications bois exportés (pb capacité, données...)

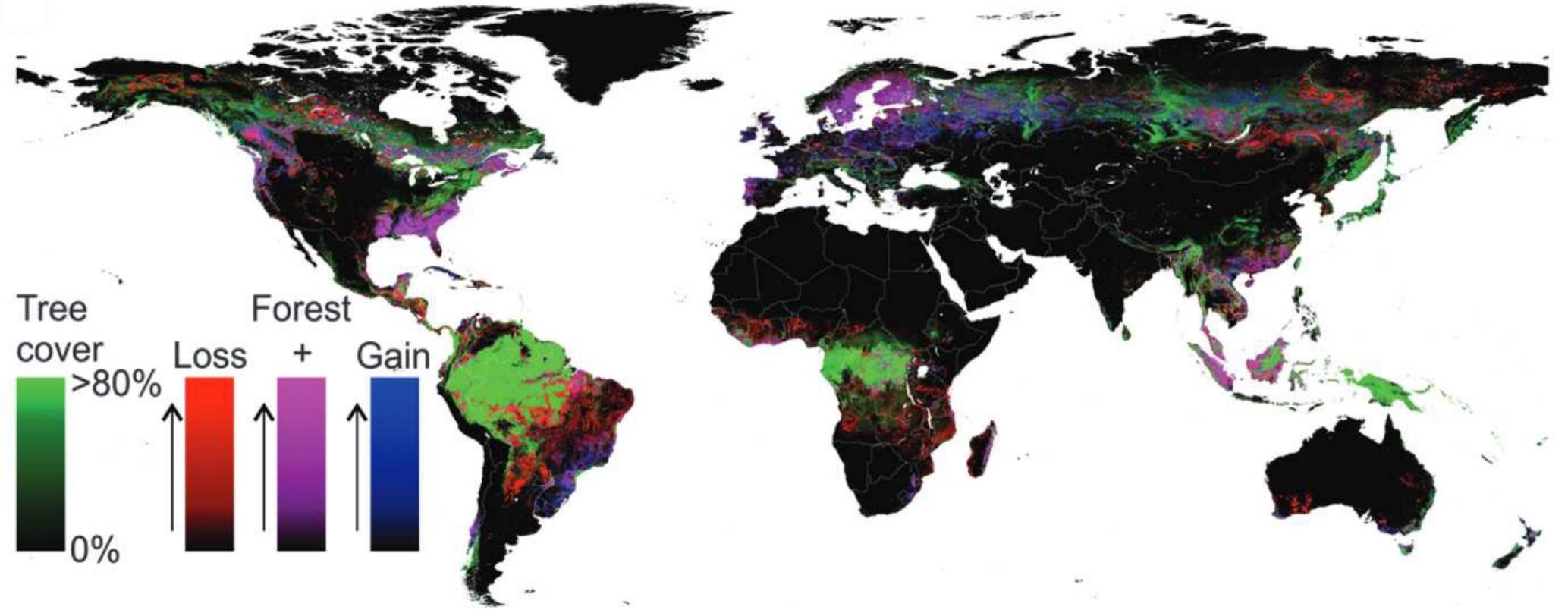
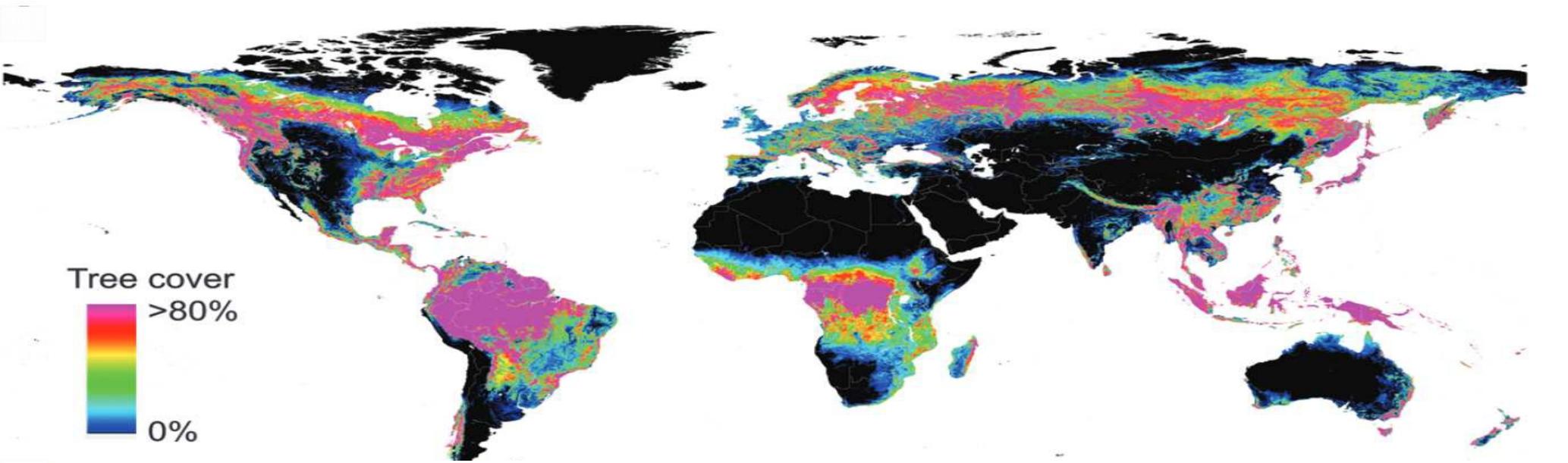






Update Hansen et al. (2017)

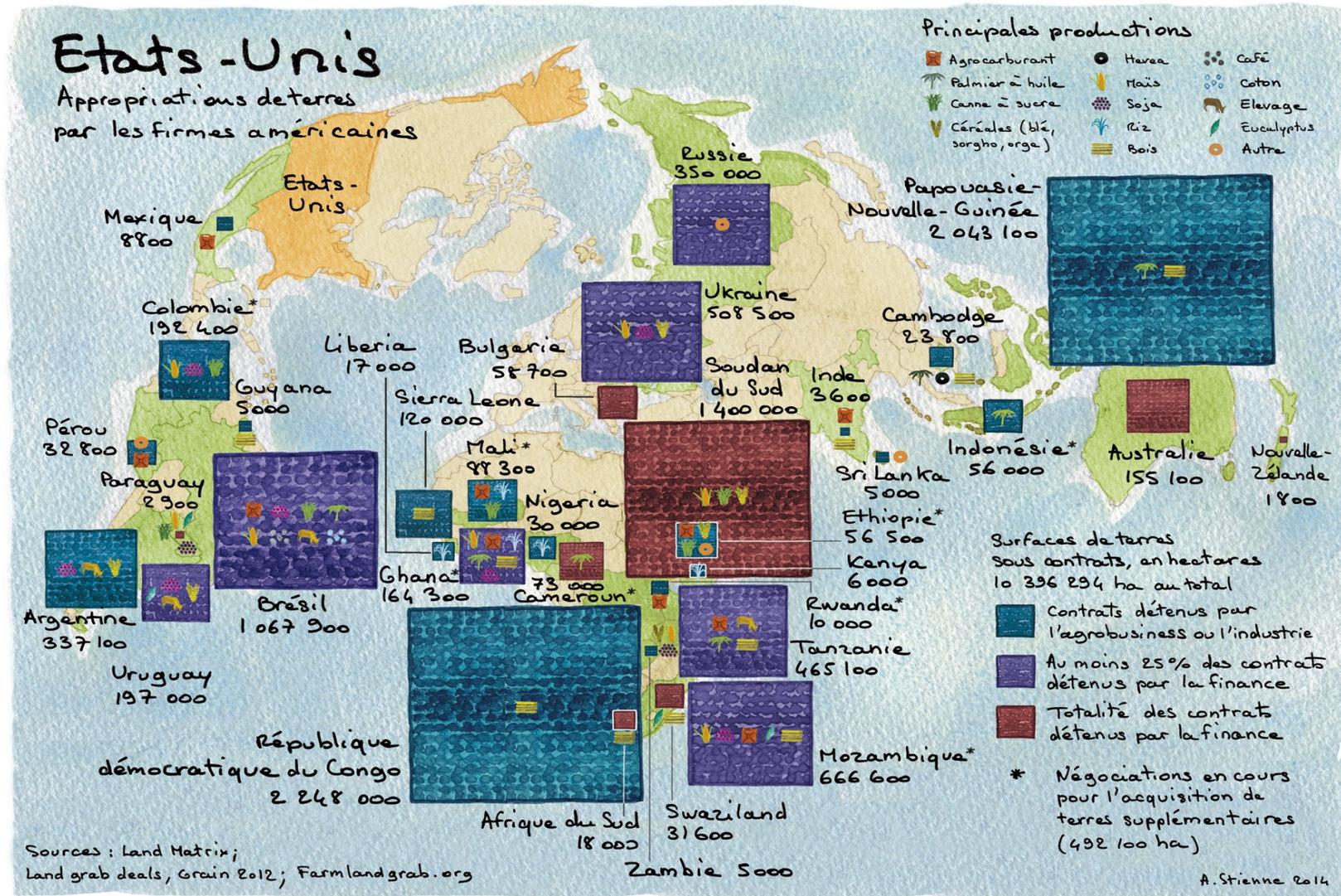




Terres arables

Land rush / land grab(bing) / ruée vers...

US mais aussi Corée du Sud, Chine et Inde, source: <http://visionscarto.net/>





Différence entre ressource renouvelable cultivée et non cultivées :

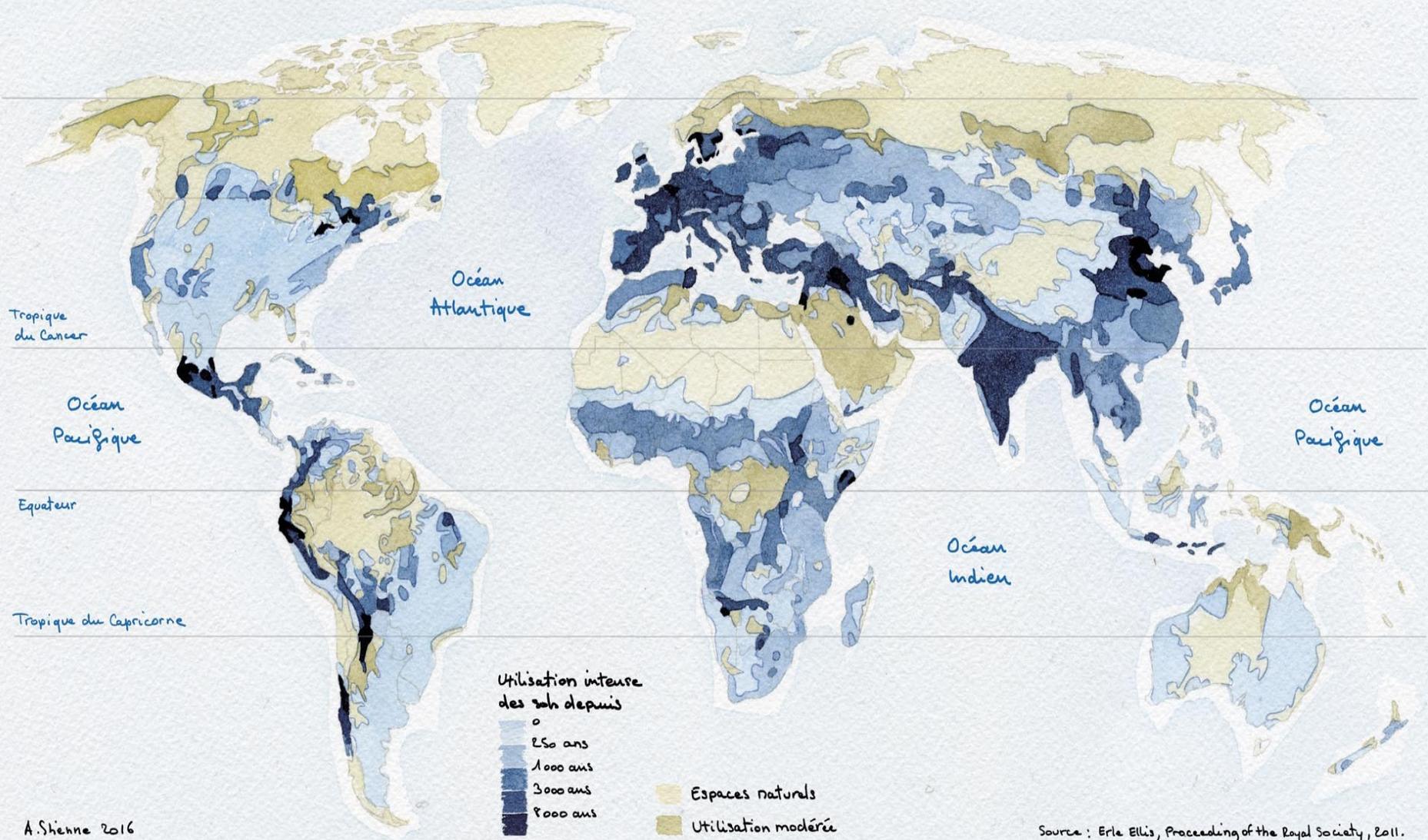
Entre forêt et les stocks de poissons

Et dans les règles de gestion :

Colbert, coupe 1 plante 3 ; Règle de Faustman (âge optimal de rotation), invention de l'actualisation.

Pas possible de choisir de pêcher uniquement les poissons d'un âge donné (hors aquaculture)

Transformation anthropogénique des sols



A. Sienne 2016

Source : Erle Ellis, *Proceeding of the Royal Society*, 2011.



Marché du carbone

Coase vs. Pigou

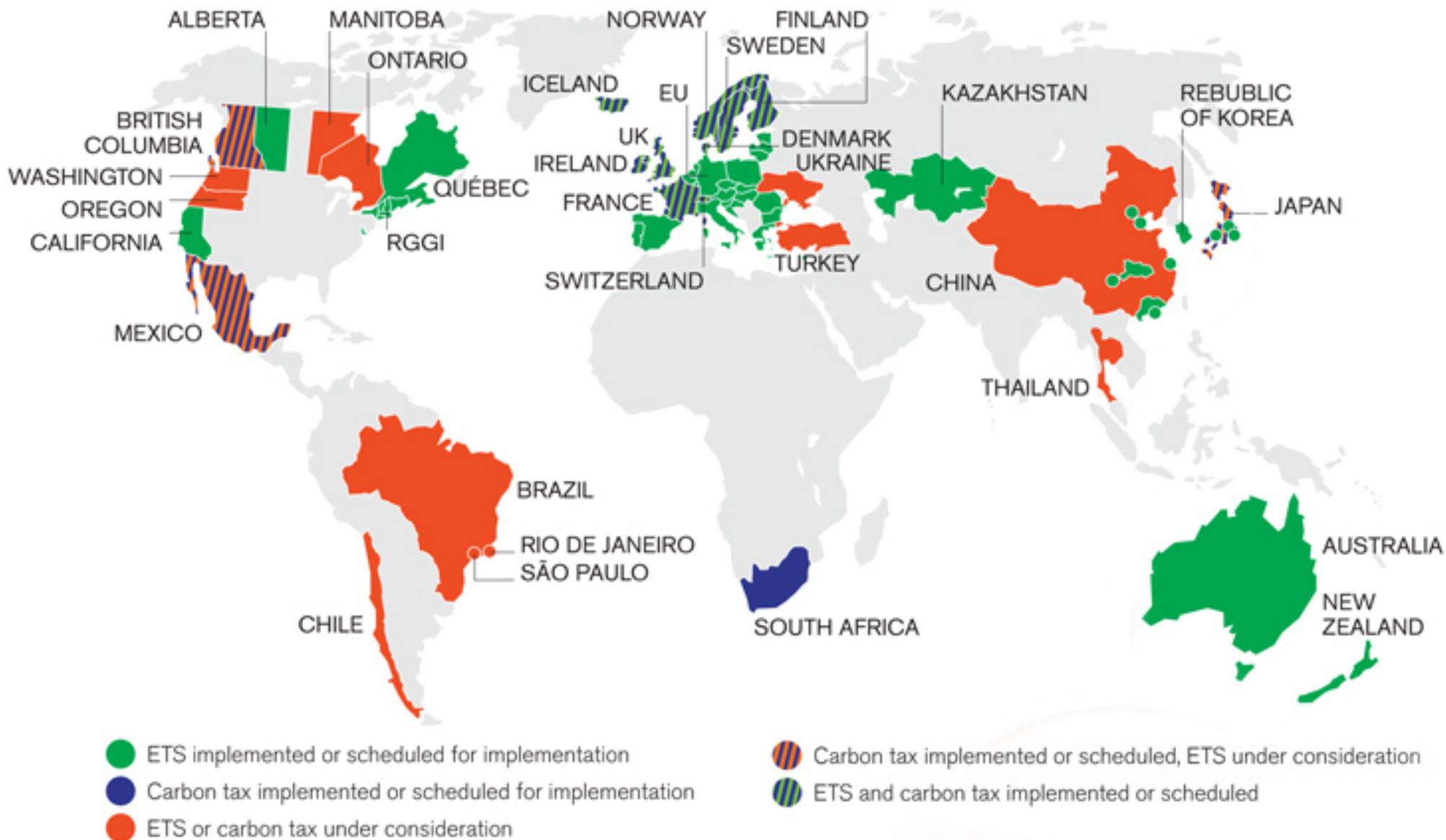
Pb d'incitations et comment réguler, polluants globaux (ozone Co2) vs. polluants locaux

Marché du carbone (cap and trade, solution intermédiaire)

- MDP (CDM), & Certified Emission Reductions (CERs)
- EU ETS, droits à polluer
- pb de leakage ('fuite'), en contraignant seulement au sein d'un pays ou d'une zone on risque de reporter le pb sur d'autre endroits, moins contraints, par le biais du commerce international

Taxe carbone

- Acceptation sociale et effets anti-redistributifs
- Poids industriel & économique du secteur énergétique et industries lourdes
⇒ lobbies



Source : Banque Mondiale

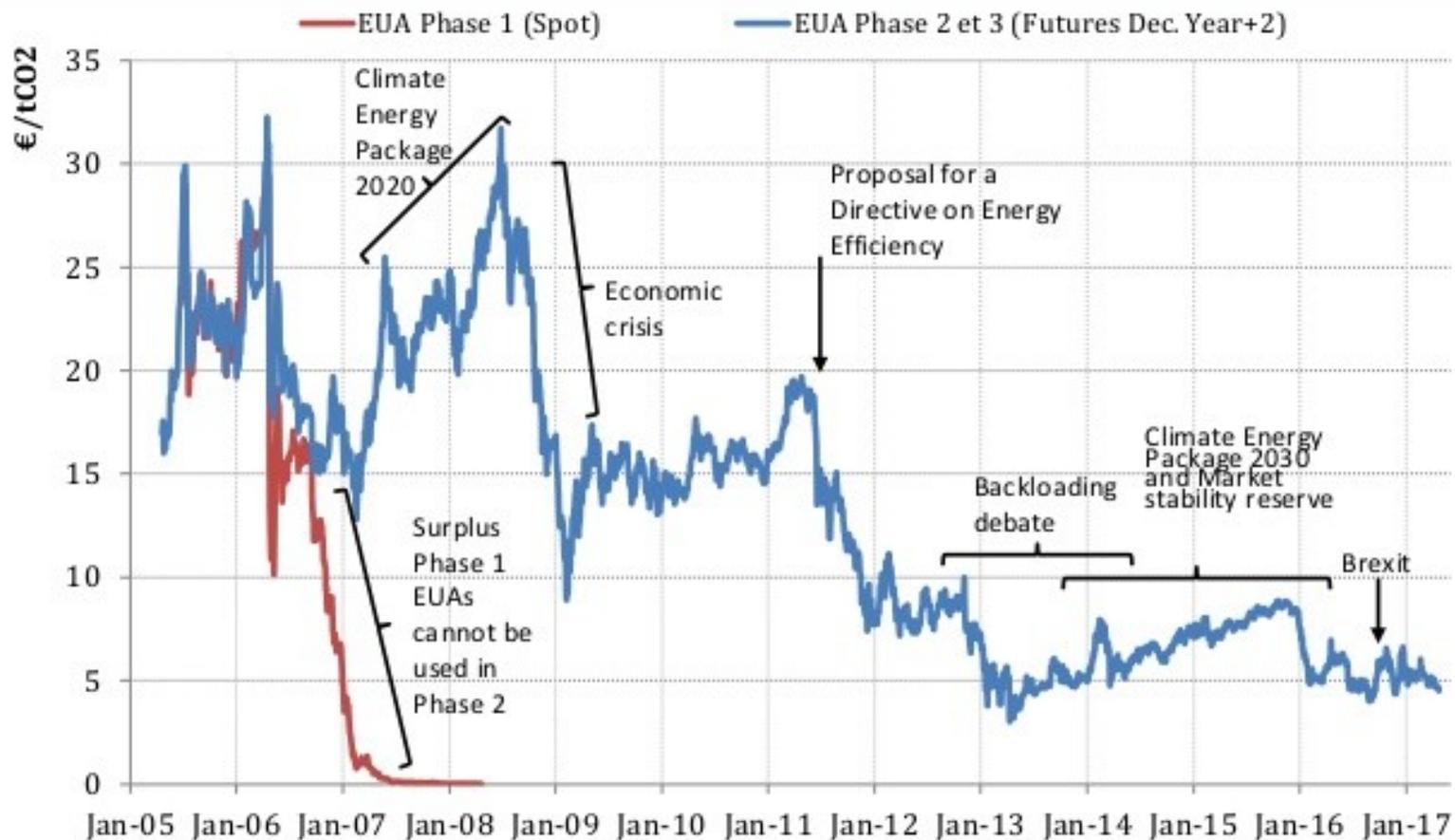
Figure 4: EUA and CER prices (2008–2013)



Bruxelles en juillet 2013, après des mois de négociations, gèle 900 millions de tonnes de quotas CO2 jusqu'en 2020 pour tenter de sauver le marché européen du carbone. L'objectif était de ramener le prix de la tonne de CO2 entre 8 et 12 euros. On en est loin, notamment parce que les marchés espéraient alors un gel de 1,4 milliard de tonnes.



What is your carbon price anticipation ?



Source: Climate Economics Chair from Bluenext and ICE ECX Futures



3.1 Exemples pratiques: les assurances indicelles

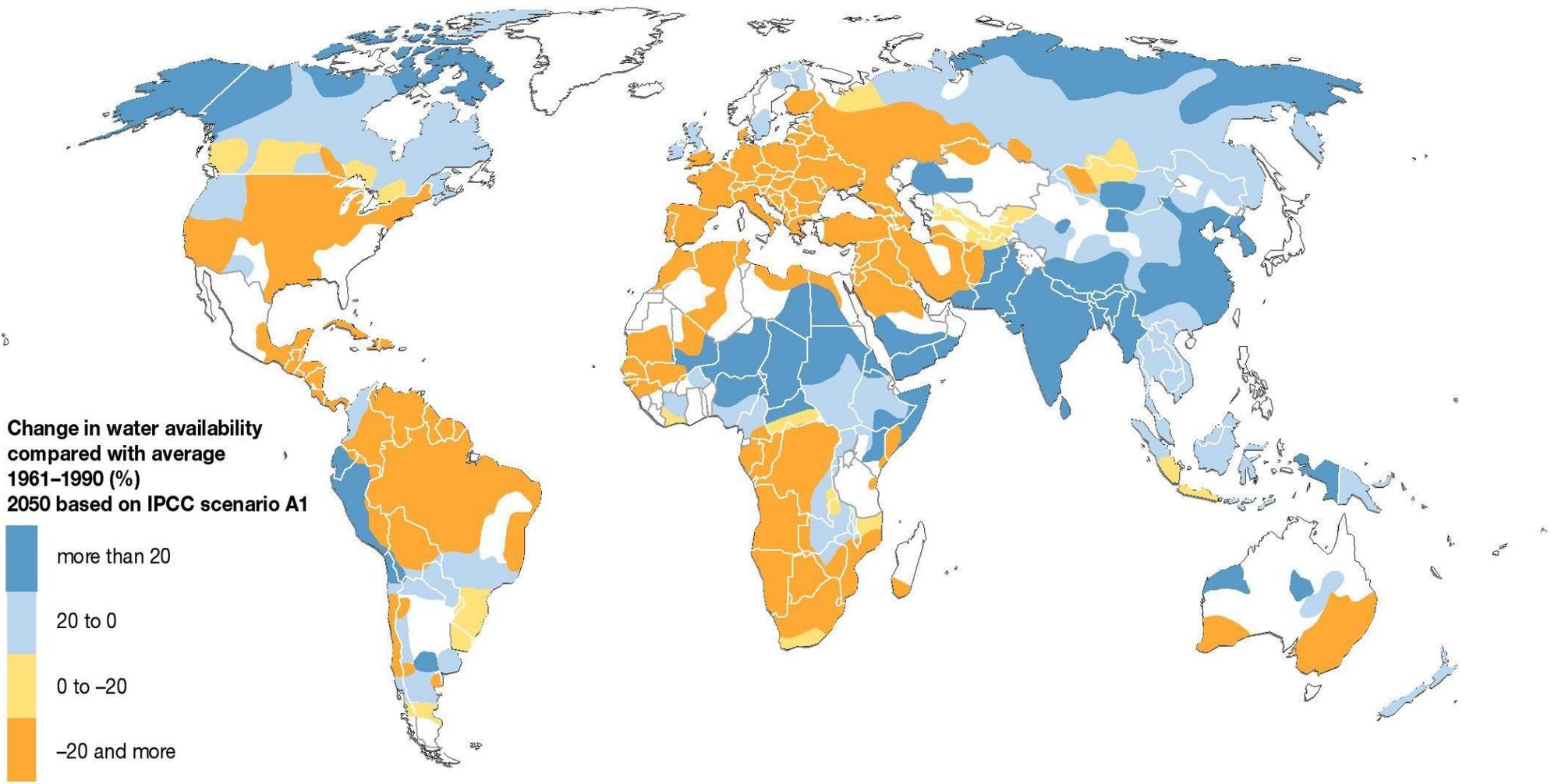
Eau: à priori renouvelable (cycle: évaporation condensation, retour à la mer),
mais en réalité eau douce pour usage domestiques plutôt **non renouvelable** (conf. International Dublin (1992))

Bien public (connexion illégales réseau),
mais exclusion des usagers qui ne paient pas leur factures □
bien de club

Agriculture consomme 70%, usages industriels (22%, 59% ds pays riches, 10% faibles revenus)
usages domestiques (8%)



Water



Change in water availability compared with average 1961-1990 (%) 2050 based on IPCC scenario A1

- more than 20
- 20 to 0
- 0 to -20
- 20 and more

Source: Arnell 2004.

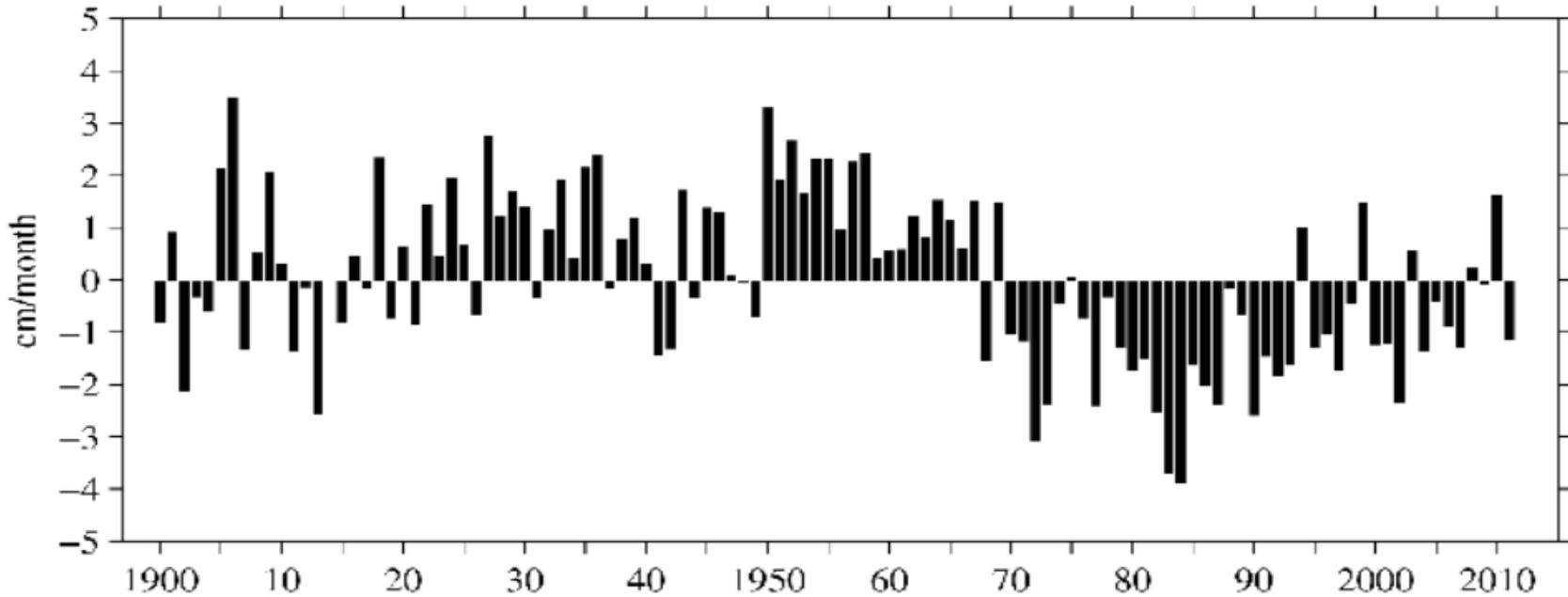


FIGURE 10 – Anomalie de précipitations au Sahel (10° - 20° N ; 20° W- 10° E) sur la période 1900-2011 : moyennes de cumul de pluies de Juin à Octobre. Source : National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), NCDC Global history Climatology network data.

Evolution des précipitations, reprise mais hausse de la variabilité intra-saisonniers, source Dai et al., 2011 ==> dégâts

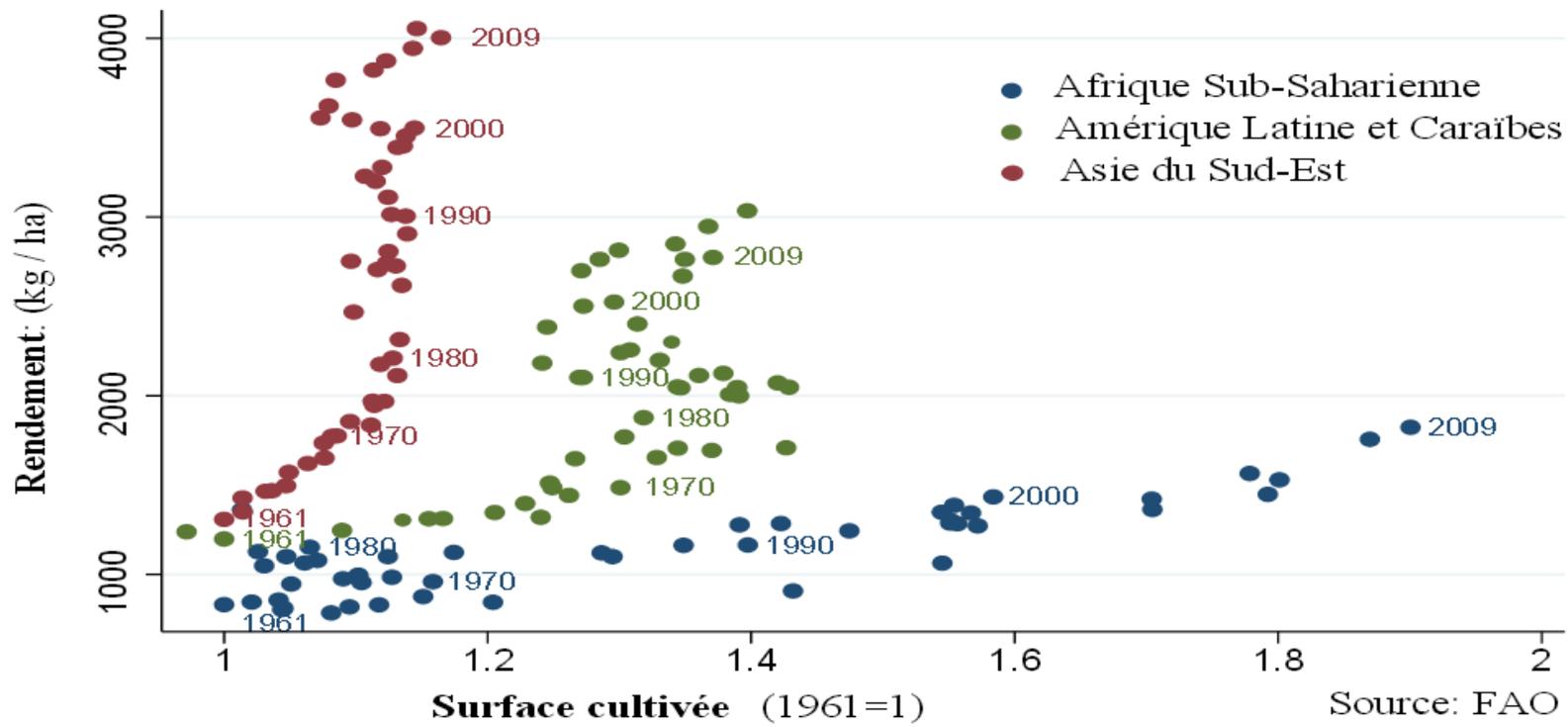


FIGURE 2 – Rendements céréaliers (hg/ha) en fonction des surfaces cultivées (par rapport à la surface cultivée en 1961) en céréales dans différentes régions en développement (1961-2009). Source FAO, 2011.

Développement extensif en Afrique subsaharienne, *source FAO*

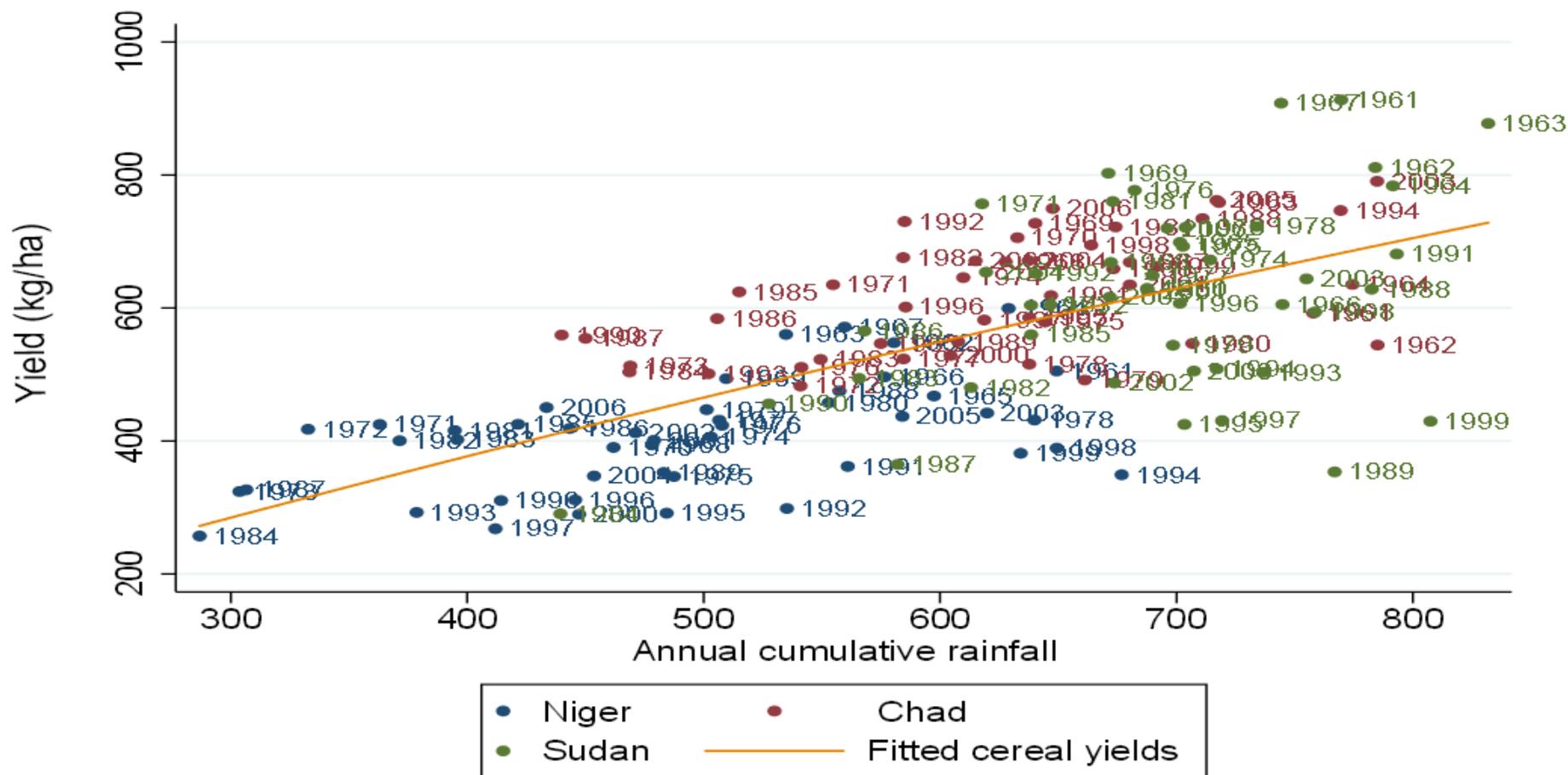


FIGURE 12 – Rendements céréaliers (kg/ha, données FAO) et cumul annuel de précipitation (mm, données CRU TS3) en zone soudanienne entre 1961 et 2006.

Liens forts entre pluviométrie et rendements dans la zone soudanienne
 Source: a pariement (auteur) données FAO et CRU TS3.1



Outils d'adaptation

ex : gestion du risque climatique

Postulats:

- le **risque** (proba connues) météo pesant sur les producteurs
 - désincitent à investir dans les **intrants** (engrais, pesticides, herbicides) (non remboursés en cas de sécheresse) => baisse rendement moyens
- Manque d'accès au marché du **crédit, assurance...**(secteur privé formel)

Grande **incertitude** sur futur (proba inconnues) à gérer
(sortie de modèles climatique, downscaling, modèles économique...)

Pourquoi ceux là parmi de nombreux autres (coût opportunité)

- sms prix pour intégrer les marchés
- Gouvernance
- infrastructure : coûts transports prohibitif, droits de douanes...
- pb subventions du Nord / APE ACP, échanges Sud Sud...



Besoin de protection contre le risque du producteur

Patrimoine du producteur (A), rendements (Y) sujet aux coûts (C) et météo (M):

$$A_{t+1} = A_t + Y_{t+1} \cdot x C_t \cdot M_t - C_t$$

Main d'oeuvre doit être incluse ds coûts mais souvent pas comptabilisée

==> si A faible, importance de limiter



Outils d'adaptation

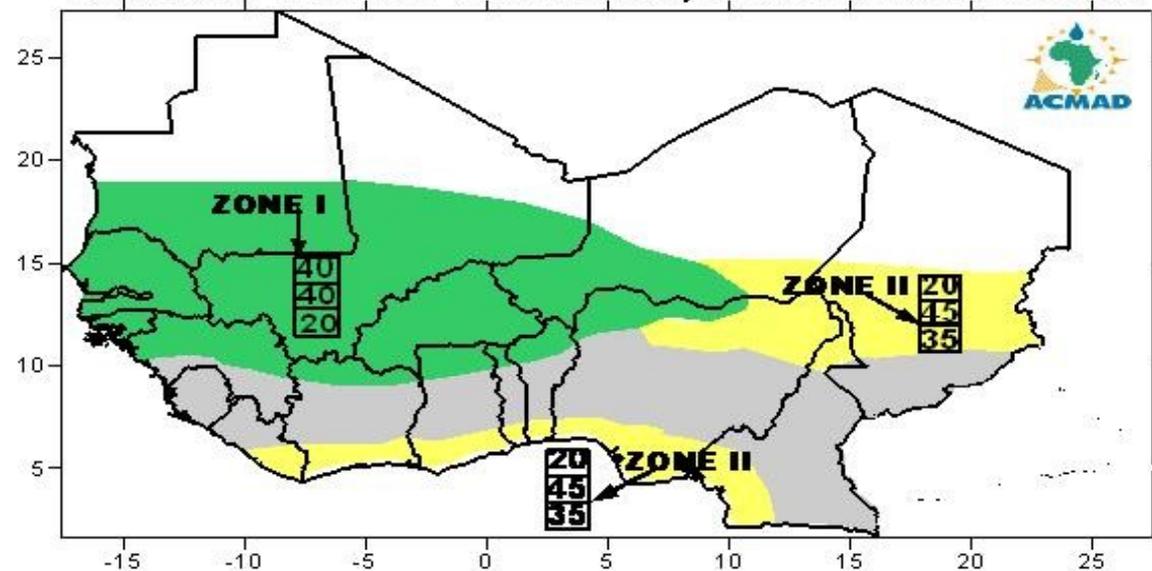
ex : gestion du risque climatique

Exemple des prévisions saisonnières

Assurance indicielles

**SEASONAL PRECIPITATION FORECAST FOR JULY-AUGUST-SEPTEMBER 2013
ISSUED ON MAY 28 2013**

**PREVISION CLIMATIQUE SAISONNIERE DES PRECIPITATIONS
DE JUILLET-AOUT-SEPTEMBRE 2013, ELABOREE LE 28 MAI 2013**



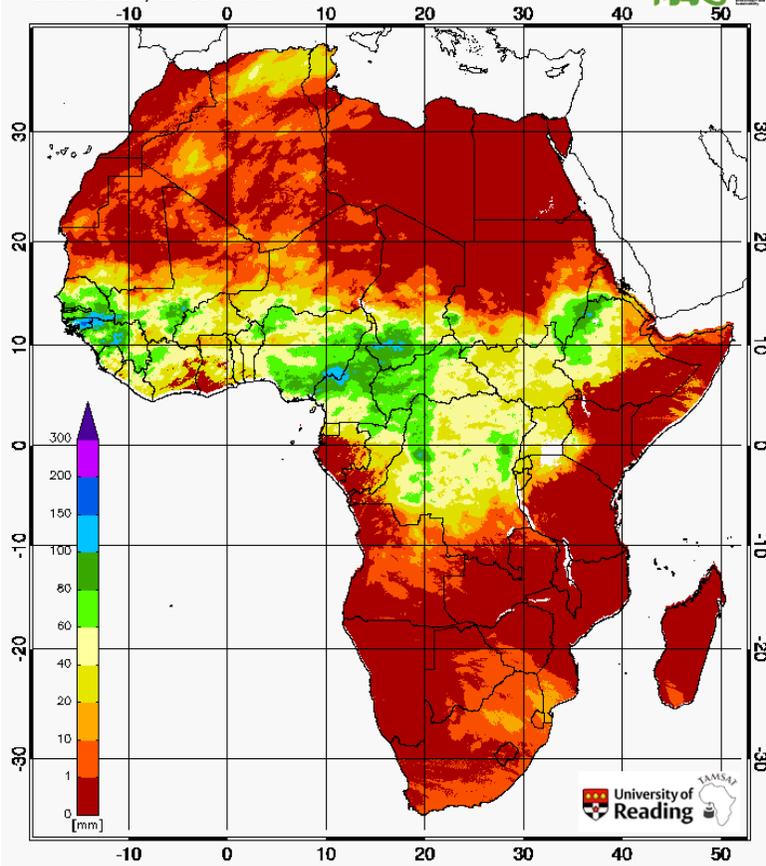
LEGENDE

S	SUPERIEURE A LA NORMALE
N	NORMALE
I	INFERIEURE A LA NORMALE
□	ZONE DESERTIQUE
□	CLIMATOLOGIE

LEGEND

A	Above Normal
N	Normal
B	Below Normal
□	DESERT AREA
□	CLIMATOLOGY

Region: Africa
Period: Year 2015, Month 09, Dekad 1
Theme: Rainfall Estimate
Accumulated rainfall in period
Source: TAMSAT, derived from MSG TIR



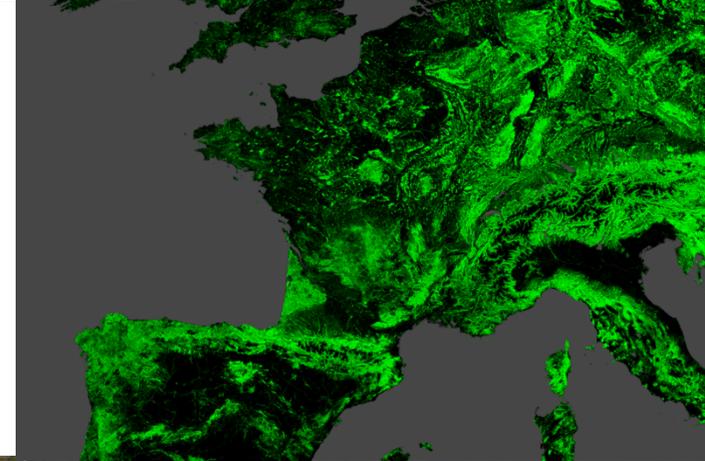
The geographical boundaries are purely a graphical representation and are only intended to be indicative. These borders do not necessarily reflect the official EC position.

Infrastructure : réseau dense stations météo





Monitoring par satellite permis aujourd'hui
dans de nombreux domaines



Ex:

- Forêt (Land sat. modis)
- Croissance vegetaux (ndvi) / surface foliaire (LAI) etc.



Prévisions météo

Intéresse les producteurs

Pb de mise en oeuvre:

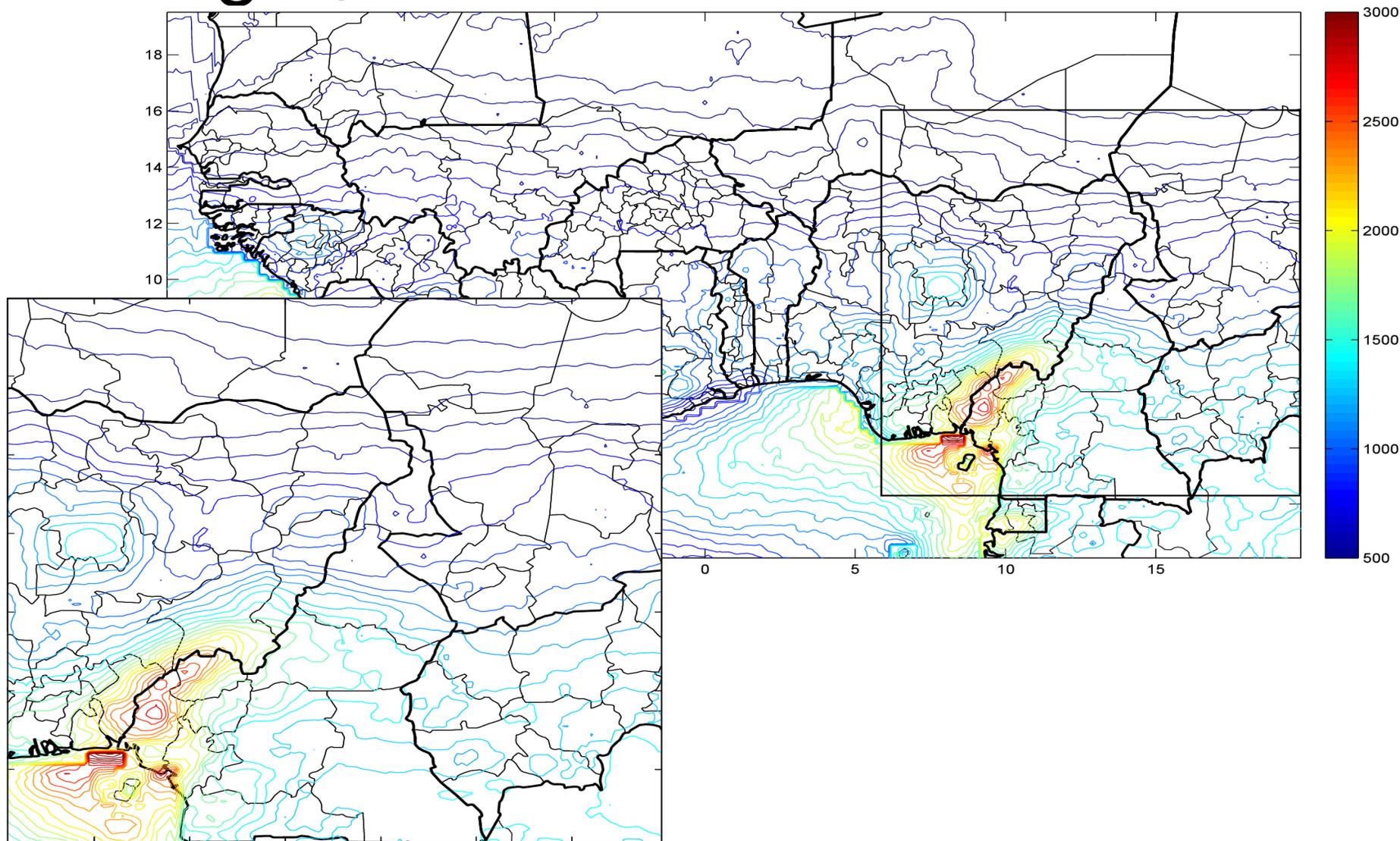
Prévision nécessairement imparfaites

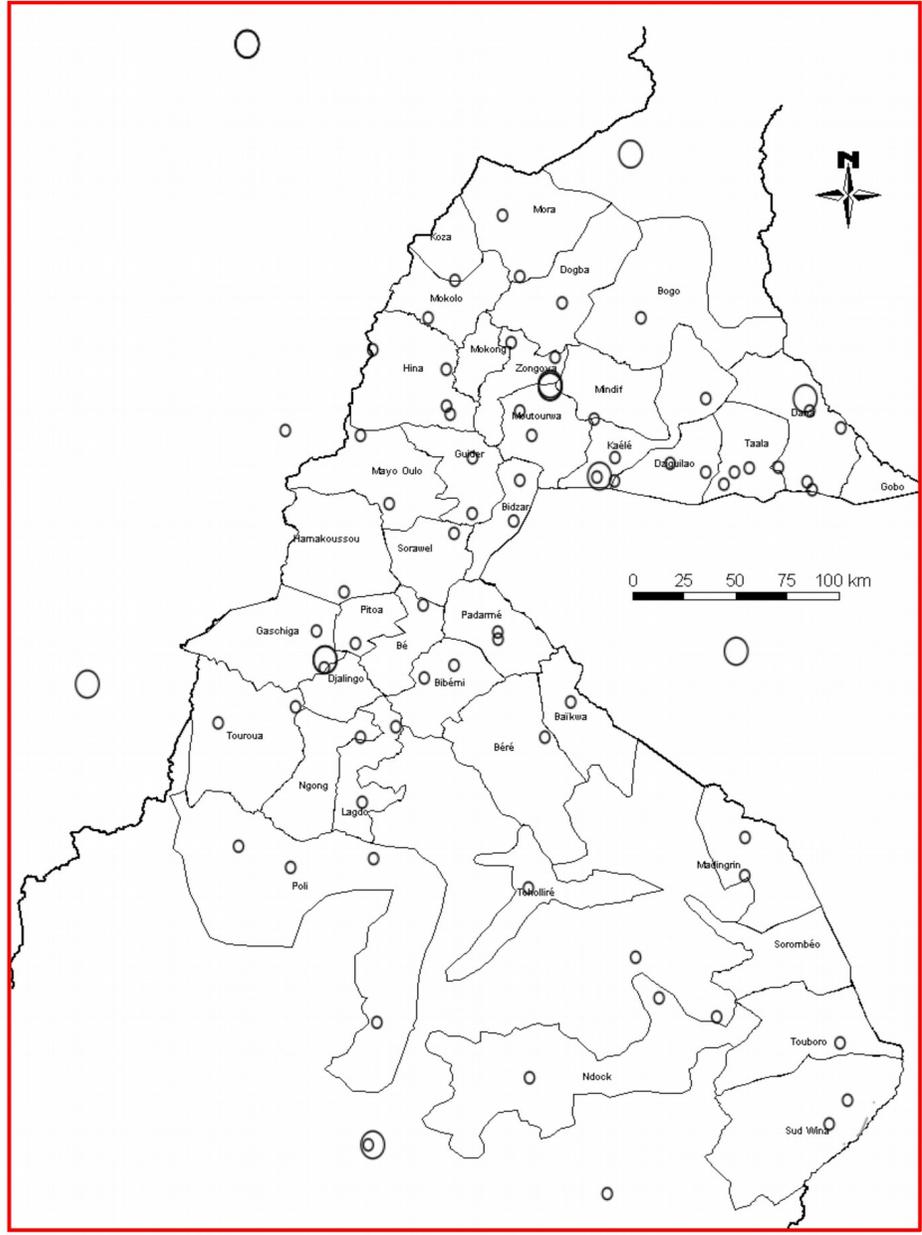
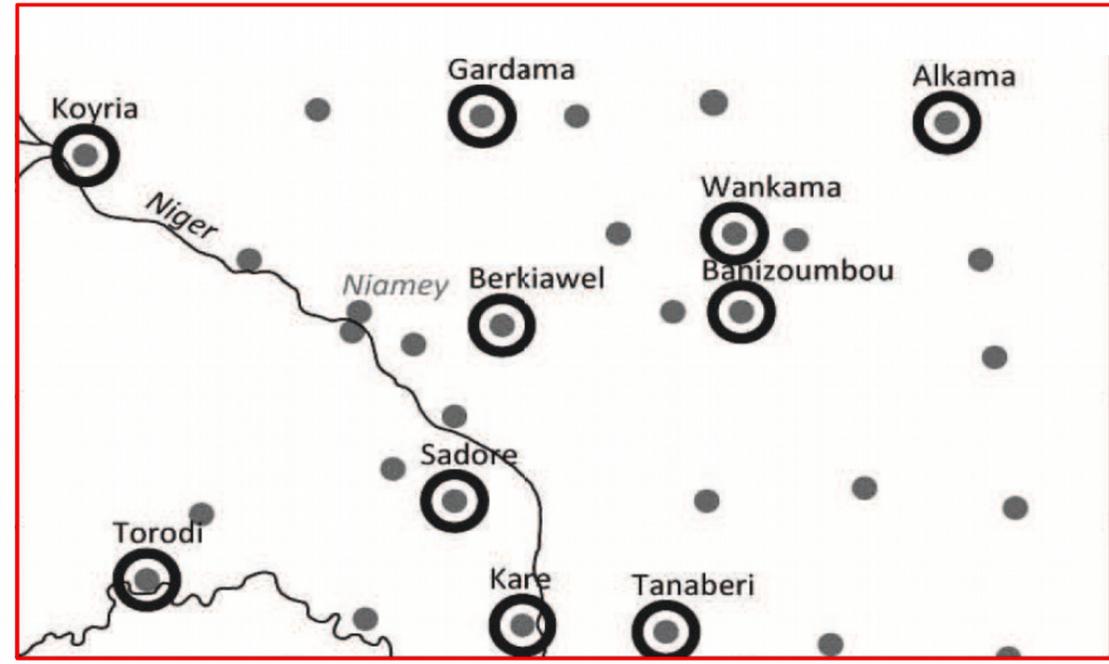
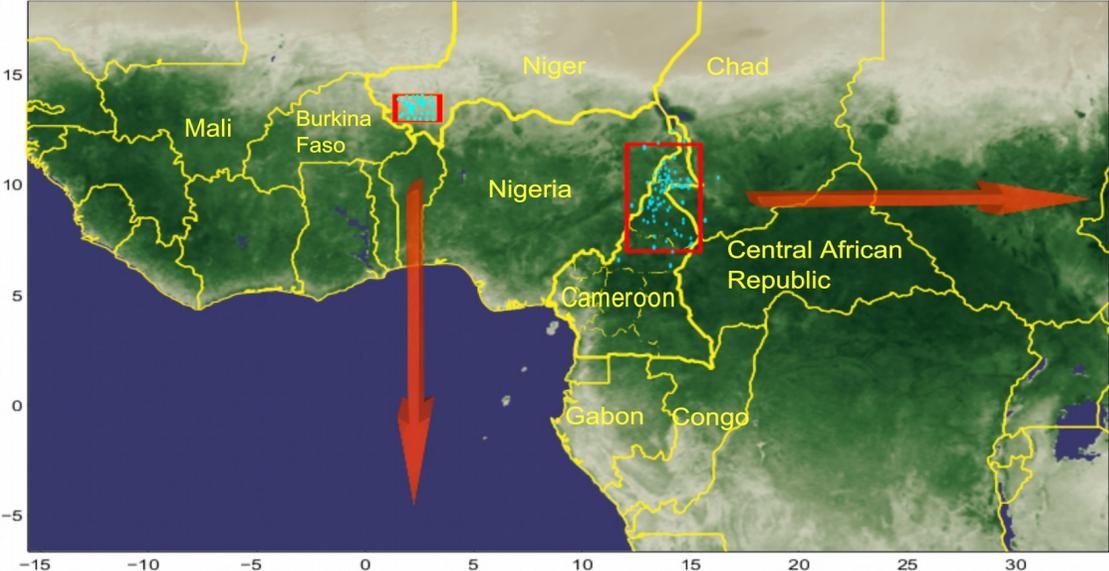
Notions d'indices météo complexes et probabilistes

(cumul annuel et saisonnier, durée saisons, nb période sèche: *dry spells* et pluies fortes)



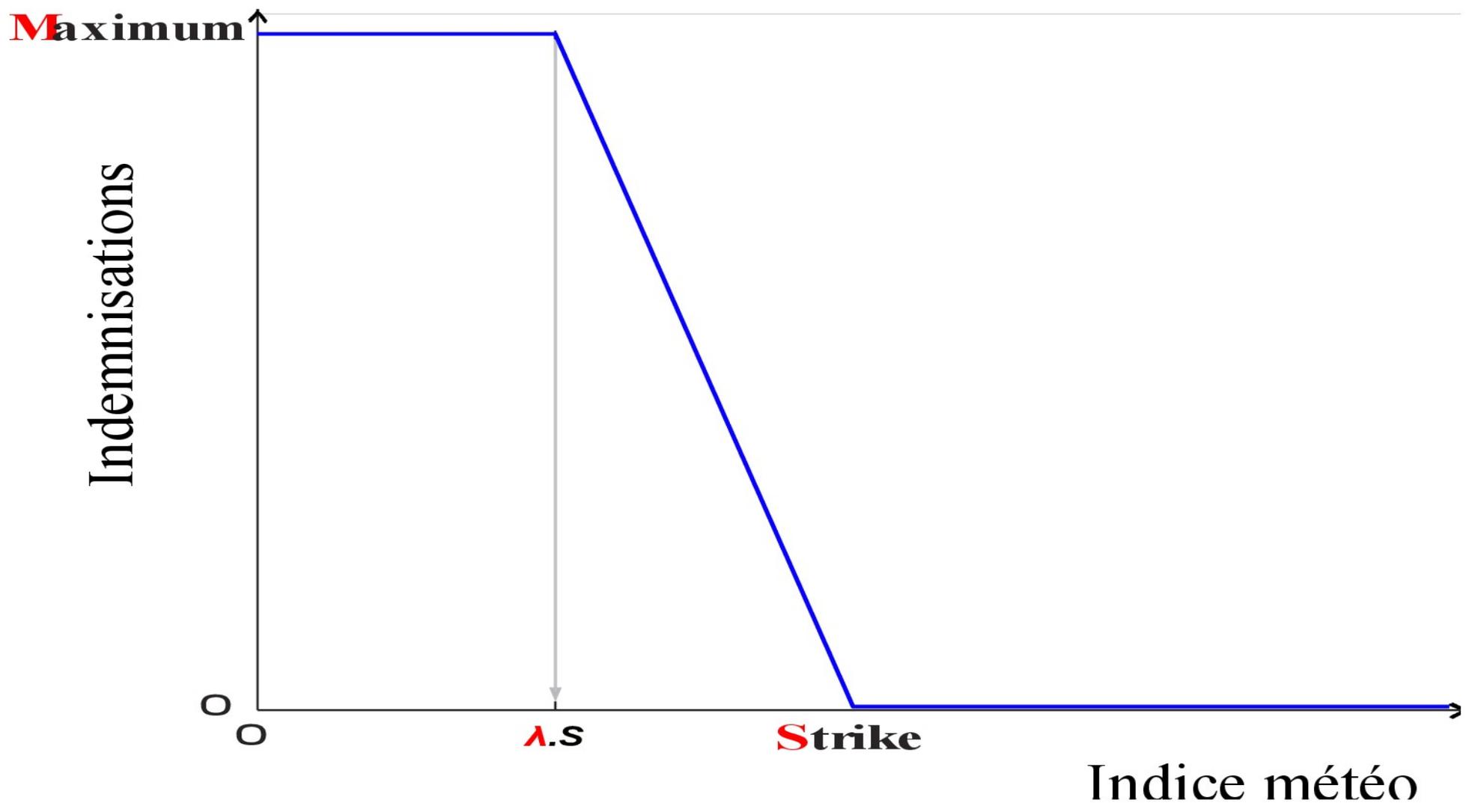
Assurances : 2 cas d'étude: Mil au niger, Coton au Nord Cameroun







Contrat type





Résultats de thèse

- Assurances:
 - pb importants de mise en oeuvre
(intérêt limité: problème risque de base, défiance, appréhension proba)
 - gain relativement faible (sauf)
 - gradient nord sud (calibration précise mais incompréhensible...) niveau d'indices surcalibrés



Ex. Assurance macro:

- 1ere experience AXA en Etiopie, 2006, aucune indem...
- Puis Mongolie (séche. bétail), Caraïbes (tornades)...

African Risk Capacity

- prime d'assu: 8 M usd
- indem en 2015 (Niger, Mauritanie, Sénégal)

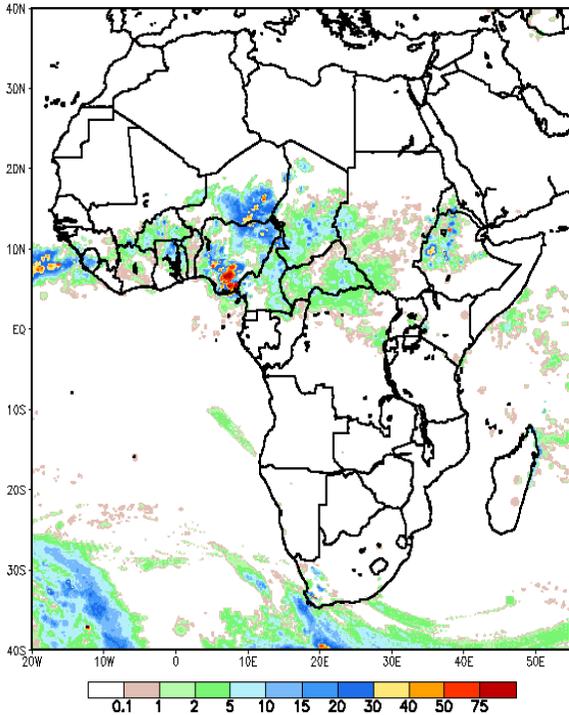
Africa RiskView

Africa Riskview is a software package developed by the UN World Food Programme and is the technical engine of the ARC. It uses satellite-based rainfall datasets to quantify the impact of a severe drought event and to trigger payouts to participating countries. Experts are working to expand the early-warning tool to address other hazards, including floods and cyclones.



NOAA CPC FEWS-NET Rainfall Estimate (mm):
based on Satellite and Rain Gauge Data

JUNE 24 2013



Early warning (gestion cat nat, arrivée secours, aide alimentaire etc.):

FEWSNET (nasa, sécheresse)

Mais aussi Inondations (bangladesh), tempêtes (caraïbes), tremblements de terres,
tsunamis...



Confrontation à nvx pb env.

- érosion des sols (pb inondations + fertilité: bonnes pratiques de maintien: SCV, limiter labours, intensives en m.o.)
- variabilité de la météo et rétention des sols nus (pb déforestation)
(bonne pratiques: demi-lunes...)
- souveraineté alimentaires dans un monde à 10 milliards (2050)
➔ vers maraîchage local utilisant agroécologie
- (climate) Smart agriculture vs. Agroécologie ?



Conclusion générale: quelques concepts, mots clés...

- Externalités
- Biens publics
- Surexploitation
- Ressources naturelles
renouvelables/non-renouvelables

- Optimum de Pareto
- Passager clandestin
- Dilemme du prisonnier
- Tragédie des communs
- Taxe pigouvienne
- Négociation coasienne
- Règle d'Hotelling
- Règle d'Hartwick



Références bibliographiques

Buchanan J. (1965). An economic theory of clubs, *Economica* 32(125):1-14.

Coase (1960). The problem of social cost, *Journal of Law and Economics* 3(1): 1-44.

Dales J. (1968). Pollution, property and prices, University Press, Toronto.

Hardin G. J. (1968). The tragedy of commons, *Science* 162: 1243-1248.

Hartwick J.M. (1977). International equity and the investing of rents from exhaustible resources. *American Economic Review* 67:972-974.

Howe C.W. (1979). Natural Resource Economics. John Wiley & Sons Inc., New York.

Jevons W.S. (1865). The Coal Question. MacMillan and Co., Londres.

Malthus T.R. (1798). Essai sur le principe de population.

Meadows D.H. et al (1972). The Limits of Growth. Universe Books, New-York, et Earth Island Press, Londres.

Olson M. (1965). The logic of collective action: Public goods and the theory of groups, Harvard University Press, Cambridge.

Elinor Ostrom (2010). Beyond markets and states: polycentric governance of complex economic systems, *American Economic Association*, vol. 100, no 3, p. 641–72.

Pigou A.C. (1932). The economics of welfare, Macmillan and co. Limited, London.

Ricardo D. (1817). Principes de l'Economie Politique et de l'Impôt.

Samuelson P.A. (1954). The pure theory of public expenditure, *Review of Economics and Statistics*, 36(4): 387-389.

Say J.B. (1803). Traité d'économie politique ou simple exposition de la manière dont se forment, se distribuent ou se consomment les richesses.



antoine.leblois@nancy.inra.fr



Conclusion générale: quelques idées à retenir...