

Missions conjointes sur les usages non alimentaires de la biomasse

Conseil général de l'environnement et du
développement durable

Conseil général de l'agriculture, de l'alimentation et
des espaces ruraux

Conseil général de l'économie, de l'industrie, de
l'énergie et des technologies

Plan en quelques questions

1. Quelles controverses autour des usages non alimentaires de la biomasse ?
2. Quelles unités pour quantifier les comparaisons ?
3. Quelles énergies dans le Monde, l'Europe, la France ?
4. Quelles émissions de gaz à effet de serre (GES) ?
5. Biocarburants : quel potentiel ? quelles performances ?
6. Quelle production, quels usages pour la biomasse récolté ?
7. Quelles caractéristiques et affectations des terres ?
8. Quelles conditions pour couvrir l'enjeu alimentaire et réduire les émissions de GES ? Quels coûts ?
9. Quels éléments de réponse ?

Quelles controverses ?

Manger ou rouler ?

27/06/12

André-Jean Guérin

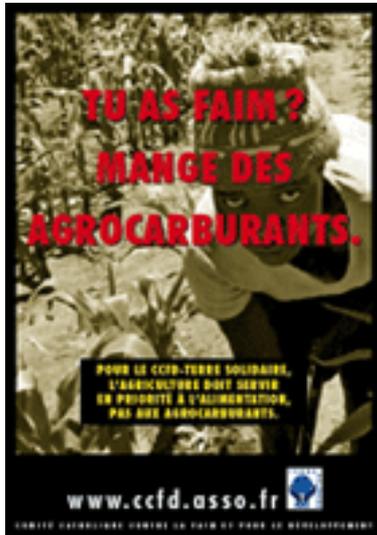
4



- Avril 2008, émeutes de la faim à travers le monde suite à la flambée des prix des matières premières alimentaires.
- Plus de 37 pays d'Afrique, d'Asie et d'Amérique latine représentant un total de 89 millions de personnes sont directement affectés par la crise alimentaire.

Jacques Diouf, DG de la FAO, met en avant :

- La baisse de la production due au changement climatique,
- Le niveau de stocks extrêmement bas,
- La consommation plus grande dans les économies émergentes telles que la Chine et l'Inde,
- Le coût très élevé de l'énergie et du transport,
- Et surtout la demande accrue pour la production de biocarburants.

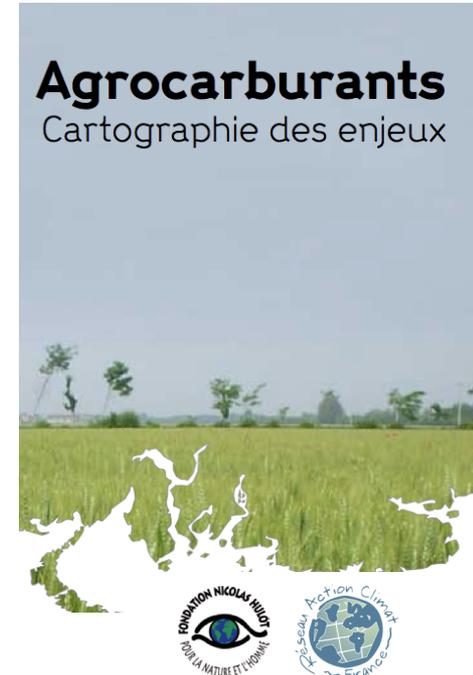


L'affiche de la campagne Agrocaburants 2008

Biocarburants:
le holà de
Peter Brabeck,
futur ex-patron
de Nestlé
- 23.03.2008



«Si l'on veut couvrir 20% du besoin croissant en produits pétroliers avec des biocarburants, comme cela est prévu, il n'y aura plus rien à manger», relève Peter Brabeck dans une interview accordée à la «NZZ am Sonntag». «Accorder d'énormes subventions pour les produire est inacceptable moralement et irresponsable.» «C'est un non-sens politique», poursuit-il.



Construire ou se chauffer ?

27/06/12

André-Jean Guérin

5



Vers un conflit d'usages autour du bois ?

La disponibilité du bois énergie et les conflits d'usage avec les autres filières inquiètent les spécialistes du secteur. Si le bois ne manque pas, il semble délicat de le sortir des forêts, surtout au prix actuel.

07 juillet 2011 | Actu-Environnement.com



Climat ou biodiversité ?



Gains



Pertes

Les forêts tropicales : enjeux globaux, perspectives

cirad
Alain Billand, Février 2012

Quelles unités ?

Quelles unités pour l'énergie ?

27/06/12

André-Jean Guérin

8

- Chaque type d'énergie privilégie son unité.
- J : le Joule, unité du système international, pour quantifier l'énergie, le travail et la quantité de chaleur ; le Joule étant une petite unité, on utilise ses multiples : GJ (10^9 J), PJ (10^{15} J), EJ (10^{18} J)
- Tep : tonne d'équivalent pétrole, et son multiple Mtep (million de tep), pour le pétrole en particulier
- Wh : Watt-heure, le kWh et le MWh pour l'électricité,
- Btu : British Thermal Unit pour le gaz naturel,
- Tec : tonne équivalent charbon,
- Cal : calorie ne fait plus partie du système international d'unité. Elle est utilisée dans le domaine thermique en tant qu'unité de chaleur et dans le domaine alimentaire sous son multiple : kcal.
- 1 tep = 41,855 GJ, (\sim 42 GJ) ;
- 1 tec = 29,307 GJ ; 1 tep = 1,4286 tec
- 1 kWh = 3,6 MJ
- 1 btu = 1 054 à 1060 J
- 1 cal = 4,18 J
- 1 cal alimentaire = 1 kilocal = 4 182 J
- 1 tep = 7,33 barils de pétrole
- 1 tep = 11 628 kWh ; 1 MWh = 0,086 tep
- 1 tep = 1 000 m³ de gaz \sim 40 Mbtu
- 1 tep/an = 27 420 kcal/jour (besoin énergétique alimentaire pour 10 personnes)
- 1 EJ \sim 24 Mtep

Quelles équivalences pour la biomasse ?

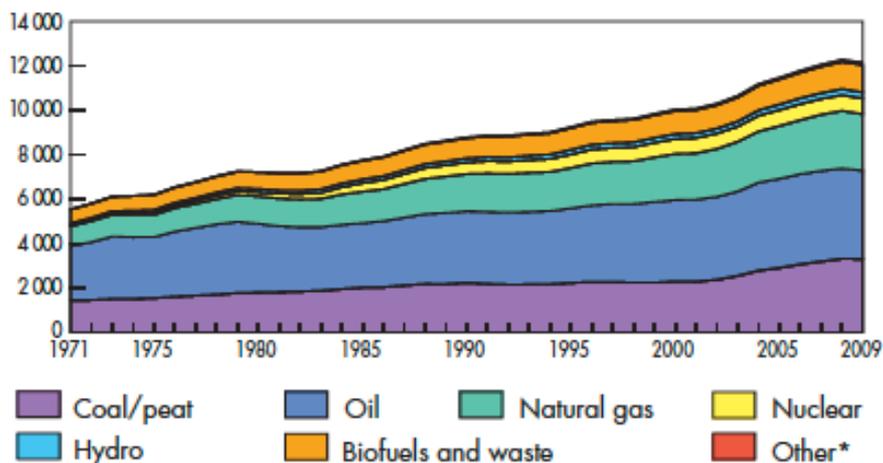
- 1 tep correspond à l'émission de # 4 tonnes de CO₂ ou # 1 tonne de carbone
- 1 tonne « fraîche » ou 1 m³ de biomasse cellulosique (bois ou paille) # 1 tonne de CO₂ # 3 Mwh pci de potentiel énergétique primaire
- 1 tep # 4 m³ ou 4 tonnes « fraîches » de biomasse cellulosique (bois ou paille), ou 6 tonnes de bio déchets organiques « humides »
- 1 ha de cultures ou plantations cellulosiques « efficaces » produit, chaque année, 12 tonnes de matière sèche (soit # 20m³/ha/an, ou 20 tonnes « fraîches »/ha/an, soit # 20 tonnes de CO₂ évitables) ou encore une énergie primaire de 5 tep/ha/an soit 58 Mwh/ha/an
- la fourniture d'une puissance thermique de 1 Mw durant 4000 heures par an (soit 4000 Mwh) nécessite la combustion d'environ 1 600 tonnes de biomasse cellulosique « fraîche » et permet, chaque année, l'alimentation saisonnière (en réseau) de 300 à 400 logements environ (rendement chaudière de 85%)
- la fourniture, en cogénération-biomasse, de 1 Mw électrique (1Mwe) de puissance suppose, en moyenne, la production préalable de 5 Mw thermiques (soit l'utilisation de 6 Mw pci en puissance d'énergie primaire-biomasse compte tenu d'un rendement chaudière de 85 %). Cela nécessite donc, durant par exemple 7 000 heures par an (soit 42 000 Mwh pci fournis), la combustion annuelle d'environ 14 000 tonnes de biomasse cellulosique « fraîche » pour 1Mwe de puissance fournie.

Quelles énergies dans le monde, l'Europe, la France ?

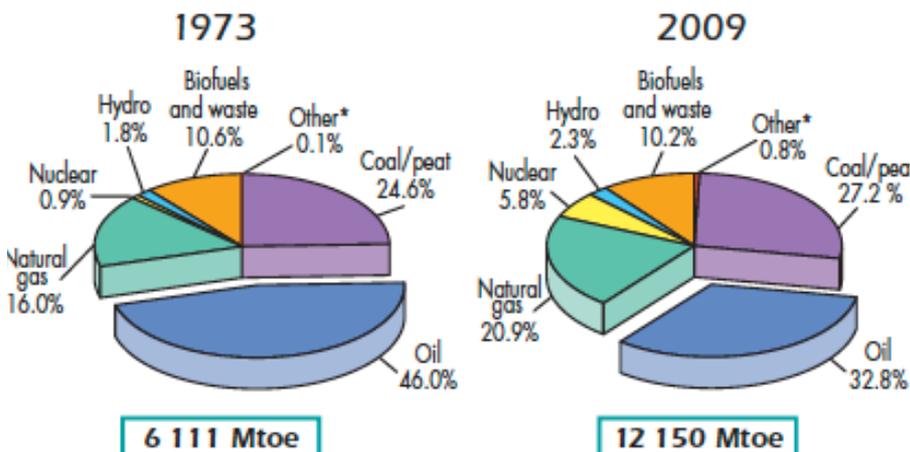
Comment évolue la consommation mondiale d'énergie primaire ?

AIE – Key world energy statistics 2011

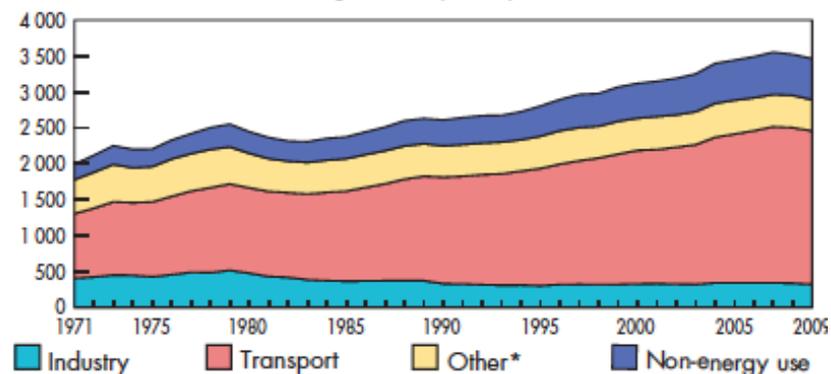
World total primary energy supply from 1971 to 2009 by fuel (Mtoe)



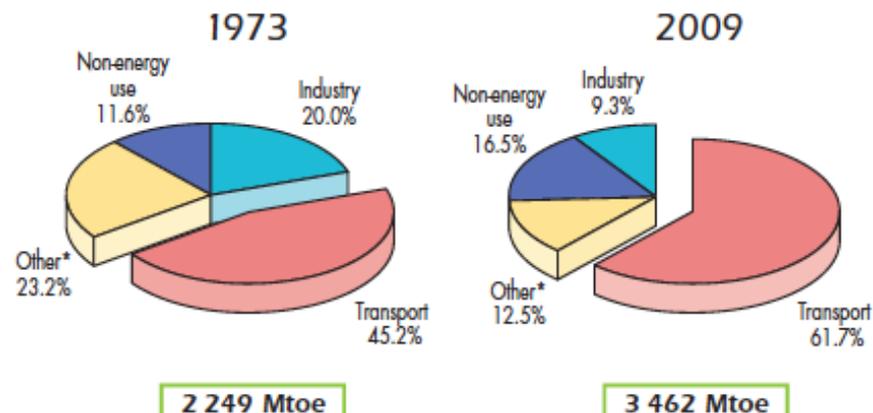
1973 and 2009 fuel shares of TPES



Oil
Total final consumption from 1971 to 2009 by sector (Mtoe)



1973 and 2009 shares of world oil consumption



*Other includes geothermal, solar, wind, heat, etc.

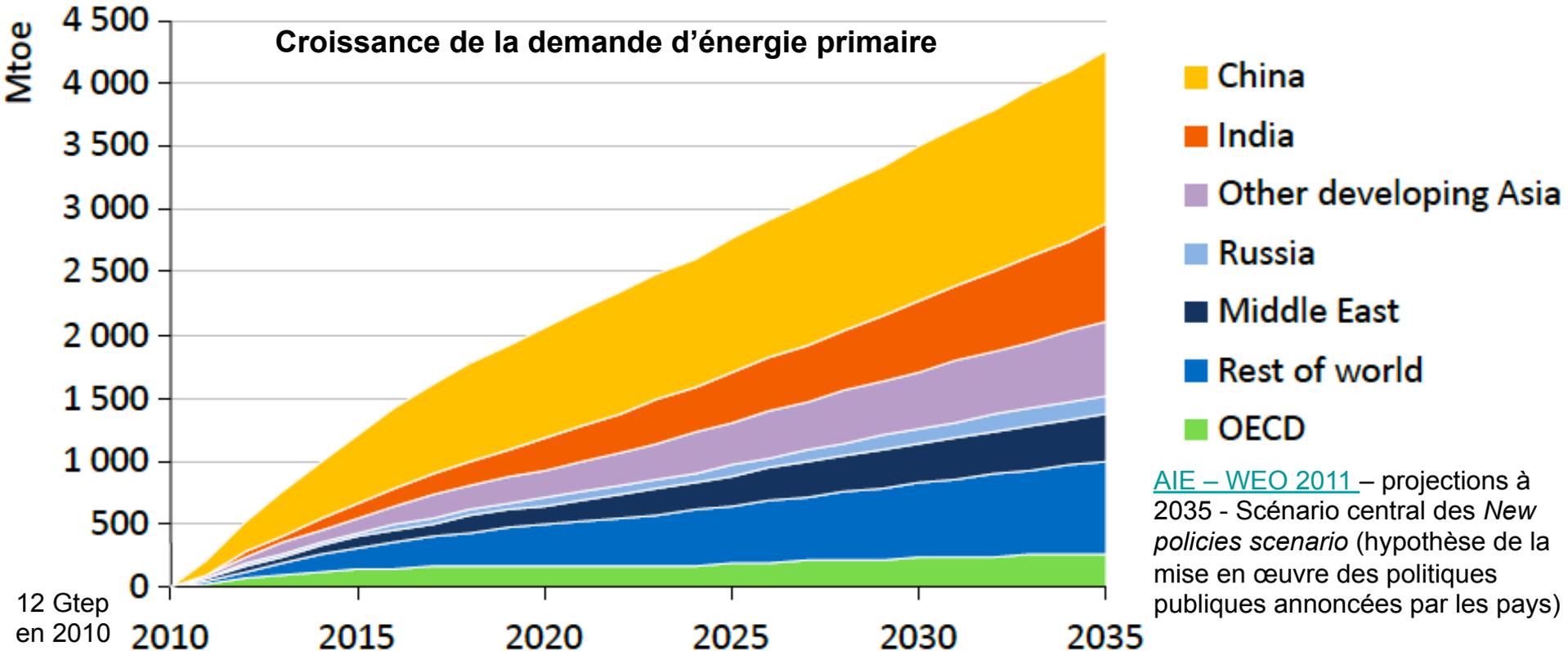
*Includes agriculture, commercial and public services, residential, and non-specified other.

Où allons-nous avec l'énergie ?

27/06/12

André-lean Guérin

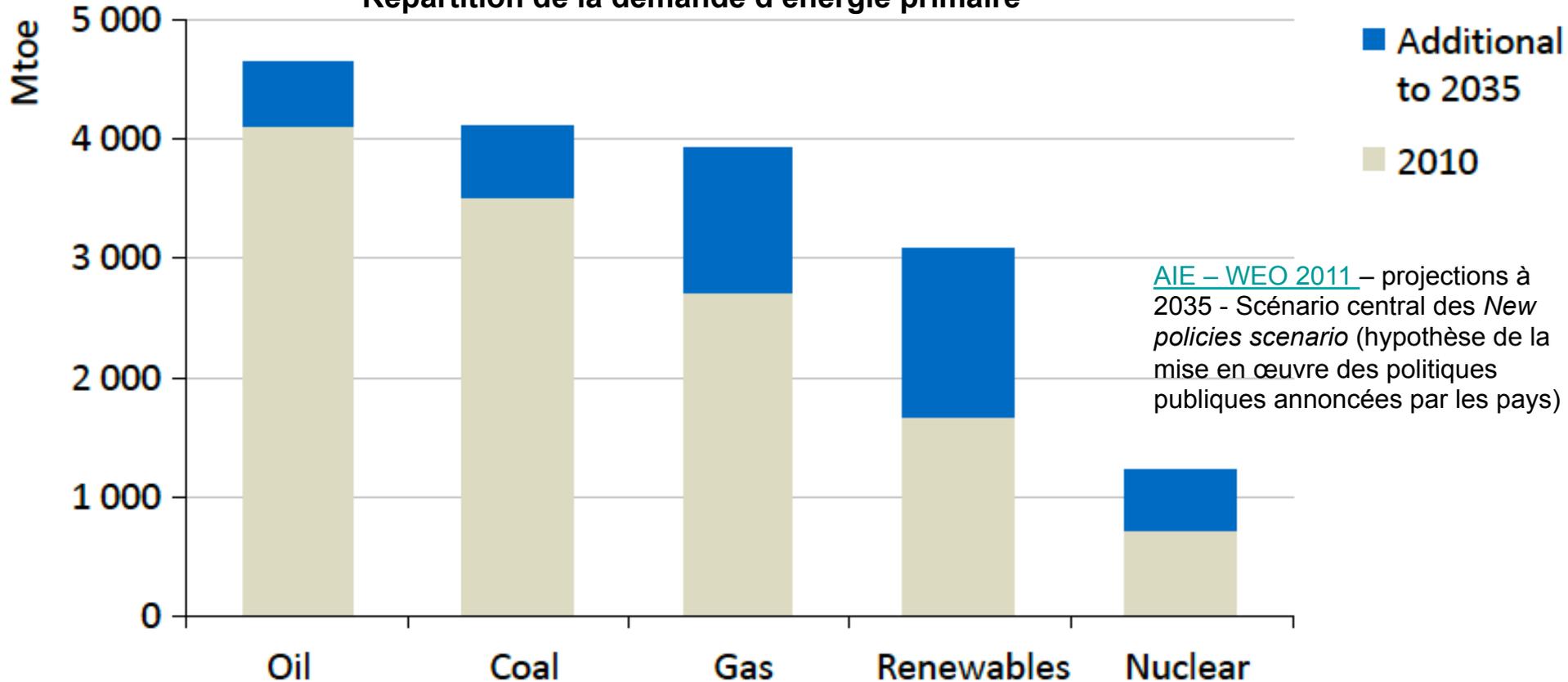
12



- +1/3 de croissance de la demande globale en énergie entre 2009 et 2035, (16 Gtep ou 670 EJ)
- Les pays émergents déterminent de plus en plus les dynamiques de l'énergie (en production comme en consommation)
- La part des énergies fossiles passe de 81 à 75%
- 38 000 Mds\$ d'investissements nécessaires en infrastructures énergétiques dans le monde d'ici 2035 (20 000 pour les secteurs du pétrole et du gaz, la majorité du reste destiné au secteur de l'électricité, dont plus de 40 % aux réseaux)
- 99 Mb/j de demande pétrolière en 2035 (87 en 2010) tirée par les transports (doublement des voitures particulières à 1,7 Mds)
- 120 \$/bl en 2035 (en dollar de 2010, 210 en nominal)
- L'accès à une énergie moderne pour tous en 2030 ne nécessite que 3 % des besoins d'investissements et moins de 1 % d'augmentation de la demande mondiale de combustibles fossiles et d'émissions de CO₂.

Quelles sources d'énergie demain ?

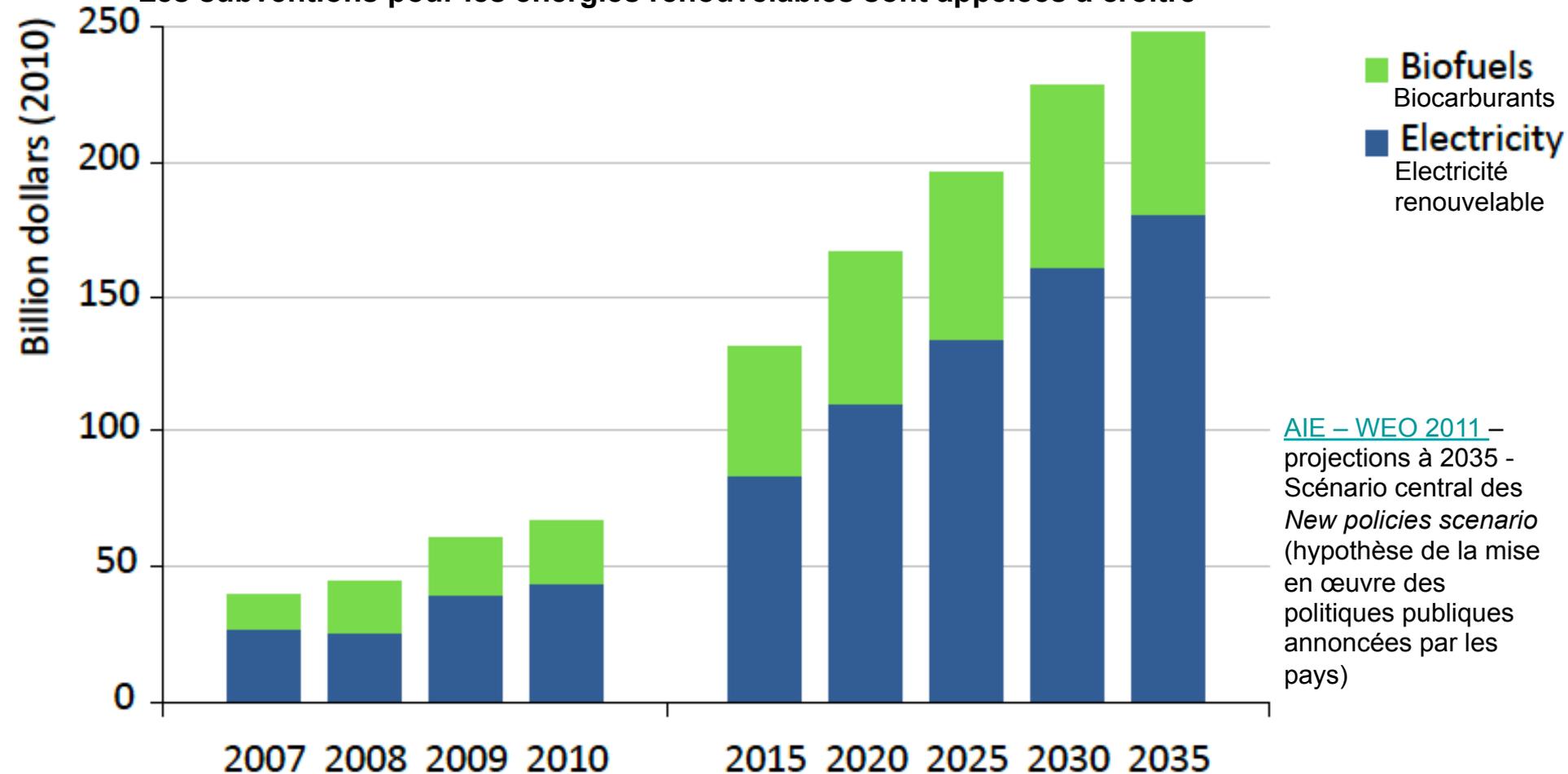
Répartition de la demande d'énergie primaire



- Les renouvelables et le gaz, ensemble, fournissent près des 2/3 de l'augmentation de la demande d'énergie.
- Les énergies renouvelables sont 2 fois (hydraulique) à 8 fois (solaire) plus intensives en investissement pour la même production que le gaz et respectivement 1 à 4 fois que le nucléaire.

Quelles subventions pour les ENR ?

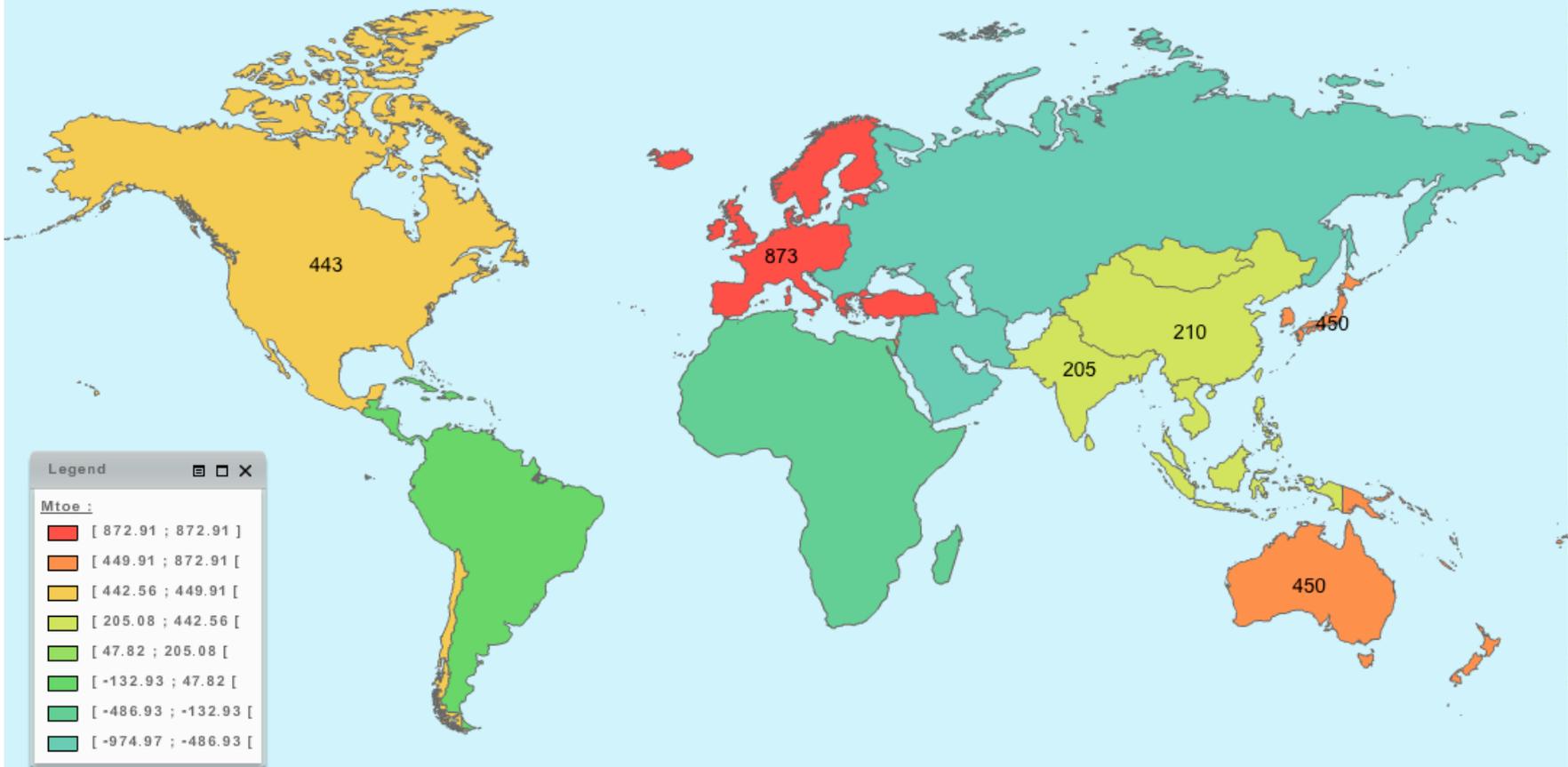
Les subventions pour les énergies renouvelables sont appelées à croître



- Les subventions aux ENR de 66 Mds\$ (2010) grimpent à 250 Mds\$ en 2035 sans compter les améliorations de compétitivité.
- La part des énergies renouvelables non hydrauliques dans la production d'électricité augmente de 3 % en 2009 à 15 % en 2035.

Quelle dépendance énergétique ?

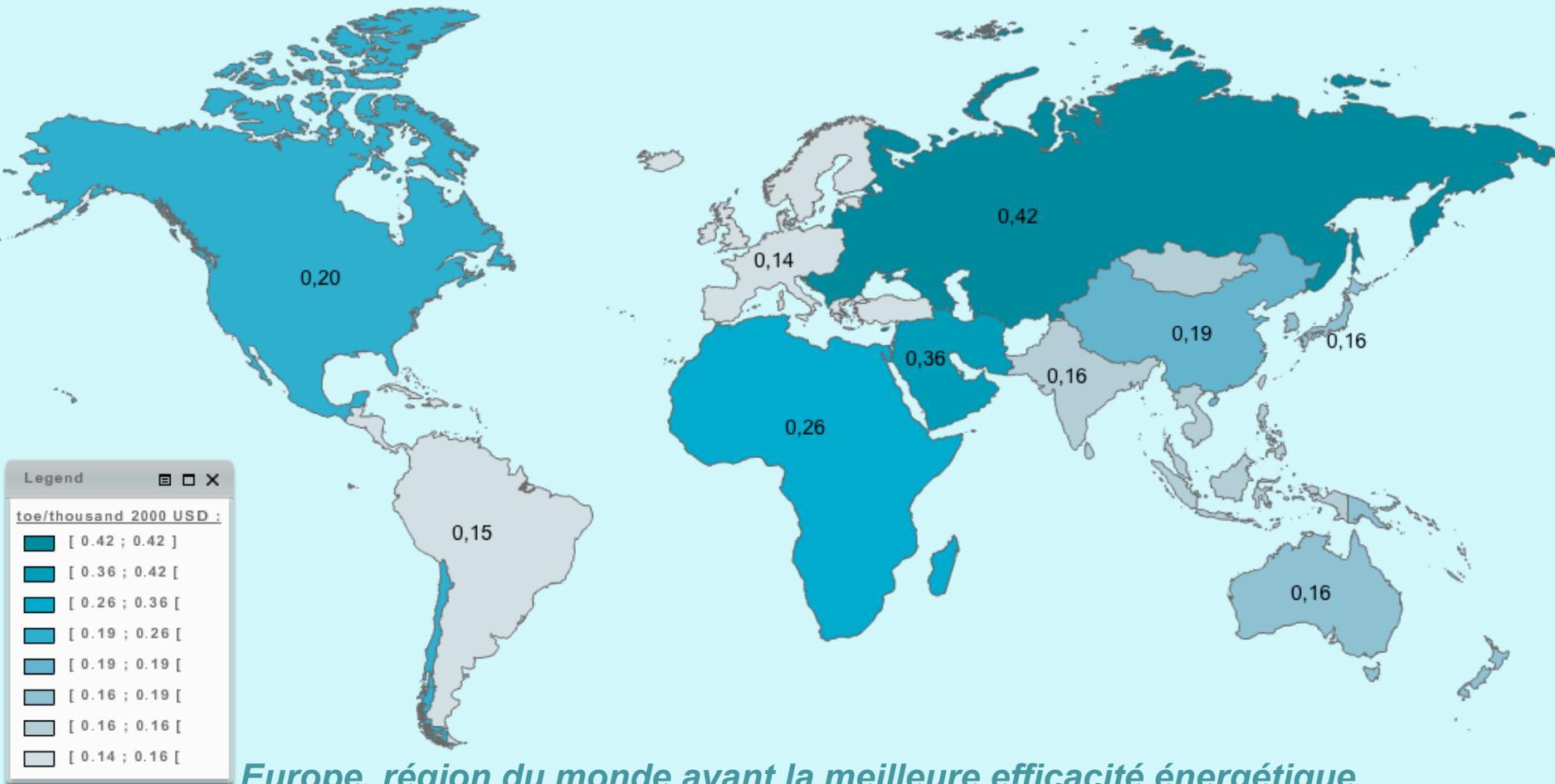
Importations nettes d'énergie par région



Europe, région du monde de loin la plus importatrice d'énergie avec 873 Mtep importées en 2010

Quelle efficacité énergétique ?

Efficacité énergétique - quantité d'énergie primaire / PIB (ppp)



Europe, région du monde ayant la meilleure efficacité énergétique avec l'utilisation de 0,14 tep pour 1 000 US\$ (2000) de PIB (en PPP) 2010 OECD/IEA

Et en France, l'énergie ?

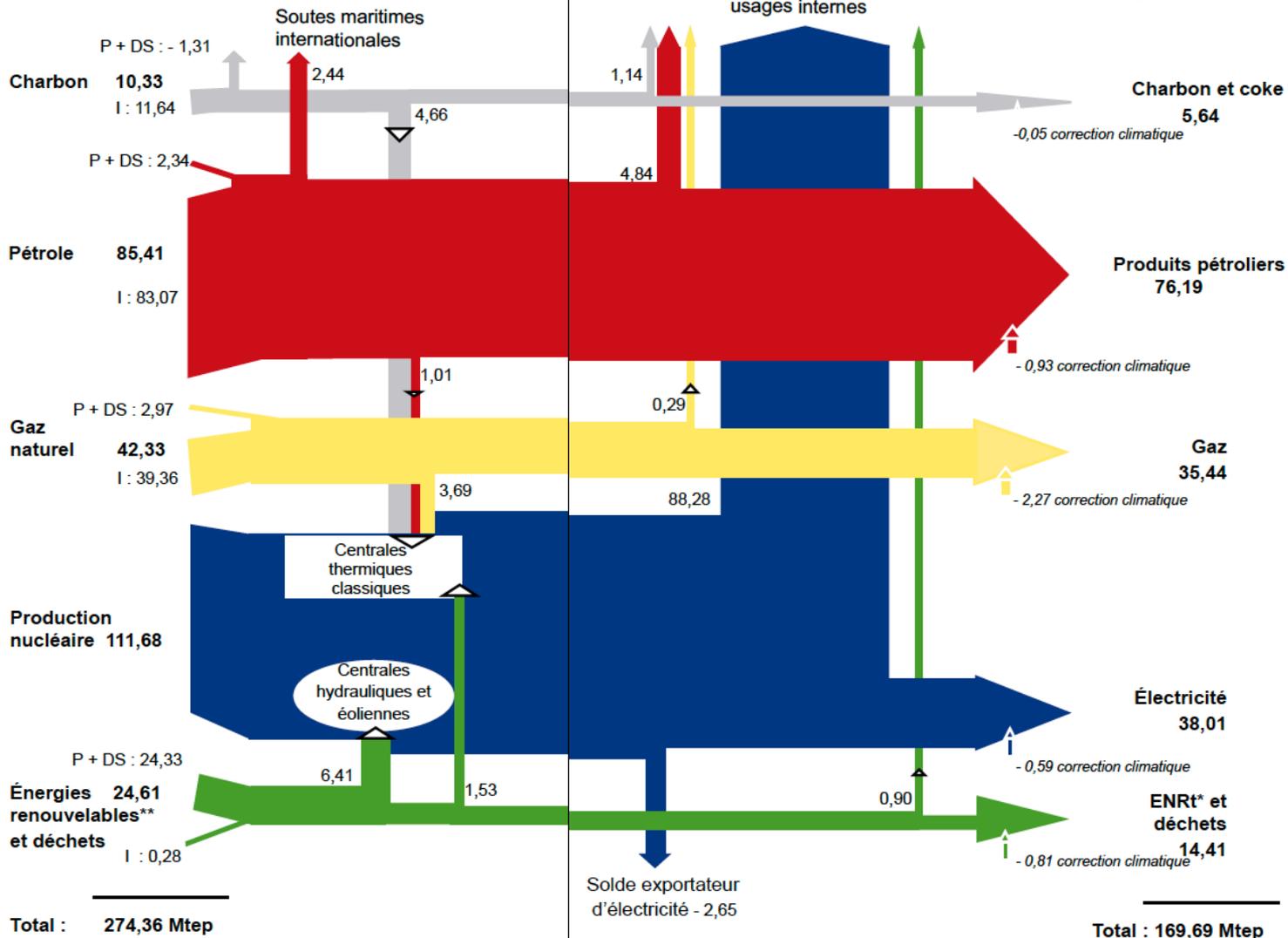
Ensemble des énergies – Bilan énergétique de la France en 2010 (Mtep)

27/06/12

André-Jean Guérin

17

Ressources primaires (non corrigées du climat)



1 L'importance des pertes dans le domaine de l'électricité tient à la convention internationale qui veut que l'électricité d'origine nucléaire soit comptabilisée pour la chaleur produite par la réaction, chaleur dont les deux tiers sont perdus lors de la conversion en énergie électrique.

P : production nationale d'énergie primaire
DS : déstockage
I : solde importateur** : y compris hydraulique, éolien et photovoltaïque
• : contribution positive aux stocks
** : y compris hydraulique, éolien et photovoltaïque
ENRt : énergies renouvelables thermiques (bois, déchets de bois, solaire thermique, biocarburants...) et pompes à chaleur

De façon courante, les définitions d'énergie primaire et d'énergie finale relèvent de conventions discutables. La différence entre les deux tient aux pertes des systèmes techniques de transformation d'une forme d'énergie à une autre et à celles des systèmes de stockage, de transport et de distribution.

Quelle dépendance énergétique de la France ?

Dépendance énergétique

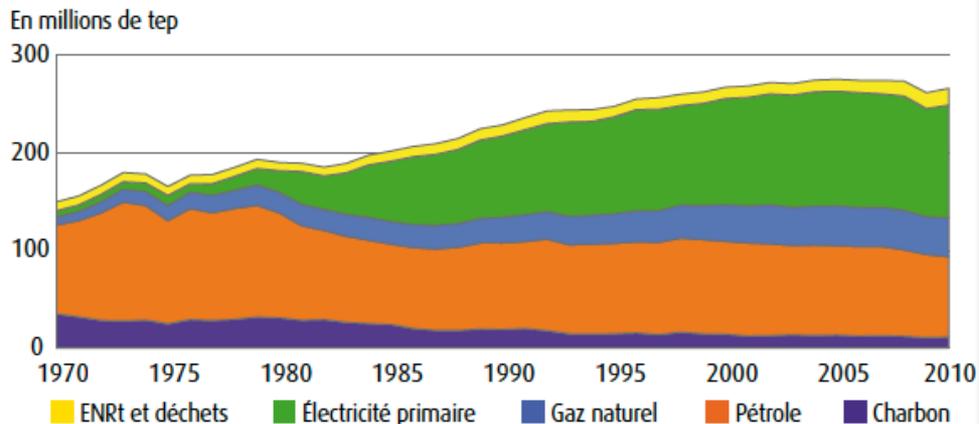
La dépendance énergétique montre le degré jusqu'auquel une économie dépend des importations pour faire face à ses besoins énergétiques. L'indicateur est défini comme le ratio entre les importations nettes et la somme de la consommation intérieure brute d'énergie et des stockages. S'exprime en pourcentage.

Légende	%	Cas
	-517.38 - 28.27	6
	28.27 - 43.74	6
	43.74 - 58.26	6
	58.26 - 75.45	6
	75.45 - 100.89	8
	Données indisponibles	0

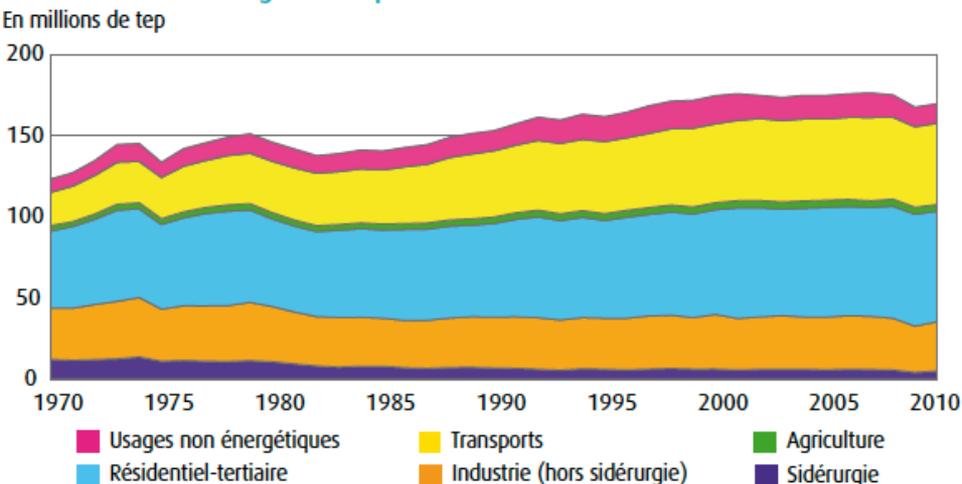
La France se trouve dans la moyenne européenne avec une production d'environ la moitié de ses besoins énergétiques (l'électricité nucléaire est comprise dans cette production).

Quels sources et usages des énergies en France ?

Consommation d'énergie primaire (corrigée du climat) par énergie

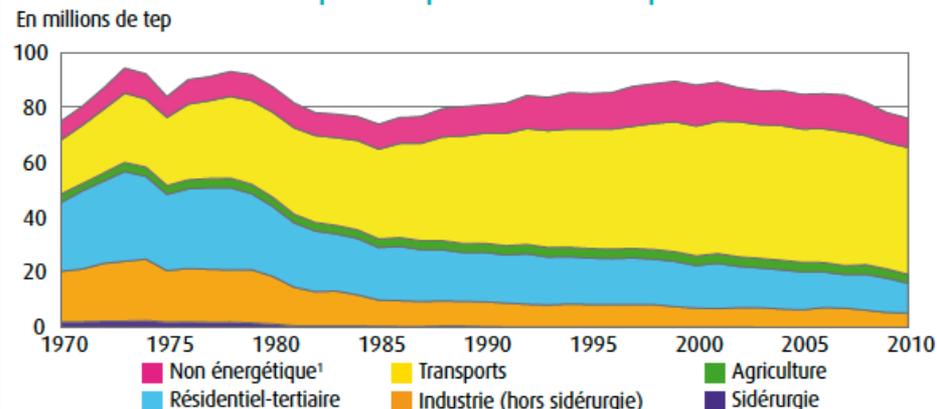


Consommation d'énergie finale par secteur



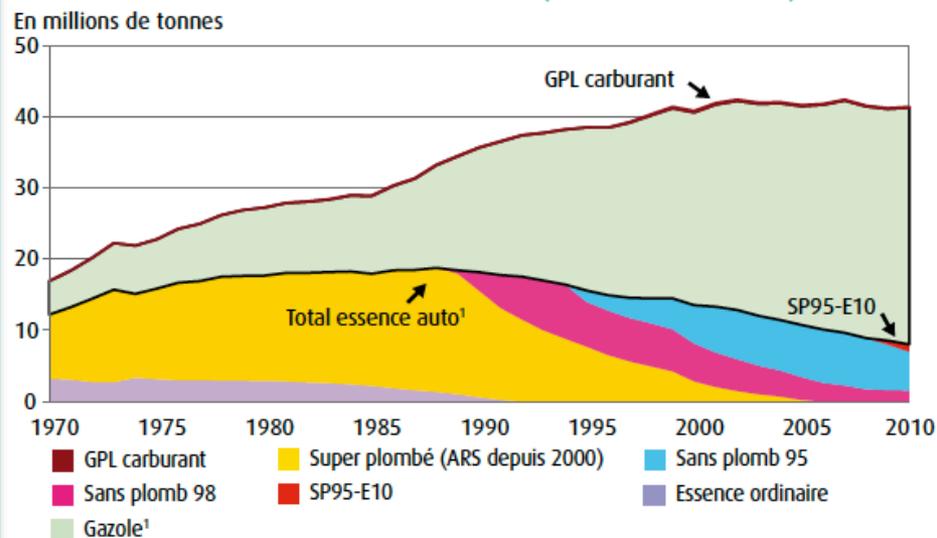
Focus sur le pétrole et les carburants

Consommation finale de produits pétroliers raffinés par secteur



Consommation corrigée du climat, soutes maritimes internationales exclues.

Évolution des ventes de carburants routiers (biocarburants inclus)

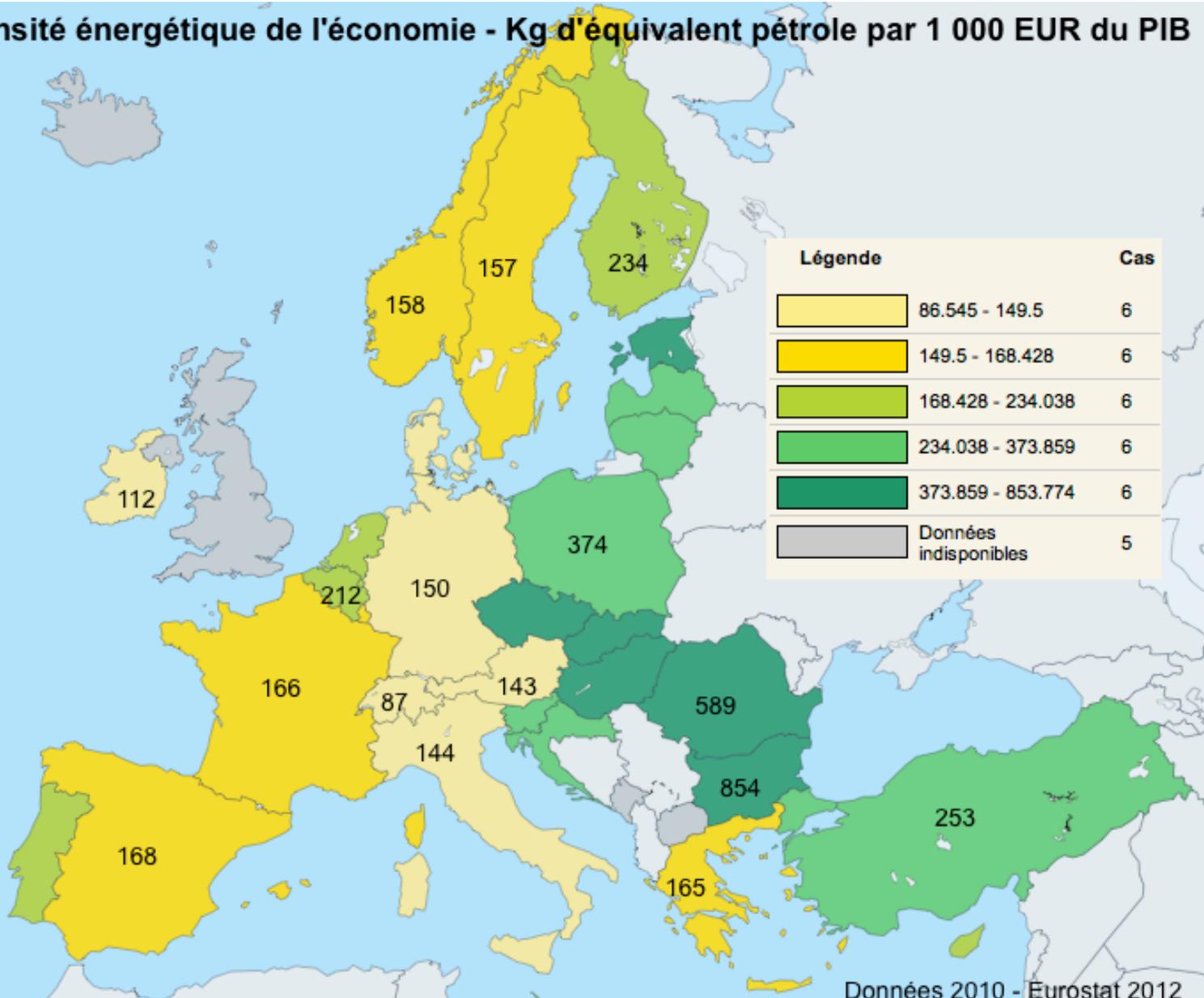


¹ Essence ordinaire, super plombé, sans plomb 95, SP95-E10, sans plomb 98, biocarburants inclus.



Quelle efficacité énergétique de la France ?

Intensité énergétique de l'économie - Kg d'équivalent pétrole par 1 000 EUR du PIB

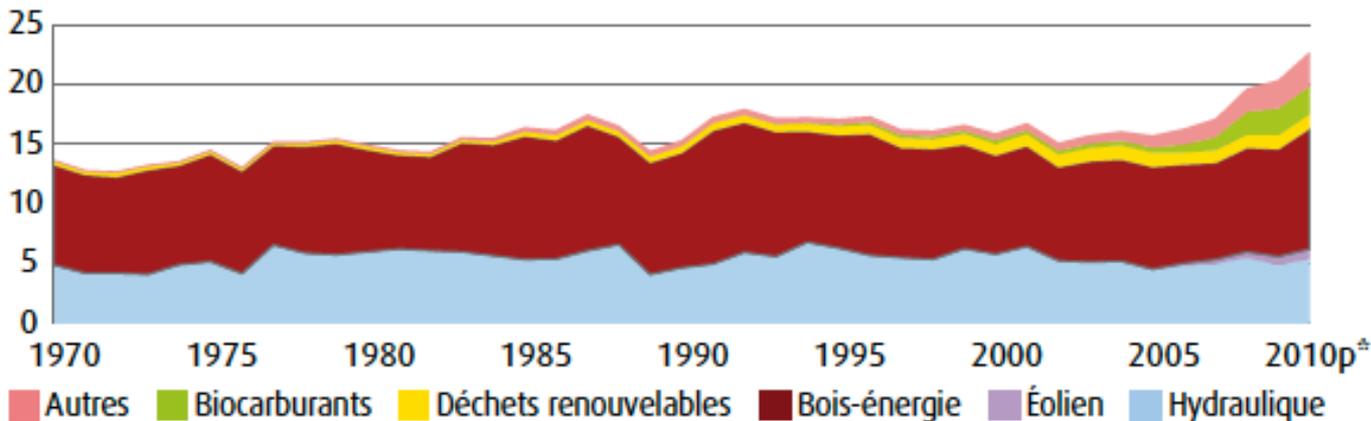


La France utilise 166 kep pour 1 000 € de PIB, un peu mieux que la moyenne européenne.

Quelles parts des diverses énergies renouvelables en France ?

Production totale d'énergies renouvelables

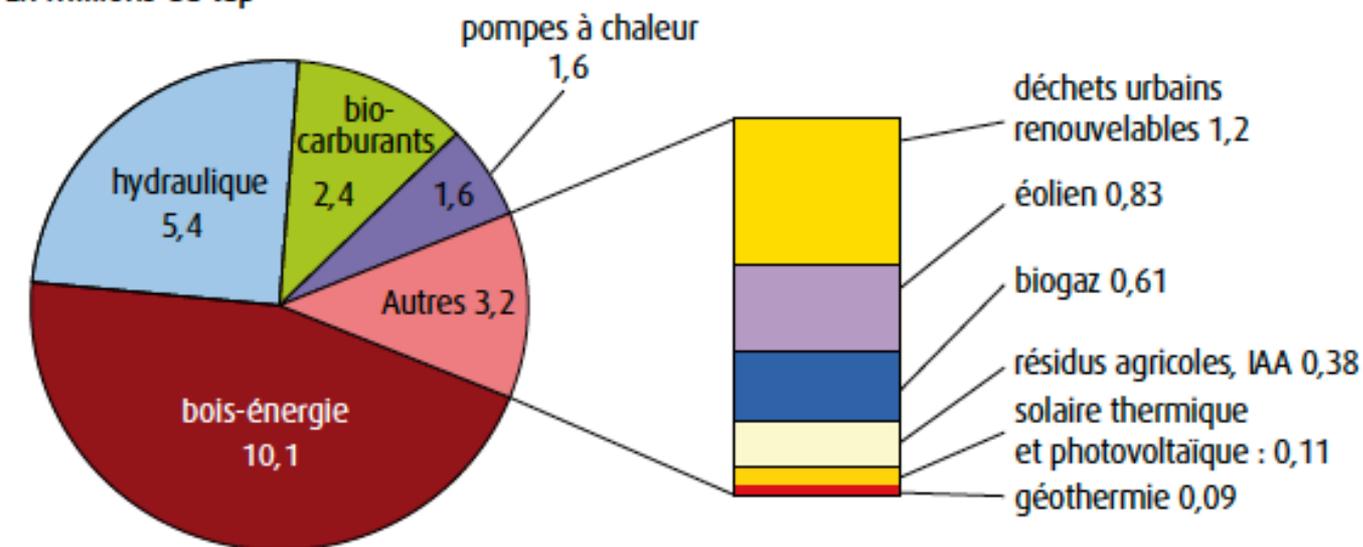
En millions de tep¹



- Second producteur et le second consommateur d'énergies renouvelables d'Europe
- 22,7 Mtep, soit 16,4 % de la production nationale énergétique en 2010 (électricité et chaleur = 139 Mtep)
- Bois-énergie 45 %
- Hydraulique 24 %
- Biocarburants 10 %
- Pompes à chaleur 7 %
- Autres filières 14 % restants
- + 2,3 Mtep de production en 2010, notamment hydraulique, bois-énergie et pompes à chaleur

Production d'énergies renouvelables (ENR) par filière en 2010

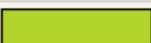
En millions de tep

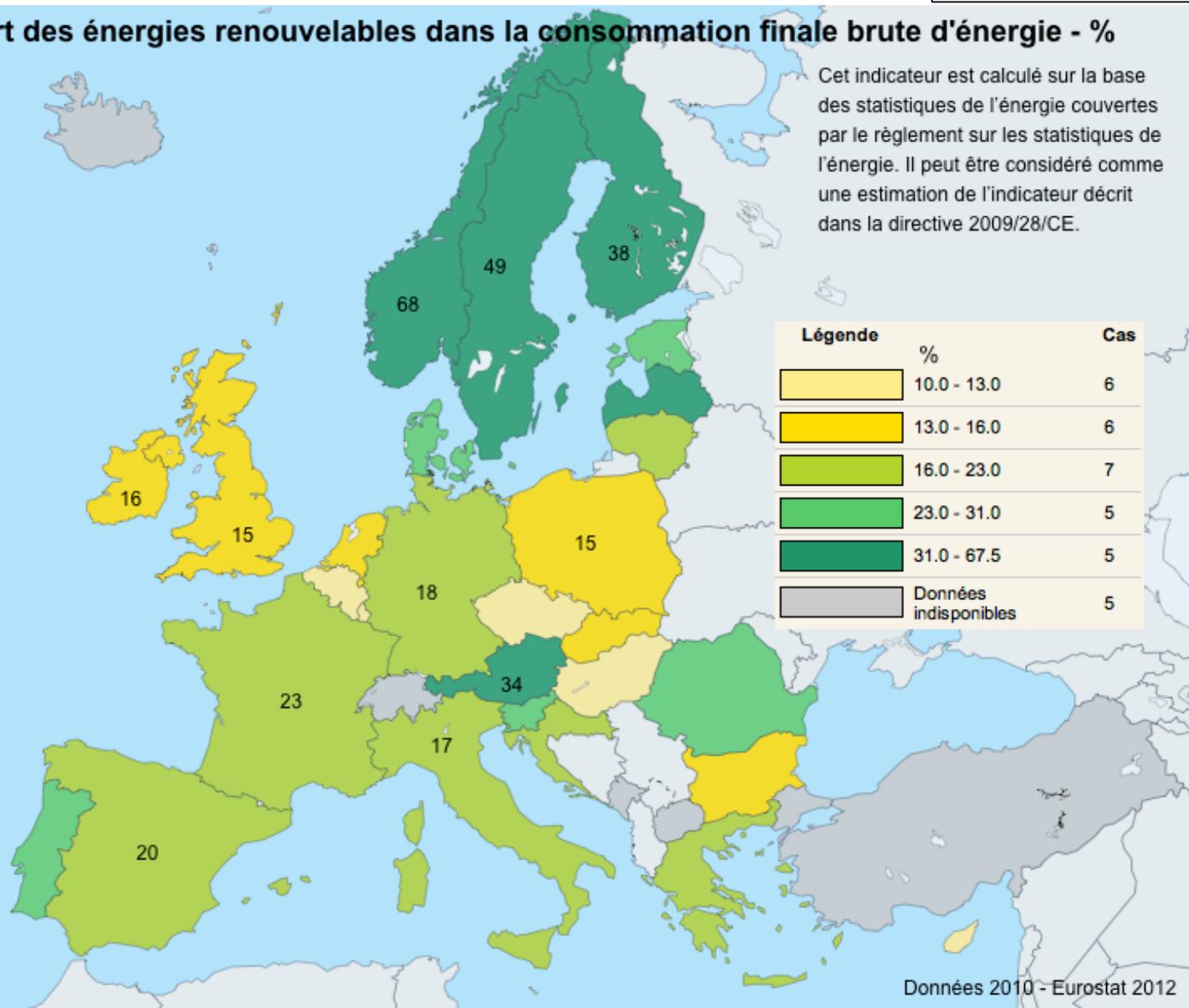


Quelles part d'énergie renouvelable ?

Part des énergies renouvelables dans la consommation finale brute d'énergie - %

Cet indicateur est calculé sur la base des statistiques de l'énergie couvertes par le règlement sur les statistiques de l'énergie. Il peut être considéré comme une estimation de l'indicateur décrit dans la directive 2009/28/CE.

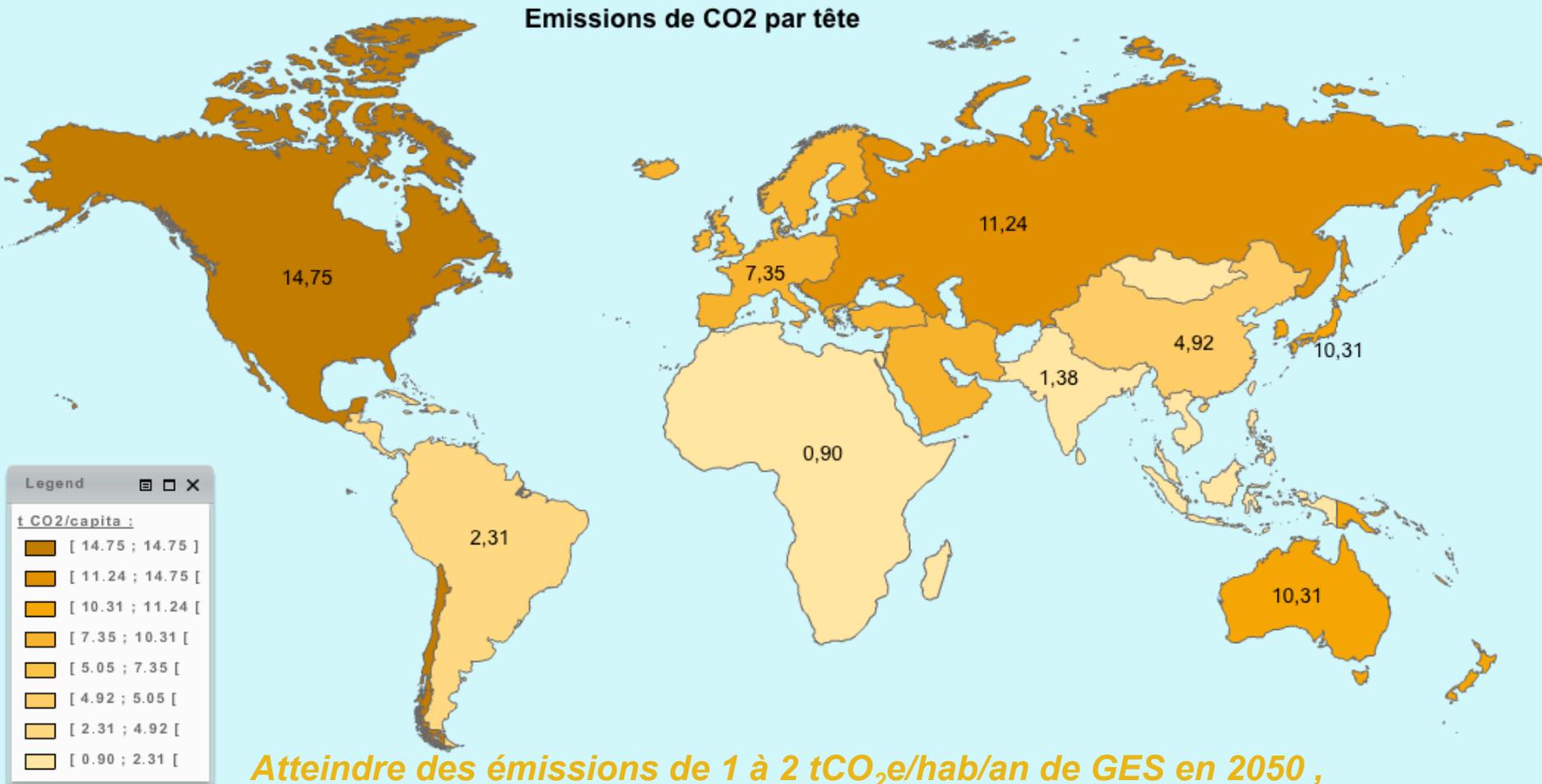
Légende	%	Cas
	10.0 - 13.0	6
	13.0 - 16.0	6
	16.0 - 23.0	7
	23.0 - 31.0	5
	31.0 - 67.5	5
	Données indisponibles	5



En 2010, la France a 23 % d'ENR dans sa consommation finale d'énergie, meilleur ratio des pays européens les plus peuplés. (Ne pas confondre avec la part des ENR dans la production nationale d'énergie, aujourd'hui de 16 % - l'objectif de la France pour 2020 est de 23 % pour cet indicateur).

Quelles émissions de gaz à effet de serre (GES) ?

Quelles émissions annuelles de CO₂ par habitant selon les régions ?



Atteindre des émissions de 1 à 2 tCO₂e/hab/an de GES en 2050 , seules l'Inde et l'Afrique respectent cet objectif aujourd'hui !

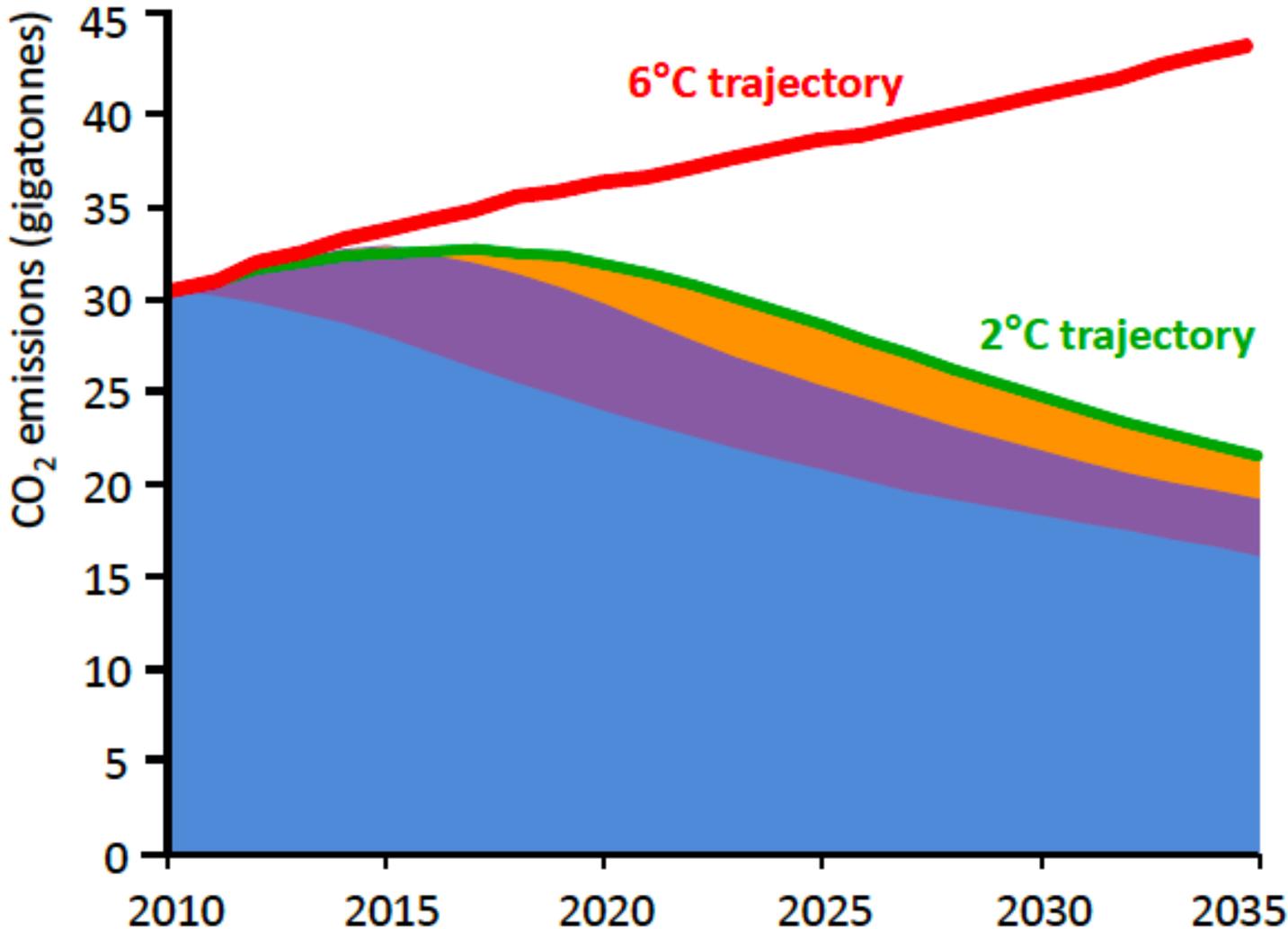
Quelles émissions de CO₂ ?

27/06/12

André-Jean Guérin

25

L'accès aux 2°C se ferme. Voulons-nous en rester exclus ?



[AIE – WEO 2011](#) – projections à 2035. Le scénario central des *New policies scenario* (hypothèse de la mise en œuvre des politiques publiques annoncées par les pays) entraîne à long terme une hausse des températures moyennes de 3,5°C.

Delay until 2017

Delay until 2015

Emissions from existing infrastructure

- Sans actions supplémentaires, d'ici 2017, toutes les émissions de CO₂ compatibles avec un scénario à 450 ppm seront la conséquence des centrales électriques, des usines et des bâtiments existants à cette date.

27/06/12

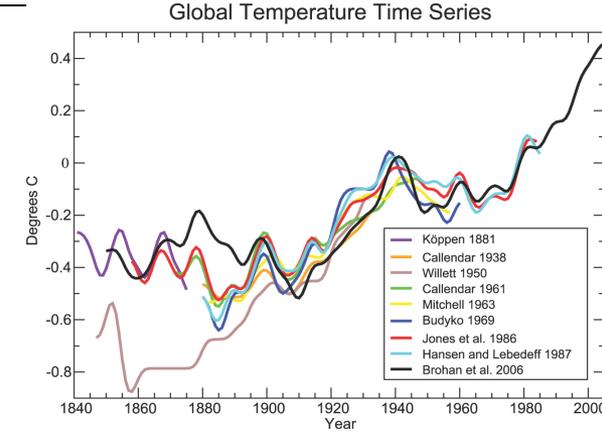
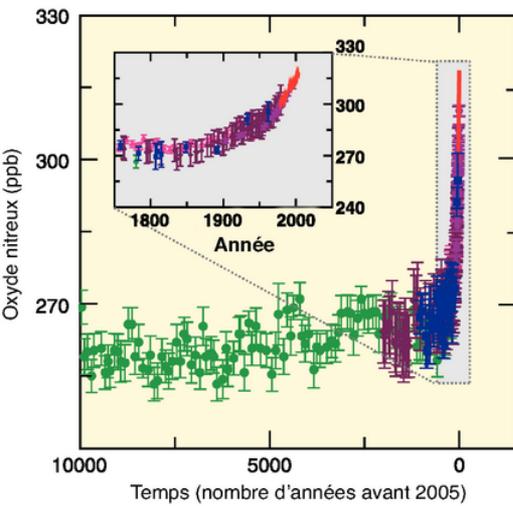
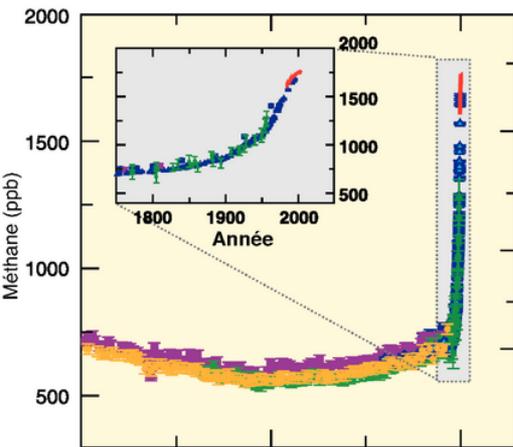
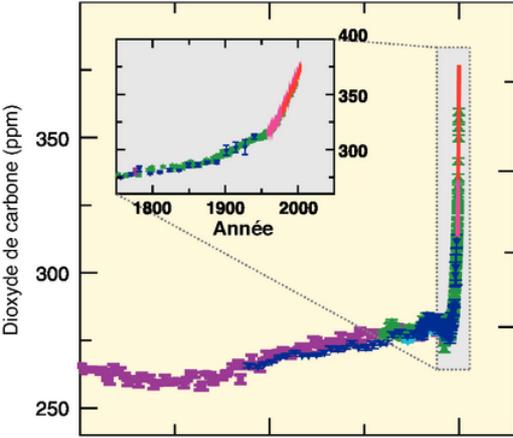
André-Jean Guérin

26

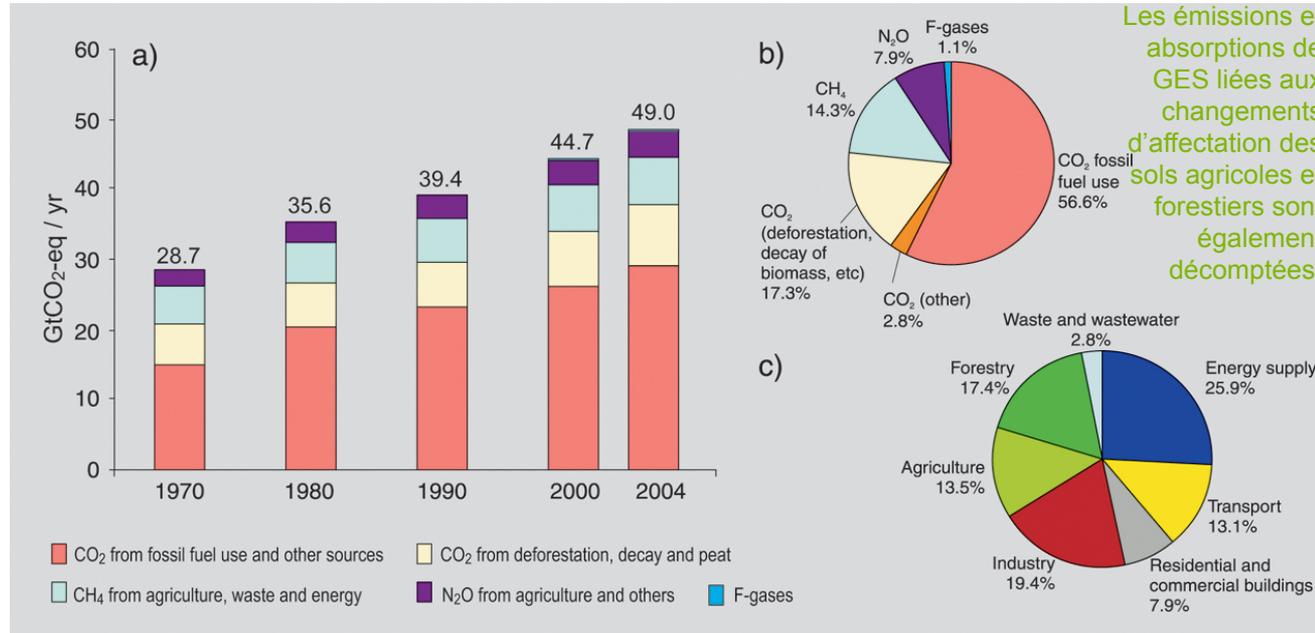
Combien de GES ?

Évolution des gaz à effet de serre à partir des données des carottes de glace et de mesures récentes

Rapport de synthèse du GIEC 2007



Émissions mondiales de gaz à effet de serre anthropiques



Les émissions et absorptions de GES liées aux changements d'affectation des sols agricoles et forestiers sont également décomptées.

a) Émissions annuelles de GES anthropiques dans le monde, 1970–2004. b) Parts respectives des différents GES anthropiques dans les émissions totales de 2004, en équivalent-CO₂. c) Contribution des différents secteurs aux émissions totales de GES anthropiques en 2004, en équivalent-CO₂ (La foresterie inclut le déboisement).

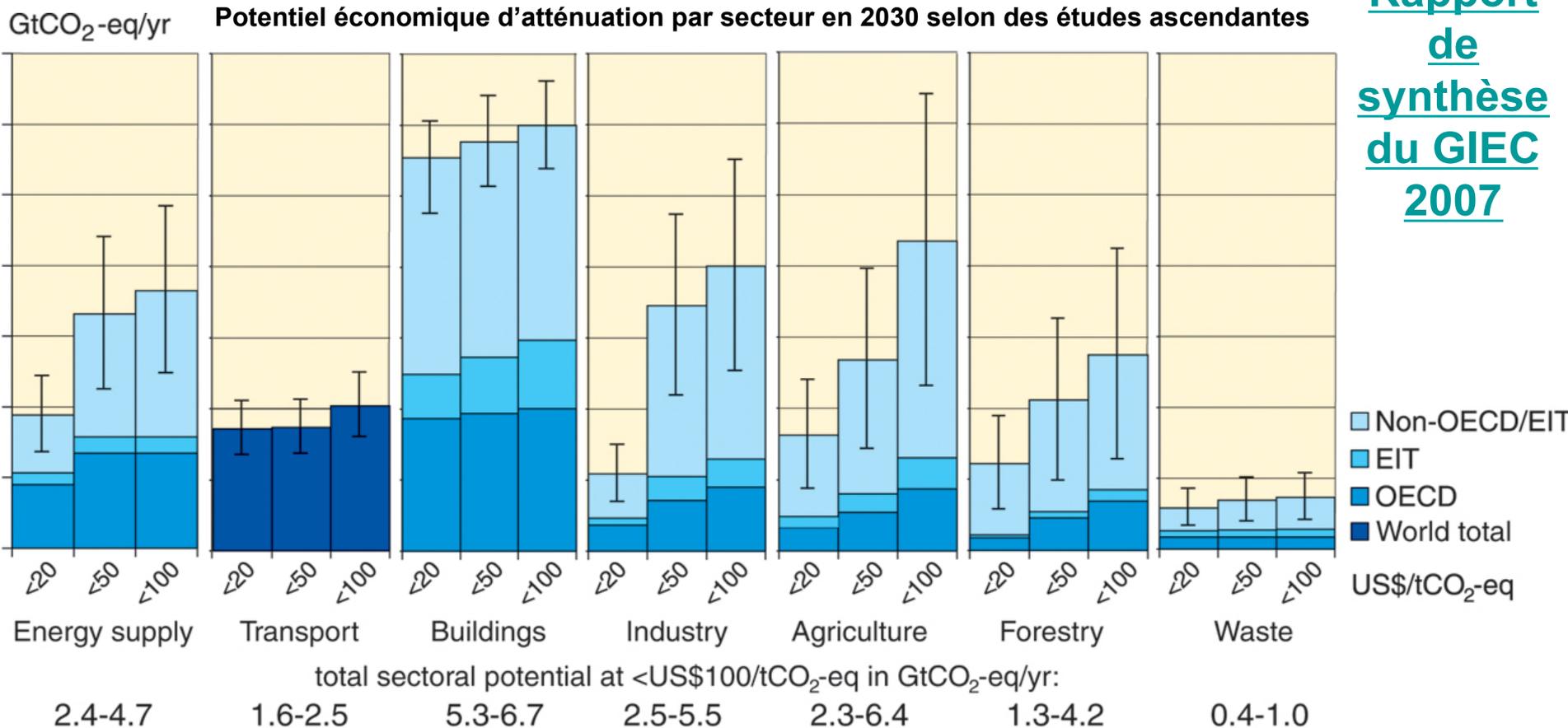
A quel prix éviter les émissions ?

27/06/12

André-Jean Guérin

27

Rapport de synthèse du GIEC 2007

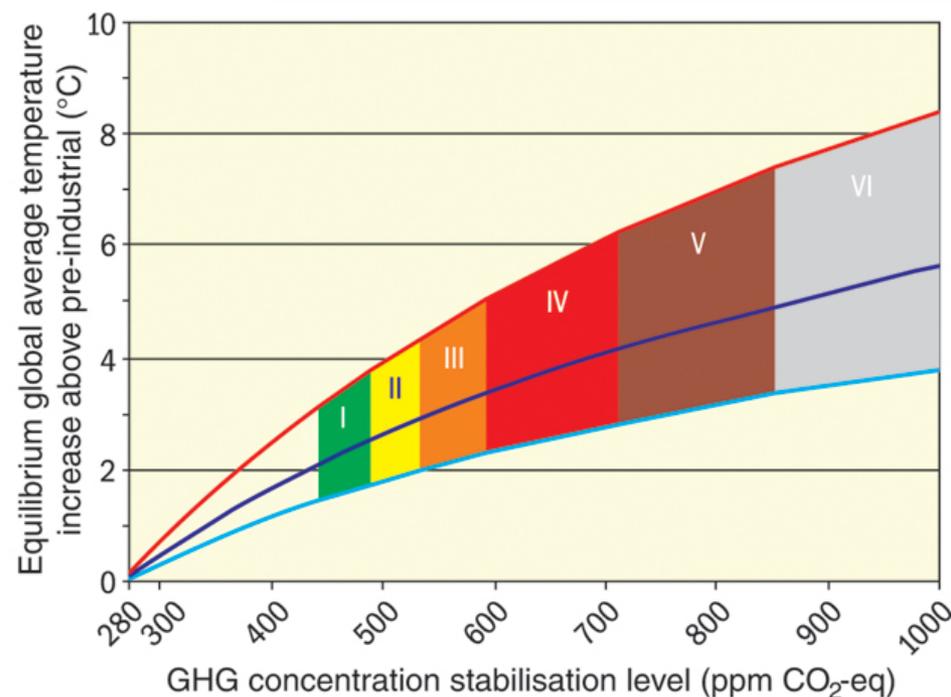
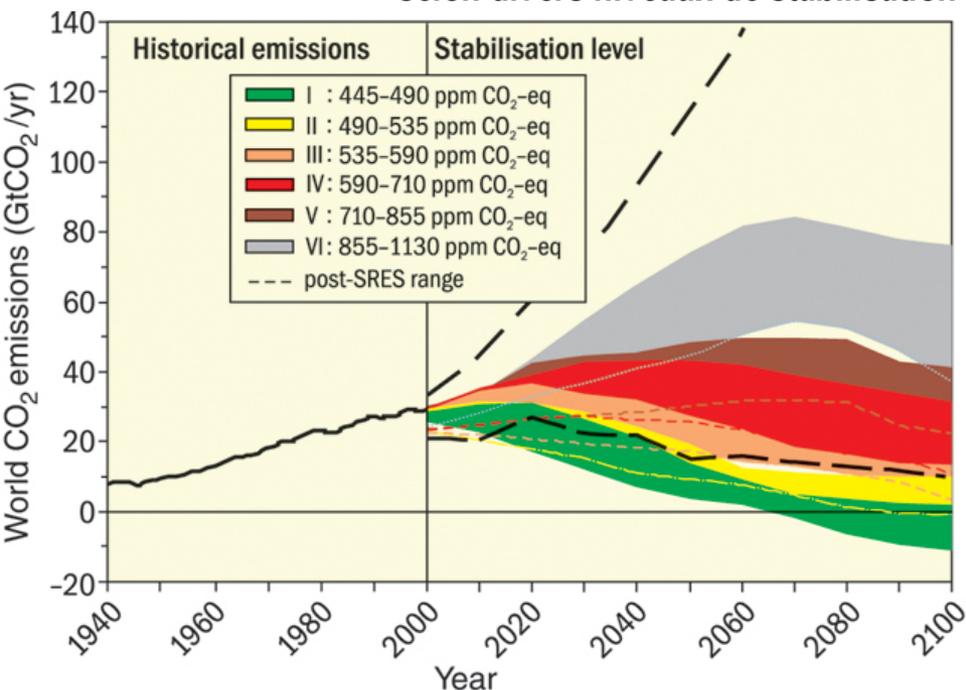


Potentiel économique d'atténuation estimé par secteur et par région, fondé sur l'utilisation des technologies et des pratiques censées être en usage en 2030. Le potentiel indiqué ne comprend pas les options non techniques, telles que la modification des modes de vie.

Aucune technologie ne permettra, à elle seule, de réaliser tout le potentiel d'atténuation dans quelque secteur que ce soit.

Quel niveau de stabilisation ?

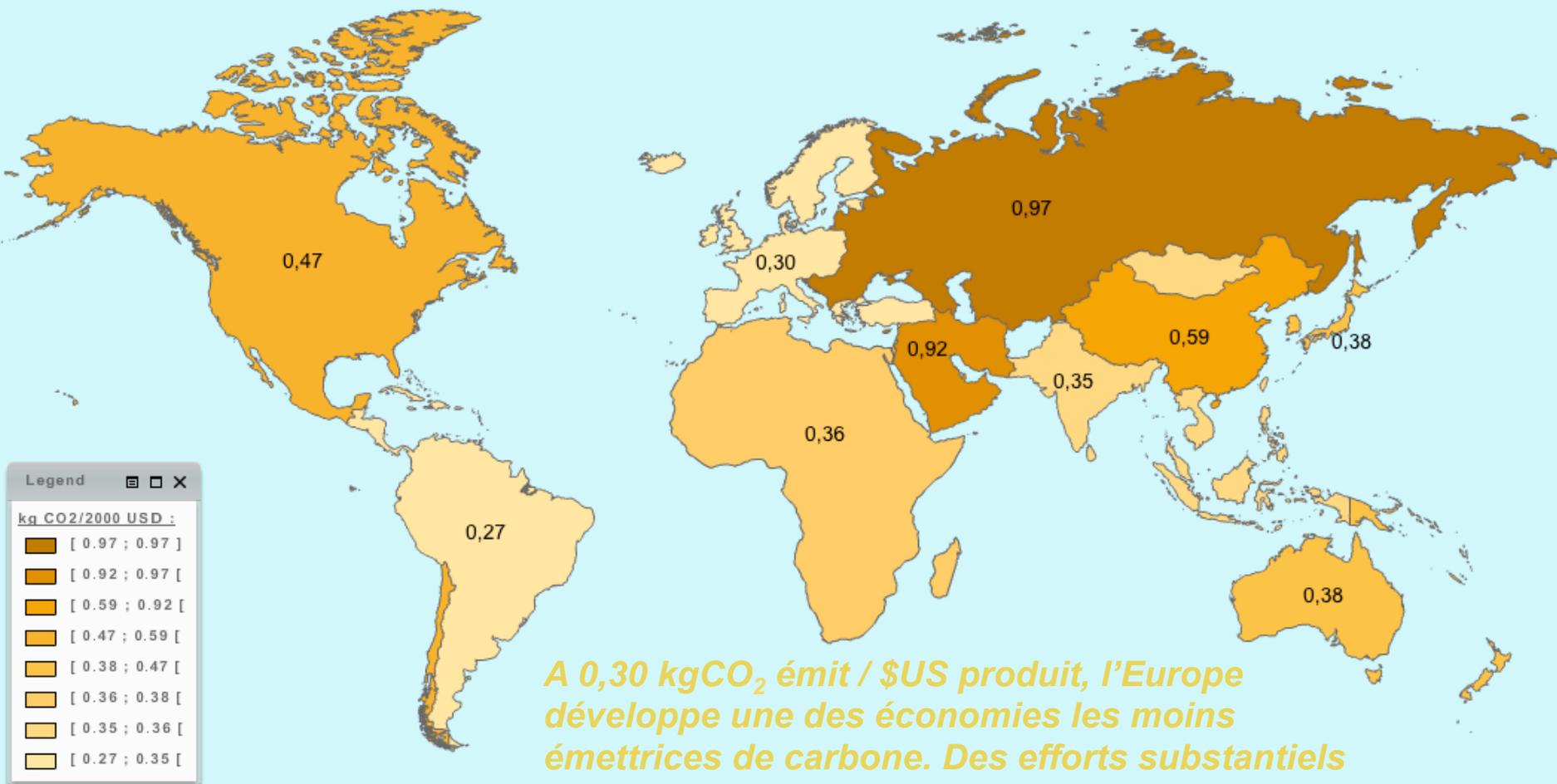
Augmentation des émissions de CO₂ et de la température à l'équilibre selon divers niveaux de stabilisation



Émissions mondiales de CO₂ entre 1940 et 2000 et fourchettes d'émissions anticipées, selon les catégories de scénarios de stabilisation, pour la période 2000-2100 (à gauche) ; rapport entre l'objectif de stabilisation et l'écart probable entre la température moyenne du globe à l'équilibre et la température préindustrielle (à droite). Il peut s'écouler plusieurs siècles avant que ne soit atteint l'état d'équilibre, surtout avec les scénarios qui prévoient un haut niveau de stabilisation. Les zones colorées correspondent aux scénarios de stabilisation groupés selon leurs objectifs (catégories I à VI). On voit, à droite, l'écart entre la température moyenne du globe et la température préindustrielle selon i) la valeur la plus probable de la sensibilité du climat, soit 3 °C (trait noir recoupant les zones colorées), ii) la limite supérieure de la plage probable de la sensibilité du climat, soit 4,5 °C (ligne rouge délimitant le haut des zones colorées) et iii) la limite inférieure de la plage probable de la sensibilité du climat, soit 2 °C (ligne bleue délimitant le bas des zones colorées). Dans la partie gauche, les lignes noires en pointillé représentent les fourchettes d'émissions des scénarios de référence publiés depuis le SRES (2000). Les gammes d'émissions des scénarios de stabilisation comprennent le CO₂ uniquement ou plusieurs gaz. Elles correspondent au 10e-90e percentiles de la distribution complète. Note : Dans la plupart des scénarios, les émissions de CO₂ ne comprennent pas les rejets issus de la décomposition de la biomasse aérienne qui subsiste après une coupe forestière ou un déboisement, ni ceux issus de la combustion de tourbe et des sols tourbeux asséchés.

Quelles efficacités carbone des économies du monde ?

Emissions de CO₂ par dollar de production (ppp)



A 0,30 kgCO₂ émit / \$US produit, l'Europe développe une des économies les moins émettrices de carbone. Des efforts substantiels demeurent toutefois indispensables.

PRG

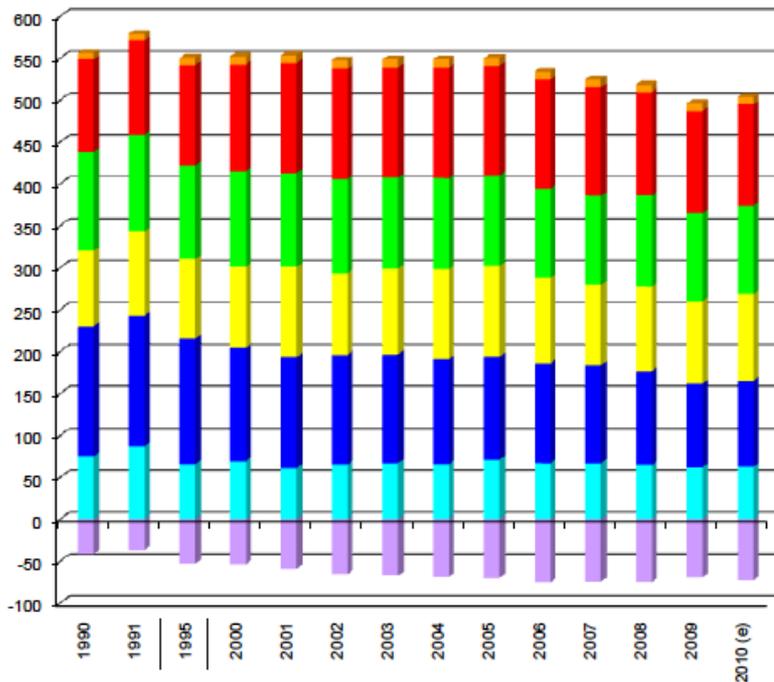
Emissions atmosphériques par secteur en France métropolitaine
en Mt CO₂e

27/06/12

André-Jean Guérin

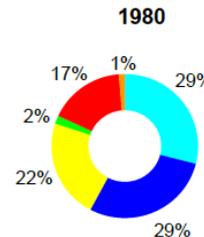
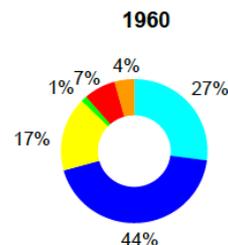
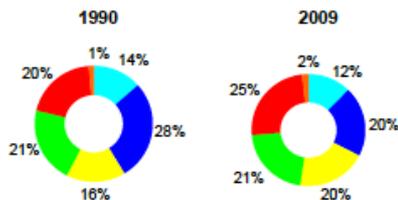
30

Quelles émissions de GES en France ?

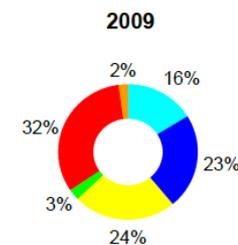
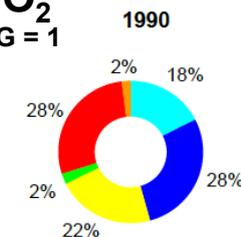


(e) estimation préliminaire

REPARTITION HORS UTCF



CO₂
PRG = 1



Source :



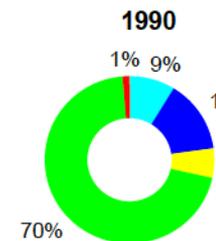
INVENTAIRE DES EMISSIONS DE POLLUANTS ATMOSPHERIQUES ET DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE SERIES SECTORIELLES ET ANALYSES ETENDUES

FORMAT SECTEN

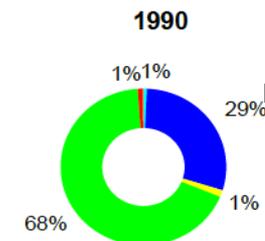
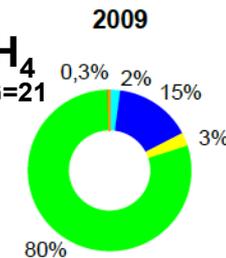


Avril 2011

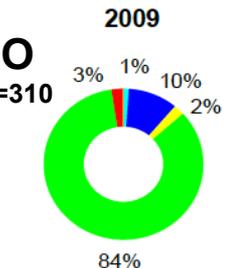
RAPPORT NATIONAL D'INVENTAIRE



CH₄
PRG=21



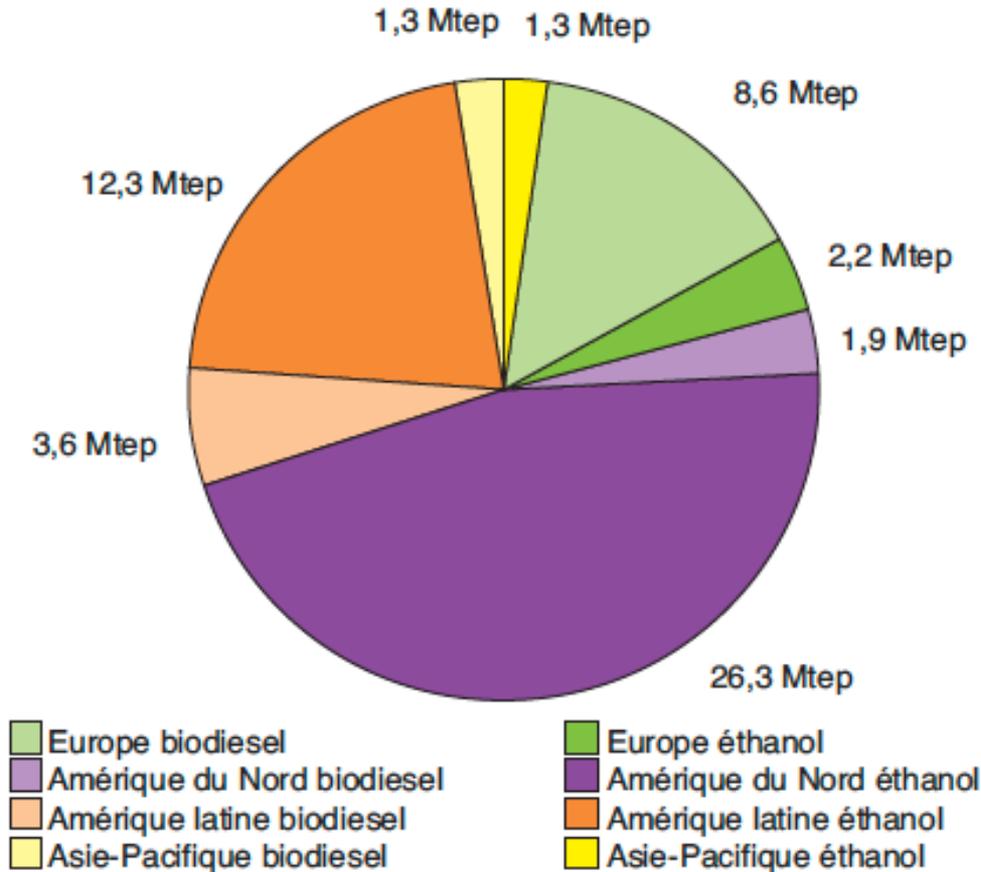
N₂O
PRG=310



***Biocarburants: quel potentiel ?
quelles performances ?***

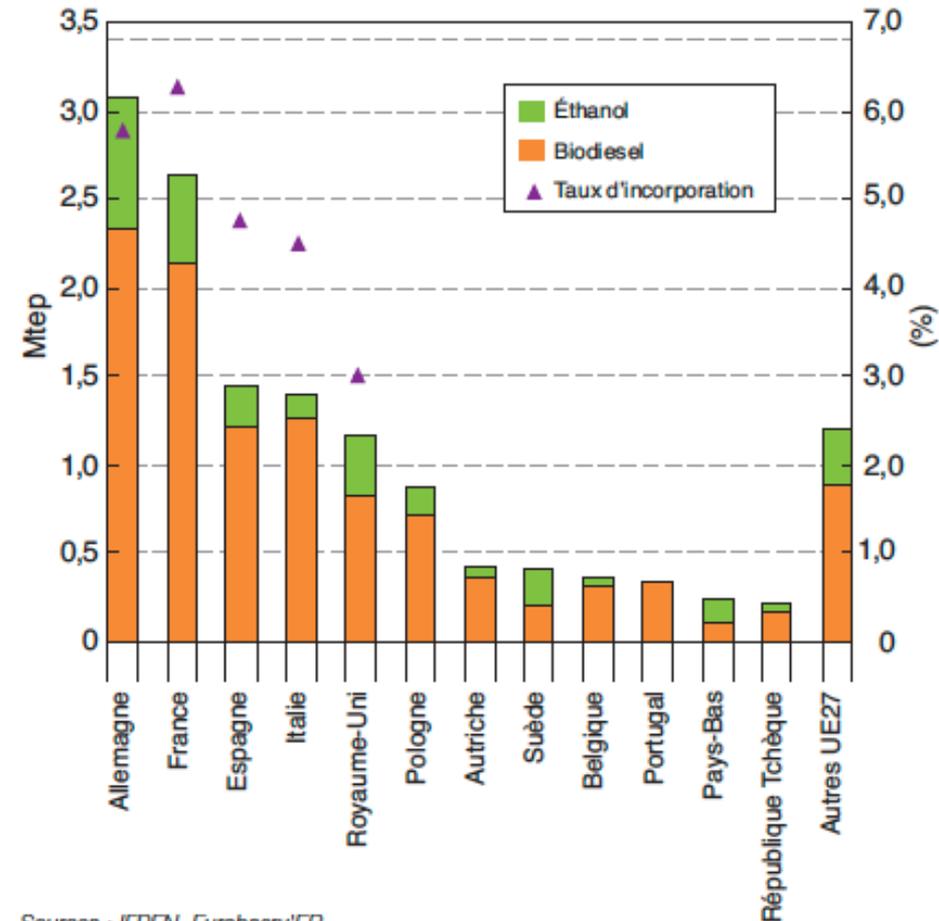
Qui produit ? Qui consomme ?

Fig. 1 – Répartition de la production de biodiesel et d'éthanol par grandes zones en 2010



Source : IFP Energies nouvelles (IFPEN) d'après divers

Fig. 3 – Répartition de la consommation de biodiesel et d'éthanol dans l'Union européenne en 2010



Sources : IFPEN, Eurobserv'ER

Quels productions et échanges de biocarburants aujourd'hui ?

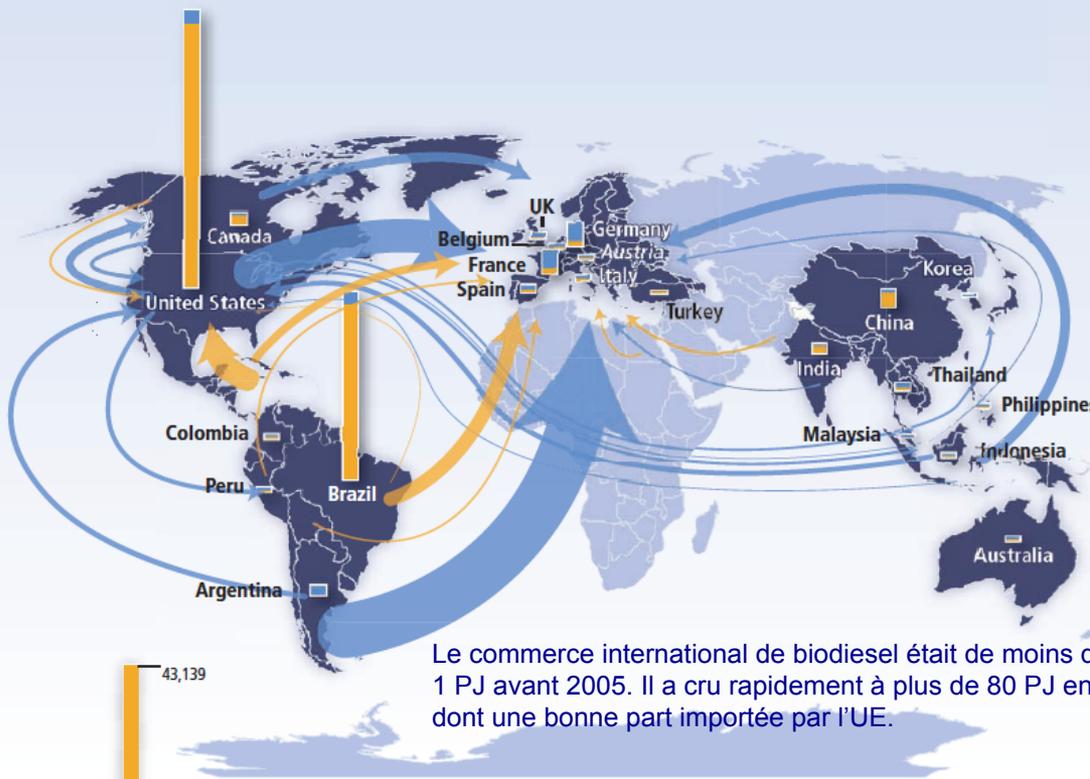
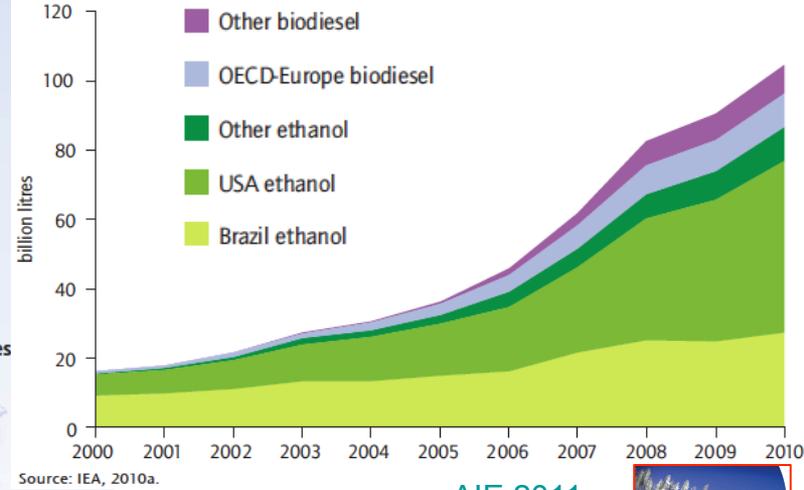
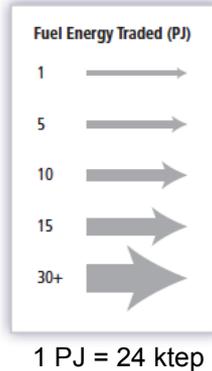
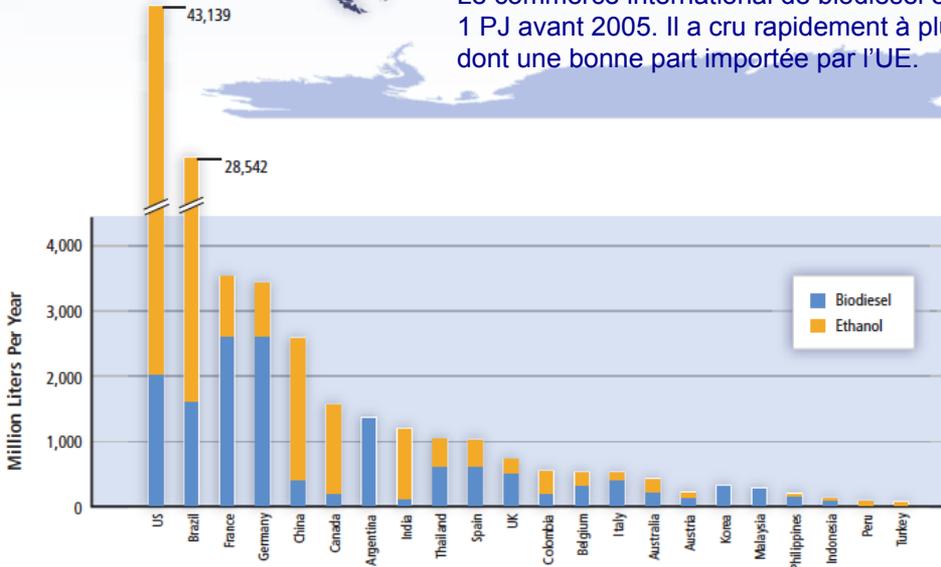


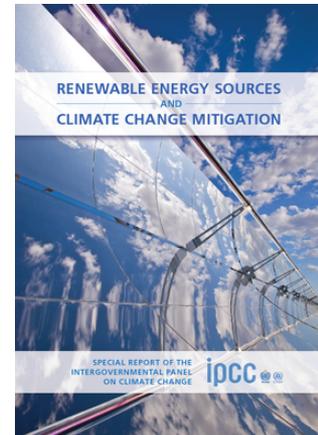
Figure 1: Global biofuel production 2000-10



AIE 2011 –
biocarburants
en 2050

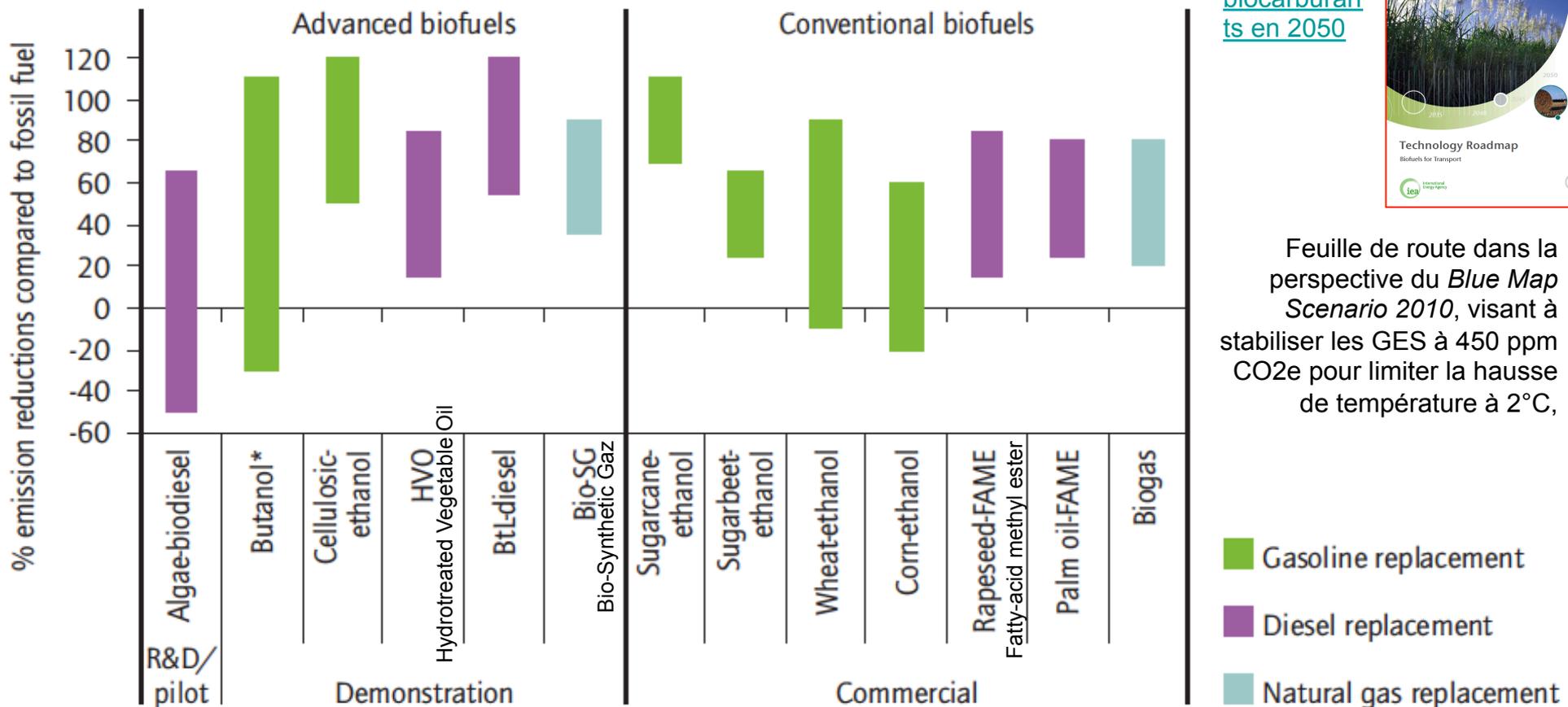


Global biofuels production and main international trade, 2009. The total intra-EU biodiesel and ethanol trade corresponds to 78 and 116 PJ.



Quels gains d'émissions de CO2 avec les biocarburants ?

Réductions d'émissions de GES pour divers biocarburants (revue d'ACV)



[AIE 2011 – biocarburants en 2050](#)



Feuille de route dans la perspective du *Blue Map Scenario 2010*, visant à stabiliser les GES à 450 ppm CO2e pour limiter la hausse de température à 2°C,

Source: IEA analysis based on UNEP and IEA review of 60 LCA studies, published in OECD, 2008; IEA, 2009; DBFZ, 2009.

Les évaluations d'émissions ne prennent pas en compte celles liées aux changements indirects d'affectation des sols.

Soulignons aussi que les émissions standards attribuées à la production des hydrocarbures fossiles n'ont pas été révisées depuis longtemps, alors que les énergies d'extraction se sont accrues.

Quels bilan GES des biocarburants ?

Bilans énergétiques/bilans effet de serre

Selon ACV validée fin 2009, ratio de performance énergétique (*tep produites/tep fossiles consommées*) égal à 1,7 (éthanol) ou à 2,4 (biodiesel) contre 0,8 pour les carburants fossiles conventionnels. Réduction des émissions de GES de 60 à 70% « de la graine à la roue ». La révision des émissions liées aux hydrocarbures fossiles améliorerait probablement encore ces résultats.

Biodiesel (filière gazole)

- 1 t d'EMHV = 11,31 hl = 0,9 tep = 0,9 t de gazole (en pouvoir énergétique - pci)
- La production de 1 t d'EMHV donne 100 kg de glycérine (chimie) et 1 500 kg de tourteaux (alimentation animale)
- 1 ha de colza \Rightarrow 36 q^x/ha \Rightarrow 1,5 tonne d'EMHV/ha/an
 \Rightarrow 16,85 hl/ha/an \Rightarrow 1,34 tep/ha/an (brutes)

Ethanol (filière essence)

- 1 t d'éthanol = 12,58 hl = 0,64 tep = 0,64 tonne de super sans plomb (en pouvoir calorifique - pci)
- 1 ha de betteraves \Rightarrow 6,56 tonnes éthanol/ha/an \Rightarrow 81,3 hl/ha/an
 \Rightarrow 4,13 tep/ha/an (brutes)
- 1 ha de blé \Rightarrow 2,78 tonnes éthanol/ha/an \Rightarrow 35 hl/ha/an
 \Rightarrow 1,78 tep/ha/an (brutes)

G2/Deuxième génération (cellulosique): les voies enzymatique (éthanol) et thermochimique (BTL) sont au stade expérimental, avec des rendements très faibles (15/20%) ne permettant que des performances limitées (~ 1 tep/ha), et sans production de co-produits. L'horizon industriel 2020 n'est pas certain. G1 et G2 sont en tout état de cause complémentaires.

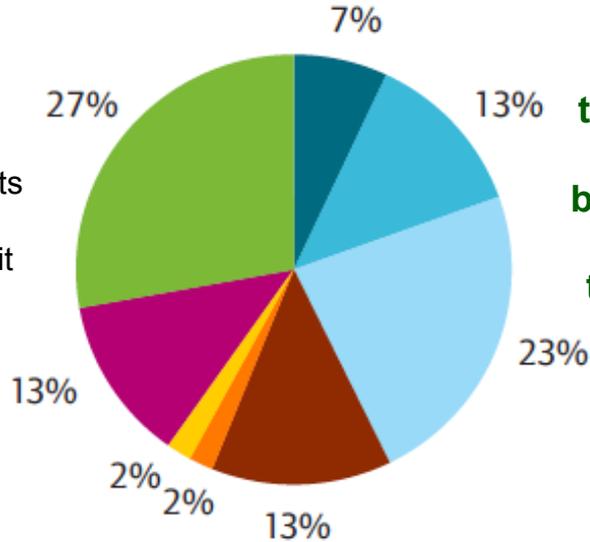
Quelle part de biocarburants en 2050 ?

27/06/12

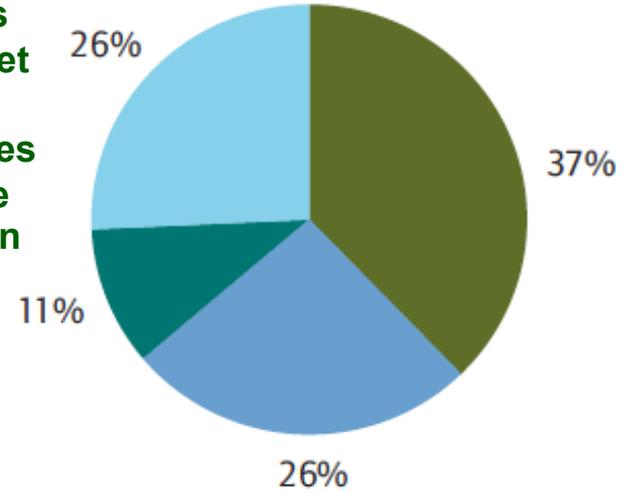
André-Jean Guérin

36

Rappel :
3 % de
biocarburants
en 2010 =
55 Mtep soit
2,3 EJ



Parts des divers
carburants dans les
transports (gauche) et
utilisation des
biocarburants dans les
différents modes de
transports (droite) en
2050.



Total: 116 EJ

(= 2784 Mtep / 1833 aujourd'hui)

Total: 32 EJ

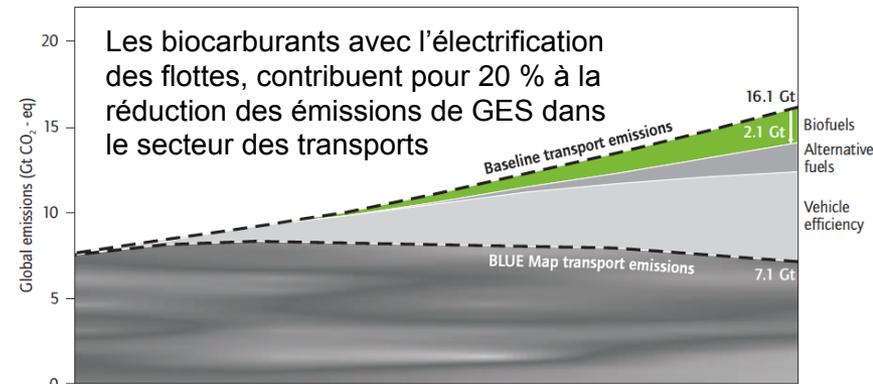
(= 760 Mtep / 55 aujourd'hui)

■ Hydrogen ■ Gasoline ■ Diesel ■ Jet fuel
■ Heavy fuel oil ■ CNG and LPG ■ Electricity ■ Biofuels

■ Road passenger transport ■ Road freight transport
■ Aviation ■ Shipping

Note: CNG= compressed natural gas; LPG= liquefied petroleum gas.

Source: IEA, 2010c.



Note: Modal shifts (not included) could contribute an additional 1.8 Gt CO₂-eq. of emission reductions.
Source: IEA, 2010c.

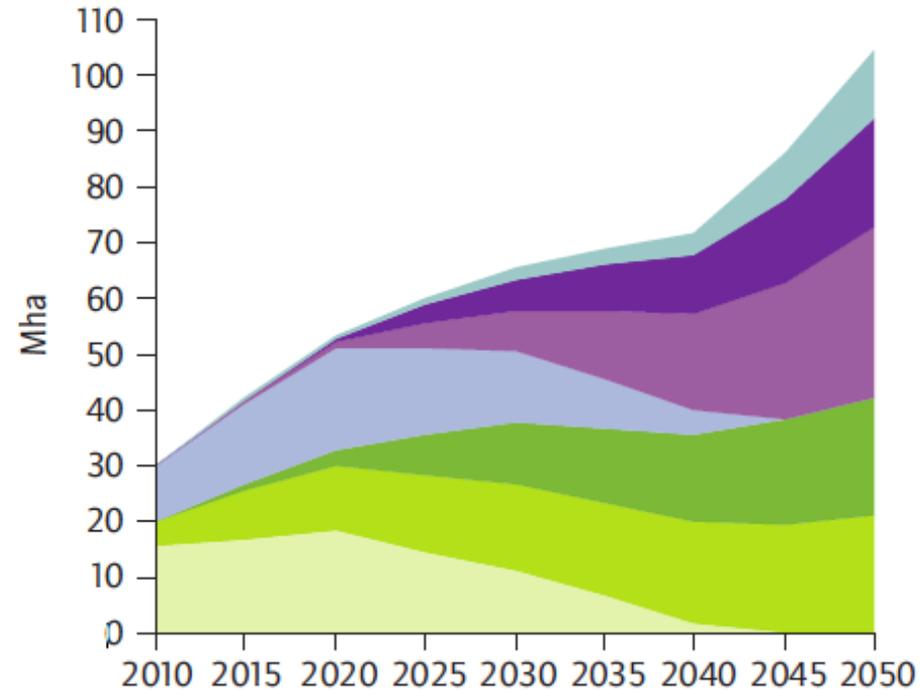
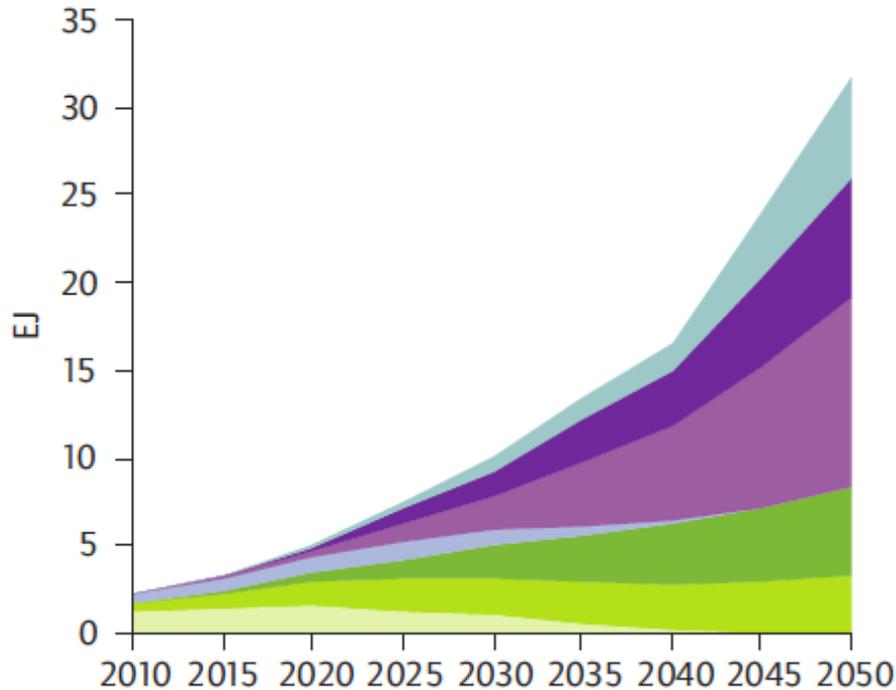


Feuille de route dans
la perspective du
BLUE Map Scenario
[ETP2010](#), visant à
stabiliser les GES à
450 ppm CO₂e pour
limiter la hausse de
température à 2°C,

AIE 2011 –
biocarburants
en 2050

Quelles surfaces pour les biocarburants ?

Demande de biocarburants (gauche) et besoins résultants de surfaces cultivables (droite)



Source: IEA

Biomethane
 Biojet
 Biodiesel - advanced
 Biodiesel - conventional

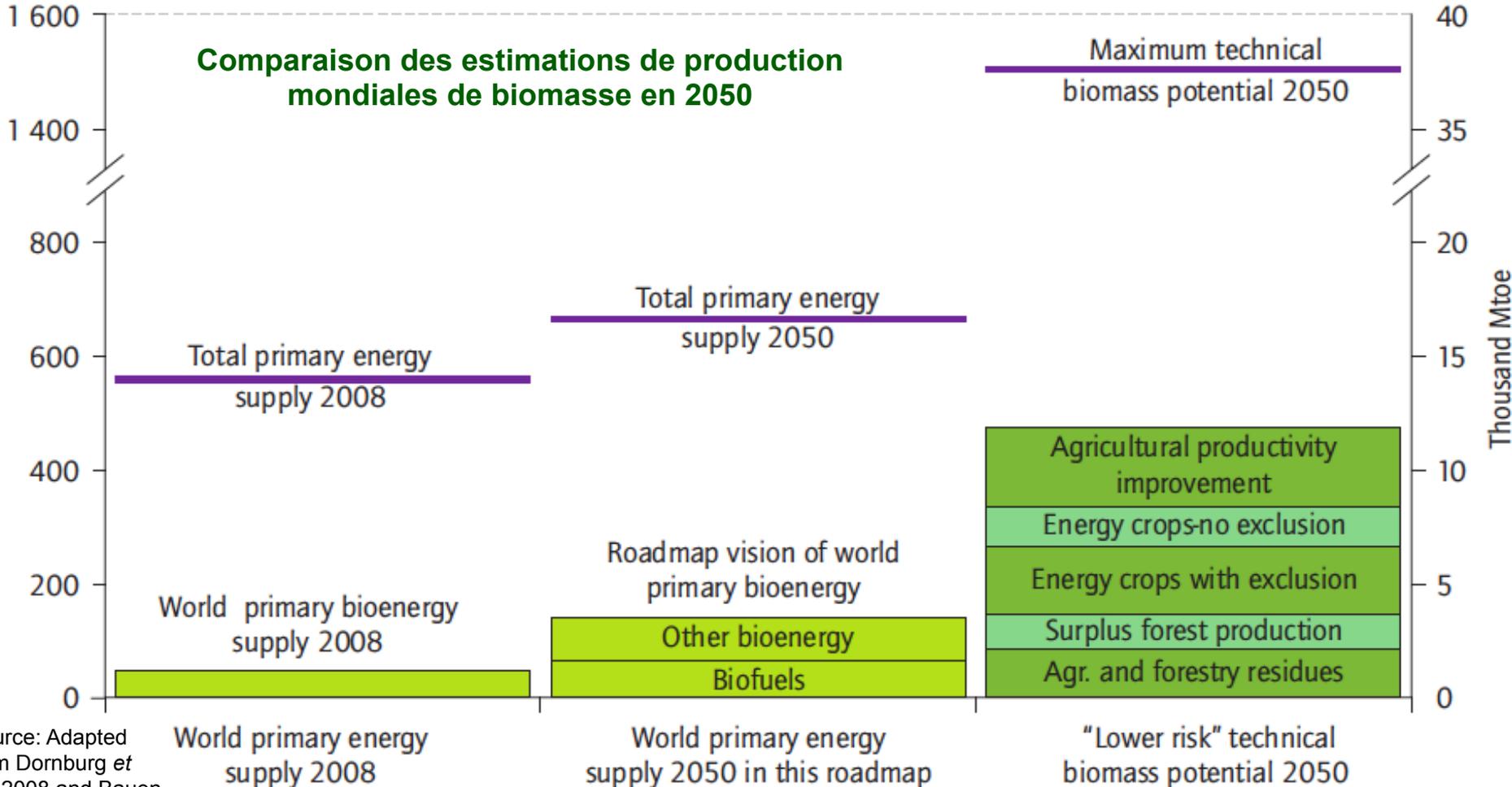
Ethanol - cellulosic
 Ethanol - cane
 Ethanol - conventional



Feuille de route dans la perspective du *BLUE Map Scenario ETP2010*, visant à stabiliser les GES à 450 ppm CO₂e pour limiter la hausse de température à 2°C,

Le besoin brut de surface ne tient pas compte des possibilités de réduction liées aux biocarburants co-produits. Il suppose que 50% de biocarburants et de biométhane soient issus de déchets et résidus représentant 1 Gt de biomasse résiduelle. Si plus de résidus sont utilisés, le besoin en terre se réduit de façon significative. *Un tel taux d'utilisation des déchets paraît excessif aux yeux de certains experts (Hervé BICHAT, Claude ROY).*

Quel potentiel de mobilisation de biomasse énergie et biocarburants ?



Source: Adapted from Dornburg *et al.*, 2008 and Bauen *et al.*, 2009, and supplemented with data from IEA, 2010c.

"lower-risk" correspond à la mobilisation à moindre risque dans l'hypothèse d'un maximum technique de production mondiale de biomasse avec : résidus agricoles et forestiers (85EJ); croissance de production forestière (60 EJ); cultures énergétiques excluant des zones de sols modérément dégradés ou de stress hydrique modéré (120 EJ); cultures supplémentaires dans les zones de sols modérément dégradés ou de stress hydrique modéré (70 EJ), et accroissement de potentiel quand la productivité agricole s'améliore plus rapidement que la tendance historique, permettant par là de produire plus de nourriture sur la même surface (140 EJ).

***Quelle production, quels usages
pour la biomasse récoltée ?***

Quels flux de biomasse ?

27/06/12

André-Jean Guérin

40

Renewable biological systems for alternative sustainable energy production

ISBN 1019-1365
FAO
AGRICULTURAL
SERVICES
BULLETIN
128

Systèmes biologiques durables pour la production alternative d'énergie durable

Bulletin de la FAO publié en 1997. Flux d'énergie annuels en Joules :

- ✓ Energie solaire rayonnée vers la Terre : $5,7 \times 10^{24}$ J/an.
- ✓ Les plantes et organismes photosynthétiques captent une partie de cette énergie,
- ✓ Et stockent 3×10^{21} J/an en fixant d'importantes quantités de CO_2 (2×10^{11} t/an)
- ✓ Les êtres humains prélèvent 3×10^{20} J/an de ce qui est converti par photosynthèse.

Ces 10% de la production mondiale de biomasse prélevé par l'humanité représenteraient environ 7 000 Mtep/an.



La production primaire nette en biomasse varie de 0 (déserts secs, glaces) à 40 tms/ha (zones et forêts tropicales humides)

- AIE – WEO 2006 fournit une estimation convergente de production de biomasse en Mds de tonnes par an :
 - Terres émergées : 140
 - Océans : 32,6
- En termes énergétiques, ces 172,6 Mds tonnes représenteraient 79,2 Gtep (3 300 EJ), soit plus de 8 fois la consommation mondiale annuelle d'énergie.
- La part prélevée annuellement par l'humanité se monterait à 3,8 Gtep (6% du total),
 - Alimentation : 2,1
 - Bois et papier : 0,4
 - Bois-énergie : 1,3

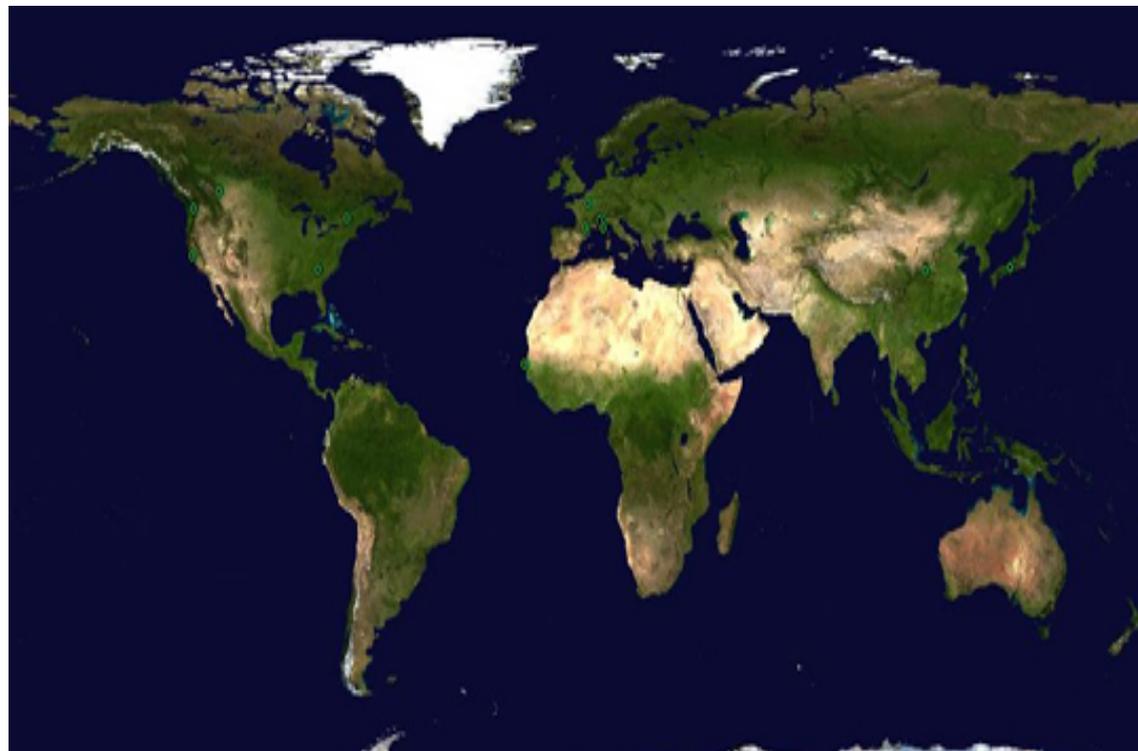
- 3 000 à 3 300 EJ de production annuelle brut de biomasse,
- 6 à 10 % (160 à 300 EJ) utilisés aujourd'hui par l'humanité,

- Combien en 2050 ?
- 1 500 EJ utilisable par l'humanité (scénario extrême), soit 50 % de l'énergie fixée par la biosphère, est-ce imaginable ?

Quelle biomasse récoltée ?

En millions de tonnes équivalent pétrole
En milliards d'hectares sur un total de
13 Mds ha de terres émergées

PH Texier CGAAER 2011



Cultures

1,5 Gha

2000 Mtep
40%

Pâtures

3,4 Gha

1200 Mtep
24%

Forêts

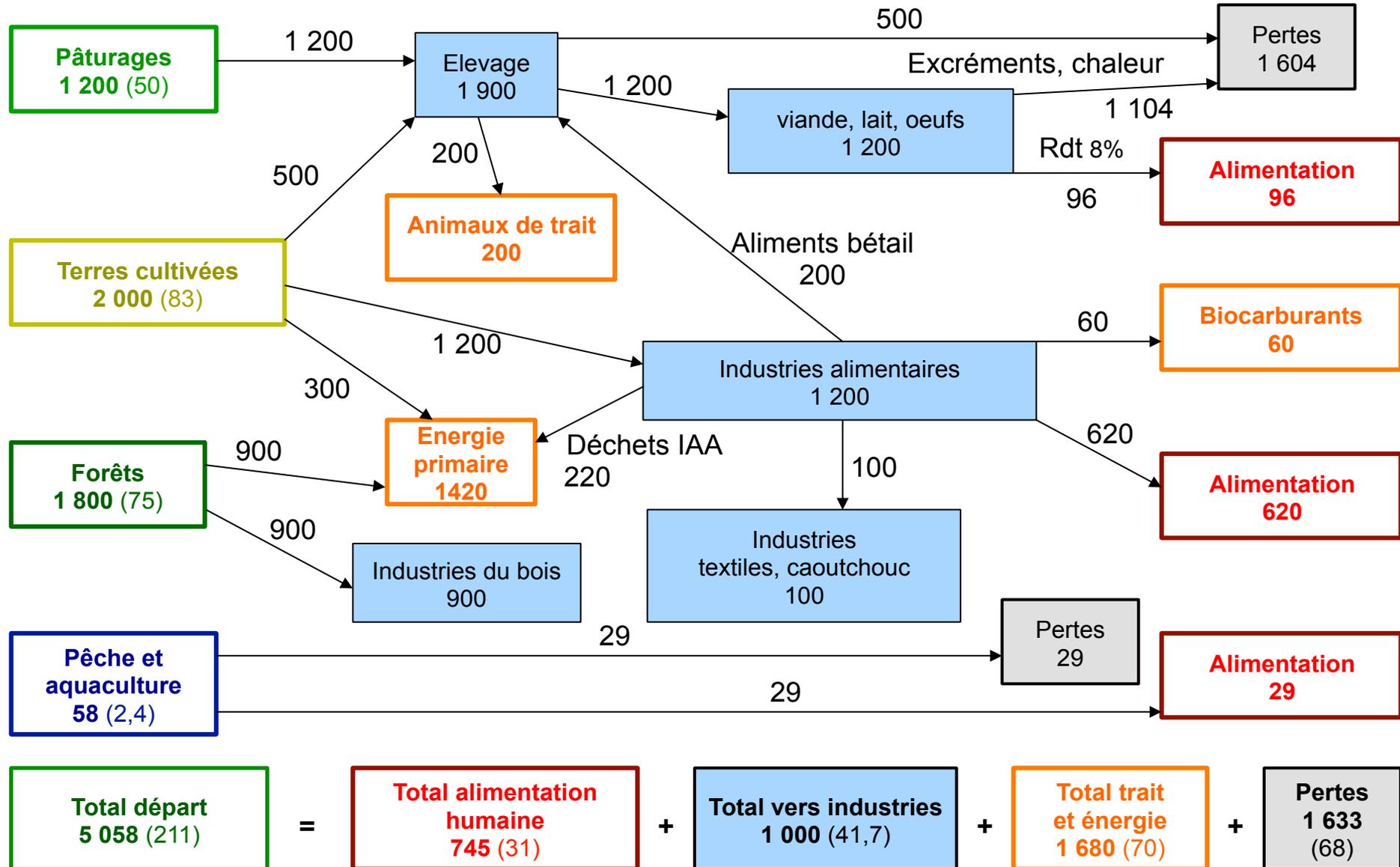
4 Gha

1800 Mtep
36%

	1961	1970	1980	1990	2000	2009
Superficie des terres	13 049 973	13 049 967	13 049 768	13 049 467	13 006 389	13 003 468
Superficie agricole	4 458 082	4 564 120	4 666 332	4 857 591	4 942 184	4 889 048
Terres arables et cultures permanentes	1 371 176	1 425 056	1 453 377	1 522 552	1 517 622	1 533 354
Prairies et pâturages permanents	3 086 906	3 139 064	3 212 955	3 335 040	3 424 562	3 355 694
Superficie forestière				4 168 400	4 085 169	4 038 719
Autres terres				4 038 499	3 992 257	4 088 049
Eaux intérieures	396 366	396 372	396 571	396 806	432 863	455 656
Superficies en milliers d'hectares						

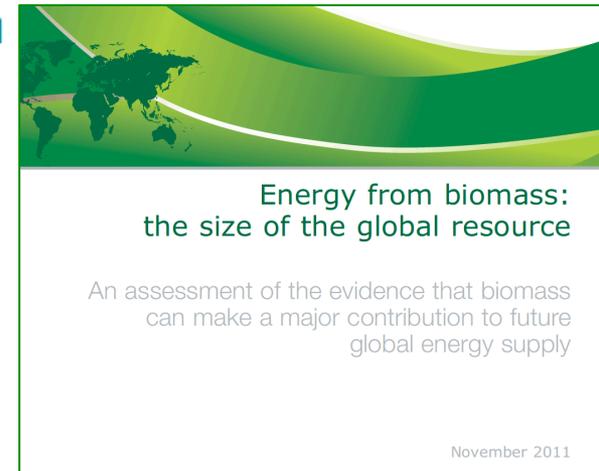
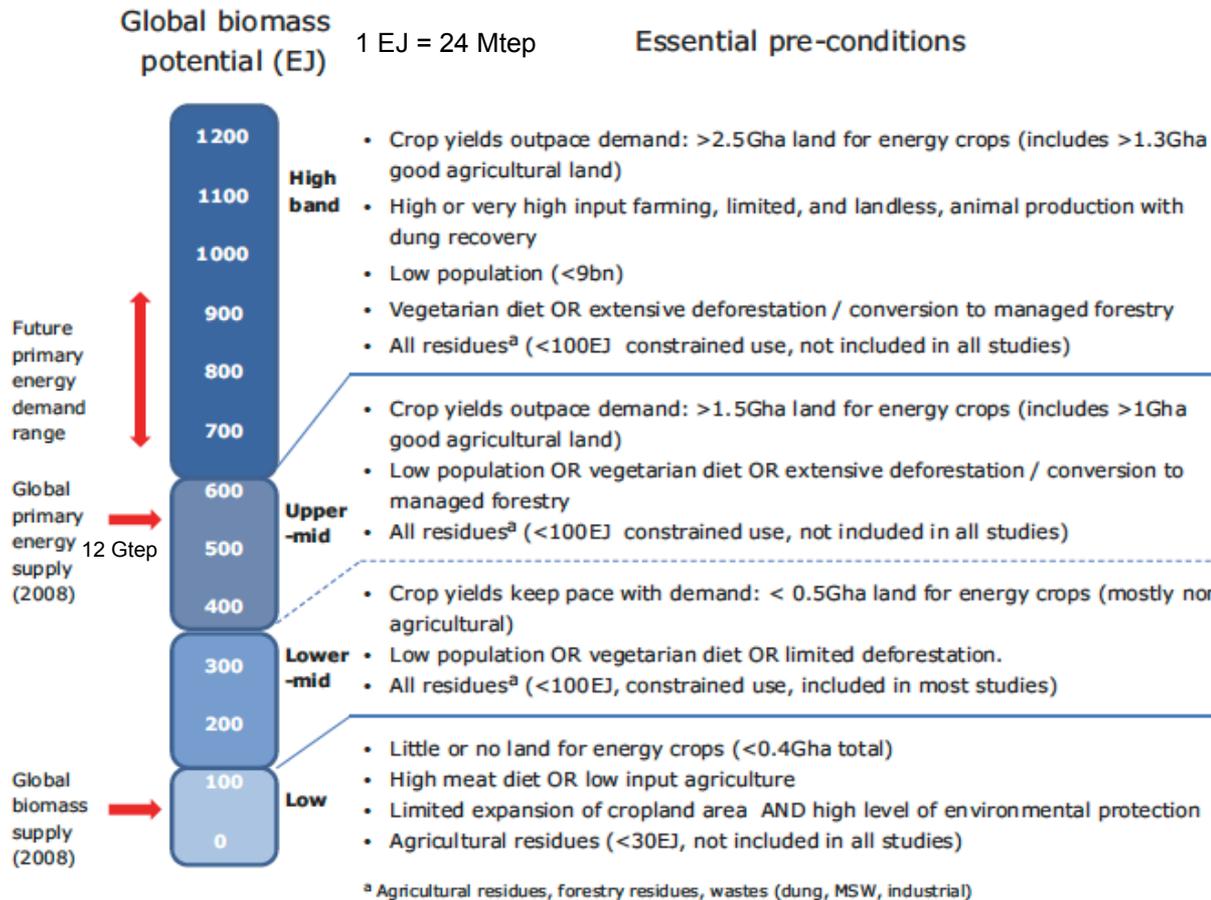
Où va la biomasse récoltée ?

En millions de tep (et en EJ)



Quel potentiel mondial de biomasse ?

Figure ES1: Common assumptions for high, medium and low biomass potential estimates

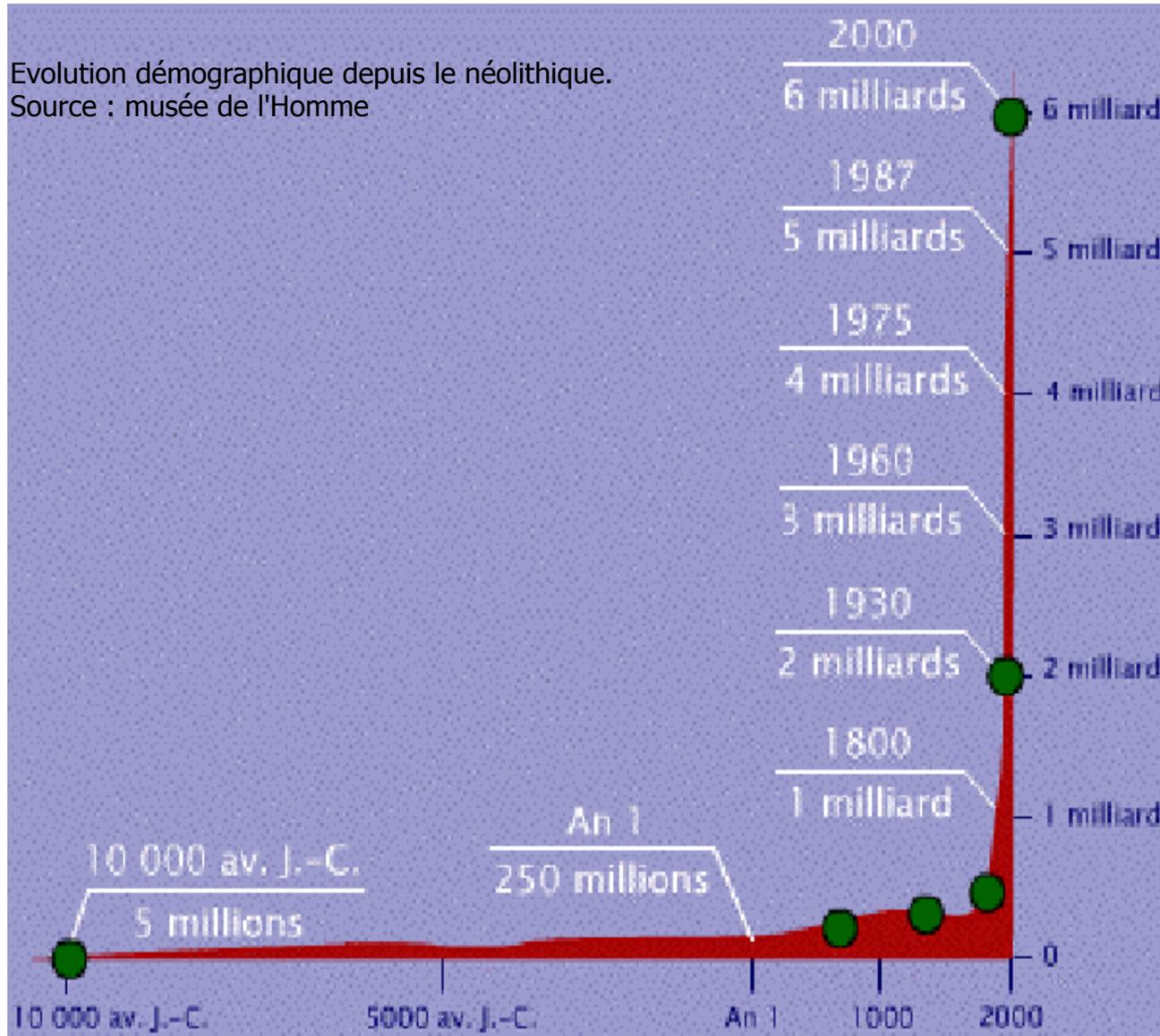


1 200 EJ : près de 50 % de l'énergie photosynthétisée par la biosphère !
Est-ce envisageable ?

Energy from biomass est un travail de UK-ERC (Centre britannique de recherche sur l'énergie). Il vise à alimenter le débat sur le potentiel que la biomasse pourrait apporter à la production mondiale d'énergie. Il recense les publications effectuées depuis 20 ans sur la question et indique les hypothèses qui les accompagnent. Il ne cherche pas à préciser ce qui est ou non acceptable.

Durable, combien d'années ?

Evolution démographique depuis le néolithique.
Source : musée de l'Homme



- 5 10⁹a : âge de la terre
- 3,5 10⁹a : début de la vie
- 500 10⁶a : organismes pluricellulaires puis vertébrés
- 65 10⁶a : disparition des dinosaures
- 3,5 10⁶a : apparition de l'homme
- 20 10³a : ça chauffe pour les mammoths

Quelle évolution démographique ?

27/06/12

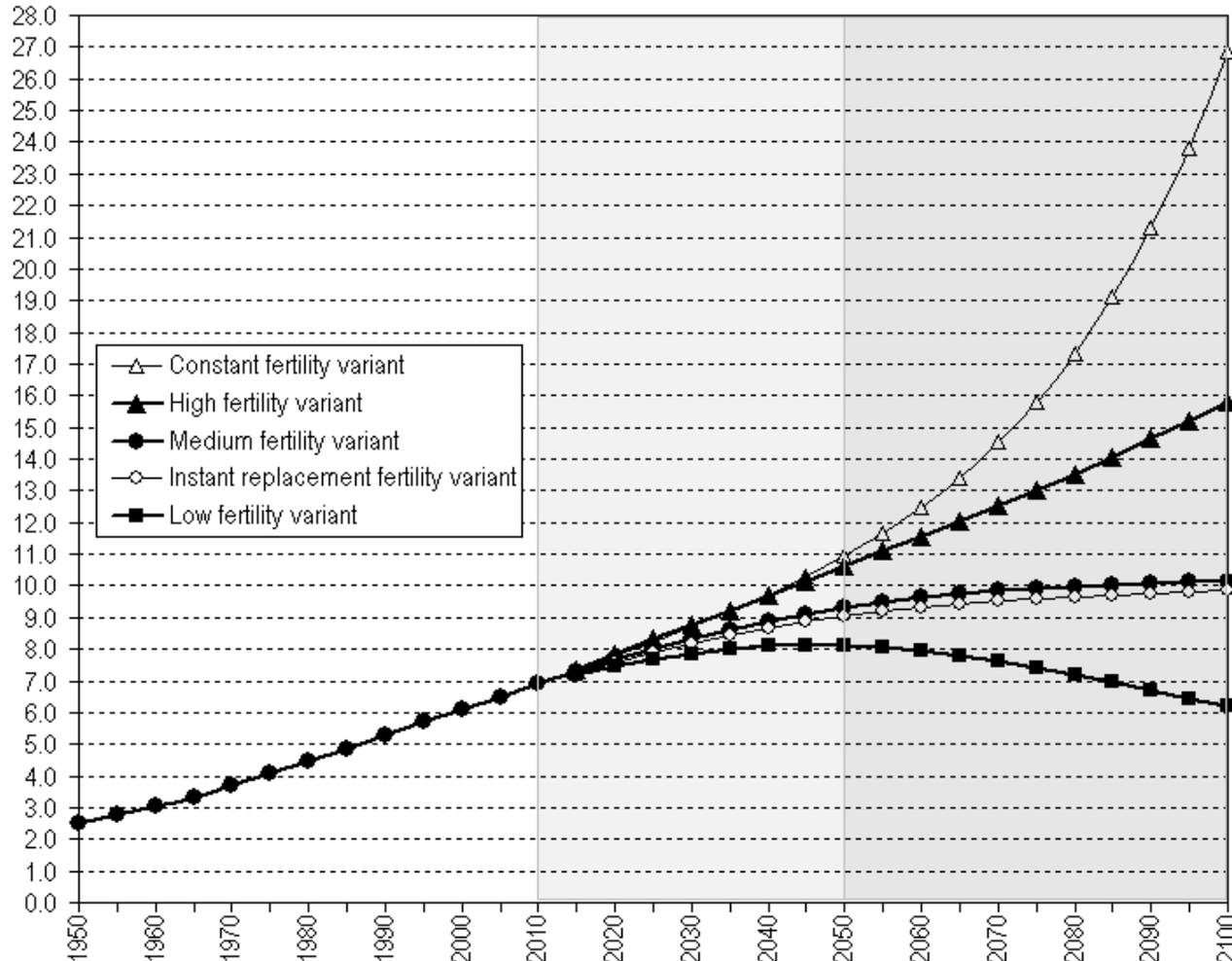
André-Jean Guérin

45

World Population Prospects, the 2010 Revision

Estimated and projected world population according to different variants, 1950-2100

Milliards d'individus



La population mondiale devrait continuer à augmenter au cours du 21e siècle, bien que sa croissance devrait connaître un ralentissement marqué au cours de la seconde moitié du siècle.

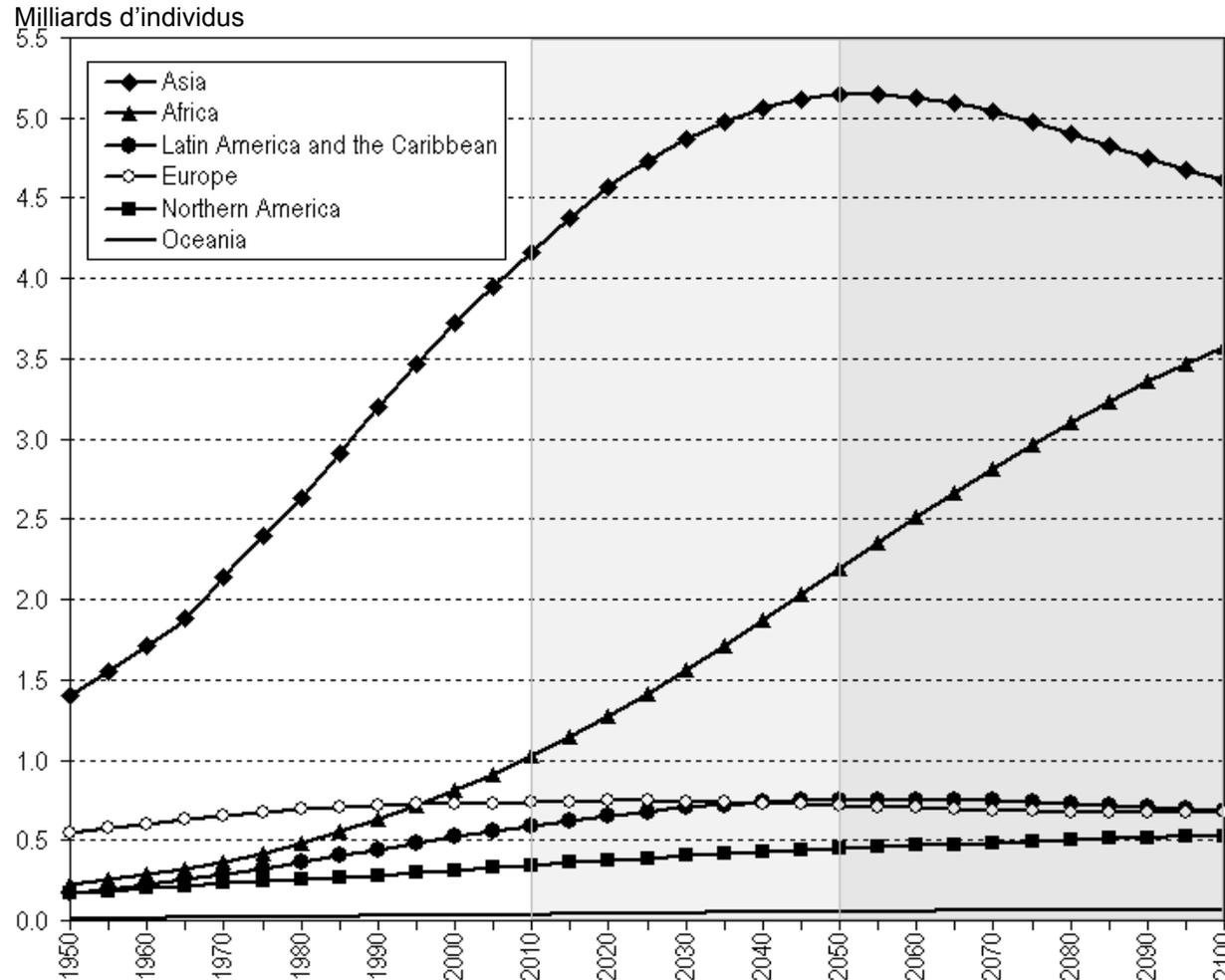
Source: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2011): World Population Prospects: The 2010 Revision. New York - (Updated: 15 April 2011) :

http://esa.un.org/unpd/wpp/Analytical-Figures/htm/fig_1.htm

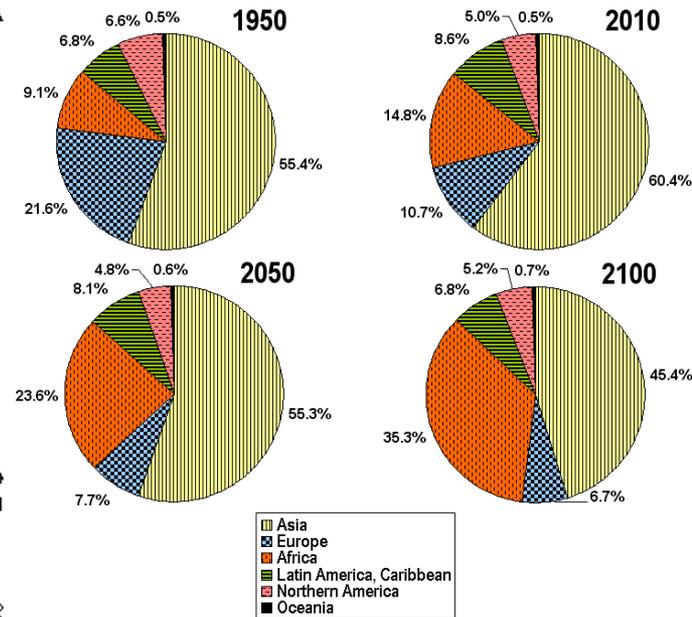
Quelle répartition démographique ?

World Population Prospects, the 2010 Revision

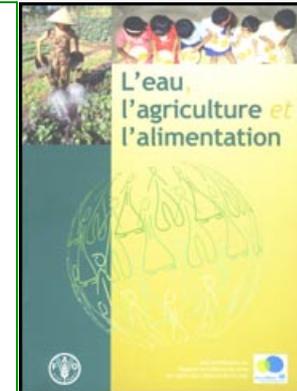
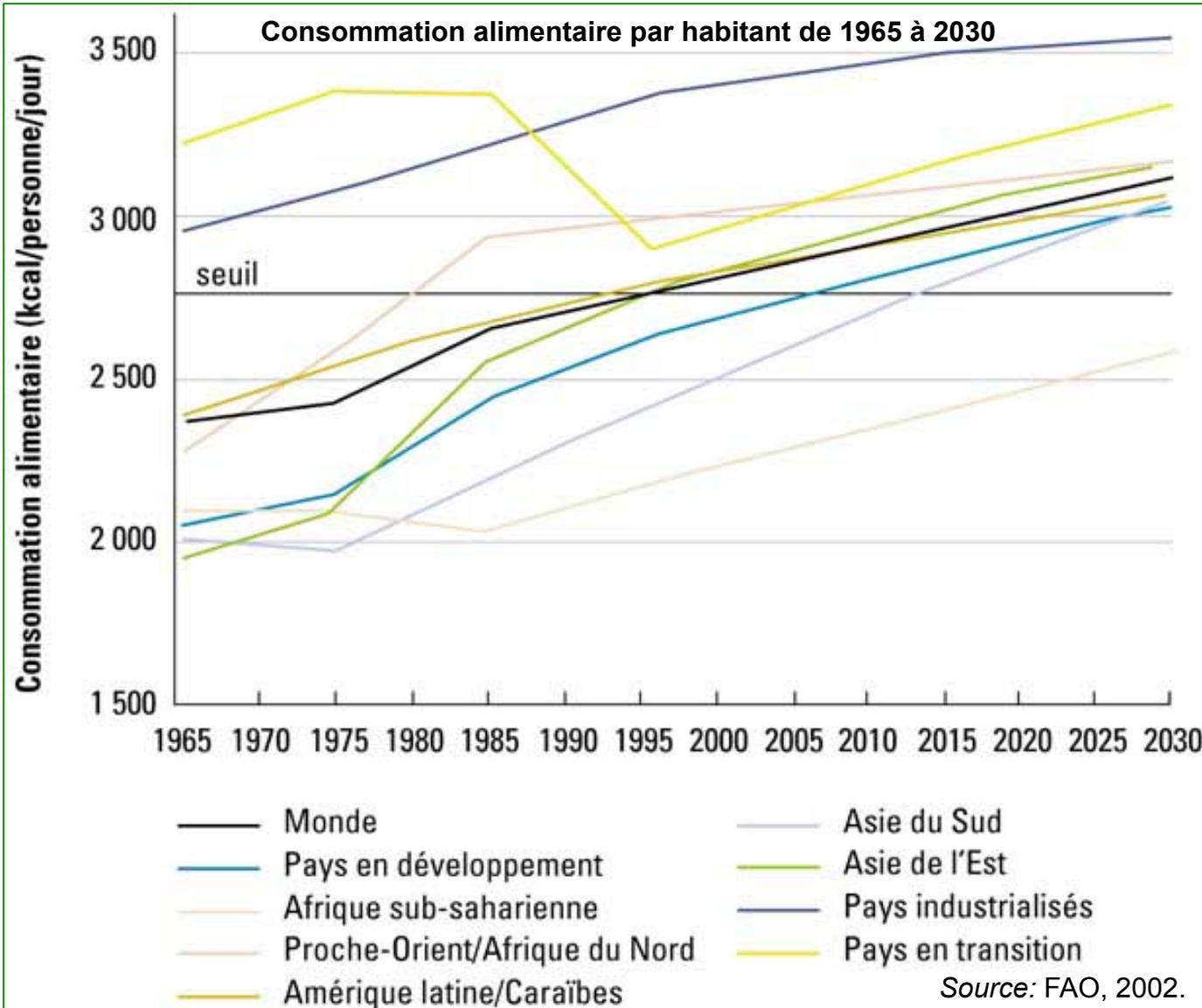
Estimated and projected population by major area, medium variant, 1950-2100



L'Asie restera la région la plus peuplée du monde au cours du 21e siècle, mais l'Afrique gagnera du terrain avec une population qui fait plus que tripler, passant de 1 milliard en 2011 à 3,6 milliards en 2100.



Quelle consommation alimentaire ?

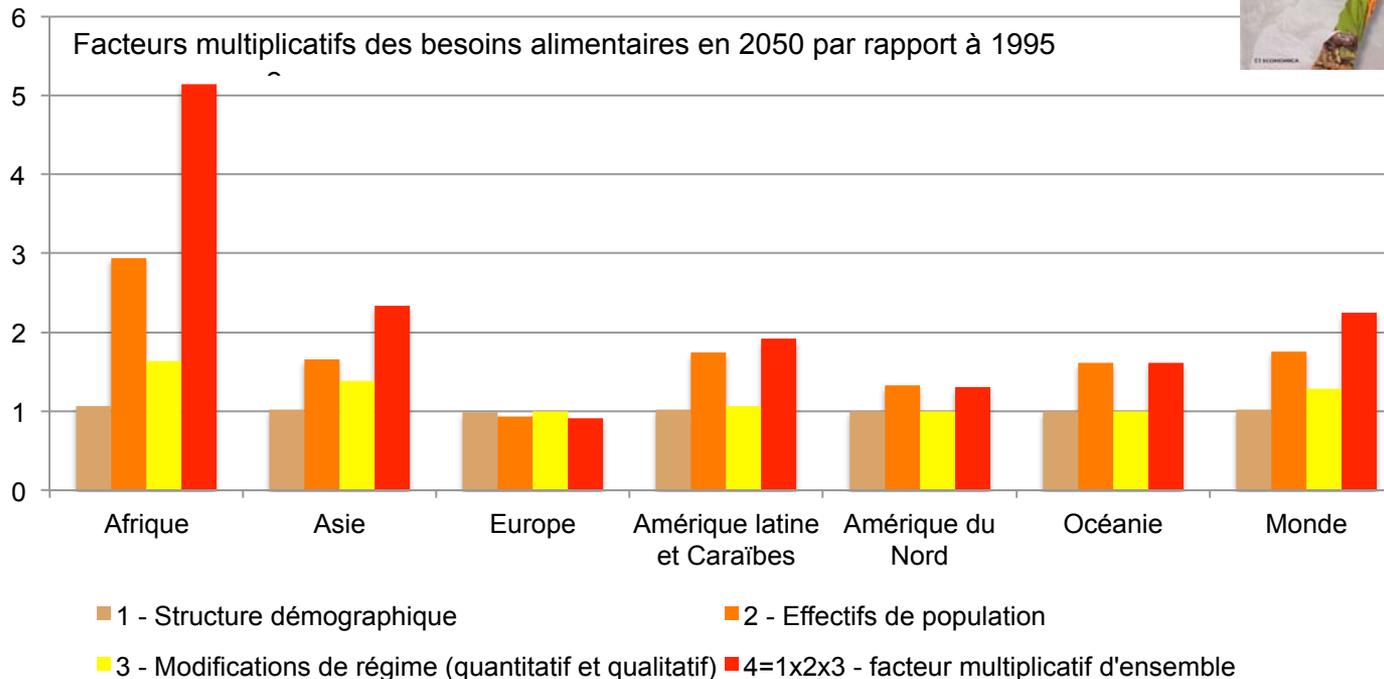


Sous-alimentation – 800 millions de personnes sont chroniquement en sous-nutrition selon la FAO, la plupart dans des pays en développement. Dans le même temps, plus d'un milliard et demi de personnes seraient en surpoids.

Seuil de 2 700 kcal pris comme indicateur du niveau de satisfaction des besoins en sécurité alimentaire.

Quelle production végétale pour couvrir les besoins alimentaires ?

Effets de l'ensemble des facteurs démographiques et nutritionnels sur les besoins moyens en énergie d'origine végétale des populations des pays en développement en 2050, selon le continent (hypothèse centrale 9,8 Mds hab)

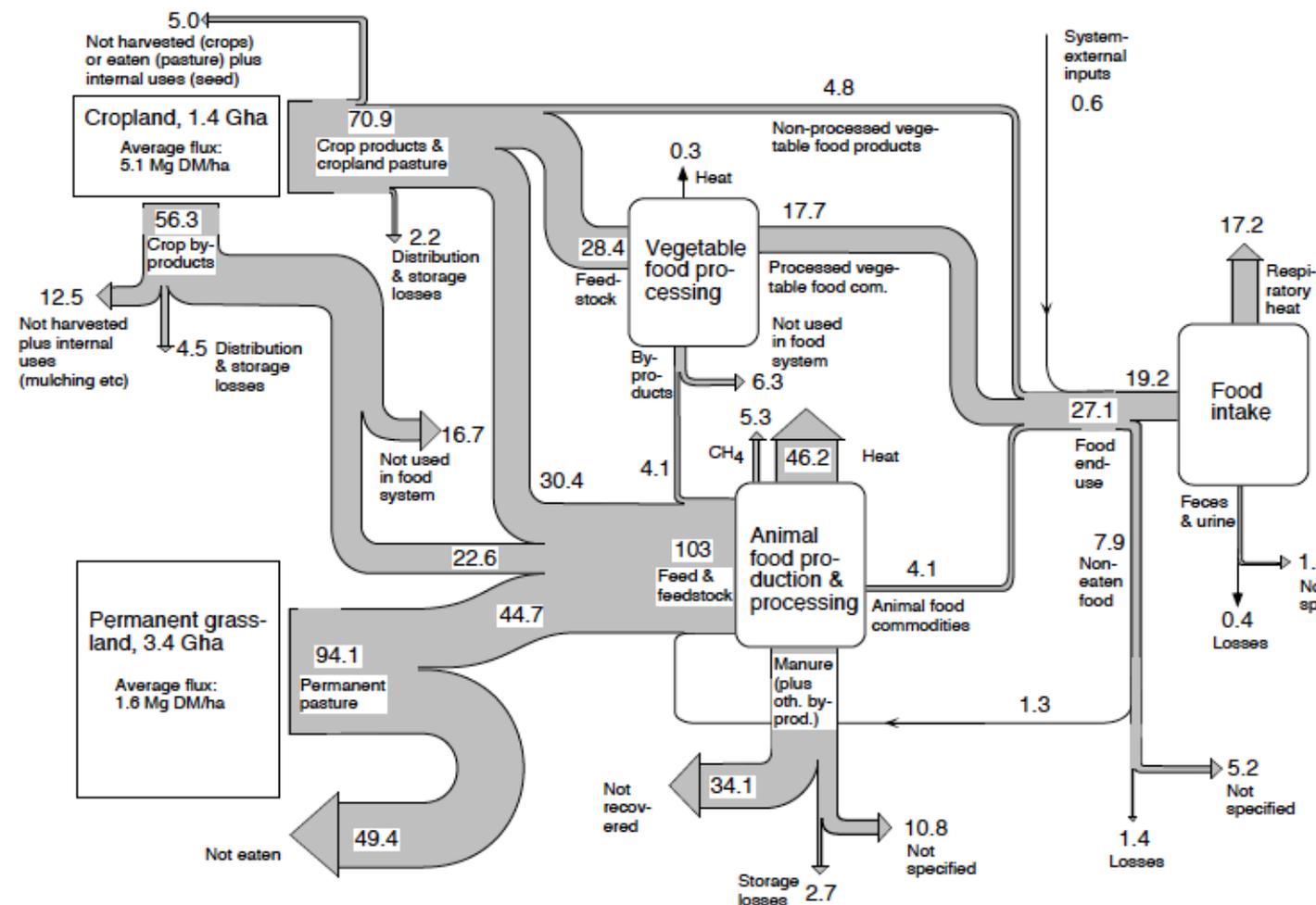


- 2 000 à 3 000 kcal/j/pers de besoins nutritionnels selon âge, sexe, activité, état physiologique.
- 2 718 cal/pers/j disponibles en 1992, dont 2 290 végétales et 428 animales,
- La moitié seulement des céréales produites va à l'alimentation humaine (alimentation animale 20%, industrie, semences, pertes),
- 10 à 40% d'estimation de pertes le long de la chaîne alimentaire :
 - Entre moisson et vente au détail,
 - Pertes ou « fuites » dans les entrepôts commerciaux,
 - Entre vente au détail et consommation,
 - Sur les réserves de sécurité des ménages (notamment ruraux).

[Une voie étroite pour la sécurité alimentaire d'ici à 2050](#), est publié par la FAO en 1999.

L'étude constate que les disponibilités alimentaires ont plus que doublé en 40 ans. Elle s'appuie sur les perspectives démographiques de l'ONU. Elle fait une analyse fine (par région et par régime alimentaire) des besoins alimentaires qui résulteront d'ici le milieu du XXI^e siècle des évolutions conjuguées de la croissance démographique, de la structure démographique (âge, taille, etc.), des régimes alimentaires (complément énergétiques, protéines d'origine animale, etc.)

Quels flux pour l'alimentation ? Une référence, la thèse de Wirsenius



- Mobilisation annuelle de biomasse par l'humanité et surfaces correspondantes
 - 5 287 Mtep
 - 4,8 Gha
- Alimentation ingérée
 - 410 Mtep
- 8% de rendement de l'ensemble de la chaîne alimentaire.
- **Ne peut-on faire mieux ?**

La première estimation sur les ressources alimentaires mondiales daterait d'un siècle. E.G. Ravenstein en 1891 évaluait la limite possible de population à 6 Mds d'humains.

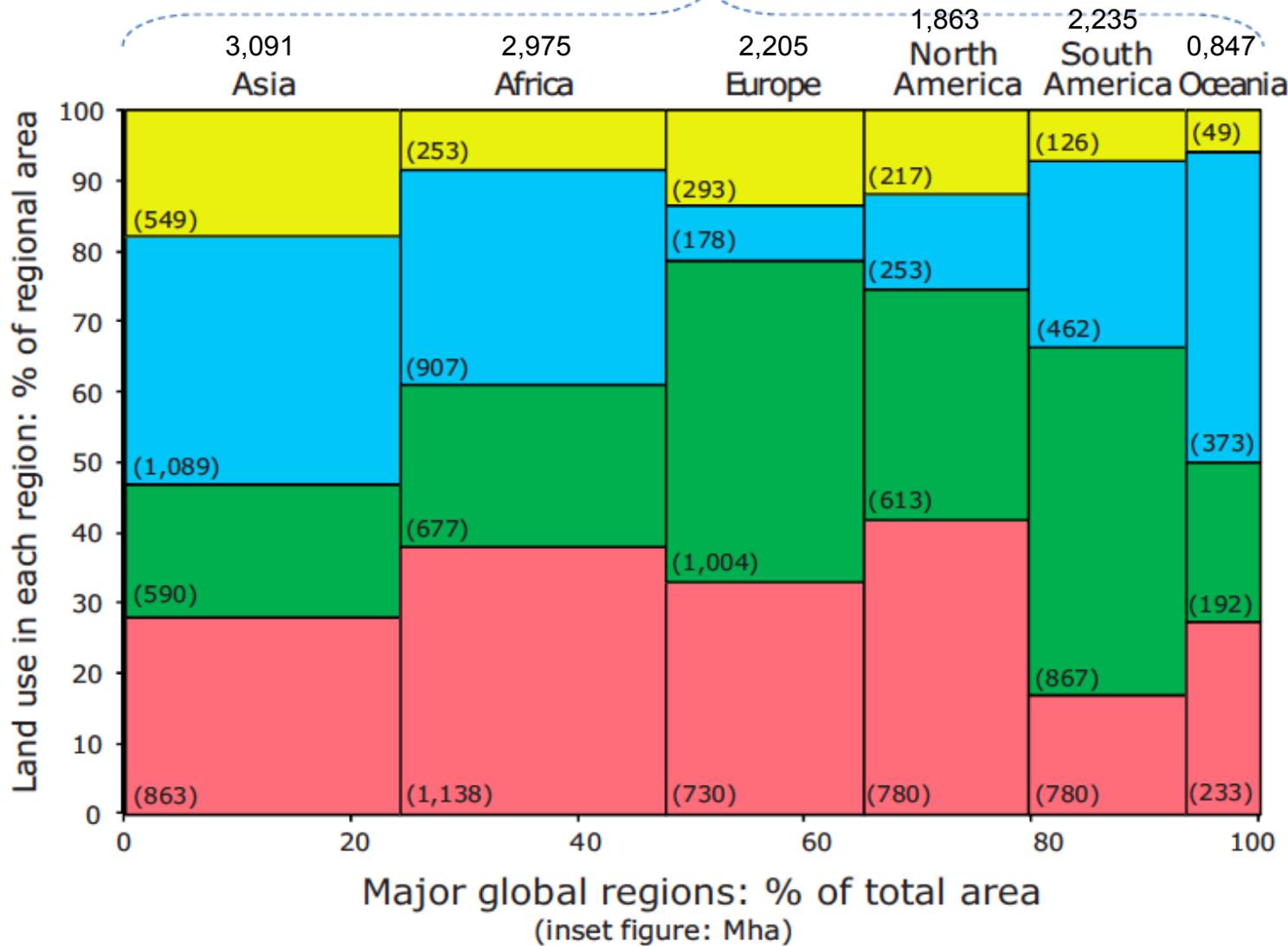
Figure 3.3 Overview of the flows of terrestrial phytomass and its derivatives in the global food system. Values in EJ GE(HHV)/year. For explanations, see text.

Human Use of Land and Organic materials
Modeling the Turnover of Biomass in the Global Food System,
Stefan Wirsenius, Thesis, Göteborg, Sweden 2000

Quelles caractéristiques des terres ?

Figure 2.2: The global distribution of land by region and use

Global land area: ~13Gha



[Energy from biomass](#)
Source data: FAOSTAT 2009.

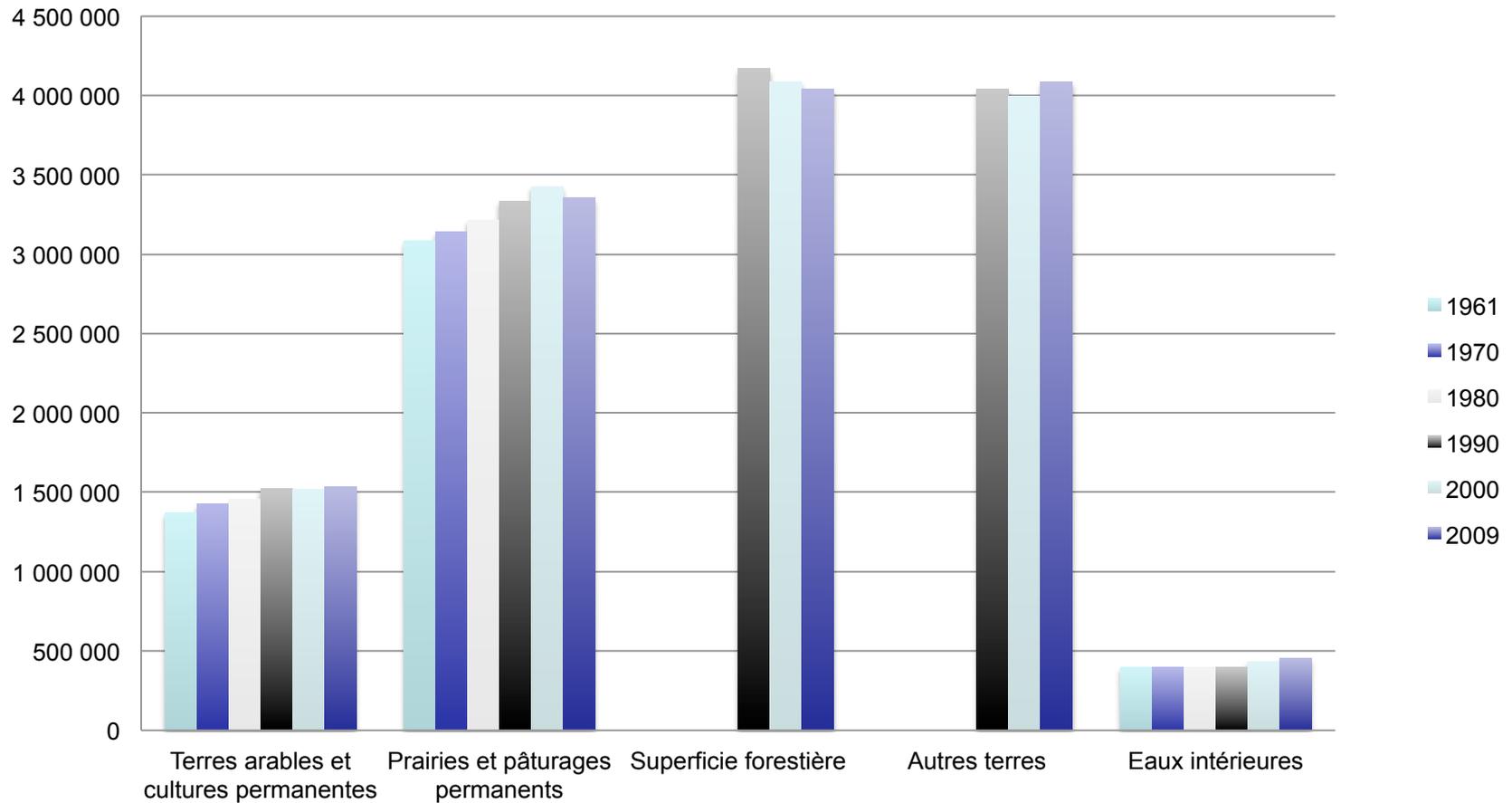
- Arable: area under temporary agricultural crops, (includes permanent crops e.g. coffee).
 - Pasture: permanent meadows and pastures either cultivated or growing wild (wild prairie or grazing land).
 - Forest: areas spanning more than 0.5 hectares with trees higher than 5 metres.
 - Other: land not classified as Agricultural land and Forest area, includes built-up and related land, barren land, other wooded land, etc.
- For full definitions see FAOSTAT.

Quel usage des terres ?

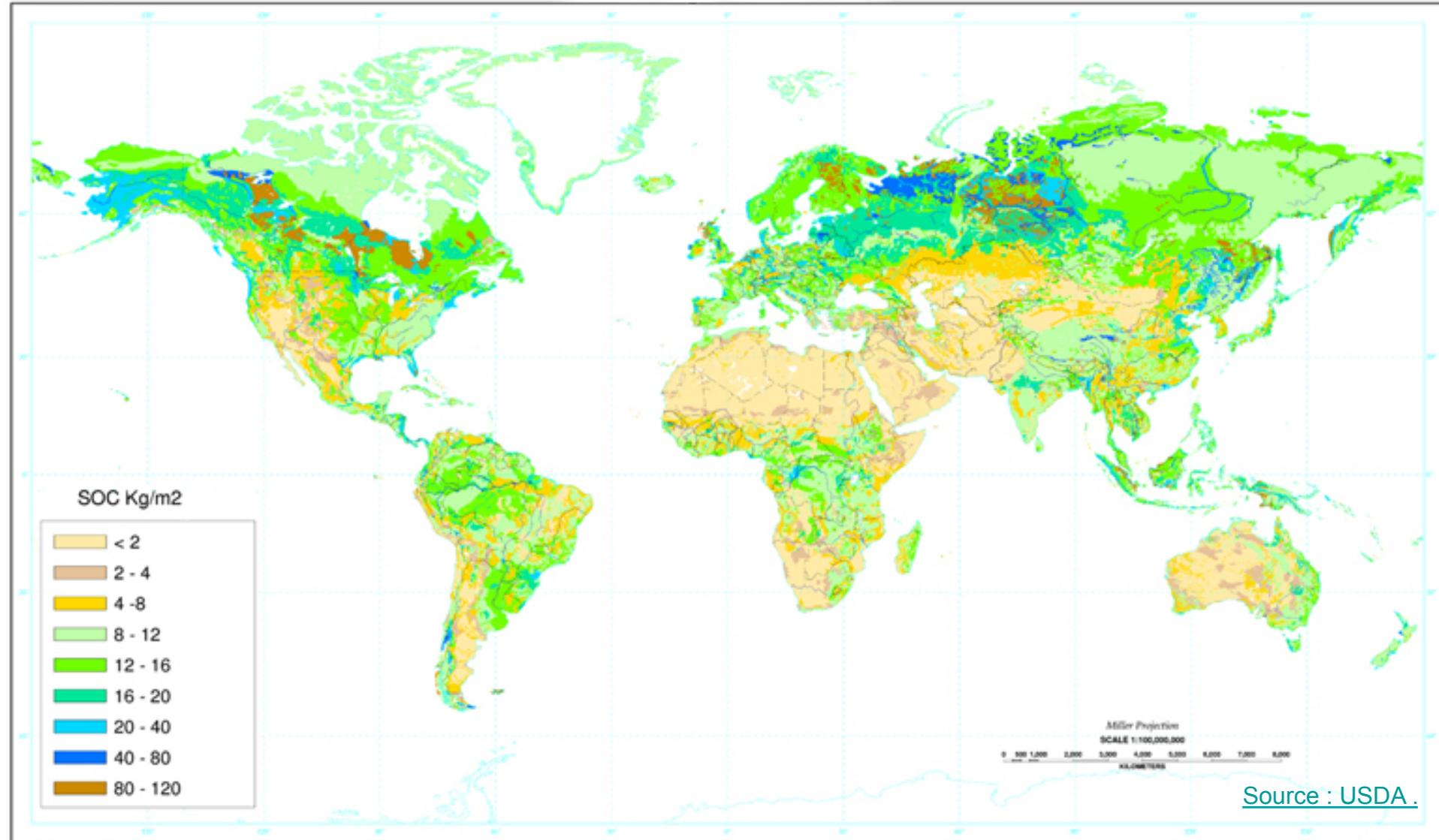
Répartition des terres

Milliers d'hectares

Total des terres : 13 Gha

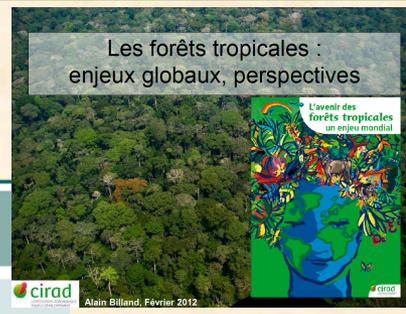


Combien de carbone dans les sols ?

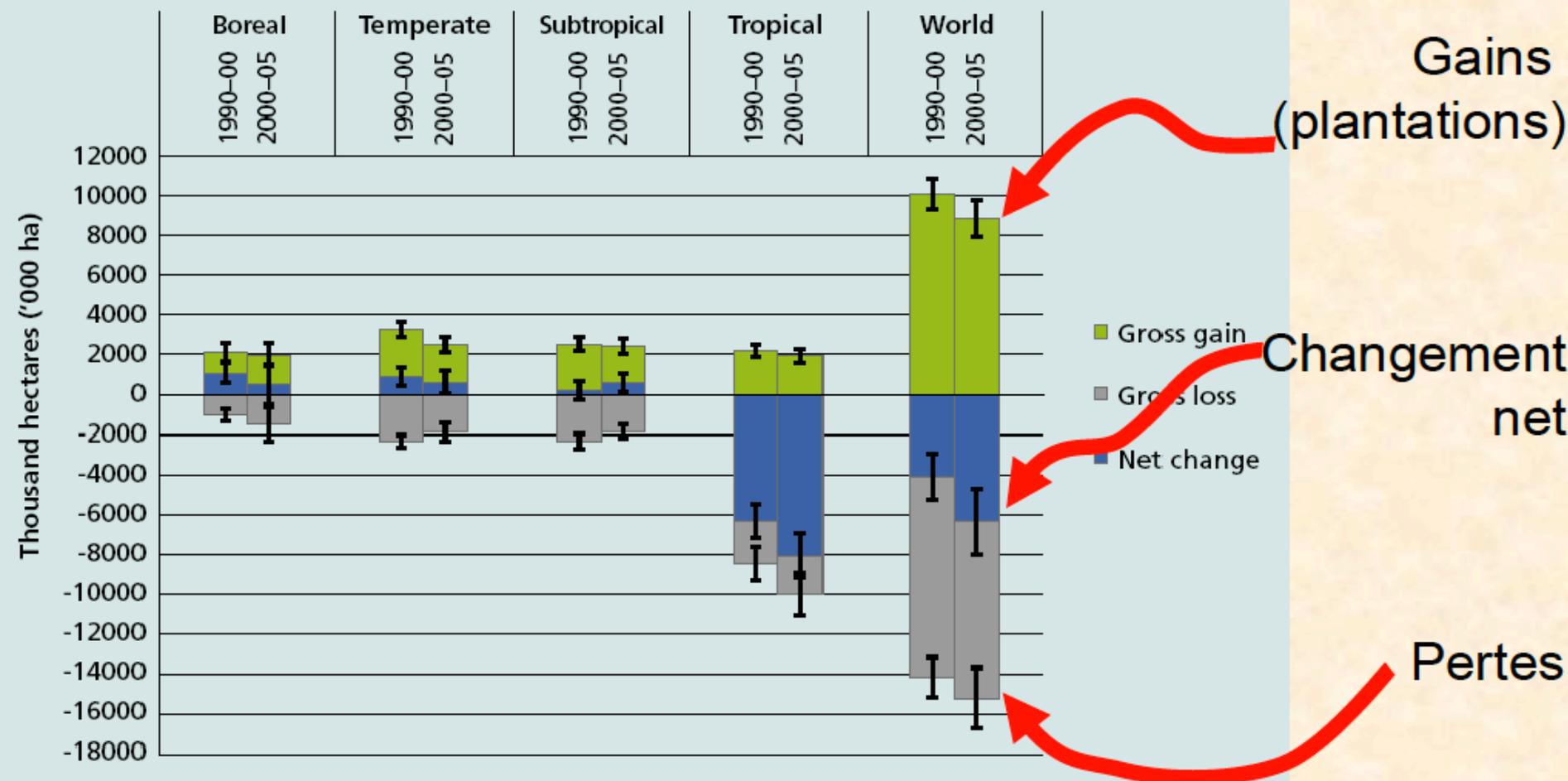


Forêts et déforestation : couvert forestier de 1990 à 2005

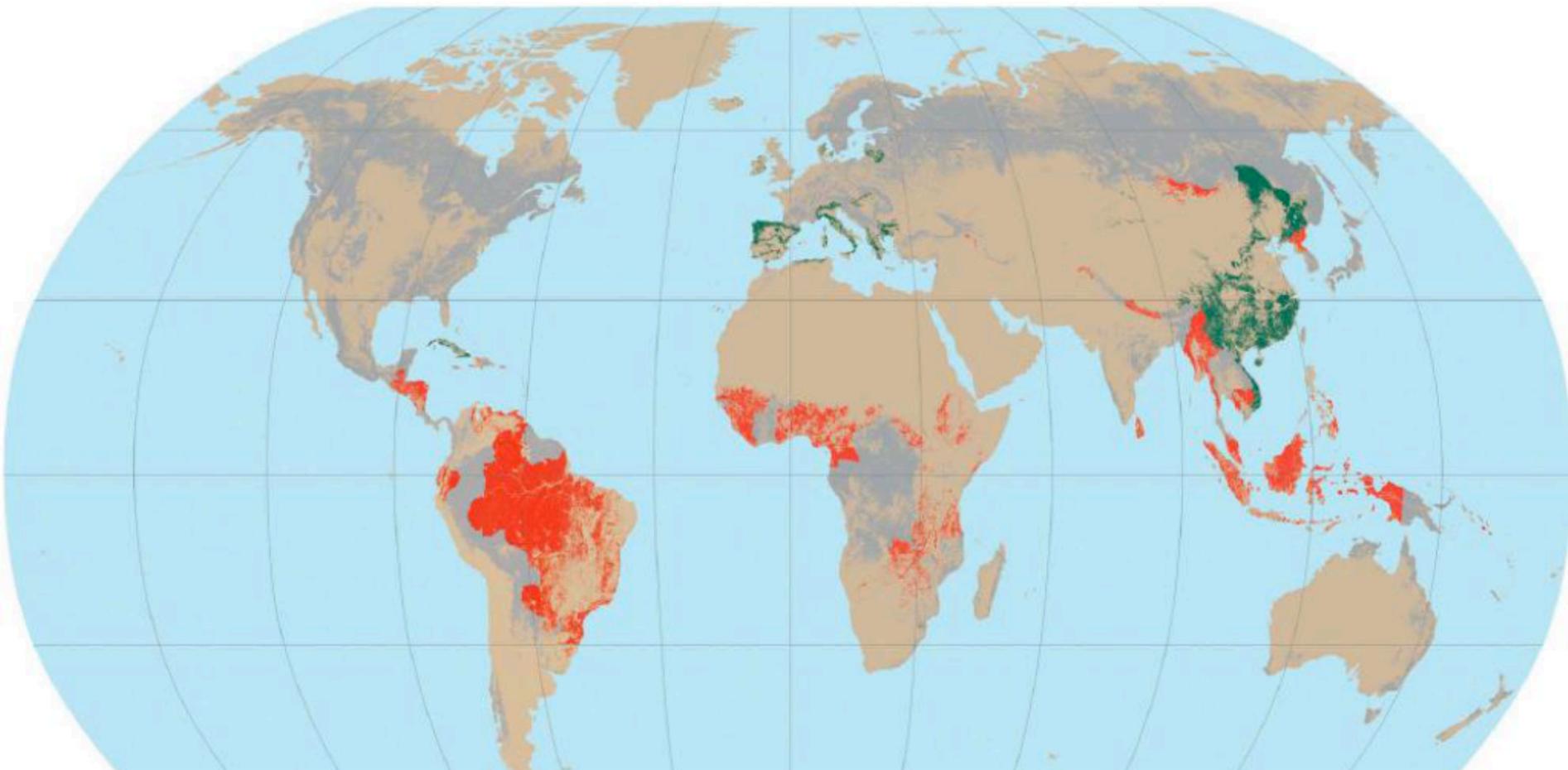
FAO, JRC, Nov 2011



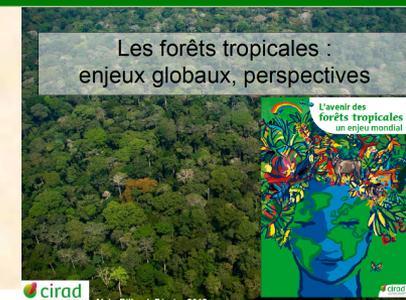
Annual change in forest area (1990–2000 and 2000–2005) by climatic domain



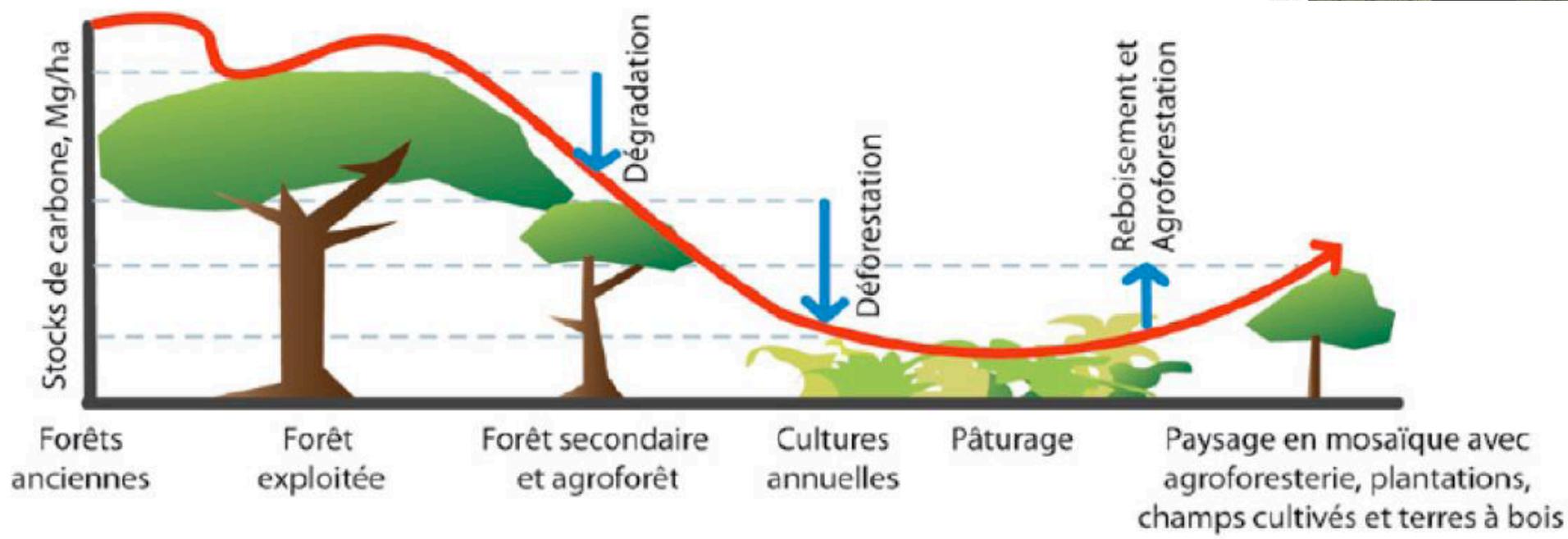
Forêts et déforestation : des références multiples



Rouge : diminution du couvert forestier $>0,5\%$ par an
Vert : accroissement du couvert forestier $>0,5\%$ par an
Gris : variation inférieure à $0,5\%$ par an



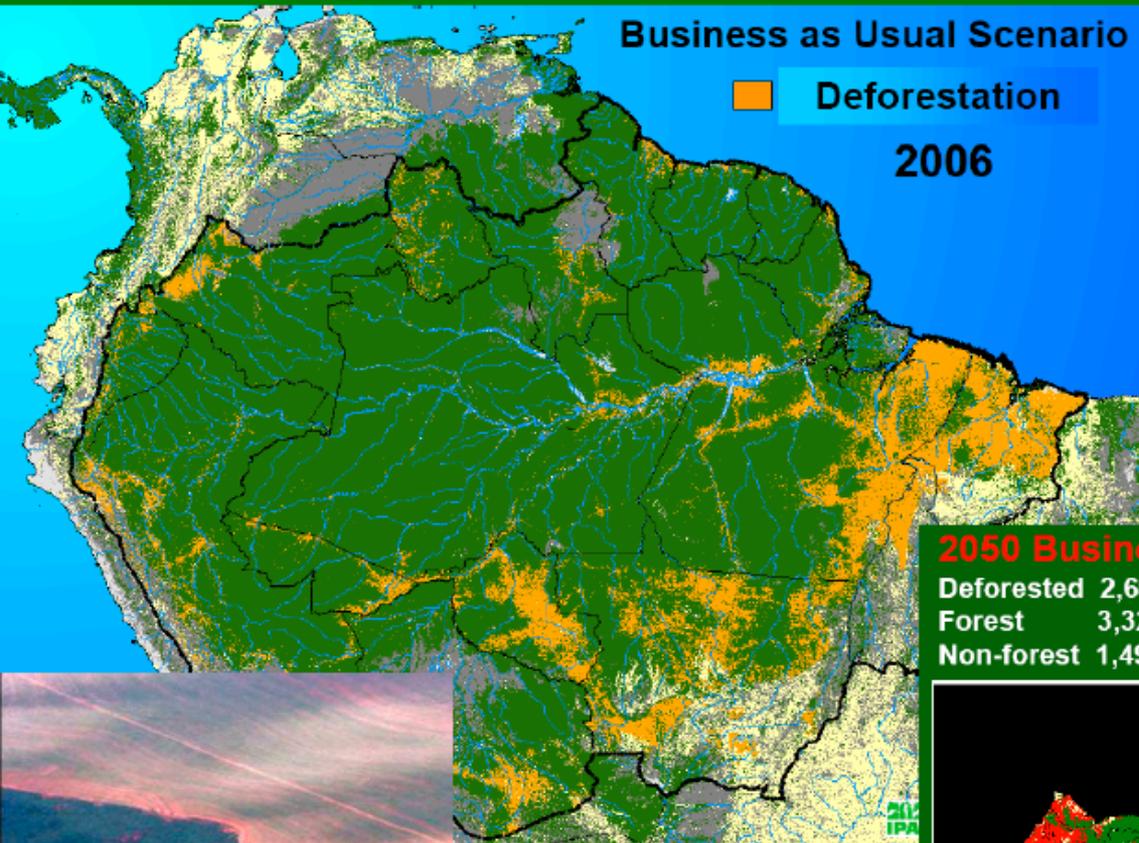
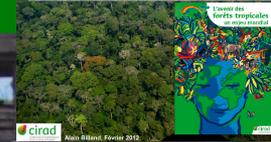
Des situations très contrastées selon les pays



CRP6, Cifor, 2011

La déforestation : avant tout un transfert vers l'agriculture

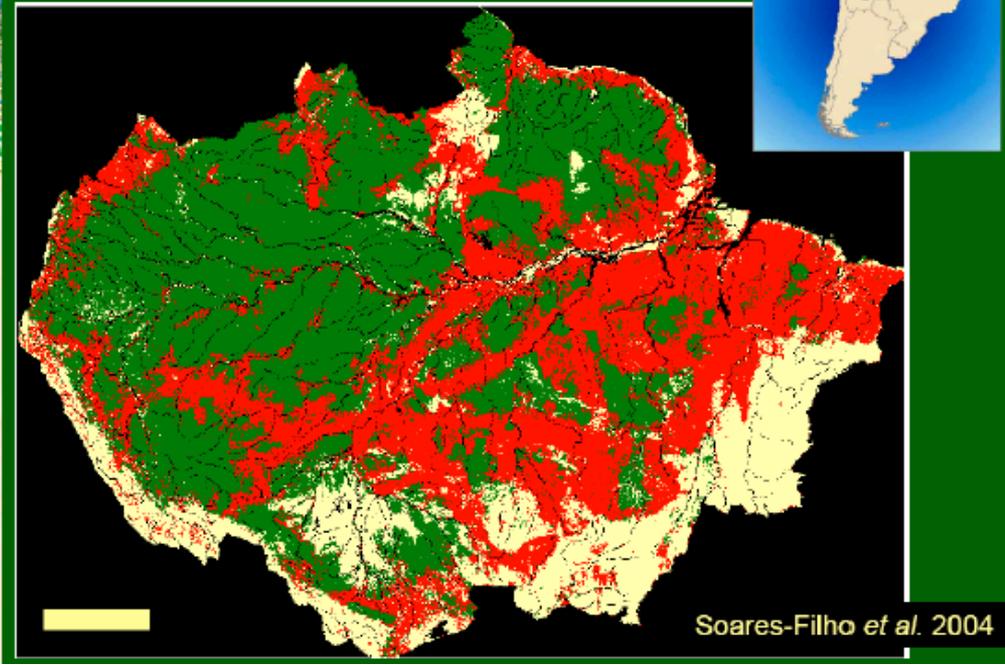
Les forêts tropicales : enjeux globaux, perspectives



2050 Business as Usual Scenario:
Deforested 2,698,735 km² (16 PgC release by 2050)
Forest 3,320,409 km²
Non-forest 1,497,685 km²

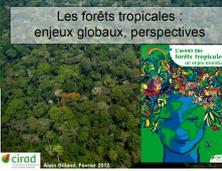


Brésil
Projections
2006-2050
Elevage et
soja



Soares-Filho et al. 2004

Valeur des forêts : bois, soja, élevage et carbone



Le calcul des coûts d'opportunité

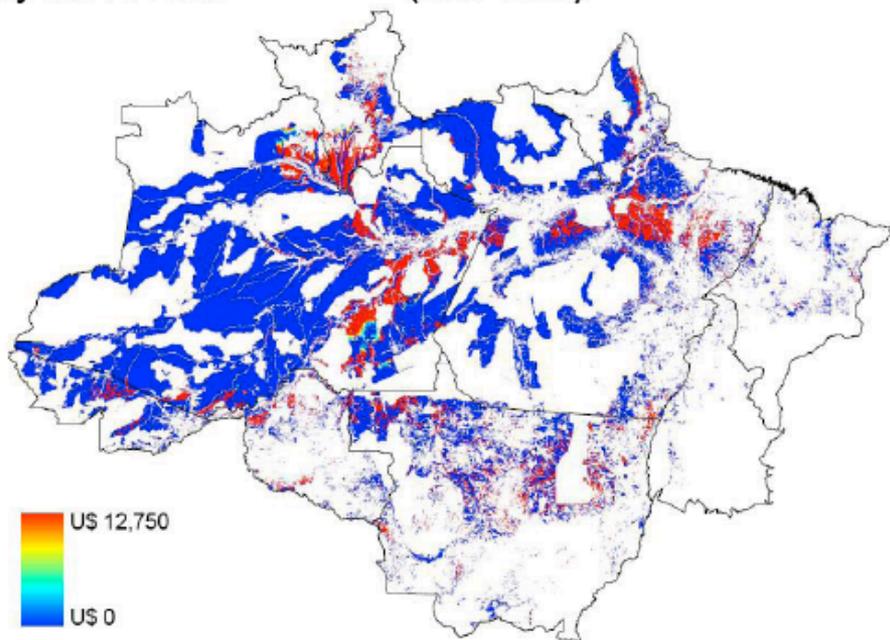
Elevage : x2 Forêt

Soja : x20

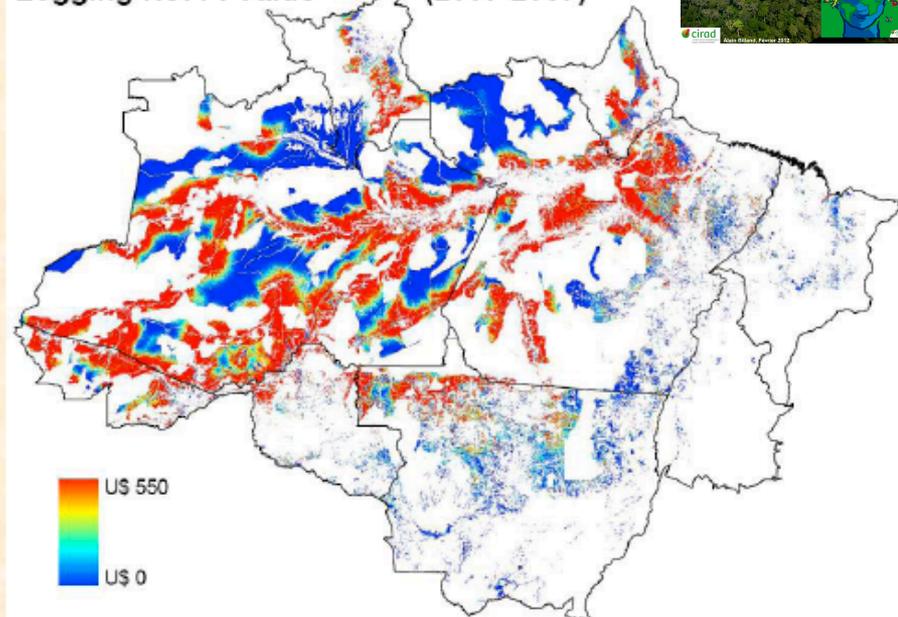
Paulo Moutinho

Paris, 2007

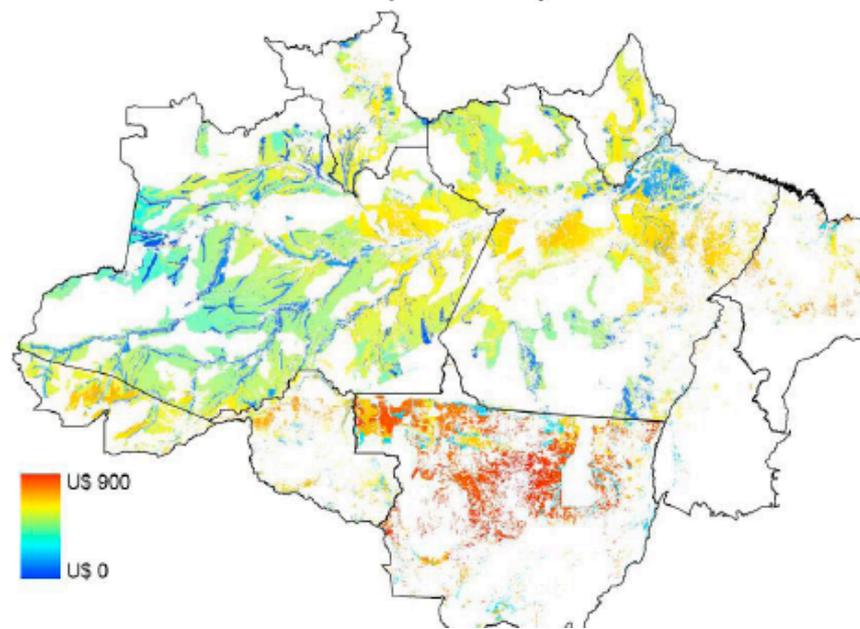
Soy Net P. Value (2007-2037)



Logging Net P. Value (2007-2037)

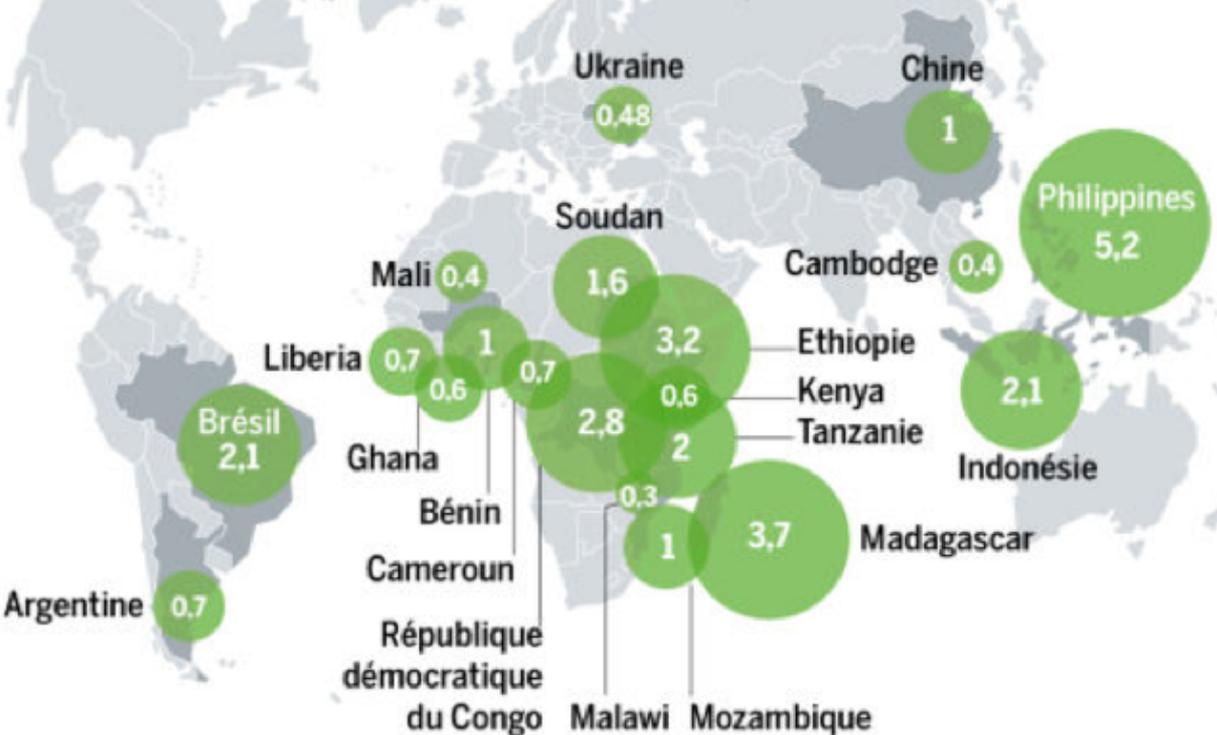


Cattle Net P. Value (2007-2037)



L'Asie et l'Afrique pour cibles

PAYS LES PLUS CONCERNÉS PAR LA LOCATION OU L'ACHAT DE TERRES DEPUIS 2000, en millions d'hectares (pour les transactions vérifiées)



SOURCE : LAND MATRIX

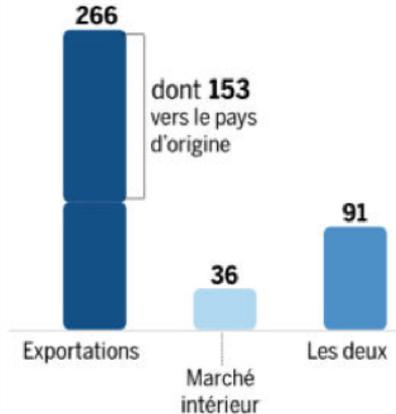
Quels accaparements de terres ?

PAYS INVESTISSEURS, en millions d'hectares

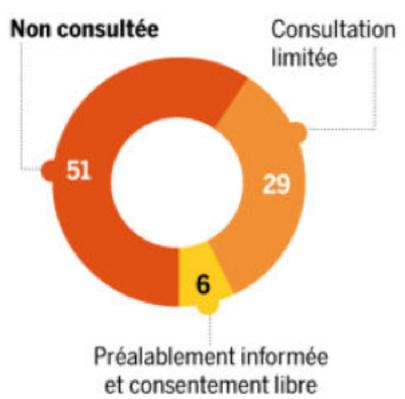


Le Monde – 24.04.2012
Le projet Land Matrix réunit cinq partenaires, dont le Cirad. Un nouveau [site Internet](#) rassemble les données (peu connues et incertaines) sur les échanges de terres en grandes étendues.
83 Mha concernés pour des productions de nourriture, d'énergie et de matériaux.

DESTINATION DE LA PRODUCTION, en nombre de contrats

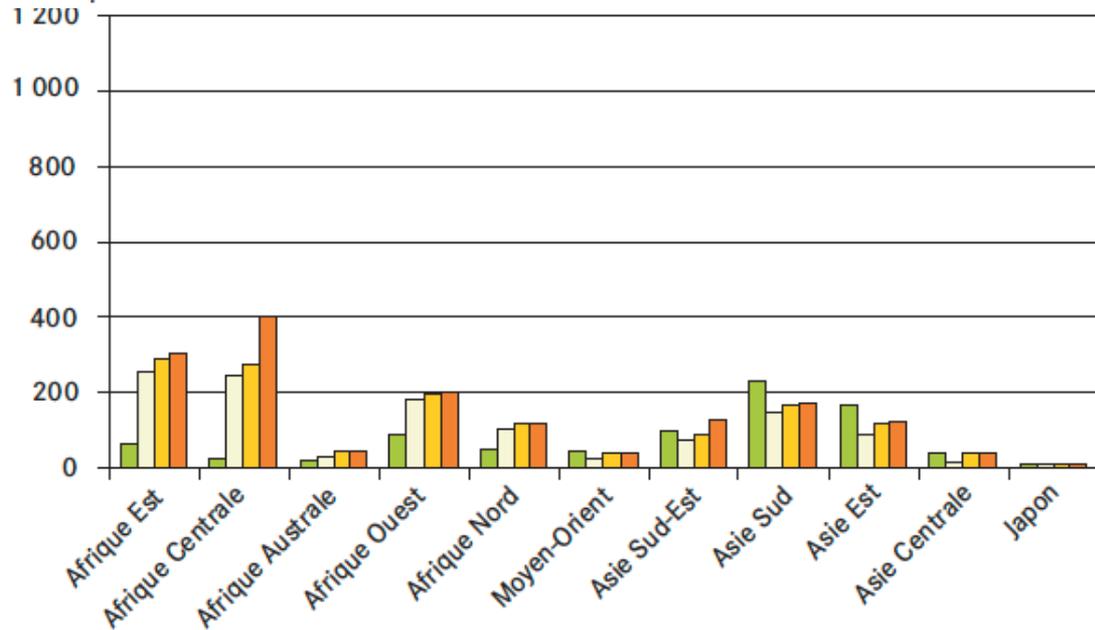
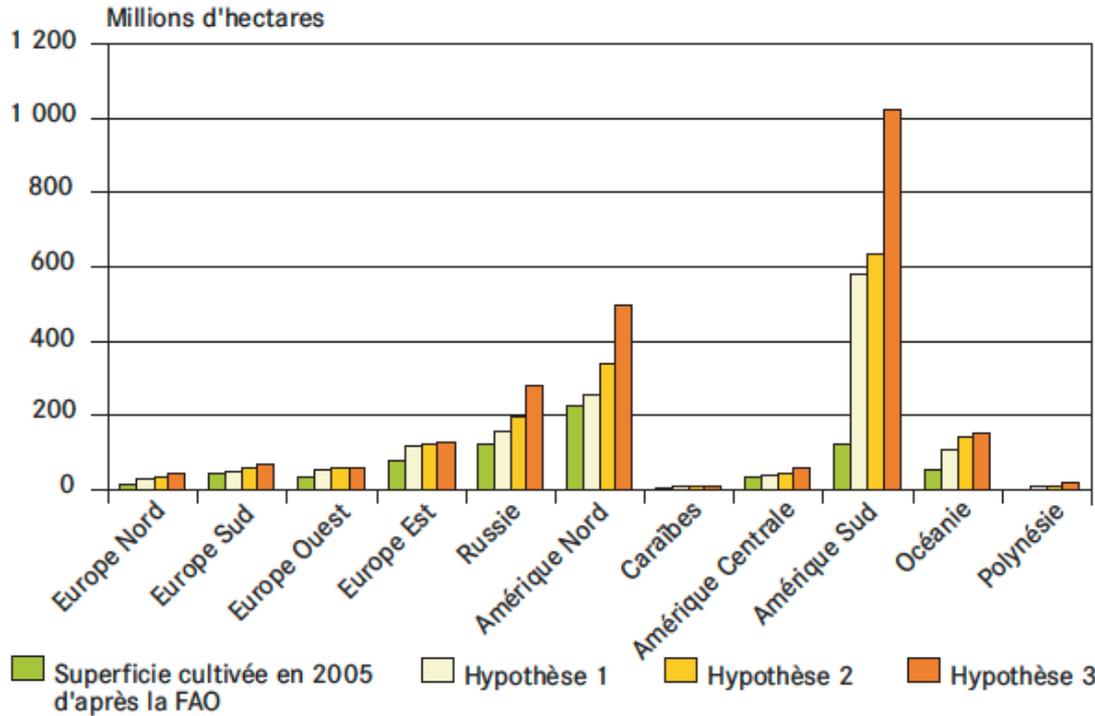


CONSULTATION DE LA POPULATION CONCERNÉE, en nombre de contrats (sur 86 observations)



April 2012
Transnational Land Deals for Agriculture in the Global South
Analytical Report based on the Land Matrix Database
World Bank, FAO, IFAD, UNCTAD, WFP, WHO, World Bank Group, UN Women and UN Women Fund

Superficies cultivées en 2005 d'après la FAO et superficies pouvant être cultivées selon les trois hypothèses analysées



Quelles surfaces encore cultivables ?

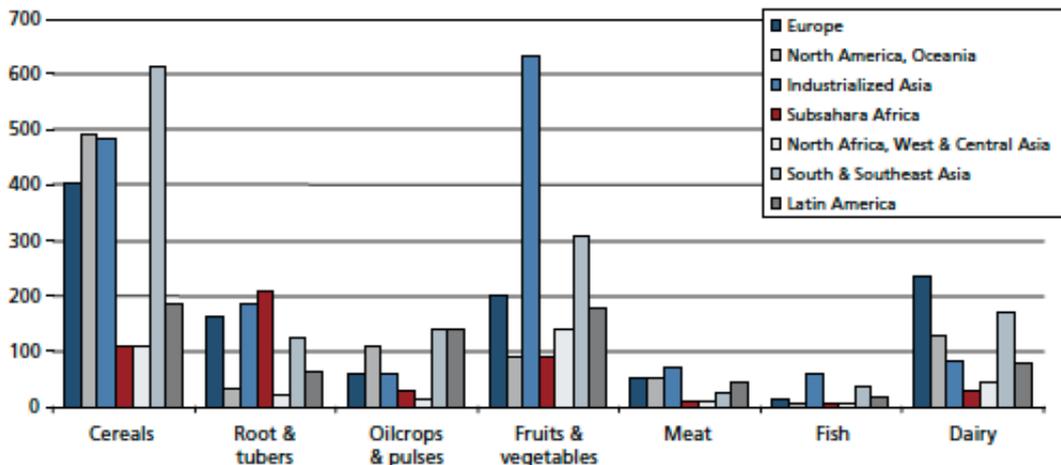
- 3 sources de données mondiales sur les terres et leur utilisation :
 - FAOSTAT
 - GAEZ
 - SAGE
- 3 hypothèses d'extension des terres cultivées à l'échelle mondiale :
 - H = terres très et modérément convenables, sauf forêts et surfaces nécessaires aux infrastructures urbaines et autres,
 - H2 = H1 + terres « peu convenables sauf celles sous forêt,
 - H3 = H2 + terres cultivables sous forêt.
- Surfaces concernées :
 - H1 = 1 000 Mha
 - H2 = 1 450 Mha
 - H3 = 2 350 Mha
- 1,5 Mha = surface cultivée en 2005, soit une multiplication potentielle par 2,5 pour H3 !

- France 2011 :
 - 400 000 ha de jachère ;
 - 2,6 Mha cultivable non cultivés

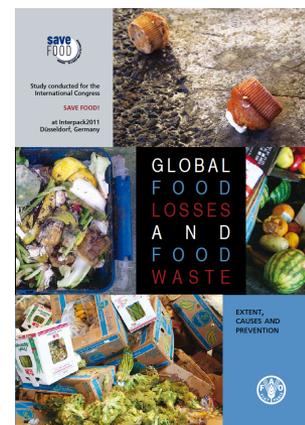
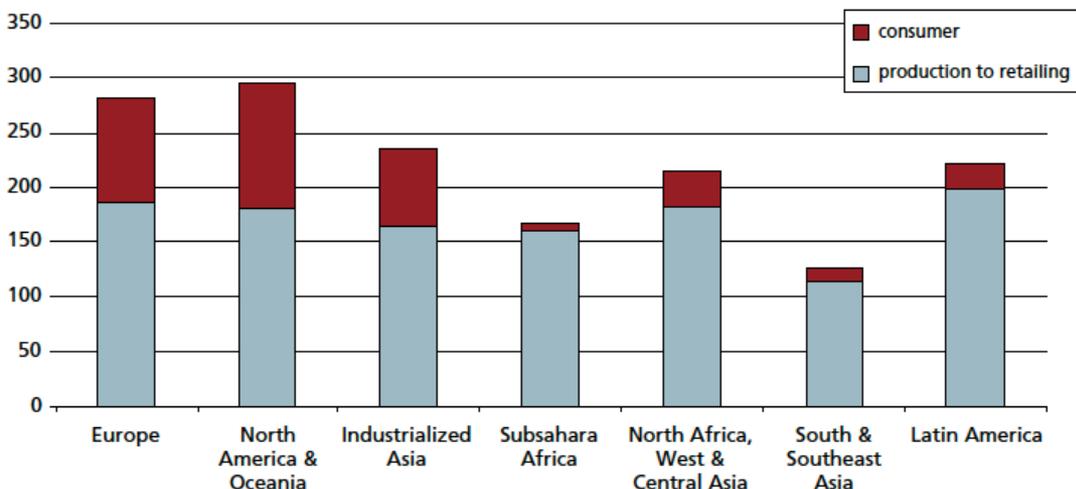
***Quelles conditions pour
couvrir l'enjeu alimentaire et
réduire les émissions de GES ?
Quels coûts ?***

30 à 40% de pertes ou gaspillages alimentaires, n'est-ce pas réductible ?

Figure 1. Production volumes of each commodity group, per region (million tonnes)



Per capita food losses and waste (kg/year)



- 1,3 Mds tonnes de nourriture perdue ou gaspillée chaque année dans le monde ;
- 30 à 40 % des parties comestibles des denrées alimentaires produites pour la consommation humaine sont perdues, plutôt à la production et le stockage dans les pays en développement, davantage dans l'aval de la chaîne et à la consommation dans les pays à revenus moyens et élevés,
- Des mesures de prévention sont formulées pour les diverses causes de perte et gaspillage dans le [rapport Global food losses and food waste - 2011](#),
- La Grande-Bretagne en Europe est particulièrement engagée pour réduire les pertes alimentaires.
- En France un rapport traite des [Pertes et gaspillages alimentaires](#)
- L'INRA et le CIRAD 2011 : [Sécurité alimentaire mondiale : réduire les pertes et gaspillages alimentaires](#)

Pourrions-nous moins consommer ?



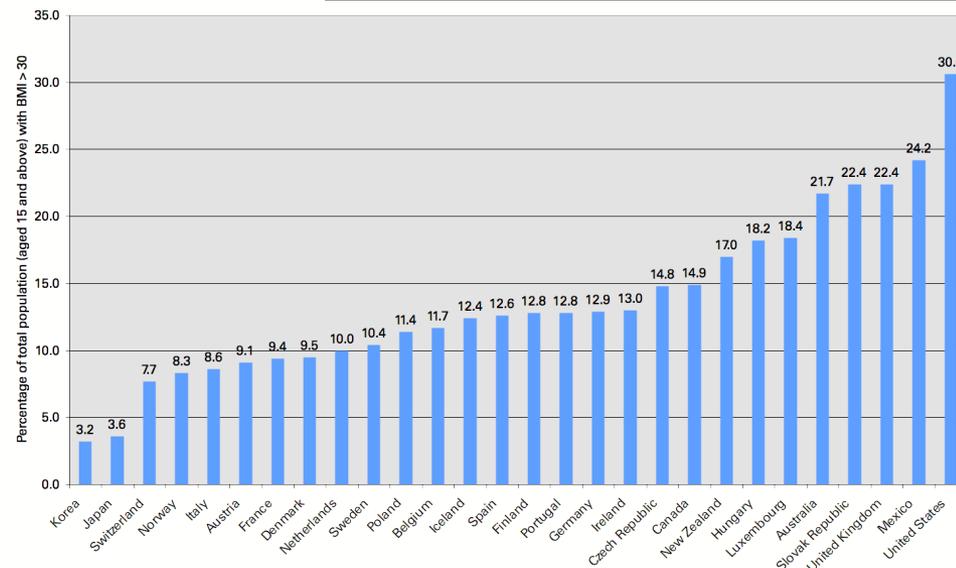
Le Monde.fr avec AFP | 04.02.2011

En 2011, selon l'OMS :

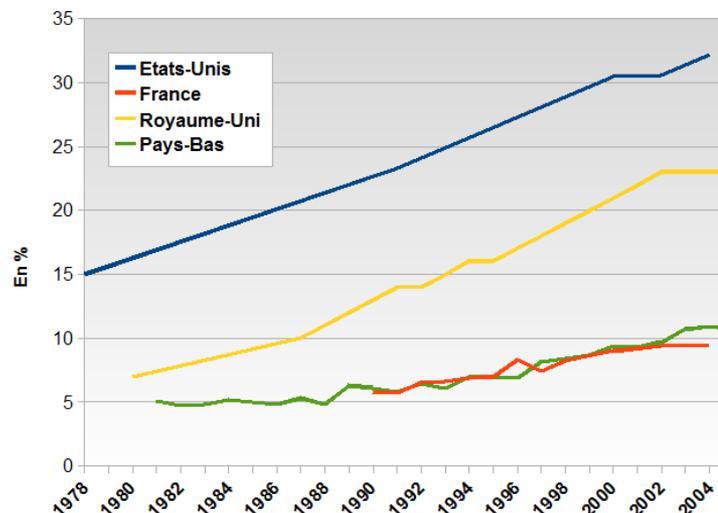
- Doublement du nombre de cas d'obésité depuis 1980.
- 1,5 milliard de personnes de 20 ans et plus en surpoids en 2008, parmi lesquelles plus de 200 millions d'hommes et près 300 millions de femmes étaient obèses. Et en 2010, 43 millions d'enfants de moins de cinq ans sont en surpoids.
- 65% de la population mondiale habitent dans des pays où le surpoids et l'obésité tuent plus de gens que l'insuffisance pondérale.

Rapport de l'Assemblée nationale sur l'obésité :

- En France, un adulte sur deux est en surcharge pondérale et un sur six est obèse.
- Les risques pour la santé liés à l'obésité sont nombreux.
- Le coût annuel pour l'assurance maladie de l'obésité et du surpoids est estimé à 10 milliards d'euros et 7 % de l'ONDAM (75 Mds \$/an aux USA en 2000).
- Le coût de l'obésité pourrait doubler d'ici 2020 et représenter près de 14 % de l'ONDAM



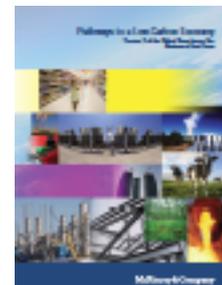
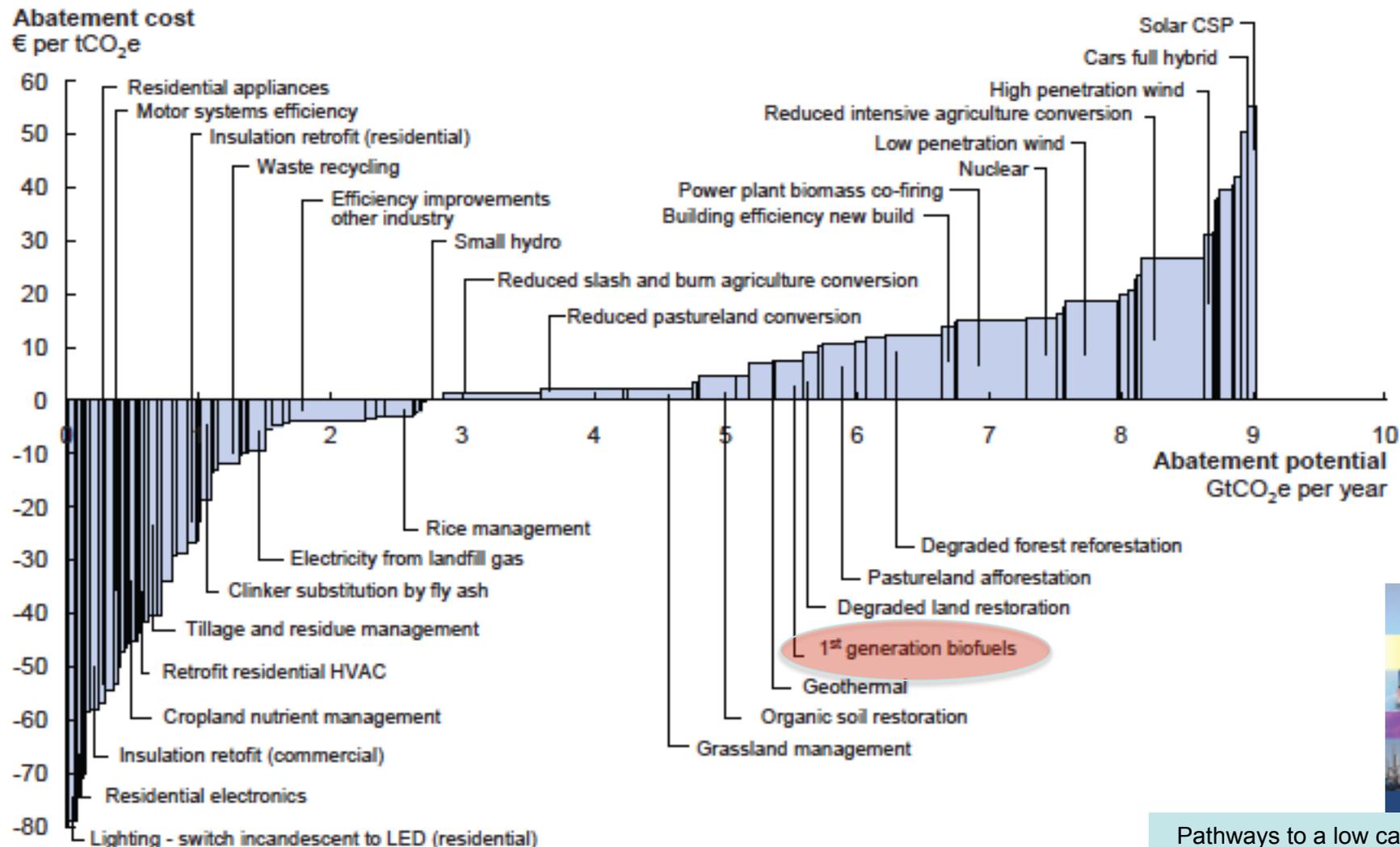
Obèses parmi les 15 ans ou plus



Et puis, ...
70 Mha environ consacrés aux productions de stimulants et drogues (alcool, tabac, café, Thé, cacao, stupéfiants, etc.)

Quel coût pour réduire les émissions de GES dans le monde d'ici 2015 ?

Global GHG abatement cost curve beyond business as usual – 2015



Pathways to a low carbon economy
Version 2 of the
Global Greenhouse Gas
Abatement Curve

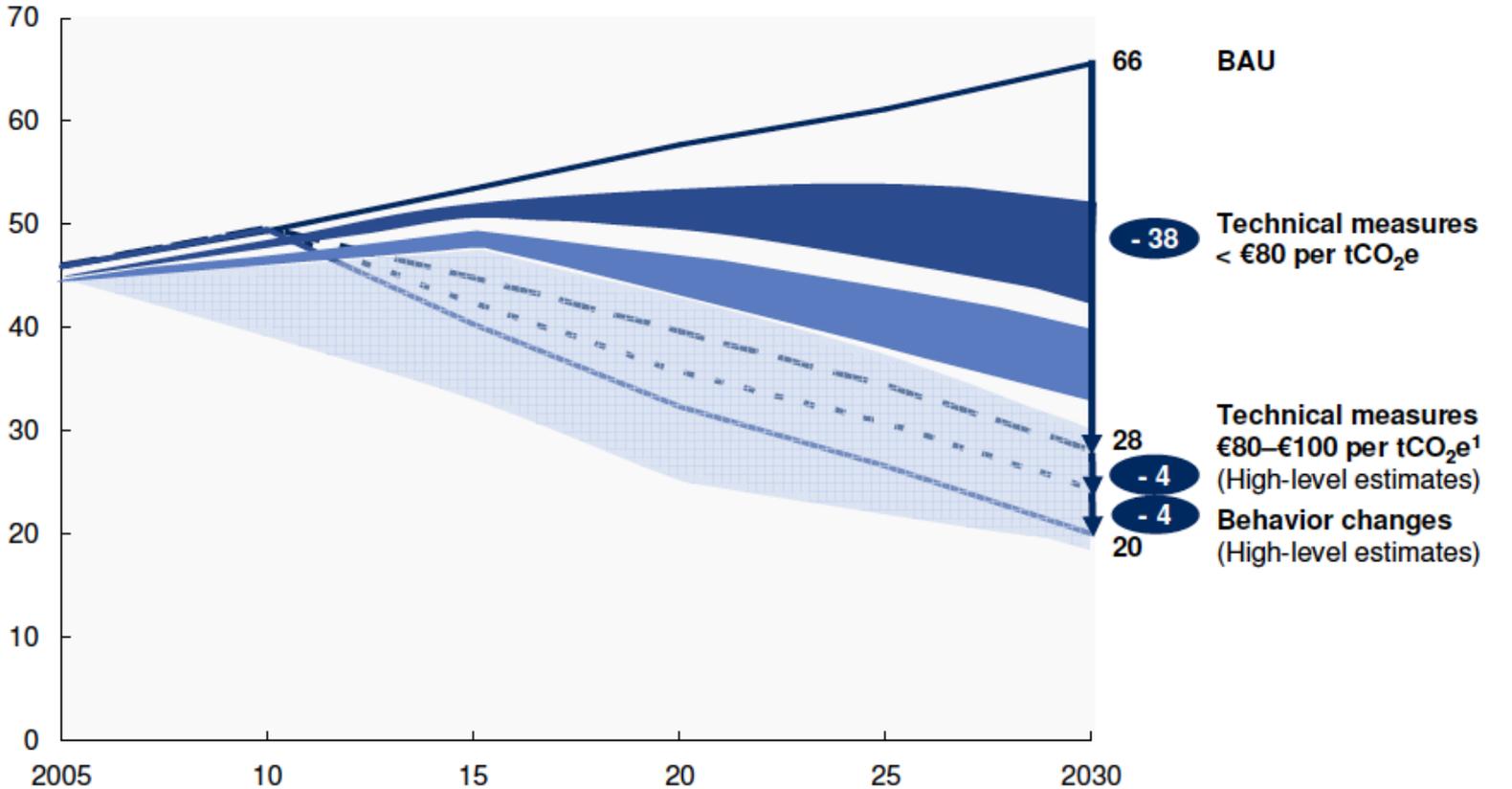
Note: The curve presents an estimate of the maximum potential of all technical GHG abatement measures below €60 per tCO₂e if each lever was pursued aggressively. It is not a forecast of what role different abatement measures and technologies will play.

Source: Global GHG Abatement Cost Curve v2.0

Quel potentiel de réduction des émissions mondiales de GES ?

Emissions abatement pathway

Global GHG emissions
GtCO₂e per year



Evaluation des réductions maximales d'émissions de CO₂e sous l'hypothèse de AIE-WEO 2009 supposant un prix de l'énergie atteignant en 2030 \$115/bl en prix de 2008.



[Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve McKinsey&Compagny - 2011](#)

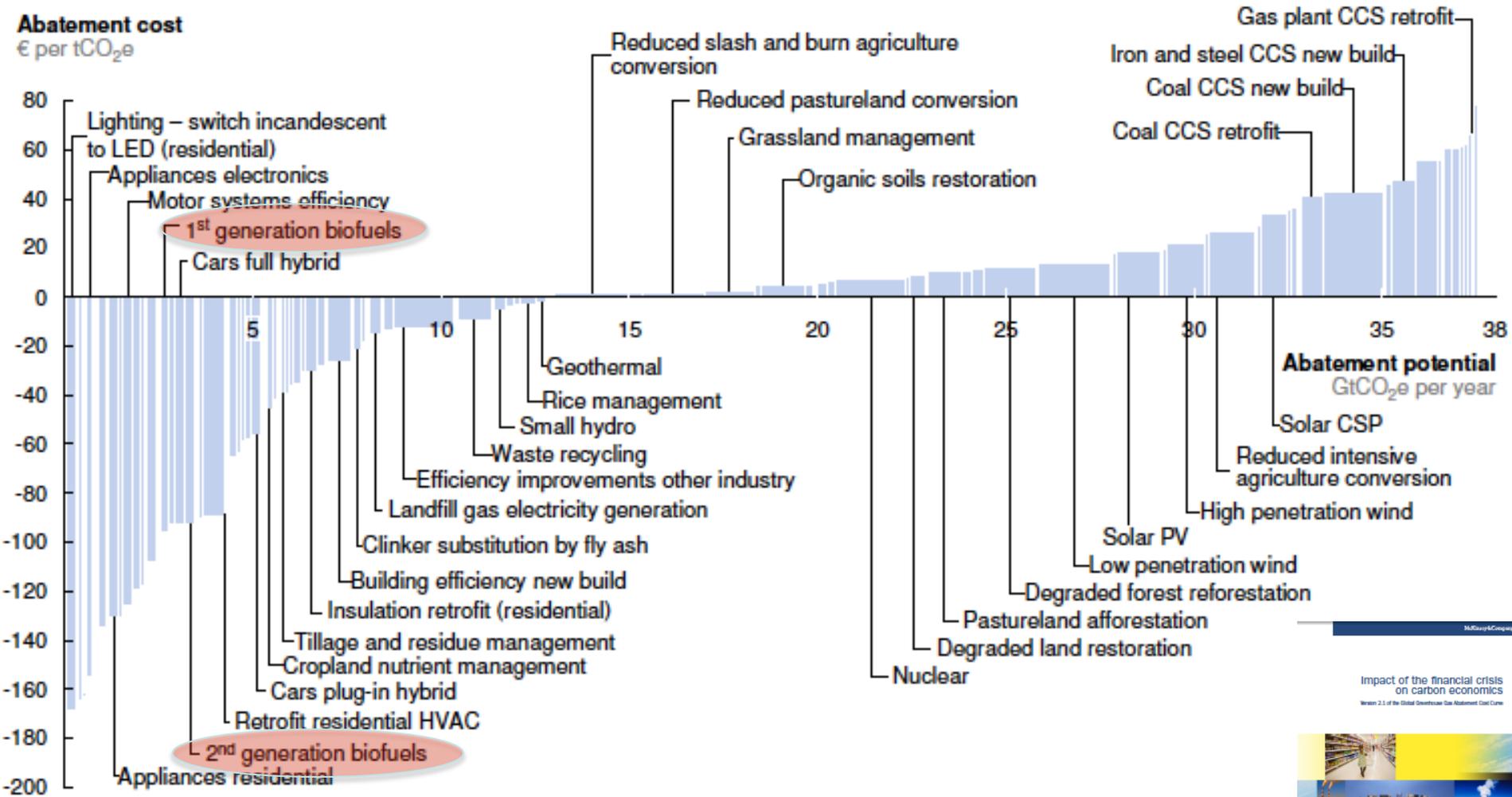
Note: As a reference, 1990 total emissions were 36 GtCO₂e.

¹ Upper cost threshold kept constant at 100 EUR/tCO₂e, thus additional potential lower given increase of cost curve threshold to 80 EUR/tCO₂e

Source: Global GHG Abatement Cost Curve v2.0, v2.1; IEA; US EPA; Houghton; IPCC; OECD; den Elzen; Meinshausen; van Vuuren

Quel coût pour réduire les émissions de GES dans le monde d'ici 2030 ?

Courbe mondiale de coût d'abattement de GES au-delà de l'évolution tendancielle – 2030



McKinsey & Company
Impact of the financial crisis on carbon economics
Version 2.1 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve



La courbe représente une estimation du potentiel maximum de toutes les techniques d'abattement des émissions de GES au-dessous de 80 €/tCO₂e si chaque levier est poursuivi avec force. Il ne s'agit pas de prévision sur le rôle que joueront les différentes mesures d'abattement et les diverses technologies.

Quels coûts d'abattement en Europe ?

Coûts d'abattement des émissions de GES découlant des tarifs d'achat en Europe, 2009-10

	Solaire	Éolien	Biogaz	Biomasse	Géothermie	Hydraulique
--	---------	--------	--------	----------	------------	-------------

Coût d'abattement des émissions, point de référence = centrales électriques au charbon (EUR/tonne d'équivalent CO₂)

France	271-537	39-87	2-44	82-132	77-107	23-59
Allemagne	291-391	53-91	39-78	39-78	66-205	38-88
Italie	275-399	229	109-229	149	129	
Pays-Bas	55	55		55		55
Espagne	281-301	39	46-100	18-130	30-34	36-44
Royaume-Uni	311-454	14-373	26	(-10)-68		14-198

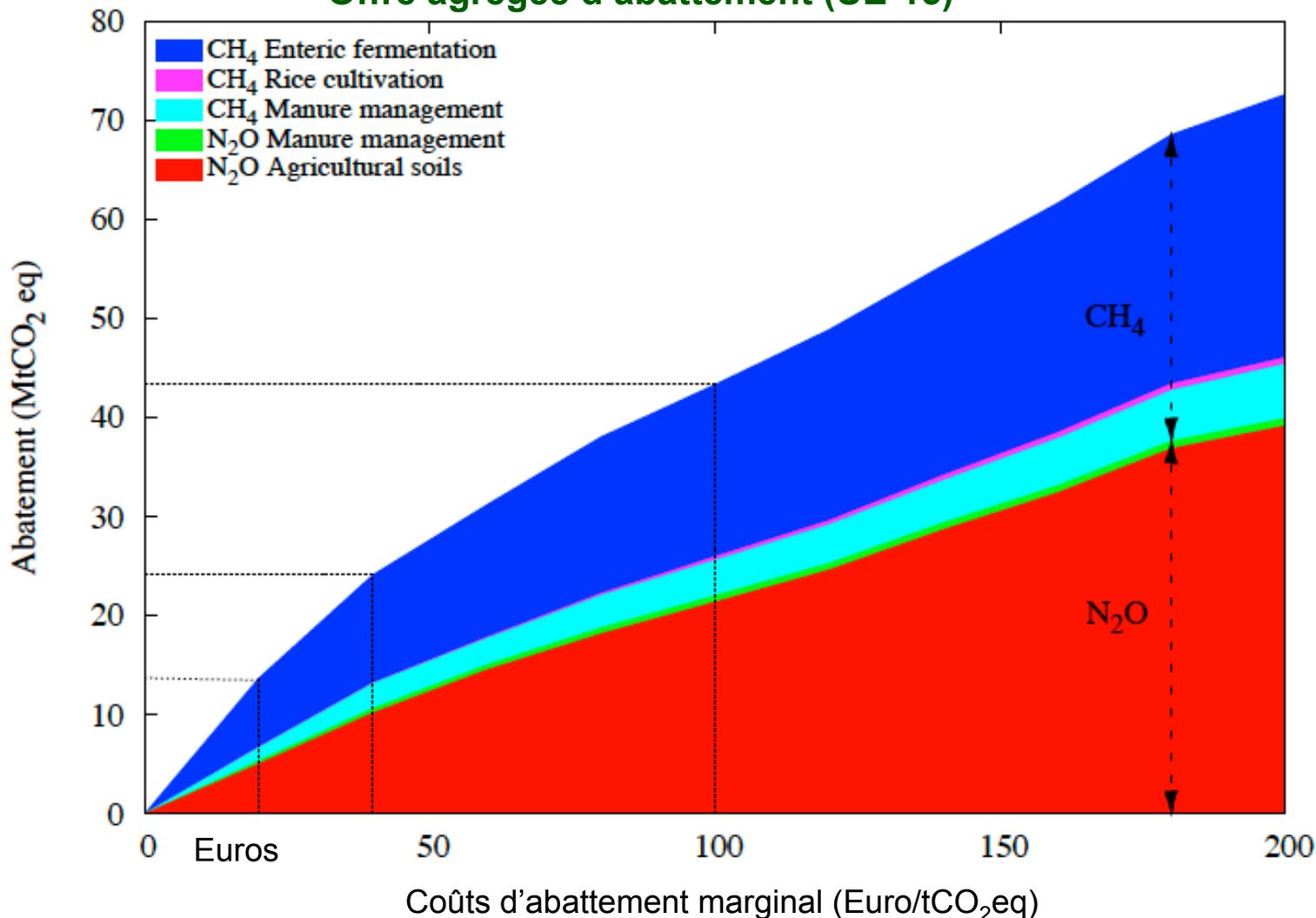
Coût d'abattement des émissions, point de référence = bouquet électrique du pays (EUR/tonne d'équivalent CO₂)

France	3 107-6 157	447-997	23-507	940-1 513	883-1 227	260-682
Allemagne	487-655	89-153	65-130	65-130	111-343	63-147
Italie	495-718	412	196-412	268	232	
Pays-Bas	87	87		87		87
Espagne	612-655	85	100-218	39-284	66-75	78-96
Royaume-Uni	528-772	24-634	44	(-16)-115		24-337

Source : Calculs de l'OCDE. Les valeurs utilisées pour calculer les coûts d'abattement sont l'écart entre les valeurs haute et basse de la fourchette des tarifs d'achat et les prix du marché, ainsi que la quantité d'émissions de GES évitées en équivalent CO₂.

Quel coût d'abattement pour l'agriculture européenne ?

Offre agrégée d'abattement (UE-15)



- L'agriculture européenne peut, elle aussi, fournir des réductions d'émissions de GES, ...
- Mais pour que ces réductions soient significatives il faut que les agriculteurs intègrent un prix du CO₂,
- L'hétérogénéité des coûts d'abattement est importante non seulement entre les régions mais aussi à l'intérieur des régions
- Étant donné l'hétérogénéité des coûts de réduction, les instruments uniformes seraient très coûteux socialement.

Que recommande l'OCDE ?

27/06/12

André-Jean Guérin

69

- La France a des projets ambitieux en matière de politique environnementale
 - Utiliser systématiquement des analyses coûts-bénéfices et coûts-efficacité
- Des distorsions substantielles devraient être éliminées
 - La décision du Conseil constitutionnel d'annuler le projet de taxe carbone est regrettable
 - Un relèvement des taxes applicables à certains combustibles fossiles (gaz naturel, fioul domestique et charbon) contribuerait à harmoniser les prix attribués à l'ensemble des externalités négatives engendrées par ces produits
 - Le traitement préférentiel du diesel par rapport à l'essence doit être progressivement éliminé
 - Les dépenses fiscales sur le carburant au profit des véhicules agricoles et des bateaux de pêche doivent être évaluées en vue de leur réduction éventuelle
 - Celles sur les poids lourds et les taxis devraient être supprimées
- Il faut harmoniser les coûts d'abattement des émissions entre différentes sources d'énergie et lisser les pics de demande
 - Les subventions destinées aux énergies renouvelables doivent être réexaminées en vue d'harmoniser les coûts marginaux d'abattement entre les différentes sources d'énergie
 - Les dispositifs concernant les émissions de GES doit être évalué en analysant chaque mesure en fonction des émissions évitées et des coûts d'abattement
- **En conclusion, une attention particulière doit être accordée aux possibilités d'imposer un prix de carbone unique après la censure du Conseil constitutionnel.**



- ▶ Carbon price over 20 €/tCO₂ needed to increase the use of wood energy in the EU.
- ▶ At prices below 50 €/tCO₂, energy wood is mostly logging and industry residues.
- ▶ At price 110 €/tCO₂, one third of wood use for energy would suit material use too.
- ▶ The contribution of wood energy to the EU RES target is bound to be modest.

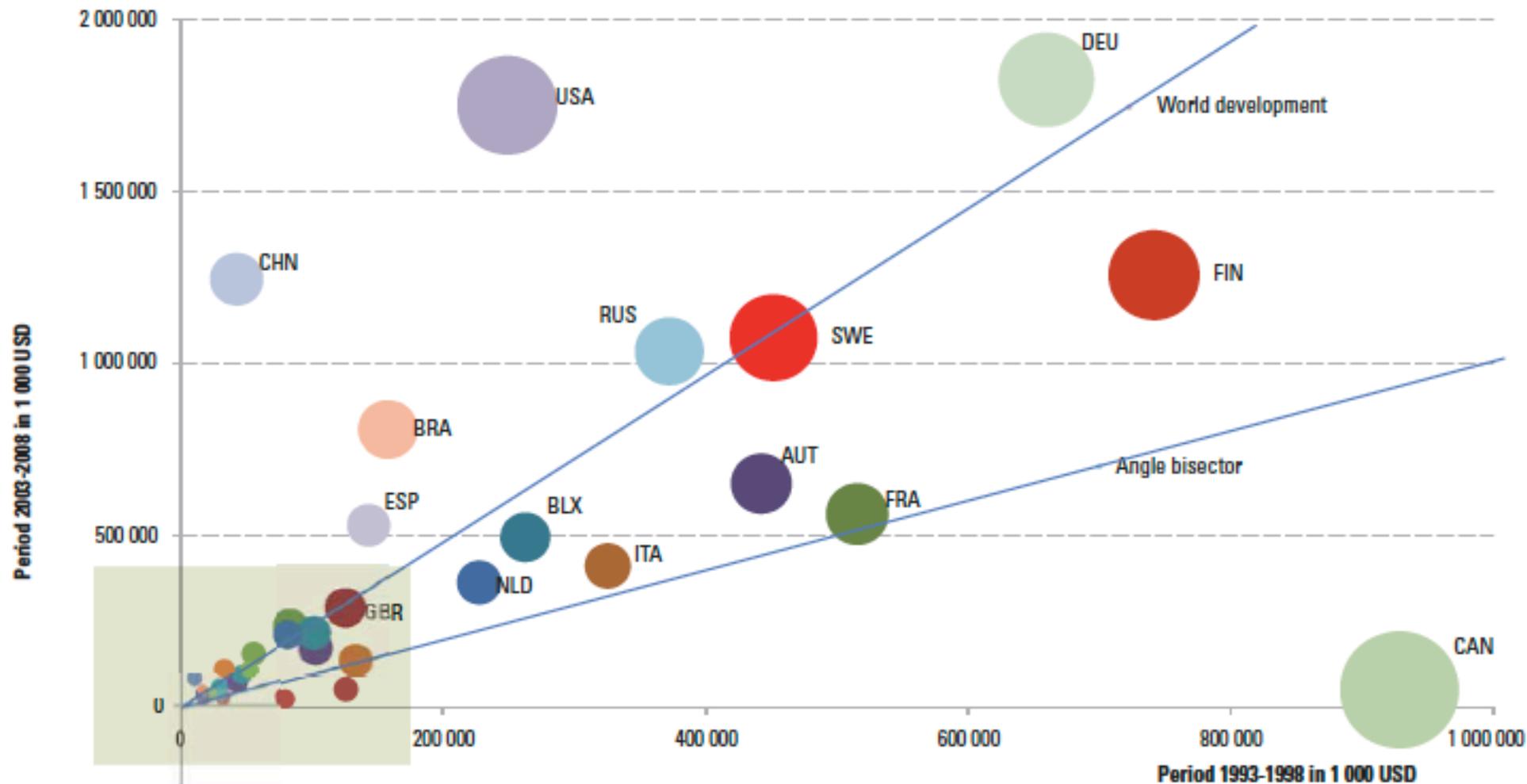
[Price of CO₂ emissions and use of wood in Europe](#)

Études économiques

de l'OCDE
FRANCE

MARS 2011
SYMBOLE

Comment se répartit la croissance du commerce des produits forestiers ?



Les moyennes annuelles de croissance des exportations de produits forestiers sur les deux périodes apparaissent par la position des pays. La taille de leur cercle indique la part de chaque pays dans les exportations de la période 2003-2008.



Quelles perspectives pour les produits forestiers européens ?

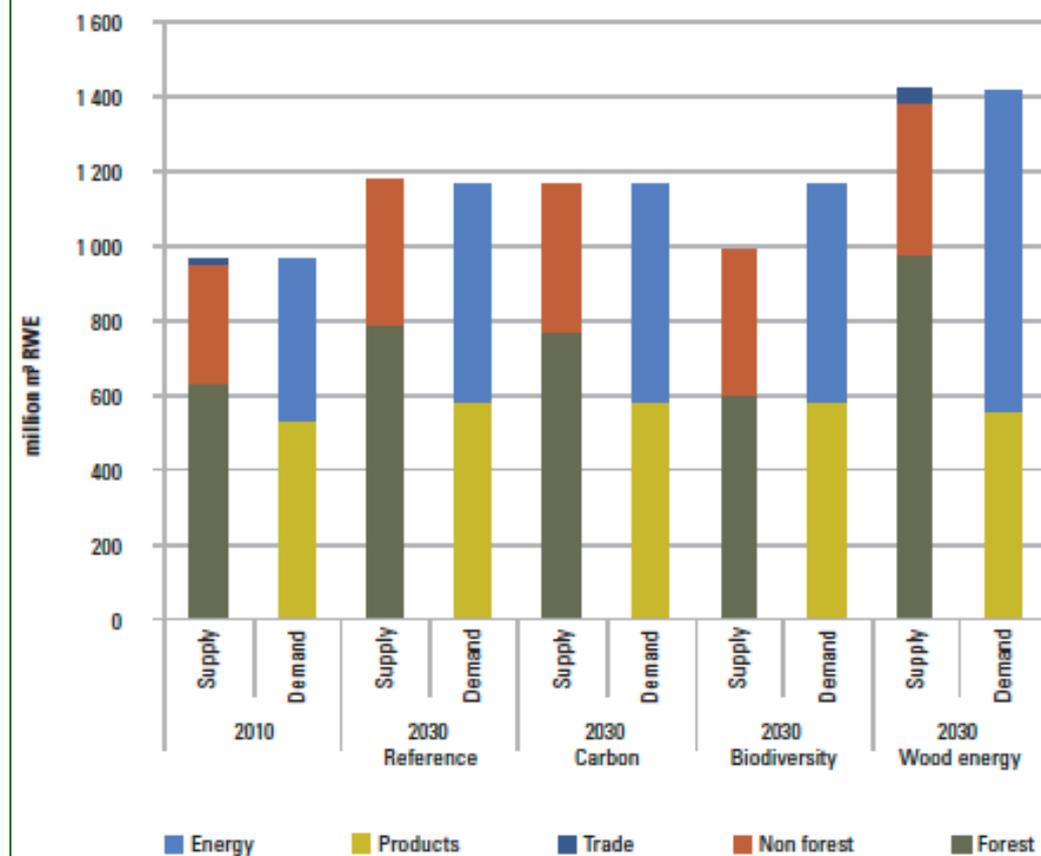
EFSOS II part d'un scénario de référence (tendanciel, BAU). Les projections de prix montrent des croissances stables, tirées par celle de la demande et l'émergence de raretés. Les prix des sciages et de la pulpe croissent de 1,8 à 2,7 %, alors que ceux des produits finaux augmentent de 0,6 à 1,3 %. Les profits diminuent pour les industries forestières et les prix montent pour les propriétaires.

Table 4: Development of roundwood and product prices in the Reference scenario, 2010-2030

	Unit (2005 USD)	2010	2020	2030	Growth rate 2010-2030
sawlogs coniferous	USD/ m ³	65	76	93	1.8%
sawlogs non-coniferous	USD/ m ³	89	112	143	2.4%
pulpwood coniferous	USD/ m ³	50	64	86	2.7%
pulpwood non-coniferous	USD/ m ³	51	63	85	2.6%
sawnwood	USD/ m ³	174	177	198	0.6%
panels	USD/ m ³	216	233	279	1.3%
paper	USD/tonne	540	567	624	0.7%

Source: EFI-GTM.

Figure 24: Supply/demand balance in the quantified scenarios, 2010-2030.



EFSOS II, outre le scénario de référence, en propose quatre autres : *Maximisation du carbone fixé*, *Priorité à la biodiversité*, *Promotion du bois-énergie*, *Développement de l'innovation et de la compétitivité* (scénario non quantifié).

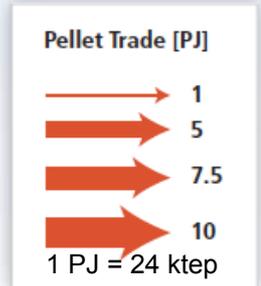
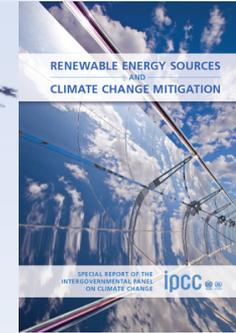


Les biocombustibles, à quelle distance ?

2009 Major Pellet Trade Flows

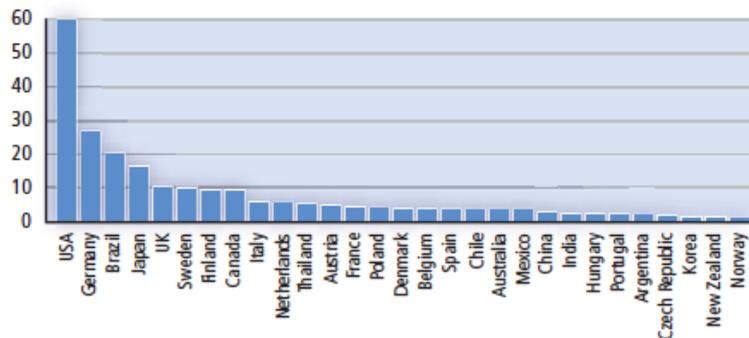
Jean Guérin

72

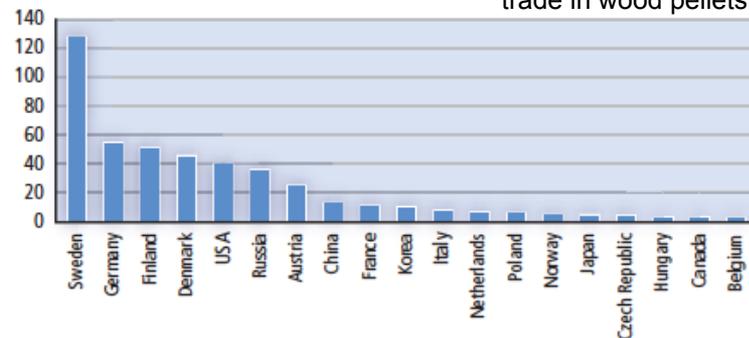


Examples of biomass electricity generation and heating for select countries in 2008 and of the 2009 global trade in wood pellets.

2008 Biomass Power [TWh]



2008 Biomass Heat [PJ]



- Energie nécessaire à la fabrication des pellets : 1,5 à 3 % de leur PCI ;
- Leur transport par camion sur 1 000 km demande environ 4 % de leur PCI ;
- Leur transport par vraquier sur 6 000 km demande 2 à 3 % de leur PCI ;
- Compte tenu de leurs qualités (densité volumique et énergétique, facilité d'utilisation), les granulés sont intéressants pour de longues distances.