

Les forêts au secours de la planète : quel potentiel de stockage du carbone ?

Joël Boulier

Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne
UMR 8504 Géographie-cité, équipe PARIS
191 rue Saint-Jacques, F-75005 Paris
joel.boulier@univ-paris1.fr

Laurent Simon

Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne
UMR 7533 Ladyss
191 rue Saint-Jacques, F-75005 Paris
laurent.simon@univ-paris1.fr

RÉSUMÉ.— Les forêts sont au centre des négociations sur le changement climatique. Le processus de réduction des émissions de gaz à effet de serre dues à la déforestation et à la dégradation forestière (REDD) en cours ou la création d'un fond de partenariat pour le carbone forestier, visant le boisement des terres non forestières, attestent des espoirs mis sur les espaces forestiers comme potentiels puits de carbone. Les chiffres font réfléchir : pour l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, l'expansion des plantations pourrait compenser « 15 % des émissions de carbone des combustibles fossiles au cours des cinquante prochaines années ». Le présent article s'attache à montrer les incertitudes et les contradictions d'une telle politique.

ÉCOSYSTÈME FORESTIER,
ÉVALUATION, PUIITS DE CARBONE,
RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

ABSTRACT.— *Forests to save of the planet: what potential for carbon storage?*— Forests represent one of the most important focal points in the recent and ongoing negotiations on climate change. The process of reducing greenhouse gas emissions from deforestation and forest degradation at present under development, or the newly created Carbon Partnership fund for forestry (aiming in particular to promote afforestation of non-forested land) attest that forest areas are expected to provide real potential as carbon sinks. According to the FAO, the expansion of plantations could compensate «15 per cent of carbon emissions from fossil fuels over the next 50 years». This article aims to show the uncertainties and contradictions of a policy of this nature.

CARBON SINKS, EVALUATION,
FOREST ECO-SYSTEM,
GLOBAL WARMING

Introduction

Dans un rapport publié par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture¹ (FAO, 2006), Wulf Killmann² affirme : « Nous devons assurément arrêter la déforestation et accroître la superficie des terres émergées boisées », soulignant le rôle central des espaces forestiers dans la lutte contre le réchauffement climatique. Les forêts mondiales jouent, en effet, un rôle majeur dans la régulation du cycle du carbone et de la concentration de CO₂ atmosphérique. Elles renferment 53 % du carbone accumulé dans les écosystèmes terrestres.

1. En anglais, Food and Agriculture Organization (FAO).

2. Président du groupe de travail interdépartemental FAO sur le changement climatique.

Au cœur des négociations du protocole de Kyoto³ (Tsayem Demaze, 2009), les forêts font aujourd'hui l'objet d'une vaste discussion autour des possibilités offertes par l'initiative de la réduction des émissions de gaz à effet de serre dues à la déforestation et à la dégradation forestière (REDD) qui vise à compenser financièrement la non déforestation (Tsayem Demaze, 2010). Plusieurs études de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (Trexler, Haugen, 1994 ; Nilsson, Schopfhauser, 1995 ; PNUE³, 2009) envisagent des scénarios de séquestration accrue du carbone sous l'effet conjugué du ralentissement de la déforestation et de politiques de plantations sur des terres non forestières : des chiffres de l'ordre de 300 à 400 millions d'hectares, selon certains scénarios proposés par le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) sont ainsi avancés comme potentiellement disponibles pour le boisement. En 2009, le rapport de la FAO sur la situation alimentaire mondiale fait pourtant état de besoins croissants en terres agricoles à l'horizon 2030-2050 : « les terres arables devront augmenter d'environ 120 millions d'hectares dans les pays en développement, principalement en Afrique subsaharienne et en Amérique latine » (OECD-FAO Agricultural Outlook, 2009).

Le présent article vise à faire le point sur trois aspects qui paraissent essentiels dans la réflexion actuelle menée au niveau international sur les potentiels de stockage de carbone forestier : comment parvenir à construire une information pertinente en vue d'établir des scénarios de séquestration du carbone forestier ? Quels sont les espaces et territoires susceptibles d'offrir de nouveaux puits de carbone ? Quels seraient les impacts écologiques, économiques et sociaux des scénarios envisagés ?

Comment constituer une approche spatialisée malgré des données incertaines ?

L'une des grandes difficultés des politiques internationales en matière d'environnement repose sur le fait que l'information source, indispensable à tout état et à toute prospective, est très souvent disparate, procédant à la fois de l'échantillonnage spatial et du droit régional des États. Il en ressort un certain nombre d'incertitudes qui font du discours sur la séquestration du carbone un discours difficile à évaluer.

La première incertitude concerne les superficies actuellement forestières

Définitions et méthodes d'évaluation des superficies forestières : des précautions indispensables

Plusieurs travaux (Arnould, 2006 ; Boulier, Simon, 2009) ont déjà souligné la relativité des données concernant la superficie forestière mondiale tant en ce qui concerne la définition même de la forêt qu'en ce qui concerne les méthodes d'évaluation. Les principaux inventaires disponibles (FAO, IGPB⁴, GLCF) aboutissent ainsi à des résultats divergents tant au niveau mondial (4 milliards d'hectares pour la FAO contre 3,3 pour l'IGPB) qu'au niveau national, ainsi, par exemple, l'Australie disposerait d'une superficie forestière variant du simple, 163 millions d'hectares pour la FAO, 2005 ; 196 pour la classification Global Land Cover Facilities (GLCF) au double, 328 millions d'hectares pour le Programme international géosphère-biosphère, 2005). Il convient donc de relativiser, sans pour autant les réfuter catégoriquement, les estimations fournies.

3. Programme des Nations unies pour l'environnement.

4. En français, le Programme international géosphère-biosphère.

Pour une approche par pays et par écosystèmes

Dans le contexte actuel, il est indispensable d'avoir une vision nationale de la séquestration de carbone, puisque les négociations actuelles focalisent sur les ~~projets~~ et accords internationaux devant être menés et acceptés par les gouvernements. Cependant, pour aborder de manière cohérente cette question, il convient de prendre en compte aussi les spécificités des différents milieux forestiers de chaque pays vis-à-vis du carbone atmosphérique.

En s'appuyant sur un rapport du Global Observation of Forest and Land Cover Dynamics⁵ (GOF-LCD), nous avons donc retenu les six postes forestiers de la nomenclature du Programme international géosphère-biosphère, proches des définitions de la forêt fréquemment utilisées.

Les masses forestières ~~retenues avec~~ par le Programme international géosphère-biosphère montrent toutefois des écarts significatifs avec ~~les~~ ^{celles des} travaux de la FAO qui s'expliquent dans une large mesure par des problèmes de projections évoqués. Pour y remédier, nous avons ajusté, pour chaque pays, les surfaces du Programme international géosphère-biosphère aux superficies forestières retenues par la FAO, et assurer une certaine comparabilité. Au final, les surfaces corrigées de cette ventilation selon les types d'écosystèmes forestiers ont servi de base à l'ensemble des simulations auxquelles nous nous sommes livrés.

La deuxième incertitude concerne le stockage même du carbone par les écosystèmes, forestiers

Les incertitudes concernant les stocks existants et les capacités de stockage

L'incertitude n'est pas moindre pour la quantité globale de stockage de carbone des écosystèmes. Les ordres de grandeur souvent repris dans les publications font état d'un réservoir de carbone dans les écosystèmes forestiers compris entre 950 GtC⁶ (FAO, Unasylva, 1996) et 1120/1240GtC (IPCC⁷, 2001 ; Robert, Saugier, 2003 ; Malhi, Grace, 2000). Pour la quantité de carbone contenue dans la biomasse aérienne des forêts, la FAO publie des chiffres allant de 240 GtC (FAO, 2009) à 360 GtC.

Guère plus convaincants sont les chiffres relatifs aux potentiels de stockage par les écosystèmes terrestres. Les données disponibles concernent surtout la productivité primaire brute (PPB) c'est-à-dire ~~de~~ la quantité de carbone fixée par la photosynthèse sans tenir compte ni de la respiration par les plantes (Ra), qui donne la productivité primaire nette (PPN = PPB-Ra), ni de la respiration dans le sol (Rh), qui seule permet de mesurer la quantité réelle de carbone fixée par la végétation (PNE = productivité nette de l'écosystème). Une forêt tempérée de hêtres dont la productivité primaire brute atteint les 10 t/ha/an ne fixe en réalité (PNE) que 3,7 t/ha/an (Robert, Saugier, 2003), une forêt canadienne d'épicéas moins ~~et~~ de 1 t/ha/an pour une productivité primaire brute de 9,6 t/ha/an (Malhi *et al.*, 2000). Or les données de productivité nette de l'écosystème existantes à l'échelle planétaire sont fragmentaires et disparates. Les travaux de l'Institut de technologie du Massachusetts par écosystèmes font état de productivité nette de l'écosystème comprises entre 2 t/ha/an pour les forêts tropicales et 3 t/ha/an (pour les forêts tempérées). En revanche, Yadvinder Malhi et John Grace (2000) envisagent des productivités nettes de l'écosystème pouvant atteindre en milieu forestier tropical humide près de 6 t/ha/an. Le poids de telles incertitudes conduit à des résultats difficilement utilisables : Richard Houghton (2003) évalue ainsi le puits de carbone potentiel des forêts tempérées entre 1 et... 2,6 GtC/an ! Les chiffres relatifs aux émissions de CO₂⁸ consécutives à la déforestation laissent également

programmes
mis en œuvre et acceptés

5. Une étude complète du GOF-LCD permettant de comparer différentes classifications est accessible en ligne : « Translating and evaluating land cover legends using the UN Land Cover Classification System (LCCS) ».

6. Gt = Gigatonne = 109 tonnes.

7. IPCC : intergovernmental Panel on Climate Change. En français, Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).

8. Rappelons qu'une tonne de CO₂ émise équivaut à un déstockage de 0,273 t. de carbone.

perplexe. Si l'ordre de grandeur le plus souvent repris (IPCC, 2000; Robert, Saugier, 2003) est de 1,6 GtC/an avec une marge d'erreur de... + ou - 0,8 Gt, d'autres estimations (Santili *et al.*, 2005) évoquent une source d'environ 1,2 GtC /an (plus ou moins... 1, 2 Gt!).

Toutes ces approximations reflètent la complexité des processus de stockage et de déstockage du carbone. Il convient ici de rappeler que pour l'essentiel ce sont les forêts jeunes qui stockent le carbone⁹. Les forêts peuvent également devenir des sources de carbone : ainsi, au Canada, ~~suite-à~~ après l'augmentation des perturbations « naturelles » liées aux feux et aux insectes des années 1980, les forêts sont devenues sources, libérant chaque année entre 1989 et 1999 environ 57 MtC/an (Kurz, Apps, 1999). Plus récemment, en Europe, la canicule de 2003 s'est traduite par un grand déstockage de carbone. Philippe Ciais *et al.* (2005) ont estimé le déstockage des forêts européennes à l'équivalent des rejets de carbone par l'industrie et les transports en Europe ~~sur~~ au cours d'une année! Les travaux de Peter M. Cox *et al.* (2000), d'Esteban G. Jobbágy et Robert B. Jackson (2007), soulignent enfin qu'un reboisement sur des terres agricoles se traduirait au niveau mondial, du fait des modifications climatiques induites par le changement d'albédo... par un réchauffement.

Méthodologie : quelles données retenir ?

La FAO donne des stocks de carbone moyen à l'hectare qu'elle multiplie par la superficie forestière du pays¹⁰. Mais, tant du point de vue de la valeur des stocks de carbone dans les sols ou dans les plantes que de la capacité des systèmes à le stocker, une approche par les seules surfaces forestières lisse l'information au niveau national, indépendamment de toute connaissance du fonctionnement différencié des écosystèmes existants : donner ainsi un chiffre de stockage moyen du carbone n'a guère de sens pour des pays comme le Brésil ou l'Australie qui possèdent des formations forestières si diversifiées.

Nous avons donc choisi d'~~opérer~~ effectuer les estimations à partir des postes forestiers de l'IGBP pour prendre en compte la part relative des différents écosystèmes présents par pays. Dans la « jungle des chiffres contradictoires », nous avons décidé de synthétiser et de ne retenir que des coefficients moyens, apparaissant acceptables au regard des travaux rencontrés. Puis, ces coefficients différenciés par écosystème sont appliqués aux superficies ventilées de chaque pays¹¹.

L'évaluation des coefficients de stockage de carbone dans les différents écosystèmes (tabl. 1) sont largement inspirées de Jeff S. Amthor *et al.* (2001)¹². Ils semblent faire consensus à l'échelle internationale, tout comme les données concernant la productivité primaire brute. En revanche, les estimations de la capacité globale annuelle de stockage du carbone sont plus divergentes. La FAO (2006) avance une capacité annuelle de stockage du carbone dans les écosystèmes forestiers pouvant atteindre les 15 tC/ha/an, ce qui semble exceptionnel. Des études sur des plantations à croissance rapide de *Pinus loblolly* aux États-Unis (Stavins, 1999) montrent une séquestration ~~sur~~ en un siècle d'environ 3,5 tC/an. Nous obtenons des ordres de grandeur plus faibles encore en milieu tempéré (2 500 tC/ha après cent ans). Les chiffres de stockage sur des plantations à croissance rapide de palmiers à huiles en Asie du Sud-Est, obtenus par le Centre international de recherche agronomique pour le développement (CIRAD), donnent, en conditions optimales et sans récolte, quelques 10 tC/ha/an qui semblent parmi les plus élevés connus aujourd'hui et ~~sur~~ avec une durée de vie réduite des peuple-

Ce sont les taux qui sont marqués et pas la tonne

9. Les travaux menés en Guyane ou en Amazonie font état pour des forêts tropicales matures de taux de séquestration proches de 1 tC/ha/an qui plus est marqués par de fortes variabilités interannuelles (Phillips *et al.*, 1998; Grace, 2004; Loescher *et al.*, 2003).

10. <http://www.fao.org/forestry/fra/en/>

11. Correction faite des différences de projections et d'échelles avec la FAO.

12. Un tableau de synthèse accessible, bien qu'à nuancer, est disponible sur http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_sequestration_in_terrestrial_ecosystems

Tabl. 1/ Stock de carbone et production primaire des écosystèmes forestiers

	Forêt boréale de conifères	Forêt tropicale	Forêt tempérée de conifères	Forêt tempérée caducifoliée	Forêt mixte	Formation arbustive dense
Stock de carbone dans les plantes (t/hectare)	60	140	50	70	60	30
Stock de carbone dans les sols (t/hectare)	350	140	100	90	100	80
Production primaire (t/ha/an)	4	10	5	6	5	4

ments. Seules les plantations d'eucalyptus à croissance rapide et dans des conditions particulièrement favorables obtiennent des résultats supérieurs (entre 12 et 20 t/ha/an). Il nous a donc semblé possible de calculer les productivités d'éventuels reboisements qui pourraient résulter d'une politique volontariste de boisement des espaces non agricoles et non forestiers: environ 4 tC/ha/an en milieu semi-aride, autour de 8 tC/ha/an et jusqu'à 15 tC/ha/an en milieu de savane.

La carte du bilan : pertinence des données choisies et incertitudes

La carte des stocks de carbone dans les écosystèmes forestiers mondiaux (fig. 1) aboutit, malgré une méthode différente, à une évaluation assez proche (934 GtC) de celle réalisée récemment par la FAO (2009), ce qui valide notre démarche. La figure met en évidence la répartition principale des stocks existants dans les hautes latitudes, où la part stockée dans le sol est prédominante, ainsi qu'aux basses latitudes où la biomasse aérienne concentre la majeure partie du carbone stocké. Les «géants» du stockage de carbone sont le Brésil, la Fédération de Russie et l'ensemble Canada-États-Unis.

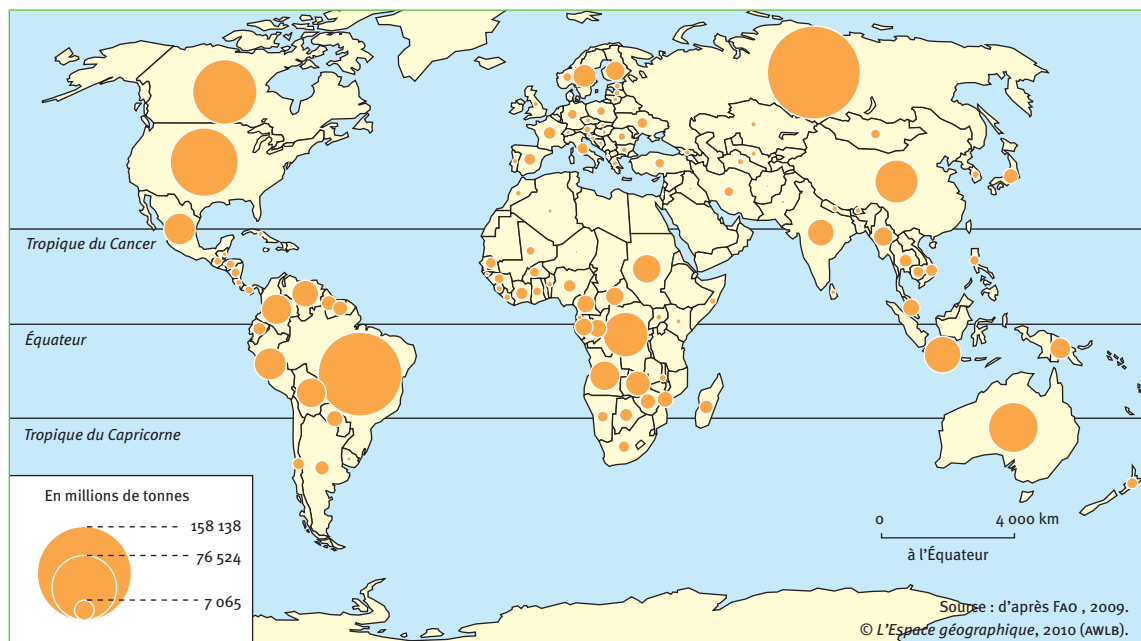


Fig. 1/ Estimation des stocks de carbone dans les plantes et les sols forestiers du monde

Les puits de carbone forestiers potentiels : solutions réelles ou écran de fumée ?

Deux sources de stockage supplémentaire de carbone sont aujourd'hui évoquées pour limiter les émissions de gaz à effet de serre : soit la REDD, soit le boisement des terres non forestières avec, ici, une nuance de taille entre le boisement des terres non agricoles (« autres terres boisées » de la FAO pour l'essentiel) et des terres agricoles (prairies et terres cultivées).

La réduction des émissions de gaz à effet de serre dues à la déforestation et à la dégradation forestière (REDD)

En quoi consiste la REDD ?

L'objectif poursuivi à travers le mécanisme de la REDD, vise à inciter les pays en développement à réduire leur déforestation, permettant à la fois de limiter la perte de biodiversité et d'éviter les émissions de gaz à effet de serre. L'idée est apparemment simple et séduisante : financer la non-déforestation en octroyant aux pays concernés une compensation financière calculée notamment sur les services rendus par la forêt parmi lesquels bien évidemment l'économie que représente le non déstockage du carbone. Le fonds de partenariat pour la réduction des émissions de carbone forestier des Nations unies (UN-REDD) a vu le jour en 2008 pour assurer ces mécanismes compensateurs.

L'apparente simplicité s'est vite heurtée à la complexité des situations et des intérêts nationaux. Quelle date de référence adopter pour mesurer la diminution de la déforestation ? Quels paramètres prendre en considération : seule déforestation ou aussi dégradation forestière ? Dans ce cas, comment alors évaluer ? Sur quelles bases économiques enfin calculer le prix des émissions évitées ? (Tsayem Demaze, 2010). Reste toutefois à s'interroger sur les potentiels réels d'économie d'émissions de gaz à effet de serre, tant sur leur valeur absolue que sur leur répartition par pays.

Quel potentiel de stockage envisagé par la REDD ?

L'évaluation des coûts et bénéfices de telles mesures implique d'estimer dans un premier temps les superficies forestières concernées par la déforestation. Nous avons considéré le taux moyen annuel de déforestation par pays ~~sur~~ pour la période 1990-2005. En partant de cette hypothèse moyenne, la méthode que nous employons est relativement simple :

- estimation du taux annuel d'évolution des superficies forestières (FAO, 1990-2005) ;
- hypothèse forte de diminution de 50 % du taux annuel de déforestation par pays ;
- estimation à long terme (à l'horizon 2030) des surfaces perdues au rythme actuel et de celles qui résulteraient d'une déforestation très énergiquement ralentie ;
- estimation de la valeur moyenne par pays de stock de carbone dans la biomasse aérienne des différents écosystèmes ;
- comparaison des stocks de carbone qui seraient libérés par brûlage dans les deux cas de figure (déforestation maintenue ou ralentie).

Cette comparaison aboutit à une estimation d'économies relatives de carbone rejeté ~~sur~~ pour la période 2005-2030. Pour l'ensemble de la planète, ce gain relatif serait de quelques 17 Gt sur la période¹³, auquel il conviendrait d'ajouter l'augmentation de séquestration de carbone du fait de la production nette à laquelle contribuent les forêts « économisées » (0,5 à 0,6 tC/ha/an), cependant très faible (2,5 mgC/an) au regard des quantités économisées par ailleurs.

13. Soit près de 0,68 Gt/an, près de 42 % des émissions annuelles liées à la déforestation.

Il ressort de cette estimation une nette hiérarchie (fig. 2) des pays susceptibles de contribuer aux non rejets de carbone dans l'atmosphère : le Brésil, l'Indonésie et la République démocratique du Congo.

L'évaluation économique conduit à s'interroger sur la pertinence d'un tel mécanisme. Le rapport de Nicholas Stern (2006) évalue à 5 milliards d'euros par an le prix à payer pour limiter de 50 % la déforestation. Dans une étude récente le Centre d'analyse stratégique (2009) souligne la dispersion des estimations relatives à la valeur de la non émission d'une tonne de CO₂, la valeur moyenne se situant à 93 euros/tC pour une médiane proche de 14 euros/tC, les valeurs extrêmes étant 2 euros/tC et 350 euros/tC.

Nous avons adopté les valeurs de 14 euros/tC (valeur médiane), et 100 euros/tC (proche de la valeur moyenne définie par le Centre d'analyse stratégique en 2009). Le tableau 2 résulte ainsi assez simplement du produit entre les masses de carbone épargnées (fig. 2) et une valeur, faible (14 euros) ou forte (100 euros) du carbone selon les hypothèses, du prix à l'horizon 2030.

Ainsi, même l'estimation basse dépasse les résultats avancés dans le rapport de Nicholas Stern (9,5 milliards d'euros contre 5 milliards). L'estimation moyenne autour de 100 euros correspond à l'évaluation

Tabl. 2/ Le coût de la Redd			
	14 euros/t	100 euros/t	Produit intérieur brut
Monde (coût en milliards d'euros)	236	1690	50
Coût annuel	9,5	68	100
Brésil	61	440	1067 706
Indonésie	11	80	364 239
République démocratique du Congo	35	250	8543

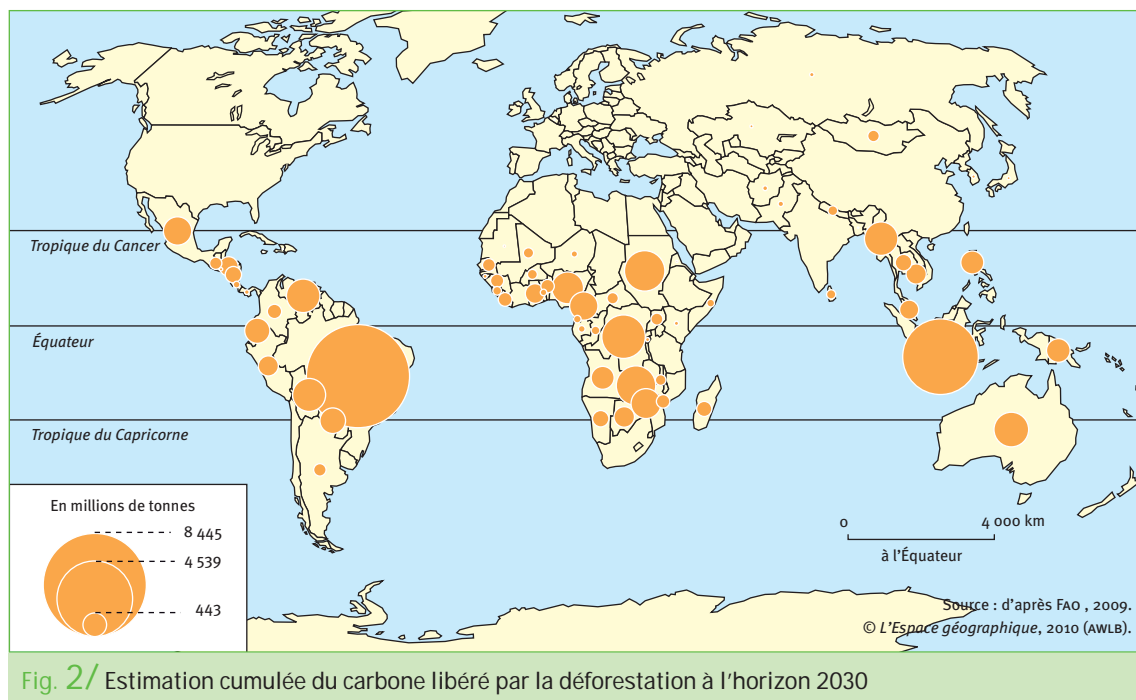


Fig. 2/ Estimation cumulée du carbone libéré par la déforestation à l'horizon 2030

réalisée
qu'il ressort de

donnée par Alain Karsenty (2008) mais reste très inférieure aux analyses de la Banque mondiale (70 milliards d'euros pour une déforestation de l'ordre de 20 % et non 50 % telle ~~que considéré dans~~ nos calculs). Au vu de ces dernières estimations et de nos propres résultats, c'est donc bien à un mécanisme très coûteux dont le financement paraît pour le moins hypothétique.

L'idée séduisante proposée dans le cadre de la REDD se heurte à la fois à des réalités territoriales complexes et à des incertitudes économiques qui laissent pour le moins dubitatifs sur les possibilités réelles de séquestration comparées aux besoins affichés.

Les plantations à croissance rapide

L'autre option envisagée a également le mérite de la simplicité puisqu'il s'agit purement et simplement d'encourager le boisement de terres non forestières. Le PNUE s'était fixé ~~comme~~ pour objectif de planter 7 milliards d'arbres durant l'année 2009. Dans son ouvrage *Le Plan B. Pour un pacte écologique mondial*, Lester Brown envisage de replanter 171 millions d'hectares de terre qui pourraient séquestrer jusqu'à 3,5 milliards de tonnes de CO₂ soit près d'1 GtC/an, plus de 60 % donc des émissions liées à la déforestation. C'est la réalité de ces puits de carbone potentiels que nous avons voulu analyser.

Quelles sont les potentialités de stockage offertes par les boisements à croissance rapide sur des terres non agricoles ?

L'analyse des ces « autres terres boisées » non forestières et non agricoles est là encore assez instructive. À l'instar des types d'écosystèmes forestiers retenus dans la nomenclature d'IGBP, nous avons repris ici le tableau des surfaces selon les écosystèmes en focalisant sur ceux, non forestiers et non agricoles, susceptibles de pouvoir être plantés d'espèces ligneuses à croissance rapide : « *open shrublands* »¹⁴, savanes boisées et savanes non boisées. Le potentiel (fig. 3) est effectivement considérable : près de 4 milliards d'hectares ! Dans ces conditions, boiser ne serait-ce que 5 % de ces espaces avec des plantations à croissance rapide, telles que des peuplements monospécifiques d'eucalyptus qui en pleine croissance et dans des conditions optimales peuvent atteindre des productivités de 15 à 20 t/ha/an peut sembler une ~~source conséquente~~ possibilité notable de séquestration.

Mais dès lors que l'on cherche à cartographier ces espaces, deux points se dessinent : près de 40 % de ces « autres terres boisées » correspondent aux savanes, savanes boisées et prairies d'Afrique et d'Amérique latine. Ces zones, largement utilisées à des fins pastorales, possèdent par ailleurs déjà de grandes productivités – (jusqu'à 10 t/ha/an pour la seule biomasse aérienne alors que plusieurs études (Manlay *et al.*, 2004) soulignent qu'elle est au mieux équivalente au stockage du sol) – qui laissent entrevoir des gains de stockage réduits, voire même dans les savanes les plus productives un déstockage (comparé au chiffre déjà élevé de 15 t/ha/an). Dans une étude récente (FAO, 2010), l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture souligne d'ailleurs la portée de ces formations qui « représentent un puits de carbone qui, pourrait être plus important que les forêts ». Ce n'est donc pas sur ces « autres terres boisées », selon sa définition, qu'il faut compter pour stocker du carbone.

Ce sont au final essentiellement les *open shrublands* dont la productivité moyenne est évaluée à 2 t/ha/an (Amthor *et al.*, 2001) qui permettent d'envisager des gains de

14. Les *open shrublands* correspondent à des formations végétales ouvertes composées pour l'essentiel d'arbustes d'une taille inférieure à huit mètres.

???

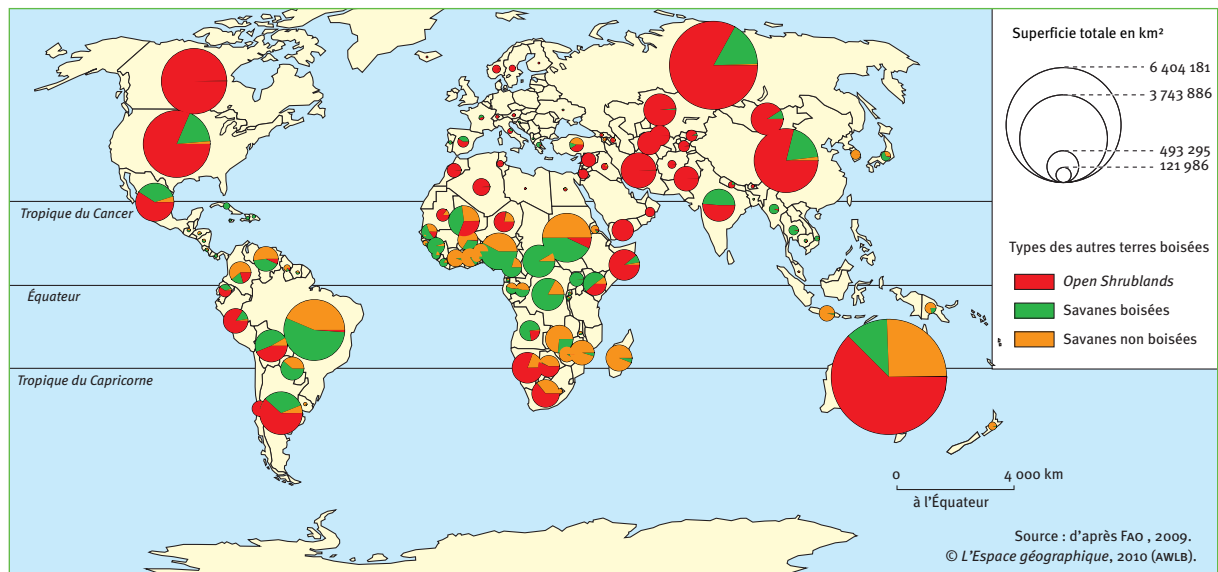


Fig. 3/ Importance et répartition des autres terres boisées

stockage. Or ces *open shrublands* correspondent en réalité, pour une large part, soit aux milieux de toundra et de taïga des régions boréales canadiennes et russes, soit aux espaces désertiques australiens, autrement dit à des régions qui, tant par leur éloignement que par leurs conditions écologiques, ne présentent guère de potentialités de boisement. Les principales régions offrant en définitive des potentiels se situent dans les espaces semi-arides de Chine et des États-Unis, et pour partie d'Australie. Les gains de stockage ne devraient pas y excéder les 2 t/ha/an (différence entre productivité existante, 2 t/ha/an, et productivité attendue de 4 t/ha/an obtenues en milieu semi-aride). Si l'on veut bien reprendre le chiffre avancé par Lester Brown, la **séquestration offerte** par plantation de 171 millions d'hectares sur ces « autres terres forestières », ne devrait donc pas excéder les 0,34 GtC/an, loin des évaluations annoncées par l'auteur. Il faudrait pratiquement reboiser l'ensemble des « open shrublands » de la planète pour obtenir une séquestration équivalente au déstockage consécutif à la déforestation...!

Sur des terres agricoles

Les scénarios proposés par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat et modélisés par le RIVM¹⁵ au Pays-Bas font état à l'horizon 2050 d'une possible libération de terres agricoles comprise entre 140 (scénario 1) et 940 millions d'hectares (scénario 2), cette estimation haute étant par ailleurs considérée comme excessive par bien des auteurs dont Michel Griffon (2006) qui la réduit à 550 millions d'hectares. Les principaux territoires concernés par cette libération des terres seraient la Chine, l'Afrique sub-saharienne et l'Amérique latine, et notamment le Brésil. L'étude menée par le Club d'ingénierie prospective énergie et environnement (2005) conclut que, **dans selon** le scénario à moindre disponibilité, la quantité de carbone stockée s'élèverait à 9 GtC soit une moyenne annuelle de 0,2 GtC/an sur une période

15. En néerlandais, Rijksinstituut voor volksgezondheid en milieu. C'est un institut national de recherche aux Pays-Bas qui regroupe une trentaine de laboratoires sur les thématiques de la santé publique et de l'environnement. Voir <http://www.rivm.nl/en/>

verbe conclure = 3^e groupe

de cinquante ans, et pourraient atteindre **dans selon** le scénario 2, 28 GtC soit une moyenne annuelle de 0,56 GtC.

Or ces scénarios « optimistes » sont loin d'être partagés par tous. La même FAO, qui par ailleurs prône le reboisement, note dans son rapport de 2009 « Comment nourrir le monde en 2050 », que l'augmentation des rendements ne suffira pas et qu'il faudrait augmenter les terres arables d'environ 120 millions d'hectares à l'horizon 2050 principalement en Afrique et en Amérique latine, notamment au Brésil et en République démocratique du Congo, les mêmes espaces sur lesquels devrait porter l'effort de REDD ! Le même rapport insiste sur le rôle des prairies comme **source lieu** de stockage potentielle, la gestion de ces espaces (recouvrant très largement les espaces considérés précédemment comme pouvant être... boisés) devant constituer l'une des priorités de l'après-Kyoto !

Bilan

Au final, quelles pourraient être les capacités de stockage des écosystèmes forestiers à l'horizon 2030 ? On pourrait au mieux, d'après nos évaluations, économiser 17 GtC grâce à la REDD, 8,5 GtC en reboisant les « autres terres boisées » et jusqu'à 14 GtC en reboisant **pratiquement près de** 1 milliard d'hectares de terres agricoles soit un total de 40 GtC **sur en** 25 ans... l'équivalent des 1,6 GtC **déstockées** chaque année par la déforestation. Ce résultat, qui encore une fois n'est qu'un ordre de grandeur eu égard aux incertitudes considérables touchant aux données de base, paraît pour le moins bien incertain tant il paraît difficile de mener à bien l'ensemble de toutes ces mesures de séquestration. L'approche cartographique que nous avons menée, bien conscients de ses limites, montre un point intéressant : l'effort demandé tant en matière de REDD que de reboisement concerne au final à peu près toujours les mêmes ensembles géographiques : c'est en Amérique latine et en Afrique qu'il faudrait dans le même temps réduire la déforestation, augmenter le reboisement des terres (agricoles ou non) et ce, dans un contexte où, selon la FAO, le besoin des terres agricoles risque fort d'augmenter. C'est sans compter enfin que la majeure partie des pays concernés par ces « efforts » appartiennent au groupe des pays dits « mégadivers » pour lesquels il est demandé un effort de protection des espaces boisés, autrement dit de soustraire une partie des territoires forestiers à l'exploitation alors que pour certains d'entre eux (Afrique centrale et sub-saharienne, Asie du Sud-Est) **la consommation de** bois de feu reste une ressource indispensable (Boulier, Simon, 2008).

Problèmes et discussions

Stockage du carbone et développement durable : le stockage contre le développement durable

Au-delà de la seule question de la robustesse des estimations de stockage supplémentaire, le reboisement accéléré soulève des interrogations lourdes de conséquences.

En tout premier lieu, un boisement forcé génère des effets écologiques parfois négatifs. Les travaux récents d'Esteban G. Jobbágy et Robert B. Jackson (2007) sur des plantations d'eucalyptus à croissance rapide dans la pampa argentine concluent à un épuisement des nappes phréatiques sous l'effet d'un prélèvement considérable par les eucalyptus, pouvant atteindre la moitié des précipitations annuelles et se traduisant à terme par une salinisation des sols. Ces observations viennent confirmer l'impact

négalif de telles plantations sur la richesse minérale du sol et sa résistance à l'érosion évoquée par Paul Tchawa et Moïse Tsayem Demaze (2002) en pays Bamiléké. Les conséquences sur la pérennité même de ces boisements monospécifiques sont discutées. Selon Hervé Jactel *et al.* (2006), ces plantations monospécifiques à croissance rapide sont fréquemment sujettes à des invasions ~~de~~ d'agents pathogènes qui peuvent conduire à une mortalité accrue. Les conséquences en termes de biodiversité sont également fortement discutées. Les travaux menés en Afrique par l'Institut de recherche pour le développement (IRD) (Remigi *et al.*, 2008) soulignent, toujours pour des plantations d'eucalyptus, les effets négatifs sur les communautés de champignons mycorrhiziens indispensables au bon fonctionnement de l'écosystème. Au final, c'est donc bien la pérennité même de ces boisements et leurs impacts sur le milieu qui sont fortement mis en doute.

Se pose également la question du devenir de ces boisements ou de ces terres non déforestées dans des contextes régionaux où le poids du bois de feu reste vitale, où les structures publiques de suivi des forêts sont souvent déficientes. Le stockage potentiel dans les forêts ainsi créées n'a de sens que si se mettent en place, en aval, des filières de transformation non émettrices de carbone qui impliquent un véritable suivi des plantations, des industries de transformation et... des débouchés. Sans exploitation régulière des peuplements, le bénéfice en termes de stockage s'avère très limité (*Les Cahiers du Clip*, 2005). Éloignée des grands centres urbains ou industriels, la ressource en bois générée pourrait rapidement se transformer... en fumée. Son suivi et la mise en place de filières bois *ad hoc* conduisent à considérer le coût de ces mesures comme bien supérieurs à ceux estimés à partir des seules tonnes de carbone séquestrées.

Pierre Gautreau (2008) a par ailleurs souligné, à partir de l'exemple uruguayen, les risques sociaux résultant du développement spectaculaire de la culture d'eucalyptus : exode rural et développement de l'emploi précaire, modifications en profondeur des paysages et déclin des activités agricoles accompagnent le développement de cette nouvelle filière. En pays Bamiléké, ce sont les espaces pastoraux qui ont reculé au profit des espaces de ligniculture, la poursuite des boisements pouvant à terme conduire à des conflits d'utilisation des terres agricoles (Tchawa, Demaze, 2002).

Incertitudes et contradictions entre politiques mondiales et réalités nationales

La politique de reboisement volontaire soulève enfin des questions de faisabilité et de pertinence qui relèvent cette fois-ci d'une échelle nationale voire infranationale. Si l'on veut bien considérer les trois pays les plus concernés par la REDD, Brésil, Indonésie et République démocratique du Congo, qui totalisent à eux seuls 45 % de la REDD, ils sont emblématiques des difficultés que rencontrerait un tel mécanisme. Au Brésil, la lutte contre la déforestation imposera de reconsidérer en profondeur un type de développement en partie fondé sur l'agriculture et sur l'élevage qui procurent des revenus et des devises considérables. Le seul secteur de l'agroalimentaire brésilien représente plus de 30 % du produit intérieur brut et le revenu à l'hectare d'un champ de soja était en 2009 de 150 euros par hectare (après avoir connu des rentabilités plus élevées de l'ordre de 400 à 500 euros par hectare en 2006). Financer la REDD au Brésil implique donc un investissement énorme pour tout hectare non déboisé.

En République démocratique du Congo, les forêts sont au cœur d'enjeux géopolitiques et financiers (Devers, 2007) qui laissent perplexe sur la mise en place et le suivi du mécanisme de la REDD. L'ampleur des ressources minières en forêt, largement

contrôlées par différentes factions opposées, l'absence de routes permettant le contrôle du territoire, les revenus tirés du commerce illégal du bois rendent bien improbable la mise en place d'un mécanisme « vertueux ». Si l'on considère en outre l'ampleur des besoins en terres agricoles dans un pays où le taux de sous-alimentation est l'un des plus élevés d'Afrique avec une forte croissance démographique, un recours toujours massif au bois de feu, il semble bien difficile d'envisager qu'un simple mécanisme de compensation financière puisse parvenir à enrayer de manière significative la déforestation actuelle.

En Indonésie, les mécanismes visant à réduire la déforestation se heurtent à différents paramètres difficilement contrôlables tels que l'importance des revenus obtenus grâce au commerce illégal du bois (le pays constituant l'une des plaques tournantes de ce commerce à destination notamment de la Chine) et la rentabilité des cultures de palmiers à huile dont l'expansion récente s'est traduite par une déforestation massive. Au final, en ne tenant compte que des trois principaux pays, potentiellement à même d'éviter un grand déstockage de carbone à l'horizon 2030, les obstacles au processus (coût financier, conditions géopolitiques et contexte démographique et économique) proposé dans le cadre de la REDD paraissent considérables.

La figure 4 souligne un autre paradoxe de cette politique. Elle exprime la part des émissions de carbone couverte par le stockage actuel des forêts, calculé sur la base de la

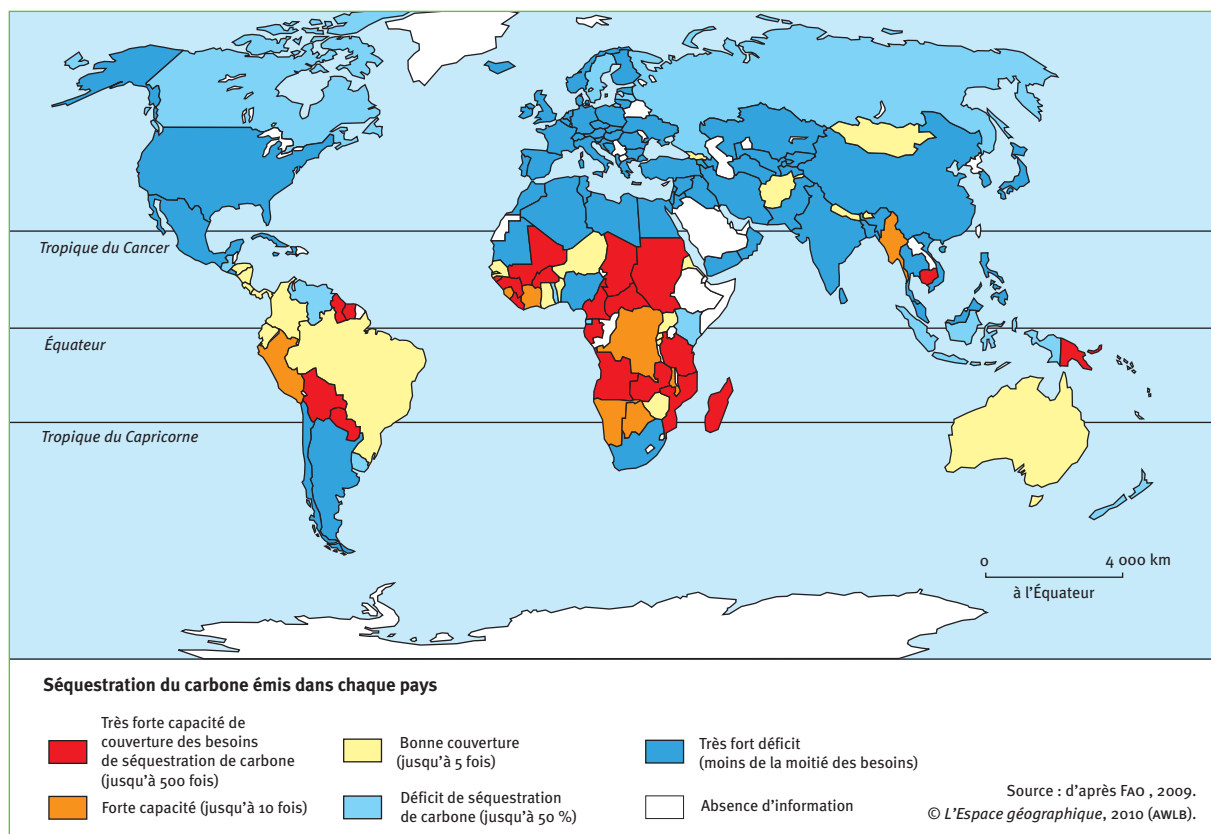


Fig. 4/ Capacité des forêts à absorber les émissions de carbone

production nette des écosystèmes, autrement dit de la productivité d'écosystèmes forestiers matures et peu modifiés. Ainsi, même en adoptant un taux de productivité, et donc de stockage faible, la figure souligne de manière évidente que les efforts demandés en matière de stockage et de réduction de la déforestation s'adressent aux pays qui, couvrent déjà très largement leurs émissions nationales de CO₂ par leurs seules forêts.

Enfin, la figure 5 montre les disparités existant en matière d'«efficacité carbone» de la croissance économique: l'analyse du «coût carbone marginal» de la croissance (quantité de carbone libérée pour chaque dollar de produit intérieur brut) met en évidence des marges de progression pour des pays comme la Chine, l'Inde et la Russie, qui, grâce à une meilleure maîtrise de la production industrielle, pourraient diminuer leurs émissions de carbone pour un même niveau de croissance. Mais, si ces chiffres sont spectaculaires, ils sont à rapporter à la portée des émissions réelles de carbone des réseaux industriels nationaux: un niveau moyen de libération de carbone par unité de richesse produite ne dit rien ni de la richesse totale du pays, ni de son émission totale de carbone. Les volumes globaux de carbone relâchés dans l'atmosphère peuvent ainsi rester considérables malgré une relative maîtrise des processus industriels (États-Unis et Canada surtout).

Difficile dans ces conditions de faire porter le fardeau du stockage de carbone à des pays qui non seulement couvrent avec leurs seules forêts leurs émissions natio-

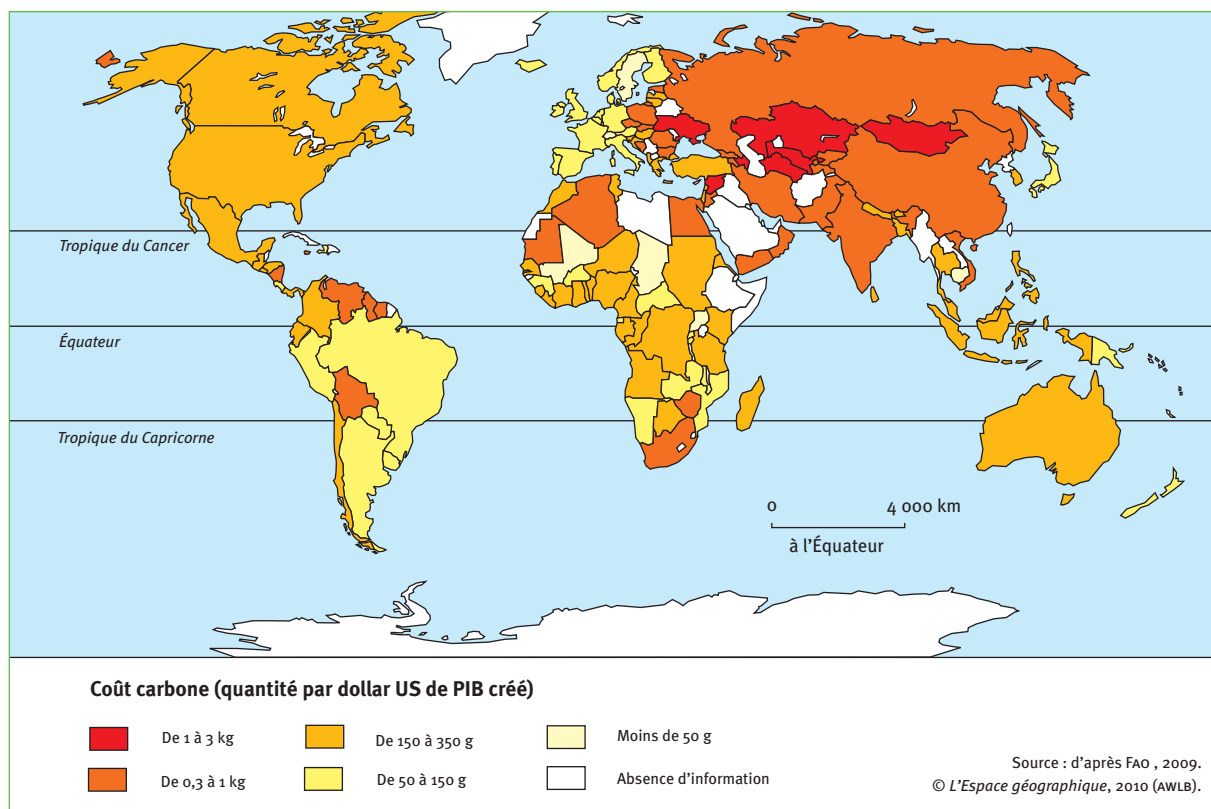


Fig. 5/ Coût en carbone de la richesse nationale (kg par dollar US de PIB)

Comment un coût peut-il être mesuré avec des kg ? ou des grammes ? Ne serait-ce pas efficacité ?

nales mais ont, en outre, une moyenne d'émission par dollar de produit intérieur brut bien inférieure à celle des grands pays émetteurs.

Conclusion

Faut-il au vu de ce qui précède condamner définitivement toute tentative de séquestration de carbone par les écosystèmes forestiers? La réalité est plus nuancée. Des expériences existent qui témoignent des possibilités existantes. L'Office national des forêts (ONF) participe ainsi à plusieurs projets en Amérique latine (Chili, Brésil), en Afrique (Cameroun, Madagascar) dont l'objectif est, entre autres, « d'augmenter l'absorption de carbone par les puits forestiers ». Le succès de telles initiatives repose en fait sur une approche multifonctionnelle de la forêt qui intègre à la fois les savoirs et les souhaits des populations locales, qui établit des partenariats avec ces acteurs locaux et, surtout, qui considère l'objectif carbone comme un objectif parmi d'autres (maintien de la biodiversité et développement local). Le développement des boucles courtes dans le domaine de la filière-bois et notamment du bois énergie, représente également un potentiel intéressant de développement économique et de stockage du carbone.

Mais vouloir mener une politique globale à l'échelle internationale en faveur du stockage du carbone, comme le préconise le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE), participe en revanche d'une illusion assez persistante dans les instances internationales: celle d'une politique sectorielle répondant de façon universelle à un problème donné.

Une telle approche « focalise l'attention sur l'objet forestier lui-même au détriment des acteurs et des besoins de ceux-ci » comme le fait justement remarquer Hervé Brédif (2008) à propos des référentiels de durabilité forestière et ce, pour des résultats pour le moins incertains. Fondée sur des données encore très incomplètes à l'origine de scénarios souvent cloisonnés et contradictoires, sur une absence de prise en compte des réalités géographiques et territoriales (nationales et régionales), sur une focalisation sur un problème précis indépendamment des contextes écologiques, économiques et sociaux, une telle politique n'obtiendra que des résultats limités eu égard à l'objectif fixé avec en outre des conséquences locales souvent négatives.

Références

- AMTHOR J.S., BALDOCCHI D.D. (2001). « Terrestrial higher plant respiration and net primary production ». In ROY J., SAUGIER B., MOONEY H.A. (eds). *Terrestrial Global Productivity*. San Diego: Academic Press, p. 33-59.
- ARNOULD P. (2006). « Biogéographie et changement global : la valse des biomes ». *Historiens & Géographes*, n° 395, p. 95-110.
- BOULIER J., SIMON L. (2009). *Atlas des forêts dans le monde*. Paris: Éditions Autrement, 80 p.
- BRÉDIF H. (2008). « Référentiels de durabilité forestière : l'universalité en question ». *Nature, sciences, sociétés*, vol. 16, n° 3, p. 209-219.
- BROWN L. (2007). *Le Plan B. Pour un pacte écologique mondial*. Paris: Calmann-Lévy, 416 p.
- Cahiers du Club d'ingénierie prospective énergie et environnement (Les)*(2005). « Le Stockage du Co₂ », n° 17, septembre, 92 p.
http://www.iddri.org/Publications/Les-cahiers-du-CLIP/clip_17.pdf

- CENTRE D'ANALYSE STRATÉGIQUE (2009). *La Valeur tutélaire du carbone*. Paris : La Documentation française, coll. « Rapports et documents », n° 16, rapport de la commission présidée par Alain Quinet, 422 p. <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/catalogue/9782110074829/>
- CIAIS P., REICHSTEIN M., VIOVY N., GRANIER A., OGÉE J., ALLARD V., AUBINET M., BUCHMANN N., BERNHOFER C., CARRARA A., CHEVALLIER F., DE NOBLET N., FRIEND A.D., FRIEDLINGSTEIN P., GRÜNWALD T., HEINESCH B., KERONEN P., KNOHL A., KRINNER G., LOUSTAU D., MANCA G., MATTEUCCI G., MIGLIETTA F., OURCIVAL J.-M., PAPALE D., PILEGAARD K., RAMBAL S., SEUFERT G., SOUSSANA J.F., SANZ M.J., SCHULZE E.D., VESALA T., VALENTINI R. (2005). « Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003 ». *Nature*, n° 437, p. 529-533.
- COX P.M., BETTS R.A., JONES C.D., SPALL S.A., TOTTERDELL I.J. (2000). « Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model ». *Nature*, vol. 408, p. 184-187.
- DEVERS D. (2007). « Rapport sur l'état des forêts du Bassin du Congo 2006 : processus et perspectives ». In COOPÉRATION TECHNIQUE BELGE (CTB), *Quel avenir pour les forêts de la République démocratique du Congo ? Instruments et mécanismes innovants pour une gestion durable des forêts*. Bruxelles : Coopération technique belge, Reflection and discussion paper, p. 10-13. <http://www.btctb.org/files/web/publication/Quel%20avenir%20pour%20les%20forêts%20de%20la%20République%20démocratique%20du%20Congo.pdf>
- FISCHER G., SCHRATTENHOLZER L. (2001). « Global bioenergy potentials through 2050 ». *Biomass and bioenergy*, vol. 20, n° 3, p. 151-159.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO)(2010). « Review of evidence on drylands pastoral systems and climate change. Implications and opportunities for mitigation and adaptation ». <http://ftp.fao.org/docrep/fao/012/i1135e/i1135e00.pdf>
- GAUTREAU P. (2008). « L'expansion sylvicole dans le Río de la Plata : la dimension oubliée du conflit des usines de pâte à papier entre l'Uruguay et l'Argentine ». *Nuevo Mundo, Mundos Nuevos*, <http://nuevomundo.revues.org/17762>.
- GRACE J.(2004). « Understanding and managing the global carbon cycle ». *Journal of Ecology*, vol. 92, n° 2, p. 189-202.
- GRIFFON M. (2006). *Nourrir la planète*. Paris : Odile Jacob, coll. « Sciences », 464 p.
- HOUGHTON R.A. (2003). « Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850-2000 ». *Tellus*, vol. 55, n° 2, p. 378-390.
- JACTEL H., MENASSIEU P., VÉTILLARD F., GAULIER A., SAMALENS J.-C., BROCKERHOFF E. (2006). « Tree species diversity reduces the invasibility of maritime pine stands by the bark scale, *Matsucoccus feytaudi* (Homoptera Margarodidae) ». *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 36, n° 2, p. 314-323.
- JOBÁGY E.G., JACKSON R.B. (2007). « Groundwater and soil chemical changes under phreatophytic tree plantations ». *Journal of Geophysical Research*, vol. 112, p. 1-15.
- KARSENTY A. (2008). « The architecture of proposed REDD schemes after Bali: facing critical choices ». *International Forestry Review*, vol. 10, n° 3, p. 443-457.
- KURZ W.A., APPS M.J. (1999). « A 70-year retrospective analysis of carbon fluxes in the Canadian forest sector ». *Ecological Applications*, vol. 9, n° 2, p. 526-547
- LOESCHER H.W., OBERBAUER S.F., GHOLZ H.L., CLARK D.B. (2003). « Environmental controls on net ecosystem-level carbon exchange and productivity in a Central American tropical wet forest ». *Global Change Biology*, vol. 9, n° 3, p. 396-412.
- MALHI Y., GRACE J. (2000). « Tropical forests and atmospheric carbon dioxide ». *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 15, n° 8, p. 332-337.

- MANLAY R., ICKOWICZ A., MASSE D., FLORET C., RICHARD D., FELLER C. (2004). « Spatial carbon, nitrogen and phosphorus budget of a village territory in the West African savanna: 1. Element pools and structure of a mixed-farming system ». In ROOSE É., DE NONI G., PRAT C., GANRY F., BOURGEON G., *Gestion de la biomasse, érosion et séquestration du carbone. Séquestration du carbone et érosion des sols*. Paris : IRD, colloque international sur « l'influence de la gestion de la biomasse sur l'érosion et la séquestration du carbone », 2002, Montpellier, France. p. 178-191.
- NILSSON S., SCHOPFHAUSER W. (1995). « The carbon-sequestration potential of a global afforestation program ». *Climatic Change*, vol. 30, n° 3, p. 267-293.
- PHILLIPS O.L., MALHI Y., HIGUCHI N., LAURANCE W.F., NUÑEZ P.V., VÁSQUEZ R.M. (1998). « Changes in the carbon balance of tropical forest: evidence from long-term plots ». *Science*, vol. 282, n° 5388, p. 439-442.
- REMIGI P., FAYE A., KANE A., DERUAZ M., THIOULOUSE J., CISSOKO M., PRIN Y., GALIANA A., DREYFUS B., DUPONNOIS R. (2008). « The exotic legume tree species *Acacia holosericea* alters microbial soil functionalities and the structure of the arbuscular mycorrhizal community ». *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 74, n° 5, p. 1485-1493.
- ROBERT M., SAUGIER B. (2003). « Contribution des écosystèmes continentaux à la séquestration du carbone ». *Geoscience*, vol. 335, n° 6-7, p. 577-595.
- SANTILLI M., MOUTINHO P., SHWARTZAMAN S., NEPSTAD D., CURRAN L., NOBRE C. (2005). « Tropical deforestation and the Kyoto Protocol: an editorial essay ». *Climate Change*, 71, p. 267-276.
- SAUGIER B., ROY J., MOONEY H.A. (2002). *Terrestrial global productivity*. Londres: Academic Press. 574 p.
- STAVINS R.N. (1999). « The costs of carbon sequestration: A revealed-preference approach ». *American Economic Review*, vol. 89, n° 4, p. 994-1009.
- STERN N. (2006). *The Economics of Climate Change. The Stern Review Review*. Cambridge: Cambridge University Press, 692 p.
- TCHAWA P., TSAYEM DEMAZE M. (2002). « Gestion de l'espace et effets écologiques de l'eucalypticulture en pays Bamiléké (Ouest Cameroun) : stratégie paysanne et prise en compte d'un risque perçu ». *Cahiers d'Outre-Mer*, n° 218, avril-juin, p. 175-196.
- TREXLER M.C., HAUGEN C. (1995). *Keeping it green. Tropical forestry opportunities for mitigating climate change*. Washington D.C.: World Resources Institute, 52 p.
- TSAYEM DEMAZE M. (2009). « Le protocole de Kyoto, le clivage Nord-Sud et le défi du développement durable ». *L'Espace géographique*, t. 38, n° 2. p. 139-156.
- TSAYEM DEMAZE M. (2010). « La REDD : une initiative émergente pour intégrer les forêts tropicales dans la lutte contre le réchauffement climatique ». *Annales de géographie*, à paraître.

Tsayem, 2010 :
Est-ce cet article est
paru depuis et avec
ce titre ?

Site Internet

- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO), 1995 =
<http://www.fao.org/DOCREP/003/X6953E/X6953E00.HTM>
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO), 2001 = <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/003/y0900f/>
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO), 2005 =
<http://www.fao.org/docrep/007/y5574f/y5574f00.htm>
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO), 2006 =
<http://www.fao.org/newsroom/fr/focus/2006/1000247/index.html>
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO), 2007 =
<http://www.fao.org/docrep/009/a0773f/a0773f00.htm>
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO), 2009 =
<http://www.fao.org/docrep/011/i0350f/i0350f00.htm>
- FOREST RESOURCES ASSESMENT (FRA), 2009 = <http://www.fao.org/forestry/fra/en/>
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (Ipcc), 2000, 2001 = <http://www.ipcc.ch/>

INTERNATIONAL GEOSPHERE-BIOSPHERE PROGRAMME (Igbp), 2005 = <http://www.igbp.net/>
ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT-FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (OECD-FAO) =
<http://www.agri-outlook.org/document/12/>
PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR L'ENVIRONNEMENT (PNUE), 2009 =
<http://www.fao.org/docrep/012/i1632f/i1632f.pdf>
RIJKSINSTITUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEU (RIVM) = <http://www.rivm.nl/en/>