



Liberté • Égalité • Fraternité  
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



Ministère de l'Écologie  
et du Développement Durable

# Document de travail

ETUDES – METHODES – SYNTHESSES



## LA PRISE EN COMPTE DE LA FORET DANS LE PROTOCOLE DE KYOTO. PERSPECTIVES POUR LE POST 2012

SERIE ETUDE  
06 – E06

AURELIE VIEILLEFOSSE

Site internet : <http://www.ecologie.gouv.fr>  
20 avenue de Ségur – 75302 Paris 07 SP

DIRECTION DES ETUDES ECONOMIQUES ET DE L'EVALUATION ENVIRONNEMENTALE

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout particulièrement Valérie Merckx pour sa patience, sa disponibilité et ses explications de nombreuses fois répétées (il faut dire que le sujet est compliqué !). Je remercie aussi Christine Cros pour ses nombreuses relectures et ses conseils avisés. Merci aussi à Franck Jacobé et Cyril Loisel pour leurs remarques et commentaires.

*Ce document n'engage que ses auteurs et non les institutions auxquelles ils appartiennent.  
L'objet de cette diffusion est de stimuler le débat et d'appeler des commentaires et des critiques.*

## SOMMAIRE

### Introduction.....4

#### I. enjeux scientifiques : les controverses autour du puits de carbone des écosystèmes terrestres.5

1. Les stocks et flux de carbone selon les différents types de forêts.....5
2. Le puits de carbone des écosystèmes terrestres : état présent et évolution possible.....11

#### II. Enjeux économiques : utiliser les terres de façon optimale.....21

1. Production agricole.....21
2. Préserver/Augmenter les surfaces boisées.....24
3. La mise en place d'un système à la couverture complète est nécessaire.38

#### III. Enjeux politiques : le traitement des puits de carbone dans le protocole de Kyoto.....41

1. Quelle règle de comptabilisation retenir ?.....41
2. Article 3.3 : changement d'affectation des terres, liés aux activités humaines.....43
3. Article 3.7 : article dérogatoire au 3.3.....45
4. Article 3.4 : Gestion forestière et autres activités.....46
5. Projets de boisement dans les pays en voie de développement : le MDP forêt.....52
6. Bilan du protocole de Kyoto au regard des objectifs de la partie 2.....58

#### IV. Le débat sur les évolutions futures .....59

1. La mise en place d'un protocole séparé pour le secteur de l'utilisation des terres n'apparaît pas souhaitable.....59
2. Quelles activités comptabiliser ?.....62
3. Comment prendre en compte les forêts gérées ?.....64
4. Pistes d'amélioration du MDP.68

### Conclusion.....72

## RÉSUMÉ

*La décision de comptabiliser les absorptions de la forêt dans les émissions nettes des pays de l'annexe 1 a été très controversée lors des négociations du protocole de Kyoto. Au niveau économique, l'enjeu était de mettre en place des instruments qui permettent aux acteurs d'effectuer des arbitrages entre les différents usages des sols afin d'optimiser l'utilisation des terres pour lutter contre le changement climatique.*

*La solution retenue à Kyoto pour traiter ce secteur est avant tout le résultat d'une négociation politique qui s'est déroulée dans un contexte où certains pays cherchaient à relever le quota qui leur avait été fixé dans le protocole grâce aux puits. C'est pourquoi elle pourrait certainement être améliorée. Aujourd'hui, dans un contexte où la réflexion sur la forme du protocole pour la période post 2012 est lancée, il est temps d'ouvrir un débat. On peut d'ores et déjà avancer des éléments de cadrage des propositions :*

- ❖ *La mise en place d'un protocole séparé pour le secteur de l'utilisation des terres n'apparaît pas souhaitable ;*
- ❖ *La comptabilisation des émissions dues au défrichement dans les pays développés devrait demeurer obligatoire. Elle pourrait néanmoins être effectuée selon une règle nette/nette.*

*Les avantages et inconvénients de l'inclusion de la forêt gérée doivent clairement être posés. Le système de comptabilisation de cette activité mis en place à Kyoto n'est pas incitatif ; son principal mérite est d'avoir encouragé les pays hésitants à ratifier le protocole à s'engager. Les particularités de la forêt gérée rendent l'inclusion de ce secteur extrêmement complexe et il n'existe pas de solution « idéale » : chaque pays doit évaluer la mesure dans laquelle les bénéfices d'une telle inclusion dépassent ses inconvénients et risques.*

*Enfin, l'intérêt et les limites de la proposition de MDP sectoriel pour la déforestation dans les pays en développement doivent être examinés. Cette proposition soulève deux questions fondamentales. Est-il réellement possible de réduire la déforestation dans les pays en développement par des politiques appropriées, c'est à dire de rendre une incitation internationale effective au niveau local ? Comment évaluer les émissions évitées par la politique mise en place ?*

## **INTRODUCTION**

Une meilleure utilisation des terres et des forêts pourrait permettre de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> de 100 GtC d'ici à 2050 (en cumulé), ce qui représente 15 à 30 % des réductions d'émissions nécessaires au niveau mondial pour stabiliser la température à 2°C. Les politiques d'utilisation des terres sont une variable d'action qui est loin d'être négligeable dans les politiques de lutte contre le changement climatique.

Pourtant, le secteur de l'utilisation des terres et de la foresterie est, de loin, celui qui a posé le plus de problème lors des négociations du protocole de Kyoto. La décision de comptabiliser les absorptions de la forêt dans les émissions nettes des pays de l'annexe 1 a été très controversée. Certains s'y opposaient pour des raisons environnementales, ils craignaient la création d'un échappatoire aux efforts de réduction des émissions fossiles. D'autres opposaient des questions de principes et méthodologiques : faiblesses méthodologiques et incertitudes scientifiques, le manque de données disponibles, le fait que les données étaient peu comparables, et le risque de création d'incitations perverses. Au final, la solution retenue à Kyoto est complexe et relativement incompréhensible pour les « non initiés ».

Ce document de travail vise avant tout à expliquer aux décideurs et au grand public les règles de comptabilisation retenues pour le secteur de l'utilisation des terres et de la foresterie dans le protocole de Kyoto et les accords de Marrakech, leur logique, et les raisons politiques qui ont poussé à les adopter (partie 3). Pour ce faire, il est apparu nécessaire dans un premier temps d'expliquer en quoi les écosystèmes terrestres et en particulier la forêt jouent un rôle significatif dans le cycle du carbone, les particularités du secteur, notamment les incertitudes sur la valeur du puits de carbone des écosystèmes terrestres et sa variabilité annuelle (partie 1). Dans un deuxième temps, sont exposées les difficultés de mise en place d'un système économique incitatif cohérent pour augmenter les absorptions du secteur (partie 2). L'enjeu est de créer des mécanismes qui permettent une utilisation optimale des terres à l'échelle de la planète. Enfin, dans un contexte où la réflexion sur la forme du protocole pour la période post 2012 est lancée, la dernière partie (partie 4) évalue les options possibles pour traiter ce secteur dans le futur, leurs avantages et inconvénients. Des propositions sont avancées. Cette partie ne se veut pas prescriptive mais plutôt un guide pour la réflexion.

## I. ENJEUX SCIENTIFIQUES : LES CONTROVERSES AUTOUR DU PUIT DE CARBONE DES ECOSYSTEMES TERRESTRES

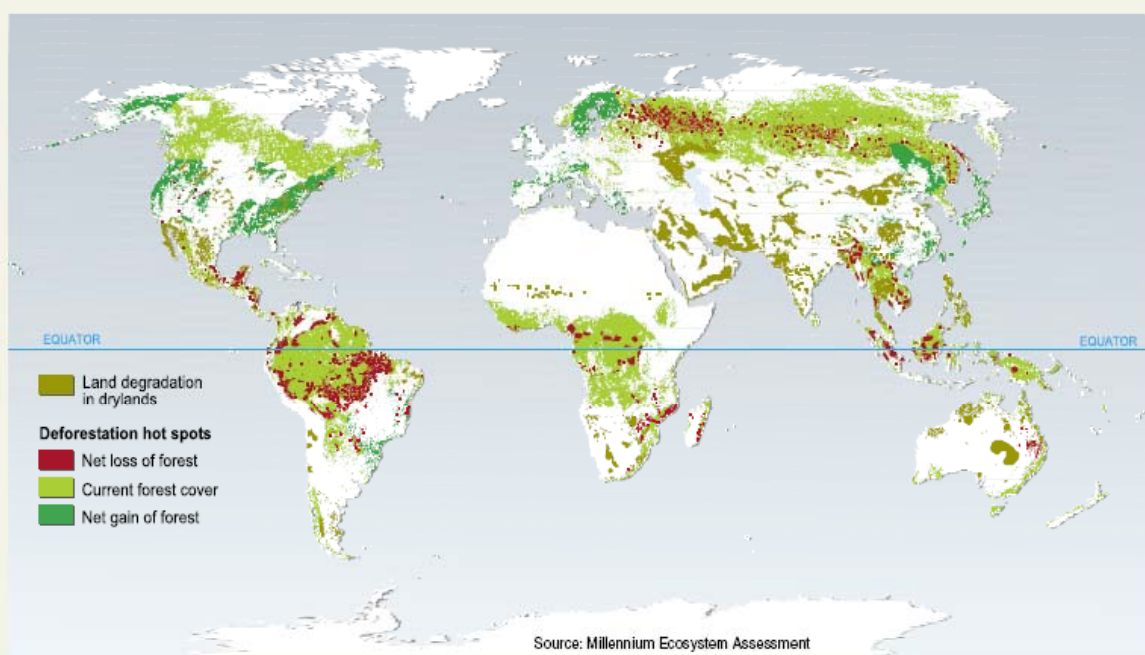
### 1. Les stocks et flux de carbone selon les différents types de forêts

#### 1.1. *Analyse de la surface couverte par les forêts dans le monde*

Si la biosphère joue un rôle important dans le cycle du carbone, c'est en grande partie grâce aux forêts. **En 2005, les forêts couvraient 3,95 milliards d'hectares dans le monde** (soit 30 % de la surface terrestre), qui se décomposent en 47 % de forêts tropicales, 33 % de forêts boréales, 11 % de forêts tempérées et 9 % de forêts subtropicales. **Les plantations forestières représentent seulement 3,8 % des forêts dans le monde**, le reste est constitué de forêts naturelles.

**Figure 1.4.** LOCATIONS REPORTED BY VARIOUS STUDIES AS UNDERGOING HIGH RATES OF LAND COVER CHANGE IN THE PAST FEW DECADES (C.SDM)

In the case of forest cover change, the studies refer to the period 1980–2000 and are based on national statistics, remote sensing, and to a limited degree expert opinion. In the case of land cover change resulting from degradation in drylands (desertification), the period is unspecified but inferred to be within the last half-century, and the major study was entirely based on expert opinion, with associated low certainty. Change in cultivated area is not shown.



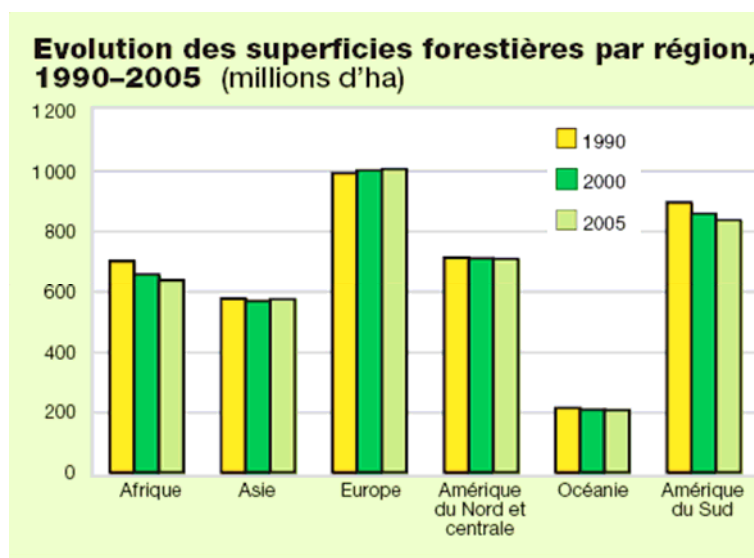
**Figure 1 : Distribution du couvert forestier dans le monde et changements observés d'usage des terres (source : Millenium Ecosystem Assessment)**

Les forêts primaires, c'est à dire des forêts d'espèces indigènes où aucune trace d'activité humaine n'est clairement visible et où les processus écologiques ne sont pas sensiblement perturbés, représentaient plus d'un tiers de toutes les forêts mondiales. En 2002, les forêts secondaires<sup>1</sup> et les forêts dégradées couvraient 850 millions d'hectares (21% des forêts mondiales).

<sup>1</sup> Les forêts secondaires sont définies comme des «forêts se régénérant en grande partie par des processus naturels après une perturbation significative (humaine et naturelle) de la végétation forestière originelle à un moment donné ou sur une période prolongée et dont la structure et/ou la composition des espèces de la canopée est sensiblement différente des forêts primaires proches sur des sites similaires» (FAO, 2003c).

La Figure 1 illustre la distribution des forêts dans le monde. Les pays qui disposent des surfaces de forêts les plus importantes sont la Russie (808 millions ha), le Brésil (477 millions ha), le Canada (310 millions ha), les Etats-Unis (303 millions ha), la Chine (197 millions ha), l'Australie (163 millions ha), la République démocratique du Congo (133 millions ha) et l'Indonésie (88 millions ha) ; **ces 8 pays totalisent à eux seuls 62 % des forêts mondiales** (voir tableau détaillé en annexe 2). En France, la surface couverte par la forêt tempérée en métropole est de 15,54 millions ha et celle couverte par la forêt tropicale dans l'outre mer (Guyane) est de 8 millions ha (FAO, FRA 2005).

Sur la période 1990-2005, on a observé une **perte nette** de superficies forestières notamment en Afrique et Amérique du Sud mais aussi une perte plus légère en Océanie et Amérique du Nord et centrale (voir Figure 2). La superficie forestière en Europe poursuit son extension, mais à un rythme modéré. L'Asie, qui a subi une perte nette dans les années 90, enregistre un gain net sur la période 2000–2005, essentiellement dû aux boisements à grande échelle dont a fait état la Chine.



**Figure 2 : Evolution des surfaces de forêts par région (Source : FRA 2005)**

Ces tendances s'observent alors même que la superficie des forêts affectées à la conservation est en augmentation dans toutes les régions du monde depuis 1990 (voir Figure 3). **10 % des forêts mondiales sont situées dans des aires protégées en 2005** (FAO, FRA 2005).

La plupart des forêts secondaires se développe après une perturbation ou l'élimination des forêts naturelles par la technique de la culture sur brûlis, la conversion à l'agriculture suivies d'un abandon des terres ou à la suite d'une exploitation forestière excessive qui a réduit la forêt originelle à l'état de ressource non commerciale. Dans les deux cas, les graines des arbres environnants ont finalement permis une régénération de la forêt. Pour certains, l'expression forêts secondaires pourrait signifier qu'elles sont moins importantes que les forêts primaires. Or, elles fournissent un large éventail de produits et de services à la société, en particulier aux communautés locales qui dépendent de cette ressource (FAO, FRA 2005).



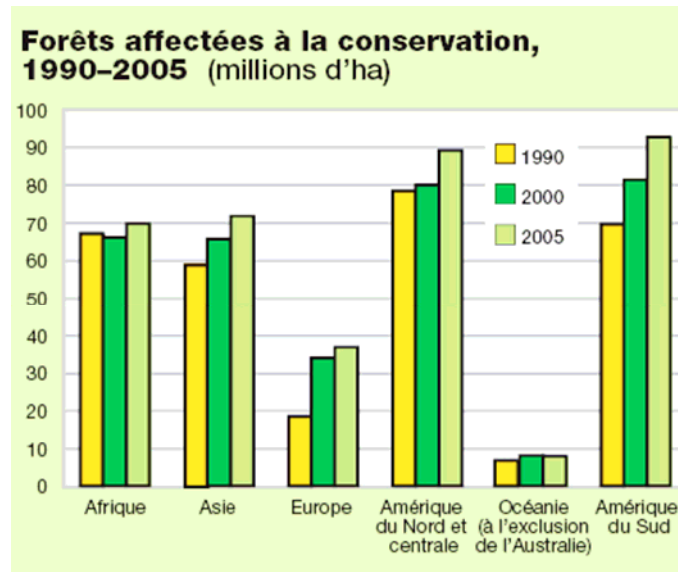


Figure 3 : Evolution des surfaces de forêt affectées à la conservation (Source : FRA 2005)

### 1.2. Stock de carbone des forêts mondiales

Les forêts mondiales jouent un rôle majeur dans la régulation du cycle du carbone et de la concentration de CO<sub>2</sub> atmosphérique. **Elles renferment 53 % du carbone accumulé dans les écosystèmes terrestres**, qui se répartit en 26 % dans les forêts boréales, 20 % dans les forêts tropicales et 7 % dans les forêts tempérées (voir Figure 4).

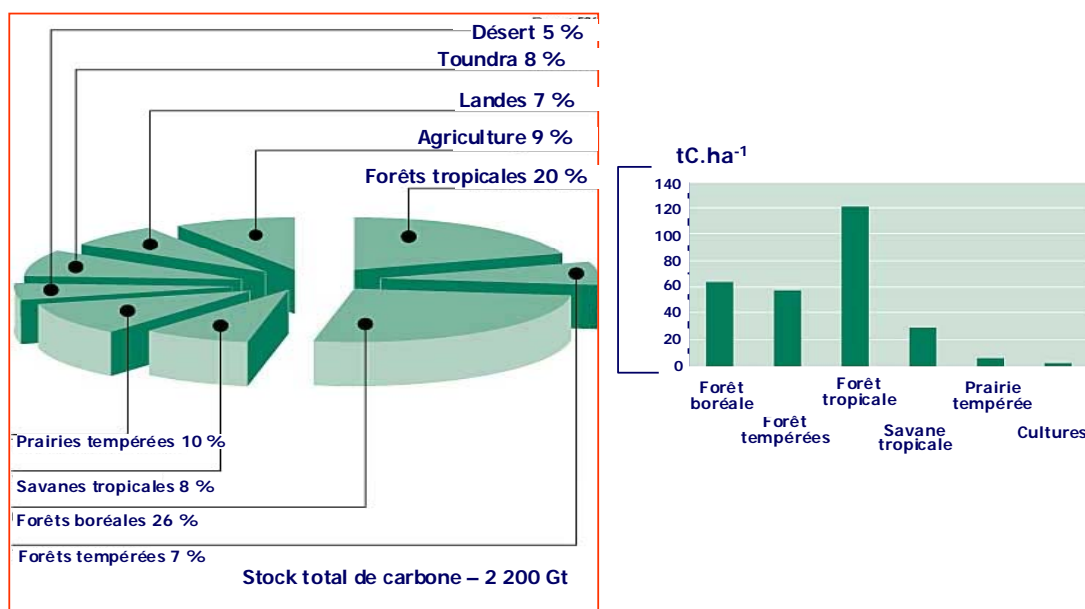
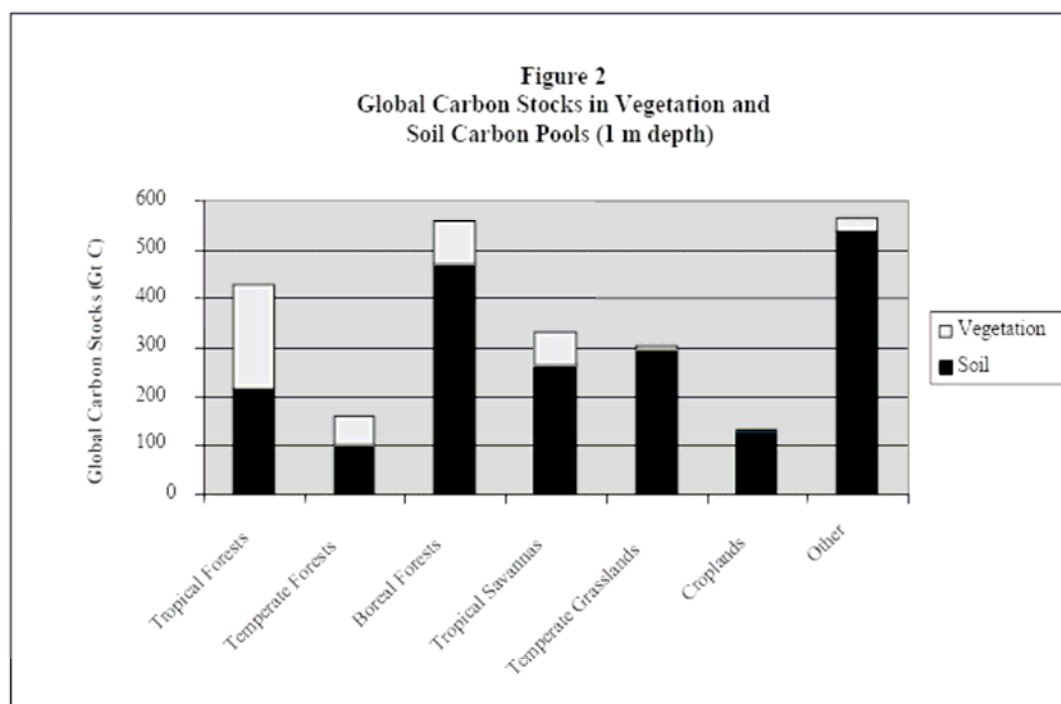


Figure 4 : Distribution du carbone biosphérique terrestre entre les grands types d'écosystèmes géographiques (figure de gauche : biomasse totale et figure de droite : biomasse aérienne) (Source : FAO)

Dans la majorité des écosystèmes, le stock de carbone le plus important est situé dans le sol (cf Figure 5). La biomasse aérienne stocke en moyenne 20 % du stock de carbone des

écosystèmes terrestres (466 GtC) alors que le sol en stocke 80 % (2011 GtC). Ceci pose une difficulté de taille pour évaluer les stocks de carbone des écosystèmes car **toute mesure du contenu en carbone au sein du sol forestier est particulièrement difficile.**



Source: IPCC, 2000

**Figure 5 : Stock de carbone dans la biomasse et dans le sol selon le type de biome (source : GIEC)**

Les stocks de carbone des biomasses aériennes sont nettement plus importants dans les forêts que dans les parcelles cultivées et dans les prairies. Les terres agricoles ont les stocks de carbone les plus bas par unité de surface.

Les stocks des matières organiques des sols des forêts boréales sont très élevés. En revanche, les stocks de carbone du sol des forêts tempérées sont en général inférieurs à ceux des prairies permanentes<sup>2</sup>. (voir la figure 5 et le tableau en annexe 1 récapitulant les stocks de carbone pour les différents types d'usage des sols).

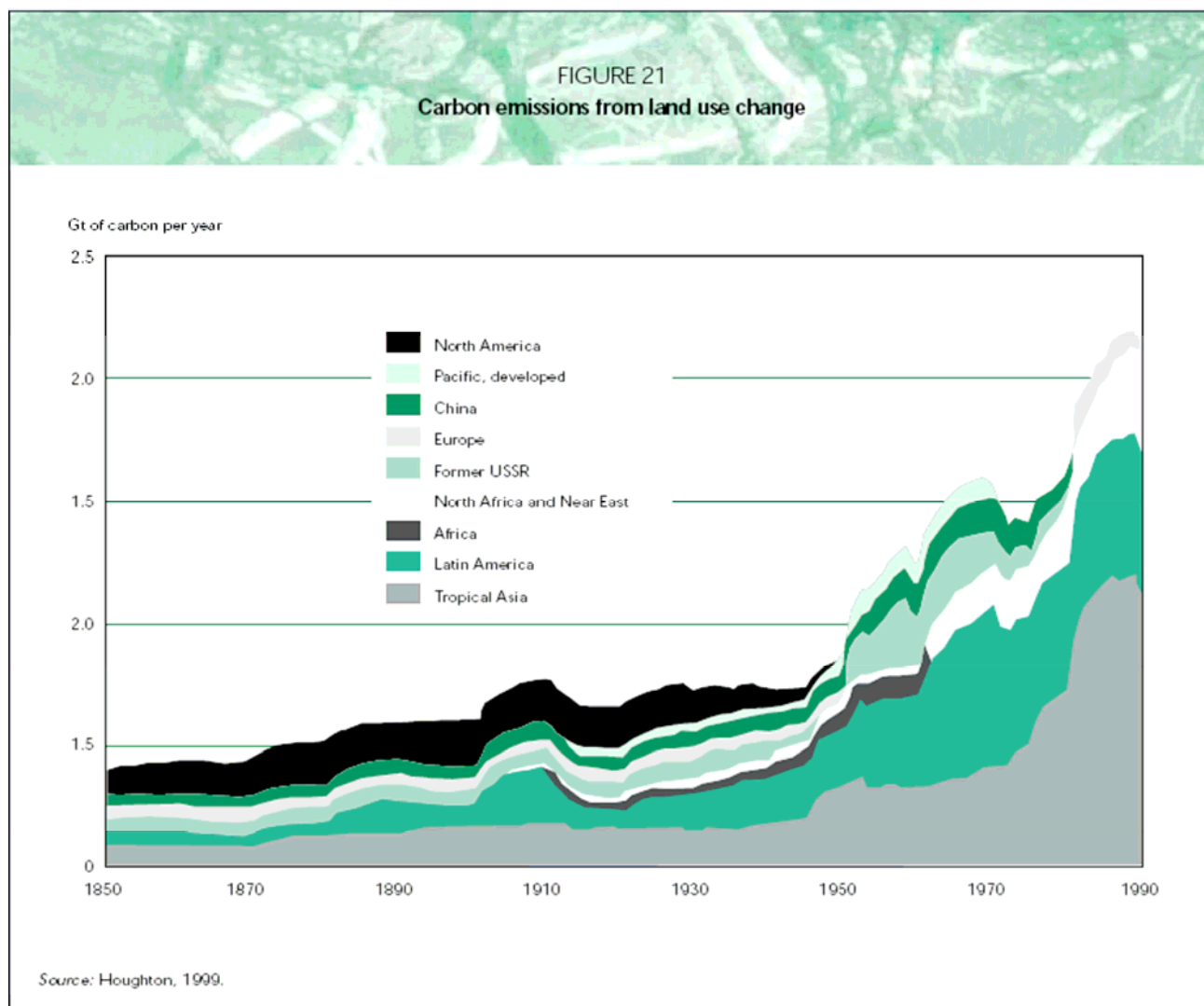
### 1.3. La déforestation : une source de carbone importante

**La réduction de la déforestation est un des enjeux majeurs de la lutte contre le changement climatique.** La Figure 6 illustre l'évolution des émissions liées à la déforestation depuis 1950 et fait ressortir l'augmentation de la déforestation depuis les années 1950. Les émissions liées à la déforestation ont augmenté très fortement depuis 1975 en Asie tropicale et Afrique. Les tendances sont inquiétantes. En dépit d'une grande attention internationale et d'une pression importante des opinions publiques, la déforestation va en augmentant.

<sup>2</sup> Les prairies permanentes non exploitées stockent plus de carbone à l'hectare que les prairies exploitées ou que les prairies temporaires. Certaines espèces de graminées stockent plus de carbone que d'autres, notamment dans les zones de savane.



Les pays où les changements annuels ont été les plus importants entre 1990 et 2000 sont le Brésil (-2,6 millions ha/an sur la période 1990-2000 et -3,1 millions ha/an sur la période 2000-2005), l'Indonésie (-1,87 millions ha/an), le Soudan (-0,58 millions ha/an), la Birmanie (-0,46 millions ha/an), la Zambie (-0,44 millions ha/an), la Tanzanie (-0,41 millions ha/an), le Nigeria (-0,41 millions ha/an), le Congo (-0,53 millions ha/an sur la période 1990-2000 et -0,31 millions ha/an sur la période 2000-2005) (voir tableau détaillé en annexe 3).



**Figure 6 : Evolution des émissions liées à la déforestation dans différentes régions du monde (source : FAO)**

Dans certains pays, la forêt a été en extension sur la période : en Chine (+1,98 millions ha/an sur la période 1990-2000 et + 4,05 millions ha/an sur la période 2000-2005), dans l'UE 25 (+0,74 millions ha/an sur la période 1990-2000 et +0,69 millions ha/an sur la période 2000-2005), aux Etats-Unis (+0,36 millions ha/an sur la période 1990-2000 et +0,16 millions ha/an sur la période 2000-2005). En France, la forêt a augmenté de +0,081 millions ha/an sur la période 1990-2000 et de + 0,041 millions ha/an sur la période 2000-2005 (FAO, FRA 2000 et 2005).

Au total, la FAO estime que, sur la période 1990-2000, la déforestation aurait fait disparaître 14,6 millions ha/an et que les reboisements auraient été de 5,7 millions ha/an, soit un solde net de -8,9 millions ha/an. **Sur la période 2000-2005, la déforestation aurait fait disparaître 13**

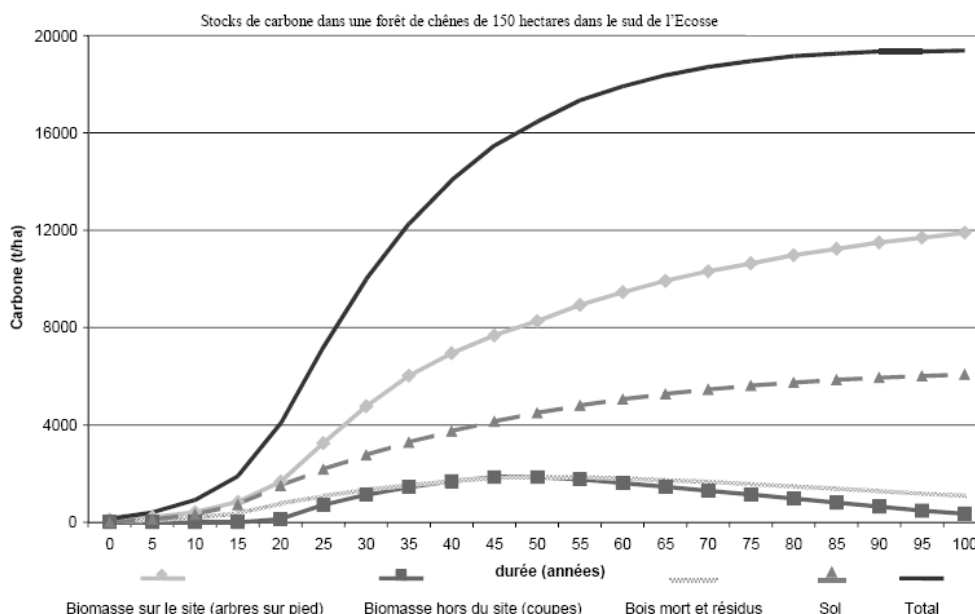
millions ha/an et les reboisements auraient été de 5,7 millions ha/an, soit un solde net de -7,3 millions ha/an (FRA 2000 et 2005). 5 856 ( $\pm 2\ 928$ ) MteCO<sub>2</sub> par an (soit 1,6 GtC/an) auraient été émises entre 1989 et 1998 dans le monde à cause de la déforestation, ce qui représente 25 % des émissions mondiales.

Les forêts les plus touchées par la déforestation sont les forêts tropicales. Environ 1 % par an ont disparu ces 10 dernières années. En 2000, les forêts tropicales couvraient 1 803 millions ha (soit 47,4 % de la surface forestière). Ces forêts contiennent des stocks de carbone très importants par unité de surface : 243 tC/ha en moyenne contre 153 tC/ha pour les forêts tempérées.<sup>3</sup> Le déclin rapide de la superficie de forêt primaire dans les années 90 s'est poursuivi en 2000-2005. Cependant, dans toutes les régions tropicales, la superficie des forêts secondaires a augmenté sensiblement et, dans beaucoup de pays tropicaux, elle dépasse maintenant celle de la forêt primaire (FRA 2005).

#### 1.4. Les arbres en croissance : des puits de carbone

Les forêts primaires tropicales sont des réservoirs de carbone dont les stocks sont importants. En revanche, leur flux d'absorptions annuel est faible, c'est à dire que ce ne sont pas de forts puits<sup>4</sup> de carbone. Ce sont en fait les forêts jeunes qui fixent des quantités importantes de carbone dans le temps.

La Figure 7 montre la répartition des stocks de carbone entre les différents réservoirs (biomasse sur pied, hors site, sol et bois mort) dans une forêt de chêne en croissance dans le Sud de l'écosse.



Source : Tipper et al. 2001

**Figure 7 : Stock de carbone dans une forêt de chênes de 150 hectares dans le sud de l'écosse (Source : Ellis, J. (2001) )**

<sup>3</sup> Dans les forêts tropicales humides, on estime que le stock de carbone est de l'ordre de 150 t/ha mais les variations sont grandes d'une forêt à l'autre : le stock peut atteindre 500 t/ha dans la végétation de certaines forêts (Lescuyer et Locatelli).

<sup>4</sup> On appelle puits de carbone tout système capable d'absorber du CO<sub>2</sub> contenu dans l'atmosphère et de le stocker sous forme de carbone.

Dans ce type de forêt, **le stock de carbone augmente rapidement quand la forêt a entre 20 et 50 ans, il s'agit alors d'un puits de carbone fort.** Une partie de ce carbone retourne au sol par la chute des feuilles et le bois mort. Au cours de la décomposition de cette litière, du CO<sub>2</sub> est émis et libéré dans l'atmosphère. Une autre partie est transformée en composés organiques immobilisés dans les couches de l'humus ou transférés dans le sol où ils peuvent être immobilisés ou déplacés.

Le stock de carbone devient pratiquement constant au bout de 70 ans, lorsque les arbres ont atteint leur développement maximal. **Le puits de carbone est alors pratiquement nul.** (Pour des forêts de résineux, les durées seraient plus courtes car les espèces croissent plus rapidement ; la forme de la courbe serait néanmoins la même).

Le carbone fixé dans le bois est immobilisé de façon temporaire au cours de la révolution du peuplement. **Il est relargué lors de la récolte du bois, soit immédiatement, si le bois est utilisé comme combustible, soit de façon différée, si le bois est immobilisé dans des produits bois.**

A noter : Ce raisonnement ne doit pas conduire à privilégier les petits bois par rapport aux gros bois pour lutter contre le changement climatique. En effet, il faut pousser le raisonnement un cran plus loin et réfléchir en terme de carbone stocké à l'hectare. Or, il apparaît en France (métropole) qu'on peut stocker davantage de carbone par hectare avec des gros bois qu'avec des petits car les gros bois prennent moins de place en terme de surface foliaire (ie : pour produire une quantité équivalente en terme de m<sup>3</sup> de bois, il faut plus d'hectares de petits bois que de gros bois). En effet, l'indice foliaire des gros bois est plus faible que celui des petits.

## **2. Le puits de carbone des écosystèmes terrestres : état présent et évolution possible**

### *2.1. Le puits manquant : résultat des bilans CO<sub>2</sub> planétaire*

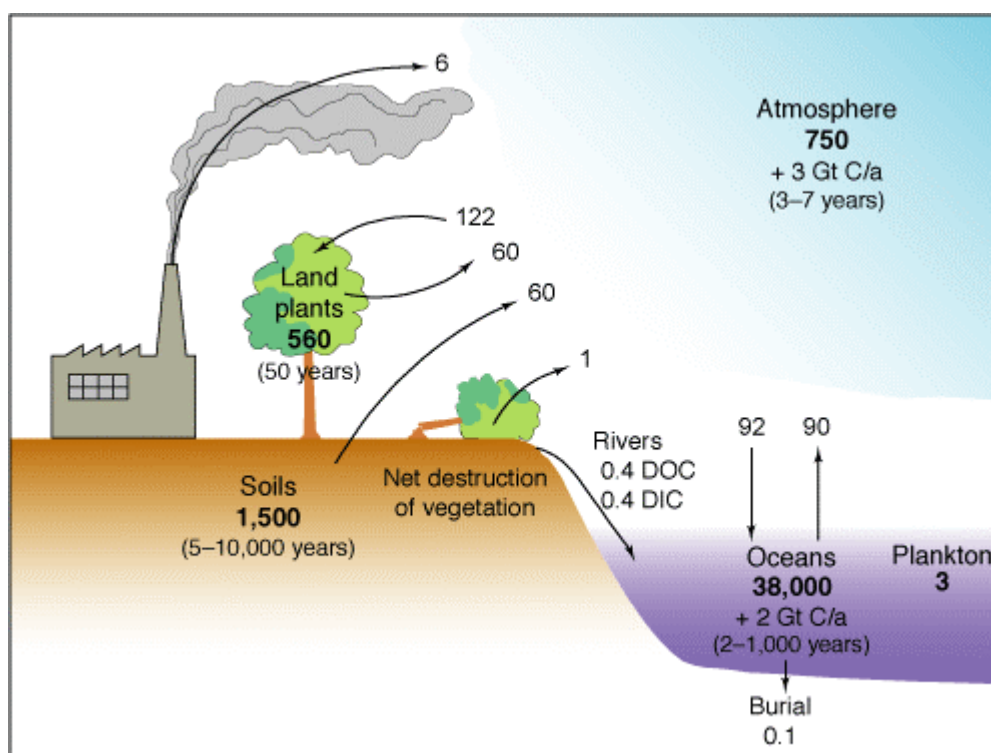
Les écosystèmes terrestres sont à la fois des sources d'émission de gaz à effet de serre (déforestation) et des puits de carbone (forêts en croissance). Qu'en est-il du bilan à l'échelle mondiale ?

Selon le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), sur la période 1989-1998, 6,3 GtC/an ont été émis dans l'atmosphère par la combustion de combustibles fossiles et la fabrication de ciment et environ 1,6 GtC/an ont été émis à cause des changements d'utilisation des terres, c'est à dire la déforestation ; **les émissions totales de CO<sub>2</sub> ont donc été de 7,9 GtC/an.** Or, les observations sur l'augmentation de la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère montrent que seulement 3,3 GtC/an se sont accumulés dans l'atmosphère ; le reste a donc été absorbé par les puits de carbone, c'est à dire les océans et les écosystèmes terrestres.

		1980-1989	1990-1998
Emissions	Combustion de carbone fossile	5,5 ± 0,5	6,3 ± 0,6
	Emissions liées à la déforestation (1)	1,7 ± 0,8	1,6 ± 0,8
Accumulation dans l'atmosphère	Stockage dans l'atmosphère	3,3 ± 0,2	3,3 ± 0,2
Absorptions	Fixation par les océans	-2,0 ± 0,8	-2,3 ± 0,8
	Fixation brute des continents (2)	-1,9 ± 1,3	-2,3 ± 1,3
	<b>Effet net des écosystèmes terrestres (1) –(2)</b>	<b>-0,2 ± 2,1</b>	<b>-0,7 ± 1,0</b>

**Tableau 1 : Bilan global du carbone en GtC/an (source : Robert M. Saugier B et GIEC)**

Le flux net air-mer, intégré sur tous les océans, est estimé à environ - 2 GtC/an. On en déduit que les absorptions par le puits de carbone terrestre seraient du même ordre de grandeur : entre - 1,9 et 2,3 Gt C/an<sup>5</sup> pour les deux dernières décennies du 20<sup>ème</sup> siècle, c'est ce que les scientifiques ont appelé le « puits manquant » (*missing sink*). Les écosystèmes terrestres auraient ainsi atténué d'environ un tiers les émissions de gaz à effet de serre sur la décennie 1990 (rôle de tampon).



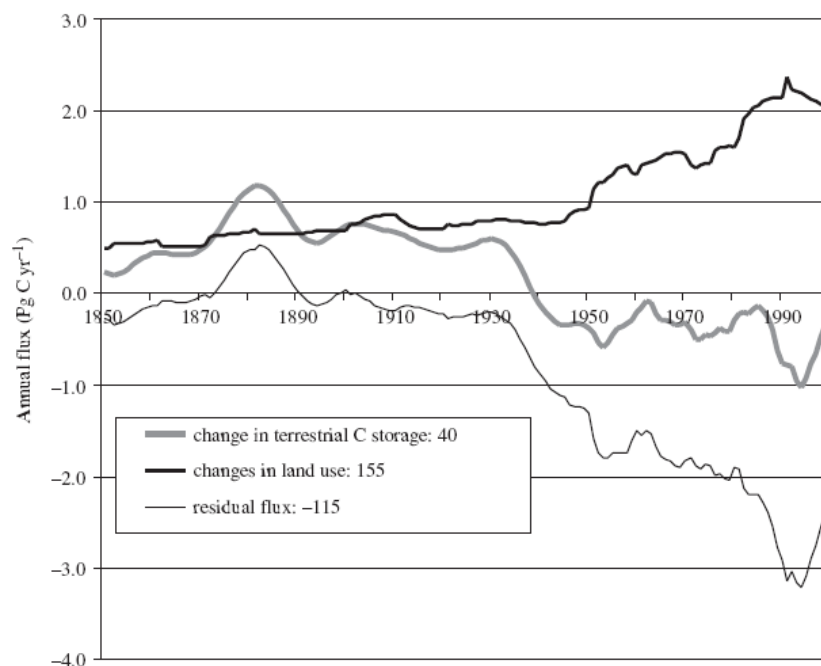
Au total, le bilan net par les réservoirs des écosystèmes terrestres (absorptions par les réservoirs de carbone terrestre-émissions liées à la déforestation) est une absorption de - 0,7 GtC sur la période 1990-1998. Cela implique que la quantité de carbone stockée dans les

<sup>5</sup> On note cependant que l'écart type est très élevé.

**écosystèmes terrestres a augmenté ces 20 dernières années.** Ces estimations de la valeur exacte du puits de carbone des écosystèmes terrestres sont à prendre avec une grande précaution car elles diffèrent encore énormément d'un auteur à l'autre.

Le puits de carbone des écosystèmes terrestres a été déterminé empiriquement par les modèles inverses des climatologues. Néanmoins, de nombreuses incertitudes scientifiques demeurent sur les causes de ce puits et sur sa localisation. Normalement, les processus que sont la photosynthèse (absorption de 120 GtC/an), la respiration (émissions : 60 GtC /an), la décomposition dans le sol (émissions : 55 GtC /an) et la combustion (émissions : 4 GtC/an) entretiennent la circulation naturelle du carbone entre les écosystèmes et l'atmosphère. **Néanmoins, le carbone n'est généralement pas capturé de manière permanente dans les écosystèmes.**

Or, on observe qu'il existe actuellement un déséquilibre entre les flux de photosynthèse et de respiration : l'assimilation nette du carbone par la biomasse (photosynthèse) est stimulée pour diverses raisons, et dépasse ainsi largement l'émission, sous forme de CO<sub>2</sub>, issue de la décomposition de la litière. Les flux respirés par le sol augmentent mais seulement après un certain délai égal au temps de résidence du carbone dans le système plante-sol. Ce déséquilibre a pour conséquence l'accroissement de **la quantité de carbone stockée dans le réservoir des écosystèmes terrestres**. La Figure 8 fait ressortir l'augmentation de l'absorption par le puits de carbone terrestre ces dernières années.



**Figure 4** The net annual flux of carbon to or from terrestrial ecosystems (from inverse calculations with an ocean model (Joos *et al.*, 1999b), the flux of carbon from changes in land use (from Houghton, 2003), and the difference between the net flux and the flux from land-use change (i.e., the residual terrestrial sink). Positive values indicate a source of carbon from land and negative values indicate a terrestrial sink.

### **Figure 8 : Evolution du puits de carbone des écosystèmes terrestres (source : Houghton 2003)**

#### *2.2. Les incertitudes sur le puits des écosystèmes terrestres*

Plusieurs raisons sont avancées pour **expliquer cette augmentation de la fixation du carbone : l'extension des surfaces boisées due à la déprise agricole (hors tropiques), les**



**dépôts azotés<sup>6</sup>, le rôle fertilisant du CO<sub>2</sub> atmosphérique, l'allongement de la saison de végétation dû au réchauffement.** La part de chacun de ces phénomènes dans le puits des écosystèmes n'est pas tranchée.

Les incertitudes sont aussi relativement élevées en ce qui concerne **la localisation géographique** de ce puits. **On pense que ce sont les forêts tempérées et boréales qui sont actuellement des réservoirs en accroissement.** Le puits de carbone des latitudes tempérées serait ainsi compris entre 1 et 2,6 GtC/an selon Houghton (2003). **La distribution de ce puits de carbone de l'hémisphère Nord entre l'Amérique du Nord et l'Eurasie (Russie notamment) n'est pas tranchée.**

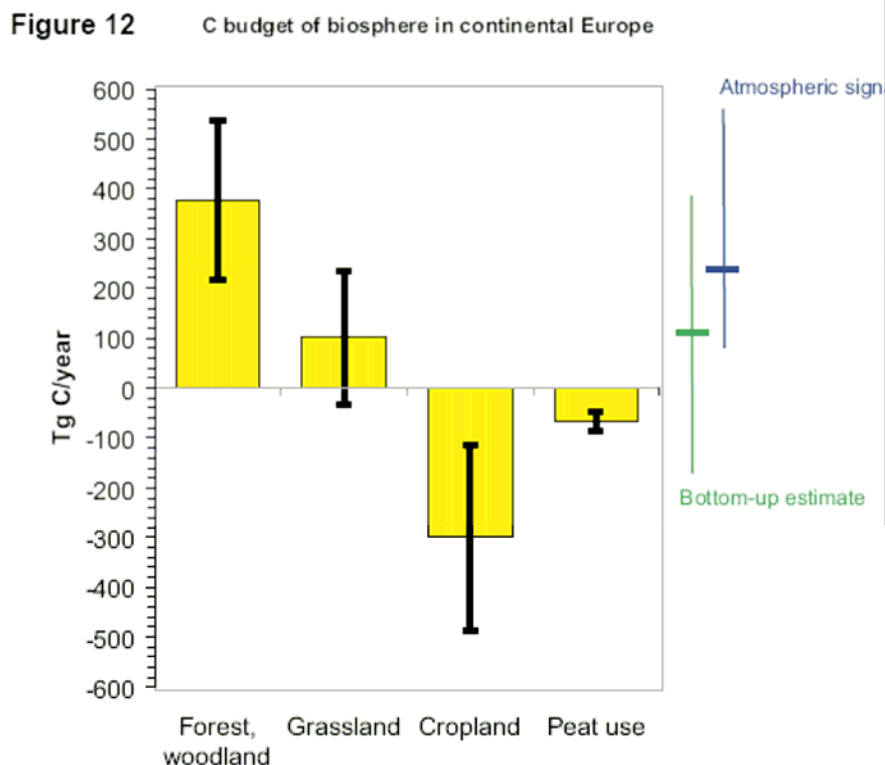
Le rôle des forêts tropicales est encore plus débattu : on sait que ces dernières sont des sources de carbone (déforestation) mais on a du mal à évaluer la mesure dans laquelle ce sont aussi des puits de carbone significatifs. On a longtemps considéré que les forêts primaires étaient des réservoirs de carbone en équilibre qui n'étaient ni des puits ni des sources : leur bilan global de carbone était considéré comme neutre sur une durée de plusieurs années. Cette conception a été remise en cause ces dernières années, car des études par échantillonnage montrent que des parties non aménagées de la forêt séquestrent du carbone. En fait, deux conceptions s'opposent : certains pensent que les forêts tropicales intactes constituent un puits important mais que les émissions liées à la déforestation sont très élevées, ce qui explique que leur bilan soit celui d'une source de carbone. D'autres pensent au contraire que les forêts tropicales constituent un faible puits mais que les émissions liées à la déforestation sont surestimées par la FAO (elles seraient de l'ordre de 0,96 GtC/an et non de 1,6 GtC/an). Ces controverses paraissent surprenantes mais s'expliquent par le fait qu'il est difficile d'évaluer précisément le contenu en biomasse par hectare des forêts tropicales (estimé entre 100 tC/ha et 232 tC/ha) et donc les émissions liées à la déforestation d'un hectare. De plus, il est difficile d'évaluer la quantité de carbone qui est absorbée par les forêts secondaires en croissance dans les aires qui ont été déforestées (Fearnside). Ainsi, Santili et al estiment que la fourchette des **émissions liées à la déforestation est comprise entre + 0,8 et 2,2 GtC/an en 1990. Le bilan net des forêts tropicales (déforestation moins absorptions) serait celui d'une source d'environ + 1,2 ± 1,2 GtC/an.** Selon Persson et Azar, le puits de la forêt Amazonienne aurait été de - 0,2 GtC/an en moyenne entre 1980 et 1994 ; il aurait une grande variabilité annuelle : entre -0,7 GtC et + 0,2 GtC selon les années.

### 2.3. *Le puits de carbone européen*

Selon les premiers résultats du projet CarboEurope, le bilan du réservoir des écosystèmes terrestres européens<sup>7</sup> (les absorptions de la forêt moins les émissions dues au changement d'usage des sols) aurait été une absorption entre **0,13 et 0,20 GtC/an en 1990, ce qui représente 7 à 11 % des émissions européennes.** Les forêts et les prairies auraient été des puits nets sur la période alors que les terres arables auraient été des sources sur la période (voir Figure 9).

<sup>6</sup> Le montant total d'azote disponible biologiquement crée par les activités humaines a été multiplié par 9 entre 1890 et 1990, en particulier la croissance a été très forte dans la deuxième moitié du 20<sup>ème</sup> siècle. Les études récentes suggèrent que le montant d'azote pourrait monter de 165 teragrammes en 1999 à 270 teragrammes en 2050 soit une augmentation de 64%. (Millenium ecosystem assessment report).

<sup>7</sup> On suppose que la partie exploitée de la production de bois est une émission.



**Figure 9 : Budget carbone en Europe continentale sur les différents usages des sols (source : Carbo Europe)**

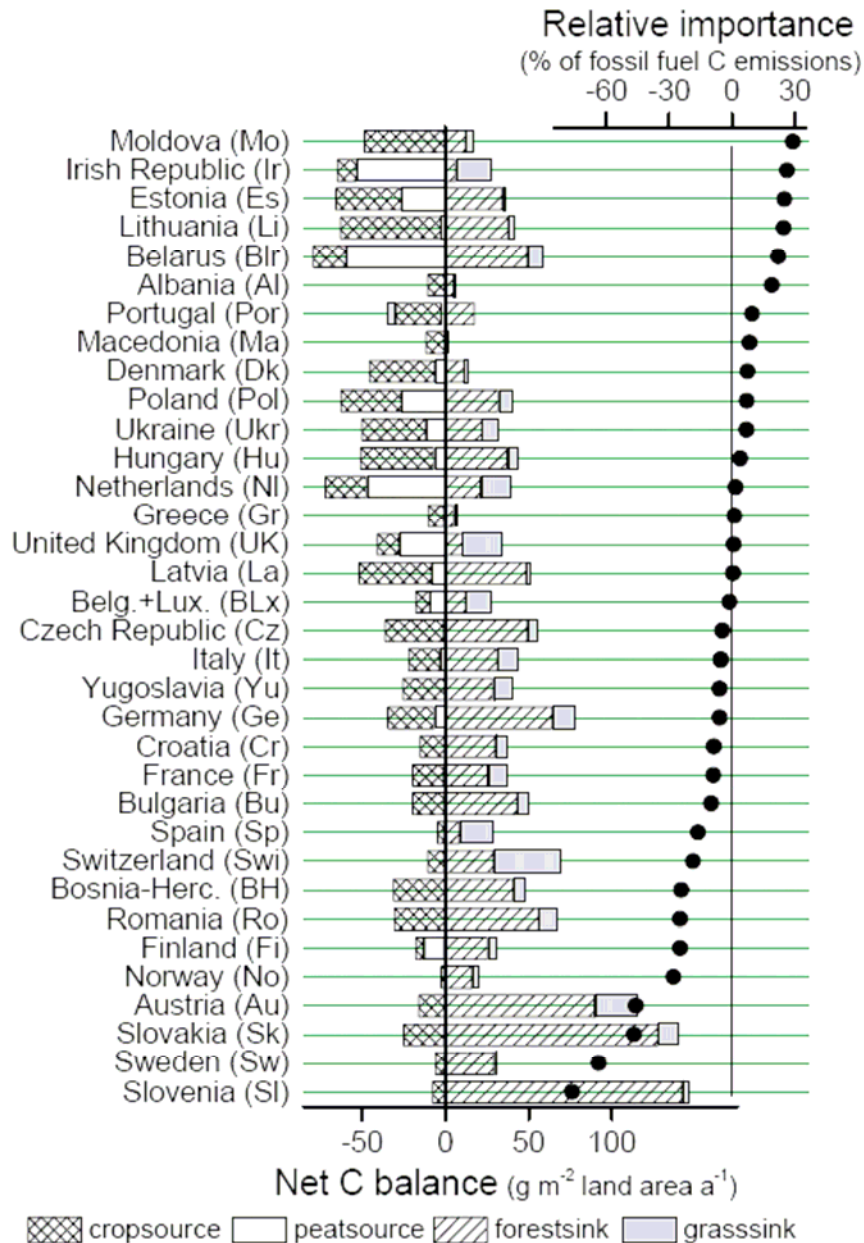
Les pays européens qui disposent des surface de forêts les plus importantes sont la Suède (27,53 millions ha), la Finlande (22,50 millions d'ha), l'Espagne (17,92 millions d'ha), la France (15,55 millions d'ha) et l'Allemagne (11,08 millions d'ha) (voir liste détaillée en annexe 4).

#### **Le puits de carbone français**

En France, le stock de carbone contenu dans la forêt métropolitaine est de 2 GtC, qui se répartit en 57 % dans le sol et 43 % dans la biomasse. Le stock dans la seule biomasse s'accroît de 0,9 % par an (hors tempête 1999). Entre 1979 et 1991, les stocks de carbone forestiers (biomasse et carbone du sol) auraient augmenté de 23,4 MtCO<sub>2</sub>/an en moyenne annuelle. **En 2003, l'augmentation annuelle aurait été de 53,8 MteCO<sub>2</sub>** (cela correspond au bilan net, c'est à dire les absorptions de la forêt moins les émissions dues au changement d'usage des sols). **La forêt française stocke donc actuellement chaque année 10 % des émissions fossiles françaises annuelle.**

La Figure 10 fait ressortir que les pays où les terres arables dominant (Moldavie, Irlande) sont des sources significatives et ceux où les forêts dominant sont des puits (Slovénie, Suède).

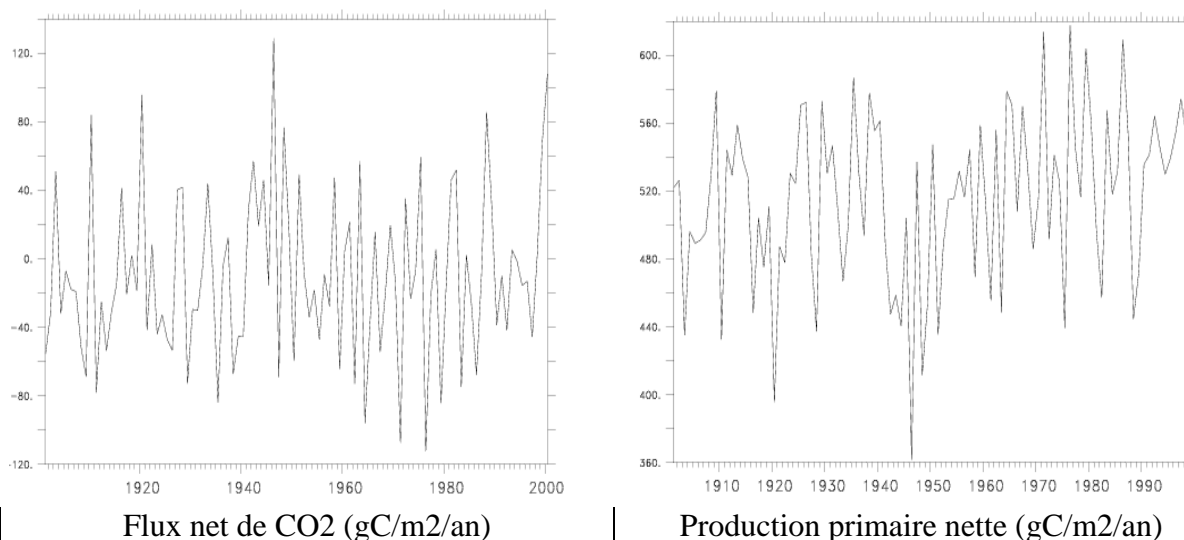




**Figure 10 : Estimation de la balance carbone sur les 4 principaux types d'écosystèmes dans les différents pays d'Europe. Comparaison aux émissions dues aux combustibles fossiles en 1995 (Source : Carbo europe)**

#### 2.4. La variabilité annuelle du puits de carbone terrestre

Le puits de carbone des écosystèmes terrestres n'est pas stable dans le temps. Les données empiriques montrent que la quantité absorbée par la biomasse terrestre varie de 100 % d'une année sur l'autre. La Figure 11 montre les variations annuelles du puits de carbone européen.



**Figure 11 : Variation interannuelle du flux net de CO<sub>2</sub> et de la production primaire moyenne sur l'Europe (Source : Ciais, projet GICC)**

*(Un flux net négatif représente un puits biosphérique, à l'inverse une valeur positive indique une source de CO<sub>2</sub> pour l'atmosphère.)*

On observe que la production primaire nette varie énormément dans le temps. L'augmentation tendancielle de la photosynthèse est cependant claire depuis 1945. On remarque que les années exceptionnelles chaudes et sèches comme 1947 ou 1976, la production végétale a été très mauvaise ; le puits européen a été très faible. Ces variations seraient dues à des fluctuations de la respiration plutôt que de la photosynthèse. **En effet, les flux respirés dépendent fortement des conditions climatiques annuelles (humidité et température).**

A l'échelle de la planète, la variabilité inter-annuelle est tout aussi importante :

- Durant les années 1980, les plus grandes variations de flux ont eu lieu dans les régions tropicales, notamment en Amazonie. Les forêts tropicales s'avèrent très sensibles aux variations de l'oscillation australe ENSO. Les années El Niño, les taux de déforestation et la mortalité des forêts tropicales sont plus élevés, et la croissance est plus faible dans les forêts tropicales intactes (Santilli).
- Durant les années 1990, une augmentation abrupte de la séquestration du CO<sub>2</sub> s'est produite en 1992-93 aux moyennes latitudes de l'hémisphère Nord. Cette séquestration de carbone en Amérique du Nord a été de courte durée, puisqu'elle a été suivie d'une source du même ordre de grandeur en 1994-95. Une deuxième anomalie négative des taux de croissance du CO<sub>2</sub> atmosphérique a été observée entre 1995 et 1997, qui semble être liée à une absorption à la fois en Amérique du Nord et en Eurasie (source : site CNRS<sup>8</sup>). Par ailleurs, en 1997-1998, années El Niño, les fortes sécheresses sur l'Amazonie et l'Indonésie ont entraîné des feux de forêt qui ont émis entre 0,2 et 0,4 GtC dans l'atmosphère. Ainsi, 9,7 millions d'hectare auraient disparu en deux ans en Indonésie ; 4,3 à 7,1 millions d'hectares en Russie, 4 millions d'hectares en Amazonie (FAO). Le puits terrestre s'est alors transformé en source, de même qu'en 1988-89, années El Niño.

<sup>8</sup> <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim/rechfran/4theme/sourcesetpuits.htm>

### 2.5. *Le puits de carbone terrestre n'est peut être que temporaire*

Les réservoirs de carbone terrestre ne sont pas des systèmes statiques : ce sont des puits de carbone lorsqu'au cours d'un laps de temps donné, ils absorbent davantage de carbone qu'ils n'en émettent. Cette tendance peut s'inverser dans le temps. **De nombreuses interrogations se posent donc sur le maintien de la capacité du puits terrestre à séquestrer le carbone dans le futur.** Il n'est pas possible aujourd'hui de quantifier la part du puits terrestre qui est due aux facteurs externes, comme la fertilisation par le CO<sub>2</sub>, de la part liée aux usages des terres. Si le puits terrestre s'explique par les reboisements de ces dernières années, la structure d'âge des forêts, et les changements de techniques de management, il devrait diminuer à l'avenir.

**Au contraire, si le puits est dû à l'augmentation de la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, il devrait augmenter encore dans les prochaines décennies.** En effet, le CO<sub>2</sub> est un des facteurs limitant de la photosynthèse dans de nombreux écosystèmes, c'est pourquoi une augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> a comme conséquence directe une augmentation de la photosynthèse. Le potentiel d'augmentation est difficile à évaluer car la capacité des écosystèmes à fixer une quantité supplémentaire de carbone devrait à terme être limitée par d'autres facteurs limitants, comme les nutriments. De plus, les scientifiques observent empiriquement que les plantes s'habituent à des concentrations en CO<sub>2</sub> élevées et que l'augmentation observée de la photosynthèse à des taux élevés de CO<sub>2</sub> n'est parfois que passagère.

Par ailleurs, **l'augmentation moyenne de la température mondiale devrait jouer en sens inverse de celle du CO<sub>2</sub>.** En effet, des températures élevées augmentent la respiration du sol et des plantes, avec pour effet de diminuer la productivité primaire nette<sup>9</sup>, d'augmenter la décomposition de la matière organique des sols et donc les émissions de CO<sub>2</sub>.

De plus, le changement climatique pourrait avoir une incidence sur les probabilités que surviennent les inondations et les sécheresses. Les conditions très particulières des années El Niño (sécheresse) pourraient devenir être plus fréquentes à l'avenir (Lewis et al.) **Enfin, le réchauffement climatique pourrait avoir un fort impact sur certains écosystèmes déjà fragilisés, avec un risque de détérioration.** Dans la forêt amazonienne, l'accroissement de la mortalité ces dernières décennies a provoqué des changements d'espèces. Certaines espèces à taux de croissance élevés se développent au détriment des espèces qui supportent bien l'ombre. Or, ces espèces à taux de croissance rapide captent moins de carbone, ce qui pourrait diminuer le puits amazonien.

Etant donné qu'il existe des effets contradictoires, il est très difficile de déterminer la tendance générale. Selon le GIEC (2000), « *les effets indirects des activités humaines (ex. : fertilisation par le CO<sub>2</sub> et dépôt azotés) conduiront vraisemblablement au maintien, durant plusieurs décennies au moins, de l'absorption supplémentaire du CO<sub>2</sub> dans les écosystèmes forestiers à l'échelle planétaire, mais cette absorption diminuera graduellement et les écosystèmes forestiers risquent même de devenir à terme des sources de carbone.* »

Ces incertitudes sur l'évolution future du puits des écosystèmes terrestres se retrouvent dans les modèles climatiques et donc dans les projections sur l'augmentation de concentration en CO<sub>2</sub> et sur l'augmentation de la température. Les modèles qui se concentrent sur l'augmentation du CO<sub>2</sub> prévoient une augmentation de l'absorption par le puits terrestre jusqu'à

<sup>9</sup> En période de sécheresse, les stomates restent fermées plus longtemps pour garder l'eau et la photosynthèse ralentit.

4 à 10 GtC/an. En revanche, **les modèles qui prennent en compte l'impact du changement climatique sur les écosystèmes trouvent au contraire un affaiblissement de l'absorption par le puits terrestre.**

La simulation du Hadley Center (Cox et al 2000) prend en compte l'effet du réchauffement de l'atmosphère sur la végétation et l'océan. Dans le premier scénario<sup>10</sup>, une grande partie de la forêt amazonienne est amenée à décliner au cours du siècle du fait de l'accroissement de la sécheresse et de l'accélération de la décomposition de la matière organique des sols sous l'effet de la hausse de la température. L'écosystème terrestre émettrait alors 60 GtC d'ici 2100, alors que dans un scénario sans réchauffement (mais avec augmentation de la concentration de CO<sub>2</sub> à 700 ppm), l'absorption par la biosphère terrestre serait de 750 GtC. Un second scénario « couplé » prend en compte l'effet additionnel des émissions de CO<sub>2</sub> émis par le déclin de la forêt amazonienne sur le réchauffement. Là, le résultat est dramatique : la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère atteint 980 ppm, et **la biosphère terrestre émet 170 GtC sur la période 2000-2100** (Cox et al, 2000). Dans le modèle du Hadley Center, le puits atmosphérique devient une source lorsque la concentration de CO<sub>2</sub> dépasse 550 ppmv.

Ces simulations du Hadley Center ont été critiquées car elles reposent sur des hypothèses fortes sur le lien entre augmentation de la température au sol et celle de la respiration, domaine dans lequel règne une grande incertitude. Ainsi, Falkowski et 17 autres scientifiques (2000) prévoient plutôt que la « force » du puits devrait augmenter dans l'avenir (de l'ordre de 10 à 20%) sous l'effet de la fertilisation du CO<sub>2</sub>, puis décliner et **seulement tendre vers la saturation à long terme** (autour de 100 ans ou plus) du fait de l'augmentation de la respiration induite par la hausse des températures moyennes.

Vincent Gitz (2004) considère dans sa thèse un troisième effet : l'effet d'amplification lié à l'usage des terres. Il fait remarquer que le puits de carbone des écosystèmes terrestres sera beaucoup plus faible dans un monde où, par exemple, la forêt amazonienne a disparu en 2050. **La conversion de forêts en cultures a pour conséquence de diminuer la capacité globale de séquestration de la biosphère.** Ces effets se traduisent par 20 à 70 ppm de plus dans l'atmosphère en 2100, un ordre de grandeur comparable aux rétroactions climat-carbone, obtenus dans le modèle du Hadley Center, et sont partiellement compétitifs avec ce dernier type de rétroaction. Ainsi, selon V. Gitz, la déforestation est pire que l'on croyait pour le climat. Si la déforestation se poursuit au XXI<sup>ème</sup> siècle sur le rythme actuel, l'effet d'amplification, à lui seul, conduit à réévaluer de 100 ppm les projections de concentration en 2100. Selon lui, **une tonne de carbone émise par déforestation contribue plus à l'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique (jusqu'à +55 %) qu'une tonne d'émission fossile. Une différence de statut qui fournit un argument supplémentaire à la préservation, au nom du climat, des forêts primaires.**

En conclusion de cette partie, il apparaît que les écosystèmes terrestres et, en particulier la forêt, jouent un rôle significatif dans le cycle du carbone. Ils ont, jusqu'aujourd'hui, atténué notablement les émissions de gaz à effet de serre et ils devront être utilisés à l'avenir dans des stratégies de lutte contre le changement climatique. Néanmoins, les incertitudes scientifiques sont encore très nombreuses. Etant donnée notre méconnaissance de l'évolution future de l'absorption par le puits de carbone terrestre, il apparaît que les stratégies de réduction des émissions ne doivent pas reposer uniquement sur l'utilisation des sols. Ces incertitudes sur la capacité des écosystèmes terrestres à maintenir leur rôle de tampon sont préoccupantes ; les

<sup>10</sup> Hypothèse d'un accroissement moyen de la température du sol de 5,5°C (4° C global) au cours du 21<sup>ème</sup> siècle.

résultats scientifiques auront un rôle important à l'avenir pour les décideurs publics car ils peuvent conduire à réévaluer fortement les projections d'augmentation de température dans le siècle à venir.

## II. ENJEUX ECONOMIQUES : UTILISER LES TERRES DE FAÇON OPTIMALE

Selon le GIEC (2001), une meilleure utilisation des terres et des forêts **pourrait permettre de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> de 100 GtC d'ici à 2050 (en cumulé)**, ce qui représente 15 à 30 % des réductions d'émissions nécessaires au niveau mondial pour stabiliser la température à 2°C. C'est donc une variable d'action qui est loin d'être négligeable dans les politiques de lutte contre le changement climatique. Les écosystèmes terrestres peuvent contribuer aux réductions d'émissions de gaz à effet de serre de différentes façons :

- par la préservation des stocks de carbone existants, notamment en évitant la déforestation ;
- par l'augmentation du stock de carbone sur pied. Au niveau mondial, cela peut se faire par l'augmentation des surfaces boisées. En France, l'augmentation du capital ligneux est principalement due à un capital en place et peu à l'augmentation des surfaces de forêts. L'augmentation du stock de carbone sur pied pourra se faire par l'orientation de la production vers de produits plus stockant, à la fois in vivo et transformés.
- en substitution d'énergies fossiles carbonées (biocarburants ou bois énergie) ou de matériaux dont la fabrication consomme de l'énergie.

### 1. Production agricole

#### 1.1. *Nourrir la population humaine*<sup>11</sup>

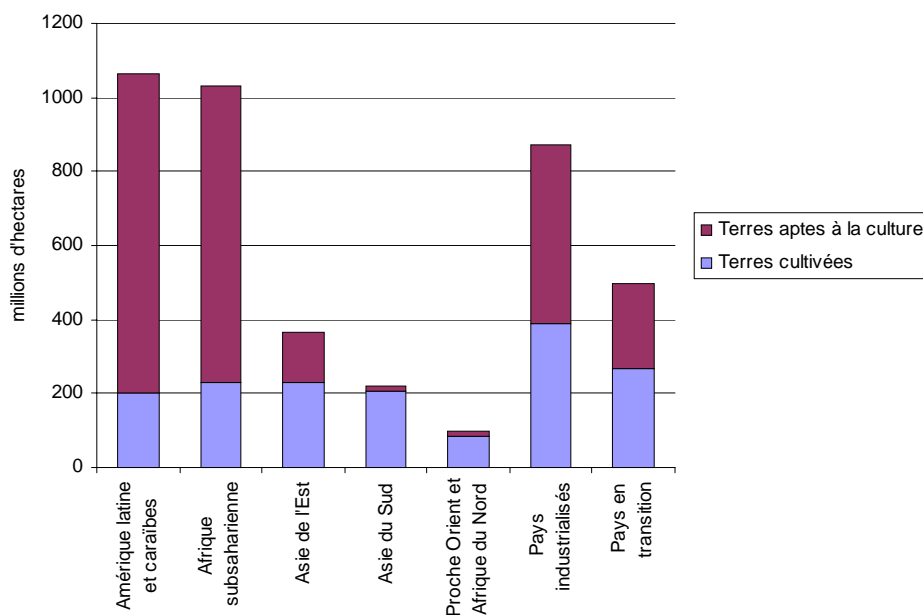
Le potentiel de stockage de carbone par des plantations forestières sur des terres agricoles abandonnées dépend fortement des surfaces terrestres qui sont aujourd'hui disponibles pour un tel usage et qui le seront dans 50 ans. Or, la quantité de surface disponible va être conditionnée par l'évolution de la demande alimentaire, cette dernière dépendant de façon déterminante de la démographie. A l'horizon 2050, les chiffres moyens proposés par les Nations Unies donnent un accroissement de 4,7 milliards d'habitants (dont la moitié inévitable, c'est à dire inscrite dans la pyramide des âges actuelle). La demande alimentaire dépendra aussi, mais de façon moindre, d'autres facteurs comme la concentration des populations, les besoins énergétiques alimentaires de chaque individu, la part de l'alimentation carnée dans le bol alimentaire et enfin les aspects culturels économiques ou sociaux.

**L'augmentation de la production agricole peut avoir lieu par l'augmentation des surfaces ; des rendements ou du nombre de récolte par an sur une même surface (intensité culturale).** Depuis les années 1960, les augmentations de récoltes ont été dues essentiellement à l'amélioration des rendements (78 %). L'accroissement des surfaces expliquerait moins de 10 % des augmentations de récoltes dans les pays industrialisés mais 46 % en Amérique latine. Certains analystes, et notamment la FAO, prévoient que les tendances dans les pays en développement devraient se poursuivre. **L'expansion des terres agricoles devrait ainsi compter pour 20 % dans l'augmentation des récoltes futures notamment dans les régions ayant beaucoup de terres disponibles (Afrique subsaharienne et Amérique latine).** En effet, l'accès aux engrais, aux techniques, et aux matériels n'est pas toujours facile du fait de la pauvreté, des prix relatifs des intrants plus élevés qu'ailleurs, d'instabilités politiques presque structurelles ou encore d'absence de politiques agricoles adéquates. Il s'en suit une difficulté à améliorer les rendements et donc une pression plus forte sur les terres, ce qui accroît la demande en nouvelles terres agricoles et donc les défrichements (Dameron et al).

<sup>11</sup> A noter : une grande partie de ce paragraphe repose sur une étude de Dameron, Barbier et Riedacker (2005).



Il y a 13 milliards d'hectares de terres immergées dans le monde. Pour **1,4 milliards d'hectares de terres mises en culture actuellement** (soit 11 % de la surface des terres sur la planète), la FAO estime qu'il reste encore 2,8 milliards d'hectares qui seraient plus ou moins aptes physiquement à la mise en culture pluviale (soit 21 % de la surface terrestre). Toutefois, 45 % de celles-ci sont actuellement couvertes de forêts, 12 % sont des zones protégées, et 3 % occupées par l'homme. (Bien entendu, ces trois classes de terres ne peuvent être classées comme *a priori* « disponibles », même si la pratique peut conduire à les voir colonisées par l'agriculture.)



**Figure 12 : Superficies de terres cultivées et aptes à la culture, par grandes régions (Source : FAO, 2002)**

Il existe une grande variabilité entre régions et entre pays : **la moitié des réserves de terres « cultivables », non mises en culture sont réparties dans seulement sept pays : l'Angola, l'Argentine, la Bolivie, le Brésil, la Colombie, la République démocratique du Congo, et le Soudan.** A l'autre extrême, certains pays n'ont plus de terres disponibles, voire ont déjà des cultures sur des terres classées inaptes à l'agriculture pluviale, grâce à l'irrigation ou la confection de terrasses par exemple.

La FAO a une vision assez optimiste de la diffusion des progrès à venir. Pour satisfaire la demande solvable dans les 30 prochaines années, **elle pense qu'il suffirait d'un accroissement des terres cultivées de seulement 120 millions d'hectares** (soit 4 % des terres disponibles pour la mise en culture pluviale). Plus de 80 % de cet accroissement de surfaces cultivées se produirait en Afrique subsaharienne et en Amérique latine. A l'inverse, les pays industrialisés devraient voir leurs surfaces agricoles stagner voir diminuer car leur croissance démographique sera faible, et leurs coûts de production sont importants.

Dans l'étude de Dameron, Barbier et Riedacker (2005) synthétisée en annexe 5, les auteurs retiennent deux scénarios d'évolution du monde pour évaluer la quantité de terres disponible pour des usages non agricoles. Dans le premier scénario, les terres disponibles pour des boisements sont de **938 millions d'hectares en 2050, alors que dans le deuxième scénario, cette quantité n'est que de 142 millions d'hectares en 2050.** La différence entre les deux



scénarios provient de différentes hypothèses sur la croissance de la population mondiale et la diffusion des technologies.

### 1.2. Réduire les émissions de gaz à effet de serre liées à l'agriculture

L'agriculture est responsable d'environ **20 % des émissions de gaz à effet de serre** au niveau mondial, notamment via les émissions de deux gaz à effet de serre au fort pouvoir radiatif : le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) émis lors de l'utilisation d'engrais et le méthane (CH<sub>4</sub>) produit par les animaux. **Le GIEC (2001) estime que des changements dans les pratiques agricoles pourraient permettre de réduire les émissions de cette activité de 22 à 44 GtC d'ici 2050.**

Les agricultures intensives, fortes consommatrices d'engrais azotés, émettent beaucoup de N<sub>2</sub>O. Néanmoins, les intrants agricoles permettent aussi d'utiliser moins de surfaces labourées pour produire les mêmes quantités de nourriture, et donc de libérer des terres pour des productions non alimentaires. Sans accroissement de la productivité des terres agricoles, les forêts n'auraient pas pu s'étendre comme elles l'ont fait depuis le milieu du siècle dernier en Europe. Dans une perspective de lutte contre le changement climatique, il y a donc un équilibre à trouver : **il s'agit en fait de trouver l'utilisation optimale d'engrais qui permette d'augmenter les rendements, et donc de libérer des terres, tout en limitant les émissions de gaz à effet de serre.**

Les autres mesures de réduction des émissions dans le domaine agricole sont par exemple des modifications des pratiques agricoles de type zéro labour qui peuvent augmenter le stockage du carbone dans les sols. Les rizières inondées en milieu tropical constituent une source non négligeable de méthane (CH<sub>4</sub>) ; des pratiques adaptées qui visent en particulier à limiter la période immergée permettraient d'améliorer le bilan de gaz à effet de serre dans ces écosystèmes.

Les mesures dans le domaine agricole présentent une particularité qu'il est important de souligner : contrairement aux réductions d'émissions sur des combustibles fossiles **les réductions d'émissions ne sont pas nécessairement permanentes**. Par exemple, dans le cas des pratiques de type zéro labour, si l'agriculteur revient à ses pratiques antérieures, les gains de CO<sub>2</sub> sur la période sont perdus.

### 1.3. Développer la production des biocarburants

De nombreux pays en particulier les pays qui sont aujourd'hui en surproduction agricole, sont actuellement en train de développer les biocarburants à partir de cultures traditionnellement utilisées pour l'alimentation<sup>12</sup>. **Les biocarburants permettent d'éviter des émissions de CO<sub>2</sub>**

<sup>12</sup> Avec plus de 10 Md de tonnes produites en 2003, le Brésil est le premier producteur mondial d'éthanol. Lancé en 1975, le plan gouvernemental « Pro-alcool » a instauré diverses incitations fiscales favorables à la filière éthanol (taux d'intérêts préférentiels, subventions à l'achat de véhicules). Aujourd'hui, le Brésil dispose de 320 sites de production et affirme ses ambitions à l'export. Depuis 2004, le gouvernement brésilien a lancé un nouveau plan consacré au développement du biodiesel.

Les Etats-Unis, figurent au second rang mondial, avec une production annuelle de 8 Md de tonnes d'éthanol en 2003. Ils accordent un important soutien à la filière et se sont fixés comme objectifs pour les biocarburants : 4 % de la consommation de carburant dans les transports en 2010 et 20 % en 2030.

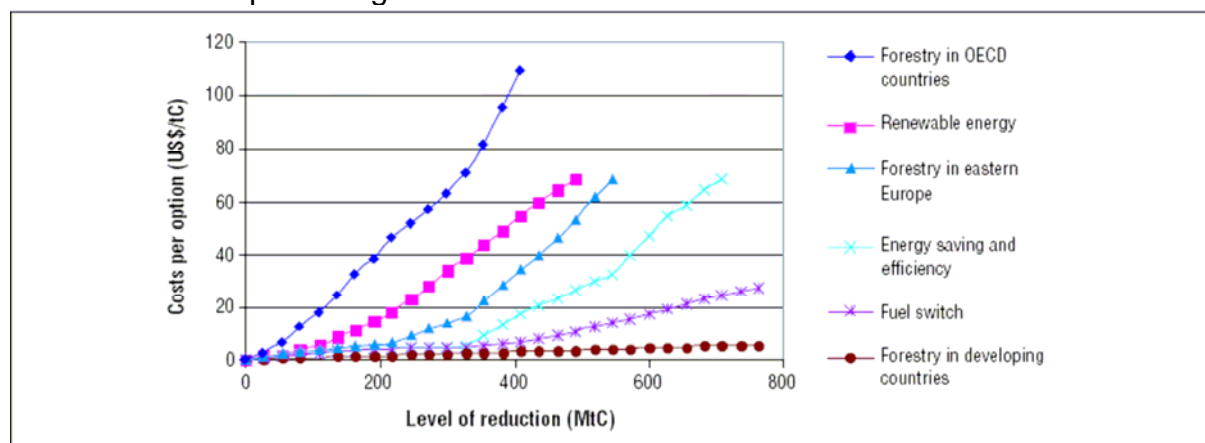
En Europe, la Commission a proposé un plan d'action visant à porter la part des biocarburants dans la consommation globale de carburant à 8 % en 2020, avec des objectifs intermédiaires de 2 % en 2005 et 5,75 % en 2010. Des objectifs cibles ont été déclinés au niveau national par une partie des Etats qui ont mis en place des mesures incitatives, notamment fiscales, en vue de développer cette filière. Six pays jouent un rôle majeur :

car ils se substituent aux carburants fossiles. Leur production est subventionnée dans pratiquement tous les pays car leur coût reste plus élevé que celui des carburants fossiles.

A terme, le développement des biocarburants pose la question des surfaces agricoles qui peuvent leur être consacrées. Dans l'Union européenne, si l'objectif d'incorporation de 5,75 % de biocarburant dans le pétrole est atteint en 2010, 17 millions d'hectares — sur une surface agricole totale de 97 millions d'hectares — seront mobilisés pour les seuls biocarburants (soit 17,5 %). En France, si l'objectif de 5,75 % est atteint, 2 millions d'hectares seront consacrés aux biocarburants sur les 27 millions d'hectares de surfaces agricoles françaises (soit 7,4 %).

## 2. Préserver/Augmenter les surfaces boisées

Selon le GIEC (2001), des actions de réduction des émissions dans le domaine de la forêt pourraient permettre de séquestrer entre 60 et 87 GtC d'ici 2050, ce qui représente 70 % du potentiel de réduction par l'usage des terres.



**Figure 4.9:** Indicative curves of costs (US\$/tC, cost of US\$28/tC is equivalent to US\$100 per tonne of CO<sub>2</sub>) of emission reduction or carbon sequestration by level of total reduction. The curves display how comparable options vary in costs between world regions. However, costs per option are also reported to vary widely at comparable total levels of reduction. This is mainly because cost studies have not been carried out in the same way. In some options net monetary profit may occur as well (i.e., costs may be negative as well) (Brown et al., 1996a, Hol et al., 1999; Jepma et al., 1997; Sedjo et al., 1995).

### Figure 13 : Coût marginal de réduction de différentes activités (source : GIEC)

La Figure 13 fait ressortir que les mesures de réduction dans le domaine de la forêt sont très peu coûteuses dans les pays en voie de développement comparé à d'autres mesures comme le développement des énergies renouvelables. Economiquement, il est donc légitime de les promouvoir. On remarque cependant que les mesures de réduction dans le domaine de la forêt sont beaucoup moins attractives dans les pays de l'OCDE : elles sont, selon les

Allemagne, France, Italie, Espagne, Suède et Autriche. L'Europe est devenue le premier producteur mondial de biodiesel. La production européenne devrait croître du fait de l'apport des pays de l'est et notamment de la Pologne et de la République tchèque.

Le développement des biocarburants en Chine a été très rapide ces dernières années : il est lié notamment au lancement en 2001 d'un programme de commercialisation d'éthanol utilisé en mélange. Les autorités prévoient une production de 10 millions de tonnes de biocarburants fin 2005 soit 20 à 25 % de l'essence consommée en Chine à cette date. Les quatre entités qui ont reçu l'approbation du gouvernement pour produire de l'éthanol reçoivent des subventions et bénéficient en outre d'une exemption de la taxe sur la consommation de 5 % et d'un remboursement de TVA. (source : DREE)

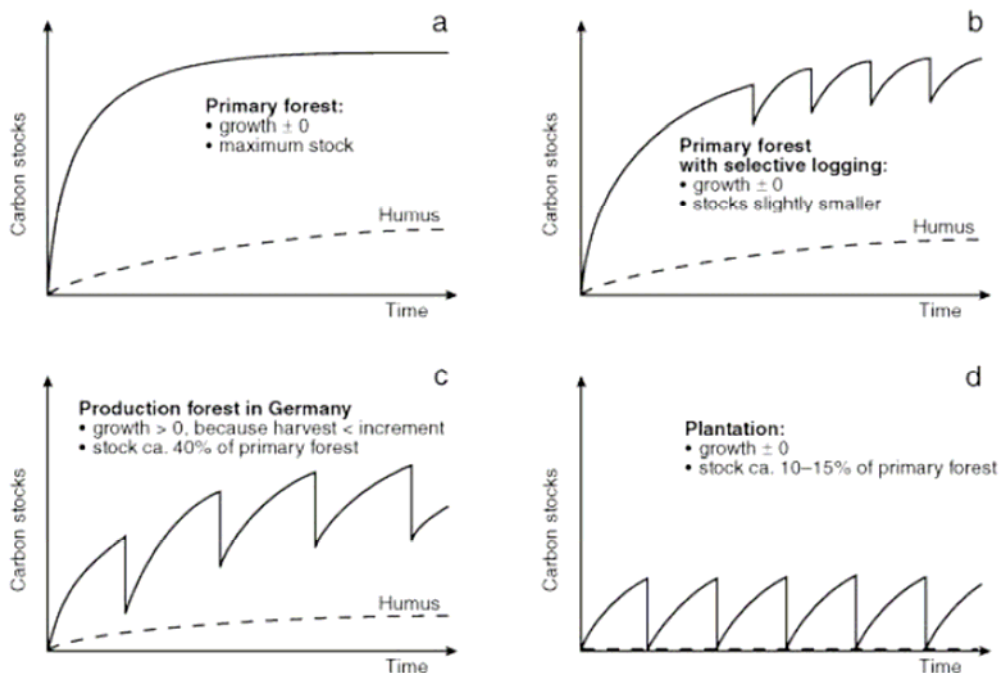
estimations du GIEC, plus coûteuses que d'autres politiques, comme les politiques d'efficacité énergétique.

## 2.1. Préserver les forêts primaires<sup>13</sup> et les stocks de carbone existants

### ❖ Les raisons pour lesquelles il est essentiel de préserver les forêts tropicales

La mise en place de politique de conservation des forêts primaires est un enjeu majeur pour la lutte contre le changement climatique. Les forêts primaires sont des réservoirs de carbone bien plus importants que les forêts secondaires ou gérées : dans les tropiques, elles stockent 20 à 50 % de plus que les plantations. De même, dans les zones tempérées, les vieilles forêts non gérées stockent 40 à 50 % de plus que les forêts productives. (Les forêts secondaires sont cependant, caractérisées par le fait qu'elles sont récoltées, et que d'importants stocks de bois sont potentiellement constitués). La Figure 14 fait ressortir les différences de stocks de carbone entre forêts primaires et secondaires.

Figure 2 - Stocks de carbone dans des plantations, des forêts gérées et des forêts non gérées



**Figure 14 : Stocks de carbone dans des plantations, des forêts gérées et des forêts non gérées (Source : V. Gitz)**

La disparition des forêts primaires entraîne des déstockages de carbone massifs qui ne sont pas compensés à l'échelle du siècle par les plantations suivantes. En effet, les stocks de carbone des boisements sur terres agricoles devenant vacantes n'augmentent que lentement alors que les diminutions de stocks consécutives aux déboisements de forêts existantes, ou aux conversions des prairies, sont brutales et fortes. **Cette dissymétrie entre plantations**

<sup>13</sup> Ce paragraphe repose assez largement sur le rapport du groupe de travail national sur les forêts, (2003). *Forêts tropicales : comment la France peut-elle contribuer à leur gestion durable ?*

**forestières sur des terres agricoles et déboisements doit conduire tout d'abord à chercher à éviter les déboisements.** Brown *et al.*, (1996) estiment **qu'une réduction du déboisement dans les régions tropicales devrait permettre de conserver entre 10 et 20 GtC d'ici 2050 (soit 200 à 400 MtC/an).**

La conservation des forêts primaires tropicales est aussi un **enjeu fort pour la préservation de la diversité biologique** : les forêts tropicales abritent 50 % de tous les vertébrés, 60 % des végétaux et peut être 90 % des espèces totales de la planète. Les forêts fournissent aussi un service de **préservation et de régulation des ressources en eau**.<sup>14</sup> Enfin, les forêts représentent des **enjeux considérables en terme économiques mais aussi sociaux**. Les forêts sont la source de nombreux produits non commerciaux (aliments, gibier, résines, fibres...). Plus d'un milliard de personnes dans le monde ont recours aux ressources forestières pour assurer ou compléter leur subsistance.

#### ❖ *Les principales causes de la déforestation*

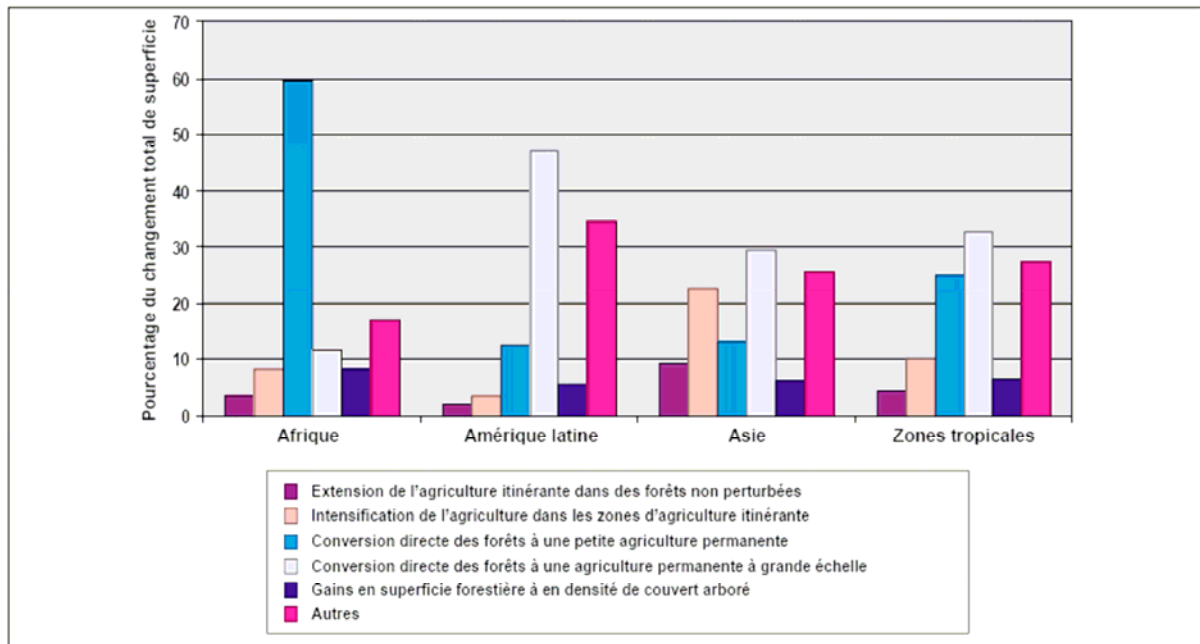
Le problème de la déforestation est reconnu depuis un certain nombre d'années mais difficile à enrayer car les mécanismes qui le sous tendent sont complexes et multiples. Les causes immédiates sont par exemple :

- **Le défrichement à usage agricole** est la principale cause de la déforestation des forêts tropicales. Il semble que le défrichement pour l'installation permanente joue un rôle plus important que l'agriculture de subsistance itinérante, de type agriculture sur brûlis<sup>15</sup>, encore que la question soit discutée. Dans certaines forêts tropicales humides, la déforestation est due au développement rapide et à grande échelle de cultures de rente (cacao, café, soja...) alors que dans d'autres il s'agit du remplacement de la forêt par de vastes pâturages destinés à l'élevage bovin (Amazonie) (cf Figure 15). **L'amélioration de la productivité de l'agriculture de subsistance et de l'élevage extensif est donc clairement un enjeu dans les pays touchés par la déforestation. Le développement de l'agroforesterie<sup>16</sup> offre aussi des perspectives intéressantes.** L'agroforesterie est particulièrement appropriée pour des agriculteurs qui disposent de peu de ressources et ne peuvent pas se permettre de payer des engrais, des pesticides, des semences améliorées et autres intrants agricoles modernes.

<sup>14</sup> Les forêts règlent le débit des cours d'eau en interceptant les eaux de pluie, en absorbant l'eau dans les sols sous-jacents et en la libérant graduellement dans les cours d'eau et les rivières qui constituent leurs bassins hydrographiques. Cela minimise à la fois les possibilités d'inondation en aval et la sécheresse. Le couvert arboré conserve l'humidité dans le sol en donnant de l'ombre, ce qui réduit l'évaporation due à l'échange d'énergie rayonnante avec l'atmosphère. Les racines des arbres rendent le sol plus poreux, réduisent la compaction et facilitent l'infiltration. Enfin, jouant le rôle de coupe-vent, les arbres réduisent la force des vents qui dessèchent et érodent le sol.

<sup>15</sup> L'agriculture itinérante sur brûlis est un système agraire dans lequel les champs sont dégagés par le feu et sont cultivés d'une manière discontinue, impliquant des périodes de friches plus longues que la durée de la mise en culture. Elle ne constitue pas une cause majeure de déforestation tant que la densité de population reste faible et tant que l'habitat est itinérant : c'est le cas des populations indigènes des forêts tropicales denses lorsqu'il n'y a pas intervention de migrants. La mise en recrû forestier restaure les qualités du sol. Ce système autorégénérant est bien adapté aux pays tropicaux ayant une faible densité démographique. L'agriculture itinérante sur brûlis ne saurait être confondue avec le défrichement par le feu pratiqué par des colons ou des éleveurs pour une occupation des sols se voulant permanente.

<sup>16</sup> L'agroforesterie consiste à associer des arbres, des récoltes agricoles ou l'élevage de bétail sur une même parcelle de terrain.



**Figure 15 : Processus de changement en pourcentage du changement total de superficies entre 1990 et 2000 au niveau régional et pour l'ensemble des zones tropicales (source, FRA 2000, FAO)**

- L'exploitation non durable du bois (commerciale ainsi que celle du bois de feu et du charbon de bois) : les pratiques d'exploitation forestière traditionnelle peuvent endommager gravement le peuplement résiduel, puisque jusqu'à 50 % des arbres laissés en place sont abîmés ou meurent. Or, il existe des pratiques bien connues, comme la technique d'exploitation à impact limité<sup>17</sup>, qui peuvent être appliquées plus largement pour améliorer la gestion forestière et limiter les dégâts que peuvent causer l'exploitation des forêts. Par ailleurs, la certification du bois pour inciter les producteurs à respecter les normes environnementales en matière d'exploitation forestière est aussi une piste intéressante. Enfin, on peut envisager d'étendre le territoire consacré aux plantations d'arbres. Les plantations industrielles d'arbres à croissance rapide permettent de satisfaire largement les besoins en produits forestiers tout en réduisant la nécessité d'exploiter la forêt naturelle. Le danger est cependant que si les plantations réduisent la valeur perçue des forêts naturelles voisines en les remplaçant comme source de produits forestiers, il deviendra tentant de convertir les forêts naturelles à d'autres utilisations jugées plus avantageuses pour la population locale.
- Le développement d'infrastructures<sup>18</sup> ;

<sup>17</sup> Dans les forêts tropicales humides naturelles, on procède rarement à des coupes rases ; on retire seulement quelques gros arbres par hectare tous les 20 ou 30 ans. On laisse également les grosses branches en forêt. L'extraction des arbres peut conduire à des destructions plus ou moins importantes d'autres arbres non exploités et qui, du fait de ces perturbations finiront par mourir et se décomposeront. Une exploitation à faible impact visant à réduire les destructions d'arbres non exploités permet à la forêt de retourner plus rapidement à son état antérieur et ainsi de limiter la réduction temporaire de carbone dans les biomasses des arbres.

<sup>18</sup> La construction de l'autoroute trans-amazonienne a permis la colonisation de millions de kilomètres carrés de forêts précédemment inaccessibles et a favorisé l'expansion de l'industrie de l'élevage. Des routes secondaires, qui pénètrent plus profondément dans la forêt et qui sont éventuellement longées par de grandes bandes de terrain déboisé, ont ensuite rapidement été construites. Toute route construite dans l'intention d'améliorer l'accès aux régions moins développées d'un pays tend à faire augmenter les valeurs immobilières pour les usages autres que la forêt, encourageant la spéculation foncière et la déforestation.



- Les incendies : Les pratiques de gestion des feux offrent la possibilité de conserver les stocks de carbone des forêts. Toutefois, la gestion des feux n'est en général efficace que si les efforts de prévention et de lutte contre les incendies sont combinés avec des remaniements des politiques d'utilisation des sols et des mesures visant à répondre aux besoins des populations rurales.
- les exploitations minières et pétrolières.

Les causes sous jacentes de la déforestation sont aussi :

- les causes générales à caractère macroéconomique, politique et social<sup>19</sup> comme la croissance démographique, la pauvreté, le coût de l'énergie importée ;
- Les faiblesses à caractères institutionnel et social comme la mauvaise gouvernance, les droits fonciers mal définis<sup>20</sup>, la distribution inégale des terres, les insuffisances d'information ;
- Les insuffisances politiques, économique et du marché comme la sous estimation des biens et services offerts par la forêt (autre que le bois), les subventions à effet pervers<sup>21</sup>.

Dans certains cas, la déforestation peut s'avérer bénéfique. Le rôle de la forêt comme réserve foncière pour d'autres usages du sol n'est pas nouveau et l'expérience de nombreux pays développés confirme la régression des surfaces forestières au profit de l'agriculture, parallèlement à l'augmentation des populations et au développement économique. **Dans un contexte où se mêlent des besoins sociaux, des perspectives économiques et des conditions environnementales favorables, il est possible que la déforestation représente une solution rationnelle pour utiliser la terre de façon plus productive.** Ce qui est tragique, c'est que **la plupart des terres qui ont été déboisées au cours des dernières décennies ne conviennent pas à l'agriculture ni à l'élevage à long terme et qu'elles se détériorent rapidement une fois les terres forestières déboisées et brûlées.** En moyenne pour 100 hectares de forêts tropicales qui disparaissent, 45 % sont transformées en cultures et pâturages, environ 1 % font l'objet d'une urbanisation et le reste, soit plus de 50 % deviennent

<sup>19</sup> Les forêts jouent un rôle important pour les pauvres qui habitent les régions rurales, un groupe social qui a peu d'influence politique et, par conséquent, peu d'influence économique.

<sup>20</sup> La grande majorité des agriculteurs qui pratiquent la culture sur brûlis à travers le monde n'ont pas de titres de propriété officiels - dans le meilleur des cas, ils ont des droits coutumiers et au pire, aucun droit quel qu'il soit. Étant donné que rien ne leur garantit l'usage à long terme de la terre, les agriculteurs ne sont pas poussés à investir pour la rendre plus productive. Dans ces circonstances, défricher la forêt et faire des cultures qui donneront une récolte annuelle pendant quelques saisons, avant d'aller plus loin et de défricher encore d'autres terres, est une stratégie agricole rationnelle. De plus, dans de nombreux pays, pour pouvoir exercer le droit de mettre la terre en valeur, les gens doivent d'abord la défricher. Dans ce cas, la déforestation est considérée comme une « amélioration » de la terre et l'expression de l'engagement de celui qui l'occupe à l'exploiter.

<sup>21</sup> Les subventions à effet pervers sont par exemple les crédits subventionnés pour soutenir l'expansion de l'agriculture et de l'élevage, les prêts à des taux d'intérêt plus bas que le taux d'intérêt commercial pour soutenir le développement de l'agriculture, la réduction de l'impôt sur le revenu et de l'impôt sur les sociétés pour appuyer des activités impliquant une autre utilisation des terres en remplacement de la forêt, les exonérations fiscales temporaires sur l'importation d'équipements destinés à de nouvelles industries ayant un impact négatif sur les forêts, les impôts élevés sur les produits pétroliers importés, ce qui décourage l'utilisation de combustible autre que le bois de chauffage...

des terres dégradées<sup>22</sup>, en majorité des pâturages et terres cultivées abandonnées. En effet, les sols des forêts tropicales n'ont pas la capacité nécessaire pour supporter une culture annuelle intensive sans se dégrader rapidement et de façon irréversible. De fait, il n'existe aujourd'hui dans les pays en développement que peu de terres forestières favorables à une expansion future de l'agriculture, ce qui rend encore plus pressante la nécessité d'augmenter la production agricole sur les terres adaptées à cette production.

❖ *Lutter contre la déforestation par des mesures réglementaires*

Traditionnellement, les décideurs politiques ont eu recours à des mesures réglementaires pour lutter contre la déforestation. Au Brésil, les activités de déforestation sont régulées par le code forestier de 1965 qui exige que, sur les terrains privés, 50 % de la couverture forestière originelle devienne une réserve légale. Le code forestier a même été amendé après 1995 et ce chiffre a été amené à 80 %. Néanmoins, cette législation n'est pas appliquée par manque de moyens et pour cause de corruption. **D'une manière générale, la déforestation est souvent illégale dans de nombreux pays, ce qui ne l'empêche pas d'avoir lieu.** Pourtant, contrôler la déforestation n'est pas une tâche impossible : certaines communautés indigènes au Brésil ont réussi à le faire sur leur territoire.

❖ *Lutter contre la déforestation par des instruments économiques*

Economiquement, les propriétaires et gestionnaires de forêts choisissent de défricher leurs terrains car le bénéfice qu'ils peuvent retirer de cette terre pour une autre activité (coût d'opportunité) est supérieur au bénéfice estimé de la préservation de la forêt. Ces décisions ne sont pas optimales pour la société car les propriétaires ne prennent pas en compte l'ensemble des services rendus par les forêts dans leurs décisions car une partie de ces services sont gratuits et n'ont pas de valeur monétaire. **L'enjeu pour les gouvernements est donc de donner une valeur économique aux services rendus par les forêts à la société, qui ne sont pas actuellement valorisés (D. Pearce (2001)).**

**Si les forêts tropicales sont des biens publics mondiaux, il peut être légitime de mettre en place des mécanismes de transferts financiers du Nord vers le Sud pour aider les pays en développement à les préserver.** De tels mécanismes ont été mis en place dans des pays pionniers. Le Costa Rica, par exemple a développé un programme de paiement des services environnementaux<sup>23</sup>: les propriétaires de forêts et de plantation reçoivent un paiement en échange des bénéfices que ces forêts et plantations offrent à la communauté locale, nationale et internationale :

- La séquestration du CO<sub>2</sub> ;
- La protection de l'eau ;
- La protection de la biodiversité.

D Pearce estime que les revenus actualisés de l'exploitation conventionnelle du bois sont entre 200 et 4 400 \$/ha/an et ceux de l'exploitation durable sont compris entre 300 et 2 660 \$/ha/an<sup>24</sup>. Ces valeurs sont à comparer à la valeur actualisée du stockage de carbone dans les forêts :

<sup>22</sup> On estime qu'il existe près de 200 millions d'hectares de terres dégradées dans les bassins hydrographiques des hautes terres des pays tropicaux. Une bonne partie de cette dégradation est attribuable à la déforestation passée. Tout devrait être fait pour rendre à nouveau productives ces terres abandonnées ou sous-utilisées.

<sup>23</sup> *Le rôle des forêts dans la maîtrise des émissions de gaz à effet de serre : les négociations climatiques internationales et l'initiative du Costa Rica.* A de Bassompierre. Mémoire à l'université des sciences économiques sociales et de gestion de Namur.

<sup>24</sup> La différence entre les deux valeurs tient principalement aux taux d'actualisation.



entre 360 et 2 200 \$/ha/an. Les valeurs sont du même ordre de grandeur mais ne s'additionnent pas puisque le carbone est perdu lors de la coupe du bois. Il estime que **la valeur liée au stockage du carbone est la valeur non commerciale la plus importante des forêts** ; mettre en place des mécanismes de financement pour valoriser le stockage du carbone est donc un enjeu fort pour la préservation des forêts tropicales.<sup>25</sup>

▪ *Payer les propriétaires pour ne pas défricher ?*

On peut envisager de mettre en place un mécanisme de paiement pour les propriétaires et gestionnaires de forêts pour préserver les forêts sur pied (principe pollueur/payé). Osborne et Kiker estiment ainsi qu'en Guyane, le coût où il serait rentable d'éviter la déforestation est compris entre 0,65 et 2,59 \$/tCO<sub>2</sub> (selon le taux d'intérêt retenu). Le problème que pose une telle approche est qu'il est difficile **d'avoir la garantie qu'un propriétaire qui reçoit de l'argent pour préserver la forêt sur une période ne la coupera pas plus tard**. De plus, supposons qu'on veuille protéger 10 000 ha dans une région et qu'environ 100 ha allaient être déforestés. Si seulement les propriétaires des 100 ha reçoivent une incitation et sont contrôlés, il y a un risque que les 100 ha soient simplement déplacés hors de l'aire considérée. **Par ailleurs, il y a un problème de hasard moral : les propriétaires vont tous prétendre qu'ils allaient défricher la forêt de façon à percevoir les revenus carbone**. Or, si on distribue l'incitation à tous les propriétaires, les revenus perçus par tête seront très faibles et donc peu incitatifs. Pour qu'elle soit efficace, il faudrait que l'incitation soit concentrée dans les zones où se développe la déforestation (c'est à dire toutes les terres à proximité de l'arc de déforestation et des routes en construction).

▪ *Une taxe carbone serait difficile à faire accepter politiquement*

On peut aussi envisager de mettre en place une taxe carbone que les propriétaires devraient payer pour avoir le droit de convertir les forêts en terres agricoles (principe pollueur/payeur). Selon les calculs de Persson et Aznar (2004), pour un taux de 18,3 US \$/tCO<sub>2</sub>, la taxe serait de 1 100 US \$/ha dans les forêts denses (sous l'hypothèse d'un taux d'actualisation de 6 %). Ce montant est à comparer au profit généré par l'agriculture extensive en Amazonie : 650 US\$/ha, et à celui généré par l'agriculture intensive 13 500 US\$/ha.

L'introduction d'une telle taxe apparaît très délicate politiquement car elle risquerait d'affecter sérieusement les petits fermiers de la région, qui sont déjà pauvres, et d'encourager encore plus la déforestation illégale. Le risque de non-respect est très élevé ; auquel cas l'effet incitatif d'une telle taxe serait faible. Pour faire accepter la taxe, on pourrait néanmoins envisager que les revenus de la taxe soient intégralement reversés aux parties prenantes dans la région (sur une base autre que la déforestation) et que soient mis en place en parallèle de la taxe des politiques de réduction de la pauvreté, de redistribution et de l'aide à la reconversion.

❖ *La déforestation : un problème de pauvreté ?*

Un des problèmes inhérent des pays en développement est que les agriculteurs ont une forte préférence pour le présent parce qu'ils sont pauvres. Economiquement, cela se traduit par le constat que leurs taux d'actualisation sont très élevés : entre 20 et 30 % par an. **Les paysans pauvres ne prennent pas en compte les bénéfices éloignés dans le temps dans leurs calculs d'investissement**. Or, le cycle d'exploitation des forêts naturelles dans les tropiques est très long comparé à celui des produits agricoles, même si l'on ne se place pas dans la perspective du commerce traditionnel. L'agroforesterie, produit un flux de profits plus élevé que le profit généré par l'agriculture sur brûlis sur le long terme. Néanmoins, sur le court terme, le

<sup>25</sup> Selon D. Pearce, dans la plupart des forêts tropicales, les valeurs marginales de préservation de la biodiversité sont faibles. Ces valeurs peuvent être très élevées dans des écosystèmes uniques ou endémiques.

flux de profits de l'agroforesterie est plus faible. Or, il n'est pas avantageux de pratiquer cette forme d'agriculture pour les populations dont les taux d'actualisation sont très élevés. **Dans ce contexte, la lutte contre la pauvreté est aussi un enjeu majeur pour la lutte contre la déforestation.**

## 2.2. Action sur les forêts gérées

### ❖ *Les mesures de gestion qui peuvent augmenter le carbone stocké par unité de surface*

En ce qui concerne les forêts gérées, il est possible de mettre en place des mesures de gestion des forêts de façon à **augmenter le stockage de carbone par unité de surface**. Les mesures que les gestionnaires de forêts peuvent mettre en place sont par exemple : protéger contre les feux ou contre les maladies, les insectes<sup>26</sup> et autres herbivores ; changer la durée des rotations ; résoudre des carences par des apports en nutriments, sélectionner les espèces ; utiliser les biotechnologies ; mettre en place des méthodes de coupes appropriées ; valoriser les résidus des coupes ; recycler les produits bois.... On peut augmenter les stocks moyens dans les forêts en laissant vieillir et en exploitant à des âges plus avancés, ou encore en plantant des espèces dont les stocks moyens de carbone, par hectare, sont plus élevés à l'âge adulte (Riedacker A.). **De telles mesures ne seront mises en place par les gestionnaires forestiers que si des incitations à augmenter le stockage du carbone dans les forêts existantes sont développées.**

### ❖ *Vaut-il mieux créer des forêts sanctuaires ou exploiter la forêt et valoriser les produits bois?*

Vincent Gitz (2004) pose la question de la hiérarchie en terme de captation du carbone entre une filière forestière contrôlant la durée de rotation et une réserve forestière. **Pour séquestrer du carbone vaut-il mieux exploiter la forêt et garder les produits bois pendant un certain temps ou constituer des forêts sanctuaires ?** Selon V. Gitz, tout dépend en fait de la durée de vie des produits bois. Si on considère que le carbone contenu dans le bois exploité est réémis dans l'atmosphère au moment de la récolte, alors on maximise le stock de carbone sur pied en n'exploitant jamais. A l'inverse, si on considère que les produits bois ont une durée de vie infinie et que le carbone n'est jamais réémis, l'optimum consiste à exploiter au moment où l'accroissement est le plus élevé et à replanter au plus vite. **La durée de vie moyenne des produits<sup>27</sup> est donc un paramètre critique dont dépend le volume total de carbone immobilisé dans la filière forestière.** Dans le modèle qu'il a développé, V. Gitz trouve que la filière gérée stocke, en moyenne asymptotique, plus de carbone que la forêt primaire, si les produits du bois ont une durée de vie supérieure à 40 ans environ.

<sup>26</sup> Les insectes et les maladies qui font partie intégrante de l'écosystème des forêts peuvent aussi causer des dégâts : de la mort des arbres à la perte de leur potentiel de reproduction/régénération, en passant par des malformations et une résistance moindre aux autres agressions telles que la sécheresse. Bien entendu, il est important de respecter des concepts transversaux tels que la biodiversité et le fonctionnement d'écosystèmes complets bien charpentés génétiquement, plutôt que de préconiser des traitements qui le plus souvent sont inefficaces en forêt car ils court-circuitent les volants d'inertie des prédateurs...Il ne s'agit pas de promouvoir des mesures qui restreindraient le fonctionnement de l'écosystème.

<sup>27</sup> V. Gitz cite une étude de Skog et Nicholson sur le temps de demi-vie caractéristique des produits bois aux Etats-Unis dans les maisons individuelles : 80 à 100 ans pour les meubles, 30 ans pour les traverses de chemin de fer, entre 1 et 6 ans pour le papier.

Cela n'est pas le cas en France, où la durée de vie moyenne des produits bois est estimée actuellement à 17 ans. Des potentialités non-négligeables existent cependant pour une utilisation plus importante du bois dans le secteur du bâtiment, qui représente actuellement 30 % en volume des utilisations du bois rond, contre 38 % dans le papier, 9 % dans le meuble et 8 % dans l'emballage.

Par ailleurs, V. Gitz examine la manière dont la durée de rotation joue sur les réservoirs de biomasse, le carbone du sol, et les produits du bois. Des rotations courtes impliquent une plus grande quantité séquestrée dans les réservoirs produits, mais une perte moyenne de carbone du sol, ainsi qu'une perte de biomasse moyenne. Toutefois, des durées de rotation passant de 90 à 30 ans n'ont qu'une influence minime sur le carbone total, la perte de carbone dans les écosystèmes étant compensée par le gain dans les produits du bois.

En conclusion, V. Gitz conclue que les flux nets associés à la gestion forestière ne peuvent pas être correctement décrits par la seule prise en compte du réservoir de biomasse. **Il faut y inclure le carbone du sol et les produits bois.** (Or, actuellement, les produits bois ne sont pas comptabilisés dans le protocole de Kyoto ; nous y reviendrons dans la partie 4.)

**Il est important de noter que ce modèle a le défaut d'être incomplet car il se concentre sur les absorptions par les forêts et il ne prend pas en compte l'effet substitution des produits bois. Or, un intérêt « climatique » essentiel des produits bois est qu'ils permettent d'éviter des émissions fossiles et engendrent par ce biais des réductions d'émissions permanentes.**

❖ *Augmenter les usages du bois en substitution des combustibles fossiles*

La Figure 16 fait ressortir les absorptions (ou réductions d'émissions) qui peuvent provenir d'un projet d'aménagement forestier.

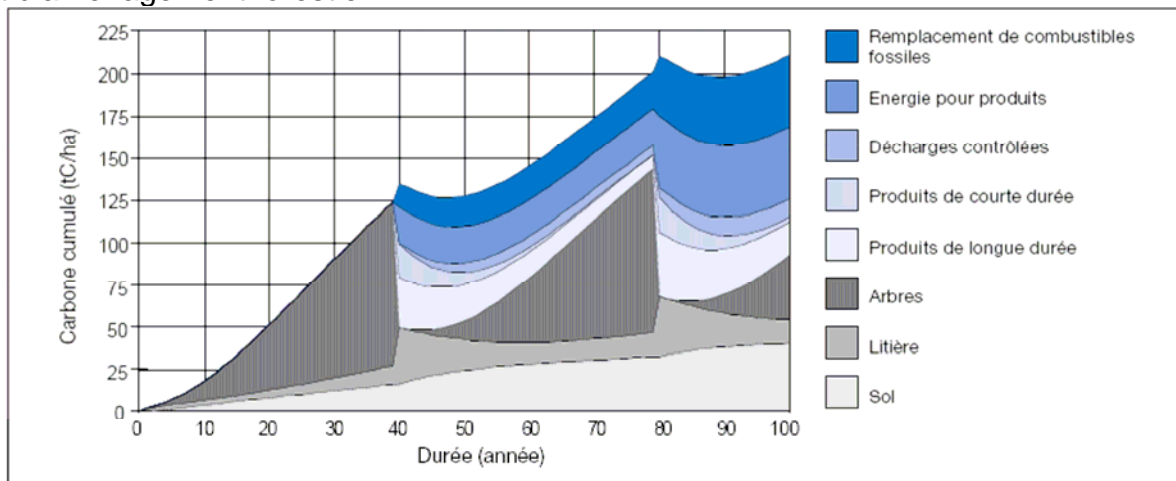


Figure TS 6 : Bilan du carbone résultant d'un projet hypothétique d'aménagement forestier

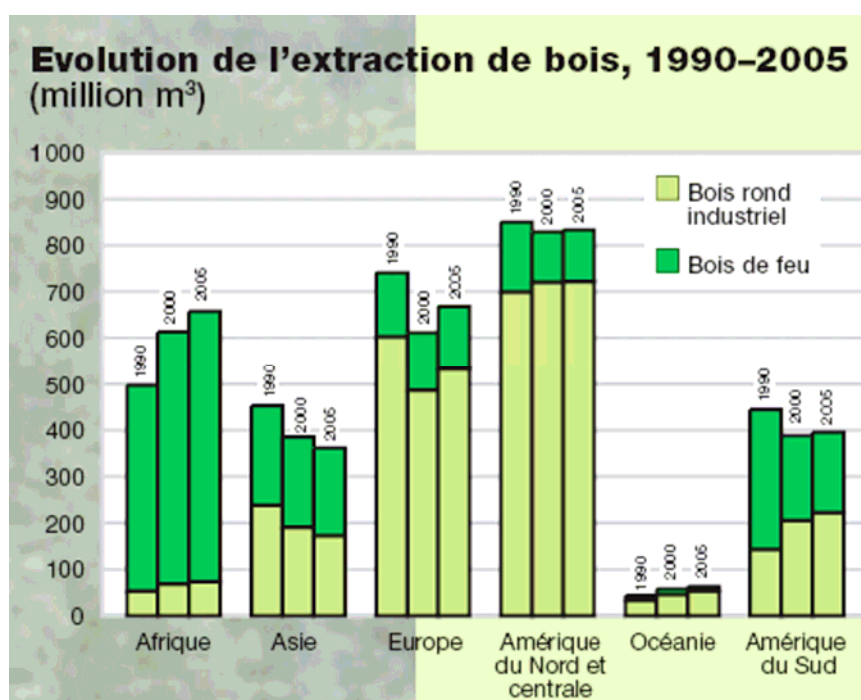
Note : Cette figure illustre les changements qui surviennent dans le bilan cumulatif du carbone dans le cadre d'un scénario présupposant le boisement et la récolte d'un amalgame de produits forestiers traditionnels, une partie de la récolte étant utilisée comme combustible. Les valeurs sont indicatives de ce que l'on pourrait observer dans le sud-est des Etats-Unis ou en Europe centrale. La régénération permet la restauration du carbone dans la forêt et le peuplement forestier (hypothétique) est exploité tous les 40 ans, une partie de la litière étant laissée au sol, où elle se décompose, tandis que les produits s'accumulent ou qu'ils sont éliminés dans des décharges contrôlées. Il s'agit là de changements nets au sens où, par exemple, le schéma illustre les réductions des émissions de combustibles fossiles par rapport à un autre scénario qui utilise des combustibles fossiles et d'autres produits à plus forte intensité énergétique pour fournir les mêmes services.

**Figure 16 : Bilan carbone résultant d'un projet hypothétique d'aménagement forestier (source : GIEC 2001)**

Le carbone dans le sol et la litière s'accumulent progressivement ; les arbres stockent du carbone lors de la période de croissance. **Le graphique montre que l'essentiel des réductions provient de l'utilisation des produits bois en remplacement de combustibles fossiles, énergie pour produits, et produits de longue durée.**

L'utilisation des produits bois joue donc un rôle déterminant dans le bilan d'une parcelle forestière.

L'extraction de bois au niveau mondial était évaluée à 3,1 milliards de mètres cubes en 2005<sup>28</sup>, un niveau voisin de celui de 1990, **qui représente en moyenne 0,69 % du matériel sur pied total**. Tandis que l'Asie a rapporté un déclin de l'extraction de bois ces dernières années, l'Afrique a fait état d'une augmentation constante (voir Figure 17).



**Figure 17 : Evolution de l'extraction de bois dans le monde entre 1990 et 2005 (source : FRA 2005)**

▪ *Le bois énergie en substitution des combustibles fossiles*

Les biocombustibles fournissent actuellement 14 % des approvisionnements mondiaux en énergie primaire. Si les biocombustibles que l'on utilise aujourd'hui étaient remplacés par de l'énergie dérivée de combustibles fossiles, 1,1 GtC supplémentaires par an seraient rejetés dans l'atmosphère.

Le bois de feu est ainsi la première source d'énergie mondiale non fossile. Sa production et sa consommation sont concentrées dans les pays en développement où il représente en moyenne 15 % de la fourniture d'énergie. Cinq pays (Brésil, Inde, Chine, Indonésie et Nigeria) comptent pour 50 % de la consommation. Dans les pays industrialisés, le bois ne représente que 3 % de l'énergie consommée.

<sup>28</sup> Le bois extrait de façon informelle ou illégale, notamment le bois de feu, n'est en général pas enregistré ; le montant effectif de bois extrait est donc sans aucun doute plus élevé.

Selon les règles de comptabilisation définies par le GIEC, les parties au protocole considèrent que les émissions de carbone dégagées par la combustion du bois issu de sources pérennes sont nulles car le CO<sub>2</sub> relargué dans l'atmosphère a été séquestré par le bois lors de sa croissance. **Cette hypothèse n'est en réalité vraie que si la substitution de bois de feu aux combustibles fossiles ne s'effectue pas au travers de la dégradation irréversible des formations boisées d'un pays, sans quoi le bilan carbone sera négatif.**

De nouveaux débouchés peuvent être envisagés pour le bois énergie. Aujourd'hui, l'enjeu dans de nombreux pays est d'arriver à développer la demande, en parallèle de l'offre. A terme, la filière pourrait être limitée par le fait qu'il n'est pas rentable de transporter du bois pour des utilisations énergétiques et donc que les pays grands producteurs de bois ne pourront pas exporter leurs excédents de production (voir l'étude de Dameron et al en annexe 5).

- *Le bois d'œuvre et bois matériaux en substitution de matériaux intense en énergie et comme stockage temporaire*

L'utilisation de bois d'œuvre en substitution des matériaux dont la fabrication nécessite beaucoup d'énergie (ciment, acier) permet aussi de réduire les émissions. Ainsi, l'utilisation de 1 m<sup>3</sup> de bois transformé dans le bâtiment permet de stocker environ 1 tCO<sub>2</sub> pour une durée moyenne de 20 ans et d'éviter en outre l'émission nette, hors sous-produits, de 0,3 tCO<sub>2</sub> si l'on remplace du béton ; 1,2 tCO<sub>2</sub> si l'on remplace de l'acier.

Le carbone des produits bois utilisés comme matériaux finit toujours par être réémis dans l'atmosphère, mais **il est stocké de façon temporaire**. Le stockage dans des produits durables comme des planches, contreplaqués, ou des meubles, vient compléter le stock permanent constitué par les arbres sur pied. Même si la durée de vie des produits est limitée, une durée moyenne de plusieurs dizaines d'années est significative.

- *Quelles incitations pour développer ces usages du bois ?*

Le marché de permis d'émission de gaz à effet de serre qui a été mis en place au 1<sup>er</sup> janvier 2005 pour les industriels et les producteurs d'électricité en Europe devrait encourager les substitutions :

- directement dans le secteur de la production d'électricité et de chaleur: les électriciens et industriels européens couverts par le marché de permis ont aujourd'hui intérêt à augmenter leur utilisation du bois énergie de façon à diminuer leur consommation de charbon, pétrole ou gaz et donc leurs émissions de CO<sub>2</sub><sup>29</sup> ;
- indirectement, la contrainte carbone qui pèse aujourd'hui sur les secteurs du ciment et de l'acier devrait augmenter le prix de ces matériaux et donc encourager l'utilisation des produits bois en substitution de ces matériaux.

Le prix du carbone va donc avoir un impact sur la filière bois en Europe : plus il sera élevé et plus les produits bois deviendront attractifs. Des marchés de permis similaires sont actuellement développés dans de nombreux pays (Suisse, Canada, Etats du Nord Est américain...)

<sup>29</sup> Selon les règles de comptabilisation définies par le GIEC, les parties au protocole considèrent que les émissions de carbone dégagées par la combustion du bois issu de sources pérennes sont nulles car le CO<sub>2</sub> relargué dans l'atmosphère a été séquestré par le bois lors de sa croissance. La comptabilisation du rejet se fait au moment de la coupe de l'arbre.



### 2.3. Augmenter les surfaces boisées

Il peut être efficace, dans une perspective de lutte contre le changement climatique, **d'augmenter les surfaces couvertes par les forêts à l'échelle mondiale par des politiques de boisement**. En supposant que 345 millions d'hectares seraient disponibles pour des activités de boisement/reboisement, Brown trouve que 38 Gt de carbone pourraient être séquestrés dans les 50 prochaines années dont 30,6 GtC par des boisements/ reboisements et 7 GtC par l'adoption de pratiques d'agroforesterie. **6 pays représentent 60 % du potentiel de boisement reboisement : le Brésil, la Chine, le Nigeria, l'Argentine, l'Indonésie et l'Afrique du sud. Planter des forêts est une stratégie de long terme** : les gains de carbone liés à des plantations forestières conduisent à des résultats significatifs qu'au-delà de 2030 ou 2050, voir plus pour les longues révolutions, pour lesquelles 100 ans est un ordre de grandeur moyen pour observer l'ensemble des phénomènes en jeu.

Pour évaluer l'intérêt de tels projets, il est nécessaire d'effectuer un bilan carbone sur l'ensemble du projet car un changement d'usage des sols n'a pas un bilan positif sur le court/moyen terme.

#### **Bilan carbone d'un changement d'usage des sols**

Un changement d'usage des sols représente une perturbation importante pour un écosystème : les premières années, l'écosystème va souvent émettre plus de CO<sub>2</sub> qu'il n'en absorbe. Ce phénomène s'inverse au bout d'un certain nombre d'années. Dans le cas de la déforestation des forêts primaires, le sol peut rester une source de carbone pendant des dizaines d'années même si la forêt repousse. C'est pourquoi la conservation des forêts primaires est essentielle.

**Le passage d'une prairie naturelle à des forêts (ou l'inverse) peut se traduire par des variations de stocks négligeables**. En effet, en plus d'avoir un effet sur la biodiversité, l'effet de stockage des peuplements forestiers est annulé par un déstockage de carbone important dans l'atmosphère résultant de la destruction de l'importante biomasse racinaire.

Les dynamiques des écosystèmes sont très variables selon les régions et le type de végétation et de compartiment considéré. Pour la biomasse des plantations à courte révolution, aux dynamiques les plus rapides, quelques années suffisent à s'approcher de l'état d'équilibre. Les stocks de carbone du sol, eux, évoluent la plupart du temps plus lentement. **Les temps typiques d'évolution des niveaux de carbone dans le sol atteignent facilement quelques siècles**.

❖ *Est-il légitime de créer des forêts sanctuaires pour lutter contre le changement climatique ?<sup>30</sup>*

Il existe une différence de taille entre les forêts sanctuaires et les forêts exploitées : les forêts exploitées génèrent des réductions d'émissions permanentes quand les produits bois sont utilisés en substitution de combustibles fossiles ; de plus elles génèrent des revenus. **Si on augmente les surfaces couvertes par la forêt au niveau mondial, l'enjeu va donc être de trouver de nouveaux débouchés pour les produits bois** (voir l'étude de Dameron et al en annexe).

<sup>30</sup> Cette partie est très largement extraite de la thèse de V Gitz.



**Bilan d'un projet de plantation sous différentes hypothèses (source : A Riedacker) :**

Supposons qu'une plantation de 10 000 ha disparaisse 70 ans après sa création sur une terre cultivée, à cause d'un besoin supplémentaire de nourriture. Si le bois n'a pas été récolté et valorisé, le gain final pour l'atmosphère est presque nul. On aura seulement gagné du temps par le stockage temporaire de 4,39 MtCO<sub>2</sub> en forêt. En revanche, si la totalité des biomasses récoltées pendant les 71 ans a été utilisée pour remplacer du charbon, avec une bonne conversion en énergie (rendement de 0,8), les réductions d'émissions s'élèvent à 4,24 MtCO<sub>2</sub>. Quand une partie de cette récolte sert à remplacer du béton (matériaux de construction), le gain dépasse même 4,75 MtCO<sub>2</sub>.

La création de forêts sanctuaires permet de retarder les émissions dans l'atmosphère par la constitution d'un stock supplémentaire de carbone sur pied. Néanmoins, la capacité de stockage du CO<sub>2</sub> des forêts sanctuaires se limite à la phase de croissance de la forêt. **Les forêts sanctuaires laissent donc un héritage contraignant car pour conserver les gains de carbone, il faut garder le même usage des terres.**

La rhétorique classique est que les projets de séquestration sont un moyen de gagner du temps en permettant d'éviter de trop gros efforts de réduction des émissions fossiles tout en obtenant un résultat atmosphérique à court terme. **La séquestration permet de minimiser les dommages à court terme, et d'avoir le temps d'ajuster nos systèmes de production et de consommation pour rejoindre un monde où le problème fossile est résolu.** De plus, dans la mesure où la capacité d'adaptation de nos sociétés dépend fortement de la vitesse du changement climatique, la séquestration présente l'avantage de ralentir les dommages du changement climatique.

Néanmoins, le risque est que nous nous retrouvions à terme avec **d'importantes surfaces de forêts dont le maintien risque d'être très coûteux** (en terme de coût d'opportunité de la terre), surtout si l'évolution démographique implique une croissance de la demande de produits agricoles (et donc des coûts de la terre). **Les coûts de séquestration des forêts sanctuaires (principalement des coûts d'opportunité liés à la disparition de revenus agricoles) sont supportés sur toute la durée sur laquelle les forêts sont maintenues, et même lorsque aucune tonne n'est plus absorbée, ce qui est immanquable, puisque les stocks par hectare sont physiquement plafonnés.** Ces effets limitent le volume appelé à être séquestré de manière optimale à court terme : d'une part parce que le maintien de ces stocks implique de répercuter les coûts à l'avenir même sans bénéfice carbone, et d'autre part parce que les terres immobilisées à court terme relèvent d'autant le coût des puits à long terme, puisqu'on doit sélectionner des terres de plus en plus chères.

Certes, ces coûts cumulés peuvent être amoindris par reconversion à terme des terres vers l'agriculture, mais la valeur sociale de tels boisements temporaires est alors incertaine. Si les plantations forestières sont défrichées au bout d'un certain nombre d'années pour retourner à un usage agricole, **le seul avantage est d'avoir gagné du temps sur l'augmentation de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.**

Un projet de stockage-déstockage est certes bénéfique pendant le stockage (niveaux de CO<sub>2</sub> atmosphérique plus faibles que sans projet), mais est dommageable après relarguage : les niveaux de CO<sub>2</sub> sont alors plus élevés que s'il n'y avait pas eu de projet. **En effet, les tonnes séquestrées ne subissent pas, durant leur stockage, la décroissance « naturelle » au**

## rythme subi par un excès de carbone atmosphérique, progressivement absorbé dans des écosystèmes terrestres et dans l'océan (60 %).

Selon V Gitz, il est pertinent du point de vue environnemental d'initier un projet de séquestration seulement si les dommages incrémentaux<sup>31</sup> sont plus faibles, en valeur actualisée, à la date de relarguage qu'à la date de stockage. **Avant de lancer d'ambitieux programmes de boisements, il est nécessaire de savoir si on pourra libérer le carbone stocké sans trop de dommages**, c'est à dire si des politiques de réduction des émissions fossiles seront engagées contre le changement climatique. (Une alternative serait que de nouvelles techniques, comme le piégeage et le stockage du carbone émis par les centrales thermiques, permettent d'éviter le relarguage du carbone stocké dans les arbres.)

La **répartition temporelle du stockage est donc une question fondamentale**. Si on considère le risque d'avoir dans le futur à agir de manière très rapide sur les émissions de carbone totales, les potentiels de boisement devraient être mis de côté dans un premier temps, et réservés au bénéfice de la génération qui aurait à éviter des dommages climatiques pouvant se révéler trop importants, impliquant l'obligation de supporter un surcoût d'accélération de la rotation du capital productif vers des technologies propres. **En cas de mauvaise surprise climatique, les boisements pourraient contribuer à réduire un pic de coût de réduction des émissions à l'avenir**. (Ce point est pertinent néanmoins il mérite d'être nuancé car il existe une grande inertie dans les politiques de boisement. Une forêt plantée aujourd'hui n'est un puits de carbone fort que 20 ans après : si on réserve les boisements pour demain, encore faudra-t-il être capable d'anticiper 20 ans à l'avance le pic du coût de réduction pour mettre en œuvre les politiques de boisements appropriées).

Selon V Gitz, **c'est au moment où les dommages marginaux sont les plus élevés qu'il est le plus utile de se servir de la séquestration**. La difficulté est que la forme de la courbe des dommages du changement climatique est encore très mal connue :

- Si le taux de croissance des dommages incrémentaux croît dans le temps, il est efficace que les projets temporaires commencent immédiatement ;
- Par contre, si les dommages incrémentaux augmentent plus vite que le taux d'intérêt, il peut être utile de retarder à la marge la mise en œuvre de projets temporaires.

### ❖ *Modélisation des différents effets*

Pour analyser ces différents effets, V Gitz a développé un modèle qui calcule les politiques climatiques optimales, c'est-à-dire les trajectoires d'émissions fossiles et de rythme de plantation de forêts qui permettent de minimiser la somme des coûts de réduction des émissions, de séquestration, et de dommages climatiques incertains. Ce modèle rend compte de l'inertie du système économique et environnemental, et du fait que les incertitudes sur la cible atmosphérique souhaitable à long terme pourront être résolues à une date ultérieure, permettant alors un ajustement des décisions.<sup>32</sup> Les résultats sont les suivants :

- une partie significative (**100 Mha**, soit la surface déboisée en 10 ans au rythme actuel de déforestation) des 900 Mha de terres potentiellement candidates au boisement **doit être plantée dès aujourd'hui**. Ceci afin de préserver la valeur d'option de la trajectoire

<sup>31</sup> Le dommage incrémental mesure la variation de dommage total actualisé en réponse à un excès de CO<sub>2</sub> lancé à une certaine date et sous contrainte de respect de la réponse du système atmosphérique.

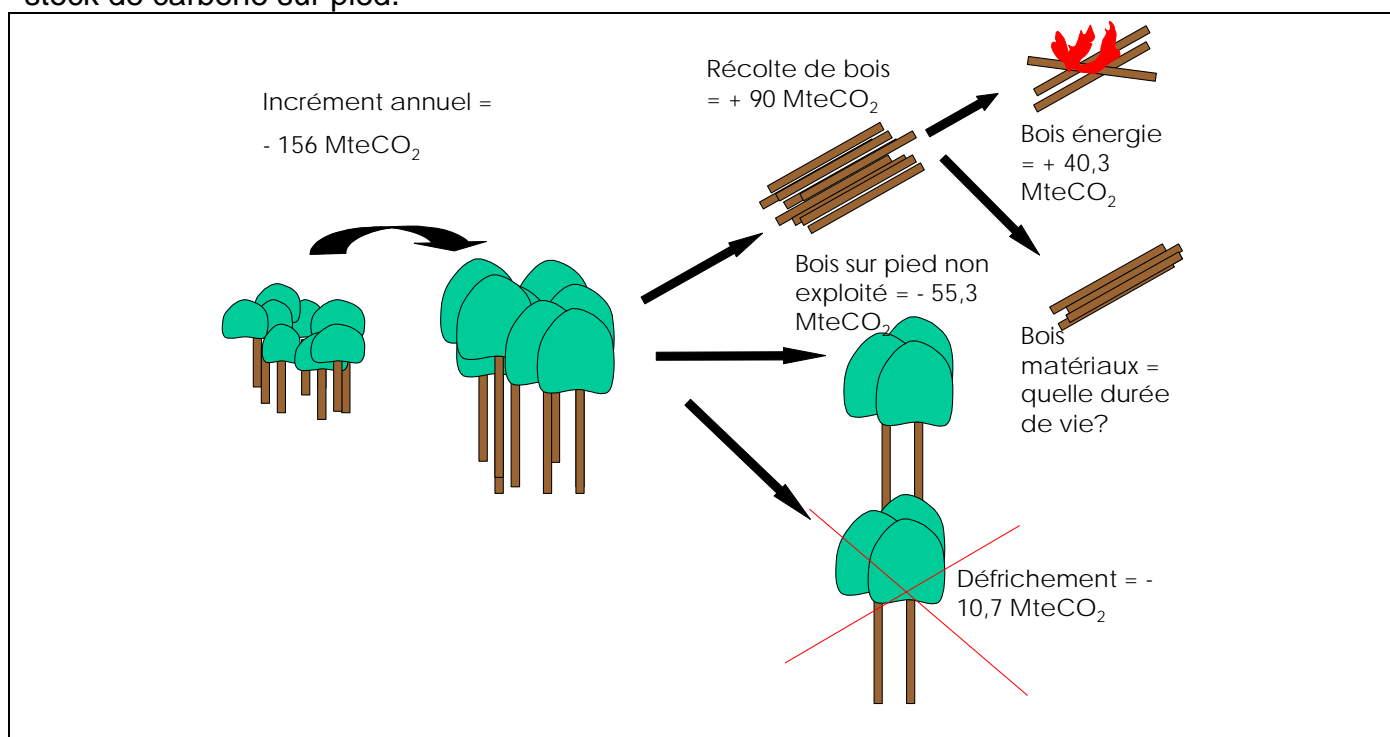
<sup>32</sup> On suppose qu'en 2040, nous serons confrontés soit à une mauvaise surprise climatique (dommages élevés à niveau de CO<sub>2</sub> donné), ou au contraire à une bonne, avec des pertes modérées même pour des niveaux de CO<sub>2</sub> élevés.

économique et climatique, c'est-à-dire de se présenter à la date de résolution des incertitudes climatiques sans avoir pris le risque d'efforts excessifs sur le secteur énergétique (qui pourraient se révéler inutiles en cas de bonne surprise), tout en ayant obtenu un effet sur l'atmosphère (ce qui est important en cas de mauvaise surprise pour alléger l'ajustement qui serait alors requis) ;

- **la majorité des terres potentiellement destinées à être boisées ne doivent pas l'être à court terme, pour ne pas compromettre le fait qu'elles puissent, en étant plantées plus tard, contribuer à limiter une éventuelle accélération brutale des efforts fossiles qui serait requise en cas de mauvaise surprise climatique.** S'il s'avérait par exemple que nous ayons à rester sous le seuil de 550 ppm de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, nous pourrions ainsi planter après 2040 près de 600 Mha de forêts, retardant ainsi de près de deux décades le pivotement imposé du secteur énergétique, avec comme conséquence un écrêtement du pic de coût de réduction des émissions de près de 40 %. Les deux tiers du stockage mis en place en cas de mauvaise surprise sont temporaires, la decarbonisation à très long terme de l'économie et son résultat sur l'atmosphère permettant la réémission du carbone stocké sans trop de dommages.

### 3. La mise en place d'un système à la couverture complète est nécessaire

Si on résume la discussion précédente avec l'exemple de la France, on voit qu'il s'agit d'optimiser les surfaces couvertes d'une part par la forêt et d'autre part par les surfaces agricoles, sachant qu'une partie des surfaces peut être dédiée à la production de biocarburants. Par ailleurs, à surface forestière constante, on peut travailler à augmenter le stock de carbone sur pied.



Actuellement, la récolte de bois en France est très nettement inférieure à l'accroissement biologique, avec un différentiel qui tend à s'accroître. Le puits de carbone français était de 23,4 MteCO<sub>2</sub> en 1990 et de 53,8 MteCO<sub>2</sub> en 2002. En 2002 :

- l'accroissement de la biomasse a stocké 156 MteCO<sub>2</sub> ;

- la récolte forestière a consommé 90 MteCO<sub>2</sub> ;
- le défrichement forestier et les changements d'utilisation des sols ont provoqué des émissions de l'ordre de 10,7 MteCO<sub>2</sub>.

Les politiques françaises de lutte contre le changement climatique peuvent donc viser à limiter les défrichements, augmenter l'utilisation du bois en substitution, augmenter significativement le stock de volume sur pied<sup>33</sup> et augmenter la durée de vie des produits bois.

Du point de vue de l'économiste, il s'agit de mettre en place des instruments économiques qui reflètent la valeur du carbone pour inciter les acteurs à optimiser les politiques de réduction des émissions sur les écosystèmes terrestres et pour leur permettre d'effectuer les bons arbitrages entre ces différents usages.

**La difficulté est que si tous les secteurs concernés n'internalisent pas la nouvelle contrainte carbone, il y a un risque de déplacement des émissions** : par exemple, le développement des biocarburants en Europe risque d'entraîner une intensification de l'agriculture et donc une augmentation des émissions de gaz à effet de serre car il n'existe pas actuellement d'internalisation des coûts dans l'agriculture pour les engrais et l'élevage. McCarl et al. (2001) ont montré que des programmes de boisements aux Etats-Unis induiraient des pressions supplémentaires sur les terres agricoles, et donc l'utilisation de techniques agricoles plus intensives, conduisant à des émissions supplémentaires de CO<sub>2</sub> et de CH<sub>4</sub> du secteur agricole qui réduiraient jusqu'à 50% le bénéfice carbone consolidé du programme de plantation. De même, des projets de boisement peuvent aussi avoir une influence sur le prix du bois et donc sur les décisions de plantation des industriels. Les industriels risquent de réduire leurs investissements s'ils anticipent que le prix du bois va baisser.

L'effet de fuite se pose de façon cruciale entre pays : si certains pays mettent en place une internalisation du prix du carbone et pas les autres, il y a un risque de fuite d'un pays à l'autre. Par exemple, l'accroissement observé actuellement en Europe de la surface forestière se fait alors qu'il existe une demande croissante en bois et fibres. On estime que les importations de bois de provenance non européenne peuvent expliquer environ 4 % de l'accroissement du puits forestier européen entre 1980 et 1998.

Pour conclure cette partie, le potentiel de réduction des émissions et de séquestration par les écosystèmes terrestres est suffisamment élevé pour que les parties à la convention climat s'y intéressent de près. L'étude de Dameron V., Barbier C., Riedacker A. (2005), synthétisée en annexe 5, fait clairement ressortir que **les enjeux de la séquestration par les écosystèmes terrestres portent sur les disponibilités en terre puis sur les débouchés des produits bois issus des plantations forestières**. La poursuite de l'augmentation des productions agricoles annuelles par hectare peut conduire à libérer des terres utilisées actuellement pour des productions alimentaires. C'est dans ce contexte que l'on peut espérer augmenter les stocks de carbone par boisements de terres agricoles devenues vacantes et d'autre part utiliser efficacement les biomasses produites par ces boisements pour maximiser les réductions d'émissions de gaz carbonique provenant des produits fossiles. Enfin, la question des effets de

<sup>33</sup> Si l'on prend en compte le fait que les gros bois occupent moins de place dans un peuplement que les petits, il est possible de redéfinir les termes de l'équilibre autrement que par l'équité des surfaces par classe d'âge en privilégiant les gros bois et un volume moyen/ha plus conséquent.

fuite risque de se poser de façon cruciale, si le système d'incitation mis en place pour augmenter les absorptions des écosystèmes terrestres n'est que partiel.



### III. ENJEUX POLITIQUES : LE TRAITEMENT DES PUIITS DE CARBONE DANS LE PROTOCOLE DE KYOTO

Lors des négociations du protocole de Kyoto, de nombreux pays étaient défavorables à l'inclusion des puits dans le système quantitatif. Certains pays forestiers se sont initialement prononcés contre les puits pour des raisons d'indépendance nationale ; ils craignaient l'apparition d'un droit d'ingérence dans leurs politiques d'usage des sols. D'autres pays, comme le Japon, la Suisse, la République Tchèque, la Hongrie et l'AOSIS y étaient initialement opposés pour des raisons d'intégrité environnementales ; ils craignaient la création d'un échappatoire aux efforts de réduction des émissions fossiles. Ils faisaient valoir dans leurs argumentaires les faiblesses méthodologiques et incertitudes scientifiques, le manque de données disponibles, le fait que les données étaient peu comparables, et le risque de création d'incitations perverses. Pour certains pays, le Brésil notamment, les deux motivations (préserver l'indépendance nationale et éviter que les pays du nord y trouvent un échappatoire) se superposaient.

Les pays favorables à l'inclusion immédiate des puits dans les quotas avaient pour la plupart de grandes surfaces forestières et étaient attirés par la perspective de comptabiliser des volumes importants à ce titre : Etats-Unis, Nouvelle Zélande, Norvège, Australie, Canada, Russie, mais aussi le Pérou et l'Islande. Ils faisaient valoir qu'il serait incohérent de ne pas se servir des puits pour atteindre l'objectif ultime de stabilisation des concentrations, malgré le problème de la preuve de l'attribution purement anthropique de l'augmentation des stocks forestiers.

L'Union européenne (UE) pour sa part se rangeait entre ces deux positions extrêmes. La position officielle de l'UE indiquait une hiérarchie nette entre abatement fossile et prise en compte des puits : les puits pouvaient faire partie de l'effort quantitatif, mais sous la condition incontournable que l'on se soit mis d'accord auparavant sur les modalités, règles et procédures de leur prise en compte, ce qui n'a pas été le cas au final.

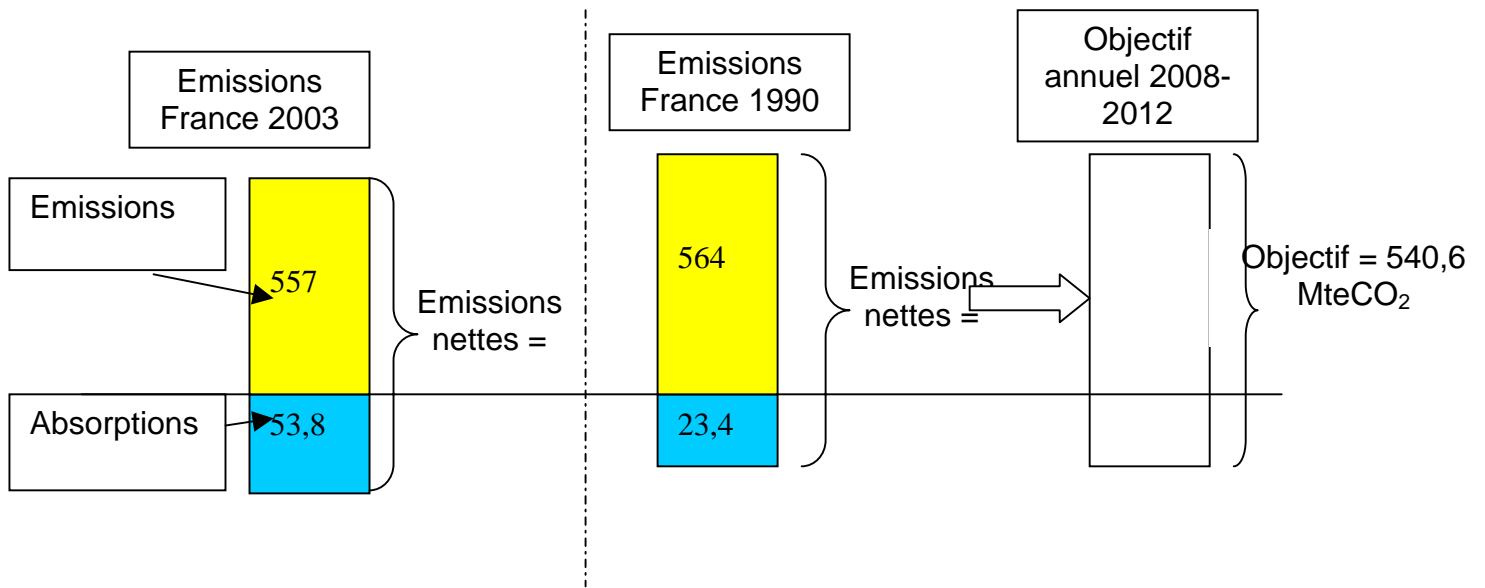
Dans le protocole de Kyoto, il y a trois articles qui traitent des puits de carbone : les articles 3.3, 3.4 et 3.7.

#### 1. Quelle règle de comptabilisation retenir ?

A première vue, il aurait semblé rationnel d'appliquer la même règle de comptabilisation dans le protocole de Kyoto aux puits de carbone que celle qui s'applique aux émissions fossiles : on compare les émissions fossiles sur la période 2008-2012 aux émissions fossiles en 1990 (approche dite nette/nette). Si les négociateurs avaient suivi cette logique, les secteurs fossiles et les puits participeraient au calcul de la référence des émissions nettes en 1990 (émissions fossiles de 1990 moins les absorptions/émissions par les puits de carbone en 1990) et au calcul des émissions nettes sur la période 2008-2012. L'objectif de réduction du protocole de Kyoto aurait ensuite été fixé par rapport à ces émissions nettes de référence.

On peut illustrer ce raisonnement avec l'exemple de la France où l'objectif en 2008-2012 est une stabilisation de ses émissions de gaz à effet de serre au niveau de 1990 (objectif = 564 MteCO<sub>2</sub>). Si on avait retenu la logique décrite ci-dessus, l'objectif français aurait été de stabiliser les émissions nettes à 540,6 MteCO<sub>2</sub> car les émissions de gaz à effet de serre françaises étaient de 564 MteCO<sub>2</sub> en 1990 et les absorptions de 23,4 MteCO<sub>2</sub>.

## DETERMINATION DE L'OBJECTIF



Si la France avait pu anticiper que son puits de carbone allait augmenter sur la période 1990-2003, elle aurait même pu prendre un objectif de réduction plus ambitieux puisque les émissions nettes françaises en 2003 sont inférieures de 6,9 % aux émissions de 1990 car les absorptions par le puits de carbone français ont augmenté de 23,4 MteCO<sub>2</sub> en 1990 à 53,8 MteCO<sub>2</sub> en 2003.

Quelques mois avant la conférence de Kyoto, la majorité des pays (Brésil, Islande, Norvège, Russie, les Etats-Unis, l'Australie) penchaient pour un système de comptabilisation net/net, pour des raisons de cohérence. Néanmoins, une telle approche était inacceptable pour plusieurs pays dans la négociation, en particulier la Nouvelle Zélande, car elle présente un risque élevé pour les pays dont le puits de carbone est actuellement très élevé. En effet, la prise en compte des absorptions par les puits de carbone dans les émissions d'un pays fait baisser de façon considérable les émissions nettes de certains pays et donc leur budget carbone. C'est le cas dans tous les pays qui disposent de surface forestière importantes : la Nouvelle Zélande ( - 81%), la Suède et la Lettonie ( - 62 %), la Finlande ( - 56 %), la Norvège (-29 %), l'Estonie ( - 23 %), l'Autriche ( - 21 %), etc. **La comptabilisation nette/nette ne modifierait en rien l'effort demandé au secteur fossile si le pays avait la garantie que le niveau d'absorption resterait stable durant la période d'engagement.**

Néanmoins, **il existe un risque qu'un évènement naturel survienne pendant la période d'engagement et diminue fortement les absorptions (risque de non permanence).** Ainsi, du fait de la tempête de 1999, le puits français a diminué brutalement de 6 MteCO<sub>2</sub> entre 1999 et 2000. Comme expliqué dans la partie 1, les fluctuations annuelles de la photosynthèse, liées notamment aux conditions climatiques, peuvent être très élevées, notamment les années El Nino. Enfin, dans certains écosystèmes, comme les forêts boréales des régions nordiques ou les forêts tropicales de mousson, les incendies sont des phénomènes naturels nécessaires à la mise en forme des paysages et au déclenchement de la régénération de certains types de

végétation. Il ne faut donc pas chercher à les empêcher de survenir<sup>34</sup>. De plus, il existe aussi un risque que les forêts se dégradent dans certains pays à cause du changement climatique.

**Par ailleurs, les absorptions par les écosystèmes forestiers risquent de diminuer sur le long terme (effet de saturation).** La comptabilisation nette/nette ne permet pas de prendre en compte l'état initial des forêts dans le pays. Or, il peut exister un effet « classe d'âge ». Si les absorptions annuelles l'année de référence sont dues au fait que la forêt est globalement jeune dans le pays, leur effet va diminuer dans le temps car le volume des réservoirs ne peut augmenter indéfiniment. Il y a donc un risque non négligeable qu'un effort supplémentaire soit demandé à terme sur les émissions fossiles. Aujourd'hui, et c'est ce qui a fait l'attrait de la solution forestière, les stocks forestiers sont globalement en augmentation dans les pays de l'Annexe 1 pour des raisons liées à l'héritage de la déprise agricole. Cette augmentation devrait être appelée à fléchir avec le vieillissement des forêts, à moins que des incitations appropriées soient créées.

Enfin, lors de la négociation de Kyoto, à ces deux problèmes de non permanence et saturation, se sont greffées des considérations stratégiques : le rôle des puits de carbone a été négocié après la fixation des objectifs de réduction des émissions fossiles, à une période où certains pays comme le Japon et le Canada savaient qu'il leur serait très difficile d'atteindre leur objectif de Kyoto s'ils choisissaient de ratifier le protocole. La négociation sur les puits a donc été capturée par les pays qui cherchaient à relever le quota qui leur avait été fixé dans le protocole grâce aux puits.

## **2. Article 3.3 : changement d'affectation des terres, liés aux activités humaines**

Etant donné les problèmes posés par la prise en compte des forêts gérés dans la comptabilisation du protocole de Kyoto, les parties ont souhaité traiter en priorité la problématique de l'usage des sols. L'article 3.3<sup>35</sup> vise ainsi à inciter les pays de l'annexe 1 à **préserv**er leurs stocks de carbone existants, c'est à dire à s'assurer que la surface couverte par les forêts gérées et les forêts primaires ne diminue pas dans le temps, et à augmenter les surfaces couvertes par la forêt en effectuant des boisements.

Dans l'article 3.3, les émissions/absorptions ne sont comptabilisées que si le terrain concerné a fait l'objet d'un boisement, reboisement ou déboisement depuis 1990, c'est à dire s'il y a eu un changement d'usage des terres sur la période 2008-2012 par rapport à 1990<sup>36</sup>. De plus, les

<sup>34</sup> Néanmoins, selon les données FAO/CEE sur les feux de forêts en Europe et dans les pays de l'ex-Union soviétique, plus de 606 083 hectares ont été touchés en 1997. Pour 55 % des feux, les causes sont connues, et quand les causes sont connues, dans 80 % des cas (266 193 hectares) il s'agit d'incendies provoqués par l'homme.

<sup>35</sup> *Article 3.3 du protocole de Kyoto* : « Les variations nettes des émissions de gaz à effet de serre par les sources et de l'absorption par les puits résultant d'activités humaines directement liées au changement d'affectation des terres et à la foresterie et limitées au boisement, au reboisement et déboisement depuis 1990, variations qui correspondent à des variations vérifiables des stocks de carbone au cours de chaque période d'engagement, sont utilisées par les Parties visées à l'Annexe I pour remplir leurs engagements prévus au présent article. » Les modalités de mise en œuvre de cet article sont précisées par la décision 11/CP.7 et le chapitre 4 du guide des bonnes pratiques du GIEC.

<sup>36</sup> On entend par boisement/reboisement la conversion anthropique directe de terres non forestières en terres forestières par plantation, ensemencement et ou promotion par l'homme d'un ensemencement naturel. On entend par déboisement la conversion anthropique directe de terres forestières en terres non forestières. Il est précisé que

activités de défrichement et de boisement ne sont comptabilisées que si elles sont liées aux activités humaines.<sup>37</sup>

Les quantités de permis d'émission créditées ou débitées correspondent à **la variation des stocks de carbone sur la période 2008 – 2012** sur les terres concernées, c'est à dire à la différence entre les émissions dues aux défrichements sur la période 2008-2012 moins les absorptions dues aux reboisements en 2008-2012. C'est une approche dite brute/nette car **on ne compare pas les émissions de 2008-2012 aux émissions en 1990**, contrairement à ce qui est fait pour les émissions fossiles dans le protocole de Kyoto.

Les émissions dues aux défrichements de terrains entre 1990 et 2008 ne sont pas comptabilisées ; un suivi de ces surfaces est cependant effectué sous la convention. Une fois qu'une terre est prise en compte sous l'article 3.3, elle l'est pour toujours : si suite au défrichement, le couvert végétal réapparaît plusieurs années ensuite, les absorptions sont comptabilisées comme des boisements au titre de l'article 3.3.<sup>38</sup> Prenons l'exemple d'un terrain boisé en 1990, qui a été déboisé et transformé en parcelle agricole en 1991 et reboisé en 1995. Le terrain sera « suivi » sous la catégorie « défrichements » de l'article 3.3 mais ce sont des absorptions nettes qui seront comptabilisées entre 2008 et 2012.

Les activités de coupes rases<sup>39</sup> suivies de repousse ne sont pas comptabilisées sous cet article car il n'y a pas de changement d'usage des sols (elles sont en fait comptabilisées sous l'article 3.4 car il s'agit de gestion forestière). Il en est de même pour les destructions de forêts liées à des tempêtes ou des incendies : elles ne sont pas comptabilisées comme des défrichements sous l'article 3.3, à la condition qu'elles ne soient pas suivies par un changement d'affectation des terres.

**L'article 3.3 est très important car il crée une incitation à maintenir les stocks de carbone existants dans les pays de l'annexe 1.** En pratique, les volumes concernés par cet article

---

*seuls les boisements, reboisements ou déboisement depuis 1990 et de plus d'un hectare sont à prendre en considération.*

<sup>37</sup> Ainsi, les boisements spontanés (résultant par exemple de l'apparition progressive d'un couvert boisé sur des friches) ne seraient pas comptabilisés au titre de cet article. Ce point est en fait toujours en discussion : les terrains reboisés suite par exemple à la déprise agricole sont-ils à considérer comme des boisements liés à l'activité humaine (en l'occurrence décision de changement d'usage des terres par abandon de l'activité agricole) ? Cette question a été posée lors d'un séminaire d'experts UTCF européens à Graz en mai 2004 : pour les participants, la réponse est oui. Lors d'une récente réunion au MAP, la DGFAR a précisé qu'elle partageait cette analyse.

<sup>38</sup> La définition de défrichement qui sera retenue en France pour cet article devrait amener la France à comptabiliser les émissions dues à la déforestation liée à l'orpaillage en Guyane comme un défrichement sous le 3.3. Si de la forêt secondaire repousse suite à l'activité d'orpaillage, le terrain restera comptabilisé sous l'article 3.3 mais les absorptions par les forêts secondaires seront de fait comptabilisées comme des reboisements sous le 3.3.

<sup>39</sup> *On entend par forêt une terre d'une superficie d'au moins 0,05 à 1 hectare (selon les pays) portant des arbres dont le houppier couvre plus de 10 à 30 % de la surface (ou ayant une densité de peuplement équivalente) et qui peuvent atteindre à maturité une hauteur minimale de 2-5 mètres. Une forêt peut être constituée soit de formations denses dont les divers étages et les sous bois couvrent une forte proportion du sol, soit de formations claires. Les jeunes peuplements naturels et toutes les plantations composées d'arbres dont le houppier ne couvre par encore 10 à 30 % de la superficie et qui n'atteignent pas encore une hauteur de 2-8 mètres sont classées dans la catégorie forêt, de même que les espaces faisant normalement partie des terres forestières qui sont temporairement déboisées par suite d'une intervention humaine telle que l'abattage ou de phénomènes naturels mais qui devraient redevenir des forêts.*

dans les pays développés sont cependant très faibles en regard des émissions fossiles : dans les pays de l'Annexe I, le changement d'usage des sols est une source de carbone de 146 MtCO<sub>2</sub>/an<sup>40</sup>, soit un niveau de l'ordre de 1 % des émissions fossiles de l'annexe 1 en 2000. Ceci est à comparer aux 1 657 à 3 130 MteCO<sub>2</sub> (selon les méthodes de comptabilisation) absorbées par les activités de foresterie, élevage et gestion des cultures dans les pays de l'Annexe 1. Il n'en est pas de même dans les pays en développement où le changement d'usage des sols est une source de carbone de 7 887 MteCO<sub>2</sub>, ce qui représente 34,8 % des émissions totales de ces pays (source : CAIT).

L'article 3.3 pose problème car il n'est pas équilibré dans la comptabilisation carbone. Les absorptions comptabilisées au titre des boisements correspondent à la quantité de carbone stockée sur la période 2008-2012 par les forêts plantées depuis 1990. Or, ces forêts étant encore jeunes, elles ne sont, la plupart du temps, pas des puits significatifs. A l'inverse, lors d'un défrichement, une forêt libère des quantités de carbone très élevées, qui correspondent à l'ensemble du carbone stocké sur des dizaines d'années. La quantité émise est nettement supérieure à celle qu'absorbe une forêt durant une année de croissance. On se retrouve dans cette situation paradoxale dans de nombreux pays, et en France notamment, où le bilan au titre de cet article devrait être négatif (en France : émissions d'environ + 3,4 MteCO<sub>2</sub> en 2003) alors que les secteurs forestiers et agricoles pris dans leur ensemble constituent un puits non négligeable (en France : puits de 53,8 MteCO<sub>2</sub> en 2003 ; la surface forestière s'accroît d'environ 40 000 ha par an, par plantations ou accroissement naturel). Les forêts qui sont aujourd'hui des puits de carbone importants en France ont été plantées avant 1990 et ne sont pas comptabilisées dans l'article 3.3.

### 3. Article 3.7 : article dérogatoire au 3.3

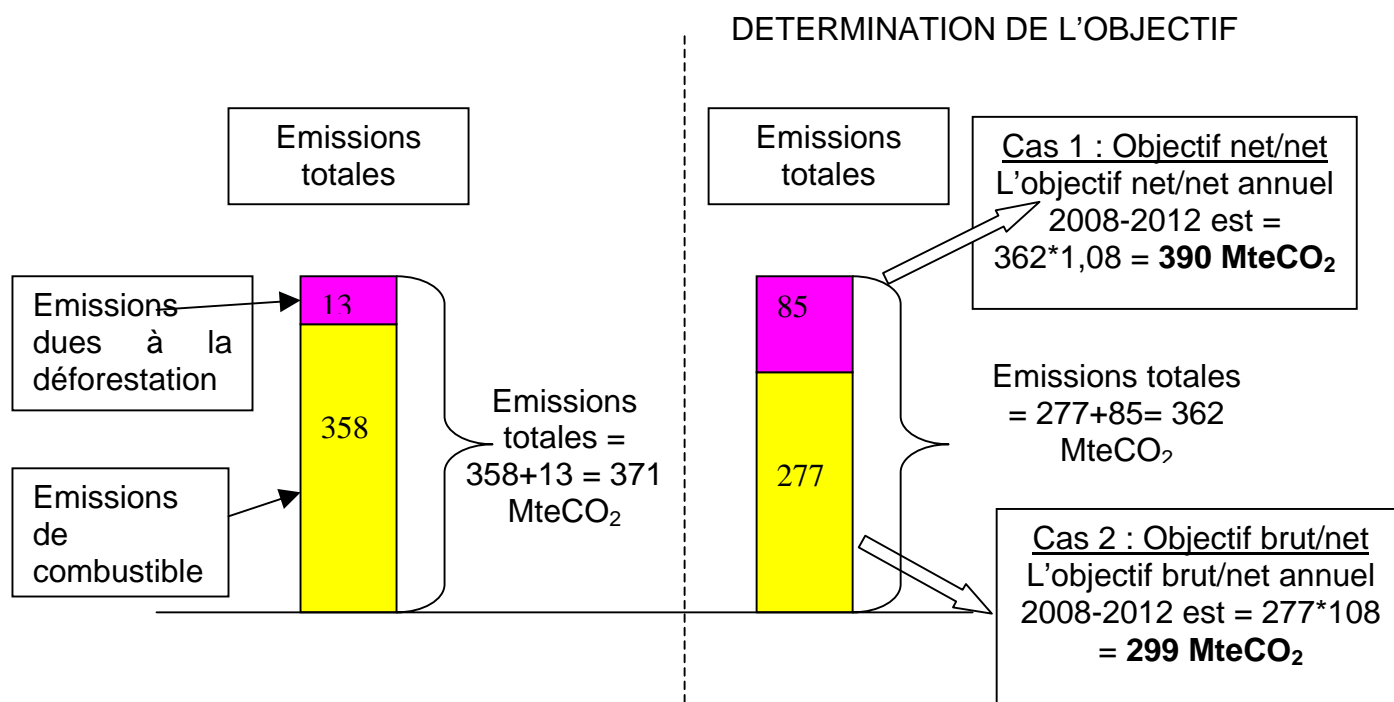
L'approche retenue pour les changements d'usage des sols sous l'article 3.3 est dite brute/nette car on ne compare pas le niveau des émissions en 2008-2012 au niveau de 1990. Elle a posé problème à l'Australie, seul pays de l'annexe 1 dont le secteur de l'utilisation des terres constituait une source significative en 1990 (24 % du total des émissions du pays en 1990). En effet, la règle de comptabilisation brute/nette réduisait son budget carbone sur la période 2008-2012. C'est pourquoi l'article 3.3 a été complété par un autre article, l'article 3.7<sup>41</sup>, qui permet aux parties dont **le changement d'affectation des terres et<sup>42</sup> la foresterie constitue une source en 1990** de choisir une comptabilisation nette/nette, c'est à dire de prendre en compte les émissions du secteur du changement d'affectation des terres dans les émissions de référence en 1990.

<sup>40</sup> Source : Vincent Gitz (2004) à partir des données soumises par les parties à la convention sur leur secteur agricole et forestier au 01 août 2000.

<sup>41</sup> Article 3.7 du protocole de Kyoto : « Les Parties visées à l'annexe I pour lesquelles le **changement d'affectation des terres et la foresterie** constituaient en 1990 une source nette d'émissions de gaz à effet de serre prennent en compte dans leurs émissions correspondant à l'année ou à la période de référence, aux fins du calcul de la quantité qui leur est attribuée, les émissions anthropiques agrégées par les sources, exprimées en équivalent dioxyde de carbone, déduction faite des quantités absorbées par les puits en 1990, telles qu'elles résultent du **changement d'affectation des terres** [ décision 19/CP7 : soit la totalité des émissions par les sources, déduction faite des absorptions par les puits, notifiées dans la rubrique « conversion de forêts » (déboisement)]. »

<sup>42</sup> On note que cet article présente une subtilité : la condition pour l'utiliser est que le changement d'affectation des terres et la foresterie constituent une source nette en 1990. La France ne pourrait donc pas l'utiliser, alors que le changement d'affectation constituaient une source nette en 1990, car le changement d'affectation des terres et la foresterie constituaient un puits de carbone de 23,4 MteCO<sub>2</sub> en 1990.





Cette méthode de comptabilisation permet à l'Australie de rehausser son objectif de 299 MteCO<sub>2</sub> à 390 MteCO<sub>2</sub>. D'autres pays de l'Annexe I ont annoncé qu'ils pourraient utiliser cette clause : le Royaume Uni, la Nouvelle Zélande.

A terme, l'intérêt de l'article 3.7 est qu'il pourrait permettre de faire entrer dans le protocole des pays dont les taux de déforestation sont élevés (ie le Brésil). Certains lui reprochent cependant d'inviter implicitement les pays touchés par la déforestation à maintenir des taux élevés de déforestation ou tout du moins à ne rien faire pour les diminuer tant qu'ils ne sont pas dans le système, afin d'entrer dans un système légalement contraignant avec une référence la plus élevée possible (V. Gitz).

#### **4. Article 3.4 : Gestion forestière et autres activités**

L'asymétrie de l'article 3.3 posait problème à de nombreuses parties au protocole de Kyoto et a amené les pays à vouloir prendre en compte les absorptions dues aux forêts existantes en 1990 sur leur territoire. C'est la raison pour laquelle l'article 3.3 a été complété par un autre article : l'article 3.4<sup>43</sup> qui concerne les activités humaines ayant un impact sur les stocks de

<sup>43</sup> Article 3.4 du protocole de Kyoto : « A sa première session, ou dès que possible par la suite, la Conférence des Parties agissant comme réunion des Parties au présent Protocole arrête les modalités, règles et lignes directrices à appliquer pour décider quelles **activités anthropiques** supplémentaires ayant un rapport avec les variations des émissions par les sources et de l'absorption par les puits des gaz, à effet de serre dans les catégories constituées par les terres agricoles et le changement d'affectation des terres et la foresterie doivent être ajoutées aux quantités attribuées aux Parties visées à l'Annexe I ou retranchées de ces quantités et pour savoir comment procéder à cet égard compte tenu des incertitudes, de la nécessité de communiquer des données transparentes et vérifiables, du travail méthodologique du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, des conseils fournis par l'Organe subsidiaire de conseil scientifique et technologique conformément à l'article 5 et des décisions de la Conférence des Parties. Cette décision vaut pour la deuxième période d'engagement et pour les périodes suivantes. Une Partie peut l'appliquer à ces activités anthropiques supplémentaires lors de la période d'engagement pour **autant que ces activités aient eu lieu depuis 1990.** »

carbone **sans modification des utilisations des sols**. Il peut s'agir de l'augmentation des stocks de carbone dans les forêts existantes ou de modification de pratiques culturales modifiant les stocks de carbone.

#### 4.1. Gestion forestière

Etant donné les problèmes politiques posées lors de la négociation par la comptabilisation nette/nette, les parties ont retenu une approche brute/nette pour comptabiliser les absorptions par les forêts gérées : elles déduisent partiellement de leurs émissions en 2008 les absorptions par les puits de carbone en 2008, sans déduire de leurs émissions de référence en 1990 les absorptions par les puits en 1990 (voir schéma annexe 6). Cette approche brute/nette est le résultat de la négociation politique et elle a permis de trouver un accord politique à Kyoto.

Une telle approche, par sa logique même, **entraîne un relâchement de la contrainte de Kyoto portant sur les émissions fossiles** puisqu'elle revient de fait à comptabiliser sur la période 2008-2012 une partie des absorptions par le puits de carbone des écosystèmes terrestres, qui sont estimées à 2 GtC/an (voir partie 1). L'enjeu est de taille : **pour les pays de l'Annexe 1, les secteurs forestiers et agricoles pris dans leur ensemble sont un puits qui compensent de l'ordre de 10 % des émissions fossiles de l'Annexe 1 de 1990, soit déjà plus que l'objectif de réduction global négocié à Kyoto (-5, 2 % relativement aux émissions fossiles de 1990).**

C'est pourquoi les parties, et notamment l'Union européenne, ont essayé de limiter la portée de cette règle de comptabilisation autant que possible en introduisant des restrictions quantitatives. Ainsi, les parties ne peuvent prendre en compte que les absorptions liées aux activités humaines<sup>44</sup>. Cette restriction vise d'une part à éviter de prendre en compte la variabilité naturelle des émissions (cf partie 1). Cela permet de limiter la responsabilité des parties au protocole dans le cas où un événement naturel réduirait fortement la surface forestière pendant la période 2008-2012. La France ne pourrait pas être tenue pour responsable si une nouvelle tempête, similaire à celle de 1999, s'abattait sur le pays sur la période 2008-2012<sup>45</sup>. **D'autre part, cette restriction permet de limiter le relâchement de la contrainte Kyoto induit par la comptabilité brute/nette.**

En théorie, les crédits générés par l'article 3.4 doivent donc être nets des effets non directement attribuables à l'homme sur la séquestration de carbone, à savoir la fertilisation par le CO<sub>2</sub> ou les dépôts azotés, et des effets de la gestion avant 1990. Le problème est que les méthodes scientifiques n'étaient pas prêtes pour séparer ces effets en 1997<sup>46</sup>.

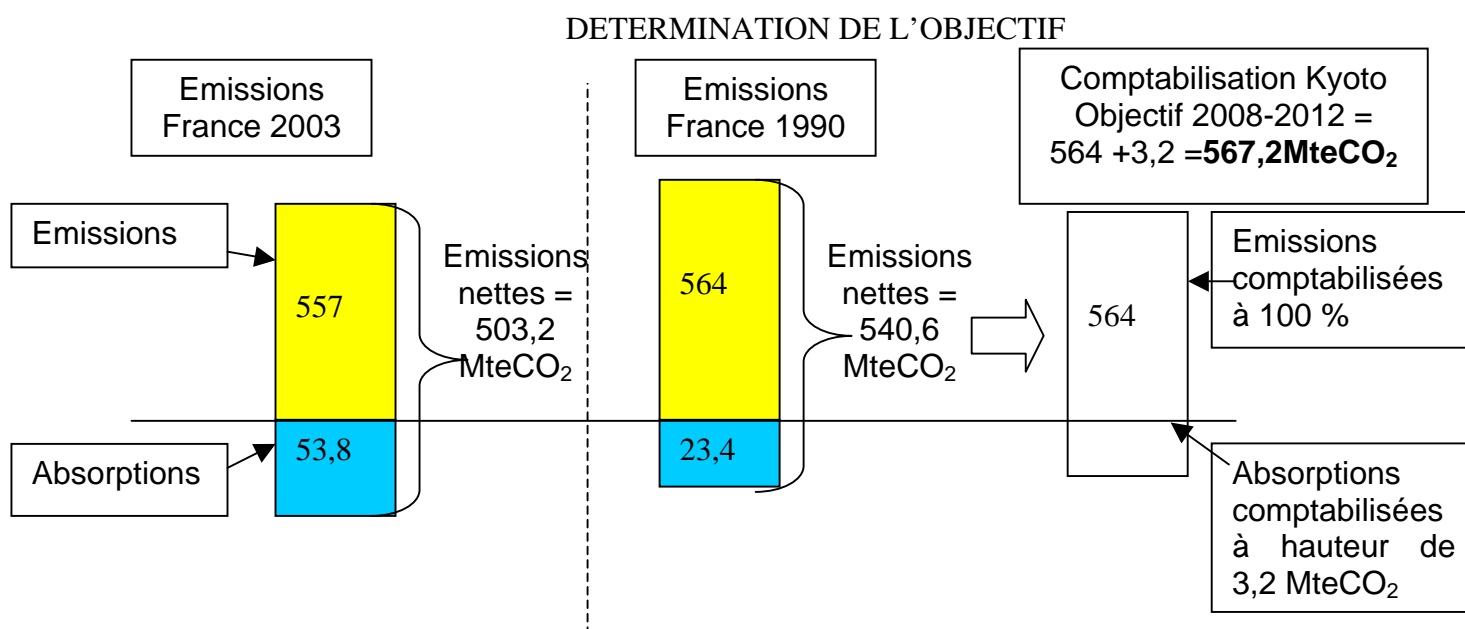
<sup>44</sup> Certains regrettent néanmoins cette décision qui n'incite pas les parties à minimiser les risques d'incendies.

<sup>45</sup> Néanmoins, si suite à la tempête les terres sont utilisées pour un autre usage elles sont comptabilisées au titre des défrichements

<sup>46</sup> Le rapport spécial du GIEC (2000) : " ... il peut être très difficile, si ce n'est impossible, de distinguer avec les outils scientifiques actuels quelle part de la modification du stock observée est directement induite par l'homme et quelle part causée par des facteurs naturels ou indirects".

Au final, la décision de Marrakech (11/CP7)<sup>47</sup> en ce qui concerne l'article 3.4 repose sur deux principes :

- un pays ayant des débits sous l'article 3.3 peut les recréditer sous l'article 3.4 par la gestion forestière (à hauteur d'un plafond de 33 MtCO<sub>2</sub>) revenant à un bilan nul ;
- de plus, il peut créditer l'absorption de carbone par ses forêts gérées au-delà des quantités créditées dans la première tranche, jusqu'à un certain plafond déterminé à l'annexe Z de la décision. En théorie, ces plafonds auraient dû être déterminés en tenant compte de ce qu'il est raisonnablement possible d'attribuer aux efforts humains depuis 1990. **En pratique, il s'est avéré impossible de déterminer la part des absorptions des forêts gérées qui était liée aux activités humaines. Les plafonds ont d'abord été fixés à 15 % des absorptions totales estimées par les forêts gérées (après déduction du débit au 3.3). Ce pourcentage ne repose pas sur une base scientifique solide. Pour la France, le plafond a été fixé à 3,2 MteCO<sub>2</sub>.**



Les plafonds ont ensuite été négociés pays par pays, pour prendre en compte les circonstances nationales. Au final, **l'annexe Z est surtout le résultat de la négociation politique**. C'est une

<sup>47</sup> Décision 11/CP.7 « Pour la première période d'engagement, une Partie visée à l'annexe I pour laquelle les activités entreprises au titre des dispositions du paragraphe 3 de l'article 3 constituent une source nette d'émissions peut comptabiliser les émissions anthropiques par les sources et les absorptions anthropiques par les puits de gaz à effet de serre résultant de la gestion des forêts au titre du paragraphe 4 de l'article 3, jusqu'à concurrence des émissions nettes au titre des dispositions du paragraphe 3 de l'article 3, un plafond étant fixé à 9 mégatonnes, fois cinq, si le total des émissions anthropiques par les sources et des absorptions anthropiques par les puits de gaz à effet de serre dans les forêts faisant l'objet d'une gestion depuis 1990 est égal ou supérieur à la source nette d'émissions résultant des activités entreprises au titre du paragraphe 3 de l'article 3.

11. Pour la première période d'engagement seulement, les ajouts et soustractions par rapport à la quantité attribuée à une Partie résultant de la gestion des forêts au titre du paragraphe 4 de l'article 3 après application du paragraphe 10 ci-dessus et résultant des activités de gestion des forêts entreprises au titre de l'article 6 ne doivent pas dépasser la valeur nette indiquée dans l'appendice Z ci-après, fois cinq. »

des plus grandes concessions faites par l'Union européenne aux pays de l'Ombrelle et à la Russie lors des négociations. Le plafond du Japon représente ainsi environ 4 % de ses émissions de 1990, et celui du Canada 7,3 % de ses émissions. A titre de comparaison, la France se voit attribuer un plafond correspondant à 0,6 % de ses émissions de 1990. Il faut noter que les plafonds indiqués pour le Canada et le Japon ont été précisément très surévalués. Compte tenu des prévisions avancées par ces deux pays en termes de boisement et reboisement (respectivement : 33,3 MteCO<sub>2</sub> avec un débit probable de 16,10 MteCO<sub>2</sub> à compenser et 41,72 MtCO<sub>2</sub> avec un débit probable de 2,56 MtCO<sub>2</sub> à compenser), ces plafonds (respectivement : 43,9 et 47,6 MteCO<sub>2</sub>) ne devraient pas être atteints, et ce de très loin. La Suisse et l'Ukraine sont dans une situation semblable, de très faibles volumes de réduction étant cependant en jeu. Pour l'ensemble des autres pays, il faut aussi préciser qu'il sera nécessaire de prouver la réalité des variations de stock permettant d'obtenir des crédits. Il n'y a aucune automaticité de prise en compte de la gestion forestière.

Ces plafonds ont surtout permis de diminuer le coût d'application du protocole de Kyoto pour certaines parties. Si on regarde le taux d'effort (coût total d'atteinte de l'objectif de Kyoto rapporté au PIB projeté pour 2010), on constate que pour le Japon et le Canada, l'effet conjugué du recours au marché et aux puits fait que **l'effort financier exigé atteint des niveaux comparables à celui de l'Union européenne**. En revanche, l'effort induit par l'application du protocole de Kyoto pour certaines Parties de l'Ombrelle (Etats-Unis, Australie, Nouvelle-Zélande) demeure singulièrement élevé par rapport à celui d'autres Parties telles que l'Union européenne, ce malgré l'ensemble des concessions faites à Bonn. Cela explique en partie les décisions de ratification des différents pays (source : note D4E D2-01-076).

La principale critique qu'on peut adresser à cet article est **qu'il n'est pas incitatif pour les pays dont les absorptions dépassent le plafond de l'annexe Z puisque les absorptions au-delà du plafond ne peuvent pas être comptabilisées**. C'est notamment le cas pour la France. En fait, l'article crédite des activités qui auraient été faites de toute façon et sert surtout à relâcher la contrainte Kyoto.

Par ailleurs, une autre critique adressée à cet article est qu'il exclut de fait du schéma comptable les flux ayant lieu avant 2008 ; **le bilan carbone du secteur dépend en partie de l'état dans lequel se situent les forêts au 1<sup>er</sup> janvier 2008**, début de la première période d'engagement. Les pays sont gagnants, du point de vue de leur revenu-carbone, s'ils entrent dans le système en 2008 avec des forêts jeunes, au moment où ces forêts sont des puits de carbone forts. Ceci peut créer notamment une incitation à récolter les forêts matures de manière anticipée de manière à se présenter le 1<sup>er</sup> janvier 2008 avec une forêt en début de cycle. Cette incitation existe si le prix du carbone dépasse 8,19 \$/tCO<sub>2</sub> (V. Gitz). Elle est doublement adverse car (i) elle déforme le plan de gestion et (ii), sur un plan comptable, des débits ne sont pas comptabilisés alors qu'ils impliquent des flux nets vers l'atmosphère. En pratique, ce risque apparaît cependant faible car aucun pays n'a, à ce jour, décidé de distribuer les crédits carbone correspondants à l'article 3.4 aux forestiers.

Pour résumer, en ce qui concerne les forêts :

- Les forêts défrichées de 1990 à 2012 (terrain boisé en 1990 et non boisé en 2008-2012) sont prises en compte dans l'article 3.3. Les émissions liées au défrichement des forêts entre 1990 et 2008 (terrain boisé en 1990 et non boisé en 2008) ne sont pas prises en compte ;
- Les nouvelles forêts (terrain non boisé en 1990 et boisé en 2008-2012) sont prises en compte dans l'article 3.3. Seules les absorptions sur la période 2008-2012 sont comptabilisées ;
- Les forêts gérées par l'homme (terrain boisé en 1990 et boisé en 2008-2012) sont prises en compte dans l'article 3.4 mais partiellement, avec une règle qui n'est pas incitative ;
- Les forêts, non gérées, ne sont pas prises en compte. **C'est pourquoi la définition d'une forêt gérée<sup>48</sup> revêt une importance particulière.** Cela revient à dire que les forêts primaires ne sont pas valorisées dans le protocole. Or, ces forêts représentent un enjeu essentiel (cf partie 2). Certains craignent que cette décision incite les parties à anthropiser les forêts pour qu'elles soient comptabilisées dans le protocole.

#### 4.2. Autres activités

Outre la gestion forestière, trois autres activités peuvent être prises en compte au titre de l'article 3.4 dans la première période d'engagement pour les pays qui le souhaitent :

- la restauration du couvert végétal (cela concerne les végétaux n'entrant pas dans la définition de forêt)<sup>49</sup> ;
- la gestion des terres cultivées (cela concerne principalement les activités de type zéro labour)<sup>50</sup> ;
- la gestion des pâturages<sup>51</sup> .

<sup>48</sup> La gestion des forêts a été définie comme « un ensemble d'opérations effectuées pour administrer et exploiter les forêts de manière à ce qu'elles remplissent durablement certaines fonctions écologiques (y compris la préservation de la diversité biologique) économiques et sociales pertinentes. »

<sup>49</sup> Activités humaines directes visant à accroître les stocks de carbone par la plantation d'une végétation couvrant une superficie minimale de 0,05 hectares et ne répondant pas aux définitions du boisement et du reboisement qui précèdent. Selon le Guide des bonnes pratiques du GIEC : « *Revegetation implies that vegetation is established to replace the previous (sometimes minimal) ground cover that had followed a land disturbance. For example, activities such as reclaiming/restoring herbaceous ecosystems on carbon-depleted soils, environmental plantings, planting of trees, shrubs, grass or other non-woody vegetation on various types of lands including urban areas, might all qualify as revegetation.* »

<sup>50</sup> Ensemble d'opérations effectuées sur des terres où l'on pratique l'agriculture et sur des terres qui font l'objet d'un gel ou ne sont pas temporairement pas utilisées pour la production de cultures.

Selon le Guide des bonnes pratiques du GIEC : « *To be included under cropland management are all lands under temporary (annuals) and permanent (perennials) crops, and all fallow lands set at rest for one or several years before being cultivated again. Perennial crops include trees and shrubs producing fruits, such as orchards (see exceptions below), vineyards and plantations such as cocoa, coffee, tea and bananas. Rice paddies are also included under croplands, but associated methane emissions will be reported under the Agriculture Sector and not in the LUCF sector in countries' greenhouse gas inventories. Arable land, which is normally used for cultivation of temporary crops but is temporarily used for grazing, can also be included under croplands.* »

<sup>51</sup> Ensemble d'opérations qui visent à agir sur les volumes et le caractère de la production (fourrage bétail). Selon le Guide des bonnes pratiques du GIEC : *it is good practice to include all of the following lands in the grazing lands category :*



Chaque Etat est libre de comptabiliser ou non les émissions et les absorptions de carbone résultant de ces activités. **Néanmoins, une fois qu'un Etat a décidé de comptabiliser ces activités, il doit le faire dans toutes les périodes suivantes.** La règle de comptabilisation retenue pour cet article est une comptabilisation nette/nette<sup>52</sup> où on compare les flux liés à l'activité en 2008 aux flux de 1990. Par exemple, le flux d'absorption des activités de type zéro labour devait être proche de zéro en 1990 ; on le compare au flux d'absorption pour cette activité en 2008, 2009....

Cette méthode de comptabilisation nette/nette **permet de réduire l'ampleur des crédits produits par ces activités tout en préservant l'incitation marginale.** Elle était plus acceptable pour le secteur agricole que pour la gestion forestière car il est possible dans le secteur agricole d'obtenir des effets relativement rapidement, en une période d'engagement ou deux, ce qui n'est pas le cas pour la forêt.

Le danger de cette comptabilité est qu'elle revient en fait à considérer la situation en 1990 comme référence pour la suite alors qu'un puits ou une source significative de carbone terrestre peuvent n'être que des phénomènes transitoires. Ce point pose problème pour l'activité « restauration du couvert végétal », car les mêmes problèmes « d'état initial » se posent que pour la forêt. Ainsi, il est intéressant pour un pays de retenir l'activité « restauration du couvert végétal » s'il plantait peu de haies pendant l'année 1990, auquel cas il lui est facile **d'augmenter son flux d'émissions en 2008-2012. En effet, on ne compare pas le stock de haies en 2008 au stock de haies en 1990.** Ainsi, un pays dont le stock de haies était important en 1990 et qui a beaucoup défriché peut gagner beaucoup de crédits pour cette activité même si son stock est dix fois plus faible en 2008, à la condition qu'il replante les haies pendant l'année 2008. En revanche, un pays dont le stock de haies était faible en 1990 et qui a beaucoup planté de haies pendant l'année 1990, n'aura aucun intérêt à retenir cet article s'il arrête de planter de nouvelles haies pendant l'année 2008, même si son stock de haies en 2008 est très élevé.

Etant donnée la complexité de la comptabilisation de telles activités, la France n'envisage pas de les retenir dans la première période d'engagement. A terme, les enjeux sont cependant importants car **les stocks de carbone dans les sols métropolitains sont évalués à environ 10,98 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub>.** Une augmentation de ces stocks de 0,2 % par an (21,9 MtCO<sub>2</sub>) permettrait de compenser 4 % des émissions annuelles de gaz à effet de serre.

---

• *Improved pastures/grasslands/rangelands: These are lands subject to intensive, controlled grazing. Management practices such as fertilizing/manuring, irrigation, reseeding, liming, or spraying are used to control productivity. Lands used permanently for herbaceous forage crops are also included.*

• *Unimproved/natural pastures/grasslands/rangelands: These lands are usually composed of native vegetation including hay and bushes, and grazing is mainly extensive. There is no or little grass management except burning in some instances. However, the intensity, frequency, and seasonality of grazing and animal distribution are managed (even by default) or can be specifically managed to prevent loss of stored carbon, for example by avoiding overgrazing.*

<sup>52</sup> *Pour la première période d'engagement, le volume des émissions anthropiques par les sources et des absorptions anthropiques par les puits de gaz à effet de serre comptabilisables résultant de la gestion des terres cultivées, de la gestion des pâturages et de la restauration du couvert végétal au titre du paragraphe 4 de l'article 3 sera égal au volume des émissions anthropiques par les sources et des absorptions anthropiques par les puits de gaz à effet de serre pendant la période d'engagement, moins cinq fois le volume des émissions anthropiques par les sources et des absorptions anthropiques par les puits de gaz à effet de serre résultant de ces mêmes activités admissibles pour l'année de référence de cette Partie tout en évitant une double comptabilisation.*

## 5. Projets de boisement dans les pays en voie de développement : le MDP forêt

Les trois articles du protocole de Kyoto détaillés ci-dessus concernent uniquement les pays de l'annexe 1, c'est à dire les pays développés ou en transition qui ont un engagement de réduction dans le protocole de Kyoto. En ce qui concerne les pays en développement, le seul levier d'action est le mécanisme de développement propre (MDP).

Les projets MDP où le bois est utilisé en substitution de combustibles fossiles ne nécessitent pas de définir des règles particulières car ce sont des projets « classiques » de réduction des émissions au sens où les réductions sont permanentes. C'est le cas du projet PLANTAR au Brésil où on remplace le charbon utilisé pour produire de la fonte par du charbon de bois provenant de plantations d'eucalyptus.

Il n'en est pas de même pour les projets de type boisement/reboisement car les absorptions de la forêt en croissance, par leur nature même, sont temporaires. La décision sur les projets MDP forestiers a été finalisée lors de la 9<sup>ème</sup> conférence des parties qui s'est tenue à Milan en 2003 (décision 19/CP.9). **Les parties ont décidé dans un premier temps de limiter les projets MDP aux projets de type boisement/déboisement.** Les projets portant sur la conservation des forêts existantes (déforestation évitée) ne sont pas éligibles, de même que les projets portant sur l'agriculture. Pour éviter de créer une incitation à déboiser les terres pour pouvoir ensuite les replanter, les projets de boisement ne sont éligibles que s'ils ont lieu sur des terres qui n'étaient pas boisées au 31 décembre 1989. Dans la mesure où les parties au protocole ont décidé un démarrage rapide du MDP (*prompt start*), les projets de boisements commencés dès 2000 sont éligibles.

### 5.1. *Le problème de la non permanence*

Un des problèmes principaux posé aux négociateurs du MDP était celui du risque de non permanence des absorptions d'un projet de boisement : le carbone séquestré par la forêt risque d'être relargué à tout moment à cause d'une catastrophe naturelle, telle qu'une inondation, un incendie, une sécheresse ou une tempête. De plus, lorsque le bois a atteint sa maturité et est coupé, le carbone séquestré est réémis dans l'atmosphère soit immédiatement si le bois est utilisé comme combustible, soit de façon différée si le bois sert à la fabrication de produits bois. Pour traiter ce problème de la non permanence, **les parties ont retenu l'idée que ces projets MDP génèrent des réductions d'émissions certifiées (REC) à durée de validité limitée dans le temps.**

Les développeurs de projets ont le choix entre deux types de crédits temporaires : les tREC, ou (réduction d'émissions certifiées temporaires) et les IREC (réduction d'émissions certifiées de longue durée) :

- **tREC :** Les tREC ont une durée de vie comprise entre 5 et 9 ans : ils doivent être remplacés à la fin de la période d'engagement qui suit celle pendant laquelle ils ont été délivrés<sup>53</sup>. A chaque certification (tous les 5 ans), une quantité de tREC égale **au niveau vérifié des absorptions**<sup>54</sup> anthropiques nettes de gaz à effet de serre que l'activité de boisement a permis de réaliser depuis le début du projet est délivrée.

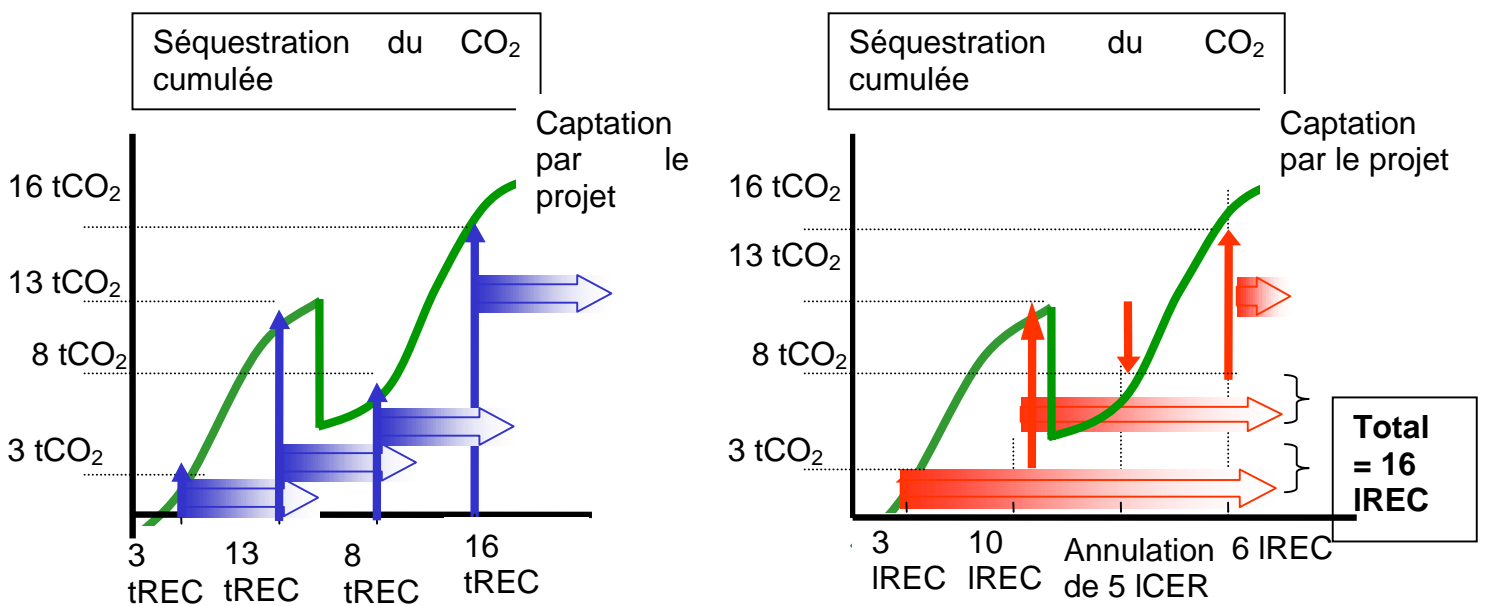
<sup>53</sup> Les tREC qui doivent être remplacés sont ceux qui ont été transférés sur le compte de retrait ou le compte de remplacement d'une partie visée à l'annexe 1. Ils peuvent être remplacés par n'importe quelle unité du protocole qu'elle soit temporaire ou non.

Les tREC qui n'ont pas encore été placés sur un de ces deux comptes de retrait ou le compte de remplacement n'ont pas à être remplacés. Ils sont simplement transférés sur le compte d'annulation.

<sup>54</sup> Le niveau vérifié des absorptions est fonction du type d'essence planté puisque chaque type d'arbre a une capacité de fixation du CO<sub>2</sub> différente.

- **IREC:** les IREC ont une durée de vie égale à la période de comptabilisation (durée du projet comprise entre 30 et 60 ans). A chaque certification (tous les 5 ans), une quantité de IREC égale à l'augmentation des absorptions anthropiques nettes de gaz à effet de serre par les puits **depuis la précédente certification** est délivrée. Lorsque le rapport de certification fait apparaître une inversion des absorptions par les puits depuis la précédente certification, **il est procédé au remplacement d'une quantité équivalente de IREC**. A la fin de la période de comptabilisation, les IREC émis par l'activité de projet doivent de toute façon être remplacés par des crédits non temporaires.<sup>55</sup>

La Figure 18 ci-dessous illustre l'émission de tREC et IREC dans un projet forestier.



**Figure 18 : Emissions de tREC et IREC dans un projet MDP forestier**

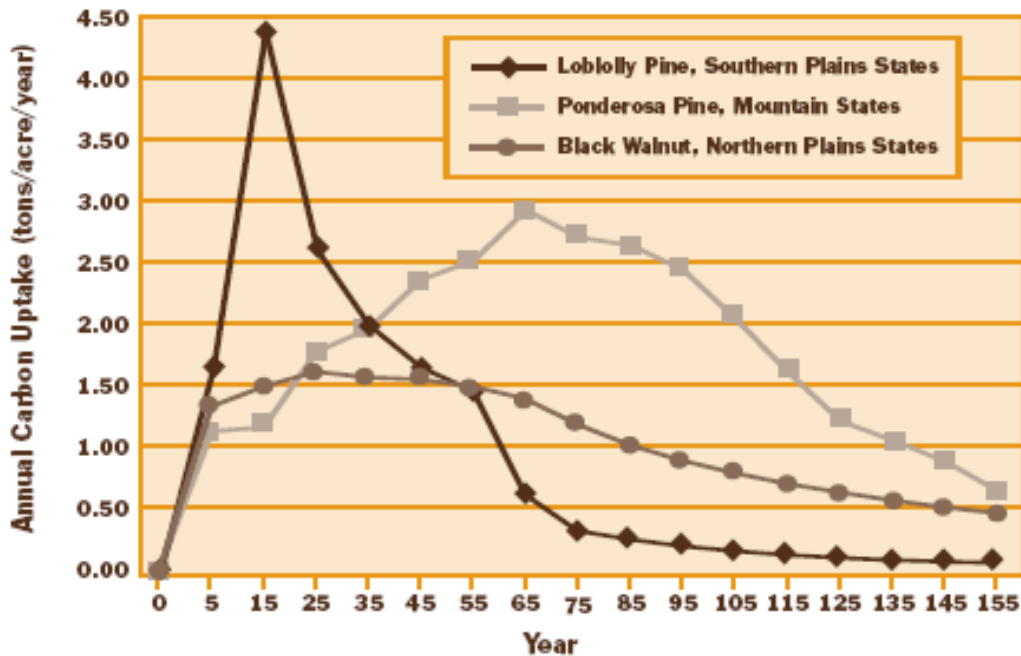
On peut estimer grossièrement que la valeur d'un tREC est de l'ordre de 10 % du prix du carbone sur le marché international et la valeur d'un IREC est d'environ 77 % le prix du carbone sur le marché international (voir annexe 7).

La délivrance des crédits est faite de façon *ex post*, c'est à dire que les crédits sont délivrés en fonction des absorptions effectivement réalisées. La comptabilisation prend aussi en compte le fait que différentes espèces d'arbres ont des absorptions différentes (voir Figure 19.) Des tREC et les IREC émis sur une période (ex 2008-2012) ne peuvent pas être reportés sur une période d'engagement ultérieure (ex 2013-2017), c'est-à-dire qu'ils ne peuvent pas être épargnés d'une période d'engagement à l'autre.

<sup>55</sup> Les IREC peuvent être remplacés par des UQA, URE, REC ou UA

Figure 2

### Carbon Sequestration Rates for Three Region/ Species Combinations



Source: Based on data from Richards, Moulton and Birdsey (1993).

**Figure 19 : Taux d'absorptions du carbone par différents types de plantations (Source : Pew Center)**

La France et l'Europe étaient plutôt favorables dans les négociations internationales aux tREC ; les développeurs de projet français (ie ONF et ONF international) pensent qu'ils vont plutôt choisir d'utiliser des tREC dans les projets puits qu'ils sont en train de monter.

#### 5.2. Le problème des fuites

L'autre problème posé aux négociateurs sur le MDP était qu'il y a un risque que **l'activité génératrice d'émissions soit simplement déplacée hors des frontières du projet et non réduites (fuites)**. Ce serait le cas d'un projet qui boiserait des terres agricoles : il existe une forte probabilité que les personnes dont la subsistance dépendrait des productions agricoles du terrain déboisent une autre surface afin d'y établir de l'agriculture. De même, une plantation à grande échelle en inondant le marché de ses produits peut modifier l'équilibre entre l'offre et la demande de bois et faire baisser le prix local ou régional des produits bois, ce qui pourrait ensuite entraîner le remplacement de plantations forestières environnantes par de l'agriculture ou la non plantation de zones qui sans le projet auraient été boisées. Les fuites peuvent aussi avoir lieu si le projet n'inclut pas tous les réservoirs de carbone dans la référence et qu'un des réservoirs (i.e. le sol) diminue. Or, la décision de Milan permet d'exclure certains réservoirs, pour des raisons de comptabilité pratiques.<sup>56</sup>

<sup>56</sup> 21. Pour calculer les absorptions nettes de référence et/ou les absorptions nettes effectives de gaz à effet de serre par les puits, les participants au projet peuvent décider de ne pas tenir compte d'un ou de plusieurs

Les réponses à ces critiques sont que le problème des fuites se pose pour tous les projets MDP et pas uniquement les projets de puits de carbone et qu'il se pose surtout de façon cruciale entre les pays de l'annexe 1 qui ont ratifié le protocole et les pays qui n'ont pas d'engagement de réduction. Les développeurs de ce type de projets pensent qu'il est possible de résoudre les risques de fuite en choisissant bien les aires retenues pour la comptabilisation des émissions et absorptions du projet puits. En tout état de cause, il est clair que le conseil exécutif du MDP aura un rôle essentiel à jouer lors du contrôle des scénarios de référence pour ce type de projet car c'est par la pratique et l'expérimentation qu'on pourra juger au final de l'intérêt de ce type de projet<sup>57</sup>.

Ce problème des fuites est encore plus marqué pour tous les projets de maintien des stocks de carbone comme la déforestation évitée ou les techniques d'exploitation à impact limité. C'est une des raisons pour laquelle les parties ont décidé dans un premier temps que seuls les projets de boisement/reboisement seraient éligibles, outre l'aspect politique d'opposition du Brésil aux projets de déforestation évitée.

### 5.3. Critiques et controverses du MDP forêt

Les négociations sur le MDP forêt ont donné lieu à d'âpres débats idéologiques. En particulier, de nombreuses ONG étaient opposées à ce type de projets et soulevaient notamment les risques de problèmes environnementaux et socioéconomiques. En particulier, les grandes plantations forestières étaient critiquées pour les externalités défavorables qu'elles peuvent avoir : verrouillage de la terre qui ne pourra plus être utilisée à d'autres fins, cette terre étant parfois prise à des populations qui en avaient l'usage sans qu'il existe de droit foncier réellement établi, impact quasi nul sur l'économie locale, impact négatif en terme de biodiversité et de ressource en eau, enfin dans certains cas, problème de paysage et d'encerclement de communautés par les grandes plantations. D'autres risques ont été mis en évidence : celui de détruire un type d'écosystème précieux même s'il est peu productif par exemple une zone humide, pour le remplacer par des plantations captatrices de carbone ; celui de déplacer des populations pour créer des aires protégées destinées à empêcher la réémission de carbone dans l'atmosphère.

---

*réservoirs de carbone, et/ou des émissions de gaz à effet de serre, en évitant tout double comptage, à condition de communiquer des informations transparentes et vérifiables établissant que cela n'aura pas pour effet de majorer le niveau escompté des absorptions anthropiques nettes par les puits. Autrement, les participants au projet rendent compte de toute variation sensible des réservoirs de carbone et/ou des émissions de gaz à effet de serre par les sources, qui augmentent en raison de l'activité de boisement ou de reboisement, en évitant tout double comptage.*

<sup>57</sup> 22. *Lorsqu'ils choisissent la méthode permettant de définir le niveau de référence d'une activité de boisement ou de reboisement relevant du MDP, les participants au projet retiennent, parmi les différentes options énumérées ci-après, celle qu'ils jugent la mieux adaptée à l'activité de projet, en tenant compte de toute orientation que le Conseil exécutif pourra donner, et justifient la pertinence de leur choix :*

- a) Les variations des stocks de carbone dans les réservoirs de carbone au moment considéré ou antérieures, selon le cas ;*
- b) Les variations des stocks de carbone dans les réservoirs de carbone à l'intérieur du périmètre du projet provenant d'une utilisation des terres qui représente une solution intéressante du point de vue économique, compte tenu des obstacles à l'investissement ;*
- c) Les variations des stocks de carbone dans les réservoirs à l'intérieur du périmètre du projet provenant de l'utilisation des terres la plus probable au moment du démarrage du projet.*



Au final, la décision de Milan<sup>58</sup> demande aux participants au projet de soumettre *des documents analysant l'impact socioéconomique et environnemental, y compris l'impact sur la diversité biologique et les écosystèmes naturels et l'impact en dehors du périmètre du projet de l'activité de boisement ou de reboisement relevant du MDP*. Seul l'usage pourra permettre d'avoir du recul sur ces projets.

L'autre crainte portait sur le relâchement de la contrainte Kyoto des pays ayant un engagement de réduction. Au final, les parties ont choisi de limiter l'utilisation de crédits MDP forêt à hauteur d'un plafond égal à 1 % de la quantité attribuée du pays. En pratique, il apparaît que ce plafond n'est pas vraiment contraignant puisque cela correspond à 110,61 MtCO<sub>2</sub>. Pour remplir le quota de la France (5,64 MteCO<sub>2</sub>), il faudrait planter de l'ordre de 120 000 ha de forêt maintenant dans les pays en voie de développement ou planter 25 000 ha par an pendant les 10 prochaines années (ONF/MIES).

Une des difficultés que rencontrent les projets MDP de boisements aujourd'hui est qu'ils concentrent beaucoup d'attentes. Idéalement, les gens voudraient concilier trois critères dont les optima ne coïncident pas toujours : la capture du carbone, la biodiversité et le développement. La capture du carbone est favorisée à court terme par des espèces à croissance rapide, le développement économique nécessite des ressources de court et long terme tandis que la préservation de la biodiversité implique de favoriser les espèces et écosystèmes natifs, dont la capture de carbone à court terme peut être plus lente et la valorisation économique souvent moins forte.

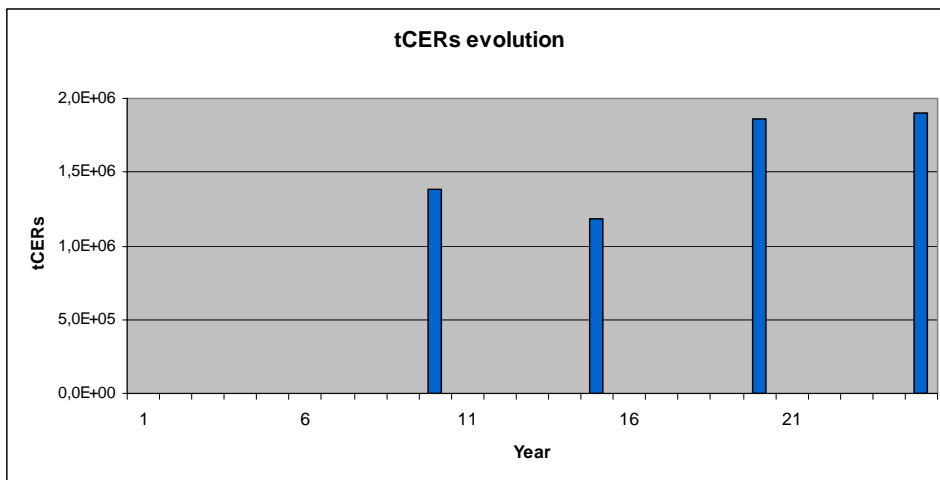
#### 5.4. Exemple d'un projet

En dépit de ces nombreuses critiques, les projets aujourd'hui réalisés paraissent intéressants et prometteurs. ONF international a ainsi développé plusieurs projets MDP pilotes.

Un des projets de leur portefeuille est un projet de plantation de 14 000 ha au Chili où sont plantés diverses d'essences, à usage multiple (*Eucalyptus globulus*, *Pinus radiata*, *Acacia melanoxylon*, *Castanea sativa*, *Notophagus sp...*). Le projet s'accompagne de travaux de récupération des sols. L'activité forestière montre une bonne rentabilité au niveau de la région mais il existe des barrières techniques et financières pour l'accès au crédit. Dans un contexte où le secteur forestier est en expansion au niveau national, la région est caractérisée par l'ampleur des terrains dégradés, et un indice de pauvreté fort. Les petits propriétaires sont à l'écart de l'expansion de la filière bois. L'originalité du projet est le reboisement en association avec des petits propriétaires et la généralisation de travaux anti-érosifs, ainsi que la variété des modèles de plantation (bois, fruits, récupération fertilité...)

<sup>58</sup> 12 c) Les participants au projet ont soumis à l'entité opérationnelle désignée des documents analysant l'impact socioéconomique et environnemental, y compris l'impact sur la diversité biologique et les écosystèmes naturels et l'impact en dehors du périmètre du projet de l'activité de boisement ou de reboisement relevant du MDP. En cas d'impact négatif jugé important par les participants au projet ou la Partie hôte, les participants ont entrepris une évaluation de l'impact socioéconomique et/ou une évaluation de l'impact environnemental conformément aux procédures requises par la Partie hôte. Les participants au projet doivent soumettre une déclaration confirmant qu'ils ont procédé à cette évaluation conformément aux procédures requises par la Partie hôte, et joindre une description des mesures de surveillance ou de remise en état prévues pour remédier à ces impacts ;

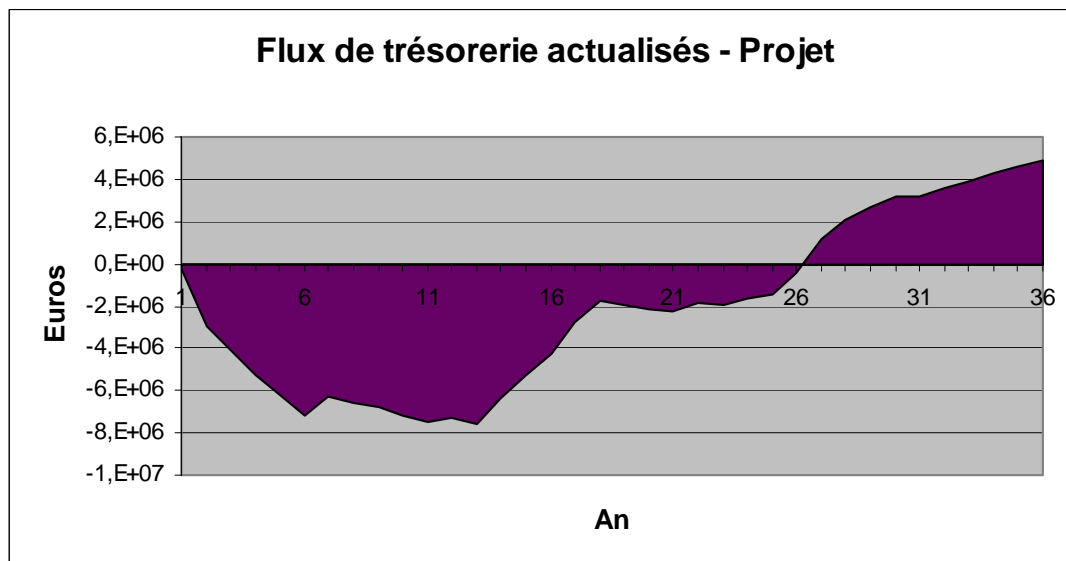
Ce projet devrait générer 6,3 millions de tCER en 30 ans et créer 230 emplois directs. Il est intéressant de constater que le projet ne va commencer à générer des crédits seulement après 10 ans (cf Figure 20).



**Figure 20 : Crédits générés par le projet ONF au Chili**

Le taux de retour sur investissement avec les crédits carbone est de 10,77 %. Sans les crédits carbone, il serait de seulement 9,94 %. La valeur annuelle nette avec les crédits carbone est de 4,9 millions d'euros et elle serait de 3 millions d'euros sans les crédits<sup>59</sup>.

La Figure 21 montre les flux de trésorerie actualisés du projet. Le projet devient rentable après seulement 26 ans.



**Figure 21 : Flux de trésorerie du projet ONF au Chili**

<sup>59</sup> Hypothèses : Taux d'actualisation = 8 %, inflation = 3 %, 1 tCER = 0,11 \* prix carbone, 1 tonne de CO<sub>2</sub> = 10 €, Coûts fixes initiaux = 200 000 €, Certification des mesures carbone (/ 5 ans) = 30 000 €, Coût du suivi mesures (/ 5 ans) = 20 €/ha

## 6. Bilan du protocole de Kyoto au regard des objectifs de la partie 2

Les parties ont inventé des solutions ingénieuses aux nombreux problèmes soulevées par le traitement du secteur de l'utilisation des terres et de la foresterie dans le protocole de Kyoto. **La plus grosse erreur lors des négociations a certainement été de négocier le volet forêt après le volet fossile car cela a rendu les négociations sur la forêt, qui étaient complexes, extrêmement difficiles.** La majorité des négociateurs s'accorde pour dire que le système actuel est imparfait et pourrait être amélioré. C'est pourquoi il est utile de réfléchir dès aujourd'hui aux améliorations et évolutions possibles pour l'après 2012.

Les objectifs généraux de l'inclusion du secteur de la forêt et de l'agriculture dans le protocole de Kyoto évoqués dans la partie 2 étaient :

- Maintenir les réservoirs majeurs de biomasse, c'est à dire notamment réduire les émissions liées à la déforestation, la dégradation de la forêt, et l'exploitation non durable du bois ;
- Promouvoir l'utilisation durable de la biomasse en substitution des matériaux ou pour l'énergie ;
- Augmenter les réservoirs de biomasse ;

Le système mis en place pour la période 2008-2012 actuel ne répond que partiellement au premier objectif puisque seuls les pays de l'annexe 1 sont incités à limiter les défrichements. Les émissions liées à la déforestation dans les pays en voie de développement ne sont pas contrôlées dans le protocole.

Le deuxième objectif est traité indirectement : dans la mesure où les émissions du secteur énergétique et des secteurs intensifs en énergie (acier, ciment) sont comptabilisées, il existe une incitation à la substitution. Néanmoins, l'incitation n'est pas optimale puisque le stockage temporaire du carbone dans les produits bois n'est pas pris en compte (les parties n'ont pas encore pu se mettre d'accord sur des règles d'inventaires acceptables pour comptabiliser ce compartiment). Cette incitation existe aussi dans les pays en voie de développement grâce aux projets MDP.

Enfin, le troisième objectif n'est traité que partiellement. Il existe une incitation au boisement dans les pays en voie de développement via les projets MDP forêt de boisements. L'article 3.3 crée effectivement une incitation similaire dans les pays développés. En revanche, la majorité des parties à l'annexe 1 ne sont pas incitées à augmenter la séquestration par unité de surface dans les forêts gérées. L'incitation n'existe pas non plus dans les pays en développement.

#### IV. LE DEBAT SUR LES EVOLUTIONS FUTURES

La séquestration du carbone dans les réservoirs de carbone terrestre présente un certain nombre de particularités, identifiées dans les chapitres précédents, qui rendent leur traitement complexe :

- l'effet de saturation des réservoirs de carbone, c'est à dire le fait que les absorptions par les puits risquent de diminuer dans le temps pour des raisons structurelles ;
- Le risque de non permanence des absorptions, avec en particulier le risque que le puits de carbone des écosystèmes terrestre se transforme sur le long terme en source ;
- Les incertitudes liées à la mesure des absorptions/émissions. La marge d'erreur est très large puisque les fourchettes d'estimation des absorptions par le puits de carbone des écosystèmes terrestres sont entre 16 et 30 % des émissions fossiles.
- La différence d'échelle entre le stock de carbone des écosystèmes terrestre (2 500 GtC), stock qui n'est pas figé et circule en permanence, et les variations de ce stock induites par l'homme (+2 GtC/an). La biosphère stocke environ 4 fois la quantité de carbone contenue dans l'atmosphère : un faible changement dans la biosphère terrestre peut altérer de façon significative la concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub>. Par ailleurs, la variabilité annuelle des flux est très élevée ; elle peut être plus importante que les efforts de réduction ;
- L'inertie du système : il existe un temps de latence élevé entre la décision d'augmenter l'absorption par les réservoirs (plantation) et le moment où ces absorptions sont effectives. Un réservoir de carbone (forêt) approche l'équilibre au bout de 20-100 ans.

Le système créé à Kyoto est très complexe et pourrait certainement être amélioré. Un préalable essentiel pour le post 2012 est que le dispositif général pour le secteur de l'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et de la foresterie (UTCF) soit élaboré avant la prise d'engagement quantitatif par les pays de l'annexe 1, sans quoi la négociation du système risquera de nouveau d'être capturée par des questions stratégiques. **Si des changements radicaux dans le traitement du secteur étaient décidés, il serait essentiel que ces changements soient cohérents avec les systèmes d'inventaires actuellement développés dans certains pays de l'annexe 1 et qui sont coûteux** (au Canada notamment). Ainsi, le système retenu devra offrir une certaine compatibilité avec le système existant ou tout au moins la flexibilité nécessaire pour assurer une transition douce vers un nouveau système d'inventaire si elle est nécessaire. Cela permettra aussi d'assurer une cohérence des séries de données des inventaires dans le temps.

##### 1. La mise en place d'un protocole séparé pour le secteur de l'utilisation des terres n'apparaît pas souhaitable

Le protocole de Kyoto a conduit à la fusion des comptabilités des émissions fossiles et des absorptions par les puits au sein d'un quota hybride unique permettant la substituabilité des absorptions par les réservoirs terrestres aux efforts de réduction des émissions fossiles. **Cette possibilité de substitution est une des raisons pour laquelle l'inclusion des puits dans le protocole de Kyoto a soulevé de telles oppositions.** Certains craignaient que le secteur UTCF offre des opportunités de réduction à bas coût sur le court terme et empêche que des efforts importants de réduction soient mis en œuvre sur les émissions fossiles. D'autres soutenaient que les efforts fossiles et puits ne sont pas strictement équivalents étant donné les problèmes de fuites et de non permanence. En effet, selon eux, le rôle joué par les puits terrestres dans le cycle du carbone est par essence différent de celui des émissions provenant du réservoir fossile. Les émissions fossiles reviennent à injecter du carbone depuis un réservoir

inerte aux échelles de temps considéré, i.e. n'interagissant pas, par ailleurs, avec le reste du cycle. Ce n'est pas le cas pour les émissions provenant de la déforestation tropicale, de même que pour les puits biologiques qui ne séquestrent pas du carbone de manière « déconnectée » du reste du cycle. Ce constat simple fait que les abattements fossiles ne peuvent être décrétés a priori comme totalement interchangeables avec des politiques de séquestration.

Néanmoins, le point qui pose le plus de problèmes concernant l'inclusion du secteur UTCF dans le dispositif global est probablement celui des **incertitudes sur la mesure des émissions et absorptions du secteur**. Ce point pourrait effectivement être réglé par la mise en place d'un protocole séparé, traitant spécifiquement des puits de carbone, qui pourrait alors se baser sur des règles de comptabilisation simplifiées.

### **Proposition de baser l'inventaire sur des stocks de carbone moyens**

Kirschbaum et al. 2001 and Schlamadinger et al. 2004 ont proposé de déterminer un stock de carbone moyen pour chaque catégorie de terres, à partir des résultats de recherches revues par les pairs. Les pays obtiendraient des crédits carbonés quand les terres changeraient de catégorie, pour un montant égal à la différence des stocks de carbone entre l'ancienne et la nouvelle catégorie. Les crédits ne seraient pas générés immédiatement mais au fur et à mesure que le changement de terre se produirait pour atteindre le stock de carbone moyen. Un pays qui serait capable de montrer que son système de gestion des terres a permis de changer le stock moyen de carbone d'une classe de terre, à usage des terres constant, pourrait aussi demander à bénéficier d'un coefficient plus élevé.

Cette approche ne se concentre pas sur les stocks de carbone mais sur les **différences relatives entre ces différents stocks**. Comme elle n'adresse que les changements de stock dus aux pratiques de gestion ou au changement d'usage des terres, elle résout le problème de la séparation des effets humains : il n'y a plus d'effets de classe d'âge ; seuls les effets dus à la gestion humaine sont pris en compte<sup>60</sup>.

L'inconvénient de cette méthode est que les classes de terres n'existeraient que conceptuellement et ne pourraient pas être vérifiables sur le terrain. Par ailleurs, il sera difficile d'estimer des moyennes pour chaque catégorie d'activités. De nombreuses caractéristiques des terres devront être examinées ce qui amènera les négociateurs à vouloir déterminer un trop grand nombre de catégories. De plus, il pourrait être difficile de se mettre d'accord sur les temps de transition d'une catégorie à l'autre. **Le risque est que la simplicité de cette approche se perde lors de la mise en oeuvre**. Enfin, dans la mesure où les estimations des absorptions devront être faites dans le cadre des inventaires UNFCCC, il n'est pas évident que cette méthode permette vraiment de gagner du temps.

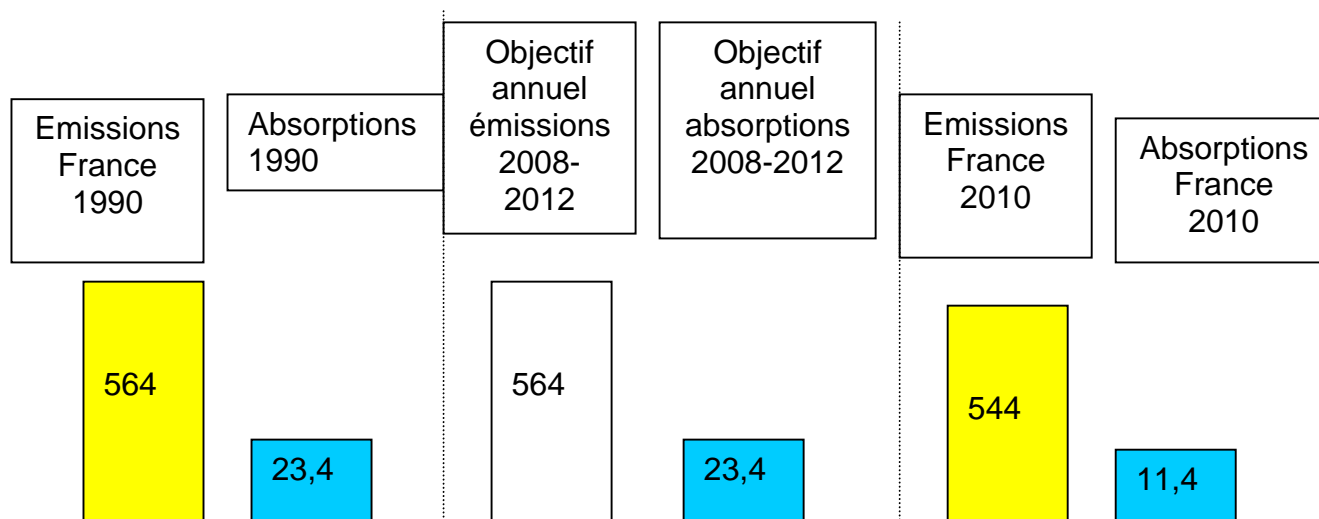
Un protocole séparé présente surtout un intérêt si certains grands pays en voie de développement, dont les taux de déforestation sont élevés, prennent des objectifs de réduction. En effet, comme expliqué dans les parties 1 et 2, les incertitudes sur les émissions liées à la déforestation sont très élevées. Si on veut fixer un objectif de réduction dans un pays comme le Brésil, on court le risque de fixer un scénario de référence trop lâche et qu'un montant élevé d'air chaud entre dans le système et anihile complètement les efforts de réduction dans le secteur fossile. La mise en place d'un protocole séparé permettrait d'éliminer ce risque. Dans le pire des cas, toutes les parties à l'accord sur les puits auraient des objectifs trop peu

<sup>60</sup> Cela n'est pas idéal au niveau incitatif car les effets de classes d'âge peuvent être dues à l'action de l'homme et recherchés pour maximiser le stockage.



contraignants, et le protocole concernant les puits serait inefficace. Mais au moins, le protocole sur les émissions fossiles resterait contraignant.

Les avantages d'une approche avec un protocole séparé apparaissent cependant faibles au vu des risques et inconvénients qu'elle présente. Premièrement, négocier deux protocoles séparément fait courir le risque qu'un seul des deux protocoles soit négocié, ou que certaines parties ne ratifient qu'un seul des deux protocoles (le plus avantageux pour elle). En particulier, les parties qui ont des émissions élevées dans le secteur UTCF n'auraient aucune incitation à ratifier le protocole correspondant. De plus, la séparation des deux protocoles diminuerait la flexibilité offerte aux parties pour remplir leur engagement. **Cette séparation ne serait pas optimale économiquement car les opportunités à bas coût du secteur UTCF ne pourraient pas être utilisées pour diminuer le coût de l'effort sur les émissions fossiles. Surtout, il existe un lien naturel entre les émissions fossiles et les absorptions/émissions par les puits de carbone à cause de la possibilité d'utiliser les biomatériaux et les bioénergies en substitution des combustibles fossiles.** Ce lien est illustré dans le graphique ci-dessous avec l'exemple de la France :



Supposons qu'on augmente l'utilisation de bois et des biomatériaux en France en substitution des combustibles fossiles. Les émissions fossiles françaises diminueraient de 20 MteCO<sub>2</sub> (dans l'exemple ci-dessus, elles passent de 564 MteCO<sub>2</sub> à 544 MteCO<sub>2</sub>). Cependant, si la France augmente sa récolte de bois et donc utilise une plus grande partie de l'accroissement biologique annuel, les absorptions annuelles françaises vont aussi diminuer. Dans l'exemple ci-dessus on suppose que les absorptions diminuent d'un montant de 12 MteCO<sub>2</sub> et que les absorptions passent de 23,4 MteCO<sub>2</sub> à 11,4 MteCO<sub>2</sub><sup>61</sup>. **Ainsi, si on mettait en place deux protocoles séparés, la France courrait le risque, à cause de ces effets de substitution, de remplir son engagement dans le protocole sur les émissions fossiles mais pas dans celui sur les absorptions/émissions par les puits de carbone.** Cet exemple plaide clairement pour une fusion des deux comptabilités.

<sup>61</sup> Une tonne bois capte 1,83 tCO<sub>2</sub> et évite l'émission de 1,83 tCO<sub>2</sub> si elle remplace du charbon, 1,20 tCO<sub>2</sub> si elle remplace du pétrole et 0,95 tCO<sub>2</sub> si elle remplace du gaz naturel (Source : Riedacker).

## 2. Quelles activités comptabiliser ?

Les inventaires du secteur de l'utilisation des terres mis en place dans le cadre du protocole de Kyoto sont relativement complexes, parce que toutes les terres ne sont pas comptabilisées. Sont exclues du cadre comptable les forêts non gérées, et toutes les terres concernées par des activités de l'article 3.4 non retenues par les pays... De plus, il est nécessaire de faire la distinction entre les forêts plantées avant et après 1990 sur l'ensemble des forêts. La conséquence de cette complexité est qu'il est difficile aujourd'hui de savoir quel pourcentage de la surface des pays de l'annexe 1 sera effectivement comptabilisée dans le protocole. Une fois que les parties annexe 1 auront soumis leurs inventaires de Kyoto, la visibilité sur ce point devrait être bien meilleure.

Pour le futur, **la question du périmètre des secteurs couverts est cruciale**. D'un côté, plus le système couvert est large et plus le système est efficace. De l'autre, une large couverture a des implications en terme de coût d'inventaire qu'il est nécessaire d'évaluer.

### 2.1. *La comptabilisation des émissions dues au défrichement devrait demeurer obligatoire*

Il paraît essentiel que la comptabilisation des émissions dues au défrichement demeure obligatoire dans le futur, que ce soit sous la forme de l'article 3.3 ou une autre forme. En effet, comme expliqué dans la partie 2, **le premier enjeu des politiques de lutte contre le changement climatique dans le domaine UTCF est bien le ralentissement de la déforestation**.

Si on décide d'avoir une approche dans la lignée de celle retenue à Kyoto, se pose alors la question de l'asymétrie de l'article 3.3. Une façon de régler ce problème serait de **comptabiliser la déforestation selon une règle nette/nette, ce qui reviendrait en fait à appliquer l'article 3.7 à toutes les parties**. Cela permettrait de limiter les débits des parties à l'article 3.3, tout en gardant l'incitation marginale.

Cette règle de comptabilisation avantage les pays dont les taux de déforestation étaient élevés en 1990 (mais c'est déjà le cas actuellement puisque ces pays ont le droit d'utiliser l'article 3.7). Cela ne devrait pas poser de problème particulier à condition que la règle soit définie avant la prise des engagements de réduction. En effet, dans ce cas, l'avantage des pays dont les taux de déforestation étaient élevés en 1990 pourrait être pris en compte dans les objectifs globaux de réduction.

### 2.2. *Comment gérer les absorptions par les boisements ?*

Si l'asymétrie du 3.3 est réglée concernant les défrichements, il pourrait y avoir plus de flexibilité pour la prise en compte des absorptions liées aux activités de boisements. On pourrait envisager que la comptabilisation des boisements soit optionnelle : les pays pourraient décider de ne pas comptabiliser les boisements/reboisements si les coûts d'inventaires dépassent les bénéfices carbonés.

La règle de comptabilisation pourrait soit être nette/nette, soit brute/nette. L'inconvénient d'une règle nette/nette est qu'elle désavantage les pays qui effectuaient beaucoup de boisements en 1990 : s'ils ne sont pas capables de maintenir un flux élevé de boisements dans le futur, l'effort pesant sur le secteur fossile deviendra à terme plus élevé. **C'est pourquoi la règle**

**brute/nette, qui permet de s'affranchir de ce problème de la référence 1990, apparaît comme plus appropriée.**

En tout état de cause, il est urgent d'initier un programme de plantations dès maintenant étant donné le temps de latence entre la décision de planter et le moment où le puits est effectif. Néanmoins, la question qui se pose est de savoir quand doit se produire le pic d'absorptions par ces plantations (voir les questionnements partie 2).

### 2.3. *Que faire des activités optionnelles ?*

La comptabilisation nette/nette pourrait être maintenue pour la gestion des terres cultivées et la gestion des pâturages. Cette comptabilisation peut poser des problèmes sur le long terme à cause des effets de saturation, lorsque les absorptions vont décroître pour atteindre zéro. Néanmoins, dans la mesure où ces articles concernent des volumes faibles, cela ne devrait pas poser de vrai problème.

On pourrait décider que la prise en compte de ces activités demeure volontaire pour l'après 2012, auquel cas les parties pourraient choisir de prendre ou non le risque lié aux effets de saturation. La règle selon laquelle une fois qu'un pays commence à comptabiliser ces activités, leur comptabilisation devient obligatoire devra être maintenue dans tous les cas.

Une fois qu'un pays a retenu une année de référence pour la prise en compte de ces activités, elle ne devrait pas pouvoir être changée d'une période à l'autre. En revanche, on peut envisager qu'un pays qui décide de comptabiliser ces activités lors de la deuxième période d'engagement puisse avoir le choix entre 1990 ou 2000 comme année de référence. En effet, il ne semble pas qu'un système avec des années de référence différentes pour chaque activité poserait de problème particulier.

### 2.4. *Ajouter de nouvelles activités*

Dans le système actuel, il existe une asymétrie en ce qui concerne l'activité optionnelle de restauration du couvert végétal puisque la dégradation du couvert végétal n'est pas comptabilisée<sup>62</sup>. Les parties ne sont pas responsables des émissions liées à la destruction des haies. Or, elles peuvent bénéficier de crédits si elles en plantent de nouvelles.

Dans le futur, on pourrait envisager que **toutes les activités de dégradation<sup>63</sup> qui diminuent les stocks de carbone moyens soient obligatoires**. Une légère variante serait que les émissions liées aux défrichements soient obligatoirement prises en compte et que les émissions liées à la dégradation du couvert végétal soient prise en compte si un pays retient l'activité restauration du couvert végétal. Les mêmes règles de comptabilisation que pour la

<sup>62</sup> Restauration du couvert végétal : Activités humaines directes visant à accroître les stocks de carbone par la plantation d'une végétation couvrant une superficie minimale de 0,05 hectares et ne répondant pas aux définitions du boisement et du reboisement

<sup>63</sup> Les émissions liées à la dégradation des terres sont difficiles à évaluer. Selon le guide des bonnes pratiques du GIEC, il existe uniquement une méthode de comptabilisation des émissions liées à la dégradation des prairies mais pas de méthode pour la dégradation des terres forestières, agricoles, des marécages et autres terres. Par ailleurs, il est extrêmement très difficile de faire la part entre les activités humaines et les dégradations liées à des événements naturels. L'inconvénient de cette approche est qu'elle amène à construire un cadre de comptabilisation qui pourrait être très cher.

gestion forestière pourraient s'appliquer : la destruction des haies serait comptabilisée sur un principe net/net et les plantations sur un principe brut/net.

Néanmoins, une telle approche pose de nombreux problèmes de définition et de suivi. En effet, il apparaît aujourd'hui très difficile de distinguer techniquement les cas de dégradation du stock de carbone forestier. Une coupe forestière diminue le stock de carbone de la biomasse sur le court terme mais rend également, si elle est bien faite, le peuplement forestier plus résistant à terme à une tempête etc... C'est une des difficultés à laquelle a été confronté le GIEC dans le rapport sur la dégradation et la dégradation du couvert végétal. Il y a encore beaucoup de recherches à faire sur ce sujet, en travaillant sur ces questions pays par pays dans une approche bottom up en examinant les cas réels, à l'échelle d'un pays et même de la propriété.

### 3. Comment prendre en compte les forêts gérées ?

Si l'asymétrie de l'article 3.3 est réglée, est-il légitime de comptabiliser la forêt gérée dans le protocole de Kyoto ? Comme expliqué dans la partie 1, les forêts existantes entretiennent le flux de carbone dans les écosystèmes mais le carbone n'est pas stocké de façon permanente. En comptabilisant la forêt gérée, on voudrait inciter les propriétaires fonciers à mettre en place des mesures de gestion qui **augmentent la quantité de carbone stockée par unité de surface dans chaque forêt**, en jouant notamment sur la durée des rotations ou les produits bois. On pourrait aussi vouloir chercher à garantir un certain entretien du puits pour le futur (cf partie 2 : en coupant les forêts aujourd'hui, on garantit un puit fort dans 50 ans lorsqu'il sera plus nécessaire ; il peut exister une contradiction potentielle entre action à court terme et action à long terme en matière de gestion de l'UTCF.)

La prise en compte de la forêt gérée pose problème à cause de la non permanence et de la saturation. La non permanence fait surtout porter des risques aux pays dont les écosystèmes brûlent régulièrement et à ceux qui sont touchés par El Nino. Il existe globalement trois façons de gérer ce risque :

- faire des moyennes sur des périodes d'engagements plus longues ;
- rendre l'inclusion de la forêt gérée non obligatoire ;
- limiter le risque légal.

Pour la première période d'engagement, la prise en compte de la forêt gérée au titre de l'article 3.4 était optionnelle mais qu'en sera-t-il pour les périodes d'après ? Normalement, l'article 3.4 devrait devenir obligatoire pendant la deuxième période d'engagement. Néanmoins, une prise en compte obligatoire pour tous les pays sera-t-elle jamais possible étant donné le risque qui y est attaché ? Devrait-on offrir la possibilité à certaines parties d'exclure de larges parties de la forêt si elles peuvent montrer de façon transparente quelles surfaces sont exclues ?

#### 3.1. *Comptabilité brute/nette*

##### ❖ *Séparation des effets anthropiques*

Au moment où les accords de Marrakech ont été négociés, il n'était pas possible, selon le GIEC, de distinguer les absorptions par les forêts dues à des actions de gestion humaines de celles naturelles. C'est pourquoi les parties ont mis en place les plafonds arbitraires de l'annexe Z pour la forêt gérée. Cette comptabilisation avec des plafonds n'est pas incitative : il n'y a pas d'incitation marginale pour les pays de l'annexe 1 à améliorer le flux d'absorption.

La science a progressé ces dernières années et il est possible aujourd'hui d'estimer plus précisément la part des absorptions par les forêts qui sont dues à des actions humaines.

Néanmoins, selon le GIEC (2003), la séparation des actions dues à l'homme de l'augmentation globale n'est pas encore possible. **On pourrait néanmoins envisager que le GIEC définisse des facteurs de réduction moins arbitraires que ceux retenus à Marrakech. Néanmoins, le système ne serait toujours pas incitatif.**

❖ *Ne plus distinguer les effets dus à la gestion de l'homme*

A l'inverse, on pourrait décider dans le futur de ne plus chercher à distinguer les absorptions dues à l'homme des absorptions naturelles. Cela permettrait d'enlever la catégorisation artificielle actuelle et d'obtenir des résultats plus cohérents. La principale objection à cette approche est qu'il n'y a *a priori* pas de raison de **prendre en compte des absorptions sur lesquelles l'homme ne peut avoir aucune action**. Surtout, la comptabilisation brute/nette amène à prendre en compte l'intégralité du puits de carbone des écosystèmes terrestre (2 GtC) dans le système de Kyoto et pose donc de façon cruciale la question de la pérennité de ce puits. Supposons par exemple que le Brésil prenne un engagement, comment pourrait-il gérer les fluctuations d'absorptions annuelles de la forêt amazonienne avec une telle règle de comptabilisation ? De plus, le Brésil devrait-il être tenu pour responsable si l'Amazonie disparaît à cause du changement climatique? **On voit que la question de la séparation des effets anthropiques se pose inévitablement.**

Il a été proposé de sortir certains terrains de la comptabilisation après un événement naturel (destruction de la forêt à cause d'une éruption volcanique, guerre), le temps que les stocks se reconstituent au niveau de départ. Cette période de grâce serait évaluée par une équipe internationale en face de critères établis à l'avance. En revanche, un feu induit par l'activité humaine pourrait ne pas être exclu. Si pendant la durée du temps de latence, il y a une décision de convertir la forêt sur une différente classe avec des niveaux plus faibles, il faudrait que la différence entre les classes soit prise en compte comme un débit.

### 3.2. *Comptabilité nette/nette*

La comptabilité nette/nette a l'avantage de limiter le problème de la variabilité inter-annuelle car les effets indirects et naturels ont tendance à s'annuler. En retenant une période de référence (type 1990-1995) au lieu de la référence à la seule année 1990, on pourrait lisser un peu plus cette variabilité. Des effets résiduels indirects et naturels demeureraient néanmoins, en particulier le risque de diminution brutale de l'absorption pendant la période d'engagement, similaire à ce qui s'est produit en 1999 lors de la tempête dans les forêts françaises. Pour le limiter, les engagements concernant les absorptions par le secteur UTCF pourraient être pris sur **des périodes d'engagement plus longues** (10 ans au lieu de 5).

La comptabilité nette/nette pose surtout le problème de saturation des forêts. Dans certains pays, le flux d'absorptions par les forêts va diminuer à cause de l'effet « classe d'âge ». Or, la comptabilité nette/nette ne permet pas de prendre en compte l'état initial ou le stock de départ. Ce problème peut néanmoins être réglé en fixant des **objectifs pour la forêt gérée différenciés dans chaque pays en fonction des circonstances nationales**. Si un pays que son flux d'absorptions va diminuer mécaniquement dans le temps, l'objectif portant sur la forêt gérée pourrait être adapté ; cela réduirait le risque que l'effort demandé au secteur fossile soit plus élevé à terme.

Néanmoins, cette proposition suppose d'être capable de définir un scénario de référence pour les absorptions dans chaque pays. Ce scénario sera probablement difficile à négocier et amènera des batailles de modèles, ce qui implique probablement de standardiser sa



détermination. Il devra en plus être revu sur une base régulière. C'est donc une option intensive en données et en analyse. Sa complexité pourrait contribuer à une meilleure équité en permettant une différenciation des circonstances nationales des parties. En même temps, elle va aussi rendre la négociation plus difficile et éventuellement moins acceptable pour le public et les ONG.

### 3.3. *Quelle que soit la règle de comptabilisation retenue, il y aura un problème d'affichage*

A Kyoto, les grands pays (UE, Etats-Unis, Canada et Japon) ont souhaité afficher des engagements similaires en pourcentage alors que leurs situations nationales étaient très différentes. Ce dogme de l'adoption d'objectifs de réduction ambitieux et aussi convergents que possible, les a amené à utiliser la solution des puits pour alléger la contrainte globale de réduction. La définition de la référence, en jouant sur le secteur de l'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et de la foresterie (UTCF), est donc devenue cruciale car c'était la seule variable d'ajustement de l'effort finalement requis. Les parties ont clairement préféré définir une référence plus haute (en oubliant les puits) tout en affichant un pourcentage de réduction plus important, que de faire l'inverse. En effet, **la question du choix de la référence est très technique, alors que celle du pourcentage de réduction se résume en un chiffre très porteur médiatiquement.**

Le Japon par exemple a pris un engagement (- 6 %) similaire à celui de l'Europe (- 8 %) et des Etats-Unis (-7 %). Or, cet objectif est extrêmement ambitieux et coûteux pour ce pays qui est extrêmement efficace énergétiquement et dont le nucléaire représente une part importante de la production d'électricité. La prise en compte des puits a permis un relâchement de la contrainte du Japon mais qui n'est pas apparente sur l'objectif de réduction. **Si on change le mode de comptabilisation de la forêt gérée, il faudra ensuite que les hommes politiques soient capables d'expliquer au grand public les différences d'objectifs de réduction entre pays pour la période post 2012.**

### 3.4. *Le problème spécifique de la prise en compte des produits bois*

Le système actuel incite les pays à substituer des produits intenses en CO<sub>2</sub> comme le ciment ou l'acier, ou les combustibles fossiles par des produits bois. En revanche, il ne prend pas en compte le fait que le bois utilisé pour construire une maison stocke temporairement du carbone. En effet, dans le cadre du protocole de Kyoto, les accords de Marrakech (11/CP.7) ne précisent pas que les variations du réservoir produit bois doivent être prises en compte.<sup>64</sup> Il faudrait pourtant les inclure si on veut créer une incitation pour augmenter le réservoir des produits bois. Des politiques volontaristes pourraient ensuite augmenter sur le long terme la quantité de bois immobilisée dans les produits. Néanmoins, la comptabilisation des produits bois est un sujet extrêmement complexe. La simple estimation des stocks existants est sujette à de grandes incertitudes : entre 4,2 GtC selon le GIEC (1996) et 10 et 20 GtC selon Sampson et al (1993). Les variations estimées de ce stock sont encore plus faibles, et tout aussi incertaines : 139

<sup>64</sup> « 21. Chaque Partie visée à l'annexe I comptabilise toutes les variations des réservoirs de carbone suivants: biomasse aérienne, biomasse souterraine, litière, bois mort et carbone organique des sols. Une Partie peut choisir de ne pas comptabiliser un réservoir donné au cours d'une période d'engagement si elle communique des informations transparentes et vérifiables établissant que le réservoir en question n'est pas une source. »

MtC/an pour Winjum et al. (1998), 26 MtC/an pour selon le GIEC (1999)), 30-60 MtC/an selon Pingoud (2003).<sup>65</sup>

### **Méthode d'estimations du réservoir « produits bois », développées par le GIEC**

Dans la méthode par défaut du GIEC, on suppose que les produits bois récoltés sont immédiatement oxydés. C'est la méthode par défaut pour les inventaires nationaux de GES. Elle suppose que le stock de bois hors forêts, notamment dans les constructions, reste constant.

Le GIEC recommande cependant, dès lors que le pays peut prouver que ses stocks de long terme sont croissants, de mettre en place une comptabilisation des produits. Il a développé plusieurs méthodes de comptabilisation des produits bois :

- **Méthode 1, dite des « variations de stock » : Estimation des changements annuels des stocks de carbone des produits bois dans le pays sans se préoccuper de l'origine du bois.** Le pays reporte les changements de stocks de ses produits bois, en additionnant les importations et de la récolte annuelle et en soustrayant toutes les exportations. Cette méthode ne s'intéresse qu'à l'évolution des stocks de carbone dans le pays et considère que les produits bois ne sont pas attachés à un terrain spécifique. Elle présente l'avantage de ne pas pénaliser les acheteurs de bois. Elle est aussi cohérente avec les principes généraux du protocole qui consistent à ne récompenser que les réductions d'émissions réalisées dans le pays. C'est la méthode préférée de l'Union européenne.
- **Méthode 2, dite « approche production » : Estimation des changements annuels des stocks de carbone dans les produits bois, en suivant les produits bois depuis leurs pays d'origine.** Le pays reporte tous les changements de stocks des produits bois qui sont originaires de son territoire national, c'est à dire qu'il suit les produits bois qui sont exportés. Cette méthode considère que les produits bois sont attachés à un pays spécifique. Elle privilégie les pays exportateurs puisque le pays où la forêt pousse bénéficie des crédits pour les absorptions des produits bois qu'il vend. Le pays importateur doit prendre en charge les émissions résultant de l'utilisation et de la décomposition de ce bois, soit de l'ordre de 1,83 tCO<sub>2</sub> par tonne de bois. Cette méthode crée une incitation à l'exportation mais pas à l'importation : les pays importateurs ne sont pas incités à augmenter leur consommation de bois. Elle suppose en outre une comptabilité fine des échanges.
- **Méthode 3, dite approche des flux atmosphérique : Estimation des flux atmosphériques annuels entre l'atmosphère et les forêts/produits bois à l'intérieur du territoire national.** Cette méthode se concentre directement sur les flux et non sur les changements de stocks. Elle ressemble à la méthode 1 au sens où il n'y a pas de suivi des exportations de produits bois par le pays d'origine.

Ces différentes méthodes ne sont pas sans poser d'immenses défis techniques (vérification, système de comptabilisation), tout en soulevant quelques questions de fond, et notamment celle de la « rémunération », **partagée ou non, du stockage entre producteurs et consommateurs**. Ces questions sont délicates à résoudre dans le cas du commerce international de bois : les pays traditionnellement exportateurs de bois (ex : la Nouvelle-Zélande), et les pays fortement importateurs (ex : la Japon), ayant tous deux une légitimité à réclamer une partie du crédit, les uns parce qu'ils sont responsables de la constitution du stock, les autres parce qu'ils créent la demande.

<sup>65</sup> d'après V Gitz.

Avec la méthode 2, la difficulté est que le pays qui reporte son stock de produit bois n'est pas nécessairement le pays qui contrôle ce stock.

Pour les méthodes 1 et 3, la comptabilisation des produits bois est liée à la comptabilisation des forêts gérées. Pour qu'un pays puisse comptabiliser les émissions dans son réservoir « produits bois », il faudrait soit qu'il ait décidé de retenir l'activité « gestion des forêts » au titre du 3.4 ; soit qu'il puisse prouver que les forêts gérées ne sont pas une source nette sur son territoire. En effet, si une telle condition n'est pas mise en place, un pays pourrait surutiliser une forêt qui n'est pas comptabilisée pour maximiser le stock de produits bois reporté. Ou bien, si la comptabilisation des émissions dans le réservoir produit bois n'est pas obligatoire dans tous les pays, un pays qui a choisi de prendre en compte les produits bois pourrait comptabiliser ses importations de bois en provenance d'un pays qui ne les retient pas dans sa comptabilisation.

#### **4. Pistes d'amélioration du MDP**

##### *4.1. les projets MDP de déforestation évitée*

La déforestation tropicale, source majeure de CO<sub>2</sub>, n'est pas encadrée par le texte du protocole de Kyoto alors que c'est probablement l'un des enjeux les plus importants. Les débats sur l'inclusion possible de la déforestation dans le MDP ont été intenses : d'une part, certains entretenaient la crainte que les programmes ne puissent pas contrer les facteurs à l'origine de la déforestation (demande de bois, programmes de développement, pression agricole), et donc **qu'il en résultât irrémédiablement un déplacement du défrichement à d'autres endroits** : des crédits eussent alors été générés sans bénéfice net pour l'atmosphère à cause des **effets de fuites**. D'un autre côté, des voix s'élevaient pour rappeler que la **conservation des stocks de carbone des forêts tropicales était un enjeu majeur de toute politique climatique**. Tout d'abord, les émissions de carbone liées au défrichement ne sont pas négligeables par rapport aux émissions fossiles globales. Ensuite, ces forêts représentent des stocks carbone qui ne peuvent être remplacés à court terme par des plantations ou par la repousse de forêts secondaires. Troisièmement, ces forêts pourraient avoir une capacité de stockage de long terme. Enfin, il y a une incitation environnementale supplémentaire à conserver ces forêts en présence d'une perturbation anthropique du cycle du carbone, du fait de leur rôle stabilisateur sur les concentrations de CO<sub>2</sub> atmosphérique.

Des projets MDP de déforestation évitée permettraient de créer une incitation pour les propriétaires à préserver les stocks de carbone.

##### Le projet « Noel Kempff climate action project »

Il existe aujourd'hui quelques exemples de projets pilotes sur la déforestation évitée. Le projet « Noel Kempff climate action project » a débuté en 1997 en Bolivie et couvre 832 000 hectares de forêt tropicale, adjacent au parc national « Noel Kempff Mercado ». Entre 1997 et 2005, le projet a permis de stocker 989 622 tonnes de CO<sub>2</sub>. Ces émissions de CO<sub>2</sub> ont été évitées parce que la déforestation a été stoppée dans l'aire couverte avec la cessation des contrats d'exploitation dans les concessions et parce que l'agriculture sur brûlis a été réduite par l'initiation de programmes alternatifs pour les communautés. Les fuites générées par le projet sont principalement de deux ordres : l'exploitation du bois s'est déplacée en dehors des frontières du projet et la production domestique a été remplacée par une production internationale. Les fuites du projet sont estimées à 171 618 tonnes de CO<sub>2</sub>, elles sont prises en compte dans le montant d'émissions évitées estimé du projet.

Les objections à l'extension du MDP puits à la déforestation évitée portent sur le **potentiel de fuite important, la mesure de l'incertitude, la non permanence des émissions évitées et la difficulté de définir un scénario de référence par projet pour la déforestation dans ces pays.**

Outre les problèmes d'incitation évoqués dans la partie 2, l'élément déterminant en défaveur des projets de déforestation évitée a été la position du gouvernement brésilien qui ne pouvait pas accepter le paquet global si de tels projets étaient inclus. Les principaux arguments avancés par la délégation brésilienne étaient les suivants :

- La conservation des stocks de forêts existants ne participe pas à l'atténuation des émissions ;
- Etant donnée l'ampleur du stockage de carbone dans les forêts, la déforestation évitée pourrait annuler les réductions d'émissions sous le protocole de Kyoto ;
- Vu les problèmes d'additionnalité et de fuite, il ne sera jamais possible de vérifier qu'un projet de déforestation évitée a réellement permis de réduire les émissions

Cette position, très dure, s'explique aussi par le fait que le Brésil est déjà très exposé politiquement par le problème de la déforestation et il craint qu'en ouvrant ce champ aux mécanismes internationaux, il soit soumis à des pressions encore plus importantes.

#### 4.2. MDP sectoriel

Le débat sur la déforestation évitée est revenu sur le devant de la scène récemment avec la nouvelle proposition de Santilli et al (2005), qui a été reprise par le gouvernement de la Papouasie Nouvelle Guinée lors de la COP 11 à Montréal en 2005. L'idée serait de mettre en place un **mécanisme MDP sectoriel : un pays pourrait gagner des crédits pour la mise en place d'une politique domestique de réduction de la déforestation.** Le pays recevrait des crédits s'il s'engage à ne pas augmenter (ou à diminuer) la déforestation dans le futur. **C'est une approche à l'échelle du pays et non une approche par projet.** L'intérêt de cette approche comparée à une approche par projet est que le **risque de fuites est beaucoup plus faible puisqu'on raisonne à une échelle plus globale.** Cette proposition s'apparente à un **objectif non contraignant, avec une comptabilisation nette/nette.**

Les auteurs reconnaissent qu'il existe effectivement un risque de fuite par le marché via les exportations de bois. Néanmoins, ils font valoir que ce problème existe déjà actuellement car les activités qui augmentent les stocks de carbone dans l'annexe 1 sont créditées alors que la destruction de la forêt dans les pays en voie de développement n'est pas débitée. Un pays de l'annexe 1 qui arrêterait d'exploiter la forêt chez lui et importerait du bois tropical, recevrait toujours des crédits sous l'article 3.4. **C'est pourquoi les auteurs pensent que leur proposition n'augmenterait pas le problème des fuites et au contraire le diminuerait.**

Un point crucial pour la crédibilité de cette proposition est la **détermination du scénario de référence.** Santilli et al proposent de fixer le scénario de référence dans les années 1980 et de réviser ce scénario seulement tous les 20 ans pour inciter les pays à maintenir leurs efforts. Les pays ayant de larges forêts tropicales et de faibles taux de déforestation à ce jour comme le Pérou et la Bolivie auraient le droit de fixer des scénarios de référence plus élevés que leur scénario en 1980, ceci afin de les encourager à participer et réduire la déforestation dans le futur.

Néanmoins, les auteurs n'abordent pas vraiment le problème de fond qui est celui de **l'évaluation des émissions liées à la déforestation.** Comme expliqué dans la partie 1, les

controverses scientifiques sont encore nombreuses sur le sujet. Ce point de l'évaluation des émissions dues à la déforestation est crucial car une mauvaise estimation des émissions pourrait annihiler les efforts de réduction du secteur fossile. Les émissions liées à la déforestation au Brésil sont estimées entre 549 MteCO<sub>2</sub> et 915 MteCO<sub>2</sub>/an. Si on fixe un objectif au Brésil un objectif de 947 MteCO<sub>2</sub> et que la déforestation est en réalité de seulement 549MtCO<sub>2</sub>, il y a une création « d'air chaud » d'un montant de 398 MteCO<sub>2</sub>. La France a un rôle particulier à jouer dans ce domaine car c'est le seul pays de l'annexe 1 qui ait des forêts tropicales. **L'expérience française sur l'inventaire Kyoto en Guyane devrait être extrêmement utile pour la négociation que ce soit en terme d'information sur la faisabilité de l'inventaire ou sur les données sur les émissions par hectare.**

L'idée d'un objectif contraignant sur la déforestation doit être écartée car étant données les incertitudes sur le scénario de référence, un pays ne pourrait accepter qu'un scénario conservateur. Le risque de générer de l'air chaud est donc très élevé pour un objectif contraignant. **C'est pourquoi un objectif non contraignant mais ambitieux pourrait être plus approprié.**

L'autre problème qui se pose est celui de la permanence des réductions d'émission : un pays qui a reçu des crédits pendant une période devra t-il être tenu pour responsable si les émissions liées à la déforestation réaugmentent dans la période suivante ? On peut envisager deux façons de traiter ce point :

- Le pays qui a reçu les crédits serait responsable des émissions dans la période suivante et donc devrait éventuellement acheter des crédits si les zones préservées dans la première période sont déforestées. Le pays pourrait s'assurer contre ce risque en mettant dans une réserve une partie des certificats générés pour se protéger en cas d'émissions excessives dans les périodes d'engagement suivantes.
- Le pays ne serait pas responsable de la réémission. Dans le cas, on pourrait envisager de mettre en place un système de crédits temporaires comme pour le MDP forêt.

La complexité du traitement de la déforestation ne doit cependant pas nous faire perdre de vue le problème global : la déforestation tropicale est catastrophique le climat et pour l'environnement en général et il est urgent d'agir. **Si les émissions de la déforestation ne peuvent pas être mesurées avec perfection, on peut envisager de prendre des scénarios relativement conservateurs. Les parties recevront moins de crédits mais l'intégrité environnementale du système sera assurée.**

Néanmoins, le point le plus le plus critique est que ces propositions au niveau international n'ont un sens que s'il est effectivement possible de réduire la déforestation au niveau local. **Or, comme expliqué dans la partie 2, les causes de la déforestation sont nombreuses et il manque de ressources pour mettre en œuvre la réglementation existante.** L'article 3.3 pour les pays de l'annexe 1 fournit une expérimentation grandeur nature du succès que pourrait être le MDP sectoriel sur la forêt tropicale. **Or, aucun pays de l'annexe 1 ne s'est organisé à ce jour pour agir réellement en vertu de l'incitation induite par l'article 3.3.**



**L'exemple de la Nouvelle Zélande :**

La Nouvelle Zélande avait prévu que son taux de plantation serait de 50 000 hectares par an sur la période Kyoto ce qui aurait généré 23,4 MteCO<sub>2</sub>/an au titre de l'article 3.3. Les Néozélandais auraient ainsi largement atteint leurs objectifs de Kyoto puisque leurs émissions étaient de 30,52 MteCO<sub>2</sub> en 1999 et que leur objectif (0 %) est de 25,3 MteCO<sub>2</sub> à quoi il aurait fallu rajouter **les 23,4 MteCO<sub>2</sub> générés par les plantations** (article 3.3) soit un objectif de **48,7 MteCO<sub>2</sub>**. La Nouvelle Zélande prévoyait de dépasser son objectif de 6,52 MteCO<sub>2</sub> sur la période Kyoto. Le gouvernement avait basé ses calculs sur l'extrapolation du rythme de conversion de prairie en nouvelles plantations forestières qui prévalait depuis que le Royaume Uni a rejoint la Communauté européenne, avec la perte du débouché protégé pour la production laitière. Or, il apparaît qu'ils ne dépasseront pas l'objectif de Kyoto, comme initialement prévu, car le cours du lait a flambé dans la région Asie Pacifique. Aujourd'hui, le rythme des plantations forestières a été divisé par 2 (10 000 ha/an) et beaucoup de plantations des années 70 retournent en prairie après exploitation du bois (au moins 9 000 ha devraient être déforestés pendant la période Kyoto). Les plantations ne généreraient au final que 16,12 MteCO<sub>2</sub> et, selon les dernières projections, la Nouvelle Zélande dépassera son objectif de Kyoto de 7 MteCO<sub>2</sub>/an.

Le cas de la Nouvelle Zélande illustre **l'immense difficulté politique à s'organiser pour éviter les déboisements en transférant l'incitation vers les propriétaires fonciers, même pour un pays qui dispose d'un contrat social assez fonctionnel. La question de savoir s'il est pertinent d'inciter de la même manière certains pays Non Annexe 1 alors que les difficultés politiques internes sont d'un autre ordre est donc cruciale.**

## CONCLUSION

La décision de comptabiliser les absorptions de la forêt dans les émissions nettes des pays de l'annexe 1 a été très controversée lors des négociations du protocole de Kyoto. Au niveau économique, l'enjeu était de mettre en place des instruments qui permettent aux acteurs d'effectuer des arbitrages entre les différents usages des sols afin d'optimiser l'utilisation des terres pour lutter contre le changement climatique.

La solution retenue à Kyoto pour traiter ce secteur est avant tout le résultat d'une négociation politique qui s'est déroulée dans un contexte où certains pays cherchaient à relever le quota qui leur avait été fixé dans le protocole grâce aux puits. C'est pourquoi elle pourrait certainement être améliorée. Dans un contexte où la réflexion sur la forme du protocole pour la période post 2012 est lancée, il est temps de relancer un débat de fond. Plus les règles pour le traitement des puits dans le futur seront déterminées à l'avance de la prise d'engagement, plus les chances qu'elles soient cohérentes seront grandes. Ces réflexions doivent être menées en lien avec les réflexions sur la gouvernance globale des forêts qui se tiennent dans d'autres enceintes (voir annexe 8). **La question du périmètre des secteurs couverts est cruciale.** D'un côté, plus le système couvert est large et plus le système est efficace. De l'autre, une large couverture a des implications en terme de coût d'inventaire qu'il est nécessaire d'évaluer.

On peut d'ores et déjà avancer des éléments de cadrage des propositions.

- La mise en place d'un protocole séparé pour le secteur de l'utilisation des terres n'apparaît pas souhaitable ;
- La comptabilisation des émissions dues au défrichement sous le 3.3 devrait demeurer obligatoire car le premier enjeu des politiques de lutte contre le changement climatique dans le secteur forestier est bien le ralentissement de la déforestation. Elle pourrait néanmoins être effectuée selon une règle nette/nette ce qui reviendrait en fait à appliquer l'article 3.7 à toutes les parties. Cela permettrait de limiter les débits des parties à l'article 3.3, tout en gardant l'incitation marginale.
- On pourrait envisager que la comptabilisation des boisements sous le 3.3 soit optionnelle. La règle brute/nette, qui permet de s'affranchir du problème de la référence 1990, pourrait être plus appropriée pour les boisements (la règle serait différente de celle pour les défrichements mais cela ne pose pas de problème particulier).

En ce qui concerne la forêt gérée, le système mis en place à Kyoto n'est pas incitatif ; son principal mérite est d'avoir encouragé les pays hésitant à ratifier le protocole. Les particularités de la forêt gérée rendent l'inclusion de ce secteur extrêmement complexe et il n'existe pas de solution « idéale » : chaque pays doit évaluer dans quelle mesure les bénéfices d'une telle inclusion dépassent ses inconvénients et risques.

Enfin, l'intérêt et les limites de la proposition de MDP sectoriel pour la déforestation dans les pays en développement doivent être examinés. Cette proposition soulève une question fondamentale : est-il réellement possible de réduire la déforestation dans les pays en développement par des politiques appropriées, c'est-à-dire de rendre une incitation internationale effective au niveau local ? La France a un rôle particulier à jouer dans ce domaine car c'est le seul pays de l'annexe 1 qui ait des forêts tropicales. L'expérience française sur l'inventaire Kyoto en Guyane devrait être extrêmement utile pour la négociation que ce soit en terme d'information sur la faisabilité de l'inventaire, sur les données sur les émissions par hectare mais aussi sur les possibilités d'inciter au niveau local à réduire les taux de déforestation.

## V. BIBLIOGRAPHIE

- Ciais P, CARBO-CONTROLE, *Quantification des flux et stocks de carbone au niveau européen et national*. Projet GICC, <http://medias.obs-mip.fr/gicc/interface/projet.php>
- Chomitz (2000), *Evaluating carbon offsets from forestry and energy projects : how do they compare*. Papier Banque mondiale.
- Cox P. (2004), *Conditions for positive feedback from the Land carbon Cycle*. Paper for the Exeter conference on climate change.
- Cox et al. (2000), *Acceleration of global warming due to carbon-cycles feedbacks in a coupled climate model*. Nature, 408.
- Dameron, V. Barbier, C. et Riedacker, A. (2005), *Les enjeux mondiaux du stockage du CO<sub>2</sub> par des plantations forestières sur des terres agricoles et de la réduction des consommations d'énergies fossiles par l'utilisation de leurs biomasses*. Rapport final, Etude CLIP.
- Dutschke M, Schlamadinger B, Wong J, Rumberg, M. (2004) *Value and risks of expiring carbon credits from CDM afforestation and reforestation*. HWA Discussion paper, n 290.
- Ellis, J. (2001), *Forestry projects : lessons learned and implications for CDM modalities*. OCDE et AIE.
- Ellis, J. (2001), *Forestry Projects : Permanence, Credit Accounting and Lifetime*. OCDE.
- Experts européens (2005), *Towards a EU position on the future treatment of LULUCF*.
- Falkowski P., Scholes R.J. et al. (2000), *The Global Carbon Cycle: A Test of Our Knowledge of Earth as a System*. Science, 290.
- FAO (2001, 2003, 2005), *State of the world's forest*.
- Fearnside, *Mitigation of climate change in the Amazon*. National institute for research in the Amazon
- Forner C, *LULUCF and climate change , a field for battles ?*
- GIEC (2000), *Rapport spécial sur l'utilisation des terres, changements d'affectation des terres et foresterie*.
- GIEC (2001), *Troisième Rapport*.
- Gitz, V. (2004), *Usage des terres et politiques climatiques globales*. Thèse CIRED.
- Groupe de travail national sur les forêts, rapport (2003). *Forêts tropicales : comment la France peut-elle contribuer à leur gestion durable ?* La documentation française.
- Houghton R. A (2003), *The Contemporary Carbon Cycle*. Chapter 8, Biogeochemistry. William H. Schlesinger.
- Janssens, IA., Freibauer, A., Schlamadinger, et al (2005), *The carbon budget of terrestrial ecosystems at country-scale –a European case study*. Biogeoscience 2 15-16. Projet CarboEurope.
- Leining, C. (2000), *The eligibility of land use, land-use change and forestry projects under the clean development mechanism*. Center for Clean Air Policy.
- Lescuyer, G. et Locatelli, B. (1999), *Rôle et valeur des forêts tropicales dans le changement climatique*. Bois et forêts des tropiques, n° 260 (2).
- Lewis S, Phillips O, Baker T, Malhi Y & Lloyd J. (2005), *Tropical Forests and Atmospheric Carbon Dioxide: Current Knowledge & Potential Future Scenarios*. Paper for the Exeter conference on climate change.
- ONF/MIES (2002), *Forêt et changement climatique, l'essentiel en 20 pages*.
- Osborne, T. et Kiker, C. (2005), *Carbon offsets as an economic alternative to large scale logging : a case study in Guyana*. Ecological economics 52, pp 481-496.
- Pearce (2001), *How Valuable are the tropical forests ?* Les séminaires de l'IDDRI n 4.
- Persson, M. et Azar, C. (2004), *Brazil beyond Kyoto : prospects and problem in handling tropical deforestation in a second commitment period*.
- Riedacker, A. (2004), *Changements climatiques et forêts*. SILVA RIAT.

- Robert, M. et Saugier, B. (2003), *Contribution des écosystèmes continentaux à la séquestration du carbone*. Geoscience, 335, pp 577-595.
- Roumigière, E. (2000), *Les puits de carbone*. Note D4E D2-00-026.
- Roumigière, E. et Rocard, S. (2001), *Prise en compte des puits : quels effets réels ? Une approche quantitative*. Note D4E D2-01-076.
- Santilli M, Moutinho P, Schwaertzman S, Nepstad, D, Curran L, Nobre C. (2005), *Tropical deforestation and the Kyoto protocol : an editorial essay*.
- Schlamadinger, B. Cicccarese, L, Dutschke, M, Fearnside, P, Brown S, Murdiyarto D (2005), *Should we include avoidance of deforestation in the international response to climate change?*
- Stavins, R et Richards K. (2005), *The cost of US forest based carbon sequestration*. Pew Center.
- Sussman, F. et Leining, C. (2002), *Priority rules, modalities and guidelines for land use, land use change and forestry projects in the clean development mechanism : key consideration for negotiators post-Marrakech*. Center for Clean Air Policy.
- Wilson, AM. et Guéneau, S. (2003). *Gouvernance mondiale des forêts. Une évaluation à partir de l'analyse de la position des ONG*. Les rapports de l'Iddri 6.

**ANNEXE 1 : ORDRE DE GRANDEUR DES STOCKS DE CARBONE DANS LA VEGETATION ET DANS LES SOLS  
JUSQU'À 1 M DE PROFONDEUR. SOURCE : RIEDACKER, A.**

Biomes	Surface (milliards d'ha)	Stock de carbone (en MtC)			Stock moyen de carbone (tC/ha)		
		Vegetation	Sols	Total	Végétation	Sols	Total
Terres cultivées	1,6	3	128	131	2	80	82
	1,35	4	165	169	3	123	126
Forêts tropicales	1,76	212	216	428	120	123	243
	1,75	340	213	553	194	122	316
Forêts tempérées	1,04	59	100	159	57	96	153
	1,04	139	153	292	134	147	281
Forêts boréales	1,37	88	471	550	64	344	408
	1,37	57	338	395	42	247	289
Savanes et prairies tropicales	2,25	66	264	330	29	117	446
	2,76	79	247	326	29	90	119
Prairies tempérées	1,25	9	295	304	7	236	243
	1,78	23	176	199	13	99	112
Déserts et demi déserts	4,55	8	191	199	2	42	44
	2,77	10	159	169	4	57	61
Toundra	0,95	6	121	127	6	127	133
	0,56	2	115	117	4	206	210
Zones humides	0,35	15	225	240	43	643	686
Total	15,12	466	2011	2477			
	14,93	654	1567	2221			

Les premiers chiffres mentionnés sont extraits du WGBU. Les second chiffres, quand ils existent, de diverse auteurs pour la végétation et du guide des bonnes pratiques du GIC pour les sols



**ANNEXE 2 : CLASSEMENT DES PAYS DISPOSANT DES SURFACES DE FORET LES PLUS IMPORTANTES**

(source : FRA 2000 et 2005)

	Surface couverte par la forêt 1990 millions ha	Surface couverte par la forêt 2000 Millions ha	Surface couverte par la forêt 2005 Millions ha	Changem ent annuel 1990-2000 000 ha	Taux de changem ent annuel 1990- 2000 %	Changem ent annuel 2000-2005 000 ha	Taux de changeme nt annuel 2000-2005 %
Russie	808,95	809,26	<b>808,79</b>	32	-96		
Brésil	520,02	493,21	<b>477,69</b>	-2681	-0,5	<b>-3103</b>	-0,6
Canada	310,13	310,13	<b>310,13</b>				
Etats Unis	298,64	302,29	<b>303,08</b>	365	0,1	159	0,1
Chine	157,14	177,00	<b>197,29</b>	1986	1,2	<b>4058</b>	2,2
Australie	167,90	164,64	<b>163,67</b>	-326	-0,2	-193	-0,1
Rép dém Congo	140,53	135,20	<b>133,61</b>	-532	-0,4	-319	-0,2
Indonésie	116,56	97,85	<b>88,49</b>	-1872	-1,7	<b>-1871</b>	-2,0
Perou	70,15	69,21	<b>68,74</b>	-94	-0,1	-94	-0,1
Inde	63,93	67,55	<b>67,70</b>	362	0,6	29	,
Soudan	76,38	70,49	<b>67,54</b>	-589	-0,8	-589	-0,8
Mexique	69,01	65,540	<b>64,23</b>	-348	-0,5	-260	-0,4
Colombie	61,43	60,96	<b>60,72</b>	-48	-0,1	-47	-0,1
Angola	60,97	59,72	<b>59,10</b>	-125	-0,2	-125	-0,2
Bolivie	62,79	60,09	<b>58,74</b>	-270	-0,4	-270	-0,5
Venezuela	52,02	49,15	<b>47,71</b>	-288	-0,6	-288	-0,6
Zambie	49,12	44,67	<b>42,45</b>	-445	-0,9	-445	-1,0
Tanzanie	41,44	37,31	<b>35,25</b>	-412	-1,0	-412	-1,1
Birmanie	39,21	34,55	<b>32,22</b>	-466	-1,3	-466	-1,4
Argentine	35,26	33,77	<b>33,02</b>	-149	-0,4	-150	-0,4
Papouasie Nouvelle guinée	31,52	30,13	<b>29,43</b>	-139	-0,5	-139	-0,5
France	<b>14,53+8,09</b> <b>= 22,62</b>	<b>15,35+8,06</b> <b>= 23,41</b>	<b>15,54+8,06</b> <b>=23,06</b>	<b>81</b>	<b>0,5</b>	<b>41</b>	<b>0,3</b>
Total			<b>3172,7</b> soit 80 % des forêts mondiales				

**ANNEXE 3 : CLASSEMENT DES PAYS SELON LE TAUX ANNUEL DE DEFORESTATION**

(source : FRA 2000 et 2005)

	Surface couverte par la forêt 1990 millions ha	Surface couverte par la forêt 2000 Millions ha	Surface couvert e par la forêt 2005 Millions ha	Chang ement annue l 1990- 2000 000 ha	Taux de change ment annuel 1990- 2000 %	Change ment annuel 2000- 2005 000 ha	Taux de change ment annuel 2000- 2005 %	Type de forêt
<b>Brésil</b>	520,02	493,21	477,69	-2681	-0,5	<b>-3103</b>	-0,6	Tropicale
<b>Indonésie</b>	116,56	97,85	88,49	-1872	-1,7	<b>-1871</b>	-2,0	Tropicale
<b>Soudan</b>	76,38	70,49	67,54	-589	-0,8	<b>-589</b>	-0,8	Tropicale
<b>Birmanie</b>	39,21	34,55	32,22	-466	-1,3	<b>-466</b>	-1,4	Tropicale
<b>Zambie</b>	49,12	44,67	42,45	-445	-0,9	<b>-445</b>	-1,0	Tropicale
<b>Tanzanie</b>	41,44	37,31	35,25	-412	-1,0	<b>-412</b>	-1,1	
<b>Nigeria</b>	17,23	13,13	11,08	-410	-2,7	<b>-410</b>	-3,3	Tropicale
<b>Congo</b>	140,53	135,20	133,610	-532	-0,4	<b>-319</b>	-0,2	Tropicale
<b>Zimbabwe</b>	22,23	19,10	17,54	-313	-1,5	<b>-313</b>	-1,7	Tropicale
<b>Venezuela</b>	52,02	49,15	47,71	-288	-0,6	<b>-288</b>	-0,6	Tropicale
<b>Bolivie</b>	62,79	60,09	58,74	-270	-0,4	<b>-270</b>	-0,5	Tropicale
<b>Mexique</b>	69,01	65,540	64,23	-348	-0,5	<b>-260</b>	-0,4	Tropic 70 %
<b>Cameroun</b>	24,54	22,34	21,24	-220	-0,9	<b>-220</b>	-1,0	Tropicale
<b>Cambodge</b>	12,946	11,541	10,447	-140	-1,1	<b>-219</b>	-2,0	
<b>Paraguay</b>	21,15	19,36	18,47	-179	-0,9	<b>-179</b>	-0,9	Tropicale
<b>Philippines</b>	10,574	7,949	7,162	-262	-2,8	<b>-157</b>	-2,1	
<b>Honduras</b>	7,385	5,430	4,648	-196	-3,0	<b>-156</b>	-3,1	
<b>Argentine</b>	35,26	33,77	33,02	-149	-0,4	<b>-150</b>	-0,4	Tropicale
<b>Malaisie</b>	22,37	21,59	20,89	-78	-0,4	<b>-140</b>	-0,7	Tropicale
<b>Chine</b>	157,14	177,00	197,29	1986	1,2	<b>4058</b>	2,2	Subtrop(59% ) temp(33%) boréale (8%)
<b>Australie</b>	167,90	164,64	163,67	-326	-0,2	<b>-193</b>	-0,1	Trop (55%) Subtrop(37% ) Temp (8%)
<b>Canada</b>	310,13	310,13	310,13	0				Boré ( 86%) Temp (14%)
<b>Russie</b>	808,95	809,26	808,79	32	-96			Boré (87%) Temp (7%)
<b>Etats Unis</b>	298,64	302,29	303,08	365	0,1	<b>159</b>	0,1	Temp (46%) Subtrop(38% ) Boréa(16%)
<b>France</b>	<b>14,53+8, 09 = 22,62</b>	<b>15,35+8,0 6 = 23,41</b>	<b>15,54+8 ,06 =23,06</b>	<b>81</b>	<b>0,5</b>	<b>41</b>	<b>0,3</b>	<b>Temp (66%) Trop (34%)</b>

**ANNEXE 4 : CLASSEMENT DES PAYS EUROPEENS DISPOSANT DES SURFACES DE FORET LES PLUS IMPORTANTES (SOURCE : FRA 2000 ET 2005)**

	Surface couverte par la forêt 1990 millions ha	Surface couverte par la forêt 2000 Millions ha	Surface couverte par la forêt 2005 Millions ha	Changement annuel 1990-2000 000 ha	Taux de changement annuel 1990-2000 %	Changement annuel 2000-2005 000 ha	Taux de changement annuel 2000-2005 %
Suède	27,37	27,47	27,53	11	n.s.	11	n.s.
Finlande	22,19	22,48	22,50	28	0,1	5	n.s.
Espagne	13,48	16,44	17,92	296	2	296	1,7
<b>France</b>	<b>14,54</b>	<b>15,35</b>	<b>15,55</b>	<b>81</b>	<b>0,5</b>	<b>41</b>	<b>0,3</b>
Allemagne	10,74	11,08	11,08	34	0,3	0	0
Italie	8,38	9,45	9,98	106	1,2	106	1,1
Pologne	8,88	9,06	9,19	18	0,2	27	0,3
Roumanie	6,37	6,37	6,37	0	n.s.	1	n.s.
Autriche	3,78	3,84	3,86	6	0,2	5	0,1
Portugal	3,10	3,58	3,78	48	1,5	40	1,1
Grèce	3,30	3,60	3,75	30	0,9	30	0,8
Bulgarie	3,33	3,38	3,63	5	0,1	50	1,4
Lettonie	2,78	2,89	2,94	11	0,4	11	0,4
Royaume Uni	2,61	2,79	2,85	18	0,7	10	0,4
République tchèque	2,63	2,64	2,65	1	n.s.	2	0,1
Estonie	2,16	2,24	2,28	8	0,4	8	0,4
Croatie	2,12	2,13	2,14	1	0,1	1	0,1
Lituanie	1,95	2,02	2,10	8	0,4	16	0,8
Hongre	1,80	1,91	1,98	11	0,6	14	0,7
Slovaquie	1,92	1,92	1,93	n.s.		2	0,1
Slovénie	1,19	1,24	1,26	5	0,4	5	0,4
Belgique	0,68	0,67	0,67	-1	-0,1	0	0
Danemark	0,45	0,49	0,50	4	0,9	3	0,6
Pays Bas	0,35	0,36	0,37	2	0,4	1	0,3
Irlande	0,44	0,61	0,67	17	3,3	12	1,9
Luxembourg	0,09	0,09	0,09	n.s.	0,1	0	0
Total UE	146,6	154,06	157,55	746,4	1%	696,2	0%

### **ANNEXE 5 : RESUME DE L'ETUDE DE DAMERON V, BARBIER C, RIEDACKER A. (2005)**

Une étude réalisée par Dameron V, Barbier C, et Riedacker A. permet de mieux comprendre les différents effets identifiés dans les parties 2.2 et 2.3.

Deux scénarios d'évolution du monde sont retenus :

- Scénario B1 : Il y a 8,7 milliards d'habitant en 2050, et on suppose qu'il y a une forte diffusion des technologies. Les surfaces cultivées augmentent de 17,6 % entre 2000 et 2030. **Ce scénario mène à une libération de terres par l'agriculture de 938 millions d'hectares en 2050.**
- Scénario A2 : Il y a 11,3 milliards d'habitants en 2050 et la diffusion des technologies est faible. Les surfaces cultivées augmentent de 35 % en 2030. **Ce scénario mène à une libération de terres par l'agriculture de seulement 142 millions d'hectares en 2050<sup>66</sup>.**

La quantité de terres disponibles entre les deux scénarios diffère d'un facteur 7, ceci est dû aux différences d'évolution de la population mondiale et des productions agricoles par hectare.

Dans l'étude, il est fait une distinction entre trois types de plantations forestières qui diffèrent d'abord par les périodicités de récolte et les quantités de produits prélevés :

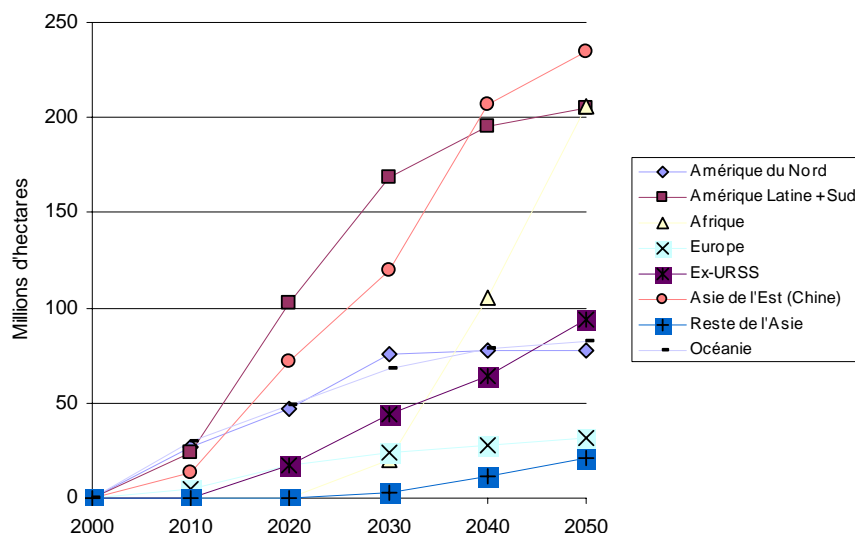
- des rotations courtes (20 ans en Europe ou 8 ans en Afrique par exemple), destinées à produire soit du bois énergie soit des produits de durée de vie moyenne entre 1 et 10 ans (panneaux de particules essentiellement), sur lesquelles aucune intervention n'a lieu entre les récoltes ;
- des rotations moyennes (80 ans en Europe), produisant des sciages et sur lesquelles sont pratiquées des éclaircies tous les 10 ans, correspondant à un prélèvement de 10 % de la biomasse. La durée de vie des produits est supposée moyenne ou longue (entre 1 et 100 ans) ;
- des plantations sans exploitation, sur lesquelles aucune intervention sylvicole n'a lieu.

L'étude permet d'évaluer le potentiel de stockage de carbone de ces trois types de rotation.

#### **1. Résultats dans le scénario de fortes disponibilités en terres agricoles (B1)**

Dans ce scénario, les importants progrès agricoles conduisent à la libération de 950 millions d'hectares, la concurrence entre production d'énergie et alimentation humaine n'est donc pas trop forte. **La Chine, l'Afrique et l'Amérique du Sud (Brésil notamment) apparaissent comme les régions au plus fort potentiel**, totalisant les deux tiers du potentiel mondial en 2050 ( Figure 22).

<sup>66</sup> Les auteurs ont choisi de ne considérer comme disponibles que les **terres abandonnées par l'agriculture**, c'est-à-dire soit les anciennes terres cultivées soit les anciennes prairies pâturées. On sait en effet que ces terres sont accessibles à l'homme, dans des conditions d'exploitation qui ont déjà été éprouvées (mais pas forcément aptes à être mécanisées). Si l'on souhaitait prendre en compte d'autres terres, il faudrait évaluer les contraintes réelles de mise en exploitation.



**Figure 22 : Evolution des libérations de terres agricoles entre 2000 et 2050 selon IMAGE, pour le scénario de fortes disponibilités (source : Dameron et al)**

### Résultats du Scénario à fortes disponibilités en terres

	Rotation courte + énergie	Rotation courte + matériaux	Rotation longue + matériaux	Pas d'exploitation
<b>Bilan CO<sub>2</sub> en GtC cumulées</b>	<b>27,8</b>	<b>4,4</b>	<b>5,4</b>	<b>27,9</b>
Différence de stocks de carbone en GtC cumulées	4	0,8	3	31
Terres utilisées / terres disponibles	45%	2%	9%	100%
Part de gains permanents	86%	83%	46%	

#### 1.1. La production de bois énergie

Le marché du bois énergie (hors biocarburants) étant essentiellement local, le modèle suppose qu'il n'y a aucun échange entre grandes régions du monde. Le modèle révèle que les zones climatiques à la plus forte productivité biologique sont celles qui consomment le moins de bois pour le chauffage des bâtiments, débouché principal du bois énergie. **Compte-tenu de ces hypothèses, seulement 45 % du total de la production potentielle de bois-énergie issue de nouvelles plantations trouverait un débouché en 2050 et 30 % en 2100.**

L'Amérique du Sud et l'Océanie ne seraient ainsi en mesure d'absorber que 15 % de leur production en 2050 (8 % en 2100), et l'Afrique 30 % (15 % en 2100). En Chine, la production de bois-énergie et les débouchés sont du même ordre de grandeur en 2050. Au total, **à l'échelle mondiale dans le cas des fortes disponibilités en terres, le potentiel de gain cumulé de CO<sub>2</sub> observable en 2050 serait de l'ordre de 28 GtC pour les scénarios de rotation courte avec production de bois énergie, soit près de 5 % des émissions d'origine anthropique attendues.**



### 1.2. *La production de bois matériau*

La production de bois-matériau permet un gain de seulement 2 à 5 GtC, soit moins de 1 % des émissions d'origine anthropique attendues. Ces gains sont obtenus en plantant seulement 2 à 9 % des terres disponibles. **Plus encore que pour le bois-énergie, on rencontre une forte limite en débouchés.** L'Asie et les pays industrialisés de l'hémisphère Nord présentent les meilleurs potentiels, de par la présence de marchés importants. En particulier, la Chine présente les meilleurs potentiels en 2050, suivie par le reste de l'Asie ; l'ensemble de l'Asie totalisant de 50 à 60 % du bilan global.

En ce qui concerne les plantations à rotation longue pour la production de matériaux, la production dépasse là aussi les capacités d'absorption des marchés, mais dans une moindre mesure que pour le scénario à rotation courte. **Le bilan cumulé de gain de CO<sub>2</sub> en 2050 est de l'ordre de 5,6 GtC.** 9 % des terres disponibles suffisent alors pour atteindre ces résultats. La Chine présente encore le meilleur potentiel en 2050, suivie par l'Amérique du Nord, l'Europe et le reste de l'Asie, ces quatre régions totalisant près de 80 % des gains totaux observés en 2050.

### 1.3. *Plantations sans exploitation*

Les scénarios de plantation sans exploitation n'ont, par définition, pas de contraintes de débouchés. Ainsi, toutes les terres classées disponibles sont susceptibles d'être plantées. **Le bilan cumulé de gain de CO<sub>2</sub> en 2050 serait de l'ordre de 27,9 GtC.** L'Amérique du Sud en représente près de 40 %, l'Afrique 25 % et la Chine 15 %. La particularité de ce scénario est qu'en l'absence d'exploitation, **la capacité de stockage du CO<sub>2</sub> se limite à la phase de croissance de la forêt.** Parvenue à maturité, son bilan carbone se stabilise.

Le scénario sans exploitation utilise par définition la totalité des terres disponibles puisqu'il n'y a pas de contrainte de débouchés. Par contre, le scénario à courte rotation bois-énergie qui permet de capter autant de carbone n'utilise que 45 % des terres disponibles dans le scénario à fortes disponibilités en terres du fait des contraintes de débouchés. **Du point de vue de son bilan carbone, il peut être considéré comme deux fois plus efficace que le scénario sans exploitation.**

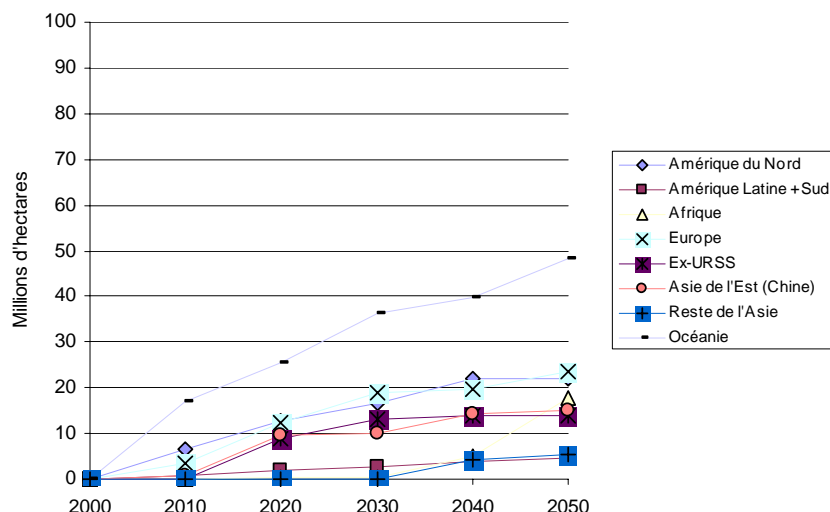
### 1.4. *Les bio-carburants*

Une troisième forme de débouché est envisageable dans les zones où les capacités de production de la biomasse dépassent largement les besoins locaux en bois énergie (chaleur et électricité) et en bois matériau, c'est le marché des biocarburants. C'est un marché qui, comme celui du pétrole classique peut être mondial. Ce marché n'a pas fait l'objet d'une approche détaillée dans l'étude. Néanmoins les auteurs reconnaissent que les biocarburants permettraient une valorisation de l'ensemble des potentiels. Si l'ensemble des terres disponibles est utilisé, ils estiment que le potentiel de gains de carbone cumulés serait de l'ordre de 60 GtC, soit au maximum 10 % des émissions anthropiques envisagées. La contribution serait alors significative.

## 2. Cas de faibles disponibilités en terres agricoles

Les faibles disponibilités en terres peuvent résulter de deux phénomènes distincts : une croissance démographique mondiale forte augmentant les besoins alimentaires ou /et une faible augmentation des productions annuelles alimentaires par hectare. Dans le cas des faibles

disponibilités en terres, les écarts relatifs entre régions sont moins importants (Figure 23). Cela s'explique notamment par le fait que les régions au plus fort potentiel en cas de bons rendements sont celles pour lesquelles les incertitudes sur ces rendements sont les plus grandes. La région au plus fort potentiel est l'Océanie (principalement l'Australie) qui totalise près d'un tiers des surfaces disponibles en 2050.



**Figure 23 : Evolution des libérations de terres agricoles entre 2000 et 2050 selon IMAGE, pour le scénario de faibles disponibilités (source : Dameron et al)**

Résultats du scénario faibles disponibilités en terres

	Rotation courte énergie	+	Rotation courte matériaux	+	Rotation longue matériaux	+	Pas d'exploitation
<b>Bilan CO<sub>2</sub> en GtC cumulées</b>	<b>7,3</b>		<b>2</b>		<b>2,1</b>		<b>3,4</b>
Différence de stocks de carbone en GtC cumulées	2,3		0,3		1,2		3,7
Terres utilisées / terres disponibles	84%		6%		37%		100%
Part de gains permanents	69%		84%		47%		

**Tableau 2 : Principaux résultats au niveau mondial en 2050 selon les scénarios d'exploitation des plantations sur terres agricoles (source : Dameron et al)**

Dans ce contexte, les réductions d'émissions nettes de gaz carbonique à attendre de nouvelles plantations forestières sont forcément limitées. **Dans l'étude, les gains cumulés sur la période 2000-2050 varient entre 2 GtC et 7 GtC, ce qui représente au maximum de 1% des émissions anthropiques attendues.**

Les débouchés des produits ne représentent pas un facteur limitant dans ce scénario, sauf en Océanie qui n'utilise que 42 % de ses terres disponibles. **C'est donc essentiellement la disponibilité en terres (quantité et période), ainsi que les rendements de celles-ci qui influent les résultats.** Ce résultat fait donc bien ressortir que les évolutions à venir des rendements agricoles constituent un enjeu majeur pour les potentialités de prélèvement de carbone par les plantations.

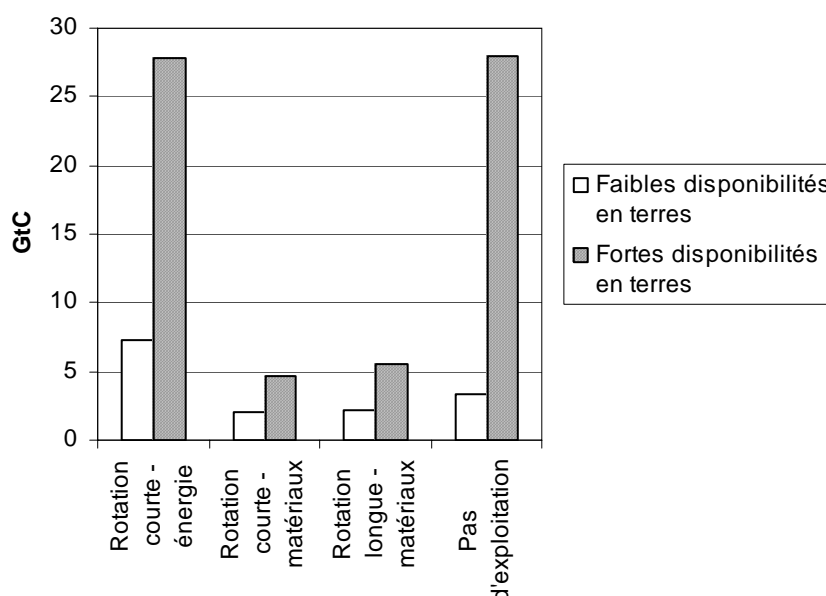
❖ *La production de bois énergie*

La quasi-totalité de la production de bois-énergie trouve un débouché, hormis en Océanie. La production mondiale serait de l'ordre de 60 à 90 % de la demande prévue. Les plantations pourraient satisfaire de l'ordre de 8 à 23 % de la demande mondiale en 2050 et 2100 avec des plantations à rotation longue et de l'ordre de 50 % avec des plantations à rotation courte.

❖ *Plantations sans exploitation*

**Le bilan mondial des plantations sans exploitation est de 3,4 GtC en 2050. L'Océanie représente près de 40 % de ce bilan.** La Chine, l'Europe et l'Afrique représentent chacune autour de 15 % et les autres régions, à moins de 7 %.

### 3. Le bilan des politiques de plantations forestières



**Figure 24 : Réductions potentielles d'émissions cumulées de CO<sub>2</sub> au niveau mondial en 2050 selon les scénarios d'exploitation (source : Dameron et al)**

Dans les deux scénarios, les types de plantations aux plus fortes capacités d'ici 2100 sont les plantations à courte rotation, qui prélèvent trois à quatre fois plus de carbone que les autres. Les scénarios à courte ou longue rotation pour la production de bois-matériau obtiennent des bilans carbone plus faibles, du fait du manque de débouchés pour ces produits.

Une politique de plantations forestières dans le cadre de la lutte contre le changement climatique est clairement une stratégie de long terme. En effet, les gains de carbone liés à des plantations forestières conduisent à des résultats significatifs qu'au-delà de 2030 ou 2050, voir plus pour les longues rotations, pour lesquelles 100 ans est un ordre de grandeur moyen pour observer l'ensemble des phénomènes en jeu.

L'héritage laissé après 50 ans ou 100 ans est très différent d'un scénario de plantation à l'autre. Les substitutions bois énergie et bois matériaux permettent d'éviter des émissions de CO<sub>2</sub> lors de la fourniture d'un service. Ces gains sont alors **acquis définitivement**. À l'inverse, un

prélèvement de carbone de l'atmosphère par stockage dans l'écosystème est réversible. Si pour une raison quelconque, la parcelle change d'affectation, le carbone stocké est susceptible d'être émis. Ainsi, les plantations sans exploitation laissent un héritage contraignant car pour conserver les gains de carbone, il faut garder le même usage des terres. Si l'on décidait de réaffecter à un usage agricole, après 50 ans, les terres reforestées, seuls les gains résultant des substitutions seraient acquis de manière permanente. L'ensemble des gains obtenus pour les plantations sans exploitation jusque là seraient perdus.<sup>67</sup> Les plantations forestières représentent donc une contrainte supplémentaire pour les générations futures. Le seul avantage dans ce cas serait d'avoir gagné du temps sur l'augmentation de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

**Les plantations à rotation courte ont l'avantage de présenter une grande part de gains permanents** (84 % des gains en 2050 sont définitifs) et laissent donc plus de latitude aux générations suivantes pour changer éventuellement l'usage des terres sans remettre en cause les gains obtenus jusque là.

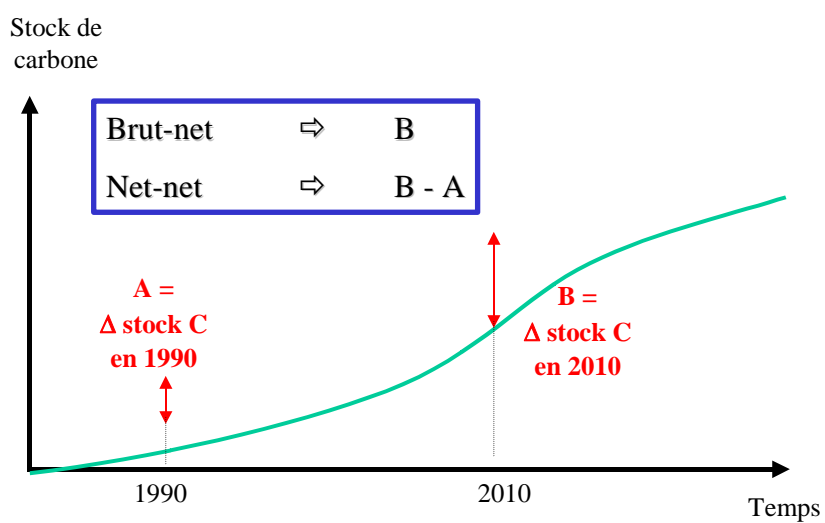
Les plantations à rotation longue présentent une situation intermédiaire en 2050 au regard de la permanence des gains observés et donc de l'hypothèque sur les terres. Les plantations à rotation longue n'ont pas, encore en 2050, atteint le gros de leur production de matériaux et les gains issus de la substitution ne représentent encore que 46 % des gains totaux. Néanmoins, elles ont le potentiel d'augmentation des gains le plus fort par la suite. Pour qu'elles donnent tout leur potentiel, il est utile de les conserver avec cet usage sur des durées de l'ordre du siècle.

Inversement, les gains obtenus dans le cas des plantations sans exploitation sont uniquement le résultat d'une variation de stock et sont, de ce fait, réversibles.

Au final, cette étude fait clairement ressortir que **les enjeux portent sur les disponibilités en terre puis sur les débouchés des produits bois issus des plantations forestières**. La poursuite de l'augmentation des productions agricoles annuelles par hectare peut conduire à libérer des terres utilisées actuellement pour des productions alimentaires. C'est dans ce contexte que l'on peut continuer à diminuer les émissions nettes de gaz à effet de serre, d'une part en augmentant les stocks de carbone par boisements de terres agricoles devenues vacantes et d'autre part en utilisant efficacement les biomasses produites par ces boisements et utilisées pour maximiser les réductions d'émissions de gaz carbonique provenant des produits fossiles.

<sup>67</sup> Certes, la partie biomasse de cet écosystème peut alors être utilisée en substitution et donc être « convertie » en des gains permanents, avec un taux de conversion qui peut être inférieur ou supérieur à 1, selon le type de substitution qui a lieu. Mais, d'une part, l'ensemble de la biomasse n'est en général pas utilisé, et d'autre part, le carbone du sol n'est pas maîtrisé et peut conduire à des émissions différées importantes.

**ANNEXE 6 : DIFFERENCE ENTRE UNE COMPTABILITE NETTE/NETTE ET BRUTE/NETTE**





**ANNEXE 7 : QUELLE EST LA VALEUR D'UN CREDIT TEMPORAIRE ?****❖ Valeur d'un tREC**

Pour un investisseur, acheter un tREC revient à **retarder le respect de son engagement** sur une période donnée (ie 2008-2012) à une période suivante (i.e. 2013-2017). La décision d'acheter des crédits temporaires dépend donc des **anticipations sur le prix du carbone** sur le marché international dans le futur.

L'investisseur choisit d'utiliser un tREC à l'instant t s'il est moins cher d'acheter un tREC aujourd'hui et un crédit carbone dans 5 ans que d'acheter un crédit carbone aujourd'hui.

$$p(\text{tREC}) + \frac{P_{t+5}}{(1+r)^5} \leq p_t$$

Le prix du tREC doit donc être inférieur au prix du carbone sur le marché à l'instant t moins le prix du carbone sur le marché dans 5 ans actualisé<sup>68</sup> :

$$p_t(\text{tREC}) \leq p_t - p_t \left( \frac{(1+i)^5}{(1+r)^5} \right)$$

$$p_t(\text{tCER}) \leq p_t \left( 1 - \left( \frac{(1+i)^5}{(1+r)^5} \right) \right)$$

où  $p_t(\text{tREC})$  = prix des tREC à l'instant t

$p_t$  = prix du carbone à l'instant t

$i$  = évolution du prix annuelle (taux d'inflation)

$r$  = taux d'intérêt

**Si on prend l'hypothèse que la différence entre le taux d'intérêt ( 4 %) et le taux d'inflation ( 6 %) est de 2 % et que le tREC est valide 5 ans, son prix est égal à 10 % du prix du carbone sur le marché international.**

**❖ Valeur d'un IREC**

Le calcul est exactement le même pour un IREC.<sup>69</sup> On suppose que le IREC est valide pendant 30 ans<sup>70</sup> :

$$p_t(\text{IREC}) \leq p_t - p_t \left( \frac{(1+i)^{30}}{(1+d)^{30}} \right) \leq p_t \left( 1 - \left( \frac{(1+i)^{30}}{(1+d)^{30}} \right) \right)$$

<sup>68</sup> On fait l'approximation dans le calcul que l'investisseur remplace le crédit temporaire 5 ans après l'avoir utilisé pour remplir son engagement ; c'est une approximation car l'investisseur peut en fait remplacer le tREC à n'importe quel moment durant la période de 5 ans et pas seulement à la fin de la période.

<sup>69</sup> On fait l'approximation dans le calcul que l'investisseur remplace le crédit temporaire 30 ans après ; c'est une approximation car l'investisseur peut en fait remplacer le IREC à n'importe quel moment durant cette période de 30 ans.

De plus, on fait l'hypothèse dans le calcul que le taux d'intérêt et les préférences des investisseurs sont constantes dans le temps, ce qui n'est pas vrai sur une période de 20 à 60 ans. En effet, l'horizon de temps d'un investisseur est plus court. Il est probable que le taux d'intérêt de l'acheteur ne soit pas constant dans le temps.

<sup>70</sup> A noter : les IREC générés en fin de projet sont valides pour une durée plus courte.

**Le IREC qui dure 30 ans vaut environ 77 % du prix du carbone sur le marché international (en supposant que la différence entre le taux d'intérêt (4%) et le taux d'inflation (6%) est de 2 %.)**

**La valeur d'un crédit temporaire dépend donc de façon cruciale de l'évolution du prix du carbone dans le temps comparée au taux d'intérêt.** Si le durcissement de la contrainte Kyoto amène de très fortes augmentations du prix du carbone et que le prix augmente plus vite que le taux d'intérêt, il n'est pas rentable pour les investisseurs d'utiliser des crédits temporaires puits. A l'inverse, si les investisseurs pensent qu'il n'y aura pas de période post 2012 et que le prix du carbone sera nul sur la période 2013-2017, ils peuvent être prêts à payer un tREC ou un IREC au prix des crédits à durée illimitée sur le marché international.

En théorie, la valeur totale d'un flux de tREC devrait être la même que celle d'un IREC en l'absence de coûts de transaction. Il est d'ailleurs probable que les développeurs de projets puits vont vendre à leurs acheteurs des successions de tREC dans le temps pour un projet donné. Néanmoins, comme il y aura en réalité des coûts de transactions, notamment si la taxe sur l'émission des REC (*share of proceed*) s'applique chaque fois qu'un tREC est émis, le coût d'un flux de tREC devrait être plus élevé qu'en IREC.

## ANNEXE 8 : GOUVERNANCE MONDIALE DES FORETS<sup>71</sup>

### Création du forum intergouvernemental sur les forêts

La Communauté Internationale hésite, depuis vingt ans, sur le dispositif international adéquat pour traiter de la question des forêts. Au sommet de la terre à Rio de Janeiro en 1992, la question d'une convention internationale sur les forêts a été longuement débattue, sans qu'émerge un accord. La Conférence a cependant marqué un tournant dans le dialogue international sur les politiques forestières car les pays ont affirmé leur engagement envers la gestion durable des forêts, en adoptant une déclaration de principes, non juridiquement contraignante mais faisant autorité, pour un consensus mondial sur la gestion, la conservation et l'exploitation écologiquement viable de tous les types de forêts. Cet accord fournissait, pour la première fois, une base d'action commune aux niveaux national, régional et international. Il représentait également un compromis important à une époque où les pays ne parvenaient pas à un consensus sur l'opportunité d'entamer des négociations en vue d'une convention mondiale sur les forêts.

Trois sensibilités s'étaient opposées à l'époque, et continuent de marquer les débats internationaux. Les « environnementalistes », préoccupés par la régression des forêts tropicales et la perte de biodiversité associée, privilégient le rôle de la Convention sur la Diversité Biologique (CDB) et l'élaboration d'un protocole « forêts » dans ce cadre. Les « forestiers », mettent l'accent sur la fragilité de tous les types de forêts et la diversité des facteurs qui les menacent et plaident pour la mise en place d'une convention spécifique sur les forêts, outil global et plus opérationnel car permettant la prise en compte de la multifonctionnalité de la forêt. Enfin les « souverainistes », essentiellement les pays en développement dotés d'importantes étendues de forêts tropicales, rejettent toute approche juridiquement contraignante perçue comme une ingérence écologique dans la gestion, qu'ils veulent souveraine, de leur patrimoine naturel.

Pour donner suite aux conclusions de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement concernant les forêts, le Conseil économique et social a établi le Groupe intergouvernemental spécial sur les forêts (GIF) (1995-1997). Ce Groupe fut d'abord établi sous l'égide de la Commission du développement durable des Nations unies en 1995. Ses objectifs étaient de réaliser un consensus et de coordonner les propositions d'action visant à renforcer la gestion, la conservation et le développement durable de tous les types de forêts. En février 1997, le GIF approuva plus de cent propositions d'action visant à relever le défi de la gestion forestière mondiale. Les délégués ne parvinrent cependant pas à se mettre d'accord sur un certain nombre de questions majeures, telles que celles touchant à l'assistance financière et au rapport entre commerce et environnement, ou sur l'opportunité d'entamer des négociations sur une convention mondiale sur les forêts. En juin 1997, ces propositions ont été adoptées par les gouvernements lors d'une session spéciale de l'Assemblée générale de l'ONU. Cet engagement des gouvernements à mettre en oeuvre ces propositions représente l'accord au plus haut niveau sur les politiques forestières, sans toutefois constituer à proprement parler une convention internationale sur les forêts.

Succédant au GIF, le Forum intergouvernemental sur les forêts (FIF) a été mandaté pour faciliter la mise en oeuvre des propositions du GIF. Il a formulé à son tour de nouvelles

<sup>71</sup> Source : Gouvernance mondiale des forêts Une évaluation à partir de l'analyse de la position des ONG **Anne-Marie Wilson & Stéphane Guéneau** *Iddri* et *Forest resource assessment 2005* (FAO).

propositions (plus de 300). Les travaux du FIF ont abouti à la création en octobre 2000 du forum des nations unies sur les forêts (FNUF), structure permanente sous l'égide du conseil économique et social. Un programme pluriannuel sur cinq ans et un plan d'action destiné à mettre en œuvre les 300 propositions du IPF/IFF ont été validés à la première session du FNUF en juin 2001.

Les sessions annuelles du FNUF ont fourni une tribune pour un dialogue continu sur l'élaboration de politiques et sur les moyens de parvenir à la gestion durable de tous les types de forêts, en centrant l'attention sur l'appui financier et technique et sur l'avancement du suivi. Le FNUF a aussi accueilli un débat ministériel et organisé des dialogues multi-parties prenantes.

Depuis 15 ans, les politiques forestières ont subi de nombreuses améliorations, qui cependant ne peuvent pas toutes être attribuées au dialogue international sur les forêts. Ces changements positifs sont les suivants:

- prise de conscience accrue de la contribution des forêts au développement durable ;
- renforcement de la coopération internationale et création d'un consensus sur des questions complexes ;
- participation accrue de la société civile à la prise de décision ;
- reconnaissance de l'importance des forêts comme pourvoyeuses de moyens d'existence durables, facteurs de sécurité alimentaire et atout dans la lutte contre la pauvreté, notamment de leur rôle dans la réalisation des Objectifs de développement pour le Millénaire ;
- révision des politiques forestières des donateurs multinationaux et bilatéraux et des institutions de financement ;
- nouveaux mécanismes de financement visant à capter la valeur de certaines fonctions environnementales des forêts, telles que le piégeage du carbone ;
- élaboration et mise en œuvre de programmes forestiers nationaux et de critères et indicateurs de la gestion durable des forêts du monde ;
- nouvelles initiatives pour améliorer la gouvernance et la mise en application du droit forestier ;
- établissement de partenariats novateurs à tous les niveaux.

Si les propositions d'action de l'IPF/IFF reflètent un consensus significatif des gouvernements, il reste extrêmement difficile de les comprendre et de les mettre en œuvre. Les solutions pour améliorer le financement et le transfert de technologies restent évasives, et certains pays et parties prenantes déplorent le manque de progrès réalisés.

### ***Une architecture internationale complexe***

En plus du processus de négociation qui se déroule dans le cadre du FNUF, le régime forestier international fait l'objet de nombreux autres chevauchements juridiques et institutionnels : il est étroitement lié à la Convention sur la diversité biologique (notamment à travers les dispositions concernant la diversité biologique des forêts), à la Convention cadre sur les changements climatiques (à travers la problématique des puits de carbone), à l'Accord international sur les bois tropicaux (OIBT), à la Convention CITES (interdiction de commerce de certaines espèces de bois), à la Convention 169 de l'Organisation internationale du travail (OIT) (problématique des peuples indigènes), etc.

En avril 2002, lors de la sixième conférence des parties de la Convention sur la diversité biologique (CDB), un programme de travail élargi sur la diversité biologique des forêts a été

adopté (décision VI 22). Il s'agit d'une avancée majeure pour la CDB qui depuis 1992 s'était peu penchée sur la question des forêts, alors que celles-ci abriteraient entre la moitié et les trois quarts de la biodiversité terrestre. Les parties sont encouragées à mettre en oeuvre ce programme de travail sur une base volontaire, en fonction de leurs priorités et besoins nationaux. Ce programme comprend trois éléments au sein desquels se répartissent 130 activités :

- conservation, utilisation durable et partage des avantages ;
- environnement institutionnel et socio-économique porteur ;
- connaissances, évaluation et surveillance.

De son côté, l'Accord international sur les bois tropicaux (AIBT) a été signé en 1983 par des pays producteurs et consommateurs de bois tropicaux, dans le cadre du programme intégré pour les produits de base de la Conférence des Nations unies pour le commerce et le développement (Cnuced). Les pays en voie de développement cherchaient alors à développer des accords par produit dans le but d'améliorer le commerce international des produits de base jugés essentiels. L'Organisation internationale des bois tropicaux (OIBT) a été créée la même année afin d'assurer la mise en oeuvre des dispositions de l'accord et d'en surveiller le fonctionnement. En 1990, l'OIBT décide d'adopter l'objectif 2000, juridiquement non contraignant, qui stipule que, à cette date, les exportations de produits dérivés de bois tropicaux devront provenir de forêts gérées de façon durable. Un fonds international a été créé pour atteindre cet objectif 2000. Censé être alimenté en grande partie par les pays consommateurs sur la base de contributions volontaires, il n'a pas reçu d'appui à hauteur des ambitions. Par sa contribution exclusive au fonds, le Japon a soutenu ce processus de manière très isolée.