

EFOBEL un modèle de calcul de la séquestration du carbone par les forêts, selon les termes des Accords de Marrakech et les engagements de rapportage de la Belgique au Protocole de Kyoto

Éric Laitat, Dominique Perrin, Michael Sheridan, Claire Lebègue, Geneviève Pissart

Unité de Biologie végétale. Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux. Avenue de la Faculté, 2A. B-5030 Gembloux (Belgique).

Cet article synthétise la cascade de corollaires sous les définitions de “forêt” et de “gestion des forêts” qui résulte du guide des bonnes pratiques sur les changements d’affectation des terres et la foresterie, selon les termes des Accords de Marrakech et les besoins de rapportage au Protocole de Kyoto. Ce guide vient en complément du manuel de référence pour l’inventaire des gaz à effet de serre comme support scientifique de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC). La Belgique s’est engagée au niveau de rapportage le plus contraignant, en tant que Partie de l’Annexe 1 à la CCNUCC et signataire du Protocole de Kyoto. Cet article dresse un compendium des données forestières requises aux fins du rapportage et propose un algorithme de calcul qui lie et modélise l’évolution du stock de carbone dans les écosystèmes forestiers sur le territoire belge.

Mots-clés. Terre agricole, utilisation des terres, dioxyde de carbone, carbone, flux, relation source puits, collecte des données, traitement des données, modèle mathématique, enquête, forêt, Belgique.

EFOBEL a computing model of carbon sequestration in forests, as established in the Marrakech Agreements and Belgium’s reporting commitment to the Kyoto Protocol. This article synthesizes the numerous corollaries under the definitions of “forest” and “forest management”, which result from the good practice guidance for land use, land-use change and forestry, as established by the Marrakech Agreements and the Kyoto Protocol reporting needs. This guide complements the greenhouse gases inventory reference manual as scientific support for the United Nations Framework Convention on Climatic Change (UNFCCC). Belgium committed herself to the highest level of reporting as Party to Annex 1 of the UNFCCC and a signatory to the Kyoto Protocol. This article lists the forestry data needed for the reporting and proposes an algorithm, which articulates them and models the C-stock evolution in the forest ecosystems of Belgium.

Keywords. Forests, farmland, land use, carbon dioxide, flow, source sink relations, data collection, data processing, mathematical models, inventories, Belgium.

1. LE PROTOCOLE DE KYOTO, LES ACCORDS DE MARRAKECH ET LE GUIDE DES BONNES PRATIQUES SUR LE CHANGEMENT D’AFFECTATION DES TERRES ET LA FORESTERIE

L’Article 3.3 du Protocole de Kyoto (UNFCCC, 1997) permet de comptabiliser les quantités de carbone (C) résultant des activités anthropiques directes de boisement, reboisement et déboisement, correspondant à un changement d’affectation des terres, mis en œuvre à partir du 1^{er} janvier 1990. Les principes de comptabilisation de l’Article 3.3 ont été fixés dans les Accords de Marrakech (UNFCCC, 2001) pour la première période d’engagement du 1^{er} janvier 2008 au 31 décembre 2012. La méthode d’inventaire actuelle considère qu’en cas de déboisement, tout le C stocké

est émis dans l’atmosphère durant l’année d’exercice. Cette règle comptable ne prend en compte ni l’usage des bois abattus, ni la dégradation progressive de la matière organique non-exportée. En définitive, les Parties se verront attribuer un “débit net” de C lié à ces activités de déboisement. En cas de crédits liés à une augmentation significative des surfaces forestières productives, les quantités prises en compte ne peuvent dépasser neuf mégatonnes (Mt) par an durant la première période d’engagement.

Les activités liées à l’Article 3.4 concernent les émissions par les sources et les absorptions par les puits de gaz à effet de serre, résultant de l’une ou de l’ensemble des activités humaines suivantes, autres que boisement et reboisement : la restauration du couvert végétal, la “gestion des forêts”, la gestion des terres agricoles et la gestion des pâturages.

Les Accords de Marrakech (UNFCCC, 2001) fixent les quantités de C qui seront comptabilisées dans le cadre de l'affectation des terres, du changement d'affectation des terres et de la foresterie, en déduction des émissions relatives à la première période d'engagement. Chaque Partie peut en effet choisir les activités qu'elle souhaite faire valoir et peut également recourir aux "mécanismes flexibles". En ce qui concerne la "gestion des forêts", les Accords de Marrakech permettent de comptabiliser la totalité des quantités de C séquestré jusqu'à des montants équivalents aux débits nets éventuels résultant de l'Article 3.3 liés aux déboisements. Au-delà de cette compensation, le C séquestré peut être comptabilisé jusqu'à concurrence d'un plafond établi pour chaque Partie, soit 0,03 Mt de C pour la Belgique. En ce qui concerne la gestion des terres agricoles, il est permis de comptabiliser le C séquestré au cours de la première période d'engagement, jusqu'à concurrence de cinq fois le C séquestré par ces activités au cours de l'année de référence 1990. Enfin, en ce qui concerne les mécanismes flexibles, le C lié aux projets de développement propre (*Clean Development Mechanisms*, CDM) pourra être comptabilisé uniquement pour des activités de boisement et reboisement, plafonnées à 1 % des émissions de l'année de référence 1990. Les définitions et modalités d'inclusion des puits de C dans les CDM ont été adoptées à la Conférence des Parties de Milan en décembre 2003.

Le guide des bonnes pratiques¹ (GPG LULUCF) couvre un large éventail de questions relatives à la préparation des inventaires d'émissions de gaz à effet de serre par les sources et à l'absorption par les puits. Les bases scientifiques du GBP ont été jetées dans le rapport spécial du Groupe Intergouvernemental d'Experts sur le Climat (GIEC) sur l'affectation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie (Watson *et al.*, 2000). L'objectif du guide des bonnes pratiques (GBP) est de mettre à jour le manuel du GIEC (IPCC, 1997) et de proposer de nouvelles méthodologies pour répondre aux besoins de rapportage du Protocole de Kyoto définis par les Accords de Marrakech. Dans la mesure où toutes les Parties à la CCNUCC ne sont pas également Parties au Protocole de Kyoto (e.g. les USA), ces dernières étant subdivisées en Parties de l'Annexe 1 (les pays développés) et en Parties de l'Annexe 2 (les pays en développement), l'applicabilité du GBP diffère selon les Parties ainsi que le montre le **tableau 1**. La Belgique, en tant que signataire de la CCNUCC et du Protocole de Kyoto, s'est engagée au niveau de rapportage le plus contraignant.

¹ IPCC Report on Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Dans l'article, nous désignons ce rapport sous le sigle GBP pour le Guide des Bonnes Pratiques et le thème du rapport sous 'Affectation des Terres et la Foresterie'. La version du GBP en circulation à ce jour (janvier 2004) est sujette à édition finale.

Tableau 1. Pertinence, pour les Parties à la Convention des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC), du guide des bonnes pratiques sur l'affectation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie, chapitre par chapitre, selon leur ratification du Protocole de Kyoto et l'intérêt dans les mécanismes de mise en œuvre conjointe (*Joint Implementation*, JI) et les mécanismes de développement propre (*Clean Development Mechanisms*, CDM) — *Relevance for the Parties at the United Nations Framework Convention on Climatic Change (UNFCCC) of the good practice guidance about land use, land-use change, and forestry, chapter by chapter, according to their ratification of the Kyoto Protocol and their interest in Joint Implementation mechanisms (JI) and Clean Development Mechanisms (CDM).*

Guide des bonnes pratiques			Applicabilité
N° de chapitre	N° de section	Titre chapitre/section	
1	Tous	Aperçu	Toutes les parties à la CCNUCC
2	Tous	Bases pour une représentation cohérente des unités territoriales	
3	Tous	Changement d'affectation des terres – bonnes pratiques en matière de changement d'affectation des terres et de foresterie	
4		Méthodes additionnelles et bonnes pratiques issues du Protocole de Kyoto	
	4.1.	Aperçu général	Parties à la CCNUCC qui ont ratifié le Protocole de Kyoto et qui appartiennent à l'Annexe 1
	4.2.	Méthodes d'estimation, mesure, surveillance et rapportage du changement d'affectation des terres et de la foresterie sous les Art 3.3. et 3.4.	
	4.3.	Projets de changement d'affectation des terres et de foresterie	Parties à la CCNUCC qui ont ratifié le Protocole de Kyoto et qui sont impliquées dans les JI et CDM
5	Tous	Questions transversales	Toutes les parties à la CCNUCC

1.1. Définitions de “Forêt” et de “Gestion des forêts”

La définition de “forêt” donnée par les Accords de Marrakech (LULUCF decision 11/CP.7, Annexe E, §16 et suivants) repose sur des critères de surface et de couverture de sol : *Une “forêt” est une surface de territoire d’une aire minimale comprise entre 0,05 et 1 ha, dont la couverture forestière minimale est comprise entre 10 et 30 % et est assurée par des arbres susceptibles d’atteindre une hauteur minimale de 2 à 5 m à maturité.* On désigne ainsi par “forêt” à la fois une formation forestière dense, où des arbres forment plusieurs étages et couvrent une forte proportion de sol, et une formation forestière ouverte. Les jeunes plantations sont également reprises sous cette définition de “forêt” puisqu’elles font partie du processus normal de “gestion des forêts”.

Chaque Partie au Protocole de Kyoto doit, pour le 31 décembre 2006, adopter une seule définition de “forêt”, c’est-à-dire fournir les limites inférieures des paramètres de définition et s’y tenir jusqu’au terme de la première période d’engagement au 31 décembre 2012. Cette définition de “forêt” repose sur deux caractéristiques : la couverture du territoire et la surface. Elle considère donc que toute portion de territoire couverte d’arbres est une forêt, à moins que les valeurs des paramètres de définition permettent une autre classification.

La définition de “forêt” impose aux Parties du Protocole de Kyoto de définir le boisement en termes de “potentiel” de couverture de sol. Le boisement est ainsi le rapport de la biomasse végétale sur une unité de surface à la biomasse maximale potentielle sur cette même unité, compte tenu des limitations de l’écosystème (altitude, climat, nutrition minérale, espèce, etc.). Ainsi, une unité de territoire qui ne répond plus à la définition de “forêt” après le 31 décembre 1989, peut ou non être classée comme soumise à déforestation. Le critère clé dans la reconnaissance de la déforestation est la perte du couvert forestier, impliquant le suivi des unités territoriales, dans le cadre des activités de changement d’affectation des terres et de foresterie sous couvert du Protocole de Kyoto.

La définition de “gestion des forêts” retenue dans les Accords de Marrakech (LULUCF decision 11/CP.7) énonce que “la ‘gestion des forêts’ est un système de pratiques de gestion et d’usage de territoires forestiers destiné à remplir les fonctions écologiques (y compris la biodiversité), économiques et sociales de la forêt, d’une manière durable”. Selon les termes de cette définition, la “gestion des forêts” n’affecte donc pas la surface forestière totale. La gestion forestière affecte toutefois la teneur en C par unité de surface des forêts existantes. Des changements

de teneur en C peuvent correspondre à des modifications de tous les paramètres, ou de certains des paramètres, retenus dans la définition de “forêt”, sans toutefois franchir les seuils critiques de valeurs numériques déterminant la limite forêt/non forêt. La définition de “gestion des forêts” ne suppose donc pas *per se* la mesure régulière de nouveaux paramètres, elle définit toutefois l’amplitude de la gamme des paramètres à mesurer. La valeur inférieure de cette gamme est la valeur numérique sélectionnée par la Partie au Protocole de Kyoto sous les obligations liées aux Accords de Marrakech d’adopter une définition unique de “forêt”. La valeur supérieure est la valeur numérique maximale, applicable dans ce type de gestion forestière ou dans la parcelle, en résultat des limitations biologiques : par exemple, 100 % de couverture forestière, la biomasse maximale, l’indice de surface foliaire (*Leaf Area Index*, LAI), la hauteur des arbres, etc.

Le phrasé des définitions de “forêt” et de “gestion des forêts”, ainsi que la gamme de valeurs numériques à adopter, résultent des négociations politiques internationales. Ces deux définitions reposent toutefois sur des prémices scientifiques. En conséquence, toute modification de définition supposera un accord politique préalable à toute demande d’apport scientifique complémentaire. Plus de trois ans de négociations au niveau international ont été nécessaires pour gagner le consensus politique sur ces définitions. Il est donc peu probable que ces questions soient ouvertes à nouveau dans un futur proche. Le seul élément qui puisse rouvrir cet épineux dossier serait par exemple un faisceau d’arguments montrant que les définitions actuelles ne sont pas adaptées pour caractériser les changements d’affectation des terres et la foresterie dans leur contribution au changement du climat. Nous envisageons ici des travaux de recherche qui démontreraient l’existence de flux significatifs de gaz à effet de serre liés aux changements d’affectation des terres et de la foresterie, qui ne puissent être pris en considération du fait des définitions actuelles. Si de tels flux existent bel et bien, ils devraient être mis en évidence par des méthodes scientifiques, et soumis à publication par les voies appropriées. Dans le cadre actuel du financement de la recherche scientifique, dans le monde en général et en Europe en particulier, un délai de cinq ans est raisonnable pour que de telles recherches aboutissent. Ce qui nous amène au-delà du délai de dépôt des définitions et vide cette perspective de sens *ispo facto* jusqu’au terme de la première période d’engagement.

Un argument politique valable pour changer les définitions actuelles de “forêt” et de “gestion des forêts” serait un coût excessif lié aux inventaires forestiers requis pour quantifier le changement

d'affectation des terres et la foresterie par les Parties au Protocole de Kyoto sous les obligations liées aux Accords de Marrakech. Cet argumentaire ne pourrait toutefois émerger qu'au terme d'une première période d'application de ces définitions aux pratiques d'inventaires. Cette hypothèse n'a donc de sens qu'au cours de la seconde moitié de la première période d'engagement, et une applicabilité au cours de la deuxième période d'engagement, voire même ultérieurement.

En conclusion, les définitions actuelles de "forêt" et de "gestion des forêts" seront d'application au moins jusqu'au terme de la première période d'engagement. La structure logique de ces définitions risque très peu d'être remise en question, seules les valeurs numériques des paramètres appliqués à ces définitions pourraient être revus avant cette échéance.

1.2. Les paramètres à inventorier

Le GBP en matière de changement d'affectation des terres et de la foresterie (GPG LULUCF) se concentre sur l'estimation des variations de stocks de C résultant des émissions ou des absorptions de gaz à effet de serre du fait d'activités induites par l'homme. Les deux caractéristiques fondamentales de ces activités sont :

- la surface de territoire concernée et tout changement de surface et
- la variation de teneur en C.

Surface de territoire. Les surfaces de territoire doivent être connues pour estimer les stocks de C, les émissions et l'absorption de gaz à effet de serre associés à l'affectation des terres et la foresterie, résultant des activités humaines. La révision des premières lignes directrices publiées en 1996 (IPCC, 1997) fournit peu d'information sur le choix des méthodes pour identifier ces surfaces. Il existe toutefois un large éventail d'activités relatives au changement d'affectation des terres et la foresterie, et les surfaces correspondantes doivent être définies de façon cohérente et compatible avec les calculs d'inventaires. En pratique, les parties recourent à des recensements annuels, des inventaires périodiques et la télédétection pour collecter ces informations.

Le GBP définit six "catégories" qui englobent toutes les affectations de territoires que doivent rapporter les Parties au Protocole de Kyoto sous les obligations liées aux Accords de Marrakech. Ces "catégories" ont une cohérence interne, avec la révision des lignes directrices du GIEC 1996 (IPCC, 1997), le Protocole de Kyoto et les Accords de Marrakech, et une cohérence externe, avec les travaux en cours sur l'harmonisation des définitions en relation avec les forêts en cours à la FAO (1986 ; 1995), l'IUFRO et le

CIFOR (FAO, 2002). Ces "catégories" sont :

- les forêts,
- les terres agricoles,
- les herbages,
- les zones humides,
- les zones construites et,
- les autres portions de territoire.

Le GBP sur le changement d'affectation des terres et la foresterie propose aux Parties des procédures de désagrégation de leurs statistiques sur l'affectation du territoire selon les six "catégories" citées ci-dessus. Parmi celles-ci, les observations par satellites constituent évidemment, soit un bon outil de désagrégation de l'information disponible, soit un bon outil de vérification de cette information. Le GBP demande que les Parties rapportent des données sur les "réservoirs" : la biomasse aérienne, la biomasse souterraine, la litière, le bois mort et le C organique du sol, pour les six "catégories" citées ci-dessus. Le rapportage des inventaires de gaz à effet de serre pour les portions de territoire couvertes de forêts au sens du Protocole de Kyoto et des Accords de Marrakech suppose, de plus, les sous-catégories suivantes :

- les forêts qui tombent sous le coup de l'Article 3.3,
- les forêts qui tombent sous le coup de l'Article 3.4,
- les autres territoires sous gestion forestière,
- les territoires forestiers non gérés.

Précisons enfin qu'une Partie peut décider de ne pas comptabiliser un "réservoir" donné au cours d'une période d'engagement, si elle communique des informations transparentes et vérifiables établissant que ledit réservoir n'est pas une "source" de C pour l'atmosphère.

Trois approches de représentation du territoire. Le GBP exige que la représentation du territoire réponde à une liste stricte de critères ainsi définis :

- *Adéquation*, c'est-à-dire la capacité de représenter la distribution des stocks de C, des émissions et absorptions de gaz à effet de serre, ainsi que leurs relations avec les pratiques de gestion des terres.
- *Cohérence*, c'est-à-dire la capacité de représenter la gestion des terres et les changements d'affectation des terres au cours du temps, sans influence de discontinuités artificielles dans les séries temporelles de données ou toute interférence parmi lesquelles les cycles récolte-replantation dans le cadre d'une gestion forestière classique.
- *Complétude*, c'est-à-dire que la couverture doit être complète pour les différentes affectations du territoire, que les variations de surface dans une catégorie se répercutent bien dans au moins une autre catégorie et que les sous-catégories reprises aux Accords de Marrakech soient bien identifiées.

- *Transparence*, c'est-à-dire que les données, les sources, les définitions, les méthodologies et les hypothèses posées soient bien documentées, claires et compréhensibles dans un processus de vérification.

Le GBP définit trois **approches** (*tiers*) pour la collecte des données. Elles permettent une identification de plus en plus poussée des surfaces considérées. La première approche définit la surface totale de chaque catégorie. La deuxième débouche sur l'élaboration d'une matrice de changement d'affectation des terres. La troisième repose sur la structure de la précédente et délivre des données géoréférencées. Ces trois approches ne sont ni hiérarchisées, ni exclusives. Pour atteindre les objectifs d'inventaires et les particularités régionales, un mélange de méthodes peut être envisagé. La troisième approche implique le plus grand effort de collecte de données. Elle suggère que le territoire soit couvert d'une grille dont la maille et le point d'échantillonnage permettent de suivre les évolutions spatiales et temporelles. Enfin, cette grille doit être utilisée de façon cohérente dans le temps.

Méthodes de rapportage des surfaces forestières tombant sous le coup des Articles 3.3. et 3.4. La Belgique, en tant que Partie de l'Annexe 1 à la CCNUCC ayant ratifié le Protocole de Kyoto, doit adopter le niveau de rapportage le plus détaillé. Les Accords de Marrakech précisent en effet que les portions de territoire tombant sous le coup des Articles 3.3 et 3.4 doivent être rapportées de façon identifiable (LULUCF decision 11/CP.7, FCCC/CP/2001/13/Add.1. 20.), adéquate en terme de localisation des limites géographiques (LULUCF decision 22/CP.7, FCCC/CP/2001/13/Add.3 6.) et suivie dans le temps pour les périodes ultérieures d'engagement (LULUCF decision 11/CP.7, FCCC/CP/2001/13/Add.1, para.19). En conséquence notre rapportage des surfaces forestières tombant sous le coup des Articles 3.3 et 3.4 doit inclure des informations sur les limites géographiques des portions de territoire soumises au boisement, déboisement, reboisement et à la gestion forestière. Le GBP donne deux méthodes :

- Méthode 1. La représentation grossière d'unités géographiques comprenant de multiples unités légales, administratives ou écologiques soumises aux activités humaines ;
- Méthode 2. L'identification complète de chaque unité.

Les méthodes décrites ci-dessus concourent à la collecte de données qui permettent une représentation du territoire adéquate, cohérente, complète et transparente, au sens de la CCNUCC et du Protocole de Kyoto selon les Accords de Marrakech. Pour notre

pays et notre région, chaque unité de territoire et en particulier chaque unité de territoire qui tombe sous le coup de l'Article 3.3 et des activités de gestion forestière sous l'Article 3.4 (si éligibles) doit être quantifiée selon les approches 2 ou 3 décrites au paragraphe ci-dessus.

La mise en œuvre de la seconde méthode de rapportage impose l'identification et la localisation spatiale de toutes les unités de territoire soumises au boisement, reboisement, déboisement et à la gestion forestière suivant une cartographie complète de toute surface comprise sur le territoire national. L'approche 3 est donc la seule approche éligible pour rapporter tout changement d'affectation des terres. Celle-ci réduit de façon considérable le risque de double comptabilisation des mêmes surfaces, mais suppose une importante collecte de données et une analyse détaillée.

Indépendamment des options prises ci-dessus sur la méthode, le rapportage en matière de "*gestion des forêts*" (selon l'Article 3.4) présuppose une distinction entre "*forêt gérée*" et "*forêt non gérée*". Dans ce cadre, la définition de "*gestion des forêts*" renvoie sur la notion de "*gestion durable*" des forêts, en respect des fonctions écologiques (y compris la biodiversité), économiques et sociales. Ce prérequis du GBP est absent de la définition de "*forêt gérée*" telle que donnée dans les lignes directrices des inventaires de gaz à effets de serre du GIEC (IPCC, 1997) qui, elle, englobe toutes les forêts soumises à l'action de l'homme. Ceci implique donc que la totalité des surfaces forestières rapportées sous couvert de l'Article 3.4 ne puisse jamais être supérieure au total des surfaces forestières gérées rapportées dans le cadre de la CCNUCC.

Forêt versus non-forêt. Les "*forêts*" sont une utilisation du territoire clé parmi les surfaces obligatoires à rapporter sous couvert de l'Article 3.3. Tout changement d'affectation du territoire en relation avec cet Article correspond à une transition d'une catégorie à une autre, de "*forêt*" vers "*terres agricoles*", "*herbage*", "*zone humide*", "*zone construite*" ou "*autre portion de territoire*", ainsi que décrite ci-dessus, ou à une transition de catégorie inverse de "*non-forêt*" à "*forêt*".

Les obligations de rapportage sous couvert de l'Article 3.3 peuvent donc se limiter au rapportage sur l'accroissement ou la réduction des surfaces forestières (respectivement les "*boisements*" et "*déboisements*"). Il ne s'agit toutefois pas d'un simple exercice comptable. Le GBP attire l'attention sur deux points d'importance : l'adéquation environnementale et la cohérence avec les statistiques forestières rapportées dans le passé.

Forêt *versus* non-forêt pose en effet la question de l'adéquation environnementale. Les forêts sont des écosystèmes naturels ou artificiels, dont une proportion significative de la biomasse repose principalement sur des espèces ligneuses. Les forêts se distinguent d'abord des autres écosystèmes par leur capacité à accumuler une plus grande partie de biomasse ligneuse que tout autre écosystème terrestre. Les forêts assurent ensuite une protection de la vie sauvage.

La définition de "forêt" telle qu'adoptée dans les Accords de Marrakech permet d'inclure des agro-écosystèmes, dont les vergers, dans la catégorie "forêts". Il peut être considéré comme plus opportun de rapporter ces agro-écosystèmes sous le couvert du Chapitre 4 "Agriculture" des lignes directrices du GIEC pour le rapportage des gaz à effet de serre, plutôt que sous celui du Chapitre 5 "Changement d'affectation des terres et forêts", dans la mesure où ces unités territoriales sont soumises à une gestion humaine intense : préparation du sol, application d'engrais et pesticides, etc. Ce choix est déterminant dans la mesure où il est lié à la sélection du choix d'activités tombant sous couvert de l'Article 3.4, qui fixe la gamme de pratiques de "gestions des forêts" éligibles pour produire des crédits de gaz à effet de serre.

Forêt *versus* non-forêt pose enfin une question de cohérence avec les rapportages historiques de données forestières et/ou les données d'inventaires forestiers en cours ou existants. La grande flexibilité que donne la définition de "forêt" selon les termes des Accords de Marrakech permet l'adoption d'une définition par les Parties conforme dans le texte et dans l'esprit à ce qui est la définition classique de "forêt" utilisée pour les rapportages nationaux et internationaux, et n'impose pas un nouveau travail fondamental. Au contraire, il incite au meilleur usage possible des données historiques, particulièrement pertinent dans le cadre de ce type d'utilisation du territoire à long terme. Ces Parties, dont la Belgique, ne pourront toutefois pas faire l'économie d'une nouvelle classification et de l'identification plus précise de leur territoire dans lequel tous les efforts de digitalisation cartographique pourront et devront être valorisés.

Importance des surfaces de territoire dans le Guide des Bonnes Pratiques sur l'affectation du territoire et la foresterie. Les surfaces forestières, dont il est question ici, jouent un double rôle :

- dans le rapportage sur les inventaires de gaz à effet de serre dans le cadre de la CCNUCC ;
- sous couvert des Articles 3.3 et 3.4 du Protocole de Kyoto.

Rôle 1 : élément de stock de C et caractérisation des flux. Ce premier rôle associe une surface donnée (et

l'aire, sa valeur numérique) à la taille d'un stock (ou d'un flux) de C correspondant dans un écosystème. En effet, la surface assignée sur un territoire donné est la principale limite à la productivité nette de cet écosystème et donc à la biomasse présente sur cet écosystème. Ainsi, tout changement de surface couverte par un type d'écosystème existant affecte la quantité de biomasse accumulée par cet écosystème. Dans cette logique, l'aire est une approximation indirecte de la biomasse accumulée sur un écosystème. L'aire, en tant que valeur numérique de la surface, est une entrée simple pour des modèles assimilant les tables de croissance, pour calculer les récoltes potentielles, les stocks de C et leur changement au cours du temps et sur l'entièreté du territoire.

Rôle 2 : identifier les stocks. Ce second rôle associe une aire, spatialement identifiée, et un stock de C qui évoluera dans le temps. D'une part, la description spatiale de l'aire et des limites d'un écosystème permet de le localiser physiquement. D'autre part, elle permet des projections de la réalité, sous forme de cartes ou de fichiers pour systèmes d'informations géographiques. En conséquence, les caractéristiques spatiales de l'aire d'un écosystème permettent d'identifier sa localisation et permettent de projeter des changements dans l'écosystème, y compris les migrations, les changements de localisation de bordures, sans pour autant que l'aire totale soit affectée. La délimitation des bordures entre surfaces sujettes à "boisement", "reboisement" et "déboisement", et aux types de "gestion des forêts" est une procédure clé dans l'identification de ces aires.

Alors que le rôle 1 donné ci-dessus est d'application dans le cadre des besoins de rapportage de gaz à effet de serre de la CCNUCC, le rôle 2 est lié à l'identification et au rapportage des gaz à effet de serre résultant des changements de stocks de C sur toute portion de territoire soumise aux activités reprises sous les Articles 3.3 et 3.4, à partir du 1^{er} janvier 1990, du Protocole de Kyoto et des Accords de Marrakech. Cette identification des surfaces de territoire soumises aux activités de "boisement", "reboisement" et "déboisement", et de "gestion des forêts" est un outil très important contre toute possibilité de falsification des données rapportées. Il est certain qu'aucune concession ultérieure sur ce point ne pourrait être remise sur la table des négociations. Par contre, l'obligation de fournir un jeu d'informations minimal sur une aire de territoire qui lui confère des critères 'spatiaux spécifiques' peut bénéficier des progrès de recherches futures ou de la volonté politique de maintenir le coût des procédures à des valeurs acceptables.

1.3. Mesures du stock

Les activités humaines responsables de changements dans les stocks de C (donc associées à une émission ou une absorption de gaz à effet de serre) résultent d'un changement dans l'aire des forêts (en moins ou en plus) ainsi que décrit ci-dessus, ou d'un changement dans la teneur en C dans un écosystème existant. Une estimation de la teneur en C résultant de la définition de "forêt" selon les Accords de Marrakech est donnée par l'importance du couvert et donc le nombre de tiges à l'hectare. Trois voies s'ouvrent ici :

- le stock ne change pas (et il n'y a pas matière à discuter),
- le stock décroît et,
- le stock croît.

Si le stock forestier décroît sous le seuil critique adopté dans la définition de "forêt", il en résulte un changement d'affectation du territoire et en conséquence une réduction de la surface territoriale couverte par les "forêts". Ce changement de stock forestier peut donc nécessiter le rapportage d'une déforestation. Si le stock forestier croît, dans le cas d'un "boisement" ou d'un "reboisement", il n'y a pas de conséquence immédiate sur le critère de stock actuel en "forêt" mais bien sur le potentiel d'atteindre et de dépasser cette valeur seuil, par le développement des arbres au terme d'un certain laps de temps.

Les Accords de Marrakech laissent une grande liberté dans la définition du stock forestier en adoptant le pourcentage de couverture forestière par unité de surface comme critère de mesure. D'autres mesures sont possibles, mais elles ne peuvent être pires que la couverture au sol. Une estimation recevable de ce qui est considéré comme pire ou meilleur est le niveau de signification d'une corrélation entre la couverture au sol et le stock de biomasse. Si cette corrélation est meilleure, alors le paramètre est éligible. Parmi ceux-ci figurent comme candidats potentiels le nombre d'arbres par hectare, la surface terrière, le LAI et le stock de biomasse. Toutes ces mesures permettent également de faire la distinction entre "forêt" et "non-forêt". Finalement, il est important de réaliser que les valeurs rapportées ici peuvent être corroborées par recoupement avec des observations satellitaires.

1.4. Hauteur des arbres

La définition de "forêt" aux termes des Accords de Marrakech impose que la végétation forestière ait un potentiel à atteindre une hauteur minimale de 2 à 5 m à maturité *in situ*. Cette définition devant être fournie avant décembre 2006. Cette exigence d'atteindre une hauteur minimale à un certain âge *in situ* est en rapport étroit avec la composition floristique nécessaire pour

que les arbres dans ce type d'écosystème forestier atteignent le minimum de hauteur requis. Certaines exploitations du sol ou des bas étages peuvent en effet contribuer à ce que l'aire forestière tombe sous les critères retenus dans la définition. De telles pratiques tomberaient de plus sous le coup des pratiques de "gestion des forêts" non durables. Notons que la "déforestation" est interprétée ici comme l'arrêt de la conformité des paramètres du site forestier par rapport à la définition retenue de "forêt". L'importance du paramètre "hauteur des arbres" prend ainsi tout son sens. Un sens historique toutefois dont la portée doit être mise en perspective. Si de telles surexploitations du milieu sont effectives et que la hauteur des arbres en place en soit à ce point affectée, il faudrait en effet une vérification au sol de l'importance du recru éventuel, et démontrer que le potentiel de développement dans le temps de cette forêt soit réellement compromis. Ce genre de vérification est improbable et difficile à mettre en œuvre.

L'importance du paramètre "hauteur des arbres" garde toutefois tout son sens pour une Partie qui retient la "gestion des forêts" sous couvert de l'Article 3.4. Dans ce cas, tout changement de hauteur des arbres reflète les pratiques forestières. En définitive, la hauteur des arbres est une mesure objective d'un descripteur grossier de la composition végétale d'une parcelle forestière.

1.5. Fréquence de mesure minimale

Le Protocole de Kyoto et les Accords de Marrakech imposent un rapportage annuel au cours de la première période d'évaluation. La collecte de certaines données de statistiques forestières s'en accommode parfaitement, par exemple les coupes annuelles de bois. Le GBP n'impose toutefois pas une collecte annuelle des données. La fréquence de mesure des aires forestières peut être plus faible dans la mesure où les grandes tendances dans les pratiques de "boisement", "reboisement" et "déboisement" sont planifiées pour une bonne part, ainsi que les aires soumises à la "gestion des forêts". Des extrapolations et des exercices de modélisation sont donc recevables. Une vérification des données communiquées au terme de la première période d'engagement par des données de terrain est toutefois requise et l'ajustement des calculs doit alors être envisagé. Le GBP évoque l'avantage d'une périodicité de mesure inférieure à l'année, pour soustraire les données des variations interannuelles, qu'elles soient climatiques ou autres. Ceci est d'application par exemple au taux d'émission ou de séquestration nette du C par les écosystèmes forestiers.

Le GBP ne postule pas une collecte spécifique de données aux fins du rapportage sous le Protocole de

Kyoto. Le Chapitre 4 §2.3.3 du GBP avance toutefois une périodicité de 5 ans, ce qui correspond à la durée de la première période d'engagement.

1.6. Minimum de résolution des mesures

Les Accords de Marrakech précisent que les Parties au Protocole de Kyoto doivent adopter une définition spécifique de “forêt”, en adoptant une valeur numérique unique pour identifier la surface minimale de territoire constitutive d'une forêt, comprise entre 0,05 et 1 ha, un couvert forestier compris entre 10 et 30 % et une hauteur minimale des arbres à maturité comprise entre 2 et 5 m. L'aire minimale d'une surface forestière s'applique également pour identifier les zones relevant de “boisement”, “reboisement” et “déboisement”. Les Accords de Marrakech n'évoquent toutefois pas la notion d'étendue spatiale et donc la configuration des aires forestières. Il en résulte que les arbres d'alignement et les arbres de ceintures forestières sont éligibles. Cependant, le GBP impose une homologie dans toutes les définitions forestières et les critères applicables aux aires forestières sont également d'application aux définitions de “boisement”, “reboisement” et “déboisement”. Le GBP propose les quatre solutions suivantes :

1. Adopter une largeur minimale de parcelle forestière dans la définition de “forêt” pour définir une dimension linéaire minimale.
2. Adopter une dimension linéaire minimale qui ne puisse pas être inférieure au diamètre d'un cercle couvrant l'aire minimale précisée dans la définition de la “forêt”.
3. Adopter une dimension linéaire minimale qui ne puisse pas être inférieure au côté d'un carré couvrant l'aire minimale précisée dans la définition de la “forêt”.
4. Adopter la limite théorique de l'aire de dimension minimale (d en m) selon la formule

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 10.000}{n}}$$

avec n = le nombre moyen de tiges à l'hectare dans une forêt voisine similaire.

Les Accords de Marrakech déclarent toutefois que lorsque les définitions relatives aux “forêts” seront déposées au 31 décembre 2006, il ne sera plus possible de procéder à leurs modifications jusqu'au terme de la période d'engagement.

1.7. Mesures *in situ* et modèles

Une caractéristique essentielle des données requises pour le rapportage sous le Protocole de Kyoto est que

les données résultent de sommations et non de généralisations. Ceci simplifie grandement les procédures de vérification. L'obligation de fournir des informations cohérentes et qui se réfèrent aux réalités du terrain donnent un avantage décisif aux observations et mesures *in situ*. Des données issues de modèles peuvent être envisagées, mais devront être recalées, au terme de la première période d'évaluation, sur les réalités de terrain. Ultérieurement, pour d'autres périodes d'engagement, en connaissant la qualité des données de terrain, des observations par satellites pourraient être envisagées.

2. ÉVOLUTION DES FORÊTS BELGES (EFOBEL)

Le modèle d'Evolution des FORêts BELges (EFOBEL) est basé sur les travaux de Hébert et Laurent (1995) et de Sheridan (2002), simulant la dynamique des peuplements forestiers, au départ des données de l'inventaire en Région wallonne (RW). EFOBEL reprend ces algorithmes et les développe pour :

- Calculer la séquestration annuelle de C par les forêts belges, suivant la méthodologie du GIEC (IPCC, 1997 ; GPG LULUCF).
- Estimer l'évolution des stocks de C dans les écosystèmes forestiers entre 2008 et 2012.
- Estimer l'impact des activités de changement d'affectation des terres et de la foresterie sur les émissions de dioxyde de carbone entre 2008 et 2012.

2.1. Méthodes

Les surfaces et les volumes de bois fort mesurés par inventaire forestier sont groupés pour l'analyse dynamique, en classes d'âge d'un an pour les “résineux” et “peupliers” ou en structures pour les “feuillus”. On distingue trois structures : les “plantations” pendant dix ans, les “jeunes futaies” pendant les 30 ans consécutifs, et les “futaies matures” jusqu'au terme de l'exploitation (**Tableau 2**). Les surfaces et les volumes spécifiques des taillis sont considérés comme constants durant la période 2008–2012. La méthode de calcul consiste à faire glisser, d'année en année jusqu'au terme d'exploitation, les volumes et les surfaces d'une classe d'âge (ou d'une structure) à une autre, en tenant compte de l'accroissement volumique annuel des arbres et des coupes dans les peuplements. À chaque année de simulation, 1/10^e des “plantations” feuillues glisse dans la classe “jeunes futaies”, et 1/30^e des “jeunes futaies” glisse dans la classe “futaies matures”. Les volumes pour un type de peuplement résultent du produit des volumes par unité de surface et des surfaces correspondantes.

Tableau 2. Description des différents types de peuplements issus des inventaires forestiers en Région wallonne et en Région flamande, répartis en classes d'âge ou selon leur structure — *Description of the different types of stands from the forest inventories of the Walloon Region and the Flemish Region, distributed according to their age or their structure.*

Types de peuplements	Classes d'âge ou structures
Résineux	Classe d'âge
Épicéas	1 an
Douglas	
Mélèzes	
Pins	
Autres résineux	
Peupliers	
Feuillus	Structure
Hêtres	Plantations (1 à 10 ans)
Chênes	Jeunes futaies (11 à 40 ans)
Feuillus nobles	Futaies matures (41 ans et +)
Autres feuillus	

À chaque cycle annuel de simulation, les volumes évoluent. Ils correspondent aux accroissements des peuplements, déduits des volumes prélevés correspondant à l'exploitation des forêts par éclaircie ou mise à blanc. Le pourcentage de la surface ainsi exploité est appelé le “taux d'enlèvement”. Il dépend de l'essence ou de la classe d'âge ou de la structure. Pour les jeunes peuplements, le taux d'enlèvement est de 0 %. Il est de 100 % pour les surfaces à l'âge de la révolution. Pour les “résineux” et “peupliers”, EFOBEL part de l'hypothèse que les prélèvements sont étalés dans le temps : les taux d'enlèvement sont fixés sur base d'une répartition en courbe Normale avec une amplitude de 20 ans, c'est-à-dire un intervalle de dix ans de part et d'autre de la révolution (rév). La distribution de la fraction de la superficie totale exploitée et celle du taux d'enlèvement correspondant sont données à la **figure 1**. Pour les “feuillus”, on parle de “disponibilité annuelle”. Au sein d'un peuplement, on considère une distribution régulière des surfaces par classes d'âge et la disponibilité annuelle correspond à la surface du peuplement divisée par la durée de la révolution. Chaque année, la disponibilité est soustraite des peuplements matures (Hébert, Laurent, 1995).

Les surfaces de “peupliers” exploitées une année se retrouvent dans la classe 0 – 1 an l'année suivante. Les surfaces de “résineux” exploités glissent vers une classe correspondant à la durée de mise en attente avant la plantation, de -7 ans à -1 an. Pour les “feuillus”, les surfaces exploitées glissent vers la

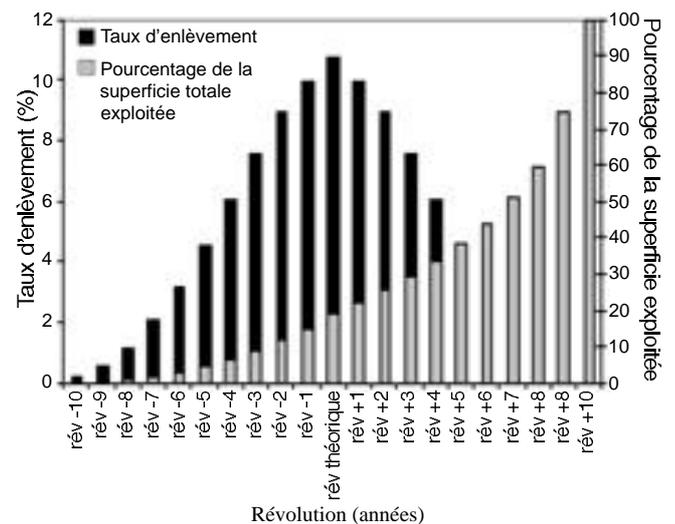


Figure 1. Répartition des taux d'enlèvement (histogrammes noirs) et des pourcentages de la superficie totale exploitée (histogrammes grisés) dans une fenêtre de 20 ans, centrée autour de l'âge de la révolution (rév) théorique — *Repartition of the removal rates (black histograms) and of the percentages of the total of used land (grey histograms) in a 20-year period centered around the theoretical rotation age.*

classe de structure “jeunes plantations” sans mise en attente. La conversion des volumes de bois fort en quantité de C est réalisée par l'utilisation de facteurs d'expansion et de conversion de la biomasse.

2.2. Hypothèses de travail

EFOBEL procède des hypothèses de travail suivantes, applicables au cours de la période 2008–2012.

- Les peuplements d'âge connu, les “résineux” et “peupliers” sont considérés comme des peuplements équiennes monospécifiques traités par mise à blanc.
- La superficie forestière totale est constante, seule la surface productive change.
- Les accroissements annuels moyens par essence sont supposés constants durant la simulation.
- La sylviculture appliquée est supposée invariante pendant toute la durée de la prévision de 2000 à 2012.
- La surface des vides reste constante pour chaque type de peuplement.
- Les accidents (chablis, ravageurs) ne sont pas pris en compte.
- Les taux d'enlèvement sont fixés avec une amplitude de 20 ans, répartis de façon symétrique autour de l'âge théorique de la révolution.
- Les surfaces exploitées sont replantées avec les mêmes essences. Les surfaces d'épicéa et de pin mises à blanc peuvent être replantées par d'autres essences.
- Les volumes des futaies des “taillis sous futaies”

sont inclus dans les volumes de “*futaies*”.

- Les volumes des taillis des “*taillis sous futaies*” et ceux du taillis simple restent constants au cours de toute la durée de prévision.
- Pour rendre le modèle compatible avec la structure d’âge actuelle des forêts et éviter une surexploitation des forêts matures, il est prévu une période de “*tolérance*” de cinq ans durant laquelle la durée de révolution est temporairement majorée. Cela correspond à une période d’adaptation de la sylviculture et de mise en place de nouvelles mesures de gestion forestière.
- La proportion de bois fort branche par rapport au bois fort tige reste constante pour chaque année de simulation.

2.3. Structure générale

EFOBEL est un modèle matriciel opérationnel dans l’environnement MS Excel. Le modèle a été développé séparément pour la Région wallonne (RW) et pour la Région flamande (*Vlaamse Gewest*, VG). Chaque partie du modèle, pour la RW et la VG, est constituée de 20 feuilles, subdivisées en cinq feuilles d’encodage, deux feuilles de saisie et de contrôle des paramètres, neuf feuilles de modules et enfin cinq feuilles de synthèse des résultats. La première étape dans l’utilisation du modèle consiste à encoder les données d’inventaire forestier. L’inventaire des ressources forestières en RW et en VG nous a été fourni sous forme de tableaux reprenant les résultats complets de l’inventaire pour chacun des points d’échantillonnage. Clôturés en 1999, les inventaires reflètent la situation forestière début 2000, année de départ de nos simulations. La deuxième étape consiste à faire varier les paramètres sylvicoles qui figurent dans la feuille de saisie et la feuille de contrôle des paramètres pour analyser l’évolution des surfaces productives. Les quatre principaux paramètres sylvicoles variables sont les suivants :

- *La révolution*. Elle correspond au terme d’exploitabilité, exprimé en âge du peuplement. Elle est affectée à chaque peuplement et est fonction de l’essence et de la surface forestière.
- *La tolérance*. C’est la période de transition pendant laquelle la politique forestière se met en place, soit le temps entre une prise de décision et son application. En pratique, elle est de cinq ans.
- *Le temps d’attente* entre la mise à blanc et la plantation. Il est compris entre 0 et 7 ans. Quand une surface forestière est mise en attente, on considère qu’elle appartient à la classe d’âge -1. La classe d’âge 0 correspond à l’année de la plantation. Le temps d’attente est appliqué à tous les peuplements équiennes traités par mise à blanc (“*résineux*” et “*peupliers*”). Pour les “*feuillus*”, la

“*disponibilité annuelle*” suppose le rajeunissement immédiat des peuplements exploités.

- *La conversion* des pessières et des pinèdes mises à blanc en autres peuplements.

2.4. Conversion des volumes de bois fort en quantité de carbone

Des facteurs d’expansion de la biomasse sont utilisés pour le calcul de la quantité de C dans la biomasse forestière (Nabuurs, Mohren, 1993 ; Brown, 2002 ; Gracia, Sabate, 2002). Ces facteurs d’expansion de la biomasse sont utilisés pour convertir la biomasse totale en quantité de C à partir du volume de bois fort (m³) ou pour convertir la masse végétale sèche (t DM) en stock de C (t C).

2.5. Scénarios

La prévision du potentiel de séquestration de C résulte de différents scénarios. Le scénario le plus probable pour la période de 2008 à 2012 est la poursuite des pratiques sylvicoles actuelles dans un scénario “*Business as usual*”. Les paramètres relatifs à un tel scénario sont obtenus soit par les inventaires eux-mêmes, soit par recherches bibliographiques dans des ouvrages de référence.

Pour la “*révolution*”, nous avons adopté les valeurs suivantes :

- *Épicéa*. Les âges estimés de chaque coupe sont renseignés par l’inventaire. À partir des 1600 ha de mises à blanc, nous avons calculé une révolution moyenne de 72 ans pour les pessières soumises et de 56 ans pour les pessières privées.
- *Douglas*. Boudru (1986) renseigne une révolution de 70 à 80 ans et donne une moyenne de 75 ans. Les arbres atteignent alors un diamètre de 60 à 80 cm et une hauteur totale de 35 à 40 m. Nous fixons la révolution moyenne à 75 ans.
- “*Autres résineux*”. La révolution moyenne est fixée à 60 ans.
- *Peupliers*. Sur base des placettes mises à blanc en peuplier, la révolution moyenne est fixée à 40 ans.
- *Hêtres, chênes et “Autres feuillus”*. La révolution moyenne est fixée à 150 ans .

Le “*temps d’attente*” moyen calculé à partir des données sur les mises à blanc est de trois ans. La conversion des plantations d’épicéa résulte de l’analyse comparée des inventaires wallons qui a montré une diminution annuelle de la surface occupée par l’épicéa de 0,4 %, dont 0,3 % sont convertis en surfaces “*non productives*” et 0,1 % en “*autres résineux*” ou “*feuillus*”. Les accroissements annuels par essence sont issus de re-mesurages de parcelles réalisées en 2001 (Lecomte, comm. pers.). Ils sont présentés au **tableau 3**.

Tableau 3. Accroissements moyens annuels des principaux types de peuplement, mesurés en 2001 dans le cadre de l'Inventaire Permanent des ressources Forestières en Région wallonne (Lecomte, comm. pers.) — *Yearly mean increment in the main stand types, measured in 2001 within the frame of the Permanent Inventory of Forestry Resources in Walloon Region (Lecomte, personal communication).*

Types de peuplement	Accroissement (m ³ .ha ⁻¹ .an ⁻¹)
Feuillus	
Hêtre	6,3
Chêne	3,8
Peuplier	6,5
Autres feuillus	6,4
Résineux	
Epicéa	17,4
Douglas	23,3
Pin	8,8
Mélèze	11,4
Autres résineux	15,5

Pour définir des limites de confiance au scénario “*business as usual*”, nous avons simulé 14 “situations extrêmes”, non illustratives d’une quelconque politique régionale forestière. Elles sont reprises dans les fourchettes suivantes : variations de 10 ans la révolution des épicéas, variations de 10 ans la révolution des hêtres et des chênes, variations de 10 ans la révolution des hêtres, des chênes et des épicéas, conversions de 10, 50 et 100 % des épicéas mis à blanc en Douglas, conversions de 10, 50 et 100 % des épicéas mis à blanc en hêtres et chênes et enfin, la suppression du temps d’attente.

2.6. Résultats et discussion

Le stock de C dans la biomasse des forêts belges est estimé à $60,8 \pm 6,1$ Mt C, soit $85,6$ t C·ha⁻¹ de forêt, réparti à raison de 58,2 % dans les feuillus et 41,8 % dans les résineux ou encore à raison de 84 % pour la partie aérienne et 15 % pour la partie souterraine, en faisant abstraction de la biomasse racinaire fine (Lebègue *et al.*, 2004). Par rapport aux forêts des pays limitrophes, cette valeur est située entre les valeurs inférieures de 59 t C·ha⁻¹ citées pour la France et les Pays-Bas (Pignard *et al.*, 2000 ; Nabuurs, Mohren, 1993) et les valeurs supérieures avec plus de 100 t C·ha⁻¹ citées pour l’Allemagne (Baritz, Strich, 2000).

L’évolution des stocks de C suivant le scénario “*Business as usual*” du modèle EFOBEL est présentée à la **figure 2**. On constate une croissance régulière du stock de C dans la biomasse durant les dix prochaines

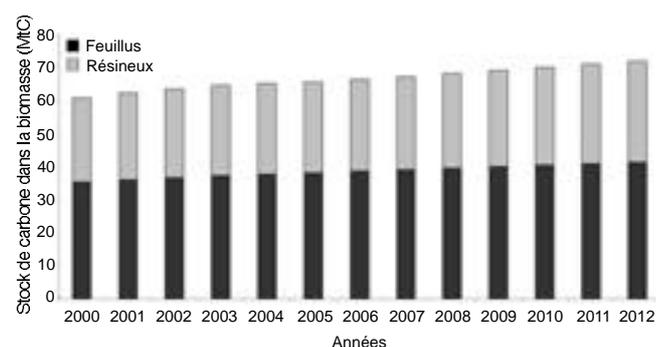


Figure 2. Évolution des stocks de carbone dans la biomasse en Mégatonnes de carbone (MtC), calculés par EFOBEL sur base du scénario “*Business as usual*”, répartis selon les essences feuillues (histogrammes noirs) et résineuses (histogrammes grisés) — *Evolution of the C-stock in the biomass in megatonnes of carbon (Mt), calculated by EFOBEL on the basis of the “Business as usual” scenario, distributed among broad-leaved (black histograms) and needle-leaved (grey histograms) forests.*

années. En 2012, le modèle prédit un stock de C de $70,6$ Mt C, soit $101,0$ t C·ha⁻¹. Ainsi, au terme de la première période d’engagement du Protocole de Kyoto, le stock de C dans la biomasse serait en augmentation de 18,3 % par rapport au stock de 2000. Cette augmentation des stocks de C dans la biomasse est représentative d’une part, de la forte productivité des forêts belges dominées par des essences à croissance rapide sur des sols fertiles dont l’épicéa et les pins, et d’autre part, du jeune âge de nos peuplements. L’accroissement net annuel est la différence entre l’accroissement biologique des peuplements et la quantité de biomasse prélevée par les récoltes de bois. Entre 2008 et 2012, la séquestration annuelle de C selon ce scénario est très importante et varierait de 2,7 à 2,9 % des émissions anthropiques de gaz à effet de serre inventoriées en 1990.

Seuls deux des 14 scénarios extrêmes présentent des effets significatifs sur les stocks de C à moyen terme et balisent les prédictions du scénario “*Business as usual*” ainsi que le montre la **figure 3**. La diminution de durée de la mise en attente et l’induction de changements dans la composition spécifique, en remplaçant des épicéas par le Douglas par exemple, n’influencent pas le stock de C à moyen terme. Par contre, les variations de ± 10 ans de la révolution de l’épicéa correspondent à une augmentation significative des stocks de C à moyen terme. Selon ce scénario, le stock de C en 2012 atteindrait 126,6 % des stocks de 1990, soit une augmentation de 8,3 %, par rapport au scénario “*business as usual*”. La séquestration annuelle additionnelle de C, calculée de 2008 à 2012,

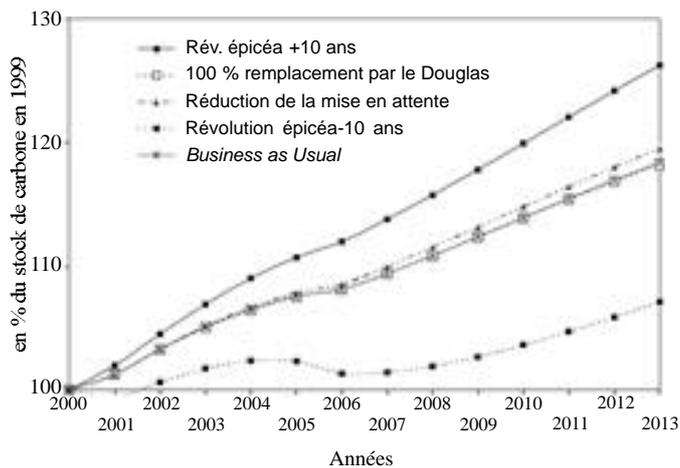


Figure 3. Évolution des stocks de carbone dans la biomasse totale de la forêt belge, calculée à l'aide d'EFOBEL, exprimée en pour cent des stocks mesurés en 2000. Scénario "Business as Usual" encadré par le scénario extrême variation de ± 10 ans de la révolution de l'épicéa — Evolution of carbon stocks in the total Belgian forest biomass, calculated with the help of EFOBEL, expressed in percentage of the 2000 stocks. "Business as Usual" scenario accompanied by the extreme scenario of ± 10 year spruce rotation variation.

représenterait une quantité de C variant de 0,308 à 0,389 Mt C \cdot an $^{-1}$. Les Accords de Marrakech fixent pour la Belgique un seuil maximum, correspondant à 0,030 Mt C \cdot an $^{-1}$, relatif à la comptabilisation des pratiques de gestion forestière dans le cadre de l'Article 3.4 du Protocole de Kyoto, soit un dixième des possibilités maximales de comptabilisation estimées par EFOBEL. Nous concluons donc qu'il est assuré pour la Belgique d'atteindre le maximum acceptable de comptabilisation de séquestration de C par les pratiques de gestion forestière dans le cadre de l'Article 3.4 du Protocole de Kyoto, d'autant plus que certaines d'entre elles sont déjà d'application, par exemple le maintien de zones naturelles non exploitées et la préservation de forêts âgées.

La localisation géographique des territoires soumis aux activités des Articles 3.3 (boisement, reboisement, déboisement) et 3.4 (gestion forestière) est un autre engagement résultant des Accords de Marrakech, repris au GBP (GPG LULUCF, 2004). Ce travail de géoréférencement, décidé en décembre 2003 à Milan, reste évidemment à faire. Il est réalisable, compte tenu de la haute densité d'échantillonnage dans les inventaires forestiers belges et des développements récents de la cartographie du territoire : la réalisation du nouveau plan d'occupation des sols et la numérisation de la carte pédologique. La **figure 4** illustre les quantités de C par commune, à titre d'illustration d'un premier essai de répartition géographique des stocks de C dans la biomasse

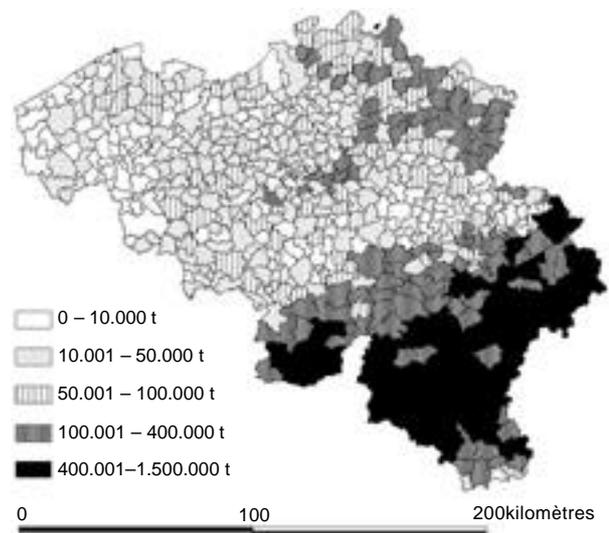


Figure 4. Répartition des stocks de carbone dans la biomasse totale des forêts belges, par commune, pour l'année 2000 — Dissemination of the carbon stocks in the total biomass of Belgian forests, by communes, for year 2000.

forestière en Belgique. La Wallonie, et la Haute Ardenne en particulier, possèdent les stocks de C les plus importants.

Nous avons formulé l'hypothèse d'une superficie forestière totale constante. Durant ces dernières années, nous avons constaté une augmentation de la déforestation, principalement en VG. En RW, il existe également une légère diminution de la surface forestière productive, compensée par une faible augmentation de la surface totale correspondant à 500 ha par an qui résultent d'usages tels que les espaces naturels non exploités, les zones humides, les voiries dont la longueur va croissant. À l'heure actuelle, la perte de surface productive a un faible impact sur les stocks de C, mais pourrait s'amplifier (Perrin *et al.*, 2000). Des mesures compensatoires consisteraient en une politique de protection des forêts contre le déboisement et une stimulation du reboisement des terres abandonnées.

3. CONCLUSIONS

Les Parties signataires de la CCNUCC et du Protocole de Kyoto, parmi lesquelles la Belgique, s'engagent au rapportage annuel de leurs émissions nettes de gaz à effet de serre, soit les émissions par les sources et les absorptions nettes par les puits, principalement les forêts pour le dioxyde de carbone. Un premier manuel de référence a été édité par le GIEC (IPCC, 1997). Il dicte des méthodologies pour l'inventaire des gaz à

effet de serre, secteur forestier compris au chapitre 5 de ce manuel. Le Protocole de Kyoto (1997) fixe des engagements de réduction d'émissions de gaz à effet de serre pour les Parties durant la première période d'engagement 2008–2012. L'actualisation des connaissances scientifiques en matière de puits figurant dans le rapport spécial du GIEC (Watson *et al.*, 2000) et les besoins de nouvelles méthodologies définis dans les Accords de Marrakech en 2001, ont conduit à la rédaction d'un GBP pour les inventaires des changements d'affectation des terres et de la foresterie (GPG LULUCF). Ce GBP, approuvé par la Conférence des Parties à Milan en décembre 2003, sera publié en 2004. Il servira de base aux inventaires des puits de C au moins jusque la fin de la première période d'engagement.

Les méthodologies développées dans le GBP reposent sur l'évolution temporelle des stocks de C en forêt et leur localisation géographique précise. Ces évaluations se basent fondamentalement sur la définition que l'on donne à "forêt", reposant elle-même sur deux paramètres : la "couverture du territoire" et la "surface". Chaque Partie doit, pour le 31 décembre 2006, adopter une définition de "forêt", en fixant les limites inférieures de ces paramètres et en s'y tenant jusqu'au terme de la première période d'engagement. Le calcul des stocks de C en forêt nécessite la localisation géographique des surfaces de territoire concernées par les activités de l'Article 3.3 (boisement, reboisement, déboisement) et celles de l'Article 3.4 (actions des activités anthropiques comprenant la gestion forestière). Le GBP suggère plusieurs méthodes pour la collecte des données et pour leur rapportage que nous analysons dans l'article.

Le modèle d'Evolution des FORêts BELges (EFOBEL) que nous avons développé prend en considération la méthodologie du GBP. Il calcule, sur base des inventaires forestiers wallon et flamand, l'évolution des stocks de C dans la biomasse vivante des forêts belges, simule l'impact des activités de gestion forestière sur la séquestration annuelle du C, et localise géographiquement la répartition des stocks de C en Belgique au niveau communal. En 2000, le stock de C dans la biomasse forestière était de 60,8 Mt C, soit 85,6 t C·ha⁻¹. Au terme de la première période d'engagement 2008–2012, le stock de C dans les forêts belges serait en augmentation de 18,3 % par rapport au stock de 2000 suivant un scénario où les pratiques de gestion forestière resteraient inchangées. Seule la pratique visant à augmenter la révolution permet un accroissement significatif de ce stock à l'horizon 2012. Le potentiel de séquestration maximal additionnel durant la première période d'engagement varierait de 0,300 à 0,380 Mt C·an⁻¹, soit dix fois plus que la quantité maximale fixée dans les Accords de Marrakech (0,300 Mt C·an⁻¹) pour la Belgique.

Bibliographie

- Baritz R., Strich S. (2000). Forests and the National Greenhouse Gas Inventory of Germany. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* **4** (4), p. 267–271.
- Brown S. (2002). Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environ. Pollut.* **116**, p. 363–372.
- Boudru M. (1986). *Forêt et Sylviculture : sylviculture appliquée*. Gembloux, Belgique : Presses Agronomiques de Gembloux, 248 p.
- FAO (1986). *Programme for the 1990 World Census of Agriculture. FAO statistical development. Series 2*. Roma, Italy: Food and Agriculture Organisation, 90 p.
- FAO (1995). Planning for Sustainable use of Land Resources: Towards a new Approach. *Land Water Bull.* **2**. Roma, Italy: Food and Agriculture Organisation, 60 p.
- FAO (2002). Terrestrial Carbon Observation: The Frascati report on *in situ* carbon data and information. In Cihlar J., Heimann M., Olson R. (Eds.) *Environment and Natural Resources. Series 5*. Roma, Italy: Food and Agriculture Organisation, 136 p.
- GPG LULUCF (2004). *Intergovernmental Panel on Climate Change. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Currently (January 2004) subject to Final Copyedit. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme.
- Gracia C., Sabaté S. (2002). Report of the COST E21 Expert meeting on Biomass Expansion Factors (BEF). Besalú, COST E21, WG1-biomass Workshop: 8.
- Hébert J., Laurent C. (1995). Estimation de la disponibilité de la ressource forestière. Cas d'une essence traitée en futaie équienne monospécifique. *Rev. For. Fr.* **47**, p. 572–580.
- IPCC (1997). *Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Houghton JY., Meira Filho LG., Lim B., Treaton K., Mamaty I., Bonduki Y., Griggs DJ., Callender BA. (Eds.). IPCC/OECD/IEA.
- Lebègue C., Laitat É., Perrin D., Pissart G. (2004). Mise en œuvre de carottages de sol et de minirhizotrons pour l'étude à long terme de la réponse des fines racines d'épicéa (*Picea abies* (L.) Karst.) à l'augmentation de la concentration en CO₂ dans l'atmosphère. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* **8** (1), p. 41–53
- LULUCF decision. *Land use, land-use change and forestry* en ligne : <<http://maindb.unfccc.int/library/>>
- Nabuurs G., Mohren G. (1993). Carbon in Dutch forest ecosystems. *Neth. J. Agric. Sci.* **41**, p. 309–326.
- Perrin D., Temmerman M., Laitat E. (2000). Calculation on the impacts of forestation, afforestation and reforestation on the C-sequestration potential in Belgian forests ecosystems. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* **4** (4), p. 259–262.
- Pignard G., Dupouey JL., Arrouays D., Loustau D. (2000). Carbon stocks estimates for French forests. *Biotechnol.*

- Agron. Soc. Environ.* **4** (4), p. 285–289.
- Sheridan M. (2002). *Essai de quantification et de prévision de l'évolution du stock de C de la forêt wallonne*. Mémoire de fin d'études FUSAGx, Gembloux (Belgique), 76 p.
- UNFCCC (1997). *The Kyoto Protocol* <en ligne : <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpfrench.pdf>>
- UNFCCC (2001). *Décision FCCC/CP/2001/13/add1* <en ligne : <http://unfccc.int/resource/docs/french/cop7/cp713a01f.pdf>>
- Watson RT., Noble IR., Bolin B., Ravindranath NH., Verardo DJ., Donken DJ. (Eds.) (2000). *Land Use, Land-Use Change and Forestry. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. United Kingdom: Cambridge University Press, 375 p.

(19 réf.)