

5 rue de Madrid
Espace Européen de l'Entreprise
67300 SCHILTIGHEIM

EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN ALSACE

**Evaluation des puits et émissions
de CO₂ liés à l'utilisation des terres,
au changement d'affectation et à la foresterie**

Matthieu BOSANSKY

Master Ingénierie et
Sciences pour l'Environnement

Stage de fin d'étude du
1^{er} février au 30 juillet 2010

Conditions de diffusions des données

- Diffusion libre pour une réutilisation ultérieure des données dans les conditions ci-dessous.
- Toute utilisation partielle ou totale de ce document doit faire référence à l'ASPA en terme de « Source d'information ASPA-10061402-ID ».
- Données non rediffusées en cas de modification ultérieure des données (ASPA AQ 133).
- Sur demande, l'ASPA met à disposition les méthodes de calcul des émissions.
- Les données contenues dans ce document restent la propriété de l'ASPA.
- L'ASPA peut rediffuser ce document à d'autres destinataires.

Intervenants

Coordination du projet : Emmanuel RIVIERE

Rédaction du rapport : Matthieu BOSANSKY

Tiers examen du rapport : Sébastien CIBICK

Approbation finale : Emmanuel RIVIERE

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Alain TARGET et Joseph KLEINPETER, respectivement directeur et directeur adjoint, pour m'avoir offert l'opportunité de réaliser mon stage de master au sein de l'ASPA.

Je remercie plus particulièrement Emmanuel RIVIERE, responsable du pôle études et directeur adjoint pour m'avoir proposé cette étude, mais aussi pour son savoir, ses qualités d'encadrement et sa pédagogie.

Un grand merci également à Sabine MAZURAI, Pascaline CLAIR et Sébastien CIBICK pour leurs conseils avisés et tout le temps qu'ils ont consacré à me former dans le service.

Merci à Matthieu, Charles et Julien pour leur bonne humeur mais aussi à tout le personnel pour leur accueil chaleureux et pour m'avoir permis de découvrir les différents métiers présents à l'ASPA.

En dernier lieu, je remercie tout les organismes et entreprises extérieurs qui ont eu la gentillesse de me communiquer des données essentielles à la réalisation de cette étude.

Sommaire

GLOSSAIRE	2
LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES.....	3
INTRODUCTION.....	4
A. CONTEXTE.....	5
1. <i>International</i>	5
2. <i>National</i>	8
3. <i>Régional</i>	8
B. MATERIEL ET METHODE	8
1. <i>Choix du niveau de méthode</i>	8
2. <i>Type d'approche</i>	9
a. <i>Accroissement forestier et récolte de bois</i>	10
• <i>Stockage par accroissement forestier</i>	10
• <i>Quantité de carbone déstocké des forêts par la récolte de bois</i>	11
b. <i>Emissions de CO₂ par conversion des forêts</i>	12
• <i>Estimation des surfaces défrichées</i>	13
• <i>Estimation de la perte de biomasse</i>	13
c. <i>Puits et émissions de CO₂ liés au changement d'utilisation du sol</i>	13
• <i>Méthode de détermination des flux annuels de carbone par conversion des sols</i>	14
• <i>Données de surfaces converties</i>	14
C. RESULTATS	14
1. <i>Stockage de carbone par accroissement forestier</i>	14
a. <i>Production annuelle de biomasse ligneuse des forêts gérées</i>	15
b. <i>Quantités de CO₂ absorbée</i>	15
2. <i>Emissions de CO₂ liées à la récolte de bois</i>	16
a. <i>Biomasse ligneuse annuellement récoltée</i>	16
b. <i>Emissions de CO₂ par la récolte de bois</i>	17
3. <i>Emissions de CO₂ par conversion des forêts (défrichement)</i>	17
a. <i>Calcul de la quantité de biomasse ligneuse avant conversion</i>	17
b. <i>Biomasse perdue et quantité de CO₂ émise</i>	18
4. <i>Puits et émissions de CO₂ liés aux changements d'utilisations du sol</i>	18
5. <i>Bilan</i>	18
D. DISCUSSIONS	20
1. <i>Incertitudes et robustesse des données</i>	20
2. <i>Accroissement forestier</i>	20
3. <i>Récolte de bois</i>	21
4. <i>Défrichement</i>	21
5. <i>Changement d'utilisation du sol</i>	21
6. <i>UTCF</i>	21
CONCLUSION	23
BIBLIOGRAPHIE :	24

Glossaire

ADEME	Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
ASPA	Association pour la Surveillance et l'Etude de la Pollution Atmosphérique en Alsace
CCNUCC	Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques. UNFCCC en anglais
CDM	Clean Development Mechanism. MDP en français
CITEPA	Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique
CMP	The Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol
CO₂	Dioxyde de carbone
COP	Conference of the Parties. à la CCNUCC
CRF	Common Reporting Format
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat. IPCC en anglais
IFEN	Institut Français de l'Environnement
IFN	Inventaire national forestier
INRA	Institut national de recherche agronomique
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change. GIEC en français
LULUCF	Land-use, land-use change and forestry. UTCF en français
MDP	Mécanisme pour un développement propre. CDM en anglais
NIR	National Inventory Report
OMINEA	Méthodes des Inventaires Nationaux des Emissions Atmosphériques en France
ONF	Office national des forêts
PEFC	Programme for the endorsement of forest certification
SBSTA	Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice
SERTIT	Service Régional de Traitement d'Image et de Télédétection
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change. CCNUCC en français
UTCF	Utilisation des terres, changement d'affectation et foresterie. LULUCF en anglais

Liste des tableaux et figures

Tableaux :

Tableau 1 : Flux de carbone surfacique par conversion de l'occupation du sol	14
Tableau 2 : Production annuelle de biomasse ligneuse	15
Tableau 3 : Quantité de CO ₂ absorbé par accroissement forestier.....	15
Tableau 4 : Biomasse consommée par la récolte	16
Tableau 5 : Quantités de CO ₂ émis par la récolte	17
Tableau 6 : Perte de biomasse et émissions par défrichage	18
Tableau 7 : Flux de carbone liés au changement d'utilisation du sol	18
Tableau 8 : Bilan des puits et sources de dioxyde de carbone	18
Tableau 9 : Parts des activités LULUCF déductibles	22

Figures :

Figure 1 : Approche nette-nette pour la déduction des activités hors forêts	6
Figure 2 : Chronologie des décisions internationales	7
Figure 3 : Approche de mesure par flux et par stock.....	9
Figure 4 : Flux de CO ₂ annuels pour le secteur LULUCF.....	19

Introduction

Le changement climatique fait l'objet d'une préoccupation contemporaine qui implique une prise de conscience à l'échelle du globe. Pour être effectives, des décisions internationales sont ventilées à des échelles nationales et des actions à des niveaux régionaux sont de plus en plus nécessaires.

Les GES constituent la principale cause du changement climatique et font l'objet de débats lors des conférences de la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC). Une réduction nette de ces émissions de GES par les pays signataires de la convention est nécessaire. Le Protocole de Kyoto a pour rôle la mise en application de ces décisions. Il va définir les quantités de GES attribuées à chaque pays mais aussi énoncer les modalités d'inventaires des émissions par les sources et séquestrations par les puits de GES que les pays doivent rapporter annuellement.

L'une des parties les plus complexes de ces inventaires est la prise en compte du secteur LULUCF. Des règles de comptabilisation sont établies et les guides du GIEC énoncent les méthodes à appliquer, mais leurs mises en œuvres sont contraignantes, les données disponibles ne sont pas toujours complètes et la vérification des résultats difficile.

En décembre 2009 la Conférence des Parties de la CCNUCC s'est déroulée à Copenhague. En dépit de l'échec relatif de la conférence, les décisions font références à la forêt (programme REDD Reducing emissions from déforestation and forest degradation in developing countries) et démontre ainsi l'enjeu majeur de ce secteur dans la sauvegarde du climat.

Dans la mise en place des plans climat territoriaux et aux vues du Protocole de Kyoto, il est donc intéressant d'évaluer les puits et les sources de carbone liés au secteur LULUCF pour l'Alsace.

A. CONTEXTE

1. International

Le protocole de Kyoto, signé en 1997 et mis en place lors de la 3^{ème} Conférence des Parties (COP3) s'inscrit dans le contexte de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC ou UNFCCC en anglais). Ratifié par 183 pays et entré en vigueur depuis février 2005 avec la ratification de la Russie, cet accord pousse les signataires à prendre des engagements quant à la réduction de leurs émissions de gaz à effet de serre (GES) [1]. Par exemple l'Union Européenne se fixe un objectif pour la première période d'engagement (2008-2012) d'une réduction de 8 % de ses émissions de GES par rapport à l'année de référence, à savoir 1990. L'objectif de la France, pour la même période, est de stabiliser ses émissions par rapport à cette année de référence.

Outre les actions directes pour agir sur ces émissions, le protocole de Kyoto prévoit des mécanismes de « flexibilité » permettant aux parties de décompter certaines parts de leurs émissions par échange de quotas d'émissions via un marché international, la mise en œuvre conjointe, les mécanismes pour un développement propre...

Les paragraphes 3 et 4 de l'article 3 du Protocole de Kyoto donnent des précisions sur les activités de séquestration des GES par la biomasse et les sols. L'article 3.3 concerne le boisement, reboisement et déboisement. Cette activité est comptabilisée seulement lorsqu'il y a réellement conversion artificielle de l'occupation du sol. Ils n'incluent donc pas la régénération après récolte du bois dans les forêts, ainsi que les boisements naturels après déprise agricole. De même, une coupe rase n'est pas assimilée à un déboisement si la forêt se reconstitue. L'article 3.4 quant à lui, s'intéresse aux pratiques agricoles et à la gestion forestière. Ce secteur est communément appelé : « utilisation des terres, changements d'affectation et foresterie » (UTCFC ou LULUCF en anglais). Cependant il arrive que les activités visées à l'article 3.3 donnent des résultats négatifs (émissions de GES par les activités de boisement, reboisement et déboisement). L'accord de Marrakech a alors énoncé le droit des parties se trouvant dans ce cas de compenser leurs débits en créditant les quantités correspondantes des activités visées à l'article 3.4, c'est-à-dire la gestion forestière et l'agriculture.

Chaque année, aux vues des articles 3.3 et 3.4 du Protocole, les COPs donnent des précisions sur la comptabilisation des émissions et des séquestrations de GES. Ces décisions fixent des règles pour la déduction de la séquestration de GES des émissions globales en fonction des types d'activités. A ce titre, les accords de la COP 6 bis de Bonn et de la COP 7 de Marrakech en 2001 ont fourni 3 informations essentielles [2] :

- part de carbone déductible liée à la foresterie pour chaque partie,
- approche nette-nette pour les activités hors forêt,
- plafonnement de la quantité de carbone déductible liée aux activités de boisement/reboisement et qui entrent dans le cadre des mécanismes pour un développement propre (MDP ou CDM en anglais).

Chaque pays se voit donc, en vertu l'article 3.4 et au-delà de la compensation des débits sous l'article 3.3, attribué d'une valeur maximale de l'absorption du carbone liée à la gestion forestière qu'il peut soustraire à son bilan d'émission en GES pour atteindre ses objectifs. C'est l'appendice Z des décisions de l'accord de Bonn qui fixe ces valeurs. Elles sont calculées à partir des quantités de carbone absorbées par la gestion des forêts auquel est appliqué un taux de 85 % afin de ne pas comptabiliser les absorptions dues à l'accroissement des concentrations de CO₂ par rapport à leur niveau préindustriel, aux dépôts indirects d'azote et aux effets dynamiques de la structure par âge imputables à des activités et pratiques antérieures à l'année de référence. A la valeur obtenue est appliqué un plafonnement de 3%. Une dernière correction peut être faite en fonction des particularités de chaque pays selon l'effort nécessaire pour remplir l'engagement.

Pour les activités hors forêts, aucun plafonnement n'est fixé. Cependant la quantité de carbone absorbée par ces dernières n'est pas directement imputable aux quantités de GES émis pendant la période d'engagement. C'est l'approche nette-nette qui va primer pour la comptabilisation de ce type de stockage (Figure 1). Elle consiste à déduire la quantité de GES absorbée par ces activités l'année de référence de la quantité absorbée pendant la période d'engagement afin d'obtenir les émissions nettes liées à ces activités.

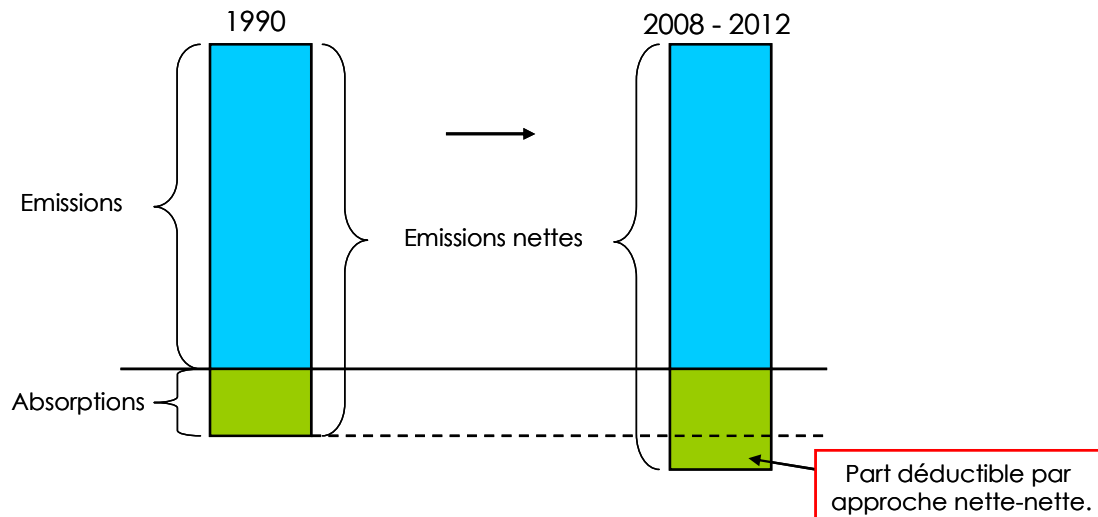


Figure 1 : Approche nette-nette pour la déduction des activités hors forêts

Il a été fixé que, pour la première période d'engagement (2008-2012), seules les activités de boisement/reboisement seront comptabilisées dans le cadre des Mécanismes pour un Développement Propre (MDP ou CDM en anglais). De plus, dans un souci de respecter l'intérêt premier du Protocole de Kyoto, à savoir la réduction des émissions de GES, les pays procédant à des MDP dans les pays en développement peuvent déduire au maximum de leurs émissions propres pendant la période d'engagement 1 % des quantités de carbone émises pendant l'année de référence si bien sûr les quantités stockées par ces activités atteignent ce 1% (1,5MtC/an pour la France) [3].

Les COP 10 et 11 de Buenos Aires et Montréal fournissent les lignes directrices à l'établissement des communications nationales des parties visées par l'annexe 1 de la Convention. Selon la CCNUCC, le National Inventory Report (NIR) et les tables associées du Common Reporting Format (CRF en anglais) sont des documents que chaque pays de l'annexe 1 entend de remplir annuellement afin de comptabiliser ses émissions/absorptions. Le Protocole de Kyoto (article 7) requiert quand à lui des informations supplémentaires pour le rapportage des activités du secteur LULUCF. La décision 17/CMP.1 évoque les informations supplémentaires et les tables CRF associées (selon le Protocole de Kyoto) que chaque Partie doit joindre à son inventaire annuel (NIR et CRF selon la CCNUCC).

Conformément à la CCNUCC, le Groupement d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC ou IPCC en anglais) a mis plusieurs documents à disposition des Parties. Tout d'abord les méthodes d'inventaires nationaux des GES 1996, puis le guide des bonnes pratiques pour le secteur de l'UTCF en 2003. Ces documents exposent la méthodologie que doivent adopter les pays de l'annexe 1 pour inventorier les puits de carbone et répondre aux articles 3.3 et 3.4 du Protocole de Kyoto.

La chronologie des décisions internationales relevant de la CCNUCC, du Protocole de Kyoto ainsi que les grands documents établis par le GIEC est représentée dans le logigramme de la figure 2 page suivante.

Chronologie et décisions internationales pour le secteur LULUCF

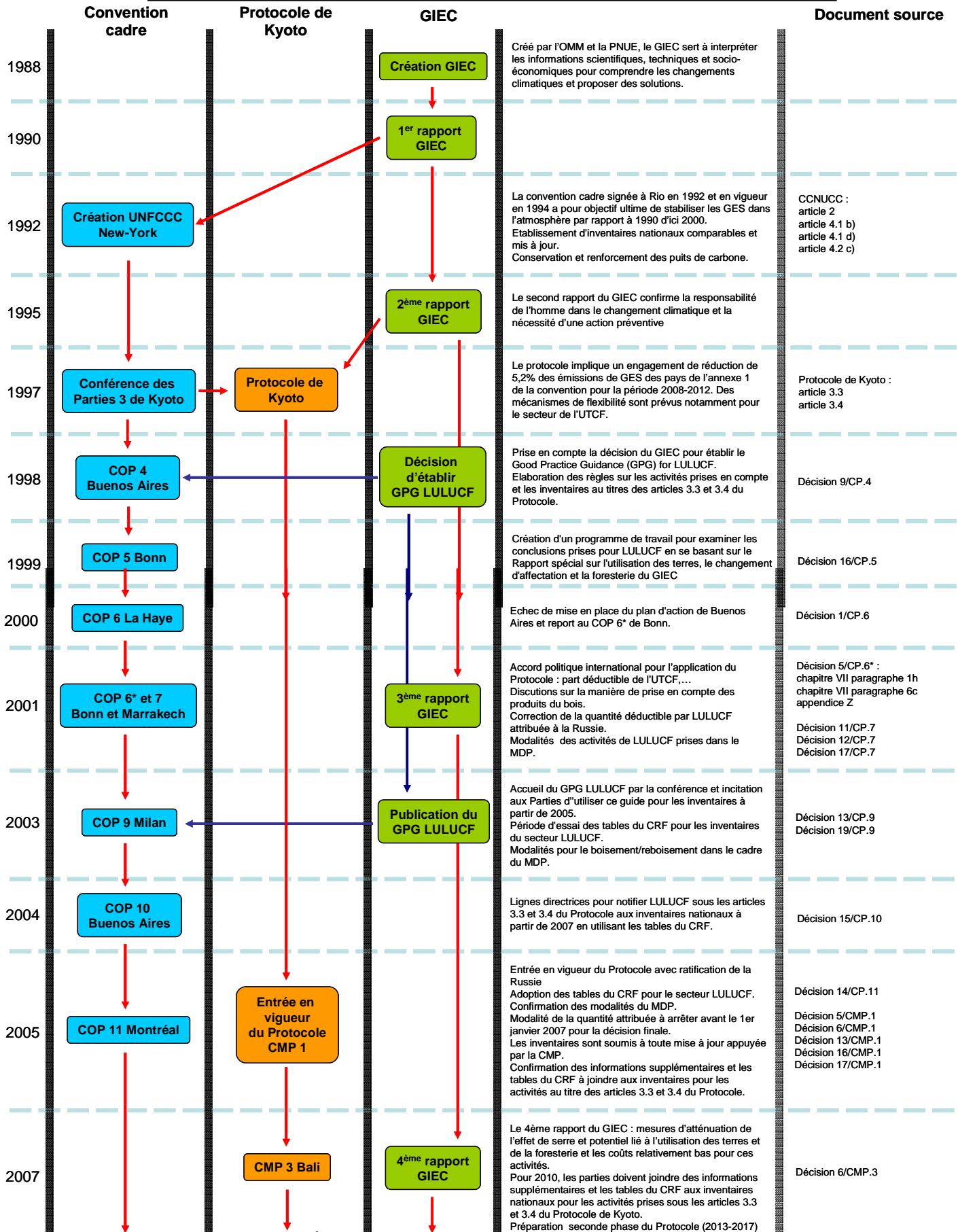


Figure 2 : Chronologie des décisions internationales

2. National

Face à l'objectif international de réduction de 5,2 % des émissions par rapport à l'année de référence (1990) pour la période d'engagement 2008-2012, la France émettant près de 560 millions de tonnes équivalent CO₂ chaque année [4] se propose de stabiliser ses émissions pour la même période. Conformément au Protocole de Kyoto la quantité de GES attribuée à la France pour la période d'engagement s'élève donc à 2.8 milliard de tonnes équivalent CO₂ [5] (soit 5 fois la quantité émise l'année de référence).

Depuis 2007, les Parties doivent donc rapporter annuellement un inventaire de leurs émissions par les sources et absorptions liées à l'UTCF. Pour la France, c'est le Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique (CITEPA) qui est chargé de réaliser ces inventaires selon le CRF établi par la CCNUCC. L'Organisation et Méthodes des Inventaires Nationaux des Emissions Atmosphériques en France (OMINEA) est un outil développé par le CITEPA à partir des méthodes d'inventaire établies par le GIEC auxquelles des modifications ont été apportées pour mieux correspondre aux spécificités nationales.

Une mise à jour de l'OMINEA en février 2009 a permis de corriger les estimations des précédents inventaires conformément à des spécificités établies par le Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice (SBSTA) de la CCNUCC.

3. Régional

Si les méthodes d'évaluation des émissions et absorptions de GES liées à l'UTCF proposées dans les rapports du GIEC sont faites pour être appliquées à l'échelle nationale, l'évaluation de ces inventaires à l'échelle régionale s'avère intéressante pour répondre aux besoins des acteurs régionaux et locaux en charge de la gestion des émissions de GES. Après un premier travail exploratoire sur le sujet réalisé par l'ASPA en 2005, et aux regards des derniers développements de la CCNUCC, cette étude vise à adapter les méthodes existantes pour inventorier les flux et les stocks de carbone liés à l'UTCF en Alsace.

La forêt alsacienne recouvre 38% de la surface régionale, soit 316 000 ha. Cinquième région forestière de France, elle représente un intérêt environnemental et économique certain. Elle présente une grande diversité d'espèces avec une majorité de feuillus et principalement de chênes. Si en France en moyenne 75 % des forêts font partie du domaine privé, c'est le cas inverse pour l'Alsace où les trois quarts de la surface forestière appartiennent au domaine public. La certification PEFC (Programme for Endorsement of Forest Certification) couvre 72% des forêts de l'Alsace ce qui en fait la première région française en matière de forêts certifiées gérées durablement. Ceci apporte de la valeur ajoutée et met en évidence les enjeux environnementaux de la gestion forestière [6].

B. MATERIEL ET METHODE

1. Choix du niveau de méthode

Le guide des bonnes pratiques pour l'UTCF du GIEC propose trois niveaux de méthodes permettant des évaluations plus ou moins précises. Ce sont les données disponibles pour la région qui vont grandement influencer sur la prise de décisions quant au choix du niveau de méthode.

Structure des niveaux :

Niveau 1

Il se base sur la méthodologie fondamentale des *Lignes directrices* du GIEC. Les données utilisées en général sont à des échelles spatiales grossières et disponibles au plan national ou mondial.

Niveau 2

Il se base sur la même méthodologie que le niveau 1 en y incorporant cependant des données sur les activités du secteur UTCF plus importantes et spécifiques au pays. Les résultats issus de ce niveau de méthode sont donc plus appropriés au pays et les résolutions des données plus élevées.

Niveau 3

Il utilise une méthodologie d'ordre supérieur intégrant des modèles et des mesures très spécifiques. Il permet d'établir un lien étroit entre la biomasse et les échanges au niveau du sol. Les modèles doivent cependant être soumis à des contrôles qualité, des audits et des validations.

L'IFN, l'AGRESTE, l'ADEME,... fournissent des données spécifiques à la région et de résolution suffisante pour adopter une méthode d'évaluation de niveau 2. Le niveau 3 quant à lui n'est pas choisi car il requiert l'utilisation de modèles, de données très spécifiques et d'un suivi qualité qui n'est pas facilement applicable à l'Alsace.

2. Type d'approche

Pour évaluer les puits de carbone liés à l'UTCF, deux approches sont possibles. Une première approche par variation des stocks de carbone pendant un temps donné et une seconde approche par flux. Cette dernière consiste à réaliser un bilan des entrées et des sorties de carbone au niveau des activités considérées. Par rapport aux types de données disponibles, l'approche par flux semble la plus adéquate à appliquer.

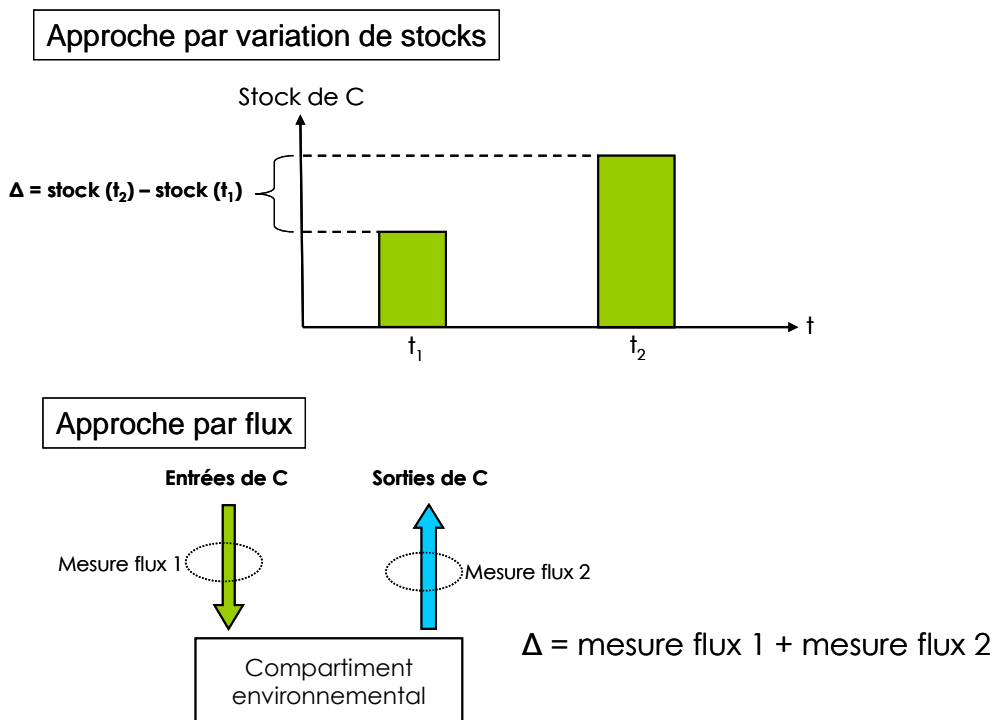


Figure 3 : Approche de mesure par flux et par stock

Selon les *Lignes directrices* du GIEC, les principales activités de l'UTCF qui conduisent à des émissions par les sources et des séquestrations par les puits de dioxyde de carbone sont :

- Absorption et déstockage de carbone par la gestion des forêts (accroissement et récolte),
- Emissions de CO₂ par conversion des forêts (défrichement),
- Absorption et émission de CO₂ liés aux changements d'utilisations des sols.

a. Accroissement forestier et récolte de bois

La séquestration et les émissions de GES via la gestion forestière sont des indices directs des variations de stocks de carbone dans les forêts considérées. Pour les comptabiliser, une prise en compte des différents compartiments de la forêt est nécessaire. A ce titre, le GIEC définit les stocks de carbone forestier par les quantités contenues dans les arbres vivants sur pied, le bois mort sur pied et au sol, la végétation de sous bois et la matière organique du sol.

Même si les quantités de bois mort et de végétation de sous-bois sont difficiles à mesurer et probablement sous-évaluées, elles représentent environ 5% de la biomasse en forêt. Les inventaires de l'IFN ne collectant pas le bois mort sur pied d'un diamètre inférieur à 7,5cm et ne comptabilisant pas le bois mort en totalité, ces compartiments ne seront pas pris en compte dans l'évaluation des puits de carbone [7]. Les flux sont donc calculés à partir des arbres vivant sur pied (tronc, branches, racines).

- **Stockage par accroissement forestier**

Le stockage du CO₂ se calcule par la relation suivante :

$$A = A_c \times F_{ex} \times D \times T_c \times \frac{44}{12}$$

A :	Quantité de dioxyde de carbone stocké
A _c :	Accroissement annuel de la formation ligneuse
F _{ex} :	Facteur d'expansion afin d'englober la croissance aérienne et souterraine
D :	Infradensité du bois (masse volumique de matière sèche)
T _c :	Taux de carbone dans la matière bois
44/12 :	Rapport de masses molaires pour conversion en équivalent CO ₂

- o Quantité de dioxyde de carbone stocké (A)

C'est la valeur qu'on cherche à calculer et qui correspond au flux de CO₂ absorbé par la formation boisée considérée pour produire un certain volume de biomasse. En sommant les valeurs de quantités stockées de chacune des espèces ligneuses, on obtient la quantité totale en CO₂ absorbé par la formation boisée étudiée.

- o Accroissement annuel (A_c)

L'accroissement annuel sur écorce correspond au volume annuel de bois fort produit au niveau du tronc. L'IFN recense cet accroissement par espèce en se limitant aux tiges de plus de 7,5 cm de diamètre à 1,30 m de hauteur [8]. Ainsi les jeunes arbres ne remplissant pas ce critère, ne sont pas comptabilisés dans l'accroissement.

Accroissement ou production ?

Les résultats issus de l'ancienne méthode d'inventaire de l'IFN sont donnés en termes d'accroissement annuel. Les résultats obtenus pour les inventaires les plus récents (2005-2006-2007) sont donnés en termes de production annuelle. Il faut savoir faire la distinction entre ces deux notions. La production annuelle résulte de la somme entre l'accroissement et le recrutement annuel. Ce dernier étant simplement le volume moyen annuel de nouveaux arbres recensables, c'est-à-dire remplissant la condition de 7,5 cm de diamètre à une hauteur de 1,30 m.

Cependant, sur les anciennes données du cycle de 2002 de l'IFN, l'accroissement constitue 96% de la valeur de la production annuelle. On confond donc l'accroissement et la production annuelle en admettant la différence entre les deux valeurs négligeable.

- o Facteur d'expansion (F_{ex})

Les facteurs d'expansion utilisés ci-après sont issus du projet CARBOFOR. Ils permettent, à partir des données d'accroissement, de totaliser le volume de biomasse produite par tout l'organisme végétal. Ces facteurs ont une variabilité selon les essences ou groupes d'essences considérés, selon la localisation géographique, l'âge des forêts, l'exposition...

Le projet CARBOFOR a ainsi établi des facteurs d'expansion moyens en milieu tempéré pour les feuillus d'une part et les conifères d'autre part :

F_{ex} (branches + racines) feuillus = 2.063
 F_{ex} (branches + racines) conifères = 1.690

- o Infradensité (D)

Le terme accroissement annuel par espèce étant donné en volume, il est nécessaire pour connaître la biomasse de convertir ce volume en masse. Pour cela il faut inclure l'infradensité du bois qui correspond à la masse volumique de matière sèche. Sur un même individu ligneux, cette valeur n'est pas la même partout. L'écorce par exemple est moins dense que le bois. Il y a même une variabilité au niveau du tronc. Le guide des bonnes pratiques pour LULUCF du GIEC donne les infradensités moyennes pour diverses espèces des zones tempérées et boréales. Ces valeurs seront utilisées pour les calculs d'accroissement forestier et de déstockage du bois des forêts.

- o Taux de carbone dans la biomasse ligneuse (T_c)

Pour convertir la biomasse produite en masse pure de carbone, on utilise le taux de carbone contenu dans la matière sèche de bois. Le guide du GIEC donne un taux de carbone de moyen de 0,5. L'étude CARBOFOR a réévalué ce taux à 0,475 estimant que cette valeur corrigée correspondait mieux aux spécificités des forêts françaises [9].

- **Quantité de carbone déstocké des forêts par la récolte de bois**

Le guide des bonnes pratiques pour le secteur LULUCF a établi que la totalité du carbone stocké dans le bois de récolte est émis sous forme de CO_2 l'année de la coupe. Cette décision a été prise dans un souci de facilité de comptabilisation du carbone libéré et admet un équilibre entre les quantités de CO_2 libéré par les produits du bois et les quantités de carbone stocké dans le bois d'œuvre la même année. Le GIEC propose pourtant une méthode pour estimer le carbone stocké dans les produits du bois (bois d'œuvre et papier) mais son application et sa vérification au titre du Protocole de Kyoto sont difficiles à mettre en place.

Cependant le problème du stockage du carbone dans les produits bois a ouvert de grands débats et des discussions sur le sujet sont soulevées lors des conférences des Parties servant de conférences des Parties au Protocole de Kyoto. Mais aucune solution n'a encore été trouvée à ce jour. Une étude statistique de la filière bois française évaluant les flux entrants de bois d'œuvre, estimant les durées de vie des différents produits du bois et identifiant les flux sortants (bois en fin de vie, destruction par combustion, recyclage...) permettrait de se faire une idée sur la quantité de carbone stocké dans cette filière [10].

Le carbone contenu dans le bois récolté est donc considéré comme une émission de CO₂ la même année et se calcule de la façon suivante :

$$E = R \times F_{exr} \times D \times T_C \times \frac{44}{12}$$

E :	Emission de CO ₂ lié à la récolte
R :	Volume de bois récolté (bois d'œuvre, d'industrie, de chauffage)
F _{exr} :	Permet d'englober la croissance aérienne (houppier)
D :	Infradensité du bois (masse volumique de matière sèche)
T _C :	Taux de carbone dans la matière bois
44/12 :	Rapport de masses molaires pour conversion en équivalent CO ₂

o Volume de bois récolté (R)

Cette donnée fournie par l'AGRESTE [11] donne jusqu'à l'échelle du département les statistiques de la récolte de bois par espèce pour l'année 2008. Les résultats font la distinction entre les volumes attribués au bois d'œuvre, d'industrie et de chauffage. Si les données des deux premières filières sont relativement fiables, les quantités de bois de chauffage sont très incertaines car elles comptabilisent seulement le bois de chauffage commercialisé (ou cédé gratuitement), les activités de récolte par les particuliers étant plus difficiles à prendre en compte. Des informations sur la production d'énergie de l'Observatoire de l'Energie permettraient de déduire la quantité réelle de bois de chauffe utilisée. Cependant un double comptage est possible car le bois énergie comprend à la fois le bois de bûche récolté spécifiquement pour une utilisation énergétique mais aussi tous les produits connexes à la transformation du bois d'œuvre et d'industrie qui ont donc déjà été comptés.

Une étude de bilan sur le bois de chauffe de la CREA (Conférence Régionale de l'Energie en Alsace) de mai 2010 et des échanges avec un intervenant de FIBOIS Alsace permet une estimation cohérente de la quantité de bois de bûche réellement utilisée [12].

o Facteur d'expansion (F_{exr})

Ce facteur d'expansion diffère de celui utilisé pour le calcul de l'absorption par accroissement forestier. En effet lors de la récolte, la partie racinaire n'est pas déstockée et c'est seulement la partie aérienne (tronc récolté + houppier laissé sur place) qui va être considérée. Les facteurs d'expansions donnés par l'ONF seront utilisés pour cette étude.

$$F_{exr \text{ feuillus}} = 1,122$$

$$F_{exr \text{ conifères}} = 1,067$$

o Infradensités et taux de carbone

Les infradensités et les taux de carbone sont les mêmes que ceux utilisés pour l'accroissement.

b. Emissions de CO₂ par conversion des forêts

Cette partie ne s'intéresse qu'aux flux de carbone de la partie aérienne de la biomasse puisque les échanges de carbone avec le sol sont traités dans la partie « changements d'utilisation des sols ».

La « conversion anthropique directe de terres forestières en terres non forestières », définit le déboisement ou le défrichement selon le Protocole de Kyoto et les Accords de Marrakech.

- **Estimation des surfaces défrichées**

Concernant l'Alsace, les données sur les surfaces boisées défrichées annuellement sont rares. De plus, sur le même schéma que le bois de feu, le défrichement total se compose d'une part officielle soumise à autorisation et d'une autre part plus difficile à comptabiliser. Sur les 10 dernières années, les surfaces annuelles autorisées à déboisement par les Directions Départementales des Territoires du Bas-Rhin et du Haut-Rhin sont en moyennes de 50 hectares par an pour l'ensemble de la région [12]. Mais il faut savoir que lorsqu'une autorisation est délivrée, elle possède une durée de validité de 5 ans pour les particuliers et une durée indéterminée pour les parcelles appartenant aux communes et à l'Etat [13]. En Alsace, la majorité des forêts sont publiques. Les surfaces totales autorisées à défrichements ne reflètent donc pas forcément les surfaces réellement défrichées. Cependant une étude du SERTIT (Service Régional de Traitement d'Image et de Télédétection) de Strasbourg a permis à partir de mesures sur deux périodes (1990 à 1999 et 1999 à 2002) d'établir de façon précise et exhaustive une valeur de déboisement moyen de **60 hectares par an** [14].

Il faut noter que cette étude s'est limitée à la seule plaine Rhénane et non à toute la région alsacienne. Mais en sachant que le déboisement est une pratique principalement utilisée à des fins d'extensions de surfaces cultivées ou à l'urbanisation, le déboisement hors plaine est quasi inexistant. La valeur donnée par le SERTIT pour la plaine Rhénane peut donc être attribuée à toute l'Alsace.

- **Estimation de la perte de biomasse**

A partir de données de biomasse avant conversion et après conversion, on déduit la perte réelle de biomasse aérienne entre l'ancienne et la nouvelle utilisation du sol. L'étude du SERTIT donne aussi des informations sur le type de réutilisation du sol après le défrichement et permet donc de réaliser l'estimation.

c. Puits et émissions de CO₂ liés au changement d'utilisation du sol

Les stocks de carbone aussi bien dans la litière et le sol d'une forêt ou d'une terre cultivée sont difficilement quantifiables par manque d'informations. En revanche, en admettant que ces stocks sont relativement stables, un changement d'utilisation de sol permet d'évaluer les émissions ou absorptions de carbone dans ces compartiments.

Si certaines conversions entraînent des cinétiques rapides de flux de carbone sortant du sol, d'autres conversions ont des cinétiques de restockage du carbone atmosphérique vers les sols beaucoup plus lentes.

Le GIEC se base sur une période de 20 ans pour l'évaluation des différences de stock entre deux utilisations d'un sol. Cependant, certaines études donnent des cinétiques de stockage/déstockage beaucoup plus longues (50 ans minimum) mais impose de pouvoir suivre les évolutions de ces réserves sur ces même périodes.

Pour le cas français, c'est une étude de l'INRA de 2002 [15] qui modélise les variations de ces stocks. Le calcul se fait pour les 30 premiers centimètres du sol car c'est là qu'ont lieu les plus importantes variations lors d'un changement d'utilisation et les données sur les horizons plus profonds sont rares. Cette méthodologie sera aussi appliquée à l'Alsace.

- **Méthode de détermination des flux annuels de carbone par conversion des sols**

L'étude de l'INRA permet de calculer le stockage/déstockage de C par unité de surface et type de conversion selon la relation suivante :

$$F = \frac{\Delta \times (1 - e^{-20k})}{20}$$

Utilisation initiale	Utilisation finale	Différence de stock de C Δ (tC.ha ⁻¹)	Constante de vitesse k (an ⁻¹)	Stockage /destockage F (t.ha ⁻¹ .an ⁻¹)
Forêt	Culture	-30	0,035	-0,76
Culture	Forêt	30	0,0175	0,44
Prairie	Culture	-25	0,07	-0,94
Culture	Prairie	25	0,025	0,49

Tableau 1 : Flux de carbone surfacique par conversion de l'occupation du sol

- **Données de surfaces converties**

Les surfaces de forêt converties à des fins culturales sont données par l'étude du SERTIT. Il s'agit d'une valeur moyenne par année.

L'étude du SERTIT précise aussi qu'aucune augmentation de la surface forestière n'a été détectée et donc que la déforestation est une perte nette.

Les surfaces de cultures converties en prairies et prairies en cultures sont issues de la base de données de l'Institut Français de l'Environnement (IFEN) tirées elles même des enquêtes TERUTI. Des moyennes sont calculées à partir des surfaces converties de 1993 à 2004, des données sur 20 ans comme le préconise le GIEC n'étant pas disponibles.

C. RESULTATS

1. Stockage de carbone par accroissement forestier

Le protocole de Kyoto entend en vertu de l'article 3.4 que la comptabilisation du stockage de carbone se fasse uniquement au niveau des forêts gérées. Ceci ne pose pas réellement de problème étant donné que selon l'IFN, la part de forêt non gérée est quasi inexistante en Alsace (3%).

L'absorption de carbone par la biomasse des vignes et vergers s'avère être compensée par la récolte et n'est donc pas comptabilisée ni en émission ni en absorption.

Les arbres épars et les haies ne sont pas considérés comme forêt et sont donc exclus du comptage. De plus, les quantités de carbone stocké par ces formations sont négligeables [11].

Convention de signes [16] : puits (-), émissions (+)

a. Production annuelle de biomasse ligneuse des forêts gérées

	Essence	Production annuelle (1000m ³ /an)	Facteur d'expansion	Infradensité (t ms/m ³)	Biomasse produite totale (t ms/an)
Feuillus	Chêne pédonculé	103	2,063	0,58	123244
	Chêne rouvre	249	2,063	0,58	297938
	Hêtre	593	2,063	0,58	709548
	Châtaignier	67	2,063	0,48	66346
	Charme	98	2,063	0,63	127370
	Bouleau	27	2,063	0,51	28408
	Robinier faux-acacia	37	2,063	0,50	38166
	Grand érable	85	2,063	0,52	91185
	Frêne	146	2,063	0,57	171683
	Tilleul	23	2,063	0,43	20403
	Petit érable	5	2,063	0,52	5364
	Cerisier	19	2,063	0,49	19207
	Noisetier	13	2,063	0,55	14750
Conifères	Pin sylvestre	287	1,690	0,42	203713
	Sapin pectiné	427	1,690	0,40	288652
	Epicéa commun	490	1,690	0,40	331240
	Mélèze d'Europe	40	1,690	0,46	31096
	Douglas	275	1,690	0,45	209138

Tableau 2 : Production annuelle de biomasse ligneuse

b. Quantités de CO₂ absorbée

	Essence	Biomasse produite totale (t ms/an)	Taux de carbone	Carbone stocké (t C/an)	CO ₂ stocké (t CO ₂ /an)
Feuillus	Chêne pédonculé	123244	0,475	-58541	-214649
	Chêne rouvre	297938	0,475	-141521	-518909
	Hêtre	709548	0,475	-337035	-1235796
	Châtaignier	66346	0,475	-31514	-115553
	Charme	127370	0,475	-60501	-221835
	Bouleau	28408	0,475	-13494	-49476
	Robinier faux-acacia	38166	0,475	-18129	-66472
	Grand érable	91185	0,475	-43313	-158813
	Frêne	171683	0,475	-81549	-299014
	Tilleul	20403	0,475	-9691	-35535
	Petit érable	5364	0,475	-2548	-9342
	Cerisier	19207	0,475	-9123	-33451
	Noisetier	14750	0,475	-7006	-25690
Conifères	Pin sylvestre	203713	0,475	-96763	-354799
	Sapin pectiné	288652	0,475	-137110	-502736
	Epicéa commun	331240	0,475	-157339	-576910
	Mélèze d'Europe	31096	0,475	-14771	-54159
	Douglas	209138	0,475	-99340	-364248

Tableau 3 : Quantité de CO₂ absorbé par accroissement forestier

Absorption annuelle totale de CO₂ par accroissement forestier : - **4837 kt**

2. Emissions de CO₂ liées à la récolte de bois

Le bois récolté en forêt peut suivre trois grandes filières, celle du bois d'œuvre, du bois d'industrie ou de trituration notamment pour les papèteries et du bois énergie. Si les valeurs des volumes récoltés des deux premières sont relativement fiables, celle du bois de bûche énergie est une estimation la plus cohérente possible obtenue à partir de données partielles et d'extrapolations.

Le bois de bûche est estimé à **800 000 stères/an** pour l'année 2009 [12]. Une diversité de facteurs de conversion de stères en volume existe et il est décidé de prendre celui établi par l'ONF : 0,7 m³/stère. Le volume de bois de bûche est donc de **560 000 m³** et se compose en Alsace de 99% de feuillus et 1 % de résineux. Dans les feuillus, le hêtre et le chêne sont les plus exploités. C'est la valeur d'infradensité (du chêne et du hêtre) de 0,58 qui a été choisie pour le calcul.

Certaines données ne précisent pas forcément les quantités récoltées par essence. Le bois de trituration issu des feuillus est simplement scindé en deux catégories : bois dur et bois tendre. Les infradensités associées seront donc des moyennes des infradensités des essences les plus utilisées pour chacune de ces catégories.

a. Biomasse ligneuse annuellement récoltée

			Volume de bois rond récolté (m ³ /an)	Facteur d'expansion	Infradensité (t ms/m ³)	Biomasse consommée totale (t ms/an)		
Bois d'œuvre	Feuillus	Chêne	96528	1,122	0,58	62817		
		Hêtre	148126	1,122	0,58	96394		
		Châtaignier	7902	1,122	0,48	4256		
		Frêne et érable	10023	1,122	0,55	6185		
		Merisier et fruitier	8158	1,122	0,49	4485		
		Peuplier	23626	1,122	0,35	9278		
		Autres feuillus	17021	1,122	0,50	9549		
	Conifères	Sapin et épicéa	463114	1,067	0,40	197657		
		Douglas	15624	1,067	0,45	7502		
		Mélèze	856	1,067	0,46	420		
		Pin sylvestre	86496	1,067	0,42	38762		
		Autres conifères	26473	1,067	0,41	11581		
		Bois de trituration	Feuillus	Durs	118703	1,122	0,50	66592
				Tendres	3411	1,122	0,45	1722
Conifères	Sapin et épicéa		81481	1,067	0,40	34776		
	Douglas et mélèze		9360	1,067	0,45	4494		
	Autres conifères		17737	1,067	0,41	7759		
Bois énergie		Bois bûche	560000	1,122	0,58	364426		

Tableau 4 : Biomasse consommée par la récolte

b. Emissions de CO₂ par la récolte de bois

			Biomasse consommée totale (t ms/an)	Taux de carbone	Carbone émis (t C/an)	CO ₂ émis (t CO ₂ /an)
Bois d'œuvre	Feuillus	Chêne	62817	0,475	29838	109406
		Hêtre	96394	0,475	45787	167887
		Châtaignier	4256	0,475	2021	7412
		Frêne et érable	6185	0,475	2938	10773
		Merisier et fruitier	4485	0,475	2130	7812
		Peuplier	9278	0,475	4407	16159
		Autres feuillus	9549	0,475	4536	16631
	Conifères	Sapin et épicéa	197657	0,475	93887	344253
		Douglas	7502	0,475	3563	13066
		Mélèze	420	0,475	200	732
Pin sylvestre		38762	0,475	18412	67511	
Autres conifères		11581	0,475	5501	20170	
Bois de trituration	Feuillus	Durs	66592	0,475	31631	115982
		Tendres	1722	0,475	818	3000
	Conifères	Sapin et épicéa	34776	0,475	16519	60568
		Douglas et mélèze	4494	0,475	2135	7827
		Autres conifères	7759	0,475	3686	13514
Bois énergie		Bois bûche	364426	0,475	173102	634708

Tableau 5 : Quantités de CO₂ émis par la récolte

Les émissions de CO₂ liées au défrichage (Cf. : Emissions de CO₂ par conversion des forêts) sont retranchées au total afin d'éviter un double comptage de cette source déjà comprise dans le bois de feu.

Emission annuelle totale de CO₂ par les récoltes de bois : **1604 kt**

3. Emissions de CO₂ par conversion des forêts (défrichage)

Comme dit précédemment, la totalité du carbone du bois coupé est considéré comme émise sous forme de CO₂ la même année. La quantité de CO₂ peut se calculer de la façon suivante :

Superficie de la forêt alsacienne (source AGRESTE) : 318 000 ha

Volume sur pieds de la forêt alsacienne : 78 000 000 m³

Dont 36 660 000 m³ (47%) de résineux et 44 460 000 m³ (53%) de feuillus [6]

En prenant les infradensités moyennes des résineux (0,47) et feuillus (0,58), on obtient une biomasse moyenne par unité de surface : 126 t ms/ha

a. Calcul de la quantité de biomasse ligneuse avant conversion

Surface défrichée annuellement : 60 ha/an

Biomasse des forêts : 126 t ms/ha

Biomasse ligneuse avant défrichage : 7560 t ms

b. Biomasse perdue et quantité de CO₂ émise

Surface défrichée (ha/an)	60	
Biomasse avant conversion (t ms/ha)	126	
Utilisation après conversion	non agricole	agricole
Part de la surface défrichée (%)	64	36
Part de la surface défrichée (ha)	38,4	21,6
Biomasse après conversion (t ms/ha)	0	10
Perte de biomasse (t ms)	4838	2506
Perte de biomasse totale (t ms)	7344	
CO₂ émis (t CO₂/an)	12791	

Tableau 6 : Perte de biomasse et émissions par défrichement

Les émissions de CO₂ annuelles par défrichement forestier : **13 kt**

4. Puits et émissions de CO₂ liés aux changements d'utilisations du sol

Utilisation initiale	Utilisation finale	Stockage /destockage F (tC.ha-1.an-1)	Surfaces converties 1993-2004 (ha)	Flux total de carbone sur 12 ans (tC)
Forêt	Culture	-0,76	260	-196
Culture	Forêt	0,44	0	0
Prairie	Culture	-0,94	2245	-2114
Culture	Prairie	0,49	1580	777

Tableau 7 : Flux de carbone liés au changement d'utilisation du sol

Le bilan de ces flux donne une émission nette de 1533 t de carbone sur 12 ans soit une moyenne de 128 t/an de carbone émis dans l'atmosphère.

D'où une émission nette de CO₂ liée aux changements d'occupations des sols alsaciens : **0,468 kt**

5. Bilan

Le bilan suivant rassemble les puits et émissions de CO₂ liés à l'UTCFC en Alsace.

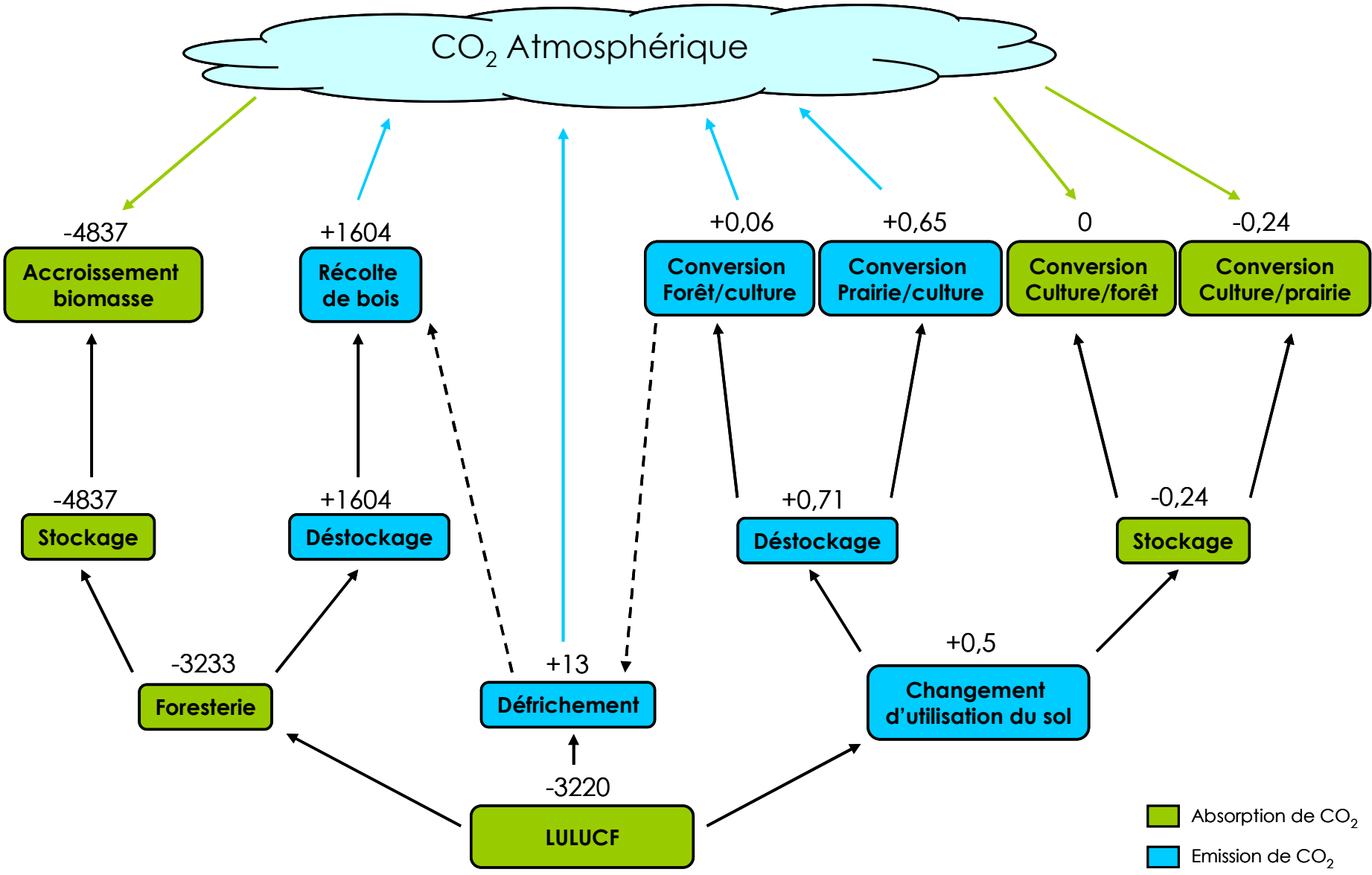
	Quantité de CO ₂ (ktCO ₂ /an)
Puits par accroissement forestier	-4837
Emissions par récolte de bois	1604
Emissions par défrichement	13
Emissions par conversion des sols	0,5
Total	-3219,7

Tableau 8 : Bilan des puits et sources de dioxyde de carbone

L'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie en Alsace constituent un puits net de CO₂. Ce puits est principalement dû à un accroissement forestier conséquent. Le défrichement et le changement d'utilisation des sols sont des parts relativement négligeables en comparaison du puits total (Cf. Figure 4 : Flux de CO₂ annuels pour le secteur LULUCF).

Synoptique des flux annuels de dioxyde de carbone pour le secteur LULUCF en Alsace en kilotonnes

Figure 4 : Flux de CO₂ annuels pour le secteur LULUCF



D. DISCUSSIONS

1. Incertitudes et robustesse des données

Cette partie ne chiffre pas les incertitudes associées à l'évaluation des puits de carbone mais énonce simplement les sources potentielles d'erreur rencontrées dans les calculs.

Le résultat de cette estimation des puits de carbone en Alsace repose sur des méthodes et des sources de données multiples. L'obtention d'une valeur finale de séquestration du carbone résulte donc de l'agglomération d'une multitude de valeurs intermédiaires possédant chacune leurs propres incertitudes, chacune d'elle étant déduite à partir de données sources plus ou moins fiables.

Concernant les données de base, les incertitudes peuvent être diverses. Tout d'abord à l'intérieur d'un même type de données, il existe une variabilité d'incertitudes quant à chaque valeur énoncée. Par exemple pour l'accroissement forestier par essence donné par l'IFN, si certains volumes de bois sont considérés comme fiables, d'autres volumes pour des essences moins exploitées et moins répandues peuvent posséder des incertitudes de 100% ce qui remet totalement en cause leur représentativité. De la même manière, les récoltes de bois données par l'AGRESTE sont issues de sources hétérogènes et non exhaustives. Ces manques d'informations sont alors comblés par d'autres données adaptées et formalisées pour correspondre au type d'informations désirées et augmentant ainsi les incertitudes.

Outres les données sources, il réside un certain nombre d'incertitudes liées aux méthodologies appliquées. Le GIEC précise que certaines méthodes reposent sur des hypothèses plus ou moins lourdes. L'utilisation de facteurs et autres coefficients sont le résultat d'approximations à une observation générale et ne prennent donc pas toujours en compte certaines spécificités. C'est le cas notamment pour les facteurs d'expansion et les taux de carbone qui sont des moyennes pour tout un groupe d'espèces ligneuses en climat tempéré.

L'évaluation des flux de carbone dans le changement d'utilisation des sols est probablement le résultat possédant l'intervalle de confiance le plus grand. L'étude de l'INRA utilisée pour le calcul le souligne bien. La variabilité des stocks de carbone dans un sol est très importante. La multiplicité des facteurs (humidité, taux de carbone, granulométrie, climat, minéralogie...) qui régissent sa structure, la dynamique et la variabilité aussi bien horizontale que verticale rendent la généralisation des flux de carbone difficile. Les modèles proposés donnent cependant un bon ordre de grandeur des quantités transférées entre les compartiments à condition d'avoir des données suffisantes sur des périodes de temps cohérentes.

Outre cette multiplicité d'incertitudes, les secteurs de l'UTCF majoritaires dans la formation de puits ou de sources d'émissions sont ceux dont les chiffres sont les plus fiables et permettent ainsi de donner un résultat global cohérent avec la réalité.

2. Accroissement forestier

Le stockage du CO₂ par accroissement forestier représente la part la plus importante des absorptions en occupant 75 % des flux entre l'atmosphère et le secteur UTCF. Cela s'explique principalement par la taille très importante de la surface boisée alsacienne (316 000 ha soit 38% de la surface régionale) ainsi que la politique de gestion durable largement appliquée aux forêts.

Cet accroissement de biomasse forestière, même si il ne comptabilise que le bois sur pied (part majoritaire) constitue le seul réel puits dans le secteur UTCF et sa prise en compte est donc un atout non négligeable.

Bien qu'il ne soit constaté aucune augmentation de la surface forestière alsacienne, l'accroissement forestier est toujours positif et les récoltes de bois certes conséquentes ne compensent pas cette augmentation de biomasse. Ceci peut s'expliquer par l'âge moyen des arbres qui doit être suffisamment petit pour permettre une densification de la surface boisée. Avec un âge plus important, on arriverait probablement à une saturation d'accroissement de biomasse...

3. Récolte de bois

La récolte de bois constitue quand à elle la plus grande source de carbone du secteur UTCF avec plus de 1600 kt de CO₂ émis par année. Même si ces émissions sont conséquentes, elles peuvent constituer un atout économique important pour la région et la récolte de bois est aussi une façon de gérer les forêts et ainsi de pérenniser l'accroissement de biomasse.

4. Défrichement

Chaque année, 13 kt de dioxyde de carbone sont émises par défrichement de 60 ha de surfaces boisées. Cela représente une part infime comparée aux surfaces totales de forêt. Mais il faut souligner qu'en plus de ce défrichement, aucune extension de surface boisée n'est observée, conduisant ainsi à une diminution de la surface totale. De plus, les forêts alsaciennes sont réparties entre de grands massifs regroupant la majorité de la surface totale boisée et le défrichement est une source de morcèlement de ces grands massifs [14].

5. Changement d'utilisation du sol

Ce secteur contribue à une émission de seulement 0,5 kt de CO₂ par an. Cependant les flux de carbone sont probablement sous estimés et le changement d'occupation des sols et la modification des pratiques culturales ont un potentiel de stockage non négligeable [15]. Les techniques de non labour ou restitution des résidus de culture permettent par exemple de limiter le flux sortant de carbone du sol mais aussi de rendre ce dernier plus fertile et moins érodable par augmentation des teneurs en carbone organique. Mais si ces techniques ne sont pas soigneusement appliquées, les dynamiques de déstockage étant très rapides, le potentiel est vite perdu.

Outre les changements d'utilisations de sol entre cultures, forêts et prairies, l'Alsace se retrouve face à une extension importante des surfaces urbanisées avec une déprise associée des terres agricoles périurbaines. Chaque année, 600 ha de cultures sont vendus et transformés en zones artificielles. Ceci est en lien avec des différences de prix fonciers entre sols agricoles et urbanisés. En effet les sols agricoles coûtent 17 fois moins cher que les sols constructibles [17].

Les surfaces converties en terres artificielles (urbanisation) et inversement sont connues mais il est difficile d'évaluer les flux de carbone transitant par ces évolutions d'occupation. Le carbone situé sous un sol artificialisé rendu imperméable y est-il stocké, ou bien est-il émis partiellement ou en totalité dans l'atmosphère ? La littérature s'avère être pauvre sur ce sujet mais on peut émettre l'hypothèse qu'un changement d'occupation d'une terre agricole ou forêt va libérer pendant la conversion une partie du carbone contenu dans ce sol et qu'une fois la surface artificielle rendue imperméable, les échanges entre le sol et l'atmosphère seront plus ou moins supprimés.

6. UTCF

Comme le montre cette étude, la prise en compte de ces puits est difficile car elle repose sur des données possédant de grandes incertitudes et la difficulté d'une comptabilisation exhaustive.

La séquestration du dioxyde de carbone par le secteur UTCF alsacien constitue un puits conséquent recouvrant près de 23 % des émissions anthropiques de CO₂ de la région. L'intérêt de sa prise en compte est donc majeur lorsqu'on sait que dans la mise en place de ses plans climats territoriaux, l'Alsace vise à réduire ses émissions de GES de 75% d'ici à 2025.

Cependant le Protocole de Kyoto et les accords associés énoncent bien les parts déductibles du secteur aux émissions totales de GES. Les quantités déductibles des émissions de GES en Alsace en accord avec les décisions et le Protocole sont réparties en trois points :

- La France, pour les activités au titre de l'article 3.4 a décidé en 2006 dans le « Rapport initial de la France » selon le Protocole de Kyoto [5], de choisir uniquement la gestion des forêts et d'exclure la gestion des terres cultivées et la restauration du couvert végétal. Cette décision est en accord avec les spécificités du pays où la gestion forestière (accroissement et récolte) est le principal puits de carbone et à l'inverse les pratiques de culture et la tendance agricole actuelle ne permettent pas un stockage conséquent de carbone même si le potentiel stockant est existant. Aucune part ne sera donc déduite par approche nette-nette pour les activités hors forêts en Alsace (à noter les faibles quantités mises en jeu : 0.6 kt de CO₂).
- L'Alsace en soi ne réalise pas de projet de reboisement dans les pays en développement puisque les MDP se comptabilisent à l'échelle nationale. Ces activités ne peuvent donc être déduites des émissions.
- Le plafonnement des quantités liées à la gestion forestière déductibles aux émissions peut être calculé pour la région alsacienne. Il faut d'abord créditer une part de ces activités pour compenser les débits d'émissions liés aux activités de l'article 3.3, à savoir le boisement, reboisement et déboisement. L'Alsace ne compte aucune augmentation réelle de sa surface forestière mais au contraire se voit soustraire 60 ha de sa surface par an [14]. Le carbone libéré par défrichement est donc soustrait à la quantité séquestrée par la foresterie. Conformément à l'accord 6 bis de Bonn, un plafonnement de 3% au 85% de la dernière valeur retenue est appliqué pour connaître la quantité de CO₂ que l'on peut réellement déduire des activités de gestion des forêts. Le résultat est donné dans le tableau suivant.

	Type d'approche	Cas français	Cas alsacien		
		Plafond (kt C/an)	CO ₂ (kt/an)	C (kt/an)	Plafond (kt C/an)
Activité hors forêts	nette-nette	Pas comptabilisé selon rapport initial	0,6	0,2	Pas comptabilisé
MDP	1% des émissions de 1990	1 500	pas comptabilisé pour l'Alsace		
Foresterie	plafonnement selon appendice Z des accords 6 bis de Bonn	880	3220	878	22

Tableau 9 : Parts des activités LULUCF déductibles

Selon le protocole de Kyoto et les décisions des activités prises en compte dans le rapport initial français, l'Alsace pour le secteur LULUCF possède un puits de 3220 kt/an de CO₂ (uniquement la foresterie et le défrichement sont comptabilisés). La quantité déductible de cette valeur aux émissions globales de GES alsaciennes est de 22kt de C/an soit 81 kt de CO₂/an. Cela représente 0.6 % des émissions de la région.

Conclusion

La foresterie et le changement d'utilisation du sol en Alsace présentent un bilan net engendrant une séquestration de CO₂ atmosphérique. Cependant, la comptabilisation n'est pas optimale et repose sur de lourdes hypothèses, en particulier pour le carbone des sols dont la dynamique des flux et la pérennité fragile des stocks rendent l'évaluation difficile.

Si le puits de carbone en Alsace et pour la France est principalement dû à l'accroissement forestier, il constitue seulement des émissions retardées mais non évitées. En effet, au terme de leur vie, les arbres d'une forêt relarguent autant de CO₂ par respiration de la matière organique en décomposition qu'ils en captent par photosynthèse. La bonne gestion des forêts est donc l'acteur essentiel pour assurer l'accroissement forestier.

Même si pour la première période d'engagement, le Protocole de Kyoto ne comptabilise pas les produits du bois, des discussions sur les modalités de leur prise en compte sont à l'ordre du jour pour les périodes futures. En effet, il faut savoir qu'actuellement le carbone stocké dans les nouveaux produits du bois est admis à l'équilibre avec les émissions de carbone liées à la destruction des produits du bois en fin de vie. Or les consommations grandissantes du bois d'œuvre et l'incitation de cette pratique par les nouvelles politiques environnementales démontrent l'inverse. Cette prise en compte certes contraignante et difficile à quantifier modifierait sensiblement les bilans de flux de carbone liés à la foresterie [18]. D'un point de vue environnemental, à titre d'exemple, l'utilisation du bois dans les constructions possède un double effet bénéfique. Tout d'abord le bois utilisé stocke pendant sa durée de vie le carbone qu'il a capté mais, de plus, il évite des émissions supplémentaires liées à la non-utilisation d'autres matériaux de construction (métaux, béton...) dont la fabrication est gourmande en énergie [19].

Le Protocole de Kyoto et les différentes Conférences des Parties ont déjà mis en place un système organisé visant à comptabiliser et réduire des émissions de GES. Appliqué pour la première période d'engagement, ce système connaît une amélioration continue en vue des périodes d'engagements futures dans le but d'obtenir des résultats toujours plus efficaces et des inventaires exhaustifs.

Finalement, le secteur UTCF est probablement la branche la plus difficile à prendre en compte dans les émissions et absorptions de CO₂. Cependant, au regard de la participation de ces puits, la solution mais aussi l'objectif des accords de la CCNUCC est de réduire significativement les consommations énergétiques et les émissions anthropiques de GES. Ceci doit se faire dans le cadre d'une approche transversale Climat-Air-Energie visant à réduire également les niveaux de particules dans l'air ambiant et les polluants retrouvés en air intérieur.

Bibliographie :

- [1] UNFCCC, *Protocole de Kyoto à la convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques*, 1997.
- [2] Conference of the Parties, *decision 5/CP.6**, 2004.
- [3] MIES, *Changements climatiques : de la Convention de Rio aux accords de Bonn et Marrakech*, 2002.
- [4] Olivier Picard, *Forêt = puits de carbone ?*, Forêt-entreprise n°168-mai - 2006.
- [5] MIES, *Rapport initial de la France selon le Protocole de Kyoto*, 2006.
- [6] FIBOIS Alsace, www.fibois-alsace.com.
- [7] IFN, *La forêt française : un puits de carbone ?*, l'IF n°7 – 2005.
- [8] Inventaires productions de biomasse des forêts alsaciennes fournit par Stéphanie Lucas, IFN.
- [9] CITEPA, *Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France (OMINEA)*, février 2009.
- [10] J. DUPOUEY, G. PIGNARD, *Quelques problèmes posés par l'évaluation des stocks et flux de carbone forestiers au niveau national*, INRA 2001.
- [11] AGRESTE, *Récolte de bois et production de sciages*, 2008.
- [12] Communication d'informations de la part de Vincent MORILLON, Fibois Alsace.
- [13] Communication d'informations de la part de Christophe SCHILT, DRAF.
- [14] SERTIT, *Le foncier forestier rhénan. Suivit par télédétection en Alsace*.
- [15] D. AROUAYS et al. , *Stocker de carbone dans les sols agricoles de France*, INRA 2002.
- [16] GIEC, *Lignes directrices pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre*, chapitre 5, version révisée 1996.
- [17] Conseil Economique et Social – Section Agriculture et Alimentation, *La maîtrise foncière, clé du développement rural : pour une nouvelle politique foncière*, 2005.
- [18] *Comptabilisation du carbone forestier*, www.nrcan-rncan.gc.ca
- [19] Conseil Canadien du bois, *Les produits ligneux et le piégeage du carbone*.