

ETUDE N° 2013-02

ÉTAT DE L'ART SUR LE STOCKAGE/DESTOCKAGE DU CARBONE PAR LA BIOMASSE AU SEIN DES ACV

SYNTHESE FRANCAIS

Mars 2014

Responsables scientifiques :

- Annie Levasseur

CIRAIG, École Polytechnique den Montréal,
C.P. 6079, succ. Centre-ville, Montréal,
(Québec), H3C 3A7, Canada



CIRAIG^{MC}

Centre interuniversitaire de recherche sur le
cycle de vie des produits, procédés et services

- Miguel Brandão

2.0 LCA Consultants, Skibbrogade 5, 1., 9000 Aalborg, Denmark



« Etat de l'art sur le stockage/déstockage du carbone par la biomasse au sein des ACV »

L'association SCORE LCA est une structure d'étude et de recherche dédiée aux travaux relatifs à l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) et à la quantification environnementale. Elle vise à promouvoir et à organiser la collaboration entre entreprises, institutionnels et scientifiques afin de favoriser une évolution partagée et reconnue, aux niveaux européen et international, de la méthode d'Analyse du Cycle de Vie et de sa mise en pratique.

✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)

www.ademe.fr

✓ Les points de vue et recommandations exprimés dans ce document ne traduisent pas nécessairement l'opinion de l'ensemble des membres de SCORE LCA.

SYNTHESE

Les produits et les sources d'énergie issus de la biomasse sont de plus en plus souvent perçus comme des solutions permettant de réduire l'impact des activités humaines sur le changement climatique. En effet, la biomasse absorbe du carbone de l'atmosphère pendant sa croissance, le stocke ensuite pendant une certaine période de temps, puis le réémet à l'atmosphère par dégradation thermique ou biochimique en fin de vie, contrairement aux ressources fossiles qui, en fin de vie, émettent à l'atmosphère du carbone stocké de façon quasi-permanente depuis des millions d'années dans les formations géologiques.

Afin de quantifier l'impact sur le changement climatique des produits et sources d'énergie issus de la biomasse, les méthodologies d'analyse du cycle de vie et de calcul de l'empreinte carbone sont de plus en plus utilisées.

En revanche, la quantification des émissions et absorptions de carbone par la biomasse peut s'avérer complexe et implique un grand nombre d'hypothèses et de problématiques encore non résolues. Les résultats obtenus à l'aide de ces méthodes de comptabilisation servent couramment à la prise de décision dans différents contextes selon leur champ d'application, par exemple pour les choix de consommation, pour guider l'industrie dans l'adoption de meilleures pratiques environnementales ou pour orienter les grandes politiques énergétiques. Étant donné l'envergure de ces décisions, il est important que la méthode de comptabilisation employée soit la plus cohérente et rigoureuse possible.

1 Revue des différents concepts liés au cycle du carbone et aux écosystèmes

Dans un premier temps, une revue de différents concepts liés au cycle du carbone a été effectuée. Afin de bien comprendre les différentes méthodes de comptabilisation du stockage et déstockage de carbone par la biomasse, il est essentiel de connaître certains concepts clés liés au cycle du carbone, au calcul des impacts des gaz à effet de serre sur le changement climatique, ainsi qu'aux différentes problématiques spécifiques à la biomasse. Cette section présente un résumé de ces différents concepts expliqués de façon plus détaillée dans le rapport final du projet.

Cycle du carbone et impacts des activités humaines

La Terre est composée de quatre réservoirs naturels de carbone soit l'atmosphère, les océans, la biosphère et la lithosphère. Différents processus naturels entraînent des échanges de carbone sous plusieurs formes entre ces réservoirs donnant naissance au cycle naturel du carbone.

- Échanges entre l'atmosphère et la biosphère

Le carbone de l'atmosphère est converti en biomasse végétale par la photosynthèse, alors que la biosphère émet du carbone vers l'atmosphère par la respiration, la dégradation de matière organique morte et les feux de végétation. Ces processus ont lieu sur une échelle de temps variant de quelques jours à quelques dizaines d'années.

- Échanges entre l'atmosphère et les océans

Les phénomènes de « pompe de solubilité » et « pompe biologique » entraînent une partie du carbone de l'atmosphère solubilisé dans les couches supérieures des océans vers les couches de sédiments. Ces processus ont lieu sur une échelle de temps variant de quelques centaines à plusieurs milliers d'années.

- Autres échanges

Des particules de carbone dissout ou en suspension quittent la lithosphère pour atteindre les océans par ruissellement vers les différents cours d'eau. Une partie de la matière organique en décomposition dans la biosphère se transforme en carbone inerte et s'accumule dans la lithosphère formant des puits de combustibles fossiles. Ce phénomène implique des échelles de temps de l'ordre des milliers, voire des millions d'années. Du carbone peut être transféré de l'atmosphère et de la lithosphère vers les océans par érosion et accumulation de sédiments. Finalement, l'activité

« Etat de l'art sur le stockage/déstockage du carbone par la biomasse au sein des ACV »

volcanique entraîne un échange de carbone entre la lithosphère et l'atmosphère. Bien que plus faibles, ces échanges sont très importants à l'échelle géologique.

Les activités humaines depuis l'ère industrielle ont des répercussions sur le cycle naturel du carbone en modifiant les échanges entre les différents réservoirs. Les deux perturbations majeures sont 1) la combustion de ressources fossiles et la décomposition thermique du calcaire pour la production de ciment qui libèrent du carbone stocké dans la lithosphère depuis des millions d'années vers l'atmosphère et 2) la déforestation et le développement de l'agriculture qui perturbent l'équilibre des échanges de carbone entre l'atmosphère et la biosphère.

Impacts des gaz à effet de serre sur le changement climatique :

Le carbone peut être émis à l'atmosphère sous différentes formes comme par exemple le CO, le CO₂ et le CH₄. Certains de ces gaz, tout comme d'autres substances émises par les activités humaines (par exemple le SF₆ et le CFC-11, sont des gaz à effet de serre (GES). L'augmentation de leur concentration dans l'atmosphère est jugée responsable de l'augmentation de la température moyenne de l'atmosphère et des océans.

La mesure de toute perturbation du bilan radiatif de la Terre se nomme forçage radiatif. Un forçage radiatif positif a tendance à réchauffer la surface du globe alors qu'un forçage radiatif négatif a tendance à la refroidir. Le Potentiel de réchauffement global (PRG), ou *Global Warming Potential* (GWP) en anglais, est l'indicateur le plus utilisé afin de comparer l'impact des différents GES sur le réchauffement climatique. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC ou IPCC en anglais) publie sur une base régulière les valeurs mises à jour de PRG calculés pour trois horizons de temps, soit 20, 100 et 500 ans.

Suite à son adoption par le protocole de Kyoto, il existe un fort consensus quant à l'utilisation du PRG comme indicateur de changement climatique. Par contre, certaines critiques ont été émises au cours des dernières années concernant l'utilisation unique du PRG comme indicateur de changement climatique. Ainsi, d'autres indicateurs se développent et pourraient aussi être utilisés selon le type d'impacts à mesurer (cumulatifs ou instantanés). Cependant, le PRG reste pour l'instant le seul indicateur utilisé en pratique par les méthodes de comptabilisation des émissions de GES.

Plusieurs méthodes de comptabilisation des émissions de GES ont été développées afin d'appuyer les différentes initiatives de réduction des émissions de GES.

- **Les lignes directrices pour les inventaires nationaux** indiquent les méthodes à utiliser pour estimer les émissions de GES d'un pays..
- **Les lignes directrices pour l'élaboration d'inventaires d'émissions de GES pour les organisations** encadrent la réalisation de bilans de gaz à effet de serre corporatifs en proposant des façons bien définies d'aborder certaines questions méthodologiques telles que les frontières du système, les outils de quantification à utiliser, etc.
- **Les lignes directrices pour la réalisation de calculs de l'empreinte carbone de produits selon une approche cycle de vie** proposent des indications méthodologiques afin de réaliser des bilans de GES à l'échelle du cycle de vie d'un produit.
- **Les méthodes visant à encadrer les ACV** fournissent aussi des lignes directrices concernant certains aspects de la comptabilisation des émissions de GES.
- **Les méthodes visant des applications particulières de l'ACV ou du calcul de l'empreinte carbone** telles que l'ACV des bâtiments ou l'affichage environnemental des produits.

Problématiques liées à la comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre de la biomasse

Le carbone émis par les activités humaines peut être d'origine biogénique ou fossile. Le carbone biogénique provient de la combustion ou de la dégradation de produits issus de la biomasse, alors que le carbone fossile provient de la combustion ou de la dégradation des combustibles fossiles. **Que le carbone émis provienne d'une source fossile ou biogénique, l'effet sur le forçage radiatif est exactement le même.** La différence majeure réside dans la période de temps requise pour que le carbone de l'atmosphère ne soit capté par le réservoir source, soit de quelques mois à quelques décennies pour la biosphère ou de plusieurs milliers d'années pour les réservoirs fossiles. C'est pourquoi le carbone capté par la biomasse en croissance est généralement soustrait des bilans, alors que le carbone provenant des ressources fossiles ne l'est pas. **Le principe de neutralité du carbone biogénique** est une convention découlant de l'hypothèse suivante : l'impact d'une émission de CO₂ biogénique est annulé par la séquestration relativement rapprochée dans le

« Etat de l'art sur le stockage/déstockage du carbone par la biomasse au sein des ACV »

temps d'une quantité équivalente de CO₂ par la biomasse, contrairement au carbone fossile dont la séquestration a lieu sur une échelle de temps géologique.

Le principe de neutralité du carbone biogénique a traditionnellement été appliqué dans les ACV où les méthodes d'impacts utilisent généralement un facteur de caractérisation nul pour les émissions de CO₂ biogénique. Dans la littérature récente, un nombre croissant d'études critiquent l'utilisation de ce principe de neutralité en montrant ses limites et les conséquences sur les résultats et les conclusions qui en découlent.

À l'échelle d'un projet ou d'un produit, le fait de ne pas considérer le CO₂ biogénique peut entraîner une erreur de comptabilisation et un biais dans les résultats si un certain secteur ne fait pas partie des frontières de l'étude ou si le bilan de carbone biogénique n'est pas nul. Un nombre grandissant d'études ont été réalisées afin de démontrer l'importance de tenir compte des émissions de CO₂ biogénique.

En plus des erreurs de comptabilisation qu'elle peut entraîner, l'utilisation en ACV du principe de neutralité du carbone biogénique est aussi critiquée pour son absence de considération des aspects temporels des flux de carbone.

Le concept de dette carbone associé à la bioénergie forestière est un exemple illustrant bien cette problématique. Pour une quantité d'énergie donnée, la combustion de biomasse émet plus de CO₂ que celle du combustible fossile remplacé, c'est ce qu'on appelle la dette carbone. Du carbone de l'atmosphère est ensuite séquestré par la forêt en croissance, ramenant le bilan vers zéro et remboursant ainsi la dette carbone. La période de recouvrement (*payback time*) correspond au temps nécessaire pour que le bilan carbone du scénario de bioénergie forestière soit égal à celui du scénario d'énergie fossile.

Dans une perspective à court terme, le stockage temporaire de carbone dans un produit permet donc de réduire son impact sur le changement climatique et ainsi, « de gagner du temps » en misant sur le développement des technologies dans le domaine de la réduction des émissions de GES ou de l'adaptation aux changements climatiques. Le même raisonnement peut être appliqué pour toute émission de GES retardée, qu'elle soit d'origine fossile ou biogénique.

La considération des aspects temporels rend inévitable le **choix d'un horizon de temps** pour la prise de décision. En effet, dans une perspective à long terme, les délais de séquestration du carbone par la biomasse et les bénéfices associés au stockage temporaire de carbone deviennent négligeables. C'est uniquement dans une perspective à court terme que le fait de repousser une émission de quelques années ou de quelques décennies est avantageux ou que l'impact d'une émission de combustion sur le changement climatique devient important s'il n'est pas très rapidement compensé par la séquestration d'une quantité équivalente de carbone. À très long terme, si le bilan de carbone biogénique est nul, le principe de neutralité est respecté. Or, le choix d'un horizon temporel pour la prise de décision est un sujet plus politique que scientifique. Ainsi, la valeur la plus couramment utilisée pour la prise de décision concernant les émissions de GES (par exemple pour le calcul des PRG) est 100 ans, car c'est la valeur adoptée pour l'application du protocole de Kyoto. Par contre, c'est une valeur tout à fait arbitraire et son utilisation répandue a été critiquée par certains auteurs.

La considération des flux de carbone biogénique et de leurs aspects temporels en ACV ajoute un élément de complexité puisqu'il faut déterminer la dynamique et l'intensité des émissions et séquestrations associées à la croissance de la biomasse. Les frontières du système doivent alors inclure la captation de CO₂ de l'atmosphère par la photosynthèse ainsi que les émissions de CO₂ causées par la respiration et la dégradation de la biomasse en croissance. Cette tâche peut s'avérer d'une grande complexité et il est généralement nécessaire d'utiliser des hypothèses simplificatrices pour évaluer ces flux. Pour ce faire, deux échelles spatiales peuvent être utilisées : **l'échelle de la parcelle ou l'échelle du paysage**. Si le bilan de carbone forestier est modélisé à l'échelle de la parcelle, le carbone est considéré séquestré de l'atmosphère par la biomasse utilisée dans le système à l'étude ou par la biomasse qui croîtra à nouveau après la récolte de cette même biomasse. La modélisation à l'échelle du paysage considère plutôt qu'une forêt gérée est constituée de plusieurs parcelles de niveaux de maturité différents et que le carbone perdu par la biomasse récoltée sur une parcelle une année donnée est compensé par la séquestration de carbone de l'atmosphère sur les autres parcelles en croissance. Les flux de CO₂ échangés entre la forêt exploitée et l'atmosphère sont généralement évalués en utilisant une approche à l'échelle de la parcelle. Une approche à l'échelle du paysage est parfois utilisée pour évaluer l'impact de différents régimes d'exploitation forestière sur les stocks de carbone forestier.

2 Revue bibliographique des méthodes existantes et en développement

Une revue de différentes méthodes et approches traitant de la comptabilisation des émissions de GES de la biomasse a ensuite été effectuée, ainsi qu'une analyse des points convergents et divergents.. Ces méthodes sont tirées de lignes directrices pour la réalisation d'ACV, de méthodes de calcul de l'empreinte carbone, de méthodes développées pour l'affichage environnemental des produits ou de travaux de recherche. Une analyse critique de ces approches a permis de les comparer sur la base de différents critères et de tirer des conclusions sur certains aspects méthodologiques. Un exemple simplifié est présenté dans le rapport final du projet afin d'illustrer les principes d'application de ces différentes méthodes.

Différents types de méthodes ont été étudiées :

- **Lignes directrices pour la réalisation d'analyses du cycle de vie** : ILCD Handbook, Product Environmental Footprint (PEF)
- **Méthodes de calcul de l'empreinte carbone** : PAS 2050, GHG Protocol, Spécification technique ISO/TS 14067
- **Lignes directrices pour l'affichage environnemental** : Climate Declaration, BP X30-323
- **Travaux de recherche** : Approches tonne.annee (Lashof et Moura-Costa), ACV dynamique, Time-adjusted warming potential (TAWP), GWP_{bio}
- **Autres référentiels** : Une revue d'autres référentiels proposés par SCORELCA a été effectuée afin d'analyser comment ils traitent (ou ne traitent pas) de la question du stockage/déstockage de carbone de la biomasse. Les résultats de cette revue se trouvent dans le rapport final du projet.

Les référentiels en question sont les suivants :

- Normes ISO 14040/14044
- NF P01-010 et vademecum de l'AIMCC
- EN 15804 et EN 16485
- ISO 21930
- EN 16214-2/16214-4
- CEN/TC 411
- Certifications FSC et PEFC
- Directive 2009/28/EC
- BioGrace

Tableau de synthèse des différentes méthodes

Le tableau suivant présente une synthèse des différentes méthodes présentées en détails dans le rapport final en comparant les différentes approches utilisées dans le traitement du stockage et déstockage de carbone de la biomasse.

« Etat de l'art sur le stockage/déstockage du carbone par la biomasse au sein des ACV »

Méthode	Application	Principe de neutralité du carbone biogénique	Prise en compte des aspects temporels	Approche proposée	Prise en compte de la dynamique de séquestration	Approche spécifique à chaque GES	Horizon de temps	Commentaire
LIGNES DIRECTRICES ET NORMES								
ILCD Handbook	Lignes directrices ACV	Non	Si dans l'objectif de l'étude	Crédit linéaire uniforme	Non	Non	100 ans	Remplacé par le PEF
Product Environmental Footprint (PEF)	Lignes directrices ACV	Non	Optionnel, comme information additionnelle	Aucune approche particulière proposée	Non	N/A	100 ans	
PAS 2050	Empreinte carbone	Non	Optionnel	Crédit linéaire, deux valeurs selon le moment de l'émission	Non	Non	100 ans	Dernière version (2011) considérée
GHG Protocol	Empreinte carbone	Non	Optionnel, comme information additionnelle	Aucune approche particulière proposée	N/A	N/A	Non spécifié	
ISO 14067	Empreinte carbone	Non	Optionnel, comme information additionnelle	Aucune approche particulière proposée	N/A	N/A	Non spécifié	Émissions repoussées de plus de 10 ans seulement
Climate Declaration	Affichage environnemental	Oui	Non	N/A	N/A	N/A	N/A	Selon les PCR
BP X30-323	Affichage environnemental	Non	Optionnel, comme information additionnelle	Crédit linéaire fonction de la durée de vie du GES	Non	Oui	100 ans	Ambiguïtés dans la description de la méthode

« Etat de l'art sur le stockage/déstockage du carbone par la biomasse au sein des ACV »

RECHERCHE								
Lashof	Recherche	N/A	Oui	Crédit basé sur la charge atmosphérique cumulative sur l'horizon de temps sélectionné	N/A	N/A	Au choix	Conçue pour évaluer les bénéfices liés au stockage temporaire
Moura-Costa	Recherche	N/A	Oui	Crédit linéaire basé sur un facteur d'équivalence	N/A	N/A	Au choix	Conçue pour évaluer les bénéfices liés au stockage temporaire
ACV dynamique	Recherche	Non	Oui	Calcul du forçage radiatif en fonction du temps	Oui	Oui	Tous	Méthode la plus complète
TAWP	Recherche	Non	Oui	PRG recalculés pour différents moment d'émission	Oui	Oui	20, 100 ou 500 ans	Même résultat que l'ACV dynamique
GWP_{bio}	Recherche	Non	Oui	PRG recalculés pour des émissions biogéniques en fonction de la période de rotation	Oui	Non	20, 100 ou 500 ans	Applicable uniquement aux émissions provenant de la combustion de biomasse, incohérent

Discussion sur les différentes approches

Toutes les approches présentées, mise à part le *Climate Declaration*, n'utilisent plus le principe de neutralité du carbone biogénique et considèrent toutes les émissions et séquestrations de GES, qu'elles soient d'origine fossile ou biogénique. **Il n'y a pas de consensus clair concernant la considération des aspects temporels des émissions de GES.** Par contre, aussitôt qu'un bénéfice est associé au stockage temporaire de carbone dans les produits, issus de la biomasse ou non, il est considéré important par toutes les approches de tenir compte de la distribution temporelle de toutes les émissions de GES quelles qu'elles soient pour une question de cohérence. La plupart des méthodes de comptabilisation ne tiennent pas compte par contre de la dynamique de séquestration.

L'ACV dynamique permet une évaluation cohérente de l'impact de toutes les émissions et séquestrations de GES en fonction du temps sans distinction de la source de chaque flux (biogénique ou fossile). C'est probablement l'approche la plus complète et la plus polyvalente, bien que nécessitant une plus grande quantité de données que l'ACV puisqu'il est nécessaire de connaître la distribution temporelle de toutes les émissions du cycle de vie ainsi que les dynamiques de séquestration. L'utilisation des TAWP permet d'obtenir le même genre de résultat. Par contre, cette méthode ne donne pas de résultats en fonction du temps, mais plutôt une valeur calculée pour un horizon de temps fixé à l'avance. Tout comme l'ACV dynamique, elle traite tous les GES de façon rigoureuse en utilisant l'expression du forçage radiatif spécifique à chaque GES. Les GWP_{bio} reposent aussi sur les mêmes bases scientifiques que l'ACV dynamique et les TAWP, mais sont applicables uniquement pour le cas spécifique des émissions de CO_2 biogénique provenant de la combustion de biomasse ayant lieu immédiatement après sa récolte ou suite à une période de stockage dans l'anthroposphère.

Les méthodes développées à travers les lignes directrices pour les ACV, les calculs de l'empreinte carbone et l'affichage environnemental de produits sont généralement des simplifications des méthodes développées dans les publications de recherche, en permettant le calcul d'un crédit linéaire par exemple. De façon générale, les trois principales différences entre les méthodes prévues par les lignes directrices et les méthodes issues des publications de recherche sont les suivantes :

- L'horizon temporel est fixé à 100 ans dans les lignes directrices, alors qu'il est au choix de l'utilisateur pour l'ACV dynamique, ce qui permet de tester la sensibilité des résultats au choix d'un horizon de temps. Quant aux méthodes utilisant les TAWP et les GWP_{bio} , ces valeurs sont généralement calculées pour les trois horizons de temps proposés par le GIEC, soit 20, 100 et 500 ans.
- La distribution temporelle de la séquestration de CO_2 biogénique par la biomasse est considérée avoir lieu au moment même où le produit est manufacturé, soit à l'année un de l'analyse pour les lignes directrices, alors que la distribution temporelle spécifique à la biomasse à l'étude est considérée par l'ACV dynamique, les TAWP ou les GWP_{bio} .
- Pour le calcul du crédit associé au stockage de carbone, tous les GES sont assimilés au CO_2 dans le cas des lignes directrices en les multipliant par leur PRG respectif, alors que l'ACV dynamique et la méthode des TAWP considèrent le forçage radiatif spécifique de chaque GES. Quant aux GWP_{bio} , ils sont applicables uniquement pour les émissions de CO_2 provenant de la combustion de biomasse.

Plusieurs publications ont démontré que les résultats pouvaient être très sensibles à la dynamique de séquestration du carbone, ainsi qu'au timing relatif de cette séquestration (avant ou après la récolte de la biomasse). Si l'on considère que la séquestration a lieu avant la récolte de la biomasse, on suppose que la biomasse a été plantée avec l'objectif d'être utilisée pour l'application à l'étude et qu'elle n'aurait jamais été plantée si cette application n'avait pas existé (afforestation). Si l'on considère que la séquestration a lieu après la récolte de la biomasse, on suppose que la forêt était présente au départ, qu'elle a été exploitée, puis que des arbres ont été replantés afin de renouveler la ressource (forêts gérées durablement suite à l'exploitation d'une forêt naturelle). Finalement, pour les cas de déforestation (exploitation d'une forêt ne pouvant pas se renouveler), aucune séquestration de carbone ne doit être considérée.

L'utilisation d'une approche à l'échelle de la parcelle a parfois été critiquée comme étant peu représentative de la façon dont les forêts sont gérées. D'un autre côté, une approche à l'échelle du paysage pourrait amener à penser que le carbone contenu dans les arbres récoltés est neutralisé au cours de la même année par les arbres en croissance dans d'autres parcelles si le stock de carbone de la forêt entière est constant, ce qui rendrait inutile la considération de la dynamique de séquestration du CO_2 par la biomasse en croissance. En termes de bilan de carbone global i.e. sans considération des aspects temporels, il a été démontré que l'utilisation d'une approche à l'échelle de la parcelle était équivalente à l'utilisation d'une approche à l'échelle du paysage. Quant à la détermination de la dynamique de séquestration, il n'est pas correct d'attribuer au produit récolté dans une parcelle la séquestration de carbone atmosphérique ayant lieu

dans les autres parcelles. En effet, le carbone séquestré par une autre parcelle fait en quelque sorte partie des frontières du système du produit issu de cette parcelle et ne peut être attribué au système à l'étude. Par exemple, les produits issus de la toute première parcelle exploitée d'une forêt mature (dont la séquestration nette de carbone serait nulle) se verraient attribuer le carbone séquestré par les arbres qui croîtront sur cette parcelle suite à la récolte puisque les autres parcelles ne séquestrent pas de carbone. Les produits issus de l'exploitation de la seconde parcelle ne peuvent donc pas se voir attribuer les flux de séquestration ayant lieu sur la première parcelle, ce serait du double comptage. En étendant cette logique, la dynamique de séquestration doit être considérée peu importe l'échelle spatiale utilisée. Celle-ci a lieu après la récolte, sauf pour les cas d'afforestation.

3 Recommandations

Suite à cette analyse critique, des recommandations ont été développées afin de représenter les meilleures pratiques à appliquer pour le traitement du stockage et déstockage de carbone par la biomasse dans les ACV. Ces recommandations sont divisées en trois catégories, soit celles ne nécessitant aucun effort supplémentaire du praticien, celles nécessitant un effort accru lors de la collecte de données et celles nécessitant l'utilisation d'un outil additionnel. Deux exemples d'application, le premier portant sur l'étiquetage environnementale de produits du bois et le second portant sur l'analyse de scénarios de traitement en fin de vie de déchets de palettes de bois, sont présentés dans le rapport final.

Finalement, quelques besoins en recherche future ont été identifiés afin d'aborder certaines limites et difficultés rencontrées lors de la mise en application de ces recommandations. Ce document présente une synthèse de la revue réalisée dans le cadre de cette étude et des recommandations développées

Recommandations ne nécessitant aucun effort additionnel :

Indicateurs pour l'évaluation des impacts sur le changement climatique

Il est recommandé pour l'instant d'utiliser des indicateurs basés sur le forçage radiatif cumulé en attendant que les autres types d'indicateurs se développent et soient acceptés. En effet, l'indicateur le plus répandu, le PRG, est basé sur le calcul du forçage radiatif cumulé sur un horizon de temps donné. Les différentes approches développées pour le traitement des aspects temporels des émissions de GES sont toutes basées sur le principe de forçage radiatif cumulé. Il existe différents types d'impact sur le changement climatique et ceux-ci peuvent être représentés par différents indicateurs. Par contre, des travaux de recherche sont encore nécessaires afin d'identifier quels indicateurs sont les plus appropriés, quel type d'impacts ils expriment et comment ils doivent être utilisés.

Recommandations nécessitant un effort accru lors de la collecte de données :

Considération des flux de carbone biogénique

Il est recommandé d'inclure dans les ACV et les calculs de l'empreinte carbone tous les flux de carbone, qu'ils soient d'origine biogénique ou fossile, positifs (émissions) ou négatifs (séquestrations). Toutefois, l'inclusion de tous les flux de carbone biogénique dans les ACV ne se fait pas sans difficultés. Par exemple, il n'est pas toujours facile de déterminer les quantités de carbone biogénique émises lors du traitement des déchets ou des effluents. Une autre problématique associée à la considération des flux de carbone biogénique en ACV concerne le traitement des processus multifonctionnels. Les émissions et séquestrations de CO₂ biogénique doivent être imputées aux différents co-produits sur la base du contenu en carbone de chacun puisque l'intensité des flux de CO₂ est directement liée à ce facteur.

Considération des aspects temporels des flux de séquestration

Il est recommandé d'utiliser une équation spécifique à la biomasse à l'étude pour le calcul de la dynamique de séquestration de carbone par la biomasse si celle-ci est disponible ou d'utiliser une approximation linéaire dans le cas contraire. Plusieurs publications ont démontré que le délai de séquestration du carbone par la biomasse en croissance avait un impact important sur les résultats, en particulier pour les espèces à longue période de rotation. La considération des aspects temporels des flux

« Etat de l'art sur le stockage/déstockage du carbone par la biomasse au sein des ACV »

de séquestration rend plus compliquée la collecte de données. En effet, il peut être difficile d'estimer la dynamique de séquestration du carbone par la végétation en croissance. En pratique, il peut être difficile de trouver une étude portant sur la dynamique de séquestration spécifique à chaque type de biomasse. L'utilisation d'une approximation peut être nécessaire pour ces cas-là.

Recommandations nécessitant l'utilisation d'un outil additionnel :

Considération des aspects temporels

Il est recommandé de tenir compte des aspects temporels des flux positifs et négatifs de GES lorsque l'échelle de temps couverte par les flux de GES du système à l'étude est assez longue par rapport à l'horizon temporel choisi pour l'analyse. De plus, il est important de traiter tous les flux de la même façon, qu'ils soient d'origine biogénique ou fossile. Certaines des méthodes analysées proposent une façon de tenir compte des aspects temporels des émissions, d'autres recommandent de ne pas en tenir compte, alors que certaines rendent leur considération optionnelle. Cette disparité entre les différentes méthodes tient probablement du fait **qu'il n'y a pas encore consensus dans la communauté scientifique concernant certains aspects du traitement temporel des émissions** (comme par exemple pour le choix subjectif d'un horizon temporel) et que leur inclusion dans les méthodes complique la collecte de données et les calculs. Par contre des travaux de recherche ont clairement montré que pour certains types d'application, le fait de ne pas considérer les aspects temporels des émissions peut entraîner des conclusions biaisées. C'est uniquement dans une perspective à court terme que le fait de repousser une émission de quelques années ou de quelques décennies est avantageux. L'importance de considérer les aspects temporels dépend donc de l'échelle de temps couverte par les flux de GES par rapport à l'horizon de temps choisi pour l'analyse. Typiquement, les systèmes dont le cycle de vie s'étend sur un grand nombre d'années, qui comportent un produit issu de la biomasse dont la période de rotation est de plusieurs années ou qui comportent un aspect temporel important comme par exemple l'amortissement d'une émission initiale sur des activités ayant lieu sur plusieurs années, pourraient répondre à cette condition.

Approche utilisée pour la considération des aspects temporels

Il est recommandé d'utiliser une approche basée sur le calcul exact du forçage radiatif cumulatif. Deux grands types d'approches ont été proposés pour la considération des aspects temporels : la première est basée sur le calcul exact du forçage radiatif cumulatif ayant lieu entre le moment de l'émission à caractériser et la fin de l'horizon temporel, alors que la seconde consiste en une approximation linéaire de ce calcul. Les approximations linéaires sont un peu plus simples à utiliser. En effet, il suffit de multiplier l'émission à caractériser par le nombre d'années écoulées et par un facteur linéaire pour calculer le crédit accordé au fait de repousser cette émission. Par contre, l'approche basée sur le calcul exact du forçage radiatif est plus précise et peut être aussi simple d'utilisation si des facteurs de caractérisation sont calculés pour chaque moment d'émission et chaque horizon temporel (comme c'est le cas pour les TAWP) ou si un outil de calcul de type Excel est utilisé (comme c'est le cas pour l'ACV dynamique). En effet, l'utilisation d'une approximation linéaire pour le CO₂ n'induit pas une erreur trop importante par rapport à l'approche exacte, mais peut conduire à des déviations très importantes pour des gaz à courte durée de vie comme le méthane.

Utilisation d'une approche spécifique à chaque GES

Il est recommandé d'utiliser une approche spécifique à chaque GES. Certaines méthodes transforment les émissions de GES en kg CO₂-eq à l'aide des PRG 100 avant d'appliquer une approche de considération des aspects temporels développée pour le CO₂. D'autres méthodes utilisent des facteurs spécifiques pour chaque GES. Pour des gaz à courte durée de vie comme le méthane, l'assimilation des émissions au CO₂ peut induire des erreurs importantes. En effet, comme le méthane se dégrade assez rapidement, repousser une émission de quelques années ne permet pas de repousser une partie du forçage radiatif au-delà d'un horizon temporel de 100 ans puisque celui-ci a entièrement lieu au cours des premières décennies suivant une émission. C'est pourquoi le crédit calculé à l'aide de l'approche exacte est très faible pour les premières décennies, puis monte brusquement par la suite. De plus, comme il est recommandé d'utiliser une approche

« Etat de l'art sur le stockage/déstockage du carbone par la biomasse au sein des ACV »

par calcul exact du forçage radiatif cumulatif plutôt que par approximation linéaire, ce qui implique l'utilisation d'une liste de facteurs de caractérisation ou d'un outil programmé, il n'est pas plus compliqué d'utiliser une approche spécifique sans assimilation au CO₂.

Choix d'un horizon temporel pour l'analyse

Il est recommandé de présenter les résultats obtenus pour différents horizons de temps et de discuter de l'impact de ce choix sur les conclusions. La considération des aspects temporels rend inévitable le choix d'un horizon de temps pour la prise de décision. En effet, toutes les approches se basent sur un horizon temporel au-delà duquel les impacts sont considérés évités. Quelques auteurs ont souligné le fait que le choix d'un horizon temporel était plus politique que scientifique, qu'il pouvait avoir un impact important sur les résultats et les décisions en découlant et que la valeur de 100 ans couramment utilisée était arbitraire.

Conclusions générales

Ces recommandations portent sur des aspects méthodologiques généraux liés au traitement du carbone biogénique dans les ACV et sont applicables dans toutes les situations. Par contre, les études de cas et la revue des concepts et des méthodes montrent que l'intégration de ces recommandations entraîne des questionnements au sujet d'autres aspects méthodologiques dont les réponses dépendent des objectifs de l'étude et qui ne sont pas nécessairement exclusives à la question du carbone biogénique. Par exemple, l'utilisation d'une approche par extension des frontières pour traiter la multifonctionnalité des processus d'incinération en fin de vie avec récupération de chaleur peut dépendre du contexte de l'étude et des lignes directrices choisies. En effet, certaines méthodes exigent des approches particulières pour traiter ces questions auxquelles l'utilisateur doit se conformer.

En ce qui concerne la détermination de la quantité de carbone séquestrée par la biomasse, différentes bases de référence peuvent être utilisées pour le calcul du changement net de stock de carbone : 1) par rapport à un point de référence actuel, 2) par rapport à une situation *business-as-usual*, et 3) par rapport à un scénario futur prospectif. Une approche attributionnelle utilise normalement un point de référence actuel. Ainsi, pour une forêt gérée durablement, par exemple, la quantité de carbone séquestré considérée sera la même que la quantité de carbone contenu dans le bois récolté. Pour une approche conséquentielle, la référence utilisée serait une situation *business-as-usual* ou un scénario futur prospectif selon l'objectif de l'étude. Par exemple, si une étude vise à comparer l'implantation d'un scénario de bioénergie forestière en vue de remplacer un scénario d'énergie fossile actuel, une situation *business-as-usual* sera utilisée. Dans ce cas, il est important de tenir compte dans le scénario d'énergie fossile actuel de ce qui arriverait à la biomasse forestière si le scénario de bioénergie n'existait pas. Finalement, un scénario futur prospectif pourrait être utilisé dans une étude visant à orienter des politiques énergétiques afin de tenir compte de l'évolution prévue des forêts en l'absence des politiques énergétiques à l'étude.

Besoins de recherche identifiés

Développement d'indicateurs

L'utilisation d'un indicateur unique basé sur le forçage radiatif cumulatif comporte des inconvénients. En effet, cet indicateur ne peut pas à lui seul donner une mesure de l'influence de chaque GES sur tous les types d'impacts liés au changement climatique. Le cinquième rapport du GIEC présente et discute différents indicateurs en plus du GWP. De plus, de récents articles proposent des indicateurs permettant de prendre en compte la notion de *tipping point* ou d'intégrer l'impact des changements d'albedo. La tendance actuelle permet de croire qu'au cours des années suivantes, d'autres développements auront lieu en termes de développement d'indicateurs pour le réchauffement climatique.

Traitement des préférences temporelles

« Etat de l'art sur le stockage/déstockage du carbone par la biomasse au sein des ACV »

La considération des aspects temporels des émissions et séquestrations de GES rend inévitable le choix d'un horizon temporel pour la prise de décision. Des articles de recherche récemment publiés se sont attardés sur les différents processus physiques du cycle du carbone impliqués selon le choix de l'horizon temporel ou ont proposé une méthode qui permettrait d'établir une relation entre les émissions de GES et les coûts afin d'utiliser des taux d'actualisation pour la prise de décision. La monétarisation des impacts environnementaux en général et des émissions de GES en particulier pourrait être une façon de gérer les préférences temporelles pour les preneurs de décision.

Bilans de carbone forestier

La considération du carbone biogénique dans les ACV implique l'estimation des quantités de carbone séquestré par la biomasse à imputer au système à l'étude. Lorsqu'une approche attributionnelle est utilisée, la quantité de carbone séquestrée peut être considérée équivalente au carbone contenu dans la biomasse récoltée pour une forêt gérée durablement, ou simplement nulle pour les cas de déforestation. Par contre, pour une approche conséquentielle, il faut comparer la séquestration de carbone par la biomasse du système à l'étude à la séquestration de carbone qui aurait lieu sinon, ce qui complexifie la collecte de données. De nombreuses études ont été réalisées sur les stocks de carbone des forêts. Ceux-ci dépendent de nombreux facteurs dont les conditions climatiques, les particularités géographiques, les perturbations naturelles et les différents modes de gestion de l'exploitation des forêts. Les chercheurs continuent à essayer de comprendre les bilans de carbone des forêts et les facteurs les influençant. De la recherche est encore nécessaire afin de bien comprendre l'évolution des bilans de carbone forestiers et le rôle de la forêt dans la lutte au changement climatique. Des modèles doivent être développés afin de simuler les variations des stocks de carbone des forêts en fonction des différents facteurs les affectant. Ces modèles pourront être utilisés afin de comparer différents scénarios permettant de répondre aux questions posées à travers les ACV.