

L'Analyse de Cycle de Vie (ACV) appliquée aux produits bois : bilan énergétique et prise en compte du carbone biomasse

Claire Cornillier, Estelle Vial

FCBA

**Cette communication a été présentée dans le cadre du
IXème Colloque Sciences et Industrie du Bois
20 et 21 novembre 2008**

L'Analyse de Cycle de Vie (ACV) appliquée aux produits bois : bilan énergétique et prise en compte du carbone biomasse

Claire Cornillier – Estelle Vial

RÉSUMÉ. L'application de l'analyse de cycle de vie dans le domaine de la filière bois et plus généralement dans le secteur des bioressources fait apparaître des problématiques spécifiques. Dans le contexte du changement climatique, cet article s'attache à en aborder deux d'entre elles, le bilan énergétique et la prise en compte du carbone biomasse, en présentant les enjeux, les différents choix méthodologiques adoptés et leurs conséquences.

ABSTRACT. Applying the life cycle assessment methodology to the wood products and more broadly to bio-based products raises specific issues. In the context of climate change, this paper examines two particular issues: energy balance and carbon biomass. What is at stake, the different methodological choices and their consequences are presented here.

MOTS-CLÉS : ACV, bois, bioressources, biomasse, indicateurs, énergie, carbone, changement climatique, GES, CO₂, photosynthèse.

KEYWORDS: LCA, wood, bioresource, biomass, indicators, energy, carbon, climate change, GHG, CO₂, photosynthesis .

1. Introduction

Dans le contexte du Grenelle de l'environnement qui prévoit de mieux informer les consommateurs de l'impact environnemental des produits, mais également avec le développement d'écotechnologie, d'écoproduit, et l'utilisation grandissante des bioressources, l'analyse de cycle de vie devient une méthodologie de plus en plus utilisée pour accompagner les démarches de progrès dans le domaine du développement durable. La filière bois n'échappe pas à cette dynamique, d'autant plus qu'elle peut faire valoir des atouts écologiques pour répondre aux crises actuelles posées par le changement climatique et l'épuisement des ressources fossiles en particulier énergétiques :

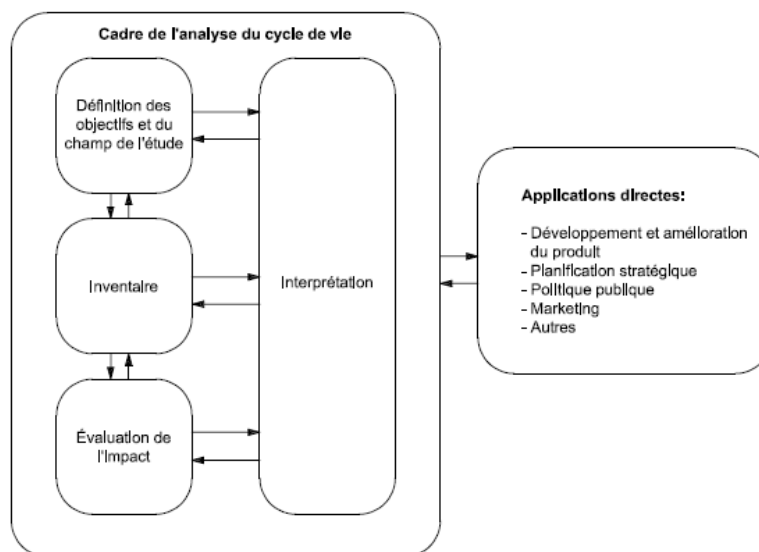
- Le bois est une matière première d'origine végétale, issue de ressources renouvelables, les arbres ; Lors de sa croissance, l'arbre synthétise de façon autonome des chaînes carbonées organiques à partir de CO₂ prélevé dans l'atmosphère et d'énergie solaire, par le phénomène de la photosynthèse ;
- Les forêts jouent un rôle majeur dans l'équilibre climatique de la planète, notamment dans la régulation des gaz à effet de serre, mais également dans le maintien de la biodiversité ainsi que dans la lutte contre la désertification ; Les prélèvements de bois dans les forêts, lorsqu'ils sont effectués de façon raisonnée, n'altèrent pas les fonctions écologiques des forêts ; Le développement de son utilisation, accompagné d'une gestion durable des forêts, peut au contraire conduire à une extension des surfaces boisées ; Par ailleurs, le bois matériaux permet de prolonger de façon temporaire la séquestration de carbone de la forêt tout au long de son utilisation ;
- L'utilisation du bois comme matériaux ou comme énergie permet d'économiser des ressources fossiles ;
- Les produits bois en fin de vie sont valorisables soit comme matière première secondaire soit comme énergie.

Il existe différentes méthodes permettant d'évaluer de façon plus ou moins quantitative le bilan environnemental d'un système selon sa définition (ses composantes, ses limites et son horizon temporel, les fonctions prises en compte) et selon les critères et indicateurs utilisés (efficacité énergétique, bilan des émissions de gaz à effet de serre, etc.).

L'ACV, au sens des normes ISO 14040 et 14044, est une méthodologie d'évaluation quantitative globale de la pression du système étudié sur les ressources et l'environnement tout au long de son cycle de vie, de l'extraction des matières premières jusqu'à son traitement en fin de vie (mise en décharge, incinération, recyclage, etc.). Cette évaluation est basée sur un inventaire quantifié des sources d'impacts, consommations de matière, d'eau et d'énergie, génération de déchets et rejets de polluants dans l'eau, dans l'air, et dans les sols, sur l'ensemble du cycle de

vie du produit étudié. A l'aide de méthodes de calcul d'indicateur, cet inventaire est traduit ensuite en terme d'impacts environnementaux. Dans la pratique, une ACV consiste alors à modéliser des flux entrant et sortant de façon physique à chaque étape du cycle de vie, et à traduire ces flux en impacts. Evaluation quantitative, sa mise en oeuvre impose un certain nombre de principes de bonnes pratiques explicitées dans les normes ISO 14040 et ISO 14044, en particulier celui de la traçabilité et de la transparence, permettant de rendre vérifiables et donc crédibles les résultats. L'ISO 14040 définit 4 étapes principales dans une ACV (cf. figure 1).

Figure 1 : les 4 étapes dans la réalisation d'une ACV



La première étape, visant à définir les objectifs et le champ de l'étude, est tout particulièrement importante, dans la mesure où les principales hypothèses structurant la suite de l'évaluation et de l'interprétation, sont définies à ce stade :

- Objectif de l'étude : établissement d'un écoprofil (ex Fiche de déclaration environnementale et sanitaire des matériaux de construction), recherche d'amélioration des performances (écoconception), comparaison de deux systèmes, définition de critères d'écotiquetage (ex NF environnement),
- Frontières du système : description du système étudié, étapes prises en compte ou négligées (typiquement les infrastructures) et les règles de coupures, choix méthodologiques appliqués sur les imputations avec notamment le mode d'allocation des impacts entre produits et coproduits et la modélisation du recyclage (méthode des impacts évités ou méthode des stocks).

La deuxième étape, la réalisation de l'inventaire, est également très importante, car elle définit les scénarii étudiés ainsi que les données et hypothèses utilisées, qui suivant leur qualité peuvent modifier les résultats de façon significative.

La méthodologie d'ACV, apparue dans les années 70, a été développée tout d'abord sur des produits issus de ressources non renouvelables, minérales ou pétrolières. L'application à des produits bois, et plus généralement à des produits d'origine biomasse, fait apparaître des problématiques spécifiques, dont la prise en compte dans le domaine de l'ACV demande à être explicitée :

- Modélisation de l'étape de sylviculture, permettant de rendre compte des spécificités de la biologie végétale et du bilan des relations entre les différents compartiments eau, air, sol et végétaux ;
- Modélisation des flux liés au carbone biomasse dans les inventaires de cycle de vie, de la sylviculture à fin de vie, et prise en compte dans les calculs d'indicateurs d'impacts en particulier celui du changement climatique,
- Modélisation du stockage temporaire de carbone durant la phase d'utilisation du bois et prise en compte du bénéfice de cette séquestration dans l'évaluation de l'impact sur la contribution au changement climatique du système étudié,
- Comptabilisation des énergies matières et procédés, définitions et choix d'indicateurs énergétiques,
- Choix d'allocation entre produit étudié, co-produits et sous-produits issus de la transformation du bois,
- Evaluation des impacts sur le milieu naturel (biodiversité, ressource eau, ressource sol, ...).

Jusqu'à présent, les questions posées aux problèmes spécifiques de l'ACV appliqués aux produits d'origine biomasse n'ont pas toutes obtenu de réponses et les réponses qui ont pu être apportées n'ont pas fait l'objet d'un consensus réel au niveau de la communauté ACV. Par ailleurs, certains référentiels mettant en œuvre la méthodologie ACV, comme la norme NF P01-010 relative à l'évaluation de l'impact environnemental et sanitaire des produits de construction, peuvent présenter des limites pour tenir compte des spécificités des produits d'origine végétale.

Etant donnée l'ampleur de ces questions et dans le contexte actuel du changement climatique et de la raréfaction des énergies fossiles, cette communication s'attache à aborder deux sujets majeurs que pose l'application de l'ACV aux produits bois, en présentant leurs enjeux, les choix méthodologiques dont ils font l'objet et leurs conséquences :

- Le bilan énergétique et son utilisation,
- La prise en compte du carbone biomasse.

2. Le bilan énergétique en ACV et son utilisation

2.1. Définition des données énergie en ACV

Sur le plan énergétique en ACV, on distingue deux types d'énergie :

- L'énergie consommée (brûlée) par les procédés (de transformation, de transport, de chauffage, ...) appelée Energie procédé,
- L'énergie contenue dans la matière appelée Energie matière ou encore Energie « feedstock », qui correspond à une mobilisation (un prélèvement sans destruction de la matière) d'une matière première avec un pouvoir calorifique.

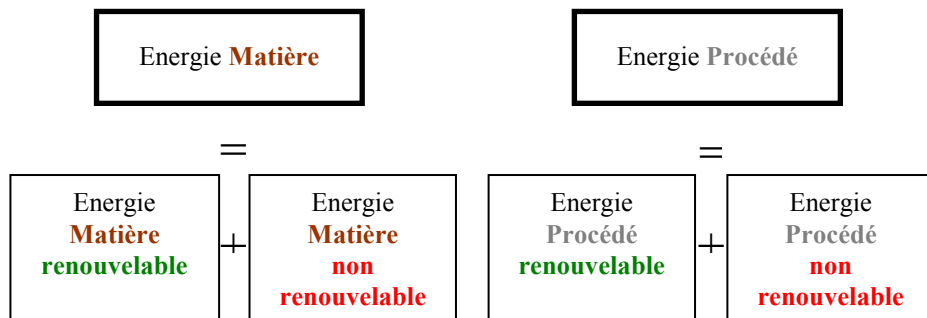
Ces énergies, qu'elles soient matière ou procédé, peuvent être soit d'origine renouvelable, soit d'origine non renouvelable :

- L'énergie renouvelable provient de ressources renouvelables comme le vent ou le soleil,
- L'énergie non renouvelable provient elle de ressources fossiles comme le pétrole, l'uranium, le charbon ou encore le gaz naturel.

L'énergie matière peut donc être à la fois renouvelable (le bois) et non renouvelable (les matériaux d'origine pétrolière comme le plastique). Il en est de même pour l'énergie procédé. Il existe donc 4 types de données énergie en ACV :

- L'énergie procédé non renouvelable,
- L'énergie procédé renouvelable,
- L'énergie matière non renouvelable,
- L'énergie matière renouvelable.

Figure 2 : Les données énergie en ACV



2.2. L'utilisation des données énergie ACV

On observe que ces données sont utilisées de différentes façons. Elles peuvent servir en particulier pour définir des indicateurs, dont les interprétations en terme d'impact sont difficiles et conduisent parfois à des aberrations d'un point de vue environnemental.

2.2.1. L'approche de la NF P01-010

Sur le plan de la normalisation, il existe à l'heure actuelle différentes approches, dans lesquelles un même terme peut prendre des sens différents. Au niveau français, il existe la norme NF P01-010, relative au format de communication des données environnementales et sanitaires des produits de construction (fiche de déclaration environnementale et sanitaire, FDES), qui définit trois indicateurs de consommation/mobilisation :

- L'énergie non renouvelable, égale à l'addition de l'énergie procédé non renouvelable et de l'énergie matière non renouvelable,
- L'énergie renouvelable, égale à l'addition de l'énergie procédé renouvelable et de l'énergie matière renouvelable,
- L'énergie primaire totale, égale à l'addition de l'énergie non renouvelable et l'énergie renouvelable, c'est-à-dire l'addition de toutes les énergies quelles soient matière ou procédé et renouvelable ou non renouvelable.

Il faut noter que si on définit l'énergie non renouvelable et l'énergie renouvelable tel que le fait la NF P01-010, il est nécessaire de vérifier que l'addition des deux est bien égale à l'addition de l'énergie procédé et de l'énergie matière. C'est d'ailleurs pour la raison de vérification du bilan que cette somme de toutes les énergies a été créée au départ par les personnes faisant de l'ACV. En revanche d'un point de vue environnemental, utiliser cette somme comme un indicateur énergétique n'a pas de sens sachant que les énergies n'ont pas du tout le même impact sur l'environnement. Par ailleurs, dans le panel d'indicateur que propose la NF P 01-010, il existe d'autres indicateurs qui rendent déjà compte de l'impact de ces consommations d'énergie. Il s'agit en particuliers des indicateurs d'impact :

- « épuisement des ressources abiotiques » qui comptabilise les ressources abiotiques servant de matière première qu'elles contiennent un PCI (ex pétrole pour fabriquer les plastiques) ou non (ex silice), ainsi que les ressources abiotiques utilisées comme énergie (les combustibles servant à produire l'électricité nucléaire et les combustibles fossiles),
- « changement climatique », qui prend en compte toutes émissions des gaz à effet, émises en particulier par la consommation de combustibles fossiles.

Enfin cela devient très dangereux, d'autant plus avec l'intérêt majeur que l'on accorde aux questions énergétiques, de faire des comparaisons sur cet indicateur,

comme cela a pu être constaté. Le tableau ci-dessous présente de façon caricaturale trois matériaux ayant un profil énergétique très différent :

- Le matériau S est par exemple fabriqué à partir de pétrole et utilise uniquement de l'énergie non renouvelable dans son procédé,
- Le matériau T est fabriqué à partir d'une ressource renouvelable et consomme essentiellement de l'énergie renouvelable pour son procédé,
- Enfin le matériau U est minéral (n'a pas de contenu énergétique) et nécessite de l'énergie non renouvelable pour sa fabrication.

Tableau 1 : Comparaison de différents matériaux à partir d'indicateur énergétique en MJ/unité fonctionnelle

	Matériau S	Matériau T	Matériau U
Energie matière renouvelable (a)	0	10	0
Energie matière non renouvelable (b)	8	0	0
Energie procédé renouvelable (c)	0	10	0
Energie procédé non renouvelable (d)	7	2	10
Energie Primaire totale (a)+(b)+(c)+(d)	15	22	10
Energie non renouvelable (b)+(d)	15	2	10

On peut constater que sur la base de l'indicateur énergie primaire totale définit par la P01-010 c'est le matériau U qui sera retenu, présentant le meilleur résultat. Or, il s'agit du matériau qui consomme le plus d'énergie de procédé non renouvelable. Le matériau S, qui consomme pourtant moins d'énergie procédé, présente un bilan moins bon que le matériau U parce qu'il a une énergie contenue dans le matériau alors que cette énergie pourrait être récupérée. Enfin le matériau T utilisant et contenant de l'énergie renouvelable, donc générant des impacts plus faibles que ceux des autres matériaux est celui qui obtient le moins bon résultat (plus du double de celui du matériau U). L'utilisation de cet indicateur peut donc conduire à des choix aberrants d'un point de vue environnemental. Enfin les défenseurs de l'indicateur énergie primaire totale avancent que d'un point de vue environnemental il y a compétition entre l'utilisation matière et l'utilisation énergétique de la ressource. Si cela peut être vrai localement et pour certains types de bois (bois de trituration destiné à la papeterie ou à la fabrication de panneaux mais pouvant être utilisé en bois énergie) il n'y a pas lieu que ce soit un indicateur énergétique qui mesure cette compétition mais bien un indicateur d'impact de prélèvement de ressources biotiques.

Par ailleurs, l'utilisation de l'indicateur énergie non renouvelable, bien que moins aberrante que celle de l'indicateur énergie primaire, présente également des limites. En effet dans un objectif d'aide à la décision dans le cadre d'une politique de réduction des émissions de gaz à effet de serre, il pourrait être opposé qu'un matériau consommant une part importante d'énergie non renouvelable aura un impact fort sur le changement climatique. Mais cela n'est pas vrai si le matériau est fortement consommateur d'électricité d'origine nucléaire donc peu émetteur de CO₂

comme c'est la situation en France (l'électricité est produite à 75% à partir de combustible nucléaire).

2.2.2. Les approches de la normalisation européenne et internationale

Sur le plan européen et le plan international, des travaux de normalisation concernent également le format de déclaration des données environnementales des matériaux de construction. En ce qui concerne le projet de norme européenne, le premier draft de février 2008 ne prend pas en compte l'énergie matière dans les indicateurs énergétiques mais uniquement l'énergie procédé. Dans le cas de matière première à contenu énergétique, elle est comptabilisée :

- Si elle est d'origine non renouvelable, uniquement dans l'indicateur « épuisement de ressources non renouvelables »,
- Si elle est d'origine renouvelable, uniquement dans un indicateur de flux « consommation de matière renouvelable ».

Dans le cas d'énergie procédé, elle est comptabilisée :

- Si elle est d'origine non renouvelable, dans l'indicateur énergétique dit « énergie primaire non renouvelable » et pas dans les indicateurs « épuisement de ressources non renouvelables »,
- Si elle est d'origine renouvelable, dans l'indicateur énergétique dit « énergie primaire renouvelable ».

Dans ce projet de norme européenne, les deux indicateurs énergétiques sont appelés « énergie primaire non renouvelable » et « énergie primaire renouvelable » mais le terme énergie primaire n'a pas le même sens que dans la norme française. Il correspond à l'énergie procédé. On peut dire que cette approche, dans la définition de ses indicateurs, est une approche différenciatrice entre matière première à contenu énergétique et combustible. Elle est proposée pour éviter de prendre en compte plusieurs fois l'impact des énergies dans l'évaluation globale.

En ce qui concerne l'approche internationale, l'ISO 21930 n'a pas, elle, retenu d'indicateurs énergétiques mais uniquement des indicateurs d'impacts. Par ailleurs pour l'utilisation de matières premières renouvelables et la consommation d'énergie renouvelable, qui ne sont pas prises en compte par les indicateurs d'impacts, elle prévoit de renseigner les quantités consommées des 2 catégories. Son approche peut être qualifiée d'approche axée sur les impacts des ressources non renouvelables (qu'elles soient énergétiques ou non énergétiques).

Il faut souligner qu'une fois que la norme européenne sera parue, c'est elle qui prévaudra sur la norme française et la norme internationale.

2.2.3. L'énergie grise

En dehors du champ des FDES et dans le domaine des matériaux, on peut également entendre parler très souvent d'énergie grise. Cette expression correspond à différentes définitions suivant les auteurs et ne dispose pas de définition normative ou réglementaire. La plupart des documents disponibles sur internet définissent l'énergie grise comme l'énergie procédée et souvent comme l'énergie procédée non renouvelable. Le document « L'énergie grise dans la filière Bâtiment et Travaux Publics » réalisé par la MGC/DRAST2006 définit l'énergie grise comme l'énergie nécessaire à l'élaboration d'un produit. Des chiffres sont ensuite cités tels que 3.5 MJ/kg pour le bois ou 1.5 MJ/kg pour les parpaings montrant que cette énergie n'inclue pas l'énergie contenue dans le matériau (18 MJ/kg pour le bois). Le concept de « graue energie » est très développé en Suisse, en Allemagne et en Autriche. L'EMPA définit l'énergie grise comme la somme de l'énergie nucléaire, de l'énergie fossile et de l'énergie hydraulique.

2.2.4. L'approche de la performance énergétique du bâtiment

Pour augmenter la confusion, alors que les deux approches se rencontrent dans le domaine de l'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments, on peut signaler que le terme d'énergie primaire totale est également utilisé dans le domaine de la réglementation thermique dans le bâtiment et que la définition de celle-ci est différente de celle utilisée dans les FDES françaises. L'approche bâtiment s'intéresse à la performance énergétique du bâtiment c'est à dire à l'énergie consommée en phase d'utilisation du bâtiment. En ce qui concerne les consommations d'énergie, elle utilise à travers la RT (réglementation thermique) un coefficient ou indicateur « Cep » exprimé en kWh d'énergie primaire/m²/an. La consommation d'énergie primaire dans ce cadre est définie comme la consommation finale totale (quantité d'énergie disponible "facturée" pour l'utilisateur final) pondérée par des coefficients. Ces coefficients de conversion entre énergie finale et énergie primaire sont définis par convention dans la RT suivant le type d'énergie. Pour l'électricité, l'énergie finale correspond à 2.58 kWh d'énergie primaire et pour les combustibles on a la même valeur en énergie primaire et en énergie finale. Par ailleurs, dans le calcul, certaines énergies renouvelables ne sont pas comptabilisées (solaire thermique, géothermie, ...).

3. La prise en compte du carbone biomasse

3.1. La photosynthèse, le bois et les forêts : influence sur le changement climatique

La photosynthèse est un processus naturel qui permet aux plantes de synthétiser leur matière organique grâce à l'énergie solaire et à partir d'eau, d'éléments minéraux du sol et de CO₂ prélevé dans l'atmosphère. Les plantes fixent ainsi du carbone du CO₂ atmosphérique en carbone organique. Le bois des arbres est le résultat de cette photosynthèse. Le carbone contenu dans le bois représente environ 50% de sa masse anhydre [1].

Deux tiers de la photosynthèse globale s'effectuent dans les écosystèmes forestiers. Ce puits est reconnu par les experts du GIEC puisque le développement de la forêt fait partie des opportunités en matière d'atténuation du changement climatique (GIEC, 2007).

A contrario, la déforestation contribue au réchauffement climatique. 1.6 GtC/an a été émis à cause des changements d'utilisation des terres, changements caractérisés principalement par la déforestation. On peut considérer que 20% des émissions mondiales de gaz à effet de serre sont dues à la déforestation (FAO, 2000), et ceci principalement pour convertir les forêts en terres agricoles (FAO, 2007).

Au niveau de la France, seuls 13% en volume des importations proviennent de pays hors pays de l'annexe 1 du protocole de Kyoto et peuvent donc être considérés comme « à risque » (FCBA *et al.* 2008). La grande majorité des importations de bois en France proviennent d'Europe où la forêt est en croissance.

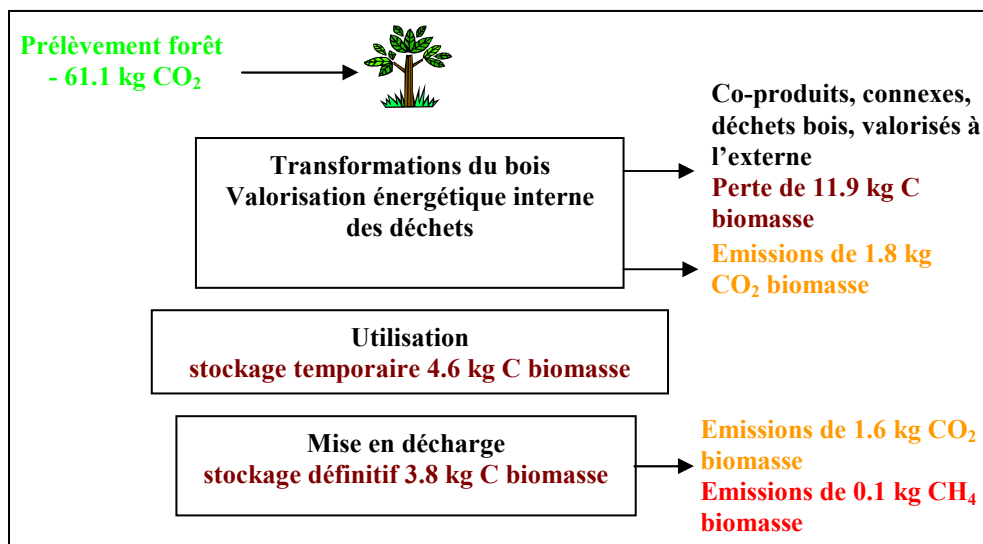
3.2. Les différents flux liés au carbone biomasse du cycle de vie d'un produit bois

De l'extraction de leur matière première à leur fin de vie, les produits bois sont à l'origine de différents flux liés au carbone biomasse :

- Le prélèvement de CO₂ dans l'atmosphère pour créer la matière bois,
- Des émissions de CO₂ et CO biomasse si la matière bois est brûlée ou incinérée,
- Des émissions de CO₂ lors de sa décomposition aérobie et de CH₄ lors de sa décomposition anaérobie si le bois est mis en décharge.

¹ 1 tonne Carbone = 3.667 tonnes CO₂ ; 1 tonne de bois sec = environ 0.5 tonne de carbone, 1 m³ de bois exploité = environ 1 tonne CO₂.

Figure 3 : Bilan massique entrée et sortie de carbone biomasse sur le cycle de vie de 1 m² de fenêtre en pin sylvestre (FCBA 2007) (≠ bilan GES)



Le bilan entrée-sortie lié au carbone biomasse n'est pas toujours nul. En effet dans le cas du scénario de mise en décharge, la dégradation étant lente et incomplète, en fin de vie l'ensemble du carbone biomasse des produits bois n'est pas relargé. En ce qui concerne ce taux de décomposition, une revue bibliographique a été réalisée grâce notamment à la lecture de (Barlaz, 2006) et le taux de dégradation à 100 ans peut être estimé à 15% en l'état des connaissances. Le bois est constitué principalement de matières organiques, la cellulose (de 40 à 50%), la lignine (de 20 à 30%) et l'hémicellulose (de 15 à 25%), ainsi que d'un faible pourcentage (de 1 à 1,5%) d'éléments minéraux. Il contient également une part d'humidité variable. Dans des conditions idéales de laboratoire, la cellulose et l'hémicellulose se dégradent à hauteur de 71 et 77%, la lignine au contraire étant à peine dégradée (Barlaz *et al.* 1989). Selon (Ham *et al.* 1993) ainsi que (Wang *et al.* 1994), la cellulose et l'hémicellulose contenues dans le bois ne se dégradent que peu en décharge à cause de la présence de la matrice ligneuse de 0 à 15% selon les auteurs.

3.3. Le choix méthodologique de prise en compte des flux liés au carbone biomasse

Un des choix méthodologique simplificateur adopté vis-à-vis de la prise en compte des flux liés au carbone biomasse est de faire l'hypothèse de la neutralité, en partant du principe que le carbone fixé est relargé au cours du cycle de vie du produit, ce qui suivant ce que nous avons vue précédemment, n'est pas toujours le cas. D'autre part, le bilan en terme d'impact peut quand lui être également différent

entre les prélèvements et les émissions, même avec un bilan massique carbone équilibré, du fait que les flux n'ont pas tous le même pouvoir de réchauffement global.

De ce choix méthodologique simpliste, certains voudraient en faire un principe et imposer une non prise en compte de ces flux liés au carbone biomasse. Or l'ISO 14040, qui donne les principes et le cadre de l'analyse de cycle de vie, ne précise nul part que les flux liés au carbone biomasse ne doivent pas être pris en compte. Bien au contraire, elle définit l'ACV comme la compilation et l'évaluation des intrants, des extrants et des impacts environnementaux potentiels d'un système au cours de son cycle de vie. Les flux liés au carbone biomasse sont des intrants et des extrants du système. Il est donc nécessaire de les prendre en compte (Ari Rabl *et al.* 2007). Les bases données actuelles d'ACV comme Ecoinvent ou ELCD comptabilisent les entrées et sorties liées au carbone biomasse (Ecoinvent, 2004). FCBA, qui réalise des analyses de cycle de vie sur les produits bois depuis une dizaine d'années, dont les études font l'objet de revue critique, pratique depuis 2006 la prise en compte des flux liés au carbone biomasse (Cornillier *et al.*, 2007, 2008).

Le choix méthodologique de non prise en compte des flux liés au carbone biomasse ne permet pas d'évaluer l'impact négatif ou positif de ces flux. Par exemple, il met au même plan une forêt coupée et brûlée et une forêt gérée durablement. La prise en compte du carbone biomasse pourra au contraire permettre de différencier un produit en bois exotique issu de forêts gérées de manière durable par rapport à un produit issu de déforestation qui ne pourra prétendre à un prélèvement de CO₂. De même, ce choix méthodologique ne permet pas de rendre compte de l'amélioration du rendement énergétique des chaudières biomasse. Ari Rabl *et al.* donnent également l'exemple de l'ajout d'un système de séquestration du dioxyde de carbone à une chaudière biomasse qui ne serait pas visible dans une ACV si on ne tient pas compte du carbone biomasse. Ari Rabl *et al.* concluent donc que la non prise en compte des émissions et prélèvements liés au carbone biomasse peut conduire à des conclusions contre-productives pour la lutte contre le changement climatique (Ari Rabl *et al.*, 2007).

Mais la prise en compte des flux contenant du carbone biomasse dans l'évaluation des impacts, à la fois en intrant comme en sortant, nécessite cependant de prendre certaines précautions :

- Etablir un inventaire exhaustif de l'ensemble de ces flux,
- Différencier ces flux d'origine biomasse de ceux d'origine fossile,
- Vérifier la consistance du bilan carbone entre les intrants et les sortants d'origine biomasse, sur l'ensemble du cycle de vie, en vérifiant l'égalité suivante en équivalent carbone massique : Intrants (prélèvement de CO₂ + stock C dans matières premières) = Sortants (émissions CO₂ + émissions CH₄ + émissions CO + autres émissions de composés carbonés d'origine biomasse + stock C dans produits)

Ainsi, l'indicateur changement climatique peut se retrouver négatif, traduisant un effet bénéfique de lutte contre le changement climatique, si le carbone biomasse n'est pas relargé totalement au cours de son cycle de vie et s'il compense les émissions de GES d'origine fossile. Ceci sera d'autant plus vrai que du carbone biomasse sera stocké de façon définitive, c'est-à-dire au-delà de 100 ans suivant le GIEC, et que les phases de transformation du bois et de transport seront faiblement consommatrices d'énergie fossile.

3.4. Le stockage temporaire et le stockage définitif : un potentiel d'atténuation important du changement climatique

Les produits bois permettent de prolonger le stockage du carbone prélevé et stocké en forêt. Ce stockage peut durer des décennies voire des millénaires selon l'utilisation du produit (charpentes des monuments historiques). La réutilisation ou le recyclage d'un produit bois permet de prolonger le stockage.

Les lignes directrices actuelles du GIEC consacrées à la comptabilisation des émissions/captations du secteur AFOLU (agriculture, forêt et autres utilisations des terres) intègrent un chapitre consacré au stockage de carbone dans les produits bois et en décharge. Le rapportage de la variation de stock selon ces lignes directrices peut être intégré aux inventaires nationaux remis au secrétariat de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. Ce rapportage est pour le moment volontaire mais des discussions sont en cours pour qu'il soit intégré dans le régime post 2012.

Les Analyses de Cycle de Vie n'intègrent pas jusqu'à présent d'indicateurs liés au stockage temporaire du carbone. L'indicateur de changement climatique n'intègre pas non plus ce stockage. Seul le stockage considéré comme définitif dans le cadre de la mise en décharge puisqu'il dure plus de 100 ans est pris en compte dans le calcul de cet indicateur.

Quelques publications existent cependant sur le lien entre un stockage temporaire et une réduction définitive (Moura et al. 2001).

Il faut noter que le bilan Carbone® de l'ADEME comptabilise le carbone contenu dans le produit en négatif si le bois provient de forêt replantée et si la durée de vie du bois est longue comme par exemple pour le bois d'œuvre.

Enfin, FCBA et le CSTB mènent actuellement une réflexion pour prendre en compte le stockage temporaire dans les ACV et proposer un indicateur de stockage de carbone dans le produit. Ce stockage ne concerne pas seulement les produits bois. La quantité stockée sera calculée sur la base du taux de carbone contenu dans le bois anhydre. La valeur de l'indicateur sera liée à la durée de vie du produit. Des durées de vie de 20 ans pourront être comptabilisées partiellement étant donné la priorité aux actions court terme données par le GIEC (GIEC, 2007).

4. Conclusion

L'évaluation de l'impact environnemental d'un produit, indispensable dans l'aide à la décision dans le cadre de démarches de progrès, est un sujet difficile et complexe à traiter, englobant de nombreux paramètres et touchant de multiples critères. La méthodologie d'ACV permet d'aborder ce sujet. Son application aux produits de la filière bois et plus généralement aux secteurs utilisant des bioressources pose des problèmes spécifiques, en particulier sur le bilan énergétique et sur la prise en compte des aspects carbone biomasse.

En ce qui concerne les indicateurs énergétiques, ils présentent des limites dans leur utilisation, qui nécessitent de prendre des précautions, d'autant plus que règne une certaine confusion au niveau de leur définition. Il est donc préférable d'utiliser des indicateurs d'impacts tels que l'épuisement des ressources et la contribution au changement climatique pour évaluer l'impact des consommations et de la mobilisation de ressources énergétiques.

La prise en compte des aspects liés au carbone biomasse est quand a elle, un élément indispensable pour effectuer une évaluation robuste des produits d'origine végétale, en particulier des produits bois matériaux avec des utilisations qui peuvent être longues. La méthodologie d'ACV permet à l'heure actuelle de bien prendre en compte les flux liés au carbone biomasse et le stockage définitif en décharge. En revanche, en ce qui concerne le bénéfice potentiel de la séquestration temporaire dans les produits bois un développement méthodologique est nécessaire nécessitant d'introduire un aspect dynamique dans l'ACV.

5. Bibliographie

- Barlaz M. A., Ham R. K., Schaefer D.M., « Mass balance analysis of decomposed refuse in laboratory scale lysimeter », *Journal of Environmental Engineering*, ASCE 115 (6), 1989, p. 1088-1102
- Barlaz M. A., « Forest products decomposition in municipal solid waste landfills », *Waste Management*, 2006
- Cornillier C., Vial E., « The accounting of CO₂ emissions from biomass in an LCA of wood products », 2nd *International Seminar on Society & Materials, SAM2*, Nantes, 2008
- Ecoinvent, Overview and methodology, rapport, 2004
- FAO and Hughes et al. As cited in C. Kremen et al., « Economic incentives for rain forest conservation across scales », *Science* 288, 2000, p. 1828-1832
- FAO, State of the World's Forests, rapport, 2007
- FCBA, Jean Malsot Consultant, Ernst & Young, Conception d'une méthodologie de quantification des variations de stock dans les produits du bois répondant aux exigences du GIEC et application à l'année 2005 pour un rapportage volontaire dans le cadre de la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique, rapport d'étude, 2008
- Cornillier C., Bucket E., Analyse de cycle de vie de fenêtres et portes-fenêtres « sur mesure » en bois fabriquées par les menuisiers adhérents à la FFB et signataires de la charte de qualité Menuiseries 21, rapport d'étude, 2007, FCBA
- GIEC, Bilan des changements climatiques, rapport de synthèse, 2007
- Ham R.K., Norman M.R., Fritschel P.R. « Chemical characterization of fresh kills landfill refuse and extracts », *Journal of Environmental Engineering*, ASCE 119, 1993, p. 1176-1195
- Rable Ari, Benoist Anthony, Dron Dominique, Peuportier Brunon, Spadaro Joseph V., Zoughaib Assaad, *International LCA Journal*, 2007
- Moura Costa, P., Wilson, C, An Equivalence Factor between CO₂ Avoided Emissions and Sequestration – Description and Application in Forestry, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change Vol.5, 2000, p. 51-60
- Wang, Y.-S., Byrd, C. S. and M. A. Barlaz, « Anaerobic Biodegradability of Cellulose and Hemicellulose in Excavated Refuse Samples », *Journal of Industrial Microbiology*, n°13, 1994, p. 147-53