

Critères et indicateurs de production « durable » des biocombustibles solides : état des lieux et recommandations

Didier Marchal, Florence Van Stappen, Yves Schenkel

Centre wallon de Recherches agronomiques. Département Génie rural. Chaussée de Namur, 146.
B-5030 Gembloux (Belgique). E-mail : schenkel@cra.wallonie.be

Reçu le 25 avril 2008, accepté le 2 septembre 2008.

Dans un contexte d'augmentation du prix des produits pétroliers d'une part et de changements climatiques d'autre part, les sources renouvelables d'énergie sont amenées à jouer un rôle considérable dans le futur. Parmi celles-ci, la biomasse sera très probablement fort sollicitée. En effet, il s'agit d'une matière aux multiples potentialités : production de chaleur, d'électricité, de carburants ou encore de bio-produits. Après avoir rappelé le contexte énergétique au niveau européen, et particulièrement l'objectif de 20 % d'énergie à partir de renouvelables en 2020, on analyse les principaux critères et indicateurs pour une production durable de biocombustibles solides. Les initiatives au niveau belge sont mentionnées (système de certification forestière, indicateurs de développement durable par le Bureau fédéral du Plan) avant d'analyser des critères de production durable de biomasse mis en place aux Pays-Bas. Une analyse bibliographique complète ces aspects. Un exemple de certification pour de la biomasse (des granulés de bois dans ce cas) utilisée dans des centrales électriques belges est présenté. Afin d'éviter tout abus dans l'utilisation de la biomasse, on souligne la nécessité d'améliorer les systèmes de certification de production durable de la biomasse.

Mots-clés. Biomasse, bioénergie, ressource renouvelable, durabilité, développement durable, biocombustible, gaz à effet de serre, environnement, biodiversité, compétition, législation.

Sustainable production criteria and indicators for solid biofuels. At the present time, fuel oil prices are in an increase phase in a climate change context. In this frame, renewable energy sources are supposed to play a key role in a near future. Amongst renewables, biomass will probably be very much in demand. Biomass can indeed be used in several fields: heat, power, biofuels and also biobased products. At a European level, there is a strong objective to produce 20% of energy from renewables in 2020. Main criteria and indicators for sustainable solid biofuels production are analyzed: forest certification system in Wallonia, sustainable development criteria in Belgium by the Bureau fédéral du Plan, criteria for sustainable biomass production in The Netherlands. A literature analysis makes these aspects complete. Certification scheme implemented by Electrabel and SGS is given to illustrate the use of imported biomass (wood pellets) to produce electricity in 2 Belgian power plants. As a conclusion, it is essential to develop and improve certification systems to insure sustainable use of biomass in the world.

Keywords. Biomass, bioenergy, renewable resources, sustainability, sustainable development, biofuels, greenhouse gases, environment, biodiversity, competition, legislation.

1. INTRODUCTION

Dans un contexte d'augmentation du prix des produits pétroliers d'une part et de changements climatiques d'autre part, les sources renouvelables d'énergie sont amenées à jouer un rôle primordial. Parmi celles-ci, la biomasse sera très probablement fort sollicitée.

Au niveau mondial, les ressources en biomasse sont très importantes et une part considérable est encore inexploitée. Ces ressources se déclinent sous la forme de produits connexes de l'industrie du bois, de rémanents

forestiers, de résidus agricoles ou encore de biomasse produite sur des terres agricoles marginales. La réalité peut néanmoins présenter des aspects très différents d'un pays ou d'une région à l'autre. En effet, certains pays peu peuplés disposent de grandes étendues sur lesquelles on peut trouver de la biomasse en abondance, alors que d'autres présentent une densité de population très élevée et moins de ressources capables de satisfaire aux besoins énergétiques du pays.

La biomasse pour l'énergie peut aussi être produite sur des terres agricoles sans nécessairement menacer

l'équilibre mondial en ressources alimentaires. Le risque de " déséquilibre " ou de " crise alimentaire mondiale " est fréquemment mis en avant dans l'actualité, essentiellement dans le domaine des biocarburants. Nous n'aborderons pas ce sujet ici, nous limitant aux biocombustibles solides. On soulignera toutefois que la culture de biomasse pour l'énergie, sous certaines conditions, peut constituer une voie de diversification pour les agriculteurs (Marchal et al., 2004a). Cependant, plusieurs facteurs sont de nature à limiter la disponibilité en biomasse pour une valorisation énergétique. Hoogwijk et al. (2003) en ont ainsi identifié six principaux :

- la demande future en nourriture, qui sera fonction de la croissance de la population mondiale,
- les systèmes de production de denrées alimentaires qui seront mis en place à travers le monde dans les 50 prochaines années,
- le rendement des cultures énergétiques et la disponibilité des ressources forestières,
- l'utilisation croissante des " bio-matériaux " (matières premières renouvelables),
- la surface exploitable de terres dégradées,
- la compétition au niveau de l'utilisation des sols.

L'examen de ces facteurs fait apparaître qu'il ne faut pas nécessairement considérer comme acquis le fait que la biomasse pour l'énergie deviendra disponible à une grande échelle. Il faudra sans doute également opérer des choix au sein même de la production d'énergie à partir de biomasse. En effet, dans certains cas, il pourrait être nécessaire de choisir entre produire de la chaleur ou des biocarburants à partir d'une même biomasse (Grahn et al., 2007).

Dans les années qui viennent, et dans un contexte pétrolier de plus en plus tendu, la biomasse sera amenée à prendre une place essentielle. Si elle est définie comme une source renouvelable d'énergie, elle n'est pas pour autant inépuisable. Il importe de la gérer correctement, en appliquant notamment des critères de gestion durable. Des procédures de certification existent actuellement pour assurer une gestion durable des massifs forestiers. Elles pourraient être adaptées dans le cadre de cultures énergétiques ou d'utilisation de sous-produits de l'industrie.

L'objectif de cet article est de mettre en évidence l'importance de définir clairement des critères et indicateurs de gestion durable dans le cadre de la production de biocombustibles solides. Après cette introduction, nous rappellerons les contextes européen et wallon en matière d'utilisation de sources renouvelables d'énergie et nous soulignerons les intérêts de la biomasse. Nous analyserons ensuite les principaux critères et indicateurs de production durable de biomasse (en nous limitant aux biocombustibles solides), tout en insistant sur la mise en place et le

respect de tels critères. Nous terminerons par quelques conclusions et recommandations.

2. L'EUROPE ET LES SOURCES RENEUVELABLES D'ÉNERGIE

Avant toute chose, il nous semble utile de rappeler quelques définitions. Au sens de la Directive européenne 2001/77/CE¹, les sources d'énergie renouvelables sont définies comme étant " les sources d'énergie non fossile renouvelables (énergie éolienne, solaire, géothermique, houlomotrice, marémotrice et hydroélectrique, biomasse, gaz de décharge, gaz de stations d'épuration d'eaux usées et biogaz) ". La biomasse est quant à elle définie comme " la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture (comprenant les substances végétales et animales), de la sylviculture et des industries connexes, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et municipaux ".

L'Europe s'est fixée des objectifs ambitieux en termes d'utilisation de sources renouvelables d'énergie. En effet, en janvier 2008, la Commission européenne a proposé une directive relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables². Il est utile de souligner que cette directive " définit un cadre commun pour la promotion de la production d'énergie à partir de sources renouvelables. Elle fixe des objectifs contraignants concernant la part de l'énergie produite à partir de sources renouvelables dans la consommation totale d'énergie et la part de l'énergie produite à partir de sources renouvelables dans la consommation d'énergie pour les transports. Elle établit des règles concernant les garanties d'origine, les procédures administratives et les raccordements au réseau électrique applicables à l'énergie produite à partir de sources renouvelables. Elle définit des critères de viabilité environnementale pour les biocarburants et autres bioliquides " (COM(2008) 19 final). Parmi les éléments qui ont conduit à cette proposition, on soulignera le souhait de l'Europe de réduire ses émissions de gaz à effet de serre et de limiter sa dépendance à l'égard des importations de pétrole et de gaz. L'objectif général de l'Union européenne est de porter à 20 % la part d'énergie

¹ Directive 2001/77/CE du Parlement européen et du Conseil du 27 septembre 2001, relative à la promotion de l'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelables sur le marché intérieur de l'électricité.

² COM(2008) 19 final. Les États membres mettent en vigueur les dispositions législatives, réglementaires et administratives nécessaires pour se conformer à cette directive au plus tard le 31 mars 2010.

renouvelable en 2020 (contre 8,5 % aujourd'hui) en répartissant l'effort entre les États membres sur base de divers critères que nous ne détaillerons pas ici. Les principales retombées attendues à l'horizon 2020 sont les suivantes :

- réduction des émissions de CO₂ à raison de 600 à 900 millions de tonnes par an, de façon à tenter de ralentir le changement climatique et en incitant les autres pays à imiter l'Europe,
- réduction de la consommation de combustibles fossiles – dont la plus grande partie est constituée d'importations – à raison de 200 à 300 millions de tonnes par an, et renforcement de la sécurité d'approvisionnement en énergie pour les Européens.

Le **tableau 1** détaille les objectifs globaux des États membres concernant la part d'énergie produite à partir de sources renouvelables dans la consommation d'énergie finale à l'horizon 2020.

Selon les dernières informations disponibles (European Communities, 2007), les “ renouvelables ”

intervenient en 2005 (EU-27) respectivement pour 14 % dans la production d'électricité (dont 66 % d'énergie hydro-électrique et 17 % à partir de biomasse), 10 % dans les besoins en chaleur (dont 98 % à partir de biomasse) et 2,7 % dans le secteur du transport. De manière globale, la part des renouvelables dans la consommation d'énergie finale était de 8,5 % en 2005 (104,2 millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep))... et l'objectif est de 20 % à l'horizon 2020. Pour atteindre ces objectifs, l'Europe s'est dotée de nombreux outils comme la mise en place de plusieurs Directives. Faber et al. (2006) ont analysé la législation européenne qui pouvait avoir une influence sur le développement de la biomasse. Parmi leurs conclusions, on note la nécessité que ces Directives soient adoptées par tous les États membres. Une uniformisation des systèmes de soutien à la production d'électricité “ verte ”, par exemple, semble tout à fait nécessaire pour éviter les problèmes de distorsion de concurrence d'un État membre à l'autre (une telle uniformisation serait utile au niveau mondial également).

Tableau 1. Objectifs globaux des États membres concernant la part d'énergie produite à partir de sources renouvelables dans la consommation d'énergie finale à l'horizon 2020 — *National overall targets for the share of energy from renewable sources in final consumption of energy in 2020 (COM(2008) 19 final).*

Pays	Part d'énergie produite à partir de sources renouvelables dans la consommation d'énergie finale en 2005 (%)	Objectif pour la part d'énergie produite à partir de sources renouvelables dans la consommation d'énergie finale en 2020 (%)
Allemagne	5,8	18
Autriche	23,3	34
Belgique	2,2	13
Bulgarie	9,4	16
Chypre	2,9	13
Danemark	17	30
Espagne	8,7	20
Estonie	18	25
Finlande	28,5	38
France	10,3	23
Grèce	6,9	18
Hongrie	4,3	13
Irlande	3,1	16
Italie	5,2	17
Lettonie	34,9	42
Lituanie	15	23
Luxembourg	0,9	11
Malte	0	10
Pays-Bas	2,4	14
Pologne	7,2	15
Portugal	20,5	31
République slovaque	6,7	14
République tchèque	6,1	13
Roumanie	17,8	24
Royaume-Uni	1,3	15
Slovénie	16	25
Suède	39,8	49

3. LES OBJECTIFS WALLONS

En Région wallonne, des objectifs de recours aux sources renouvelables d'énergie ont été définis dans le cadre du Plan wallon pour la Maîtrise Durable de l'Énergie (PMDE). Ce Plan a été adopté par le Gouvernement wallon le 12 décembre 2003. Il est indicatif et n'a donc pas de force réglementaire. Ce Plan a fait l'objet d'un premier examen début 2004. Une nouvelle évaluation ainsi qu'une mise à jour sont actuellement en cours. Dans sa forme initiale, le Plan est structuré en deux axes principaux : l'un a trait à la maîtrise des consommations énergétiques sectorielles, l'autre au développement de sources d'énergie moins polluantes (sources renouvelables et cogénération³). Complémentairement aux actions du domaine de l'utilisation rationnelle de l'énergie (URE), le PMDE a pour objectif de recourir aux sources renouvelables d'énergie et à la cogénération pour limiter les émissions de CO₂ et tenter de réduire la dépendance énergétique de la Région wallonne. À l'horizon 2010, 8 % de l'électricité et 9 % de la chaleur devraient provenir de sources renouvelables d'énergie. Par ailleurs, 15 % de l'électricité devraient être produits à partir de cogénération dite "de qualité"⁴. Ces objectifs sont donc très ambitieux et nécessiteront vraisemblablement d'importants efforts. D'après le "Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007" (Cellule État de l'Environnement wallon, 2007), le bilan intermédiaire dépend des secteurs : pour l'éolien, par exemple, les statistiques disponibles indiquent que l'objectif intermédiaire (2005) du PMDE n'a pas été atteint, même si ce domaine est en forte progression depuis quelques années. Pour la biomasse, par contre, il semble que la situation soit plus favorable : les paliers intermédiaires sont dépassés et la tendance actuelle devrait permettre d'atteindre les objectifs 2010, sauf peut-être pour la production de chaleur à partir de biogaz. Il est important de souligner que la biomasse représente une part non négligeable des sources renouvelables d'énergie utilisées pour produire de la chaleur et de l'électricité : 45 % (valorisation des sous-produits forestiers : 27 % ; biogaz : 18 %) pour la production d'électricité en 2004 et plus de 95 % pour la production de chaleur. Le bois, à lui seul, représente plus de la moitié de la biomasse utilisée pour produire de l'électricité et pratiquement la totalité de biomasse pour produire de la chaleur. À l'évidence – et surtout dans le cas d'un petit territoire densément peuplé comme la

³ La cogénération est la production simultanée d'électricité et de chaleur.

⁴ En Wallonie, l'électricité est dite « verte » lorsqu'elle est produite à partir de sources renouvelables d'énergie ou de cogénération (quel que soit le combustible utilisé).

Wallonie ou la Belgique – on voit toute l'importance de gérer correctement, c'est-à-dire de manière durable ou "soutenable", les diverses sources de biomasse.

4. L'INTÉRÊT DE LA BIOMASSE

4.1. Introduction

La biomasse est une matière première aux multiples potentialités. On pensera notamment à la production de chaleur, d'électricité, de carburant ou encore de bio-produits. Le bilan carbone de la biomasse-énergie peut s'avérer être neutre, pour autant que l'on minimise la part d'énergie fossile (dite grise) nécessaire à sa transformation en un combustible utilisable. La biomasse est dès lors amenée à jouer un rôle important dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

D'après le Plan d'action "biomasse"⁵ de la Commission européenne, la biomasse satisfait actuellement environ 4 % des besoins en énergie de l'Union européenne, soit 69 Mtep. L'objectif pour 2010 est un accroissement de l'utilisation de la biomasse à hauteur d'environ 150 Mtep. La Commission a identifié trois secteurs dans lesquels le recours à la biomasse devrait être privilégié :

- la production de chaleur,
- la production d'électricité,
- les transports.

Une des sources principales de biomasse provient des massifs forestiers. Actuellement, une part non négligeable de l'accroissement est encore inexploitée dans les forêts de l'Union européenne. Cela signifie que l'on prélève moins de bois que ce que la forêt produit annuellement et que la tendance est donc à une capitalisation du volume forestier sur pied. À ce titre, la volonté de l'Europe est de promouvoir l'utilisation de la biomasse forestière pour produire de l'énergie (action clé 4 du Plan d'action "forêt"⁶), tout en respectant bien entendu les autres fonctions de la forêt. La notion de gestion durable des forêts prend tout son sens à ce niveau.

4.2. Potentiel des ressources en biomasse

D'après la dernière édition du "Baromètre Biomasse solide" (Anonyme, 2007b), réalisé dans le cadre du

⁵ Communication de la Commission du 7 décembre 2005 « Plan d'action dans le domaine de la biomasse » (COM(2005)628 final – Journal officiel C 49 du 28.02.2006).

⁶ Communication de la Commission du 15 juin 2006 concernant un Plan d'action de l'Union européenne en faveur des forêts (COM(2006) 302 final).

projet européen EurObserv'ER⁷, la production d'énergie primaire à partir de biomasse solide (bois, sous-produits de l'industrie du bois, autres matières végétales et animales solides) a atteint 62,4 Mtep en 2006 dans l'Union européenne, ce qui représente une progression de plus de 3 Mtep par rapport à l'année 2005. Il semble que les conditions soient actuellement très favorables au développement de la production d'énergie à partir de biomasse solide. L'augmentation du prix des produits pétroliers est un facteur que les investisseurs ne peuvent plus ignorer. Le facteur limitant pourrait par contre provenir d'un risque de dépassement des capacités d'approvisionnement en biomasse solide. À ce titre, la biomasse forestière sera vraisemblablement très sollicitée. Bien qu'un consensus sur les chiffres fasse actuellement défaut, une récente étude (Asikainen et al., 2008) indique que les forêts pourraient intervenir à hauteur de 36 Mtep dans la production d'énergie à partir de biomasse. Dans le cadre du projet européen Eubionet 2⁸, le potentiel annuel techno-économique a été évalué à 143 Mtep, dont la moitié serait déjà exploitée (Alakangas et al., 2007b). L'Agence Internationale de l'Énergie (Anonyme, 2007a), quant à elle, estime que l'on pourrait exploiter de 4.800 à 9.600 Mtep de biomasse par an d'ici la fin de ce siècle. Selon l'efficacité des processus de transformation, cela correspondrait de 3.100 à 6.200 Mtep de biocarburants ou 28.000 à 56.000 TWh⁹ d'électricité. D'autres études ont également été consacrées à ce sujet. Berndes et al. (2003), par exemple, ont analysé 17 publications traitant de la contribution de la biomasse au futur approvisionnement énergétique global. La contribution potentielle de la biomasse varie de moins de 2.400 Mtep à plus de 9.500 Mtep. Ces différences s'expliquent notamment par le fait que certains critères déterminants (la disponibilité du sol ou le rendement des cultures énergétiques, par exemple) peuvent être interprétés de façons très diverses. Hoogwijk et al. (2005) ont quant à eux évalué le potentiel de biomasse-énergie à l'horizon 2100 en se basant sur plusieurs scénarios d'occupation des sols développés par le GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat). Selon ces hypothèses, le potentiel géographique global varie

de 5.800 Mtep à 20.000 Mtep par an à l'horizon 2100. Au niveau de l'agriculture en Europe (EU-25), on estime que le potentiel "environnementalement compatible" pourrait atteindre 100 à 140 Mtep à l'horizon 2030 (European Environment Agency, 2007). Bien qu'il ne soit pas encore chiffré avec précision, un potentiel important de biomasse – forestière ou agricole – existe donc manifestement en Europe et dans le monde.

4.3. Développement des échanges

Dans un autre registre, on assiste actuellement au développement de marchés internationaux des biocombustibles (Junginger et al., 2008), aspect qui a notamment été traité dans le cadre du projet européen Eubionet 2 (Alakangas et al., 2007a). Les transports sur de longues distances sont de plus en plus étudiés, ainsi que leur impact sur l'environnement et leur balance énergétique (Hamelinck et al., 2005). Les granulés de bois (appelés aussi "pellets"), par exemple, sont l'objet de transports intercontinentaux pour alimenter des unités de production d'énergie. C'est le cas de quelques centrales qui utilisent des pellets pour produire de l'électricité. Lorsque l'on analyse le bilan global des émissions de CO₂ fossile dans les filières de production et de transport des pellets, on constate que les résultats sont tout à fait satisfaisants (Damen et al., 2003). Ainsi, l'utilisation de granulés de bois (importés pour l'instant, dans leur quasi-totalité) pour produire de l'électricité en Belgique apparaît-elle comme une solution intéressante d'un point de vue environnemental (Marchal et al., 2004b). En Wallonie, par exemple, un certificat vert (CV) est accordé chaque fois que l'on "économise" 456 kg de CO₂ fossile (correspondant à la quantité de CO₂ émise pour produire 1 MWh d'électricité par la filière de référence, soit une turbine gaz vapeur ayant un rendement électrique de 55 %). En tenant compte des coefficients d'émission de CO₂ édités par la CWaPE¹⁰, les calculs montrent que la production de 1 MWh d'électricité (rendement électrique de 34 %) à partir de pellets venant du Canada donne droit à 0,65 CV (Ryckmans et al., 2006).

5. ANALYSE DES PRINCIPAUX CRITÈRES ET INDICATEURS POUR UNE PRODUCTION DURABLE DE BIOMASSE

Depuis les années 1990, les États se préoccupent du concept de développement durable des forêts. Dans ce contexte, des critères et indicateurs de gestion durable ont été définis pour les forêts. Au niveau mondial, deux

⁷ Le Baromètre « Biomasse solide » est réalisé par Observ'ER dans le cadre du projet EurObserv'ER (programme «*Intelligent Energy Europe*»), regroupant les institutions suivantes : Observ'ER, Eurec Agency, Erec, Jozef Stefan Institute et Eufores.

⁸ «*Efficient trading of biomass fuels and analysis of fuel supply chains and business models for market actors by networking*», programme «*Intelligent Energy Europe*» (EIE/04/065/S07.38628). De nombreuses informations issues de ce projet sont disponibles sur le site <http://www.eubionet.net>.

⁹ TWh : tera watt heure, soit 10⁹ kWh.

¹⁰ Commission wallonne pour l'Énergie (<http://www.cwape.be>).

systèmes essentiellement sont en vigueur : le FSC (*Forest Stewardship Council*) et le PEFC (*Programme for the Endorsement of Forest Certification schemes*). Actuellement (situation en août 2008), près de la moitié de la surface forestière wallonne est certifiée PEFC. Ces critères et indicateurs sont, comme le soulignent notamment Koestel et al. (1999), le résultat de consensus internationaux obtenus à l'issue de réunions, menés par différents groupes de travail¹¹. Plusieurs critères et indicateurs ont ainsi été définis pour les forêts tempérées et boréales (processus d'Helsinki et de Montréal). Ces critères et indicateurs doivent être suivis au cours du temps afin de mettre en évidence les tendances qu'ils reflètent. À titre d'illustration, on mentionnera les critères de gestion durable selon le processus d'Helsinki (Koestel et al., 1999) dans le **tableau 2**.

Plusieurs indicateurs permettent d'évaluer ces critères : état et évolution des surfaces boisées, évolution du volume total de bois sur pied, proportion de la surface forestière gérée prioritairement pour la conservation des eaux, etc. Ces indicateurs de gestion durable ont été intégrés dans l'inventaire permanent des ressources forestières en Wallonie (Lecomte et al., 1999). Au fil du temps, cet inventaire est devenu un véritable observatoire d'une gestion correspondant aux principaux critères de certification forestière (Rondeux et al., 2005). Ces éléments sont notamment publiés dans les éditions successives de l'État de l'Environnement wallon.

Au-delà de la ressource forestière, le Bureau fédéral du Plan a également mis en place un tableau d'indicateurs de développement durable (Bureau fédéral du Plan, 2005a ; 2005b). Ces indicateurs sont groupés en 4 ensembles : forces motrices, pressions sur les capitaux, état des capitaux, réponses politiques. Parmi les 44 indicateurs identifiés, 6 sont plus particulièrement liés à l'énergie et à l'environnement :

- consommation et production d'énergies renouvelables. Les sources renouvelables prises en compte sont les énergies hydroélectrique, éolienne, solaire, géothermique, marémotrice et houlomotrice, la biomasse (au sens de la définition de la Directive européenne 2001/77/CE), les gaz de décharge, les gaz de stations d'épuration d'eaux usées et les biogaz. Dans l'indicateur "part de la consommation

d'énergie renouvelable dans la consommation d'énergie primaire", la consommation d'énergie primaire (mesurée en tep) est définie comme l'énergie importée ou produite en Belgique avant toute transformation. Dans l'indicateur "part des sources d'énergies renouvelables dans la production d'électricité", la production d'électricité correspond à la production nationale d'électricité, y compris l'autoproduction,

- consommation d'énergie par habitant (il s'agit du rapport entre la consommation d'énergie primaire en Belgique et le nombre d'habitants, exprimé en tep par habitant),
- intensité énergétique de l'économie (quantité d'énergie nécessaire à la production d'un euro ou d'une unité de produit intérieur brut (PIB), mesurée par le rapport entre la consommation d'énergie primaire exprimée en tep et le PIB exprimé à prix constant. Elle s'exprime en tep par euro,
- émissions de gaz à effet de serre. Les gaz à effet de serre (GES) pris en compte sont ceux couverts par le Protocole de Kyoto : dioxyde de carbone (CO₂), oxyde nitreux (N₂O), méthane (CH₄) et trois familles de gaz fluorés. Les émissions de GES sont mesurées en million de tonnes de CO₂ équivalent,
- espèces menacées (pourcentage d'espèces menacées, qualifiant l'état de la diversité biologique),
- dépenses publiques liées à l'environnement (toutes les dépenses réalisées par les pouvoirs publics destinées spécifiquement à des activités dont le but est de prévenir, réduire ou éliminer la pollution ou les nuisances causées par les activités de production ou de consommation de biens et services).

Dans son dernier rapport sur le développement durable, le Bureau fédéral du Plan (2007a ; 2007b) propose de développer des actions sur l'énergie. Parmi celles-ci, on mentionnera :

- améliorer les performances énergétiques des logements existant en augmentant les normes d'isolation, en investissant dans la rénovation et les nouvelles constructions et en améliorant la formation des professionnels de la construction concernant les nouvelles technologies plus économes en énergie et respectueuses de l'environnement,
- améliorer la coordination de la politique énergétique en élaborant un plan national sur l'énergie qui soutienne le développement des énergies renouvelables (éolienne, solaire, etc.) et les possibilités de production d'énergie décentralisée,
- encourager les analyses comparatives des potentiels de production agricole selon différentes options technologiques actuelles et futures afin de tenir compte des différences de rendement des surfaces cultivées et des différences d'impacts environnementaux correspondant à ces options.

¹¹ Toutes les références à des critères, indicateurs et pratiques de gestion durable des forêts sont issues des Conférences Ministérielles sur la Protection des Forêts en Europe, principalement celle de Lisbonne (1998). Des indicateurs améliorés ont été adoptés à Vienne (2003). Il est intéressant de souligner que l'un d'entre eux (indicateur 6.9) concerne la part de l'énergie bois dans la consommation totale d'énergie.

Tableau 2. Critères de gestion forestière durable (Koestel et al., 1999) et indicateurs quantitatifs améliorés — *Sustainable forest management criteria (Koestel et al., 1999) and improved quantitative indicators.*

Critère	Définition	Nombre d'indicateurs quantitatifs améliorés*
1	Conservation et amélioration appropriées des ressources forestières et de leur contribution aux cycles mondiaux du carbone	4
2	Maintien de la santé et de la vitalité des écosystèmes forestiers	4
3	Maintien et encouragement des fonctions de production des forêts (bois et hors-bois)	5
4	Maintien, conservation et amélioration appropriée de la diversité biologique dans les écosystèmes forestiers	9
5	Maintien et amélioration appropriée des fonctions de protection dans la gestion des forêts (notamment sol et eau)	2
6	Maintien d'autres bénéfiques et conditions socio-économiques	11

*Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe (<http://www.mcpfe.org>).

Ces indicateurs de développement durable fournissent une information sur des grandes tendances sociales, environnementales, économiques et institutionnelles qui caractérisent le développement de la Belgique depuis une trentaine d'années (Bureau fédéral du Plan, 2005b).

Dans le domaine de la production de biomasse, les critères de durabilité sont surtout discutés pour les biocarburants et beaucoup moins pour les biocombustibles solides (à l'exception des Pays-Bas). Parmi les études consacrées à la définition de "critères", on citera notamment Smeets et al. (2005), Hamelinck et al. (2006), Lewandowski et al. (2006), Cramer (2007), Vis et al. (2008). On signalera également que l'analyse de ces critères peut servir de base à la mise en place de systèmes de certification pour l'importation de biocombustibles (Van Dam et al., 2008). C'est le cas par exemple pour les granulés de bois servant à alimenter les centrales électriques de Rodenhuize et des Awirs en Belgique (Ryckmans et al., 2006 ; 2007).

Depuis plusieurs années, un groupe de travail "*Sustainable production of biomass*" initié aux Pays-Bas se préoccupe de la définition de critères et indicateurs pour une production durable de biomasse (Hamelinck et al., 2006 ; Cramer, 2007). Ces critères ont été formulés pour une application en 2007 et en 2011. L'année 2011 a été choisie parce que des directives européennes telles que celles relatives à l'électricité renouvelable et aux biocarburants ont une durée d'application allant jusque et incluant 2010.

Six thèmes ont été définis et priorisés :

- balance des gaz à effet de serre positive et puits de carbone,
- compétition avec la filière alimentaire, la fourniture locale en énergie, les médicaments et la construction,

- biodiversité,
- environnement (qualité de l'air, de l'eau et des sols),
- prospérité économique,
- bien-être social (à ce titre, il convient de souligner que la reconnaissance des populations indigènes est primordiale).

Neuf principes ont également été établis :

- la balance des gaz à effet de serre de la filière de production et d'utilisation de la biomasse doit être positive : calculée sur l'ensemble de la filière, l'utilisation de biomasse doit générer moins de gaz à effet de serre qu'une filière classique basée sur les énergies fossiles,
- la production de biomasse (nouvelles superficies affectées à la culture de biomasse pour l'énergie) ne peut se faire aux dépens d'importants puits de carbone dans la végétation et le sol,
- la production de biomasse pour l'énergie ne peut menacer ni l'approvisionnement en nourriture, ni les utilisations locales de la biomasse (approvisionnement énergétique, médicaments, matériaux de construction),
- la production de biomasse ne peut affecter les zones de biodiversité protégées ou vulnérables et doit renforcer la biodiversité, là où c'est encore possible,
- lors de la production et de la conversion de la biomasse, le sol et la qualité du sol doivent être maintenus ou même améliorés,
- lors de la production et de la conversion de la biomasse, les réserves en eau souterraine et de surface ne peuvent être réduites et la qualité de l'eau doit être maintenue ou améliorée,
- lors de la production et de la conversion de la biomasse, la qualité de l'air doit être maintenue ou améliorée,

- la production de biomasse doit contribuer à la prospérité économique locale,
- la production de biomasse doit contribuer au bien-être social des travailleurs et des populations indigènes : cette activité doit au moins être menée dans le respect des principes internationaux (Organisation internationale du Travail, Déclaration universelle des Droits de l’Homme, par exemple).

Pour chacun de ces principes, des critères ont été élaborés, eux-mêmes évalués par des indicateurs. Le **tableau 3** présente les critères retenus pour chacun des six thèmes et des neuf principes.

En examinant les indicateurs, il apparaît que des protocoles de mesure doivent encore être élaborés pour plusieurs d’entre eux. Par ailleurs, les références indiquées dans ce tableau sont relatives aux Pays-Bas. Le marché de la bioénergie ayant un caractère de plus en plus international (par exemple Berndes et al., 2003 ; Schlamadinger et al., 2005 ; Hillring, 2006 ; Junginger et al., 2006 ; Kaltschmitt et al., 2006 ; Heinimö et al., 2007 ; Junginger et al., 2008), de tels critères de gestion durable de la biomasse se doivent d’être considérés au niveau européen ou mondial. De même, au travers de leur analyse des systèmes de certification existant, des séries de critères de durabilité et des directives en matière de gestion des ressources (aspects sociaux et environnementaux, notamment), Lewandowski et al. (2006) ont déduit une liste de plus de 100 critères (niveaux général, social, économique, écologique) qui pourraient être appliqués dans le cadre d’un commerce durable de la biomasse. Ils ont également étudié les outils existants pour vérifier la validité des indicateurs de performance. Les conclusions qui résultent de cette étude peuvent se résumer de la manière suivante :

- des systèmes de certification n’existent pas pour tous les domaines concernés par le marché de la biomasse. Par exemple, il n’y a pas de système de certification pour les aspects liés au transport de la biomasse,
- certains indicateurs ne sont pas formulés de manière suffisamment précise. Certains critères s’expriment sous la forme “ l’activité devrait contribuer à... ” ou “ il ne devrait pas y avoir d’effet négatif sur... ”. Une telle formulation n’est pas suffisante et des indicateurs quantitatifs forts doivent être proposés,
- l’implication des parties prenantes est absolument requise, notamment parce que la définition de la “ durabilité ” doit tenir compte du contexte local et de sa perception par la population indigène.

En termes de recommandations, on soulignera les aspects suivants :

- mettre en place un panel international représentant les parties prenantes, parmi lesquelles on retrouve les producteurs de biomasse (propriétaires forestiers, agriculteurs, par exemple), les utilisateurs de

biomasse (les compagnies d’électricité, par exemple) ou encore des organisations non gouvernementales telles que le WWF ou Greenpeace,

- utiliser les systèmes de certification disponibles avec discernement,
- analyser des études de cas,
- des indicateurs doivent encore être développés pour plusieurs aspects d’un marché durable de la biomasse (sécurité de l’approvisionnement en nourriture et en énergie, bénéfice local du marché de la biomasse, etc.),
- développer des indicateurs forts et précis.

À titre d’exemple, on signalera que Electrabel et SGS Belgique ont déjà développé un système de suivi et de certification des granulés de bois utilisés pour produire de l’électricité dans ses centrales (Ryckmans et al., 2006 ; 2007). De manière synthétique, la procédure se déroule comme suit :

- les autorités belges imposent à chaque fournisseur de se soumettre à un audit dans les 6 mois qui suivent la première utilisation de biomasse pour produire de l’électricité,
- l’audit doit examiner le caractère “ soutenable ” des différentes sources de biomasse, ainsi que la balance énergétique de l’ensemble de la filière (ceci inclut notamment l’énergie nécessaire pour fabriquer les pellets et pour les transporter jusqu’à la centrale électrique),
- pour chaque producteur, SGS contrôle toutes les ressources en bois (feuillus, résineux, sciures, etc.) et le transport entre les sources locales et l’usine de fabrication des pellets. Si la biomasse n’est pas un produit secondaire (produits connexes de l’industrie du bois tels que la sciure, par exemple), alors l’énergie nécessaire à la production de la biomasse est prise en compte (plantation, fertilisation, exploitation, etc.) et sera comptabilisée pour le calcul du nombre de certificats verts,
- SGS évalue la quantité d’énergie nécessaire pour fabriquer les pellets (électricité pour les presses et les auxiliaires, combustible fossile ou biomasse pour le séchage),
- SGS examine enfin les moyens de transport de l’usine de fabrication de pellets vers un port de mer.

Tous les éléments de cette procédure sont synthétisés dans un document intitulé “*Supplier Declaration Form*”. Celui-ci est signé par un représentant du fournisseur de pellets ainsi que par SGS, avant d’être transmis aux autorités belges.

Les Nations Unies ont récemment publié un document intitulé “ Bioénergie soutenable : un cadre pour les décideurs ” (UN-Energy, 2007). C’est un élément de plus soulignant le fait que l’on accorde de plus

Tableau 3. Principes et critères pour une production durable de biomasse — *Principles and criteria for sustainable biomass production* (Cramer, 2007).

Principe	Critère
Thème 1 : Émissions de gaz à effet de serre	
Principe 1 La balance des gaz à effet de serre de la filière de production et d'utilisation de la biomasse doit être positive	Critère 1.1 L'utilisation de la biomasse doit permettre une réduction des émissions de gaz à effet de serre tout au long de la filière. La réduction est calculée par rapport à une situation de référence utilisant une énergie fossile
Principe 2 La production de biomasse ne peut se faire aux dépens d'importants puits de carbone dans la végétation et le sol	Critère 2.1 Conservation des puits de carbone au-dessus du sol (végétation) là où les unités de production de biomasse sont installées Critère 2.2 Conservation des puits de carbone dans le sol là où les unités de production de biomasse sont installées
Thème 2 : Compétition avec l'alimentation et les applications locales de la biomasse	
Principe 3 La production de biomasse pour l'énergie ne peut menacer ni l'approvisionnement en nourriture, ni les utilisations locales de la biomasse.	Critère 3.1 Aperçu des changements d'utilisation du sol dans la région d'implantation de l'unité de production de biomasse Critère 3.2 Aperçu de l'évolution des prix de la nourriture et des terrains dans la région d'implantation de l'unité de production de biomasse
Thème 3 : Biodiversité	
Principe 4 La production de biomasse ne peut affecter les zones de biodiversité protégées ou vulnérables et doit renforcer la biodiversité, là où c'est possible	Critère 4.1 Aucune violation des lois et règlements nationaux applicables à la production de biomasse et à la région de production Critère 4.2 Dans les applications récentes et nouvelles, pas de détérioration de la biodiversité par la production de biomasse dans les zones protégées Critère 4.3 Dans les applications récentes et nouvelles, pas de détérioration de la biodiversité dans d'autres zones vulnérables, de haute qualité biologique ou de haute valeur agricole, naturelle et/ou culturelle Critère 4.4 Dans les applications récentes et nouvelles, maintien ou rétablissement de la biodiversité au sein des unités de production de biomasse Critère 4.5 Renforcement de la biodiversité là où c'est possible, tout au long du développement et de la gestion des unités de production existantes
Thème 4 : Environnement	
Principe 5 Lors de la production et de la conversion de la biomasse, le sol et la qualité du sol doivent être maintenus ou même améliorés	Critère 5.1 Aucune violation des lois et règlements nationaux applicables à la gestion du sol Critère 5.2 Lors de la production et de la conversion de la biomasse, les bonnes pratiques doivent être appliquées afin de maintenir ou d'améliorer le sol et la qualité du sol Critère 5.3 L'utilisation des résidus de culture ne doit pas se faire en contradiction avec d'autres rôles locaux pour la conservation du sol
Principe 6 Lors de la production et de la conversion de la biomasse, les réserves d'eau souterraine et de surface ne peuvent être réduites et la qualité de l'eau doit être maintenue ou améliorée	Critère 6.1 Aucune violation des lois et règlements nationaux applicables à la gestion de l'eau Critère 6.2 Lors de la production et de la conversion de la biomasse, les bonnes pratiques doivent être appliquées afin de restreindre l'utilisation de l'eau et maintenir ou améliorer la qualité des eaux souterraines et de surface

Tableau 3. Principes et critères pour une production durable de biomasse — *Principles and criteria for sustainable biomass production* (Cramer, 2007). (suite)

Principe	Critère
	Critère 6.3 Lors de la production et de la conversion de la biomasse, aucune eau d'origine non renouvelable ne peut être utilisée.
Principe 7 Lors de la production et de la conversion de la biomasse, la qualité de l'air doit être maintenue ou améliorée	Critère 7.1 Aucune violation des lois et règlements nationaux applicables à la gestion de la qualité de l'air Critère 7.2 Lors de la production et de la conversion de la biomasse, les bonnes pratiques doivent être appliquées afin de réduire les émissions et la pollution de l'air. Critère 7.3 Aucune combustion lors de l'installation ou de la gestion des unités de production de biomasse
Thème 5 : Prospérité économique	
Principe 8 La production de biomasse doit contribuer à la prospérité économique locale	Critère 8.1 Contribution positive des activités des sociétés privées à l'économie et aux activités locales
Thème 6 : Bien-être social	
Principe 9 La production de biomasse doit contribuer au bien-être social des travailleurs et des populations indigènes	Critère 9.1 Pas d'effets négatifs sur les conditions de travail de la main-d'œuvre Critère 9.2 Pas d'effets négatifs sur les droits de l'homme Critère 9.3 L'utilisation de la terre ne peut mener à des violations de la propriété, des droits d'utilisation et des lois coutumières sans l'aval préalable et volontaire des populations indigènes correctement informées Critère 9.4 Contribution positive au bien-être des populations indigènes Critère 9.5 Aperçu des violations possibles de l'intégrité d'une société

Les indicateurs et procédures présentés ici sont applicables à la législation en vigueur aux Pays-Bas. La prise en compte d'un ou plusieurs critères associé(s) aux indicateurs proposés ici nécessitera une adaptation au contexte belge (ou européen, selon le cas).

en plus d'importance, voire de crédit, à la bioénergie. Ainsi, 9 éléments clés pour le développement durable sont proposés pour servir de cadre aux décideurs. On y aborde principalement la capacité de la bioénergie moderne de fournir de l'énergie aux plus pauvres, les implications dans plusieurs domaines (le développement agro-industriel et la création d'emplois, la santé, la structure de l'agriculture, la sécurité alimentaire, le budget des états, le commerce, la balance commerciale et la sécurité énergétique, la biodiversité et la gestion des ressources naturelles, les changements climatiques).

6. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Comme on a pu le voir, la biomasse va être amenée dans les années qui viennent à jouer un rôle très important dans le domaine des sources renouvelables d'énergie.

L'Europe a en effet fixé des objectifs ambitieux en matière d'utilisation des sources renouvelables d'énergie : 20 % d'énergie à partir de sources renouvelables dans la consommation d'énergie finale en 2020. C'est au niveau de la production de chaleur et de biocarburants que la biomasse sera vraisemblablement la plus sollicitée. Parallèlement, la biomasse interviendra de plus en plus dans la fabrication de divers produits. Enfin, les populations indigènes et l'environnement ne doivent pas être négligés dans ce recours accru aux sources de biomasse. Il n'est nullement question de développer la production d'énergie au détriment de la sécurité alimentaire. Le but est au contraire d'essayer de développer harmonieusement les diverses utilisations de la biomasse. On voit donc l'intérêt et l'importance de mettre en place des systèmes de certification relatifs à la production "durable" des biocombustibles. Actuellement, les critères de durabilité sont surtout

discutés pour les biocarburants. Ils le sont beaucoup moins par contre pour les biocombustibles solides, à l'exception des Pays-Bas. Ils n'en sont pas pour autant moins importants !

Cette discipline, finalement assez jeune, est en plein développement et ne doit pas être considérée comme une fin en soi. Il s'agit plutôt d'un moyen à utiliser pour assurer un développement harmonieux de la production de biomasse. Comme le soulignent Van Dam et al. (2008), on manque encore de pratique pour rendre certains critères véritablement opérationnels. Il faut également, dans certains cas, adapter des critères et des indicateurs aux spécificités de l'une ou l'autre région. Il y a aussi une nécessité de sécuriser le caractère durable ("sustainability") de la biomasse dans un contexte de développement rapide des marchés.

Il importe donc de poursuivre le développement et l'adaptation des systèmes de certification, en tenant compte des expériences acquises, pour améliorer leur fiabilité. Diverses actions vont dans ce sens aux niveaux belge et européen.

D'une manière plus spécifique, les principales étapes à mettre en œuvre dans les années qui viennent pourraient être les suivantes :

- poursuivre le développement des systèmes de certification relatifs aux biocombustibles solides en Belgique et en Europe. L'idéal serait de pouvoir mettre en place un système harmonisé au niveau mondial, tout en tenant compte des spécificités de certaines régions (risques d'érosion dans les sols de pente, par exemple),
- mieux définir des indicateurs quantitatifs et la manière de les mesurer (protocole de mesure à élaborer),
- tester et valider les systèmes,
- intégrer ces systèmes de certification dans la législation belge (et européenne).

Enfin, on ne perdra pas de vue que l'utilisation de biomasse "durable" est essentielle pour des pays comme la Belgique (densité de population élevée, peu de ressources naturelles disponibles sur le territoire en regard des besoins de la population). D'où la nécessité de définir de façon précise des critères et indicateurs de production durable des biocombustibles solides.

Bibliographie

- Alakangas E., Heikkinen A., Lensu T. & Vesterinen P., 2007a. *Biomass fuel trade in Europe. Summary Report VTT-R-03508-07, EUBIONET II project.* Jyväskylä, Finland: VTT Technical Research Centre of Finland.
- Alakangas E. & Virkkunen M., 2007b. *Biomass fuel supply chains for solid biofuels.* Jyväskylä, Finland: VTT Technical Research Centre of Finland.

- Anonyme, 2007a. *Potential contribution of bioenergy to the world's future energy demand.* IEA Bioenergy Executive Committee.
- Anonyme, 2007b. Le baromètre biomasse solide, 62,4 Mtep produites en 2006. *Syst. Solaires J. Énerg. Renouvelables*, **182**, 57-76.
- Asikainen A. et al., 2008. *Forest energy potential in Europe (EU 27). Working papers of the Finnish Forest Institute 69.* Helsinki: Finnish Forest Research Institute.
- Berndes G., Hoogwijk M. & van den Broeck R., 2003. The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. *Biomass Bioenergy*, **25**(1), 1-28.
- Bureau fédéral du Plan, 2005a. *Comprendre et gouverner le développement. Rapport fédéral sur le développement durable 2000-2004.* Bruxelles : Bureau fédéral du Plan.
- Bureau fédéral du Plan, 2005b. *Tableau d'indicateurs de développement durable. Supplément au 3^e Rapport fédéral sur le développement durable.* Bruxelles : Bureau fédéral du Plan.
- Bureau fédéral du Plan, 2007a. *Accélérer la transition vers un développement durable. Rapport fédéral sur le développement durable 2007.* Bruxelles : Bureau fédéral du Plan.
- Bureau fédéral du Plan, 2007b. *Accélérer la transition vers un développement durable. Synthèse et recommandations.* Bruxelles : Bureau fédéral du Plan.
- Cellule État de l'Environnement wallon, 2007. *Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007.* Namur, Belgique : Ministère de la Région wallonne, Direction générale des Ressources naturelles et de l'Environnement.
- Cramer J., coord., 2007. *Testing framework for sustainable biomass. Final report, Project group "Sustainable production of biomass".*
- Damen K. & Faaij A., 2003. *A life cycle inventory of existing biomass import chains for "green" electricity production.* Utrecht, The Netherlands: Copernicus Institute, Utrecht University.
- European Communities, 2007. *Renewables make the difference.* Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- European Environment Agency, 2007. *Estimating the environmentally compatible bioenergy potential from agriculture.* Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Faber J., Bergsma G. & Vroonhof J., 2006. *Bio-energy in Europe 2005, policy trends and issues.* Delft, The Netherlands: SenterNovem.
- Grahn M. et al., 2007. Biomass for heat or as transportation fuel? A comparison between two model-based studies. *Biomass Bioenergy*, **31**(11-12), 747-758.
- Hamelinck C., Suurs R. & Faaij A., 2005. International bioenergy transport costs and energy balance. *Biomass Bioenergy*, **29**(2), 114-134.

- Hamelinck C. et al., 2006. *Criteria for sustainable biomass production. Project group «Sustainable production of biomass, Energy Transition Task Force».*
- Heinimö J., Pakarinen V., Ojanen V. & Kässi T., 2007. *International bioenergy trade: scenario study on international biomass market in 2020. Research Report 181.* Lappeenranta, Finland: Lappeenranta University of Technology, Department of Industrial Engineering and Management.
- Hillring B., 2006. World trade in forest products and wood fuel. *Biomass Bioenergy*, **30**(10), 815-825.
- Hoogwijk M. et al., 2003. Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy. *Biomass Bioenergy*, **25**(2), 119-133.
- Hoogwijk M. et al., 2005. Potential of biomass energy out to 2100, for four IPCC SRES land-use scenarios. *Biomass Bioenergy*, **29**(4), 225-257.
- Junginger M. & Faaij A., 2006. *Sustainable international bioenergy trade: securing supply and demand (IEA Bioenergy, Task 40).* Utrecht, The Netherlands: Copernicus Institute, Utrecht University.
- Junginger M. et al., 2008. Developments in international bioenergy trade. *Biomass Bioenergy*, **32**(8), 717-729.
- Kaltschmitt M. & Weber M., 2006. Markets for solid biofuels within the EU-15. *Biomass Bioenergy*, **30**(11), 897-907.
- Koestel G., Lecomte H. & Rondeux J., 1999. La gestion forestière durable en Région wallonne : l'apport de l'inventaire permanent. Partie 1 : concepts généraux et étude de faisabilité. *Silva Belg.*, **106**(1), 9-15.
- Lecomte H., Koestel G. & Rondeux J., 1999. La gestion forestière durable en Région wallonne : l'apport de l'inventaire permanent. Partie 2 : intégration des indicateurs à l'inventaire. *Silva Belg.*, **106**(2), 7-14.
- Lewandowski I. & Faaij A.P.C., 2006. Steps towards the development of a certification system for sustainable bio-energy trade. *Biomass Bioenergy*, **30**(2), 83-104.
- Marchal D. & Schenkel Y., 2004a. *FARR-Wal: agriculture and renewable resources chains in Wallonia. Biomass and Agriculture: sustainability, markets and policies.* Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Marchal D., Ryckmans Y. & Jossart J.-M., 2004b. Fossil CO₂ emissions and strategies to develop pellet's chain in Belgium. In: *Proceedings of European pellets conference 2004, March 3-4, 2004, Wels, Austria*, 346.
- Rondeux J. & Lecomte H., 2005. L'inventaire permanent des ressources forestières : observatoire et base d'un tableau de bord de la forêt wallonne. *Cah. For. Gembloux*, **32**.
- Ryckmans Y., Marchal D. & André N., 2006. Energy balance and greenhouse gas emissions of the whole supply chain for the import of wood pellets to power plants in Belgium. In: *Proceedings of the 2nd World conference on pellets, May 30-June 1, 2006, Jönköping, Sweden*, 127-130.
- Ryckmans Y. & André N., 2007. Novel certification procedure for the sustainable import of wood pellets to power plants in Belgium. In: *Proceedings of the 15th European biomass conference and exhibition [From Research to Market Deployment: Biomass for Energy, Industry and Climate Protection], May 7-11, 2007, Berlin, Germany*, 2243-2246.
- Schlamadinger B. et al., 2005. *Options for trading bioenergy products and services. IEA Bioenergy Annual Report 2005*, 4-19.
- Smeets E., Faaij A. & Lewandowski I., 2005. *The impact of sustainability criteria on the costs and potentials of bioenergy production. Report.* Utrecht, The Netherlands: Copernicus Institute, Utrecht University.
- UN-Energy, 2007. *Sustainable bioenergy: a framework for decision makers.* United Nations, UN-Energy.
- Van Dam J. et al., 2008. Overview of recent developments in sustainable biomass certification. *Biomass Bioenergy*, **32**(8), 749-780.
- Vis M.W., Vos J. & van den Berg D., 2008. *Sustainability criteria and certification systems for biomass production. Report for DG TREN, European Commission, project 1386.* Enschede, The Netherlands: Biomass Technology Group.

(39 réf.)