

L'Analyse de Cycle de Vie appliquée aux biomasses énergie : Exemple de l'approvisionnement de la chaudière Lin 2000

Caroline Godard*, Joachim Boissy*, Benoît Gabrielle**

* *Agro-Transfert Ressources et Territoires*
2 Chaussée Brunehaut 80200 Estrées Mons

** *INRA-AgroParisTech, UMR 1091 Environnement et Grandes Cultures,*
78850 Thiverval-Grignon, France

c.godard@agro-transfert-rt.org; j.boissy@agro-transfert-rt.org;
benoit.gabrielle@agroparistech.fr

Pour compléter les analyses technico-économiques de l'approvisionnement d'une chaudière polycombustible de 10 000 MWh, nous avons mené une Analyse du Cycle de Vie (ACV) de cinq sources de biomasse utilisées comme combustibles : l'anas de lin (coproduit du teillage du lin), le miscanthus, la paille de céréales, la paille de lin oléagineux et le triticale plante entière. Le but de cette ACV est de comparer les biomasses entre elles, et d'identifier celles qui sont les meilleures alternatives aux anas de lin d'un point de vue environnemental. L'approvisionnement de ces derniers, seuls combustibles actuels, pourrait en effet devenir défaillant ou insuffisant. La particularité de l'étude réside dans l'utilisation de plusieurs modèles intégrant des données territoriales comme le type de sol, le climat et les rotations culturales, ce qui permet d'estimer plus précisément les émissions d'azote, de phosphore et de pesticides dans l'environnement, ainsi que le stockage ou déstockage du carbone des sols agricoles. La phase de mobilisation (transport et stockage) a aussi été approfondie en considérant des scénarios de mobilisation réels et spécifiques à chacune des biomasses. Les résultats montrent que, pour toutes les catégories d'impact sauf le réchauffement climatique, l'anas de lin et la paille de lin oléagineux ont les impacts les plus faibles. Pour le réchauffement climatique, le miscanthus est le moins impactant (stockage d'environ 10 kg-éq.CO₂/MWh produit contre une émission d'environ 15 kg-éq.CO₂/MWh produit pour les anas), du fait de l'important stockage de carbone dans les sols sous cette culture. Les postes contribuant le plus aux impacts environnementaux sont la fertilisation et la phase de mobilisation car celle-ci n'est pas optimisée. Cette étude met en évidence les grandes différences d'impacts entre les biomasses, et la nécessité pour une ACV de biomasses d'intégrer les caractéristiques territoriales, que cela soit pour la phase de production ou de mobilisation.

Mot clés : Biomasse énergétique, chaudière polycombustible, territoire, approvisionnement, ACV agricole

L'Analyse de Cycle de Vie appliquée aux biomasses énergie :
Exemple de l'approvisionnement de la chaudière Lin 2000

Caroline Godard*, Joachim Boissy*, Benoît Gabrielle**

* Agro-Transfert Ressources et Territoires 2 Chaussée Brunehaut F-80200 Estrées Mons

** INRA-AgroParisTech, UMR1091 Environnement et Grandes Cultures, F-78850 Thiverval-Grignon

c.godard@agro-transfert-rt.org; j.boissy@agro-transfert-rt.org; benoit.gabrielle@agroparistech.fr

La chaudière de 10 000 MWh de la coopérative Lin 2000 valorise les anas, coproduits du teillage du lin. Afin de prévenir les fluctuations potentielles de l'approvisionnement en anas, d'autres sources de biomasse sont envisagées : le miscanthus, la paille de céréales, la paille de lin oléagineux et le triticale plante entière. Une ACV comparative a été menée sur les cinq sources possibles, afin d'identifier la meilleure alternative possible aux anas d'un point de vue environnemental. Le système étudié comprend la production au champ, la récolte, le stockage et le transport jusqu'à la chaudière. La phase de combustion et les émissions consécutives dans l'air n'ont pas été prises en compte, faute de données. L'unité fonctionnelle choisie est la production de 10 000 MWh par la chaudière, les pertes énergétiques ayant lieu au moment de la combustion sont comprises. Du fait de la grande différence de valeur économique entre les produits (fibres) et les coproduits issus du teillage du lin, l'allocation économique a été retenue.

L'originalité de cette étude réside dans l'utilisation de plusieurs modèles d'émissions, rendue possible par la caractérisation du territoire d'approvisionnement. Ces données locales comprennent les conditions de production (techniques culturales, de transformation et pédoclimat), et de mobilisation (scénarios de transport et stockage). En effet, Silalertruksa et Gheewala [6] montrent que des données réelles peuvent conduire à des résultats d'ACV très différents de ceux d'une évaluation utilisant des données optimisées. Le modèle AMG [5] qui estime le stock de carbone dans le sol sous les cultures intègre les rotations des cultures et leurs rendements, le niveau de restitution des résidus de culture, les précipitations et le type de sol. Ces données territoriales nous ont aussi permis d'évaluer avec le modèle PestLCI [3] les flux dans l'air, l'eau et le sol de chaque molécule de pesticide appliqué, et d'améliorer ainsi la quantification des émissions de pesticides [2]. Enfin, à l'aide de ces données localisées, nous avons pu affiner le calcul de la quantité de sol érodé nécessaire pour quantifier les émissions de phosphore dans l'eau, et aussi l'estimation des émissions de NO_3^- dans l'eau et de NH_3 dans l'air. Pour les émissions de N_2O et NO_x nous avons utilisé et adapté des modèles plus habituels de l'ADEME [1] et de l'IPCC [4].

Le triticale montre les valeurs de potentiels d'impact les plus élevées pour l'ensemble des catégories, alors que l'anas et la paille de lin oléagineux ont les valeurs les plus faibles, sauf pour le réchauffement climatique (Figure 1). De plus, aucune biomasse ne montre tous ses potentiels d'impact inférieurs à ceux de l'anas. Pour le réchauffement climatique, le miscanthus est le moins impactant, la valeur négative de l'impact étant due au stockage de carbone dans les sols sous cette culture (400 t-éq $\text{CO}_2/10000$ MWh), plus élevé que les émissions de gaz à effet de serre (300 t-éq $\text{CO}_2/10000$ MWh). Au contraire, les autres biomasses, sauf la paille de céréales, révèlent un déstockage de carbone du sol (jusqu'à 50 t-éq $\text{CO}_2/10000$ MWh pour l'anas). Parallèlement, une analyse de contribution a montré que les principaux éléments contributeurs aux impacts sont la fertilisation et le transport. La paille de lin oléagineux a le rendement énergétique (énergie produite en sortie chaudière (MWh_p))

pour 1 MWh d'énergie renouvelable et non renouvelable consommée lors de la production et la mobilisation (MWh_c) le plus élevé devant l'anas (**Tableau 1**).

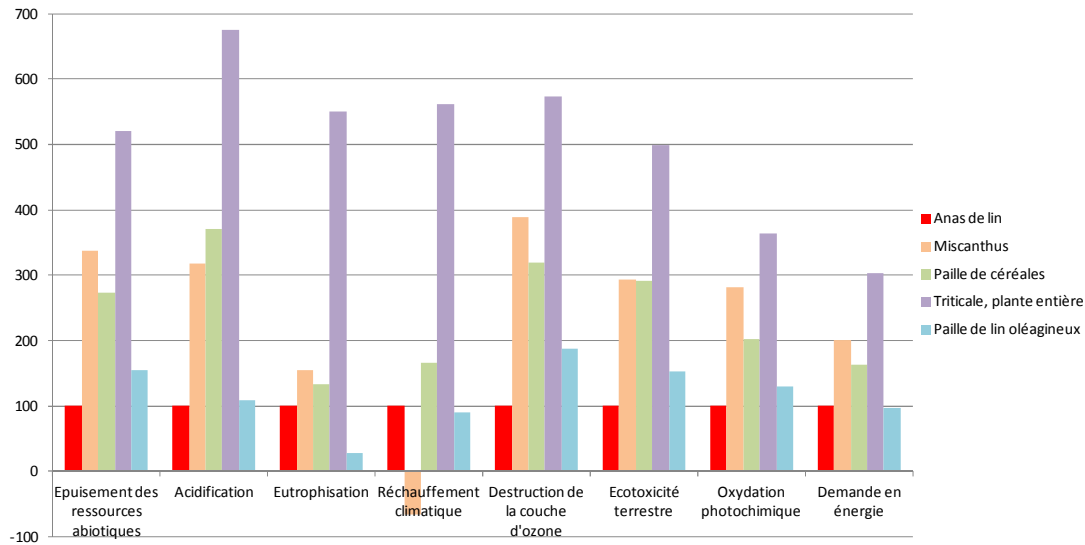


Figure 1 : Comparaison des impacts potentiels en base 100 (référence : anas de lin) des sources de biomasse étudiées

Source de biomasse	Rendement énergétique net (MWh _{produit} / MWh _{consommé})
Triticale plante entière	8.5
Miscanthus	12.8
Pailles de céréales	15.7
Anas de lin	25.6
Paille de lin oléagineux	26.5

Tableau 1 : Rendements énergétiques en MWh_p/ MWh_c des biomasses étudiées

En conclusion, les anas constituent l'approvisionnement le moins impactant, et la paille de lin oléagineux représente l'alternative dégradant le moins les impacts environnementaux. Si le réchauffement climatique est cependant considéré comme l'impact le plus déterminant, alors le miscanthus constitue un approvisionnement intéressant. Enfin, cette étude illustre la pertinence d'intégrer des données locales dans les ACV agricoles, notamment pour la prise en compte de la séquestration du carbone et de la phase de transport.

Bibliographie

1. ADEME, *Analyses de Cycle de Vie appliquées aux biocarburants de première génération consommés en France. Rapport final de l'étude réalisée pour le compte de l'ADEME, du MEEDD et du MAAP et de FranceAgriMer par Bio Intelligence Service*, 2010. p. 236.
2. Berthoud, A., et al., *Assessing freshwater ecotoxicity of agricultural products in life cycle assessment (LCA): a case study of wheat using French agricultural practices databases and USEtox model*. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2011. **16**(8): p. 841-847.
3. Birkved, M. et M.Z. Hauschild, *PestLCI--A model for estimating field emissions of pesticides in agricultural LCA*. Ecological Modelling, 2006. **198**(3-4): p. 433-451.
4. IPCC, *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Agriculture, Forestry and Other Land Use*, 2006.
5. Saffih-Hdadi, K. et B. Mary, *Modeling consequences of straw residues export on soil organic carbon*. Soil Biology and Biochemistry, 2008. **40**(3): p. 594-607.
6. Silalertruksa, T. et S.H. Gheewala, *Environmental sustainability assessment of bio-ethanol production in Thailand*. Energy, 2009. **34**(11): p. 1933-1946.

Life Cycle Assessment applied to energy biomasses :
The example of Lin 2000 boiler supply

Caroline Godard*, Joachim Boissy*, Benoît Gabrielle**

* Agro-Transfert Ressources et Territoires 2 Chaussée Brunehaut F-80200 Estrées Mons
** INRA-AgroParisTech, UMR1091 Environnement et Grandes Cultures, F-78850 Thiverval-Grignon
c.godard@agro-transfert-rt.org; j.boissy@agro-transfert-rt.org; benoit.gabrielle@agroparistech.fr

The 10 000 MWh boiler of the supply and storage company Lin 2000 burns flax shives which are by-products of flax scutching. In a way to prevent from flax shives supply deficiencies, other biomass sources are considered: miscanthus, cereal straw, linseed straw and triticale as whole plant. In a way to identify the best alternative supply to flax shives from an environmental point of view, a comparative LCA was carried out on the five biomass sources. The studied system entails field crop production, harvesting, storage and transports up to the boiler site. The combustion phase as well as consequential emissions were not accounted for as no data were available. The functional unit is 10000 MWh produced by the boiler, including energy losses along with the combustion. Due to great different economic values between products (fibers) and by product of flax scutching, economic allocation was selected.

The original point of this study is to use several emission models, thanks to supply area characterization. Those local data consist of production conditions (crop management and processing techniques) and logistics characteristics (transport and storage scenarios). Indeed Silalertruksa and Gheewala [6] show that using real data can yield LCA results far different from an assessment from optimized data. The AMG model [5] assesses soil carbon storage and integrates crop rotations and yields, crop residues inputs, rains and soil type. Those territorial data also able to assess the air, water and soil fluxes of applied pesticide molecules with the PestLCI model [3], hence improving pesticide emission quantification [2]. Eventually, those locally based data enable to refine eroded soil calculation necessary to evaluate phosphorus water emissions, and also to refine the assessment of NO_3^- water emissions and NH_3 air emissions. Regarding N_2O and NO_x emissions, more usual models from ADEME [1] and IPCC [4] were adapted and used.

Triticale shows highest potential impact levels for all the categories, while flax shives and linseed straw show the lowest values, except for global warming (Figure 1). Moreover, no biomass show all its potential impact levels lower than the one of flax shives. For global warming, miscanthus is the least impacting, with a negative value of impact due to its soil carbon sequestration (400 t-eq $\text{CO}_2/10000$ MWh) higher than its greenhouse gases emissions (300 t-eq $\text{CO}_2/10000$ MWh). On the contrary, all the other biomass sources, except cereal straw, reveal a soil carbon release (up to 50 t- $\text{eq CO}_2/10000$ MWh for flax shives). At the same time, a contribution analysis showed that the main contributors to the impacts are fertilizing and transports. Linseed straw show the highest energetic yield (energy produced by the boiler (MWh_p) for the consumption of 1 MWh of renewable and non – renewable energy during production and logistic steps (MWh_c)) before flax shive (Tableau 1).

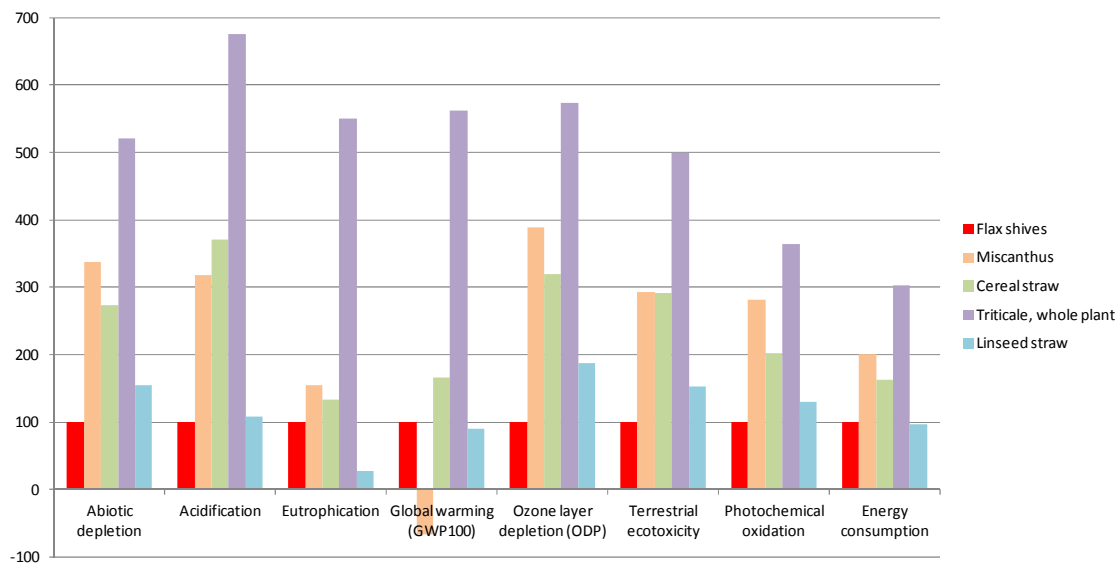


Figure 2 : Potential impact comparison of studied biomass sources (baseline 100, flax shives as a reference)

Biomasse sources	Net energetic yield (MWh _{produced} / MWh _{consumed})
Triticale as whole plant	8.5
Miscanthus	12.8
Cereal straws	15.7
Flax shives	25.6
Linseed straw	26.5

Table 2 : Energetic yields of studied biomasses in MWh_p/ MWh_c

As a conclusion, flax shives are the least impacting supply, and linseed straw is the alternative that less alters the environmental impacts. If global warming is considered as the most deciding impact, then miscanthus appears as an interesting supply. Eventually, this study shows the relevance of local data integration in agricultural LCA, especially for accounting for soil carbon sequestration and logistic phase.

Bibliography

1. ADEME, *Analyses de Cycle de Vie appliquées aux biocarburants de première génération consommés en France. Rapport final de l'étude réalisée pour le compte de l'ADEME, du MEEDD et du MAAP et de FranceAgriMer par Bio Intelligence Service*, 2010. p. 236.
2. Berthoud, A., et al., *Assessing freshwater ecotoxicity of agricultural products in life cycle assessment (LCA): a case study of wheat using French agricultural practices databases and USEtox model*. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2011. **16**(8): p. 841-847.
3. Birkved, M. and M.Z. Hauschild, *PestLCI--A model for estimating field emissions of pesticides in agricultural LCA*. Ecological Modelling, 2006. **198**(3-4): p. 433-451.
4. IPCC, *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Agriculture, Forestry and Other Land Use*, 2006.
5. Saffih-Hdadi, K. and B. Mary, *Modeling consequences of straw residues export on soil organic carbon*. Soil Biology and Biochemistry, 2008. **40**(3): p. 594-607.
6. Silalertruksa, T. and S.H. Gheewala, *Environmental sustainability assessment of bio-ethanol production in Thailand*. Energy, 2009. **34**(11): p. 1933-1946.