

Design d'un réseau de création de valeur intégrant la production de bioénergie et des biocarburants

MAHDI MACHANI, MUSTAPHA NOURELFATH, SOPHIE D'AMOURS

¹ CONSORTIUM FORAC, DÉPARTEMENT GÉNIE MÉCANIQUE, CIRRELT, UNIVERSITÉ LAVAL

Québec G1V 0A6, Canada
mahdi.machani.1@ulaval.ca

Mustapha.Nourelfath@gmc.ulaval.ca

Sophie.Damours@gmc.ulaval.ca

Résumé – Nous présentons un processus de design stratégique du réseau de création de valeur d'une entreprise de pâtes et papiers intégrant la production de bioénergie et de biocarburants. Outre la production de pâte et papier, l'entreprise, appelée ainsi bioraffinerie forestière intégrée (BRFI), utilise les résidus issus de l'activité conventionnelle et d'autres résidus de biomasse lignocellulosique approvisionnés de l'externe, pour fabriquer des bioproduits à forte valeur ajoutée. Les copeaux de bois, habituellement utilisés pour produire du papier, pourraient être utilisés en proportion ou intégralement, pour fabriquer des bioproduits, considérant la possibilité de ne pas produire du papier pour une ou plusieurs périodes. L'objectif est de proposer un outil d'aide à la décision, destiné aux investisseurs et aux preneurs de décisions dans le secteur forestier, capable d'optimiser le réseau de création de valeur de la BRFI et de maximiser la rentabilité des investissements.

Abstract – In this paper, we present a strategic design process for the forest product value creation network integrating bioenergy and biofuels, in the case of a pulp and paper mill. The mill, so called integrated forest biorefinery (IFBR), could produce a set of high value bioproducts from lignocellulosic biomass produced in the mill or supplied from outside. Wood chips, that are used in pulp production, might be used partially or totally to produce bioproducts, assuming the possibility to not produce pulp and paper for one or several periods. The objective is to propose a real decision support tool for investors and stakeholders, within the forest sector, which aims to optimise the value creation network of the IFBR and to maximise the profitability of future investments.

Mots clés – biomasse, bioénergie, biocarburants, BRFI, création de valeur

Keywords – biomass, bioenergy, biofuels, IFBR, value creation

1 INTRODUCTION

La biomasse est définie comme étant une ressource abondante incluant, en plus de la biomasse en bois et les résidus en bois issus de l'industrie, les cultures énergétiques, les résidus agricoles, le fumier ainsi que les fractions organiques des déchets municipaux solides et les boues d'épuration [European Commission, 1997].

La biomasse est une source d'énergie polyvalente capable de générer non seulement de l'électricité ou de la chaleur, mais aussi des biocarburants de transport et des biomatériaux. C'est aussi l'une des rares sources d'énergie renouvelable qui peuvent être stockées et produire de l'énergie sur demande. L'une des propriétés les plus intéressantes de la biomasse lignocellulosique, est qu'elle représente une source d'énergie, qualifiée par plusieurs, à cycle de carbone neutre. Le carbone qui est émis lors de sa combustion étant égal à la quantité de carbone émise automatiquement dans l'atmosphère à la fin du cycle de vie de la plante [Johnson, 2009].

Le Canada, abritant plus de 10% des forêts du monde, devrait s'orienter davantage vers l'exploitation de la biomasse. Cette dernière fournit actuellement près de 60% des besoins énergétiques de l'industrie forestière au Canada, essentiellement sous forme de chaleur et d'électricité [The state of Canada's forests, 2010]. Cependant, le développement

d'une bioindustrie canadienne, basée sur l'exploitation de la biomasse, nécessite l'élargissement de la plateforme des produits et des technologies pour transformer la biomasse en tout un nombre de produits à haute valeur ajoutée allant de l'électricité et la chaleur, en passant par des biocarburants de transport et des bioproduits chimiques, jusqu'aux nouveaux biomatériaux [FPAC, 2010].

La hausse du dollar canadien, la crise du marché de l'immobilier aux États-Unis ainsi que l'émergence de compétiteurs asiatiques à faible coûts, ont pesé lourdement sur l'industrie forestière canadienne et ont engendré des pertes importantes durant ces dernières années, ce qui s'est traduit par une nette détérioration des profits de l'ensemble du secteur, atteignant même des valeurs négatives depuis 2008.

Ainsi, outre les produits conventionnels fabriqués (emballages, papier, etc.), l'entreprise de pâtes et papier pourrait produire d'autres produits à haute valeur ajoutée tels que les biocarburants, l'électricité et la chaleur, et ce afin de demeurer compétitive, survivre à la crise du secteur forestier canadien et bénéficier des incitations gouvernementales liées à la réduction des émissions des gaz à effet de serre (GES). Cette nouvelle plateforme de technologies et de produits, nécessite la mise en question de tout le modèle d'affaires de l'entreprise, et surtout une analyse robuste des investissements à faire, dans un futur

économiquement, socialement et politiquement évolutif et risqué.

Dans ce contexte, il est revenu essentiel de développer un outil d'aide à la décision permettant d'évaluer les opportunités d'investissement en bioénergie et en biocarburants. Cet outil devrait ainsi permettre aux entreprises du secteur forestier d'aboutir à un modèle d'affaires axé sur l'intégration de la biomasse et la diversification des bioproduits, et ce pour survivre à la crise et d'assurer leur pérennité.

Le reste du papier est organisé comme suit. : Dans la section 2, la BRFI étudiée et les détails de notre problématique sont présentées. La section 3 est consacrée à une revue des principaux travaux de recherche en relation avec le sujet. La section 4 présente les composantes principales de la méthodologie proposée. Les contributions futures sont discutées dans la section conclusion.

2 PROBLEMATIQUE

Dans le contexte difficile que vivent les entreprises du secteur forestier au Canada, il s'avère indispensable qu'elles évaluent de nouveaux modèles d'affaires basés sur une plus grande diversification de leur panier de produits. L'intégration de la bioénergie ainsi que des biocarburants est l'une des voies les plus prometteuses de cette diversification. Elle peut se concrétiser en transformant l'entreprise de pâtes et papier en une bioraffinerie forestière intégrée (BRFI) qui fabrique, en plus du papier, des bioproduits garantissant sa compétitivité et sa pérennité.

Le potentiel des BRFI a été démontré à travers plusieurs travaux de recherches, voir par exemple [Stuart, 2006; Chambost et al., 2008], notamment grâce à une structure de chaîne logistique adaptée à ce type d'investissement. En fait, le réseau logistique conventionnel d'une entreprise de pâtes et papier est orienté vers le traitement et le transport des produits forestiers, et jouit surtout d'un emplacement stratégique par rapport aux points d'approvisionnement de la biomasse forestière. De plus, le processus de production du papier génère une multitude de résidus et de sous-produits (liqueur noire, copeaux de bois, eaux usées, boues de papier, etc.) qui pourraient être exploités pour la production de l'énergie ou encore de bioproduits. Ainsi, l'intégration des bioproduits dans une entreprise existante de pâtes et papiers, semble une voie plus avantageuse en termes de coûts d'investissement et d'adaptation de la chaîne logistique, comparativement à la construction d'une bioraffinerie indépendante [Feng et al., 2010; Huang et al., 2009].

La biomasse considérée dans une BRFI regroupe les résidus forestiers, les résidus agricoles, les résidus issus de l'industrie forestière, et les cultures énergétiques qui sont des plantes cultivées spécialement pour la production de l'énergie ou des bioproduits, ainsi que les déchets solides municipaux et urbains [Canada report on Bioenergy, 2010]. Dans le tableau 1, on présente en détail chacun de ces types de biomasse.

Pour pouvoir transformer cette biomasse, plusieurs technologies sont développées, ou sont en cours de développement. Le degré de maturité de ces technologies varie entre des technologies au stade commercial et d'autres qui sont encore au stade de projets pilotes ou de démonstration pour valider leur efficacité [Vito, 2009].

[Wit et al., 2010] ont modélisé la maturité des technologies associées à la production des biocarburants ainsi que le coût d'investissement et de production de ces bioproduits, et ce à travers le temps. Les auteurs démontrent l'énorme potentiel de développement technologique et de réduction de coût associés à ces technologies, favorisés par les incitations

gouvernementales et la demande croissante en biocarburants d'ici 2030.

Tableau 1: Biomasse considérée

Type de biomasse	Exemples
Résidus forestiers	Résidus d'arbres Arbres infestés Écorces d'arbre Tiges
Résidus agricoles	Tiges Pailles Fumier (solide, liquide)
Résidus de l'industrie forestière	Liqueur noire Résidus de bois Eaux usées Boues de papier
Cultures énergétiques	Saule Peuplier Miscanthus Panic
Déchets municipaux et urbains	Bois de construction Déchets organiques Boues d'épuration

Même si plusieurs technologies utilisées pour la fabrication de ces bioproduits, sont encore au stade de projets pilotes, leur viabilité et efficacité sont déjà approuvées et leur commercialisation aura lieu entre 2010 et 2025 [Parker et al., 2007].

Dans ce travail, nous nous limitons à la production de l'électricité, de la chaleur et de la vapeur, en plus de la production de biocarburants, à partir de la biomasse. Il s'agit en effet de considérer l'opportunité qui se présente pour les entreprises de pâtes et papier pour se transformer en des BRFI produisant de la bioénergie et des biocarburants.

La concurrence asiatique, la situation énergétique mondiale et la pression internationale et gouvernementale quant aux questions environnementales, ont rendu inévitable un revirement de cap pour l'ensemble des industries du secteur forestier canadien, afin de retrouver leur compétitivité et assurer leur pérennité.

En particulier, les entreprises de pâtes et papier pourraient saisir la grande opportunité qui se présente devant eux en créant une bioindustrie compétitive et durable, et ce en se transformant en des BRFI fabriquant du papier en consommant le moins d'énergie fossile possible, tout en produisant des bioproduits de haute valeur ajoutée et à prix compétitifs.

Néanmoins, il s'avère indispensable, pour toute entreprise de pâtes et papiers voulant investir en bioproduits, d'évaluer les risques économiques, technologiques et socio-environnementaux liés à l'intégration des produits issus de la biomasse, outre les produits de papier, dans son réseau de création de valeur.

Pour réussir la transformation en une BRFI, une analyse stratégique préalable devrait se faire pour évaluer la rentabilité des investissements à faire, et ce à long-terme. La profitabilité des investissements à faire sera mesurée aussi bien en termes de revenus économiques, qu'en termes de potentiel de réduction des émissions de GES.

Les investissements dans l'industrie de pâtes et papiers nécessitent la mise en disposition d'importants capitaux financiers. Ainsi, l'impact des décisions d'investir doit être analysé pour l'ensemble du réseau, et en considérant de longs horizons de planification [Martel et al., 2005].

Cette transformation du modèle d'affaires inclut aussi la revue de l'activité conventionnelle de l'entreprise, la mise en

question de l'ensemble des produits issus du papier, voire l'abandon temporel de certains produits jugés en phase de déclin et qui ne sont plus profitables à l'entreprise.

Ainsi, en plus des produits conventionnels de papier fabriqués, la BRFI pourrait investir dans une nouvelle plateforme de technologies et de produits. De nouvelles matières premières seront intégrées dans la chaîne logistique de l'entreprise constituées par les résidus de biomasse produits sur place ou approvisionnés de l'extérieur (voir tableau 1). La structure de cette bioraffinerie intégrée, et qui est considérée dans ce papier, est illustrée par la figure 1.

En utilisant ces résidus de biomasse, la BRFI pourrait, par exemple, produire de l'électricité, de la chaleur et de la vapeur en investissant dans la technologie de la cogénération. De plus, des biocarburants pourraient être fabriqués en investissant dans des technologies telles que la pyrolyse pour produire de la Biohuile ou la bioconversion pour produire du bioéthanol. Le gaz synthétique produit par la technologie de gazéification pourrait être utilisé comme intrant à la technologie de la cogénération, ou synthétisé davantage pour produire des biocarburants plus complexes tels que le gaz naturel synthétique (GNS) par la méthanisation ou le Dimethyl Ether (DME) par synthèse.

3 REVUE DE LITTÉRATURE

L'intégration de la biomasse dans le réseau logistique d'une entreprise, nécessite la prise en compte d'un nombre de particularités liées à ce type de matière première, telles que la saisonnalité, le degré d'humidité, la faible densité, les équipements et les procédés utilisés lors de la collection et le transport, la variabilité des propriétés chimiques et physiques, etc. Ces particularités rendent les réseaux logistiques de la biomasse complexes et exigent un choix judicieux quant aux décisions liées à chacune des étapes d'acheminement de la biomasse en commençant par la forêt ou les terres agricoles jusqu'aux installations de conversion. Ainsi, tout au long de cette revue de littérature, nous tenons en compte de ces particularités et ces exigences de l'intégration de la biomasse dans le design et la gestion des réseaux logistiques.

[Lakovou et al., 2010] ont présenté une revue de synthèse sur les chaînes logistiques transformant la biomasse en énergie. Les auteurs ont analysé l'état de développement des technologies de conversion ainsi que les différents niveaux de intégration de la biomasse dans la gestion des chaînes logistiques intégrant la biomasse, tels que l'analyse du potentiel de la biomasse et l'affectation des sites de collection de biomasse et des installations de production de bioénergie.

[Timothy et al., 2008] ont analysé la chaîne logistique d'acheminement de la biomasse forestière vers une installation de conversion en énergie. Les auteurs considèrent trois grandes étapes d'approvisionnement, à savoir la récolte de la biomasse forestière, le transport, ainsi que le stockage et le prétraitement. Vu qu'un nombre d'options est disponible à chacune de ces étapes (types de prétraitement, modes de transport, types et lieux de stockage), les décisions de choisir entre ces options doivent être prises d'une façon intégrée en considérant toute la chaîne. [Rentizelas et al., 2009] ont étudié la chaîne d'approvisionnement en biomasse pour le cas d'une installation de cogénération d'électricité, de chauffage et de climatisation. Les auteurs ont considéré deux types différents de biomasse et ont analysé trois différents scénarios de stockage qui influencent le degré de séchage et la détérioration de la qualité de la biomasse stockée.

[Freppaz et al., 2004] ont développé un système d'aide à la décision (SIAD) permettant de décider des capacités et des localisations des installations de conversion, ainsi que la quantité annuelle de biomasse forestière à acheminer aux sites de conversion et la proportion d'électricité et de chaleur produite dans chaque installation. Le module d'optimisation intégrée dans leur SIAD, permet de satisfaire la demande d'un nombre de municipalités en électricité et chaleur, tout en minimisant les coûts d'investissement et les coûts d'opération.

[Eksioglu et al., 2009] ont proposé un modèle à nombres entiers mixte permettant d'optimiser les décisions stratégiques (localisation, nombre et capacité des bioraffineries et des sites de collections) et tactiques (acheminement, stockage et traitement de la biomasse et du biocarburant) liées à la chaîne logistique de production de bioéthanol à partir de quatre types de biomasse. Les auteurs ont considéré trois scénarios différents selon la disponibilité annuelle de chacun des types de biomasse, la demande en bioéthanol et le rendement de conversion de la biomasse en bioéthanol.

En couplant aussi les décisions stratégiques et les décisions tactiques liées à la chaîne logistique de production de bioéthanol, [Huang et al., 2010] ont développé un modèle multi-périodes où l'on peut agrandir la capacité d'une bioraffinerie déjà construite au cours des années, dans un horizon de planification de 20 ans. Les auteurs ont aussi incorporé un aspect dynamique dans leur modèle, en considérant une demande croissante du bioéthanol et un coût de production inversement proportionnel à la capacité de la bioraffinerie.

Le choix des plateformes de produits et de technologies à implanter relève des décisions stratégiques les plus importantes et détermine, en grande partie, la rentabilité de l'investissement à long terme. [Laser et al., 2009a] ont évalué la rentabilité économique d'investissement liée à sept différents designs de bioraffineries où on considère la production de biocarburants, d'énergie et de protéines animales. [Laser et al., 2009b] ont évalué quatorze scénarios de design de bioraffineries de production de biocarburants, de l'énergie et de protéines animales, en ajoutant à la performance économique la performance environnementale liée aux émissions des GES, la consommation en pétrole et en eau. Une analyse de sensibilité est effectuée pour chacun des scénarios pour analyser l'impact de certains paramètres, tels que le prix du carburant et de l'électricité, le coût de biomasse et le pourcentage d'autofinancement du projet, sur la rentabilité du projet et le prix minimal de vente des bioproduits.

En considérant l'ensemble de la chaîne logistique de transformation de biomasse en bioénergie, [Frombo et al., 2009] ont développé un système d'aide à la décision permettant d'optimiser le design et la gestion des réseaux logistiques de production de bioénergie. Prenant en compte les résidus forestiers, les résidus agricoles ainsi que les résidus industriels et urbains, les auteurs ont analysé la performance de quatre différentes chaînes logistiques qui produisent de l'électricité et de la chaleur à partir de quatre technologies de conversions différentes. Pour chaque technologie considérée, le module d'optimisation proposé décide de la quantité de chaque type de biomasse collectée annuellement ainsi que la capacité de l'installation de conversion, en minimisant les coûts logistiques associés.

La majorité des travaux s'intéressant au design et à la gestion des chaînes logistiques intégrant la biomasse, ont évalué l'incertitude quant aux paramètres liés aux investissements, en effectuant des analyses de sensibilité, ou encore en évaluant différents scénarios pour voir l'effet des variations sur les

décisions optimales obtenues à l'issue du modèle déterministe développé.

Rares sont les travaux qui ont incorporé les incertitudes liées au marché énergétique et aux politiques environnementales, lors de la décision d'investir ou non dans les nouvelles technologies de bioconversion ou d'intégration de biomasse. [Svensson et al., 2009] ont développé un modèle stochastique afin de décider des investissements en efficacité énergétique à implanter dans une entreprise de pâtes et papier, ainsi que leur timing dans un horizon de planification de 30 ans. Afin d'incorporer les incertitudes quant aux politiques gouvernementales liées à l'environnement (taxes sur les émissions carbone, certificats verts) ainsi que les paramètres du marché énergétique (prix de l'électricité, prix de la lignine vendue en tant que combustible, prix du chauffage urbain), les auteurs ont développé un arbre de scénarios présentant les six futurs plausibles selon le degré du développement des politiques environnementales. La solution optimale est celle qui maximise l'espérance mathématique de la valeur actualisée nette des investissements en incluant les différentes probabilités pour chacun des nœuds de l'arbre.

L'intégration de la biomasse dans le réseau de création de valeur d'une entreprise de pâtes et papier est étudiée depuis quelques années en discutant le potentiel économique et environnemental des BRFI et en optimisant les décisions stratégiques d'investir en bioénergie et en biocarburants.

Dans une étude portant sur le secteur des pâtes et papier canadien, [Stuart, 2006] qualifie le concept du BRFI comme étant la stratégie de survie pour les entreprises d'un secteur en pleine crise et en quête d'un modèle d'affaires assurant leur compétitivité. Selon cette étude, qui présente une revue de l'ensemble des recherches faites afin de remédier aux problèmes de ce secteur, le modèle d'affaires à adopter serait la diversification des produits fabriqués, en intégrant de nouveaux produits à forte valeur ajoutée et permettant d'accéder à de nouveaux marchés. La bioénergie et les bioproduits représentent l'une des voies les plus prometteuses pour assurer cette diversification. Une telle transformation du modèle d'affaires nécessite, toutefois, la mise en place d'une stratégie à long-terme pour étudier les risques technologiques, financiers et socio-environnementaux associés [Chambost et al., 2008; Benjamin et al., 2009]. Ainsi, il est indispensable d'investir dans des produits à la fois économiquement et écologiquement viables, tout en s'assurant d'une certaine sécurité en termes d'approvisionnement et des marchés de distribution [Stuart, 2006].

L'un des avantages majeurs liés à la transformation des entreprises des pâtes et papier en des BRFI réside dans le fait que ces entreprises possèdent déjà les infrastructures nécessaires pour s'approvisionner en biomasse et leurs chaînes logistiques sont déjà adaptées, en bonne partie, à ce type de matière première.

De plus, ces entreprises génèrent un nombre de résidus industriels pouvant être exploités (liqueur noire, eaux usées, copeaux, boues de papier, etc.), et qui présentent des matières premières à faible coût voire égal à zéro [Benjamin et al., 2009].

Cette infrastructure permettrait d'avoir d'importantes réductions au niveau des investissements liés à la bioénergie, et ce au niveau des structures d'approvisionnement, des systèmes de transport, et des entrepôts de stockage, comparativement à la construction d'une bioraffinerie autonome.

En considérant la BRFI comme l'une des options prioritaires pour réussir la transformation du modèle d'affaires du secteur

des pâtes et papier canadien, [Chambost et al., 2008] ont présenté une approche stratégique de transformation de l'entreprise, dans le but d'intégrer une nouvelle plateforme de produits, et même abandonner la fabrication de certains produits qui fournissent de minimes marges de profit. L'approche présentée inclut trois phases : la première implique la production de biocarburants pour remplacer les carburants fossiles, et ce dans le but de réduire les coûts de l'entreprise tout en intégrant des nouveaux produits à un faible risque de marché, vu que les produits seront consommés sur place. La deuxième phase inclut le développement de nouveaux produits destinés au marché, tout en mettant en question la mission de l'entreprise ainsi que sa vision vis-à-vis du marché, dans le but d'augmenter ses revenus. La troisième phase se traduit par l'amélioration des marges de profit de l'entreprise, via une gestion optimisée et intégrée de la chaîne logistique.

En se basant sur l'approche à trois phases de [Chambost et al., 2008], [Mansoornejad et al., 2010] ont développé une méthodologie hiérarchique pour soutenir la transformation d'une entreprise de pâtes et papier en une BRFI. La méthodologie présentée intègre, en ordre, le design de la plateforme des technologies et des produits à intégrer, le design d'une flexibilité liée aux capacités de production et aux proportions fabriquées de chaque produit, et enfin la revue du design du réseau de la chaîne logistique, où plusieurs alternatives d'expansion et d'acquisition sont évaluées, et ce en générant différents scénarios reflétant la volatilité de la demande et des prix des produits. À l'issue de ces trois phases, les meilleures alternatives sont obtenues en se référant aux profits générés.

Feng et al., [2010] ont développé un modèle pour l'optimisation du réseau logistique de transformation de biomasse, et ce pour décider des sites de production à utiliser, de leurs localisations, des technologies, des capacités, ainsi que des matières premières à s'approvisionner. Les bioraffineries à intégrer dans la structure du réseau considéré pourraient être des scieries, des usines de pâte et papier ou des sites de production de bioéthanol, d'énergie ou de granules. Le but est de maximiser la valeur des investissements à implanter.

En analysant l'ensemble des travaux revus, on constate l'absence de modèles de design de réseaux de création de valeur intégrant la biomasse, tout en considérant plusieurs technologies de production de bioénergie et de biocarburants. Les recherches faites dans ce domaine se sont limitées à l'optimisation de la chaîne d'approvisionnement de la biomasse, où ont considéré un seul type de biocarburant, souvent le bioéthanol. Même les travaux, qui ont intégré plusieurs technologies, se sont limités à la comparaison des processus de production et non l'ensemble du réseau. À notre connaissance, aucun travail de recherche ne s'est intéressé à optimiser les décisions d'investir dans les technologies de production de bioénergie et de biocarburants, tout en décidant de la séquence des investissements.

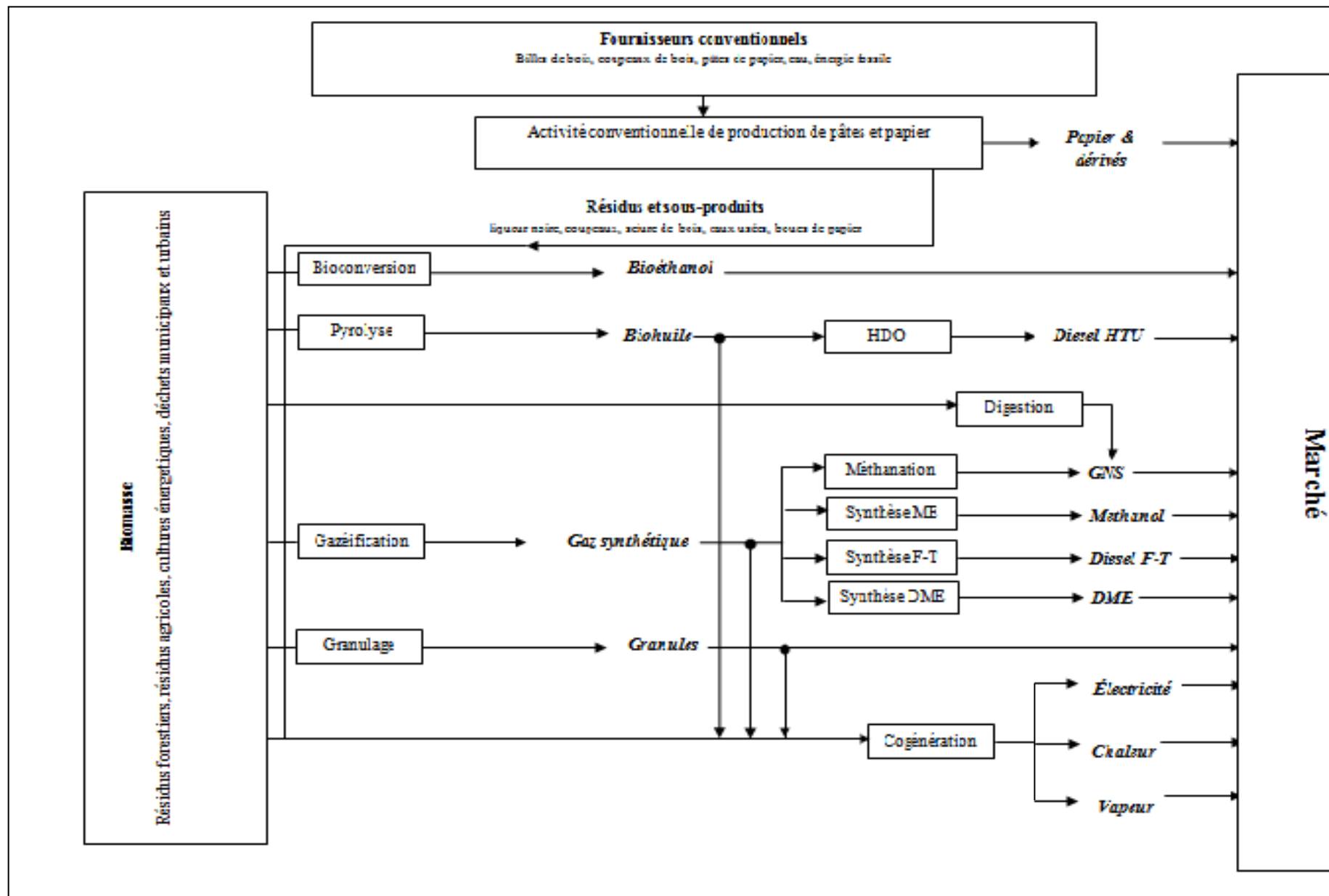


Figure 1: BRFI étudiée

De plus, les travaux portant sur le design stratégique des BRFI se limitent à élaborer des stratégies ou des méthodologies pour réussir la transformation d'une entreprise forestière en une BRFI, ou à proposer des modèles pour optimiser de la structure d'un réseau logistique de transformation de biomasse. Néanmoins, aucun de ces travaux n'a proposé un processus stratégique de design intégrant le modèle mathématique ainsi que l'analyse stratégique précédant la modélisation.

Ainsi, vient l'intérêt de ce travail qui vise à optimiser la décision ainsi que la séquence des investissements dans une ou plusieurs technologies de conversion, pour produire de la bioénergie et des biocarburants. En considérant l'ensemble de la chaîne logistique à partir des lieux de collection de la biomasse jusqu'aux marchés de demande en bioénergie et en biocarburants, le but est aussi d'obtenir un design stratégique optimal du réseau de création de valeur de la BRFI en question. Lors de l'évaluation de la rentabilité des investissements étudiés, nous allons considérer l'évolution de l'environnement technologique et économique.

Notre contribution consiste en l'élaboration de tout un processus de design de réseau de création de valeur, proposant

entre autres, un modèle mathématique capable de maximiser la valeur actualisée nette des investissements à implanter.

A l'issu de ce travail, nous visons à fournir un outil puissant d'aide à la décision, destiné aux investisseurs et aux entreprises de pâtes et papier, qui permet d'évaluer les différentes opportunités d'investir en bioénergie et en biocarburants et de planifier à long terme les décisions stratégiques liées à ces investissements, tout en optimisant leur rentabilité et leur robustesse dans un futur évolutif et incertain.

4 METHODOLOGIE

Dans cette section, nous présentons les principales étapes de la méthodologie adoptée pour le design du réseau de création de valeur de la BRFI considérée. Cette méthodologie consiste en l'élaboration d'un processus de design qui comporte quatre composantes principales : les intrants, le modèle d'affaires, la modélisation et la sortie (figure 2)

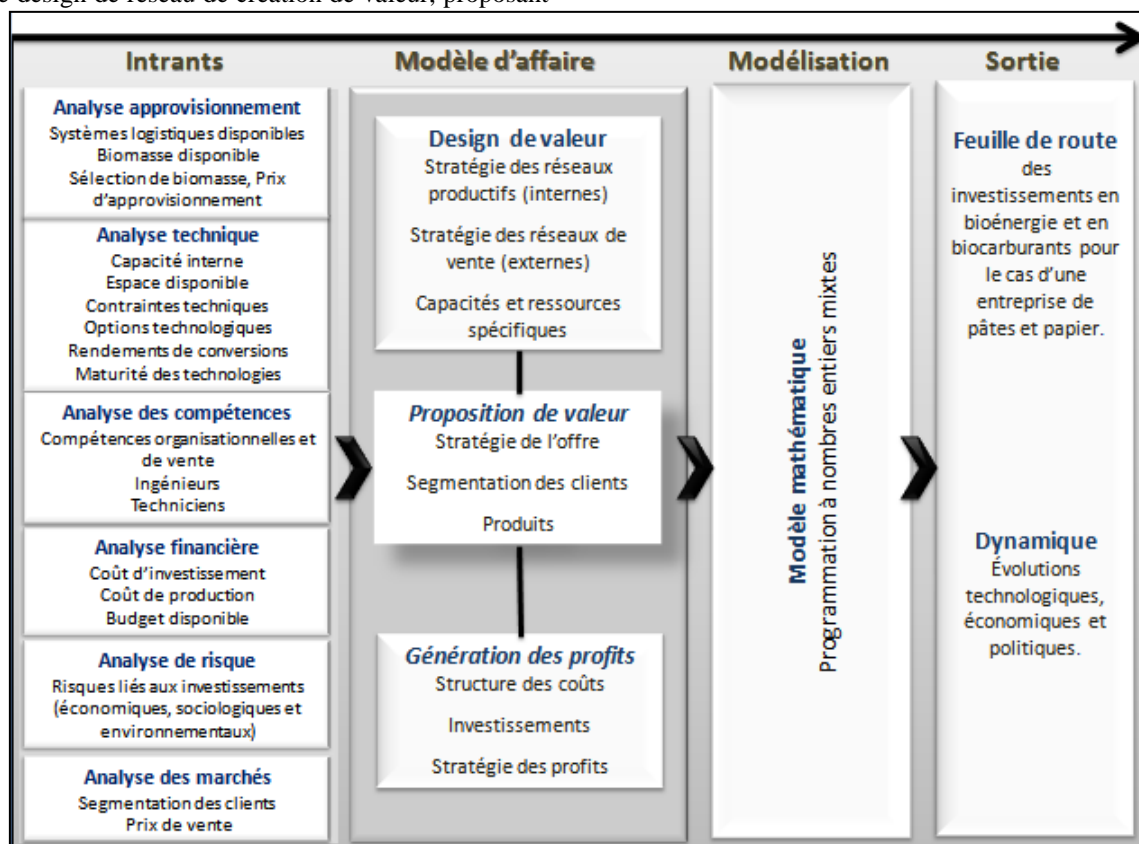


Figure 2: Processus de design

4.1 Les intrants

La première étape du processus de design est une série d'analyses permettant de définir les différents paramètres liés au réseau de création de valeur associé à la BRFI.

4.1.1 Analyse d'approvisionnement

L'analyse d'approvisionnement nous permet d'évaluer les opportunités liées à l'approvisionnement des différents types de biomasse. A l'issu de cette évaluation, une sélection préliminaire de l'ensemble des fournisseurs de biomasse est faite selon la qualité de la biomasse, sa disponibilité, le coût d'achat, etc.

4.1.2 Analyse technique

L'analyse technique est liée directement aux technologies de conversion de biomasse étudiées. L'analyse de la capacité interne de l'entreprise ainsi que de l'espace disponible pour l'implantation des différentes technologies est une étape essentielle pour évaluer la faisabilité de chaque technologie. De plus, l'évaluation des rendements de conversion et du degré de maturité ainsi que leur courbe d'évolution dans le futur, pour chacune des technologies, nous permet d'évaluer le potentiel technique de ces technologies et de décider des technologies potentiellement intéressantes à court, à moyen et à long terme.

4.1.3 Analyse des compétences

L'analyse de compétences permet d'évaluer les besoins en ressources humaines qualifiées, notamment les ingénieurs et les techniciens, et ce pour l'implantation et la gestion des technologies. Cette analyse est importante pour faire le point sur les compétences déjà existantes et de décider du manque à combler en cas d'investissement dans une ou plusieurs technologies (en génie chimique, génie industriel, génie mécanique, ressources humaines, vente et marketing, etc.).

4.1.4 Analyse financière

L'analyse financière est liée à l'estimation des coûts des investissements ainsi qu'aux coûts d'opérations associés à l'implantations des différentes technologies. Cette analyse nous permet d'évaluer la faisabilité de ces investissements et la disponibilité des fonds requis.

4.1.5 Analyse de risque

Vu que les technologies étudiées sont des technologies récentes et que plusieurs d'entre elles sont encore au stade des projets pilotes, il faudrait considérer le risque associé à ce type d'investissements. Evidemment, moins la technologie est risquée, plus elle sera favorisée pour l'implantation. Nous analysons aussi l'évolution de ce risque puisque plusieurs de ces technologies passeront au stade commercial et le risque qui y est associé va en diminuant. Plusieurs types de risques devront être explorés, les risques économiques, sociologiques et environnementaux.

4.1.6 Analyse de marchés

L'analyse de marchés permet de déterminer les clients potentiels et les marchés de demande liés aux différents bioproduits fabriqués, et d'estimer leurs prix de vente sur chacun de ces marchés. Elle définit aussi les options possibles de distribution des produits.

4.2 Modèle d'affaires

A l'issu des différentes analyses, les paramètres liés à l'investissement dans les différentes technologies peuvent être déterminés, et ce sur l'ensemble du réseau de création de valeur des bioproduits des fournisseurs de la biomasse jusqu'aux marchés de demande. Ces informations obtenues nous permettent d'identifier la stratégie de l'entreprise quant à la configuration de la chaîne logistique et le positionnement sur le marché. Le modèle d'affaires est vu comme une représentation simplifiée de la stratégie d'entreprise dans la mesure où il offre aux gestionnaires une approche synthétisée de la stratégie de l'entreprise qui soit moins abstraite que la stratégie tout en conservant les différentes dimensions [Ammar, 2006]. En fait, Le modèle d'affaires est considéré comme étant un concept de gestion intégrée qui apporte une description exhaustive aussi bien pour l'entreprise que pour les interactions entre les différents maillons du réseau de création de valeur intégrant les fournisseurs et les clients [Ortega et Moingeon, 2005]. En nous inspirant de la vision du modèle d'affaires développée par [Ammar, 2006], nous présentons le modèle d'affaires de la BRFI en tant qu'un concept de gestion centré sur la proposition de valeur et se composant de trois principales dimensions :

4.2.1 Proposition de valeur

La proposition de valeur se situe au cœur du modèle d'affaires, et traduit la stratégie de l'offre de l'entreprise quant aux choix des technologies et des produits à offrir. Le positionnement sur le marché ainsi que la segmentation des clients et la localisation des marchés de demande font partie des spécificités de l'offre de l'entreprise.

4.2.2 Design de valeur

Cette dimension traduit la stratégie des réseaux productifs incluant les réseaux d'approvisionnement et de production interne et externe, ainsi que la stratégie des réseaux de vente ou de mise en valeur qui rendent disponibles les produits et services aux clients de l'entreprise. Le design de valeur inclut également l'ensemble des ressources et des capacités mobilisées pour la gestion de ces réseaux.

4.2.3 Génération de profits

La génération de profits est une dimension financière qui explique comment l'entreprise transforme la valeur créée et proposée en profits. Pour ce faire, il faudrait définir la structure de coûts, les investissements en termes de ressources et de capacités, ainsi que la définition de la stratégie de profit qui consiste à décider des marges de profit et ce pour chacun des produits.

4.3 Modélisation

L'étape de la modélisation permet d'optimiser les décisions stratégiques liées à l'investissement en bioproduits tout en prenant en considération l'ensemble des choix stratégiques de l'entreprise. Les paramètres déjà obtenus à l'issu des analyses effectuées vont être les intrants du modèle d'affaires à développer. Nous allons ensuite utiliser la programmation à nombres entiers mixtes pour décider des technologies à implanter, la séquence de l'implantation et/ou de l'expansion, ainsi que la proportion de l'activité conventionnelle de la production des pâtes et papiers dans la BRFI considérée, pour réaliser le modèle d'affaires.

Pour pouvoir évaluer la rentabilité de ces décisions stratégiques, nous serons amenés à prendre des décisions dites d'ordre tactique concernant les flux de matière première et des produits finis pour déterminer les revenus et les coûts d'opérations estimés suite à une décision d'ordre stratégique.

L'objectif est de maximiser la valeur actualisée nette des investissements à faire tout au long de l'horizon de planification considéré et d'optimiser ainsi le design du réseau de création de valeur des produits.

4.4 Sortie

La solution obtenue à l'issu de la résolution du modèle mathématique développé consiste en une « feuille de route » des investissements à faire en bioénergie et en biocarburants pour le cas d'une entreprise de pâtes et papier. Vu que nous considérons un modèle à multi-périodes qui tient compte des évolutions dans le temps de certains paramètres, la solution obtenue sera une solution dynamique face aux évolutions technologiques, économiques et politiques.

5 CONCLUSION

La biomasse est considérée comme l'une des sources d'énergie renouvelables les plus prometteuses pour réduire la dépendance aux énergies fossiles dans le futur. Ce travail se situe au niveau du design des réseaux de création de valeur des produits forestiers intégrant la bioénergie et les biocarburants, en particulier pour les entreprises des pâtes et papiers. À travers un processus de design, nous voulons proposer un outil d'aide à la décision aux décideurs et aux investisseurs de l'industrie forestière, qui soit capable d'évaluer les opportunités d'investissement en bioénergie et en biocarburants, permettant aux entreprises de ce secteur d'aboutir à un modèle d'affaires axé sur l'intégration de la biomasse et la diversification des bioproduits, et ce pour survivre à la crise et d'assurer leur pérennité.

La présente communication contribue par trois éléments essentiels. Premièrement, elle détaille une problématique d'actualité issue d'une situation industrielle réelle. Deuxièmement, elle présente une revue de littérature synthétique de travaux récents dans domaine de recherche jeune qui est en pleine émergence. Enfin, la principale contribution réside dans la proposition des composantes principales d'une méthodologie de design stratégique du réseau de création de valeur dédiée aux BRFI.

À l'issu de ce travail, l'étape suivante sera de collecter des données réelles qui seront indispensables pour l'obtention d'une solution fiable et qui répondront aux besoins réels du secteur. Nous procédons ensuite à la finalisation du processus de design et à la résolution du modèle mathématique développé ainsi qu'à l'analyse des résultats obtenus.

6 REMERCIEMENT

Nous tenons à remercier le consortium de recherche FORAC, ses partenaires et plus particulièrement le CRSNG, pour leur soutien financier à la réalisation de ce projet.

7 REFERENCES

- Ammar, O., (2006) Strategic and business models: between confusion and complementarities, 22th EGOS Colloquium in Bergen, Norway, July.
- Benjamin, J., Lileholm, R.H., Damery D., (2009) Challenges and Opportunities for the Northeastern Forest Bioindustry, *Journal of Forestry*.
- BIOCAP, (2008) Analyzing Ontario biofuel options: Greenhouse Gas Mitigation efficiency and Costs, Final Report.
- Canada Report on Bioenergy 2010, (2010) Climate change solutions.
- Chambost, V., Mcnutt, J., Stuart P.R., (2008) Guided tour: Implementing the forest biorefinery (FBR) at existing pulp and paper mills, strategic planning, *PULP & PAPER CANADA*, 109:7.
- Eksioglu, S.D., Acharya, A., Leightley, L.E., Arora, S., (2009) Analyzing the design and management of biomass-to-biorefinery supply chain, *Computers & Industrial Engineering*, 57, 1342-1352.
- European Commission, (1997) White Paper for a Community Strategy and Action Plan.
- FPAC Forest Products Association of Canada, (2010) Transforming Canada's forest products industry, Summary of findings from the Future Bio-pathways Project.
- Freppaz, D., Minciardi, R., Robba, M., Rovatti, M., Sacile, R., Taramasso, A., (2004) Optimizing forest biomass exploitation for energy supply at a regional level, *Biomass and Bioenergy*, 26, pp. 15-25.
- Frombo, F., Minciardi, R., Robba, M., Rosso, F., Sacile, R., (2009) Planning woody biomass logistics for energy production: A strategic decision model, *Biomass and Bioenergy*, 33, pp. 372-383.
- Huang, H.J., Lin, W., Ramaswamy, S., Tschirner, U., (2009) Process Modeling of Comprehensive Integrated Forest Biorefinery-An integrated Approach, *Appl Biochem Biotechnol*, 154:205-216.
- Huang, Y., Chen, C.W., Fan, Y., (2010) Multistage optimization of the supply chains of biofuels, *Transportation Research Part E*, 46, 820-830.
- Johnson, E., (2009) Goodbye to carbon neutral: Getting biomass footprints right, *Environmental Impact Assessment Review*, Volume 29, Issue 3, Pages 165-168.
- Lakovou, E., Karagiannidis, A., Vlachos, D., Toka, A., Malamakis, A., (2010) Waste biomass-to-energy supply chain management: A critical synthesis, *Waste Management*, Volume 30, Issue 10, Pages 1860-1870.
- Laser, M., Jin, J., Jayawardhana, K., Dale, B., Lynd, L.R., (2009a) Projected mature technology scenarios for conversion of cellulosic biomass to ethanol with coproduction thermochemical fuels, power, and/or animal feed protein, *Modeling and Analysis, Biofpr*, 3:231-246.
- Laser, M., Larson, E., Dale, B., Wang, M., Greene, N., Lynd, L.R., (2009b) Comparative analysis of efficiency, environmental impact, and process economics for mature biomass refining scenarios, *Modeling and Analysis, Biofpr*, 3:247-270.
- Lehmann-Ortega, L., Moingeon, B., (2005), Le 'Business Model' au service de la performance, *L'art du management de l'information*, n°19519, p.108.
- Mansoornejad, B., Chambost, V., Stuart, P., (2010) Integrating product portfolio design and supply chain design for the forest biorefinery, *Computers and Chemical Engineering* 34, 1497-1506.
- Martel, A., M'Barek, W., D'Amours, S., (2005) International Factors in the Design of Multinational Supply Chains: The Case of Canadian Pulp and Paper Companies, *Working Paper DT-2005-AM-3*, Centor.
- M'Barek, W., Martel, A., D'Amours, S., (2010) Designing Multinational Value-Creating Supply Chain Networks for the Process Industry, *CIRRELT-2010-51*.
- REFUEL, (2008) Eyes on the track, Mind on the horizon.
- Rekik, L., (2010) Analyse des investissements, *TÉLÉ-UNIVERSITÉ (UNIVERS)*.
- Rentizelas, A.A., Tatsiopoulos, I.P., Tolis, A., (2009) An optimization model for multi-biomass tri-generation energy supply, *Biomass and Bioenergy*, 33, pp. 223-233.
- Stuart, P.R., (2006) The forest biorefinery: survival strategy or Canada's P&P sector, *PULP & PAPER CANADA*, 107 (6):13-16.
- Svensson, E., Berntsson, T.Y., Stromberg, A.B., Patriksson, M., (2009) An optimization methodology for identifying robust process integration investments under uncertainty, *Energy Policy*, 37, 680-685.
- The state of Canada's forests, (2010) Annual report, Canada.
- Timothy, L.J., Sutherland, J.W., (2008) An integrated supply system for forest biomass, *Renewable Energy from Forest Resources in the United States*, Chapter 5.
- Viewls, (2005) Biofuel and Bioenergy implementation scenarios, Final report of VIEWLS WP5, modelling studies.
- Vito, (2009) 2nd Generation Biofuels and Trade An exploratory study, For IEA Task 40.
- Wit, M., Junginger, M., Lensink, S., Londo, M., Faaij, A., (2010) Competition between biofuels: Modeling technological learning and cost reductions over time, *Biomass and Bioenergy*, 34, 203-217.
- World Bio-trade Equity Fund Study, (2010) for IEA Task 40 bio-trade.