

Le développement d'un outil de quantification des gains liés aux symbioses industrielles

FINLAYSON Ashley^a, MILLETTE Louise^b, MAHEUX-PICARD Claude^a, SPREUTELS Laurent^b

^a CTTÉI (le Centre de transfert technologique en écologie industrielle)

3000, boul. de Tracy, Sorel-Tracy, Québec, Canada, J3R 5B9

^b École Polytechnique de Montréal, Département des génies civil, géologique et des mines

2900, boul. Édouard-Montpetit, Campus de l'Université de Montréal, 2500, chemin de

Polytechnique, Montréal, Québec, Canada, H3T 1J4

Résumé

La littérature démontre que les symbioses industrielles présentent divers gains économiques, environnementaux et sociaux, cependant une réticence à participer à de tels projets est observée, car la coopération exigée par les symbioses est en opposition avec la culture d'entreprises actuelle (Adoue, 2007). En ce moment, l'écologie industrielle manque d'un ensemble d'indicateurs de performance ainsi que des méthodes de quantification des gains largement acceptés (Lombardi et Laybourn, 2007; Seager et Theis, 2002) et par conséquent, les avantages de projets éco-industriels ne sont pas bien diffusés vers les entreprises (Chertow et Lombardi, 2005; Hodge, 2007; Karlsson et Wolf, 2008; Thomas et al., 2003). L'hypothèse est donc faite qu'en quantifiant mieux les avantages des symbioses, plus d'entreprises seraient incitées à participer à de tels projets. En reconnaissant cette lacune, le Centre de transfert technologique en écologie industrielle (CTTÉI) à Sorel-Tracy, Québec, a envisagé l'incorporation d'un système de calcul de gains dans son outil informatique, SynergieQuébec, qui effectue des maillages entre les matières offertes et demandées par les entreprises. L'objectif du projet est de contribuer à la quantification des gains des symbioses industrielles en développant un outil de calcul de gains pour inciter la participation des nouvelles entreprises et de renforcer l'engagement des entreprises déjà actives dans des symbioses. Un total de six indicateurs (un économique et cinq environnementaux) est retenu pour le calcul de gains. Les résultats des tests démontrent un taux de succès de 1,6 % lorsque le critère de succès est le calcul à la fois des gains économiques et des gains environnementaux (les deux types évalués par l'outil). Le taux de succès augmente à 25 % lorsque le critère de succès est le calcul d'au moins un seul type de gain (économique ou environnemental). Étant un classeur Excel, l'outil présente l'avantage de tri et visualisation des gains et peut donc agir comme un outil de priorisation de symbioses.

Le faible taux de succès de l'outil est attribué en partie à un manque de données fournies par les entreprises dans les annonces de SynergieQuébec (ce qui a de l'influence surtout sur le calcul des gains économiques), ainsi qu'aux limites de modélisation d'impacts (« les valeurs de référence ») pour chacune des 147 sous-catégories de matière dans SynergieQuébec. Les recommandations pour améliorer le taux de succès de l'outil incluent d'effectuer une recherche plus poussée des données économiques pour bonifier le calcul des gains économiques, de travailler en collaboration avec d'autres disciplines (surtout les sciences sociales et l'ACV) afin de développer une méthodologie plus équilibrée et finalement, de faire le suivi de l'usage envisagé des sous-produits acceptés dans les symbioses afin d'analyser les gains potentiels de

* Auteur/s à qui la correspondance devrait être adressée : ashley.finlayson@gmail.com

manière plus exhaustive. Malgré les limites de l'outil, il est utilisable dans sa forme actuelle et présente une option réelle pour la quantification des gains pour les entreprises.

Mots-clés : symbioses industrielles, calcul de gains, outil informatique

1. Introduction

1.1 Le contexte

Les synergies industrielles sont des échanges entre les entreprises qui ont pour objectif la réduction de la consommation des ressources ainsi que la génération de déchets et la promotion d'une gestion industrielle plus efficace. Les échanges portent sur les matières et l'énergie, les infrastructures, les services et l'information (Chertow et Ehrenfeld, 2012; Martin et al., 1998). Ce projet vise uniquement le premier, notamment les échanges de sous-produits. En cherchant à fermer la boucle de consommation de ressources, les symbioses industrielles souhaitent démontrer le potentiel d'engendrer plusieurs types de gains économiques, environnementaux et sociaux. Cependant le niveau d'engagement dans les projets de symbioses demeure faible actuellement. Ceci est dû en partie à la réticence des entreprises qui sont habituées à travailler d'une manière non coopérative (Chertow et Lombardi, 2005; Adoue, 2007). La participation est en outre entravée par le manque de documentation détaillant le calcul des retombés des projets existants ainsi que des méthodologies de quantification de gains bien établis (Chertow et Lombardi, 2005; Hodge, 2007; Karlsson et Wolf, 2008; Thomas et al., 2003). Globalement, un manque de théorie quantitative et d'exemples d'applications pratiques est reconnu dans la littérature sur l'écologie industrielle étant donné le jeune âge de la discipline (Chertow et Lombardi, 2005; Karlsson et Wolf, 2008; Thomas et al., 2003). Agarwal et Strachan (2006) commentent l'absence de méthodologie cohérente appliquée à la quantification des gains des symbioses industrielles. Par conséquent, le but du calcul gains est de contribuer à la quantification des gains des symbioses industrielle dans l'optique d'encourager la mise en place de ces dernières.

1.2 L'outil informatique du CTTÉI (SynergieQuébec)

L'approche d'incorporer un calcul de gains dans un outil informatique est inédite selon la revue de littérature. L'outil informatique SynergieQuébec contient les données d'échanges à évaluer et est accessible exclusivement aux entreprises participant à un des projets de symbioses industrielles coordonnées par le CTTÉI. Chaque projet, appelé groupe synergique, est géré par un animateur qui collecte les données à l'aide d'une fiche de collecte de données préparée par le CTTÉI et encodent les informations dans SynergieQuébec sous forme d'annonces, soit des offres, soit des demandes. Les champs obligatoires des annonces sont détaillés dans le Tableau 1. Suite à l'entrée de données, SynergieQuébec génère des maillages automatisés à partir des règles programmées dans l'outil basées sur les sous-catégories de matière (maillage entre les mêmes sous-catégories).

Tableau 1. Les champs obligatoires de SynergieQuébec

Nom du champ	Type de champ	Options de contenu
Type d'annonce ^a	boîte à cocher	« offre » ou « demande »
Catégorisation de la matière ^a	déroulant	20 catégories de matières
Sous catégorie de matière ^a	déroulant	147 sous-catégories de matière
Classification ^a	déroulant	6 classifications de matière (sécurité)
Quantité ^a	champ numérique	chiffre
Unités ^a	déroulant	15 unités de volume
Fréquence ^a	déroulant	5 fréquences d'élimination

2. Méthodes

2.1 Les critères de sélection des indicateurs

Afin de convenir au contexte du projet et d'être compatibles avec les éléments de SynergieQuébec, les critères de sélection dans le Tableau 2 sont mis de l'avant afin d'orienter la sélection d'indicateurs appropriés pour le calcul de gains.

Tableau 2. Les critères de sélection d'indicateurs du projet.

Critère	Raisonnement
Quantifiable à partir des données dans SynergieQuébec	Disponibilité des données. Pertinence des données : les données dans SynergieQuébec sont des données primaires qui proviennent directement des entreprises.
Quantifiable à partir des champs déroulants (les options prédéterminées par le CTTÉI) et des champs numériques	Automatisation : seules les données présentées de façon uniforme pourront être traitées par le calcul de gains (lecture des données). Reproductibilité : le calcul de gains pourrait générer des résultats au fil du temps avec l'ajout des nouvelles entreprises et données à SynergieQuébec.
Représente un enjeu pertinent pour les entreprises	Applicabilité aux parties prenantes qui sont visées par SynergieQuébec.

2.2 Le calcul des gains

Les gains économiques sont calculés à partir des données des entreprises uniquement, tandis que les gains environnementaux sont calculés à partir des données des entreprises et de celles de la base de données d'inventaire de cycle de vie (LCI), Ecoinvent (version 3).

2.2.1 Les gains économiques

Malgré les multiples indicateurs économiques retrouvés dans la littérature, un seul indicateur économique peut être calculé à partir des données disponibles dans SynergieQuébec. Les champs « Prix demandé / offert », qui représente le revenu de la vente de la matière résiduelle et « Coût de disposition par tonne » ou « Coût de disposition annuel » qui représente le coût d'élimination sont énumérés dans SynergieQuébec, par contre ils ne sont pas des champs obligatoires. L'indicateur nommé « gain économique » tient compte de la réduction en frais d'élimination qui est évitée par une entreprise qui décide d'offrir une matière résiduelle dans une symbiose industrielle, ainsi que le revenu provenant de la vente de cette matière (dans le cas où la matière est offerte à un prix).

2.2.2 Les gains environnementaux

Le calcul de gains évalue cinq indicateurs environnementaux, dont quatre proviennent de l'analyse cycle de vie (ACV). L'ACV présente plusieurs avantages, à savoir la capacité de modéliser les mécanismes environnementaux ainsi que son prévalence dans les analyses de quantification des gains et finalement son potentiel estimé par ceux qui travaillent dans l'écologie industrielle. Le choix des indicateurs environnementaux est effectué en sélectionnant une méthode d'analyse ACV, car chaque méthode comprend différents ensembles d'indicateurs. Impact 2002+ est retenue en fonction de sa prévalence dans la communauté internationale d'ACV (Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services, 2008; Quantis, 2009). En plus des quatre indicateurs environnementaux d'Impact 2002+, l'indicateur de quantité de matière mise en valeur est aussi retenu afin d'évaluer à la fois le volume de matière détourné de l'enfouissement et conservé dans la boucle d'utilisation. Les six indicateurs finaux retenus pour le calcul de gains, leurs unités et l'entreprise visée sont présentés dans le Tableau 3.

Tableau 3. Les indicateurs retenus pour le calcul de gains

Catégorie d'indicateur	Indicateur	Unités (par an)	Entreprise visée
Économique	Gain économique : réduction en frais d'élimination + revenu de la vente de la matière résiduelle	dollar canadien (\$)	Offreur
	Quantité de matière mise en valeur	tonnes	Offreur et demandeur
	Impact environnemental évité: santé humaine	DALY ^a	Offreur et demandeur
Environnemental	Impact environnemental évité: qualité des écosystèmes	PDF·m ² ·an ^b	Offreur et demandeur
	Impact environnemental évité: changement climatique	tonnes _{eq} -CO ₂ ^c	Offreur et demandeur
	Impact environnemental évité: ressources (non renouvelables)	GJ ^d	Offreur et demandeur

^a DALY (« Disability Adjusted Life Year ») ou années en bonne santé : une mesure du fardeau apporté par la maladie, exprimée en nombre d'années perdues à cause d'une mauvaise santé, d'une incapacité ou d'un décès prématuré (Humbert, Margni & Jolliet, 2005).

^b PDF·m²·yr (« Potentially Disappeared Fraction of Species per m² per Year ») ou fraction d'espèce disparue par m² par an : une mesure de la capacité des écosystèmes à soutenir la vie. (Humbert, Margni & Jolliet, 2005).

^c tonnes eq CO₂ : une mesure du potentiel de réchauffement climatique en masse équivalente de carbone (un équivalent carbone représente le potentiel de réchauffement, présenté comme une quantité donnée de CO₂ quel que soit le mélange de gaz à effet de serre) (IPPC, 2007).

^d GJ : énergie primaire non renouvelable. (Humbert, Margni & Jolliet, 2005).

2.2.3 Les gains sociaux

Les impacts sociaux sont absents des indicateurs retenus. Ceci est dû principalement au fait que les informations requises pour analyser la dimension sociale des symbioses industrielles ne sont pas saisies dans SynergieQuébec (la seule donnée sociale est le nombre d'employés des entreprises) et surtout au fait qu'une méthodologie pour convertir les flux techniques en impacts sociaux n'est pas encore élaborée pour l'écologie industrielle.

2.3 Les hypothèses du projet

Les hypothèses suivantes sont établies pour créer une base d'analyse uniforme pour le calcul de gains:

1. On évalue uniquement les échanges individuels (les synergies) entre les entreprises, qui sont les parties prenantes visées.
2. On suppose qu'une synergie permet d'éviter l'impact de la production primaire d'une matière équivalente et qu'une synergie est toujours un échange direct (le sous-produit sert à remplacer le même type de matière dans sa forme neuve). Vu que la plupart des entreprises du CTTÉI se situent au Québec, il est supposé que la production a lieu au Québec.
3. On n'évalue aucune étape supplémentaire (par exemple, le traitement de matière) car SynergieQuébec ne retient pas ces informations de manière systématique.
4. On évalue la matière de l'annonce d'offre.
5. On évalue la plus petite quantité de matière des deux annonces.

2.4 La modélisation des impacts environnementaux

La production susmentionnée est modélisée en faisant appel aux données d'Ecoinvent 3 et en effectuant les manipulations dans le logiciel ACV Simapro pour arriver à des impacts potentiels pour chacune des 147 sous-catégories de matière énumérée dans SynergieQuébec. Afin de

représenter une production de matière au Québec, le mélange énergétique d'un produit de référence (activité de production de matière) d'Ecoinvent est remplacé par un mélange québécois. L'ensemble des quatre catégories impacts (celles d'Impact 2002+) généré par matière est appelé une « valeur de référence ». Cette valeur de référence est multipliée par la quantité inférieure de matière à échangée dans une synergie pour arriver aux quatre impacts d'Impact 2002+. La quantité de matière mise en valeur correspond directement au volume de matière a échangée.

2.5 Les tests de l'outil

Les données provenant de deux groupes synergiques du CTTÉI, soit le groupe situé dans un parc industriel au Québec (groupe A) et l'autre dans une zone éco-entreprises en Ontario (groupe B) sont utilisées pour évaluer la performance de l'outil. Bien que le contexte régional joue un rôle important dans le succès des symbioses industrielles, l'effet de ceci sur les gains n'est pas abordé dans le projet. Le but poursuivi en testant l'outil auprès de groupes synergiques ayant des caractéristiques différentes est d'estimer la transférabilité de l'outil lorsqu'il est employé dans divers contextes.

3. Résultats et Discussion

L'outil créé prend la forme d'un classeur Excel, ce qui permet une visualisation et un tri des résultats, avec l'effet d'isoler les échanges les plus avantageux. Par conséquent, l'outil a une fonction secondaire de classer les symbioses par ordre de priorité. Les résultats des tests de l'outil en termes de gains quantifiés sont présentés dans le Tableau 4.

Tableau 4. Les résultats (gains économiques et environnementaux totaux) des tests du calcul de gains

	Groupe synergique A	Groupe synergique B	Total
Nombre de synergies identifiées	111	17	128
Nombre de synergies quantifiées	28	4	32
Gain économique (\$)	79000	0	79000
Quantité de matière mise en valeur (tonnes)	88606	230	88836
Impact environnementaux évité : santé humaine (10^{-3} DALY)	16622	473	17094
Impact environnementaux évité : qualité des écosystèmes (PDF*m ² *an)	2422033	169431	2591463
Impact environnementaux évité : changement climatique (tonnes CO ₂ éq)	28614	276	28890
Impact environnementaux évité : ressources non renouvelables (GJ)	510032	6563	516595

3.1 Le taux de succès

Le taux de succès global du calcul de gains lorsque le critère de succès est le calcul des deux types de gains, à la fois économiques et environnementaux, est 1,6 %. Le calcul de gains réussit à générer au moins un type de gains pour 25 % des synergies. Il est observé que les gains environnementaux sont calculés plus que sept fois plus souvent que les gains économiques (le premier avec un taux de succès de 23,4 %).

3.2 Les limites de l'outil

Le faible taux de succès de l'outil est attribué en partie à un manque de données fournies par les entreprises dans les annonces de SynergieQuébec qui sont à la base des calculs, ainsi qu'aux limites de modélisation des valeurs de référence. La première limite s'applique au calcul

des gains économiques et environnementaux, tandis que la deuxième est exclusive aux gains environnementaux. Une analyse de ces limites est présentée dans le Tableau 5.

Tableau 5. L'analyse des limites du calcul de gains.

	Groupe synergique A	Groupe synergique B	Total
Nombre de synergies avec un manque de valeur de référence modélisée	33 (29,7 %)	1 (5,9 %)	34 (26,6 %)
Nombre de synergies avec un manque d'informations dans les annonces (données des entreprises)	74 (66,7 %)	12 (70,6 %)	86 (67,2 %)
Nombre de synergies entravées exclusivement par une quantité de matière fixée à zéro	74 (66,7 %)	10 (58,8 %)	84 (65,6 %)
Nombre de synergies entravées exclusivement par une mauvaise conversion d'unités de quantité	0 (0 %)	2 (11,8 %)	2 (1,6 %)
Nombre de synergies avec un manque de valeur de référence modélisée et un manque d'informations dans les annonces (données des entreprises)	24 (21,6 %)	0 (0 %)	24 (18,8 %)

3.3 Discussion : les gains économiques

Le calcul des gains économiques s'effectue à partir uniquement des données économiques saisies par SynergieQuébec et étant donné que ces champs sont rarement remplis (ce ne sont pas des champs obligatoires), l'outil génère des gains économiques pour seulement 3,1 % des synergies de tests. En raison de ceci, ainsi que du manque de données des entreprises (qui empêche le calcul de gains environnementaux encore plus que l'absence des valeurs de référence), il est fortement recommandé que les entreprises soient encouragées à fournir plus d'informations (à savoir le prix demandé / offert, le coût d'élimination par tonne ou coût d'élimination annuel et la quantité de matière). Toutefois, obtenir davantage de données directement des entreprises peut être difficile. En outre, il pourrait dissuader la participation des entreprises aux projets de symbioses si la collecte de données requise est jugée trop exigeante, ce qui est en conflit avec l'objectif du projet. Par conséquent, le calcul de gains pourrait profiter d'une intégration de valeurs de références financières, surtout des coûts d'enfouissement, qui s'avèrent plus standardisés que les prix de matières premières, déjà recherchés sans succès pour l'outil. Plus de gains économiques pourraient être générés par le calcul de gains dans son état actuel en créant un lien monétaire entre les tonnes équivalentes de CO₂ et le Système de plafonnement et échange de droits d'émission de gaz à effet de serre (SPEDE), récemment mis en vigueur au Québec (Gouvernement du Québec, 2013).

3.4 Discussion : les gains environnementaux

Quant au calcul des gains environnementaux, 36,1 % des sous-catégories de matières de SynergieQuébec ne s'ont pas associés avec une valeur de référence, soit, car la matière qu'elle représente est trop générale dans sa description pour être associée avec une matière équivalente dans la base de données LCI, Ecoinvent (56,6 %), soit car la matière équivalente est absente d'Ecoinvent (43,4 %). Sont inclus dans cette dernière catégorie les produits composés qui nécessitent une modélisation plus complexe faisant appel à plusieurs produits de références d'Ecoinvent (11,3 %), les matières qui ne sont pas présentes dans Ecoinvent à cause d'une incomplétude de la base de données (13,2 %) et finalement les matières pour lesquelles il n'existe aucune matière première équivalente (18,9 %). Pour les sous-catégories de SynergieQuébec qui ne sont pas très précises, il est recommandé que le CTTÉI choisisse une matière pour représenter l'ensemble des matières souvent retrouvées dans la sous-catégorie dans leurs projets. Quant aux produits complexes, la réalisation des ACV supplémentaires est proposée comme solution. Pour les matières qui ne sont pas documentées

dans la version actuelle d'Ecoinvent, il faudrait attendre jusqu'à ce qu'elles soient incluses dans les mises à jour de la base de données. La question de matière équivalente est particulièrement problématique quant aux symbioses industrielles. L'hypothèse de base du projet propose que les synergies sont des échanges directs en raison des données limitées dans SynergieQuébec, cependant, ceci omet l'évaluation des échanges de mutualisation et de substitution où un sous-produit sert à remplacer une matière de différent type. Pour être en mesure d'analyser ses échanges, l'information sur l'utilisation envisagée pour la matière acceptée est requise. Pour surmonter cette limitation, un système de maillage par besoin où les entreprises précisent la fonction de la matière recherchée plutôt que le type de matière dans SynergieQuébec est recommandé. Cette option permettrait non seulement l'analyse de plusieurs sortes d'échanges symbiotiques, incluant celles de « upcycling » qui réemploie les déchets dans une optique de valeur ajoutée, mais elle permettrait également l'identification d'un nombre additionnel de maillages qui n'auraient pu être identifiés par les règles de maillages actuelles de SynergieQuébec.

3.5 Autres recommandations et réflexions

Globalement, le calcul de gains génère des résultats à partir de très peu d'informations (le type et la quantité de matière), ce qui présente des défis, notamment par rapport à l'incapacité de l'outil de capturer un plus grand nombre de gains économiques, aussi bien que les gains environnementaux liés aux échanges de matières autres que les échanges directs. Afin de retenir plus d'informations relatives aux projets de symbioses, la création d'une base de données historique est proposée afin de faciliter la quantification des gains au futur. En plus de recueillir des données économiques et des informations sur les utilisations et les traitements des sous-produits, les informations comme le temps requis pour concrétiser un échange, pourraient également être retenus dans la base de données. Éventuellement ces tendances pourraient être intégrées dans le calcul de gains dans le but de l'améliorer en un outil dirigé davantage vers l'optimisation. Les projets de symbioses existants démontrent que les activités et les relations qui s'établissent au sein des réseaux symbiotiques se développent au cours de temps, soulignant de nouveau l'importance du suivi afin d'analyser les projets de façon exhaustive. Il est recommandé que les futures analyses portent sur les gains synergétiques de l'ensemble du réseau créé par les symbioses industrielles, ainsi que les retombées pour les divers acteurs affectés. Le suivi des projets est particulièrement important lorsqu'il s'agit des gains sociaux, qui sont omis du projet en raison du défi méthodologique présenté par la transformation des flux techniques en impacts sociaux quantifiables. Une analyse de la perspective des sciences sociales est suggérée pour bonifier l'outil par l'ajout du calcul des gains sociaux. L'intégration des connaissances des chercheurs dans l'ACV est aussi encouragée pour affiner la méthodologie du projet.

4. Conclusion

Le calcul de gains semble s'appliquer également à divers groupes synergiques quel que soit leur profil et par conséquent, l'outil pourrait être employé dans le calcul de gains d'autres groupes synergiques dans le futur, comme visé par l'objectif du projet. Toutefois, le projet met en évidence que les synergies, qui offrent des avantages économiques, environnementaux et sociaux à une gamme de parties prenantes, pourraient bénéficier d'une analyse de gains qui s'appuie sur des connaissances diversifiées et davantage de suivi afin de produire plus de résultats plus pertinents pour davantage d'acteurs et inciter leur participation.

Références

- Adoue, C. (2007). *Mettre en œuvre l'écologie industrielle*. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Agarwal, A. et Strachan, P. (2006). Literature Review on Eco-industrial Development Initiatives Around the World and the Methods Employed to Evaluate Their Performance/Effectiveness. The Robert Gordon University. [En ligne] Disponible :

- <http://www2.rgu.ac.uk/abs/National%20Industrial%20Symbiosis/Report%20for%20Databuild%20New.pdf> . [21 septembre 2014].
- Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services (2008). *Rapport final analyse du cycle de vie comparative d'ampoules électriques : incandescentes et fluorescentes compactes*, [Enligne], Disponible : http://www.ciraig.org/pdf/ACV_Ampoules_Rapp_Final.pdf [21 septembre 2014].
- Chertow, M.R. et Lombardi, D.R. (2005). 'Quantifying Economic and Environmental Benefits of Co-Located Firms', *Environmental Science and Technology* [Électronique], vol.39, no.17, pp.6535-6541, disponible : ACS 10.1021/es050050+ [21 septembre 2014].
- Chertow, M. et Ehrenfeld, J. (2012). 'Organizing Self-Organizing Systems: Toward a Theory of Industrial Symbiosis', *Journal of Industrial Ecology* [Électronique], vol.16, no.1, pp.13-27, disponible : Wiley 10.1111/j.1530-9290.2011.00450.x [21 septembre 2014].
- Gouvernement du Québec (2013). *Règlement concernant le système de plafonnement et d'échange de droits d'émission de gaz à effet de serre du Québec (SPEDE). Description technique*. Québec : Bibliothèque et Archives nationales du Québec.
- Hodge, M.M. (2007). *Quantifying Potential Industrial Symbiosis : A Case Study for Brick Manufacturing*. [Enligne], Disponible : <http://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/41225/214329002.pdf?...1> [21 septembre 2014].
- Humbert, S. Marni, M. et Joliet, O. (2005). *Impact 2002+ : User Guide* [Enligne], Disponible : http://www.sph.umich.edu/riskcenter/joliet/IMPACT2002+/IMPACT2002+_UserGuide_for_v2.1_Draft_October2005.pdf [15 octobre 2013].
- IPPC (2007). *Climate Change : Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Enligne], Disponible : http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_frontmatter.pdf [21 septembre 2014].
- Karlsson, M. et Wolf, A. (2008). 'Using an optimization model to evaluate the economic benefits of industrial symbiosis in the forest industry', *Journal of Cleaner Production*, [Électronique], vol.16, no.14, pp.1536-1544, disponible : Elsevier/Science Direct 10.1016/j.jclepro.2007.08.017 [21 septembre 2014].
- Lombardi, D.R. et Laybourn, P. (2007). *Industrial Symbiosis in Action (Report on the Third International Industrial Symbiosis Research Symposium)*. [Enligne], Disponible : http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Industrial_Symbiosis.pdf [21 septembre 2014].
- Martin, S.A., Cushman, R.A., Weitz, K.A., Sharma, A., Lindrooth, R.C. (1998). 'Applying Industrial Ecology to Industrial Parks: An Economic and Environmental Analysis', *Economic Development Quarterly*, [Électronique], vol.12, no.3, pp.218-237, disponible : Sage Journals 10.1177/089124249801200304 [21 septembre 2014].
- Quantis (2009). *Impact 2002+ User Guide*, [Enligne], Disponible : http://www.quantis-intl.com/pdf/IMPACT2002_UserGuide_for_vQ2.21.pdf [21 septembre 2014].
- Seager, T.P. et Theis, T.L. (2002). 'A Uniform Definition and Quantitative Base for Industrial Ecology', *Journal of Cleaner Production*, [Électronique], vol.10, no.3, pp.225-235, disponible : Elsevier/Science Direct 10.1016/S0959-6526(01)00040-3 [21 septembre 2014].
- Thomas, V., Theis, T., Lifset, R., Grasso, D., Kim, B., Koshland, C. et Pfahl, R. (2003). 'Industrial Ecology : Policy Potential and Research Needs', *Environmental Engineering Science*, [Électronique], vol.20, no.1, pp.1-9, disponible : <http://superfund.berkeley.edu/pdf/239.pdf> [21 septembre 2014].

Remerciements

J'aimerais remercier Jean-François Desgroseilliers, ainsi que toute l'équipe du CTTÉI pour leur soutien continu au cours de ce projet. Je voudrais aussi remercier le CIRAIG pour m'avoir accordé l'accès aux outils d'ACV. Remerciements particuliers à Pablo Tirado et Bo Weidema pour leur assistance technique.