

Cahiers scientifiques du CIRAIG

La publication des Cahiers scientifiques du CIRAIG est rendue possible grâce à l'aide financière de Valorisation Recherche Québec (VRQ), du Fonds québécois de la recherche sur la nature et les technologies (FQRNT) et du Fonds québécois de la recherche sur la société et la culture (FQRSC)

Fonds de recherche
sur la nature
et les technologies
Québec

Fonds de recherche
sur la société
et la culture
Québec

 VRQ
Valorisation Recherche Québec

LUCAS: Une méthode d'évaluation des impacts du cycle de vie spécifique au contexte canadien

Laurence Toffoletto

Analyste

CIRAIG – École Polytechnique de Montréal

1. Introduction

L'analyse de cycle de vie (ACV) est un outil de gestion environnementale et de mise en œuvre du développement durable. Malgré la croissance de son utilisation depuis plusieurs années, l'ACV au Canada reste tributaire des méthodes d'évaluation des impacts du cycle de vie (EICV) développées en Europe ou aux États-Unis. En effet, il n'existe pas de méthode EICV spécifique aux conditions environnementales canadiennes. Cette absence de méthode ne posait pas de problème jusqu'à il y a quelques années, puisque jusqu'au milieu des années 90, aucune méthode EICV n'intégrait de caractéristiques spatiales spécifiques aux frontières géographiques de l'étude. Ainsi, que l'ACV soit réalisée en Europe ou en Amérique, la méthode utilisée était la même. Ceci ne génère pas d'incohérences scientifiques pour les impacts globaux (concernent les impacts sur l'environnement ayant des répercussions à l'échelle globale) dont les modèles sont les mêmes quel que soit le lieu d'émission. Ainsi pour les changements climatiques, la diminution de l'ozone stratosphérique et la consommation de ressources non renouvelables, les modèles de caractérisation sont internationalement reconnus et identiques dans toutes les méthodes ACV.

Cependant, il est vite apparu à la communauté scientifique que pour certaines catégories d'impacts, les conditions environnementales du milieu influent sur le niveau de l'impact potentiel évalué. Les catégories d'impacts nécessitant des données environnementales du milieu sont les catégories régionales et locales. Les catégories régionales regroupent les impacts sur l'environnement ayant des répercussions à l'échelle régionale comme : la formation de photo-oxydants, l'eutrophisation ou l'acidification. Les catégories locales, quant à elles, sont caractérisées par des impacts ayant des répercussions dans l'environnement immé-

diat de la source d'impact : toxicité humaine, écotoxicité, utilisation des terres. Pour les impacts régionaux et locaux, de nombreuses recherches font état de la nécessité de tenir compte des conditions spatiales (Ross et al., 2002, Potting et al., 2000, Potting et al., 1998, Tolle, 1997, Owens, 1997). En effet, pour un même type d'émission, les effets sont différents selon la zone réceptrice. Intégrer des valeurs de paramètres physiques (précipitations, courant atmosphériques, etc.), chimiques (capacité tampon des sol, etc.) et biologiques (présence de flore microbienne dans le sol, etc.) liés au site permet une diminution des incertitudes de l'étude ACV (Owens, 1997). Les modèles de caractérisations (modèles permettant, pour chaque catégorie d'impacts, la conversion des résultats de l'inventaire en unités communes et leur agrégation au sein d'une même catégorie) utilisés pour les catégories locales et régionales doivent donc tenir compte des caractéristiques des milieux récepteurs. Il n'existe pas encore de consensus international sur les modèles à utiliser pour ces catégories d'impacts. Trois grands groupes de recherche se sont intéressés à la problématique de la spécificité géographique des catégories d'impacts régionales et locales :

L'approche européenne est la plus avancée : des recherches poussées sur des catégories d'impacts spécifiques ont été menées. Ainsi, il existe aujourd'hui, pour une même catégorie d'impacts, plusieurs propositions de modèles de caractérisation tenant compte des spécificités géographiques. CML, EDIP, Eco-Indicator 99, Impact 2002 + et la très récente méthode EDIP 2003 sont parmi les méthodes étudiées pour le développement de la méthode spécifique au contexte canadien.

La méthode américaine TRACI développée par l'US EPA propose une différenciation géographique par état américain (Bare et al., 2003, Norris, 2003). La spécificité géo-

graphique est intégrée uniquement dans les catégories régionales.

La méthode japonaise LIME développée par le AIST, institut de recherche national des sciences industrielles et technologie, est à ce jour une méthode encore en développement avec un degré de sophistication très élevé.

La majorité de ces méthodes EICV ont une approche « problèmes » pour la caractérisation des impacts. Ce type de modèle se définit par la caractérisation d'impacts environnementaux entrant en jeu plutôt que le dommage dans la chaîne cause-effet (Bare et al., 2000). Un problème est donc défini par sa position par rapport au dommage dans le mécanisme environnemental. Le dommage est considéré comme l'impact environnemental provoquant des dommages physiques et qui correspond à des valeurs sociétales (Udo de Haes et al., 2002). Une autre définition est que le dommage représente un changement de la qualité de l'environnement (Jolliet et al., 2003). Dans les 3 dernières années, quatre méthodes EICV spécifiques au contexte géographique ont été publiées (Tableau 1).

Les enjeux d'une méthode EICV canadienne sont nombreux. Elle permettrait une optimisation des ACV réalisées au Canada, où l'évaluation des impacts serait plus précise et ne serait plus tributaire des méthodes européennes ou américaines. De plus, le Canada et ses divers groupes de recherche pourraient jouer un rôle de premier plan dans la recherche en ACV. Le développement d'une méthode EICV complète comprend, en plus des modèles de caractérisation, des facteurs de normalisation et de pondération propres aux spécificités canadiennes. Les facteurs de normalisation seront issus de données d'émissions et de la démographie canadienne qui seraient facilement identifiables. En ce qui concerne les facteurs de pondération, ils seront issus

Tableau 1: Les quatre méthodes EICV spécifiques publiées récemment

Méthode EICV	Catégories d'impact	Degré de spécificité	Modèle orienté problème ou dommage ?	Références
EDIP2003	8	Pays européens	Problèmes	Hauschild et al., 2003
IMPACT2002+	14	Pays européens	Problèmes ou dommages	Jolliet et al., 2002
LIME	11	Régions japonaises	Dommages	Itsubo et al., 2003
TRACI	12	États Américains	Problèmes	Bare et al., 2003

(Suite de la page 1)

d'une analyse multicritères à l'aide d'une méthode qui reste à définir. Le calcul de ces facteurs de normalisation et de pondération fait partie de projets en cours au sein du CIRAI.

2. Intégration des spécificités géographiques du milieu

Le niveau des impacts causés par une émission dépendent de trois éléments (Hauschild et al., 2003) :

1. la quantité émise;
2. les propriétés de la substance émise;
3. les propriétés des milieux émetteurs (source) et récepteurs.

Les informations relatives à la quantité sont contenues dans l'inventaire de l'analyse de cycle de vie. Les propriétés des substances concernent ses caractéristiques physico-chimiques et biologiques (sa toxicité et sa biodégradabilité). Les propriétés des milieux sont spécifiées par les conditions environnementales des lieux d'émission et de réception (eg, la présence simultanée d'autres substances ou stressés dans l'environnement qui peuvent interagir avec la substance émise créant des effets additifs, synergiques ou antagonistes) (Hauschild et al., 2003). Ces propriétés des milieux ont souvent été omises dans les évaluations des impacts du cycle de vie (EICV) pour deux raisons principales (Hauschild et al., 2003) :

- les procédés inclus dans le système de produit peuvent être localisés dans différentes parties du monde dont les conditions environnementales locales sont inconnues;
- les émissions peuvent également être réparties dans le temps.

De plus, puisque les caractéristiques spatiales sont intégrées dans les analyses de risques, il a souvent été avancé qu'il n'était pas nécessaire pour l'ACV d'inclure des caractéristiques spécifiques au site et qu'elle pouvait donc rester dans un cadre générique. L'ACV est en effet perçue comme un outil de prévention de la pollution et non pas

comme un outil d'évaluation des risques environnementaux spécifique au site. L'intérêt d'intégrer des paramètres spatiaux dans les modèles de caractérisation d'évaluation des impacts du cycle de vie est, cependant, très documenté depuis quelques années. Ce regain d'activité en ce qui a trait à la spéciation géographique des méthodes EICV peut être attribuable à deux facteurs :

- les critiques relatives à la simplification excessive des modèles de caractérisation;
- les informations empiriques qui indiquent que la localisation des émissions peut contribuer à hauteur de plusieurs ordres de grandeur à la valeur des facteurs de caractérisation.

Cependant, une nouvelle problématique intervient lorsque des caractéristiques géographiques sont intégrées dans l'évaluation des impacts. En effet, des émissions d'un même inventaire peuvent provenir de nombreux sites différents. Selon Norris (2003), si un nombre limité de sites est à l'origine de ces émissions, la prise en compte des conditions géographiques est alors envisageable et souhaitable. En revanche, si des multitudes de sites sont inclus dans l'inventaire, l'intégration des caractéristiques spatiales de tous ces sites devient une tâche très complexe, rendant la réalisation de la phase d'EICV très longue. Ainsi l'intérêt de la spatialisation de l'EICV dépend de la structure de l'inventaire (Norris, 2003). Par structure, Norris entend le minimum de sites à considérer pour inclure un pourcentage élevé des émissions du cycle de vie du produit ou procédé étudié. En plus de la structure de l'inventaire, la variabilité régionale des facteurs de caractérisation indique la variation du niveau d'incertitudes résultant d'une méthode EICV générique ou spécifique au site.

Un autre point à considérer dans le développement de facteurs de caractérisation spécifiques au site est leur applicabilité dans plus d'une ACV. En effet, développer des facteurs de caractérisation pour un site en particulier rend leur utilisation potentielle dans d'autres études très limitée. En revanche, si ces facteurs sont valables pour une étendue géographique plus large (telle qu'une région

ou une province), ils pourront être utilisés pour d'autres études.

3. LUCAS : une méthode EICV adaptée aux conditions canadiennes

LUCAS (LCIA method Used for Canadian Specific context), la méthode développée au sein du CIRAI, est le résultat de la sélection et de l'adaptation de modèles de caractérisation des impacts du cycle de vie déjà existants et prenant en compte des caractéristiques géographiques. Cette sélection a fait l'objet d'un rapport disponible au centre documentaire du CIRAI. Cette méthode a été développée en fonction de 2 critères :

- la sophistication des modèles de caractérisation;
- la disponibilité des données nécessaires pour le Canada.

En effet, certains modèles très sophistiqués nécessitaient des données inexistantes au Canada et ont donc été écartés. Ainsi LUCAS se caractérise par une approche problème tenant compte des caractéristiques géographiques des écozones. Les modèles sont toutefois valables pour toute zone géographique; il suffit d'y intégrer les données nécessaires pour chaque zone.

3.1 Choix d'une échelle de résolution spatiale : les écozones

Le Canada possède une mosaïque d'écosystèmes distincts, dont bon nombre sont uniques au monde. Il y a 20 grands écosystèmes - écozones - au Canada : 15 écozones terrestres et 5 écozones marines. Les écosystèmes marins couvrent certaines parties de trois grands océans - Pacifique, Atlantique et Arctique. Les écozones terrestres couvrent en grande partie une vaste gamme de types d'écosystèmes forestiers, arctiques et de taïga. Le Canada compte également une représentation significative des écosystèmes qui étaient autrefois des zones de prairies indigènes. Il existe des normes et des lignes directrices pour décrire les écosystèmes (Wiken, 1986). Il faut toutefois considérer les écozones au cas par cas. Il s'agit généralement de grandes unités d'une superficie supérieure à 200,000 km². La plupart des caractéristiques définissant les écozones sont des facteurs naturels : reliefs, sols, hydrographie, végétation, climat.

3.2 Sélection des catégories d'impact

La première étape dans le développement d'une méthode EICV consiste à déterminer les catégories d'impacts qui seront étudiées dans l'ACV, ainsi que les indicateurs de catégories et les modèles de caractérisation qui seront utilisés à cet effet. Le choix des catégories à inclure dans une méthode se fait généralement selon quatre critères (Bare et al., 2002) :

(Suite page 3)



(Tiré d'Environnement Canada, 2005)

Figure 1 : Les 15 écozones terrestres canadiennes

Selon les objectifs et le champ de l'étude, d'autres catégories d'impacts peuvent être ajoutées à la liste de base proposée par le SETAC (Udo de Haes et al., 2002) et présentée au tableau 2. Ces catégories additionnelles sont par exemple, l'environnement de travail, le bruit, l'odeur, etc. Ces catégories sont néanmoins très difficiles à caractériser et sont donc très rarement intégrées dans les méthodes.

Pour LUCAS, toutes les catégories du tableau 2 à l'exception de la diminution des ressources biotiques ont été caractérisées. Les modèles des ressources biotiques sont encore très critiqués et il a donc été décidé de ne pas les inclure dans la méthode.

considérés. Le produit de ces deux facteurs donne le facteur de caractérisation (FC).

$$FE \times FD = FC$$

Les modèles de caractérisation proposant une régionalisation de ces 2 facteurs ont été privilégiés. Cependant, dans de nombreux cas, seul le modèle de devenir intègre des caractéristiques géographiques et la régionalisation de l'effet a été effectuée en intégrant des facteurs de vulnérabilité. Ces facteurs de vulnérabilité développés pour chaque écozone prennent en compte les différents paramètres hydrogéologiques, physiques et chimiques qui rendent compétent de la sensibilité d'une écozone (pour le sol et les eaux souterraines) à une pollution diffuse (Meinardi et al., 1994) Un aperçu de LUCAS est présenté au tableau 3.

4. Discussion et conclusion

LUCAS fournit des facteurs de caractérisation pour chaque écozone canadienne et ce pour 10 catégories d'impact. Les facteurs ne sont encore pas disponibles pour toutes les écozones mais seront développés au fur et à mesure des études de cas traitées au sein du CIRAI. Les modèles seront également améliorés au niveau de la spécificité de certains facteurs empiriques utilisés dans les modèles de caractérisation. L'originalité de LUCAS réside essentiellement dans l'échelle de résolution sélectionnée. Au contraire des autres méthodes EICV actuellement disponibles, qui utilisent des résolutions administratives (les pays européens pour TRACI) ou arbitraires (carrés de 15km² pour l'eutrophisation dans EDIP2-003), LUCAS prend en compte une réalité géographique et écologique. Les prochains développements concernent les étapes d'agrégation et de pondération des catégories d'impacts qui permettront à l'utilisateur, s'il le désire, de calculer un score unique. L'intégration des incertitudes reliées aux facteurs de caractérisation (incertitudes sur les modèles mais aussi sur les données) fait également partie des améliorations qui devront être étudiées.

La spécificité géographique des facteurs reste un facteur controversé. En effet, que faire lorsque les données d'inventaire proviennent de différentes régions du monde, quelle méthode sélectionner ? L'initiative conjointe de l'UNEP et du SETAC tente de répondre à cette problématique à travers les travaux de ses « task forces ». L'hypothèse de base sur laquelle repose le développement des facteurs de caractérisation spécifiques est que les données d'inventaire sont également spécifiques et ont une échelle de résolution adaptable à celle des données de caractérisation. Cette condition est rarement totalement respectée dans les ACV canadiennes, les bases de données d'inven-

(Suite de la page 2)

- Est-ce que ces catégories sont communes dans la littérature ACV ?
- Est-ce que ces catégories sont consistantes avec les règlements et politiques du pays ?
- Quel est l'état de développement et de sophistication des modèles de caractérisation associés ?
- Quelle est la valeur associée par la société ?

3.3 Modèles de caractérisation sélectionnés

Après avoir sélectionné les catégories d'impact qui composeront la méthode, un modèle de caractérisation a été choisi pour chacune des catégories retenues. Les modèles de caractérisation sont des modèles mathématiques permettant l'agrégation des résultats de l'analyse de l'inventaire en unités communes à l'intérieur d'une catégorie donnée d'impacts. Pour la sélection de chaque modèle, un modèle d'effet (donnant un facteur d'effet, FE) et un modèle de devenir (donnant un facteur de devenir, FD) ont été

Tableau 2 : Catégories d'impacts les plus couramment utilisées en ACV (approche problème)

	Catégories d'impacts	Indicateurs de catégories	Unité de l'indicateur
Impacts globaux	Changement climatique	Forçage radiatif moyen	kg CO ₂ éq.
	Destruction de la couche d'ozone	Diminution de la couche d'ozone	kg CFC-11 éq.
	Extraction des ressources biotiques	Diminution des ressources	kg
	Extraction des ressources abiotiques	Diminution des ressources	kg Sb éq.
Impacts régionaux	Smog photochimique	Formation d'ozone	kg C ₂ H ₄ éq.
	Acidification	Libération de protons	kg SO ₂ éq.
	Eutrophisation (aquatique/terrestre)	Somme stœchiométrique des nutriments	kg PO ₄ éq. kg NO ₃ éq.
Impacts locaux	Écotoxicité	Effets écotoxiques mesurables	kg 1,4dichlorobenzène éq. m ³ /g
	Toxicité humaine	Effets toxiques mesurables	kg 1,4dichlorobenzène éq. m ³ /g
	Utilisation des terres	Diversité des espèces, aspects des écosystèmes, NPP	m ²

(Tiré de Bare et al., 2003)

(Suite page 4)

Tableau 3: Résumé de la méthode LUCAS

Catégories d'impact	Modèle	Paramètres spatiaux canadiens	Échelle de résolution
Changement climatique	IPCC	N/A	N/A
Réduction de la couche d'ozone	WMO	N/A	N/A
Acidification	TRACI	- Déposition atmosphérique Facteurs de vulnérabilité Émissions de substances acidifiantes	Écozones
Eutrophisation aquatique et terrestre	EDIP 2003	Écoulement et répartition des précipitations et nutriments Facteurs de vulnérabilité	Écozones
Formation d'ozone photochimique	TRACI	Déposition atmosphérique Émission des précurseurs de l'ozone	Écozones
Écotoxicité / Toxicité	Impact2002	Précipitations Population Températures etc...	Écozones
Utilisation des terres	LCAGAPS	- Biodiversité	Écozones
Ressources abiotiques	Eco-Indicator 99	N/A	N/A

(Suite de la page 3)

taire étant encore peu développées. Il apparaît ainsi important que des efforts soient menés dans le domaine de l'inventaire pour que LUCAS soit utilisé dans le meilleur contexte possible.

5. Références

- Bare J., Pennington D., Hofstetter, P. and Udo de Haes, H. (2000). Problems versus Damages: The Sacrifices and Benefits. Life Cycle Impact Assessment Workshop, Brighton, U.K.
- Bare J., Norris G., Pennington D., McKone T. (2003). TRACI, The Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impact. *J. Ind Ecol.* 6(3-4), pp.49-78
- Environnement Canada. (2005). *Canadian Ecozones*. [En ligne]. <http://www.ccea.org/ecozones> (Page consultée le 30 mars 2005).
- Hauschild, M., Potting, J. (2003). Spatial differentiation in life cycle impact assessment – the EDIP2003 methodology. Guidelines from the Danish Environmental Protection Agency. Report Technical University of Denmark. 146 pp
- Jolliet, O., Margni, M., Charles, R., Humbert, S., Payet, J., Rebitzer, G., Rosenbaum, R. (2003). Impact 2002+: a new life cycle impact assessment methodology. *Int. J. LCA*. 8(6), pp 324-330
- Meinardi, C.R., Beusen, A.H.W., Bollen,

M.J.S, Klepper, O., Willems, W.J. (1995). Vulnerability to diffuse pollution and average nitrate contamination of European soils and groundwater. *Wat.Sci. Tech.* 31(8), pp 159-165

Norris, G. (2003). Impact characterization in the tool for the reduction and assessment of chemical and other environmental impacts – Methods for acidification, eutrophication and ozone formation. *Journal of Industrial Ecology*. 6(3-4), pp 79-100

Potting J., Schopp W., Blok K, Hauschild M. (1998). Life cycle impact assessment of acidification. *J Ind Ecol*. 2(2), pp 63-87

Potting, J. (2000). *Spatial differentiation in LCIA*. PhD thesis. Utrecht University, Germany.

Ross S., Evans D. (2002). Excluding Site-Specific Data from the LCA Inventory: How this Affects Life Cycle Impact Assessment. *Int. J. LCA*. 7(3), pp 141-150

Tolle D. (1997). Regional scaling and normalization in LCIA. *Int. J. LCA*. 2(4), pp 197-208.

Owens, J.W. (1997). Life-Cycle Assessment: Constraints on Moving from Inventory to Impact Assessment. *J. Ind. Ecol.* 1(1), pp. 37-49

Udo de Haes, H.A., Finnveden, G., Goedkoop, M., Hauschild, M., Hertwich, E., Hofstetter, P., Jolliet, O., Klopffer W., Krewitt, W., Lindeijer, E., Muller-Wenk, R., Olsen, S., Pennington, D., Potting, J., Steen, B. (2002). *Life-cycle impact assessment: striving towards best practice*. Published by Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), Pensacola, 2002.

Wiken, E.B. (1986). Les écozones terrestres du Canada, Classification écologique des terres, série no 19, Environnement Canada, Hull (Québec) 26 p.

Les anciens numéros des Cahiers scientifiques du CIRAIG, de même que l'InfoCycle (le bulletin d'information du CIRAIG) sont disponibles dans la section « Publications et Projets » sur le site Internet du CIRAIG à l'adresse www.polymtl.ca/ciraig.

Le CIRAIG est le premier centre interuniversitaire dans le domaine des analyses du cycle de vie (ACV) au Canada. Fondé en 2001 sur une initiative de l'École Polytechnique, en collaboration avec l'Université de Montréal et les HEC de Montréal, le CIRAIG a été mis sur pied afin de répondre à la demande de l'industrie et des gouvernements de développer une expertise universitaire de pointe sur les outils du développement durable. Le CIRAIG rassemble et met à disposition les principales forces universitaires québécoises et canadiennes dans le domaine de l'analyse du cycle de vie (ACV) et de la gestion du cycle de vie (GCV).

Pour obtenir plus d'informations sur le CIRAIG, vous pouvez consulter notre site Internet à : www.polymtl.ca/ciraig ou communiquer avec les personnes suivantes:

Pr Réjean Samson, Ph.D.
Directeur général
Tél.: +1 (514) 340-4898
Télééc.: +1 (514) 340-5913
rejean.samson@polymtl.ca

 **CIRAIG**
Centre Interuniversitaire de Référence sur
l'Analyse, l'interprétation et la Gestion du cycle
de vie des produits, procédés et services

Daniel Normandin, M.Sc., MBA
Directeur-Partenariat, financement et
communications
Tél.: +1 (514) 340-4108
Télééc.: +1 (514) 340-5913
daniel.normandin@polymtl.ca