

## PRISE EN COMPTE DE LA DIMENSION GEOGRAPHIQUE EN ACV : INTERET ET MISE EN ŒUVRE.

### Synthèse

Janvier 2015

#### Responsables scientifiques :

- **Laure Patouillard, Cécile Bulle, Dominique Maxime, Valérie Patreau**

CIRAIG, École Polytechnique de Montréal,  
C.P. 6079, succ. Centre-ville, Montréal,  
(Québec), H3C 3A7, Canada



- **Cécile Querleu, Laure Patouillard**

IFP Energies Nouvelles, 1 et 4 avenue de Bois Préau  
92852 Rueil-Malmaison Cedex



## « PRISE EN COMPTE DE LA DIMENSION GEOGRAPHIQUE EN ACV : INTERETS ET MISE EN ŒUVRE »

L'association SCORE LCA est une structure d'étude et de recherche dédiée aux travaux relatifs à l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) et à la quantification environnementale. Elle vise à promouvoir et à organiser la collaboration entre entreprises, institutionnels et scientifiques afin de favoriser une évolution partagée et reconnue, aux niveaux européen et international, de la méthode d'Analyse du Cycle de Vie et de sa mise en pratique.

- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)
- ✓ Les points de vue et recommandations exprimés dans ce document n'engagent que les auteurs et ne traduisent pas nécessairement, sauf mention contraire, l'opinion de l'ensemble des membres de SCORE LCA.
- ✓ Les informations et les conclusions présentées dans le présent document ont été établies au vu des données scientifiques et techniques et d'un cadre réglementaire et normatif en vigueur à la date de l'édition des documents.

## RESUME

Ce document est un rapport de synthèse scientifique du projet « Prise en compte de la dimension géographique en ACV : intérêt et mise en œuvre. » financé par ScoreLCA et réalisé par le CIRAIG et IFP Energies nouvelles.

Les concepts clefs ainsi que les enjeux de la prise en compte de la dimension géographique en ACV sont présentés. Ce document contient ensuite une synthèse des normes et recommandations existantes sur les exigences en matière de représentativité géographique en ACV ainsi qu'une revue bibliographique sur les approches existantes et en développement prenant en compte la dimension géographique en ACV et leur utilisation.

Dans un second temps, les approches pour prendre en compte la dimension géographique en ACV sont analysées en fonction de plusieurs critères notamment de pertinence et d'opérationnalisation. Fort de cette analyse et à l'aide d'un questionnaire adressé à la communauté ACV, des recommandations sur les différents aspects de l'intégration de la dimension géographique en ACV sont formulées. Des recommandations à court et à long terme ont été distinguées. Celles-ci s'adressent à différents acteurs de la communauté ACV (praticiens ACV, développeurs de base de données ACV, développeurs de méthodes EICV, recherche en ACV). Un logigramme permettant de mettre concrètement en œuvre les recommandations liées à la régionalisation et à la spatialisation de l'inventaire pour les praticiens est proposé.

MOTS CLES : ACV, régionalisation, spatialisation

## **Abréviations et Acronymes**

ACV : analyse du cycle de vie

BDD : base de données

EICV : évaluation des impacts du cycle de vie

FC : facteur de caractérisation

FE : flux élémentaire

GES : gaz à effet de serre

ICV : inventaire du cycle de vie

ILCD : *International Reference Life Cycle Data System*

ISO : organisation internationale de normalisation

O&C : objectifs et champ de l'étude

SIG : système d'information géographique

## Contexte de l'étude

Le CIRAIG et IFP Energies nouvelles ont été mandatés par ScoreLCA pour réaliser cette étude sur l'intérêt de la prise en compte et de la mise en œuvre de la dimension géographique en analyse du cycle de vie (ACV). Plus précisément, les objectifs identifiés par ScoreLCA étaient de :

- Réaliser une analyse critique de la pertinence de la prise en compte des aspects géographiques en ACV et des différentes approches associées ;
- Mettre en évidence les obstacles – pratiques et conceptuels – à la mise en œuvre de ces approches en ACV, et
- Etablir des recommandations pratiques sur les différentes façons d'intégrer cette dimension géographique.

## La régionalisation en ACV

*L'encadré qui suit présente quelques termes liés à la dimension géographique en ACV.*

- Couverture géographique : zone de validité géographique d'un inventaire ou d'une méthode d'impact. La couverture géographique indique donc la zone que l'on cherche à représenter. Par exemple, la méthodologie d'impacts ReCiPe a une couverture géographique représentative de l'Europe et TRACI des Etats-Unis.
- Régionalisation : fait de décrire de façon représentative pour une région donnée les processus et phénomènes ayant une variabilité spatiale. On distingue la régionalisation de l'inventaire de la régionalisation des impacts. La régionalisation de l'inventaire permet d'obtenir un inventaire plus représentatif de la couverture géographique que l'on souhaite modéliser. La régionalisation des impacts est le fait de calculer pour un même flux élémentaire des facteurs de caractérisation (FC) régionalisés représentatifs d'une zone géographique en prenant en compte la variabilité spatiale des paramètres et des mécanismes les plus influents pour un impact donné.
- Spatialisation : fait d'attribuer une localisation géographique aux flux élémentaires. Cette localisation géographique est indispensable pour pouvoir ensuite utiliser des FC régionalisés. L'information géographique peut être ajoutée sous différentes formes et éventuellement correspondre à la résolution spatiale native de la méthode d'impact.
- Archétype : Un archétype est une manière différente de régionaliser l'impact et de spatialiser l'inventaire qui tient compte des paramètres et des mécanismes d'impact les plus influents, tout comme le fait la régionalisation de l'impact. La différence entre une approche par archétype et une régionalisation purement géographique des impacts est que le(s) paramètre(s) sur la base desquels l'archétype est construit peuvent être désolidarisés de leur position géographique et utilisés de manière générique. Par exemple, un archétype basé sur la densité de population permet de différencier l'impact des émissions de particules fines en zone urbaine ou rurale. Il est possible d'utiliser ce genre d'archétype sans savoir précisément dans quelle ville du monde a eu lieu l'émission.

La dimension géographique fait partie intégrante de l'ACV à plusieurs niveaux. Tout d'abord les étapes d'un cycle de vie, et donc les flux élémentaires constituant l'inventaire du cycle de vie (ICV), peuvent être très dispersées géographiquement compte tenu de la mondialisation des chaînes d'approvisionnement. Par ailleurs, une émission en un lieu donné peut avoir un impact différent selon ce lieu d'émission. Cet impact peut être très local, régional, continental ou global selon le type d'émission et les caractéristiques du milieu récepteur.

La prise en compte de la dimension géographique en ACV semble être une voie prometteuse pour améliorer la représentativité et la fiabilité des résultats. La régionalisation est le fait de décrire de façon représentative les processus et phénomènes ayant une variabilité spatiale. La variabilité correspond ici aux variations existantes dans le monde réel et se distingue des incertitudes qui font référence à notre manque de connaissance par rapport à la réalité (Huijbregts 1998). Décrire de façon représentative les processus et les phénomènes ayant une variabilité spatiale devrait permettre de réduire l'incertitude associée au fait de ne pas savoir où ils se situent spatialement. Cependant, l'amélioration de la représentativité géographique peut induire une charge supplémentaire de travail pour le praticien ACV notamment au niveau de la collecte des données et de la modélisation (Baitz et

al. 2012). Un des enjeux de l'intégration de la régionalisation est donc de trouver le niveau de représentativité géographique adaptée en fonction des objectifs de l'étude.

En ACV, la prise en compte de la dimension géographique peut se faire :

- au niveau de l'inventaire (régionalisation de l'inventaire pour avoir une meilleure représentativité géographique des systèmes étudiés et spatialisation des flux élémentaires),
- au niveau de l'évaluation des impacts pour prendre en compte la variabilité spatiale des milieux récepteurs pour caractériser l'impact (régionalisation de l'impact).

En pratique, de nombreux défis et questions se posent pour intégrer au mieux la dimension géographique en ACV. C'est donc à ces questions que cette étude cherche aussi à répondre:

- Comment et avec quel niveau de détail faut-il régionaliser les données d'inventaire ?
- Comment et avec quel niveau de détail faut-il spatialiser les flux élémentaires ?
- Comment et avec quel niveau de détail faut-il régionaliser les facteurs de caractérisation (FC) ?
- Comment gérer les différentes échelles de résolution entre l'inventaire et les FC lors du calcul d'impact ?
- Comment interpréter les résultats ?
- Quels sont les outils nécessaires suivant le type d'utilisateur (praticien ACV, développeur de base de données, développeur de méthode d'impact, etc.) ?

## Méthodologie de l'étude

L'étude s'est déroulée en 4 phases:

- Phase 1 : Synthèse des normes et recommandations existantes sur les exigences en matière de représentativité géographique en ACV,
- Phase 2 : Revue bibliographique sur les approches existantes et en développement prenant en compte la dimension géographique en ACV et leur utilisation,
- Phase 3 : Analyse des différentes approches possibles pour prendre en compte la dimension géographique en ACV et leur intégration/applicabilité en ACV,
- Phase 4 : Liste de recommandations pratiques portant sur le choix de l'approche pour prendre en compte la dimension géographique en fonction du contexte d'utilisation ainsi que des propositions pour améliorer la prise en compte de la dimension géographique en ACV.

Les deux premières phases de l'étude relèvent de l'analyse, d'une part du recueil de normes et lignes directrices en ACV et, d'autre part, du corpus scientifique.

La synthèse normative s'est basée sur les textes de 15 documents (normes internationales ISO, textes législatifs comme les directives de l'Union Européenne, lignes directrices et guides de recommandations sur les pratiques en ACV). 111 recommandations relatives à la représentativité géographique ont été identifiées. La plupart d'entre elles (90%) se focalisent, à parts égales, sur l'étape de l'inventaire du cycle de vie et sur l'étape d'évaluation des impacts en ACV.

La revue bibliographique sur les approches de régionalisation et leur utilisation a permis de retenir 28 références (articles, thèses ou rapports) abordant la régionalisation. Elles traitent de cas d'étude ACV, de développement méthodologique, de base de données ICV (ecoinvent v3), des méthodes d'impact (notamment LIME et IMPACT World+), et des outils et logiciel ACV (SimaPro, Gabi, mais surtout OpenLCA et Brightway). À partir de ces références, 36 approches d'intégration de la dimension géographique en ACV ont été identifiées. La nature de ces approches est très variée car elles peuvent s'appliquer à différents aspects méthodologiques et cherchent à répondre à des questions spécifiques très différentes. Le Tableau 1 présente ces approches en les regroupant selon :

- leur objectif : régionalisation de l'inventaire, spatialisation de l'inventaire, régionalisation des impacts, intégration de la régionalisation lors du calcul d'impact ;
- leur application dans les bases de données ICV et les logiciels ACV.

**Tableau 1 – Type d’approches identifiées en fonction des aspects méthodologiques ACV traités**

Aspect Méthodologique	Type d’approche et nombre de référence	
<b>ACV</b>		
<b>Analyse de sensibilité</b>		<b>1</b>
	Analyse de sensibilité pour ACV régionalisées	1
<b>Approche conceptuelle</b>		<b>1</b>
	Intégration conceptuelle du SIG dans ACV	1
<b>Calcul ACV régionalisé</b>		<b>2</b>
	Méthode de calcul ACV régionalisé	1
	Modification du calcul matriciel ACV	1
<b>Implémentation logiciel</b>		<b>3</b>
	Calcul ACV régionalisé	1
	Intégration du SIG	1
	Visualisation de la localisation des processus à l'origine des impacts	1
<b>ICV</b>		
<b>Régionalisation</b>		<b>6</b>
	Description régionalisée de l'inventaire	2
	Utilisation du SIG pour déterminer les zones de culture générant le moins d'impact	1
	Utilisation d'un modèle ACV paramétré	1
	Méthode pour sélectionner les processus à régionaliser	2
<b>Spatialisation</b>		<b>2</b>
	Création de catégories d'eau	1
	Description de la localisation géographique des processus intégrant leurs incertitudes de localisation	1
<b>Régionalisation et Spatialisation</b>		<b>6</b>
	Approche pour définir le niveau de régionalisation et de spatialisation de l'ICV nécessaire	1
	Création d'ICV d'utilisation des terres par SIG	4
	Désagrégation des processus	1
<b>BDD - Spatialisation</b>		<b>2</b>
	Utilisation d'un descripteur géographique par processus	1
	Détermination de la façon la plus adéquate de spatialiser les flux d'inventaire dans BDD	1
<b>BDD - Qualité des données</b>		<b>1</b>
	Utilisation de la matrice Pedigree pour évaluation la qualité de la représentativité géographique	1
<b>BDD - Régionalisation</b>		<b>1</b>
	Description des processus par pays	1
<b>Implémentation logiciel</b>		<b>1</b>
	Localisation textuelle des processus	1
<b>EICV</b>		
<b>Classification</b>		<b>1</b>
	Détermination de la pertinence du calcul d'un impact local ou régional d'une source fixe ou mobile d'émission	1
<b>Différentiation spatiale</b>		<b>4</b>
	Création de FC régionalisés par adaptation de USEtox aux spécificités locales	1
	Création de FC régionalisés évaluant la biodiversité pour la région étudiée	1
	Création de FC régionalisés des impacts de l'utilisation de l'eau douce sur la santé humaine	1
	Détermination de l'échelle native pertinente des FC régionalisés	1
<b>Méthodologie d'impact</b>		<b>1</b>
	Méthodologie d'impacts régionalisés spécifique pour une région	1
<b>Implémentation logiciel</b>		<b>2</b>
	Localisation textuelle des FC	1
	Paramétrisation des méthodes d'impacts régionalisés	1
<b>Interprétation</b>		
<b>Localisation des impacts</b>		<b>1</b>
	Visualisation de la localisation des impacts	1
<b>Outil intégrant ACV</b>		
<b>Utilisation de SIG</b>		<b>1</b>
	Outil intégrant ACV et SIG	1

En complément du recensement normatif et de la revue bibliographique présentés ci-dessus, une troisième source d'information a consisté à interroger la communauté ACV internationale. Un questionnaire (23 questions) sur les pratiques et perceptions actuelles sur la régionalisation et la spatialisation de l'inventaire en ACV a été diffusé via la *LCA discussion list*<sup>1</sup> et par le bouche à oreille, et a permis de recueillir les opinions de 42 répondants. Ces derniers ont une expérience de l'ACV de

<sup>1</sup> Un forum de discussion sur l'ACV offert par PRe Consultants ()  
 Etude SCORE LCA n° 2013-05 – Synthèse  
 CIRAI G / IFPEN - 2015

7.5 années en moyenne ; ils sont pour un tiers des consultants et analystes ACV, et pour un autre tiers, du monde académique. 30% d'entre eux touchent à plusieurs secteurs ou domaines (chimie, bioproduits, énergie, etc.) de par leur statut de consultants. Le questionnaire a donc permis de recueillir une grande variété de pratiques et de perceptions liées à la régionalisation en ACV, ce qui accroît significativement la pertinence de l'analyse critique réalisée et permet de mettre en avant plus clairement les besoins de la communauté ACV.

Basée sur les résultats de la revue de littérature, sur l'expertise de l'équipe de réalisation de l'étude, ainsi que sur les réponses de la communauté ACV au questionnaire, une analyse critique des approches précédemment identifiées a ensuite été réalisée afin de rendre compte de leurs forces et faiblesses, ainsi que de leur degré de maturité et d'applicabilité à court et long terme. Les critères d'analyse retenus pour évaluer chaque approche sont les suivants :

- Limites et biais théoriques : aspects non traités, hypothèses fortes.
- Limites pratiques : disponibilité des données et d'outils appropriés, compétences à développer.
- Niveau de pertinence de l'approche : apport et intérêt de l'approche par rapport à la question posée, à la représentativité et à la fiabilité des résultats en ACV.
- Niveau de maturité : méthode clef en main, besoins supplémentaires en développement méthodologique, niveau de pratique actuelle de l'approche.
- Niveau d'opérationnalisation : facilité d'application par le praticien, cohérence avec d'autres approches, effort en termes de collecte des données, facilité d'intégration dans les outils existants, besoin de développement d'outils spécifiques, recours à des expertises dans d'autres domaines.

## **Recommandations pratiques pour la prise en compte de la dimension géographique en ACV**

L'analyse critique des différentes approches est présentée dans le rapport d'étude sous la forme d'une grille très détaillée. L'analyse permet de formuler des recommandations sur l'intégration de la dimension géographique en ACV que présente le Tableau 2 en les distinguant, selon une perspective très opérationnelle :

- par type de question soulevée par l'enjeu de la prise en compte de la dimension géographique;
- par type de « destinataires » ou utilisateurs : praticiens ACV, développeurs de base de données ACV, développeurs de méthodes EICV, recherche en ACV;
- par horizon de temps : recommandations applicables à court terme avec les outils existants, recommandations pour des développements à plus long terme.

**Tableau 2 – Grille de recommandations pour la mise en œuvre à court et moyen terme de la régionalisation en ACV**

Question	Recommandations à court terme	Recommandations à long terme
<b>Questions préliminaires</b>		
<b>Est-il nécessaire de mettre en place une procédure de régionalisation ou de spatialisation de l'inventaire?</b>	<p><u>Pour les praticiens</u> : Définir dans les objectifs et champ de l'étude les besoins en termes de qualité de l'étude (niveau d'incertitude acceptable). Cela peut être fait de façon qualitative. Le niveau d'incertitude acceptable pour l'étude doit être discuté conjointement avec le destinataire ou le commanditaire de l'étude. Ensuite les incertitudes spatiales des résultats préliminaires obtenus doivent être évaluées, a minima de manière qualitative en se basant sur des dires d'expert. Ce niveau d'incertitude doit être comparé au niveau d'incertitude acceptable pour savoir si le praticien doit mettre en place la procédure ou non. Une attention particulière doit être portée sur les études liées à une décision dont les conséquences peuvent être importantes ou pouvant faire débat (mise en place de politiques publiques, sujets sensibles), les études divulguées au public, les études sur des chaînes d'approvisionnement internationales (comme pour les secteurs du textile, du bâtiment), les ACV consécutives.</p>	<p><u>Pour la recherche</u> : Proposer une méthode opérationnelle et plus systématique pour juger l'intérêt de la régionalisation pour une étude donnée.</p>
	<p><u>Pour les praticiens</u> : Il n'existe actuellement aucune méthode permettant de prioriser l'effort. La régionalisation de l'inventaire puis la spatialisation doivent donc être menées en parallèle si cela est pertinent au regard des résultats de l'étude. Cependant, commencer par la régionalisation de l'inventaire permet de minimiser l'effort lors de l'étape de spatialisation car certaines informations spatiales peuvent déjà avoir été collectées.</p>	<p><u>Pour la recherche</u> : Proposer une méthode opérationnelle et plus systématique pour prioriser l'effort entre régionalisation ou spatialisation de l'inventaire. Un cumul d'expérience de la régionalisation sera nécessaire pour supporter et valider cette méthode.</p>
<b>Régionalisation de l'inventaire</b>		
	<p><u>Pour les praticiens</u> : Pour régionaliser l'inventaire, l'amélioration de la qualité de la représentativité géographique des données et de la description du système de produits (contextualisation) doivent être menées conjointement. La contextualisation doit être faite en priorité si la principale incertitude pour un flux porte sur les choix du processus économique ou du FE qui le représente. L'effort de régionalisation sera d'autant moindre qu'il sera anticipé dès le début de l'étude.</p>	<p><u>Pour les développeurs de BD</u> : Un effort doit être faite par les développeurs de BD pour proposer des jeux de données régionalisés et représentatifs de toutes les régions du monde, y compris des pays émergents si ces pays sont importants dans le commerce mondial considéré. L'effort de régionalisation pour le praticien sera donc réduit.</p>
<b>Comment évaluer la qualité de la représentativité géographique des données?</b>	<p><u>Pour les praticiens</u> : Malgré quelques biais théoriques, la matrice Pedigree est actuellement le moyen le plus opérationnel pour évaluer la qualité des données pour la représentativité géographique. Les incertitudes spatiales associées aux différents flux économiques et élémentaires les plus contributeurs (la matrice qualifie les valeurs du flux et non pas le choix du processus) des processus peuvent donc être évaluées afin de prioriser l'effort de régionalisation de l'inventaire sur les données de plus mauvaise qualité.</p>	<p><u>Pour les développeurs de BD</u> : Continuer l'effort pour associer une matrice Pedigree à chaque flux économique.  <u>Pour les développeurs de la matrice Pedigree</u> : Fournir des jeux de facteurs de conversion en incertitudes différenciés par types de processus.</p>
<b>Où concentrer l'effort?</b>	<p><u>Pour les praticiens</u> : Si leur accès est immédiat, les données les plus détaillées possible doivent être préférées, quelques soit les processus concernés. L'approche la plus pertinente et la plus opérationnelle actuellement pour sélectionner les processus à régionaliser est de réaliser une analyse de contribution par processus au niveau dommage. L'incertitude spatiale des processus les plus contributeurs doit ensuite être évaluée pour ne sélectionner que les processus les plus contributeurs ayant la plus grande incertitude spatiale. L'évaluation de l'incertitude spatiale peut se faire grâce à la matrice Pedigree ou en ayant recours à des dires d'expert.            Une attention particulière doit être portée pour les processus de production et de consommation d'énergie, les processus de transport, les processus liés à l'agriculture, les processus liés à l'utilisation des sols, les processus liés à la gestion des déchets. En effet, ces processus peuvent être soumis à de fortes variabilités géographiques d'une région à l'autre.</p>	<p><u>Pour les praticiens</u> : Sélectionner les processus à régionaliser en prenant en compte leur influence sur les résultats et leurs incertitudes spatiales.  <u>Pour les développeurs de logiciels ACV</u> : Proposer un logiciel capable de faire les calculs ACV de manière probabiliste afin de pouvoir réaliser des analyses de contribution en tenant compte des incertitudes associées aux données. L'approche proposée par Heijungs (1996) serait donc directement opérationnelle.</p>
<b>Comment prioriser l'effort?</b>	<p><u>Pour les praticiens</u> : L'effort de régionalisation de l'inventaire (concrètement le nombre de processus à régionaliser) doit être dimensionné en fonction des exigences de qualité de l'étude de la part du destinataire ou commanditaire, des moyens disponibles pour réaliser l'étude et de la disponibilité des données. L'ILCD recommande de régionaliser en priorité les données d'avant plan. Comme rapporté par nombre des répondants enquêtés, la régionalisation des <i>gridmix</i> électrique est relativement aisée, et le bénéfice est souvent significatif.</p>	<p><u>Pour la recherche en ACV</u> : Développer une méthode pour prioriser l'effort de régionalisation de l'inventaire de manière plus systématique en fonction des objectifs de l'étude, du contexte décisionnel, du secteur étudié et des moyens disponibles.</p>
<b>Jusqu'à quel niveau de détail?</b>	<p><u>Pour les praticiens</u> : Le niveau de détail requis pour la régionalisation de l'inventaire dépend en théorie du type de processus et de l'effort que l'on souhaite mettre dans la régionalisation. En pratique, le praticien doit donc analyser chaque processus au cas par cas et évaluer le niveau de détail requis en fonction des avis d'experts et des données disponibles. L'ILCD recommande de régionaliser les données par rapport aux limites des marchés économiques.</p>	<p><u>Pour la recherche</u> : Développer des lignes directrices fournissant le niveau de régionalisation pertinent par type de processus.</p>
<b>Spatialisation de l'inventaire</b>		
<b>Comment spatialiser?</b>	<p><u>Pour le praticien</u> : La manière de spatialiser les flux dépend essentiellement du niveau de détail que l'on souhaite atteindre (fonction lui-même des objectifs et moyens de l'étude et des besoins de l'impact évalué) et des compétences propres du praticien. Un praticien expérimenté en SIG pourra y avoir recours si l'étude nécessite un haut niveau de détail spatial (description des flux élémentaire à l'échelle de la coordonnée géographique, systèmes complexes). Pour une spatialisation moins fine, le fait de régionaliser l'inventaire en amont permet du même coup de spatialiser les flux élémentaires en utilisant le champ géographique du processus, soit en utilisant un outil ACV adapté, soit en ajoutant l'information géographique à la main. Si le niveau de spatialisation requis n'est pas adapté suite à cette opération, les flux élémentaires peuvent être spatialisés au cas par cas en utilisant des proxys reflétant la répartition géographique du flux. Cependant, cette étape peut s'avérer couteuse en temps et peut être limitée par l'accès aux données. La recommandation la moins consommatrice en temps pour les praticiens est d'utiliser des facteurs de caractérisation déjà agrégés par les développeurs de méthodologie EICV à des niveaux où le praticien a l'information (continent, pays).  <u>Pour les développeurs de méthodologie EICV</u> : Proposer les FC agrégés en spécifiant bien les proxys d'agrégation. Fournir l'incertitude spatiale associée aux FC.  <u>Pour les développeurs de logiciels ACV</u> : Proposer des logiciels ACV permettant de faciliter la spatialisation de flux, en</p>	

Question	Recommandations à court terme	Recommandations à long terme
<b>Quels types d'informations spatiales?</b>	<p>permettant par exemple d'appliquer automatiquement le champ géographique d'un processus à ses flux élémentaires.</p> <p><u>Pour le praticien</u> : Le type d'information spatiale à fournir pour spatialiser un flux élémentaire dépend de l'impact étudié et du niveau d'agrégation du FC utilisé. Le praticien doit donc se plier au besoin de la méthodologie d'impacts choisie.</p> <p><u>Pour les développeurs de méthodologie EICV</u> : Les types d'informations à fournir pour les résolutions natives doivent être choisis en fonction de leur pertinence pour représenter la variabilité géographique des FC pour un impact donné. Les développeurs doivent également prendre en compte les informations géographiques accessibles pour les praticiens pour développer leurs FC régionalisés. Par exemple, une agrégation à l'échelle nationale de FC peut aussi s'avérer plus pratique à l'usage pour le praticien qui ignore, par exemple un biome d'occupation des terres pour une culture et un pays donnée ou qui ignore le bassin versant d'où une eau est prélevée dans un pays.</p>	<u>Pour les développeurs de logiciels ACV</u> : Proposer des logiciels capables de supporter de manière simplifiée et cohérente les différents types d'informations spatiales.
<b>Comment ajouter l'information géographique?</b>	<u>Pour les praticiens</u> : La façon d'ajouter l'information spatiale pour que les flux élémentaire soient spatialisés et ensuite caractérisés de façon adéquate dépend du logiciel choisi. Simapro ou Gabi peuvent être choisis pour des études nécessitant de spatialiser peu de flux ou de spatialiser à un niveau assez agrégé car sinon l'effort à fournir peut s'avérer élevé. Pour les études nécessitant de spatialiser beaucoup de flux ou avec une résolution plus élevée, OpenLCA ou Brightway doivent être privilégiés.	
<b>Où concentrer l'effort?</b>	<u>Pour les praticiens</u> : La sélection des impacts pour lesquels les flux élémentaires doivent être régionalisés doit se faire par une analyse de contribution par impacts orientés problème pour les impacts orientés dommages. Seuls les impacts ayant une variabilité géographique doivent être retenus. Pour IMPACT World+, les catégories de problèmes régionalisées sont : Utilisation des terres, biodiversité; Impacts de l'utilisation de l'eau; Acidification terrestre; Acidification aquatique (eau douce); Eutrophisation aquatique, eutrophisation marine; Cancérigène, (court et long terme); Non cancérigène (court et long terme); Effets respiratoires (inorganiques). Une fois les impacts sélectionnés, les flux élémentaires à spatialiser doivent être sélectionnés par analyse de contribution par flux élémentaires. Des couples {Flux élémentaires   Processus} doivent être identifiés. En d'autres termes, il ne sera pas nécessaire de spatialiser toutes les flux élémentaires ayant le même nom mais uniquement les flux élémentaires des processus les plus contributeurs.	<u>Pour les praticiens</u> : Sélectionner les flux élémentaires à spatialiser en prenant en compte leur influence sur les résultats et leurs incertitudes spatiales de façon systématique. <u>Pour les développeurs de logiciels ACV</u> : Proposer un logiciel capable de faire les calculs ACV de manière probabiliste afin de pouvoir réaliser des analyses de contribution en tenant compte des incertitudes associées aux données.
<b>Comment prioriser l'effort?</b>	<u>Pour les praticiens</u> : L'effort de spatialisation de l'inventaire (concrètement le nombre de flux élémentaire à spatialiser) doit être dimensionné en fonction des exigences de qualité de l'étude de la part du destinataire ou commanditaire, des moyens disponibles pour réaliser l'étude et de la disponibilité des données.	<u>Pour la recherche en ACV</u> : Développer une méthode pour prioriser l'effort de spatialisation de l'inventaire de manière plus systématique en fonction des objectifs de l'étude, du contexte décisionnel, du secteur étudié et des moyens disponibles.
<b>Jusqu'à quel niveau de détail?</b>	<u>Pour le praticien</u> : Le niveau de détail nécessaire doit être le fruit d'une réflexion par rapport aux besoins de l'étude et un compromis entre le temps passé et le gain en termes de pertinence. Il n'est a priori pas possible de recommander un niveau de détail. Le choix du niveau de détail doit s'inscrire dans une démarche itérative.	<u>Pour la recherche</u> : Proposer une méthodologie systématique capable de spécifier le niveau de détail le plus adapté en fonction des objectifs de l'étude, du contexte décisionnel, du secteur étudié et des moyens disponibles.
<b>Calcul d'impact régionalisé</b>		
<b>Comment?</b>	<p><u>Pour les praticiens</u> : SimaPro et Gabi peuvent être utilisés pour faire des calculs d'ACV régionalisés. Afin de faciliter le travail du praticien les développeurs de méthode EICV et BD doivent prédéfinir au mieux les différentes échelles de spatialisation des flux élémentaires.</p> <p><u>Pour les développeurs de méthode EICV</u> : Prédéfinir les flux élémentaires spatialisés dans SimaPro et Gabi.</p> <p><u>Pour les développeurs de BD</u> : Intégrer les flux élémentaires spatialisés au sein de leurs jeux de données.</p>	<p><u>Pour les praticiens</u> : Réaliser des calculs d'ACV régionalisés prenant en compte les incertitudes de localisation des flux élémentaires. Les incertitudes liées au FC agrégés prennent actuellement en compte les incertitudes de localisation mais le praticien ne peut pas les modifier facilement s'il le souhaite.</p> <p><u>Pour les développeurs de logiciel</u> : Proposer un logiciel utilisable facilement par tous gérant les incertitudes de localisation et les différences de résolution entre l'inventaire et les FC et permettant de spatialiser automatiquement les émissions reliées un processus lors de sa régionalisation.</p>
<b>Régionalisation des impacts</b>		
<b>Quelle méthodologie d'impact utiliser?</b>	<p><u>Pour les praticiens</u> : Toujours choisir la méthodologie d'impact ayant la couverture géographique la plus pertinente pour l'étude. Privilégier les méthodologies d'impacts régionalisées. L'utilisation des FC régionalisés à l'échelle native ne doit se faire qu'en cas de besoin spécifiquement défini compte tenu de l'effort supplémentaire de spatialisation requis. L'utilisation des FC agrégés à l'échelle des continents et pays doit être privilégiée.</p> <p><u>Pour les développeurs de méthode EICV</u> : Proposer des FC agrégés à des niveaux pertinents compte tenu des informations que peut recueillir le praticien ACV. Fournir une documentation détaillée des méthodologies d'impacts spécifiant notamment les proxys d'agrégation utilisés. Bien mettre en avant le domaine de validité des FC développés pour limiter les usages non pertinents.</p>	<p><u>Pour les praticiens</u> : Intégrer les incertitudes associées aux FC dans le calcul d'incertitude des résultats.</p> <p><u>Pour les développeurs de méthode EICV</u> : Proposer les FC avec leur incertitudes associées de façon systématique. Permettre le paramétrage des FC afin de les adapter au mieux au contexte de l'étude si le praticien le souhaite.</p> <p><u>Pour les développeurs de logiciel ACV</u> : Proposer des logiciels permettant le calcul d'incertitude intégrant l'incertitude des FC et le paramétrage des FC.</p>
<b>Interprétation</b>		
<b>Comment visualiser les impacts?</b>	<u>Pour les praticiens</u> : Si l'étude ne requiert pas d'information particulière sur la localisation des impacts, une interprétation des impacts agrégés au niveau global reste pertinente afin de ne pas alourdir le travail du praticien. En revanche, l'utilisation de logiciels tel que OpenLCA permettant de visualiser sur une carte l'origine des impacts peut apporter une nouvelle dimension d'interprétation à l'étude, ajouter de la pertinence et offrir de nouvelles opportunités, notamment concernant les choix stratégiques d'implantation ou la proposition d'actions plus ciblées.	<u>Pour les développeurs de méthode EICV et de logiciels ACV</u> : Proposer un logiciel permettant de visualiser sur une carte l'origine et la localisation finale des impacts.
<b>Comment mener des analyses de sensibilité?</b>	<u>Pour les praticiens</u> : Le recours aux dires d'expert reste actuellement l'approche la plus opérationnelle pour identifier les impacts et les processus sur lesquels mener des analyses de sensibilité.	<u>Pour la recherche et les développeurs de logiciels</u> : Proposer un outil simplifié permettant de réaliser facilement des analyses de sensibilité pour des ACV régionalisées.

## Mise en œuvre concrète des recommandations à court terme

Pour une mise en œuvre concrète des recommandations à court terme par les praticiens ACV, il est proposé un logigramme d'aide à la décision pour la régionalisation et la spatialisation de l'inventaire en ACV (Figure 1). Il a été développé pour être utilisable avec les outils accessibles existants qui permettent l'analyse de contribution (p.ex. le logiciel ACV Simapro). Le rapport d'étude présente un tutoriel d'application de ce logigramme à la comparaison de deux filières de production de plastique en France (plastique conventionnel en polytéréphtalate d'éthylène, PET, et plastique biosourcé en polylactide de maïs, PLA) pour leurs impacts sur la santé humaine et la qualité des écosystèmes. Le logigramme propose une suite logique d'étapes réalisables en utilisant les outils du praticien, soit le logiciel ACV, la (les) base(s) de données d'inventaire et méthode(s) d'impact). L'approche décrite se base sur une ACV évaluant tous les impacts orientés dommages (*endpoint*), cependant son utilisation peut être adaptée selon les catégories d'impacts incluses dans l'étude.

L'objectif du logigramme est d'aider concrètement le praticien ACV à prioriser son effort de régionalisation et de spatialisation, c'est-à-dire à sélectionner les processus, les impacts et les flux élémentaires pertinents. Le processus est itératif. Certaines étapes du logigramme vont dépendre des objectifs de l'étude et des moyens et/ou données disponibles (étoiles vertes). Ceci va, par exemple, déterminer le nombre de processus que le praticien va régionaliser lors de sa première itération. Il se divise en 3 phases :

- **La phase préliminaire** consiste à identifier les besoins en réduction de l'incertitude spatiale. Pour rappel, l'objectif premier de la régionalisation et de la spatialisation de l'inventaire est de réduire les incertitudes spatiales pour améliorer la pertinence des résultats. Les outils permettant d'évaluer l'incertitude spatiale de façon quantitative ne sont pas encore disponibles. Cependant une analyse qualitative du risque de variabilité géographique au sein du système et des impacts étudiés peut être menée par le praticien en se basant par exemple sur des dires d'expert. La première question du logigramme est basée sur la notion de niveau d'incertitude acceptable. Celui-ci fait référence au niveau d'incertitude que le décideur auquel s'adresse l'étude est capable d'accepter pour prendre une décision. Il est la résultante d'un dialogue avec le destinataire de l'étude. De même, ce niveau n'est pas aujourd'hui quantifiable mais le destinataire ou commanditaire de l'étude peut être en accord ou non avec les limites de l'étude et donc exiger ou non une étude plus approfondie. Il est donc important que le praticien soit conscient et transparent sur les limites de son étude en termes de régionalisation et de spatialisation.
- **La phase de régionalisation** de l'inventaire s'exécute en premier. En effet, de nombreuses informations géographiques collectées lors de cette phase pourront ensuite être utiles pour spatialiser l'inventaire. Cette phase est basée sur l'identification des processus les plus contributeurs et pour lesquels le risque de variabilité géographique des données est élevé. Les analyses de contribution sont proposées au niveau dommages (*endpoint*) afin de réduire l'effort du praticien mais elles pourraient être menées au niveau problèmes (*midpoint*). Cette phase devra donc être réalisée pour chaque indicateur dommage considéré. La régionalisation des processus sélectionnés se base sur l'analyse de la représentativité géographique de la nature du processus et de sa quantité demandée par rapport à la région modélisée. Les actions sur la nature du processus et sur les quantités associées doivent être menées en parallèle.
- **La phase de spatialisation** de l'inventaire est basée sur l'identification des impacts les plus contributeurs et où le risque de variabilité spatiale est le plus élevé. Les couples {flux élémentaire ; processus} les plus contributeurs pour les impacts sélectionnés peuvent ensuite être spatialisés. Une fois la régionalisation et la spatialisation réalisées, il est nécessaire d'itérer le logigramme afin de vérifier si le niveau d'incertitude atteint est acceptable ou non selon les objectifs de l'étude.

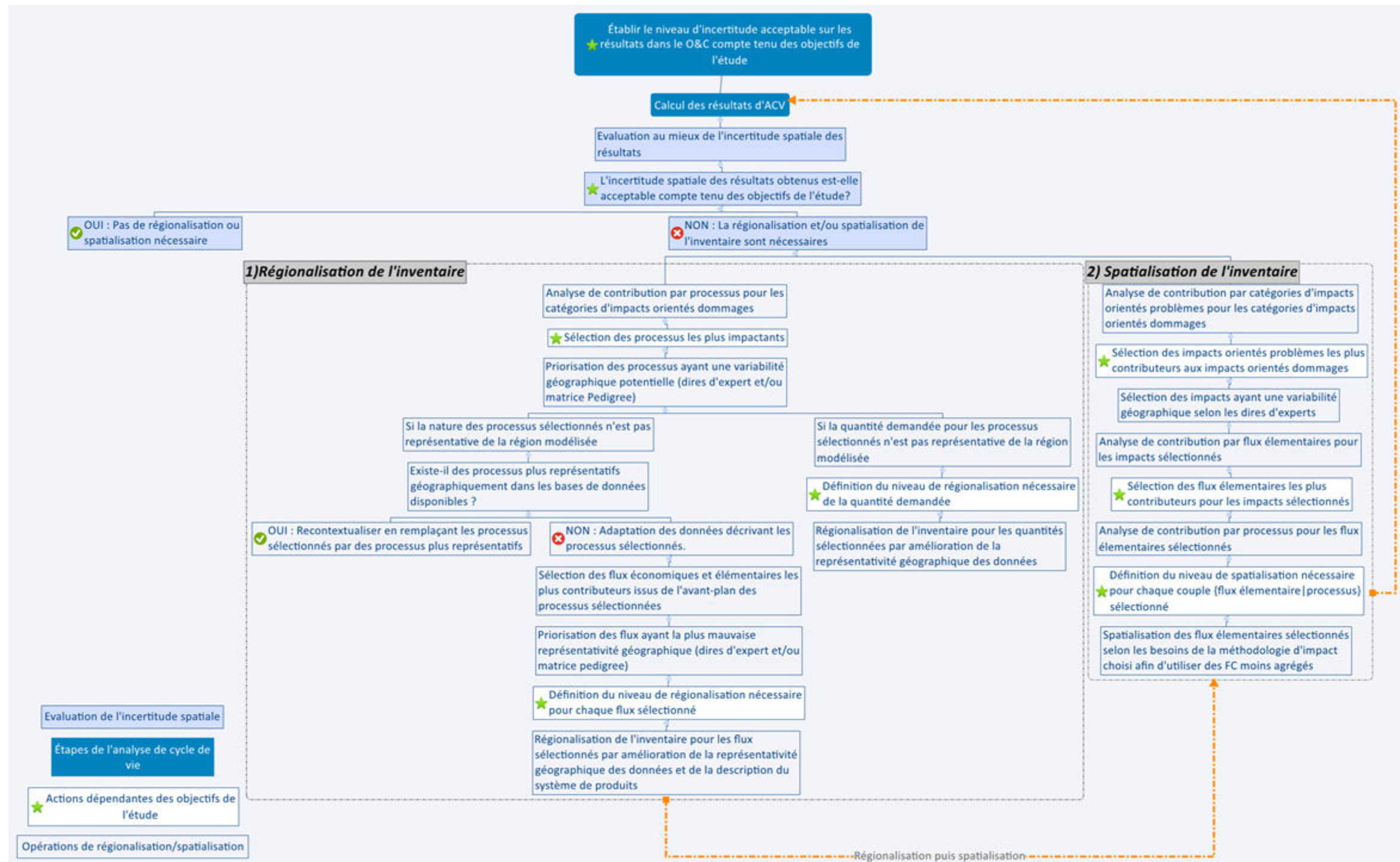


Figure 1 – Logigramme pour la mise en œuvre réaliste par un praticien ACV de la régionalisation et la spatialisation de l'inventaire en ACV (Abréviations : O&C : phase initiale d'une ACV de Définition des objectifs et du champ de l'étude; FC : Facteur de caractérisation)

## Conclusions et perspectives

Ce travail a permis de réaliser une analyse critique de la pertinence de la prise en compte des aspects géographiques en ACV et des différentes approches associées. Les requis et recommandations selon l'état de l'art sont mis en regard des obstacles – pratiques et conceptuels – de mise en œuvre de ces approches pour en déduire des recommandations pratiques sur les différentes façons d'intégrer cette dimension. Des recommandations sont formulées à la fois pour le court et le long terme et selon les acteurs les plus concernés du domaine de l'ACV. Pour une mise en œuvre concrète de ces recommandations par l'analyste et le praticien ACV, un logigramme d'orientation et d'aide à la décision est proposé. L'objectif est d'optimiser le travail de régionalisation effectué par le praticien ACV, c'est-à-dire de pouvoir réduire l'incertitude spatiale de l'ACV sans accroître inconsiderablement son fardeau.

Cette étude a également été l'occasion d'identifier comment la dimension géographique intervient en ACV. Tout au long du rapport, des cas pratiques sont utilisés pour illustrer ces interventions. Les différentes approches liées à la dimension géographique en ACV ont ainsi pu être catégorisées et un cadre d'analyse a été élaboré. Le lien avec les préoccupations concrètes du praticien ACV a été fait afin de formuler des recommandations destinées à l'aider au quotidien et à gérer plus efficacement son effort. Un cas pratique détaillé a été développé afin d'illustrer l'utilisation du logigramme (ACV comparative de la production d'un plastique biosourcé et d'un plastique pétrosourcé).

Les recommandations de type long terme s'orientent vers des développements systématiques qui se nourriront inévitablement d'une expérience croissante de la régionalisation qui n'en est, pour l'heure, qu'à ses débuts (et avec peu d'acteurs). Nul doute que le nombre d'acteurs va augmenter grâce la mise en pratique des premiers développements (premiers outils, logiciels et bases de données pleinement adaptés) et de leur intégration. L'expérience de l'opérationnalisation de la régionalisation va croître et devrait, logiquement, démultiplier la pratique. Il en ressortira également une connaissance accrue des influences de la régionalisation sur chaque catégorie d'impact, qui permettra de recadrer de façon bénéfique les développements relevant du long terme.

## Bibliographie

- Baitz, M. et al., 2012. LCA's theory and practice: like ebony and ivory living in perfect harmony? *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(1):5–13.
- Heijungs, R., 1996. Identification of key issues for further investigation in improving the reliability of life-cycle assessments. *Journal of Cleaner Production*, 4(3-4):159–166.
- Huijbregts, M.A.J., 1998. Application of Uncertainty and Variability in LCA. Part I : A General Framework for the Analysis of Uncertainty and Variability in Life Cycle Assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 3(5):273–280.