

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

Rapport Final

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
- ✓ 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.

Comité de suivi pour SCORE LCA : Jean-paul Cazalets – Total, Daniel Dunet – Veolia R&I, Barbara Forrière - Renault, Jade Garcia – SCORE LCA, Denis Le Boulch – EDF, Stéphane Morel – Renault, Philippe Osset – SCORE LCA, Anne Prieur – ENGIE, Olivier Réthoré – ADEME, Christèle Wojewodka – Saint Gobain.

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

RESUME

Ce document est le rapport final 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

SUMMARY

This report is the final report of the project « Considering geographical aspects in LCA: benefits and implementation. » funded by ScoreLCA and performed by CIRAIG and IFP Energies nouvelles.

First, the key concepts and challenges of considering geographical aspects in LCA are presented. Then this document presents a synthesis of existing recommendations for geographical representativity in LCA as well as a review on existing and future approaches for considering geographical aspects in LCA and their use.

Second, reviewed approaches are analyzed through some criteria including relevance and operationalization. Using this analyze and a survey among LCA community, recommendations on how to integrate the different geographical aspects in LCA are formulated. Short term and long term recommendations are provided. Those recommendations are addressed to the different stakeholders in the LCA community (practitioners, LCA database developer, LCIA method developer, LCA research community). A decision tree aiming at the practical implementation of recommendations for inventory regionalization and spatialization for LCA practioners is proposed.

KEY WORDS

Abréviations et Acronymes

ACV : analyse du cycle de vie

ACV-A : analyse du cycle de vie attributionnelle

ACV-C : analyse du cycle de vie conséquentielle

BDD : base de données

CAS : changement d'affectation des sols

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

NUTS : nomenclature of territorial units for statistics

O&C : objectifs et champ de l'étude

PCR : product category rules

PEF : product environmental footprint

SIG : système d'information géographique

SOMMAIRE

1. Contexte et objectifs du projet.....	11
2. Introduction à la régionalisation en ACV	12
2.1. Nomenclature utilisée	12
2.2. Pourquoi s'intéresse-t-on à la dimension géographique en ACV ?.....	12
2.3. Plusieurs niveaux de régionalisation en ACV	13
2.4. Questions soulevées par le besoin de régionaliser	13
3. Synthèse des normes et recommandations existantes sur les exigences en matière de représentativité géographique en ACV	14
3.1. Présentation de la bibliographie étudiée	14
3.2. Principales recommandations	15
3.2.1. Recommandations liées à l'étape de définition des objectifs et champ de l'étude	18
3.2.2. Recommandations liées à l'étape d'inventaire	18
3.2.3. Recommandations liées à l'étape d'évaluation des impacts	21
3.2.4. Recommandations liées à l'étape d'interprétation.....	24
4. Revue bibliographique sur les approches existantes et en développement prenant en compte la dimension géographique en ACV et leur utilisation	25
4.1. Présentation de la bibliographie étudiée	25
4.2. Revue des principales approches	26
4.2.1. Approches pour la régionalisation de l'inventaire	27
4.2.2. Approches pour la spatialisation de l'inventaire	30
4.2.3. Approches pour intégrer la régionalisation lors du calcul d'impact	32
4.2.4. Approches pour intégrer la régionalisation dans les méthodes d'impacts	34
4.2.5. Approches pour intégrer la régionalisation dans la phase d'interprétation	41
4.2.6. Intégration de la dimension géographique dans les bases de données ACV	42
4.2.7. Intégration de la dimension géographique dans les logiciels ACV	44
5. Exemples d'application.....	46
5.1. Exemple conceptuel de régionalisation de l'inventaire : le cas du secteur électrique	46
5.2. Influence de la régionalisation de l'inventaire sur les résultats d'impacts : le cas d'un plastique biosourcé	47

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

5.3.	Exemple de sélection des processus à régionaliser : le cas de la production de colza en France ⁴⁸	
5.4.	Exemple pratique de régionalisation de l'inventaire : le cas d'une filière de production de biocarburant	50
5.4.1.	Pertinence de l'utilisation d'un modèle agro-systémique spatialisé pour l'ACV de filières biomasse. ⁵⁰	
5.4.2.	Exemples de résultats obtenus.	52
5.4.3.	Conclusions, intérêt et limites de l'utilisation de tels outils	55
5.5.	Exemple de spatialisation de l'inventaire : le cas d'une flotte de véhicules diesel.....	55
6.	Analyse des différentes approches possibles pour prendre en compte la dimension géographique en ACV et leur intégration/applicabilité en ACV	57
6.1.	Méthodologie pour l'analyse critique des approches	57
6.1.1.	Structure de l'analyse	57
6.1.2.	Listes des critères d'analyse	57
6.1.3.	Questionnaire sur les pratiques et perceptions actuelles sur la régionalisation et la spatialisation de l'inventaire en ACV.....	58
6.2.	Grille d'analyse critique des approches.....	60
7.	Recommandations pratiques pour la prise en compte de la dimension géographique en ACV....	72
7.1.	Méthodologie pour l'élaboration des recommandations.....	72
7.2.	Grille des recommandations.....	72
7.3.	Mise en œuvre concrète des recommandations à court terme à l'aide d'un logigramme.....	79
7.3.1.	Présentation du logigramme.....	79
7.3.2.	Exemple concret d'application du logigramme avec SimaPro	81
8.	Conclusions et perspectives	99
9.	Annexes	100
9.1.	Analyse détaillée des réponses au questionnaire sur les pratiques et perceptions actuelles sur la régionalisation et la spatialisation de l'inventaire en ACV.....	100

LISTE DES FIGURES

Figure 1 – Les 4 phases du projet.....	11
Figure 2 – Matrice de priorisation de l'effort (extrait de Heijungs (1996)).....	24
Figure 3 – Approches pour la création de données manquantes en fonction de l'incertitude de la donnée créée et de l'effort nécessaire pour la produire (extrait de Mila i Canals et al. (2011))	29
Figure 4 – Spatialisation d'un processus et prise en compte de son incertitude spatiale (extrait de Mutel (2012)). Les cercles concentriques représentent l'incertitude de localisation d'un processus ponctuel. La probabilité de présence décroît avec la distance au point central. Le quadrillage en arrière-plan représente les FC régionalisés.	31
Figure 5 – Carte localisant l'origine des impacts de la production d'électricité aux Etats-Unis (extrait de Mutel et al. (2012)). Les pixels de couleurs représentent les résultats d'impacts. Les cercles représentent la localisation des processus de production d'électricité.	32
Figure 6 – Modification du calcul matriciel pour ACV régionalisée (d'après Mutel & Hellweg 2009). L'équation (1) représente le calcul matriciel classique en ACV. h : score d'impact, w : vecteur des FC de chaque flux élémentaire pour l'impact donné, B : matrice d'intervention (matrice des flux élémentaires pour chaque processus), A : matrice technologique (matrice des flux économiques entrants et sortants pour chaque processus), f : vecteur de demande finale. L'équation (2) représente le calcul matriciel modifié pour ACV régionalisé afin d'obtenir le score d'impact agrégé pour toutes les régions (v). G : matrice des FC de chaque flux élémentaire pour chaque région définie dans l'inventaire (chaque processus correspond à une région). L'équation (3) permet de calculer le score d'impact pour chaque région, c'est-à-dire chaque processus (matrice R).	33
Figure 7 – Comparaison des scores d'impact obtenus avec des FC génériques et régionalisés (extrait de Mutel & Hellweg 2009)	33
Figure 8 - Modification du calcul matriciel pour ACV régionalisée en prenant en compte les différences de résolution spatiale entre l'inventaire et les FC régionalisés. M : matrice indiquant dans quelle région se situe le flux élémentaire (régions définies ici par les FC régionalisés), G : matrice des probabilités que les flux élémentaires soient situés dans les régions (pondération surfacique), R : matrice des FC de chaque flux élémentaire pour chaque région.	34
Figure 9 – Différences entre les FC par sous-bassins versants et agrégés par pays pour l'indicateur orienté problème sur l'utilisation de l'eau (extrait de (Boulay et al. 2015))	37
Figure 10 – Catégories d'impacts intégrées dans IMPACT World+.....	38
Figure 11 – Catégories d'impacts intégrées dans LIME 2 (extrait de Itsubo 2012)	40
Figure 12 – Méthode d'agrégation des FC régionalisés par la méthode Bootstrap dans LIME 2 (extrait de Itsubo 2012).....	41
Figure 13 – Niveaux d'évaluation pour la corrélation géographique lors de l'évaluation de la qualité des données dans Ecoinvent v3	43
Figure 14 – Visualisation des résultats d'impacts dans OpenLCA (extrait de http://www.openlca.org/)	45
Figure 15 – Légende pour la représentativité géographique de l'inventaire pour les données décrivant chaque processus et l'agencement de ces processus.....	46

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

Figure 16 - Exemple de régionalisation de l'inventaire – Cas de la consommation d'électricité en France métropolitaine. Appro MP = approvisionnement en matières premières, Prod elec = production d'électricité, Conso elec = consommation d'électricité.....	46
Figure 17 – Résultats d'impact orientés dommages obtenus avec IMPACT 2002+ pour la production de plastique biosourcés dans différentes régions.	47
Figure 18 – Score d'impact pour les catégories d'impact orienté dommage santé humaine et qualité des écosystèmes obtenu avec IMPACT World+ pour le processus 1kg « Rape seed {FR} production Alloc Def, U »	49
Figure 19 - Schéma présentant le fonctionnement général de CERES-EGC.....	52
Figure 20 – Répartition spatiale des émissions de N ₂ O et des rendements pour la production de miscanthus en Picardie (France).....	53
Figure 21 – Résultats d'impact pour les respiratoires inorganiques en DALY dues aux particules fines <2,5µm obtenus avec Impact WORLD+ avec l'incertitude spatiale associée pour le processus « Transport, passenger car, small size, diesel, EURO 5 {RER} transport, passenger car, small size, diesel, EURO 5 Alloc Def, U ». Les résultats sont présentés sans spatialisation des particules fines puis avec une spatialisation représentative de l'Europe (RER) et de la France (FR).	56
Figure 22 – Répartition des statuts des répondants	59
Figure 23 – Répartition des secteurs ou domaines d'expertise des répondants	60
Figure 24 – Logigramme réaliste pour la mise en œuvre de la régionalisation et la spatialisation de l'inventaire en ACV	80
Figure 25 – Focus sur la phase préliminaire du logigramme	81
Figure 26 – Analyse de contribution des impacts orientés dommage par catégories d'impacts orientés problèmes. Vert: catégories régionalisées, Jaune: catégories non-régionalisées dans la méthode mais avec variation spatiale, Rouge: catégories sans variabilité spatiale	82
Figure 27 – Focus sur la phase de régionalisation de l'inventaire du logigramme	83
Figure 28 – Analyse de contribution par processus pour un impact sous Simapro	84
Figure 29 – Processus sélectionnés contribuant à plus de 3% des impacts sur la qualité des écosystèmes pour le bioplastique	85
Figure 30 – Processus appelant le processus de production de maïs (« Maize grain (GLO) market for »)	85
Figure 31 – Adaptation de la quantité de maïs consommée pour le bioplastique pour la France	86
Figure 32 – Analyse de contribution par flux élémentaires pour la production de maïs	87
Figure 33 – Adaptation de la quantité de terre occupée pour la production de maïs pour la France ...	88
Figure 34 – Edition de la matrice Pedigree	89
Figure 35 – Recontextualisation de l'électricité consommée pour la France	90
Figure 36 – Processus final obtenu pour le bioplastique en France	91

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

Figure 37 – Focus sur la phase de spatialisation de l’inventaire du logigramme.....	92
Figure 38 – Sélection des catégories d’impacts orientés problèmes les plus contributrices aux impacts orientés dommages	93
Figure 39 – Flux élémentaires liés à l’utilisation de l’eau	94
Figure 40 – Analyse de contribution par processus pour la substance « occupation, arable »	95
Figure 41 – Analyse de contribution par substances pour les impacts sur l’occupation des sols	96
Figure 42 – Archétypes pour l’occupation des sols dans IMPACT World+	97
Figure 43 – Spatialisation d’un flux élémentaire	97
Figure 44 – Comparaison des impacts sur la qualité des écosystèmes avant et après régionalisation et spatialisation de l’inventaire.....	98

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Liste des références bibliographiques analysées pour la synthèse normative	15
Tableau 2 – Recommandations sur la prise en compte de la dimension géographique en ACV en fonction des aspects méthodologiques traités et des références bibliographiques retenues	16
Tableau 3 – Récapitulatif des principales recommandations pour l'intégration de la dimension géographique en ACV	17
Tableau 4 – Recommandations sur la représentativité géographique des données à utiliser en ACV-A et ACV-C selon l'ILCD (adapté de JRC-IES, 2010b)	19
Tableau 5 - Exemple de niveau de régionalisation et spatialisation de l'inventaire: cas d'une entreprise de production de pâtes et papier en France qui souhaite faire l'ACV-A de ses produits.....	19
Tableau 6 – Propositions d'archétypes pour les catégories d'impacts orientés problèmes santé humaine, particules fines, respiratoires inorganiques, acidification, eutrophisation aquatique et terrestre, utilisation de l'eau douce (extrait de Margni et al. (2008))	24
Tableau 7 – Liste des références bibliographiques analysées pour la revue bibliographique des approches	26
Tableau 8 – Type d'approches identifiées en fonction des aspects méthodologiques ACV traités.....	27
Tableau 9 - Exemple d'information géographique pour un flux élémentaire de particule fine émise à Paris.....	31
Tableau 10 - Niveau de régionalisation des catégories d'impacts orientés problème et dommage dans les méthodes disponibles pour l'évaluation des impacts de l'utilisation de l'eau	36
Tableau 11 – Niveau de régionalisation des catégories d'impacts orientés problème et dommage dans IMPACT World+.....	39

1. Contexte et objectifs du projet

Ce document s'inscrit dans le cadre 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 objectifs fixés pour le projet sont :

- 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 – de mise en œuvre de ces approches en ACV,
- Etablir des recommandations pratiques sur les différentes façons d'intégrer cette dimension.

Pour répondre aux trois objectifs fixés, le projet se décompose en 4 phases (Figure 1) :

- 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.

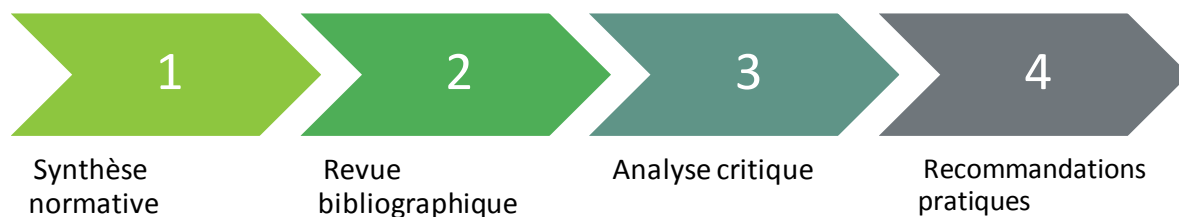


Figure 1 – Les 4 phases du projet

Ce document présente l'ensemble des résultats obtenus pour toutes les phases du projet.

2. Introduction à la régionalisation en ACV

Cette section présente les raisons pour lesquelles la dimension géographique doit être prise en compte en ACV ainsi que la nomenclature utilisée pour désigner les différents aspects de l'intégration de la dimension géographique en ACV.

2.1. Nomenclature utilisée

Certains termes utilisés dans ce rapport ont une signification spécifiquement liée à la prise en compte de la dimension géographique en ACV et sont définis comme suit.

- **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 (voir section 4.2.2).
- **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.

2.2. Pourquoi s'intéresse-t-on à la dimension géographique en ACV ?

La dimension géographique fait partie intégrante de l'ACV et ce à plusieurs titres. Tout d'abord les étapes d'un cycle de vie, et donc les flux élémentaires constituant l'inventaire du cycle de vie, 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. En théorie, il faut donc calculer des FC en chaque point du globe pour les impacts ayant une grande variabilité spatiale. C'est ce qui est mis au point dans la méthodologie d'impact IMPACT World+, co-développée au CIRAIG. Certaines méthodes d'impact ont déjà proposé des FC ayant une couverture géographique spécifique pour différentes régions du monde (IMPACT2002+ et ReCiPe pour l'Europe, TRACI pour les Etats-Unis par exemple), mais utiliser de telles méthodes revient à faire l'hypothèse implicite que toutes les émissions du cycle de vie ont lieu dans la même région, ce qui n'est pas forcément une meilleure idée que d'utiliser des valeurs génériques.

La prise en compte de la dimension géographique en ACV semble être une voie prometteuse pour améliorer la représentativité et la fiabilité des résultats. Comme défini précédemment, 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.

2.3. Plusieurs niveaux de régionalisation en ACV

En ACV, la prise en compte de la dimension géographique, à déclarer dans les objectifs et champ de l'étude (O&C) où la couverture géographique de l'étude se doit d'être mentionnée, peut se faire à plusieurs niveaux :

- Au niveau de l'inventaire pour :
 - Avoir une meilleure représentativité géographique des systèmes étudiés (régionalisation de l'inventaire) par rapport à la description du système de produits (choix et agencement des processus) et aux données pour la description de chaque processus (données spécifiques à un site, moyennes sur une région/un pays ou génériques).
 - Réaliser la spatialisation des flux élémentaires, c'est-à-dire l'attribution d'une localisation géographique (continent, pays, coordonnées géographiques) aux processus/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).

La prise en compte de la dimension géographique présente plusieurs avantages. L'utilisation de données pas assez représentatives pour décrire l'inventaire peut induire des conclusions trompeuses (JRC-IES, 2010b). Ainsi la régionalisation de l'inventaire peut s'avérer essentielle dans certains cas. La spatialisation de l'inventaire permet pour les flux élémentaires dont l'impact dépend du lieu d'émission de calculer leur impact de façon la plus représentative possible en choisissant le FC le plus adapté. Ceci peut permettre d'identifier précisément les processus les plus contributeurs à l'impact et les zones les plus impactées pour mieux cibler ensuite les actions à entreprendre. La régionalisation des impacts améliore la pertinence environnementale des méthodes d'impacts (Potting & Hauschild 2005). Enfin comme cela a déjà été précisé, améliorer la prise en compte de dimension géographique réduit l'incertitude des résultats d'ACV liée à la variabilité spatiale. Pour illustrer cela, la section 5.1 présente un exemple conceptuel de l'effet de la régionalisation de l'inventaire sur les résultats d'impacts pour la production d'électricité en France.

2.4. Questions soulevées par le besoin de régionaliser

De nombreux défis sont à relever pour intégrer au mieux la dimension géographique en ACV :

- 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 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.) ?

Les réponses à ces questions ne sont pas uniques et dépendent entre autres des objectifs de l'étude, du type d'utilisateur, des secteurs étudiés et des impacts étudiés.

3. Synthèse des normes et recommandations existantes sur les exigences en matière de représentativité géographique en ACV

Afin de mieux cerner les enjeux de la prise en compte de la dimension géographique en ACV, une revue des différentes normes et recommandations existantes sur ce sujet a été réalisée.

3.1. Présentation de la bibliographie étudiée

Les références bibliographiques disponibles et fournissant les recommandations les plus pertinentes en ACV ont été sélectionnées. Ces références sont issues d'instances internationales reconnues, de groupe de réflexion faisant consensus dans le domaine et d'organismes affichant la volonté de formuler des recommandations en ACV. Trois types de documents ont été retenus :

- Les textes issus des normes internationales ISO,
- Les textes législatifs comme les directives de l'Union Européenne,
- Les textes fournissant des recommandations sur les pratiques en ACV.

Les normes ISO retenues sont les normes ISO14040 et 14044 décrivant les exigences générales requises en matière d'ACV ainsi que la norme ISO 14046 focalisée sur l'évaluation de l'empreinte eau en ACV (ISO, 2006a, 2006b, 2014). Notons que cette dernière norme n'est pas encore finalisée et devrait être publiée dans les prochains mois.

Un seul texte législatif a été retenu. Il s'agit de la directive de l'Union Européenne sur les énergies renouvelables qui décrit une méthode pour comptabiliser les émissions de GES issus des filières biocarburant en utilisant l'approche ACV (European Parliament 2009).

Pour les textes fournissant des recommandations sans valeur normative ou législative, les publications de l'UNEP/SETAC et de l'ILCD ont été retenues (JRC-IES, 2010a, 2010b, 2010c, 2011; Margni, Gloria, & Bare, 2008; Sonnemann & Vigon, 2011). Ces publications fournissent des recommandations pratiques sur plusieurs aspects de l'ACV telles que la compréhension de la norme, les méthodes d'impacts, le développement de jeux et bases de données. Une publication traitant spécifiquement de l'ACV conséquentielle a été sélectionnée (Weidema 2005). D'autres textes plutôt destinés aux entreprises pour la réalisation, la communication et le *reporting* des évaluations environnementales de leurs produits ont également été analysés (British Standards Institution, 2011; JRC-IES, 2013; Ingwersen & Subramanian, 2013; World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development, 2011). Notons que les PAS2050 et GHG Protocol ne traitent que des émissions de GES, les recommandations formulées dans ces textes ne sont donc pas nécessairement applicables pour l'évaluation d'autres impacts environnementaux.

Pour chaque référence listée ci-dessous (Tableau 1), les recommandations en matière d'intégration de la dimension géographique en ACV ont été extraites et traduites en une phrase simple. Pour chaque recommandation, l'étape de la méthodologie ACV à laquelle elle se rapporte, les aspects méthodologiques qu'elle traite, le secteur, la zone géographique, l'impact environnemental et l'étape du cycle de vie concernée ont été identifiés.

Tableau 1 - Liste des références bibliographiques analysées pour la synthèse normative

# étude	Nom raccourci	Type de document	Année	Champ du document
1	ISO 14040	Norme	2006	ACV général
2	ISO 14044	Norme	2006	ACV général
10	ISO Empreinte eau	Norme	2014	Empreinte eau
13	RED	Directive	2009	Emissions de GES des biocarburants en Europe
9	Weidema 2005	Recommandations	2005	ACV conséquentielle
7	UNEP/SETAC LCIA practices	Recommandations	2008	Méthodes d'impacts
4	ILCD - Life cycle impact assessment framework	Recommandations	2010	Méthodes d'impacts en Europe
5	ILCD - detailed guidance	Recommandations	2010	ACV générale
6	ILCD - LCI data set	Recommandations	2010	Jeu de données d'inventaire
14	PAS2050	Recommandations	2011	Emissions de GES des produits et services pour communication interne et externe, reporting
3	ILCD - Life cycle impact assessment recommendations	Recommandations	2011	Méthodes d'impacts en Europe
8	UNEP/SETAC LCA database Shonan guidance principles	Recommandations	2011	Base de données
15	GHG protocol	Recommandations	2011	Emissions de GES des produits d'une entreprise pour comptabilité et reporting
11	PCR Guidance	Recommandations	2013	Déclaration / Affichage environnemental des produits
12	EU PEF	Recommandations	2013	Comparaison des performances environnementales de produit

3.2. Principales recommandations

111 recommandations ont été identifiées dans la bibliographie sélectionnée en ce qui concerne la prise en compte de la dimension géographique en ACV (Tableau 2). Parmi ces recommandations, 45% concerne l'étape d'évaluation des impacts en ACV, 44% l'étape d'inventaire, 7% l'étape de définition des objectifs et champ de l'étude et enfin 4% l'étape d'interprétation. Cela suggère que l'intégration de la dimension géographique est considérée comme davantage essentielle dans les étapes d'inventaire et d'évaluation des impacts.

Le Tableau 3 récapitule les principales recommandations qui sont détaillées dans la suite de cette section.

Tableau 2 – Recommandations sur la prise en compte de la dimension géographique en ACV en fonction des aspects méthodologiques traités et des références bibliographiques retenues

Aspects méthodologiques des recommandations	Numéro d'étude															Total général
	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12	13	14	15			
1.O&C	1			3				4							8	
Choix des méthodes d'impacts				1											1	
Couverture géographique de l'étude								1							1	
Données nécessaires								1							1	
Frontières des systèmes								1							1	
Limites de l'étude				1											1	
Qualité des données	1			1				1							3	
2.ICV	1			14	1	11	4	2	3	4	1	4	4		49	
ACV-C							4								4	
Agrégation de données et paramétrisation						1									1	
Agrégation des flux ICV								1							1	
Calcul des émissions liés à la consommation d'électricité												1			1	
Calcul des émissions liés au transport des produits												1			1	
Choix des BDD									1						1	
Choix du mix elec										1	1		1		3	
Data gaps										1					1	
Gestion des coproduits										1					1	
Informations sur les flux élémentaires								1							1	
Qualité des données	1			1					2	1		2	1		8	
Représentativité géographique				10	1								2		13	
Spatialisation				3	1	9									13	
3.EICV	5	22	10	4	5			1	2	1					50	
Choix des méthodes d'impacts		2		3				2	1						8	
Différentiation spatiale	1	19	9	5											34	
Groupement	1														1	
Normalisation	1														1	
Pertinence environnementale	1														1	
Présentation des résultats				1											1	
Principe de parcimonie	1														1	
Représentativité géographique		1	1					1							3	
4.Interpretation	1			3											4	
Analyse de sensibilité				1											1	
Evaluation de la cohérence	1														1	
Qualité des données				1											1	
Robustesse des conclusions				1											1	
Total général	8	22	10	24	6	11	4	7	5	5	1	4	4		111	

Tableau 3 – Récapitulatif des principales recommandations pour l'intégration de la dimension géographique en ACV

O&C
Cohérence entre O&C, couverture géographique, niveau de représentativité géographique des méthodes d'impacts et qualité des données.
Même méthode d'impact avec le même niveau de différenciation spatiale pour chaque produit comparé.
La qualité des données requises sur la représentativité géographique doit être précisée dans le O&C en privilégiant les données spécifiques aux données génériques.
Aucune conclusion ne peut être tirée sur un site avec des caractéristiques spécifiques à cause de l'agrégation spatiale de la localisation des impacts.
Inventaire
Régionalisation de l'inventaire
Choix de la représentativité géographique nécessaire
Couverture géographique = plus petite unité géographique pertinente en fonction du O&C.
Choix des données
Données spécifiques à la localisation géographique pour les processus d'avant plan (surtout processus clefs) et de données plus agrégées en arrière-plan.
Extrapolation des données d'une zone géographique à l'autre que si les inventaires sont similaires.
Emissions agricoles ou flux élémentaires (FE) liées à la transformation des sols sont influencés par des facteurs géographiques et doivent être modélisés de façon spécifique.
Spatialisation de l'inventaire
FE dont l'impact dépend du lieu d'émission devrait être spatialement différenciés pour pouvoir ensuite utiliser des facteurs de caractérisation régionalisés (ILCD).
ILCD déconseille la différenciation spatiale des flux élémentaires tant que les méthodes régionalisées n'ont pas été testées.
L'information spatiale devrait être recueillie séparément pour pouvoir être utilisée plus tard.
Hiérarchie pour la spatialisation de l'inventaire afin de savoir à quel niveau de précision l'information spatiale doit être reportée (Margni et al. 2008)
Pas d'agrégation de l'inventaire dans le rapport si la méthode d'impact utilisée nécessite une spatialisation des flux élémentaires
Evaluation des impacts
Recommandations sur le choix et utilisation des méthodes d'impacts
Différenciation spatiale doit être prise en compte en fonction des impacts étudiés et du O&C (ISO 14044)
Utilisation d'une méthode d'impact régionalisée si influence significative sur les résultats (ILCD)
L'ILCD recommande une série de modèles d'impacts agrégés au niveau mondial (localisation FE souvent inconnue)
Utilisation d'autre méthode d'impact que celles recommandées peut se justifier si : Couverture spatiale plus pertinente, Réduction des incertitudes, Accord avec le O&C.
Toujours présenter les résultats d'impacts calculés avec les FC génériques en plus des FC régionalisés le cas échéant.
Recommandations sur l'élaboration des méthodes d'impacts
La pertinence environnementale des modèles d'impacts doit être mentionnée, notamment par l'ajout de données sur les aspects spatiaux (ISO)
Principe de parcimonie : compromis entre simplicité et précision du modèle d'impact en fonction de l'impact et de la région considérée (ISO)
Par défaut : méthodes d'impact "location generic" selon ILCD vs. différenciation spatiale au moins à l'échelle continentale selon UNEP/SETAC
Différenciation spatiale doit être introduite si grandes variations entre les FC différenciés spatialement pour une même catégorie d'impact (entre 2 à 10 ordres de grandeur suivant l'incertitude de la catégorie) (UNEP/SETAC)
La différenciation spatiale peut se faire grâce à des archétypes, une différenciation géographique ou une combinaison des 2.
UNEP/SETAC et ILCD recommande des niveaux de régionalisation différenciés par impact (archétypes ou niveau de différenciation spatiale)
Interprétation
Reporter les incohérences qui peuvent limiter les conclusions de l'étude : couverture spatiale et non prise en compte de la différenciation spatiale si elle avait pu influencer les résultats.
Analyse de sensibilité et qualité des données : L'ILCD recommande de concentrer l'effort d'amélioration de l'inventaire sur les données ayant une faible qualité couplée avec une forte influence sur les résultats.
Intégration dans les bases de données
Représentativité géographique des processus
Description du contexte géographique pour chaque jeu de donnée
Afin de rendre adaptable les processus à différentes régions, le paramétrage des processus doit prendre en compte les aspects pertinents qui discriminent les régions.
Spatialisation des flux élémentaires
Fournir les descriptions géographiques nécessaires pour l'évaluation des impacts sensibles à la localisation géographique
L'information géographique peut être sous la forme d'informations sur la localisation (coordonnées, région administratives, régions, continents), des conditions géographiques et non géographiques, des propriétés du site.
Si un processus engendre une forte utilisation ou changement d'usage des sols, des informations sur les types et utilisation des sols passés et présents doivent être fournis.
Développeurs de BDD ACV doivent considérer comment conserver la spécificité de l'information géographique même en cas d'agrégation de processus.
Si la localisation ponctuelle n'est pas adaptée (par exemple dans le cas des processus de transport), d'autres types de description peuvent être faites (lignes, polygones).

3.2.1. Recommandations liées à l'étape de définition des objectifs et champ de l'étude

Ces recommandations sont essentiellement issues de la norme ISO 14044 et de l'ILCD *Handbook Detailed guidance* pour les recommandations sur l'ACV en général et de ISO 14046 pour les recommandations spécifiques à l'empreinte eau.

De façon générale, les choix du niveau de représentativité géographique des méthodes d'impacts et de la qualité des données doivent être cohérents avec les objectifs et champ de l'étude ainsi qu'avec la couverture géographique de l'étude. Lors d'une étude comparative, la même méthode d'impact doit être utilisée avec le même niveau de différenciation spatiale pour chaque produit comparé. La qualité des données requises sur la représentativité géographique doit être précisée dans l'O&C en privilégiant les données spécifiques aux données génériques. L'ILCD *Handbook Detailed guidance* insiste sur le fait qu'aucune conclusion ne peut être tirée sur un site avec des caractéristiques spécifiques à cause de l'agrégation spatiale de la localisation des impacts. En effet, une étude ACV ne se substitue pas à une étude de risque sur un site donné. De plus, les spécificités géographiques d'une étude peuvent limiter la réutilisation des résultats dans un contexte géographique différent.

Pour l'évaluation des impacts liés à l'utilisation de l'eau, il est explicitement demandé de définir la couverture géographique de l'étude dans l'O&C. Comme les problématiques liées à l'eau dépendent de la disponibilité locale en eau et de sa qualité, les processus inclus dans les frontières du système mais localisés dans différentes zones doivent être distingués. La collecte des données sur l'eau doit donc inclure la localisation de l'usage de l'eau (prélèvements, rejets, modification de la qualité de l'eau).

3.2.2. Recommandations liées à l'étape d'inventaire

3.2.2.1. Recommandations générales

Les normes ISO 14040/44 et l'ILCD *Handbook Detailed guidance* fournissent des recommandations générales sur la représentativité géographique de l'inventaire et la spatialisation des flux élémentaires en ACV. La représentativité géographique faisant partie intégrante de l'évaluation de la qualité des données d'inventaire en ACV, des recommandations sur la représentativité géographique peuvent être formulées implicitement dans les recommandations sur la qualité des données.

- Représentativité géographique des données d'inventaire :
 - Choix de la représentativité géographique nécessaire : comme formulé dans la norme ISO 14044, la représentativité géographique des données d'inventaire doit être en accord avec les objectifs de l'étude. La norme ne fournit pas de recommandation supplémentaire sur ce point. L'ILCD précise que la couverture géographique de l'inventaire doit représenter la plus petite unité géographique pertinente en fonction de l'O&C et des applications de l'étude. Ainsi le degré de différenciation spatiale dépendra de la pertinence de la décision et des connaissances des décideurs sur les marchés et les fournisseurs : pays de consommation pour ACV-Attributionnelle (ACV-A) ou mix marginal du marché de consommation pour ACV-Conséquentielle (ACV-C). De plus, les données des processus clés doivent être représentatives géographiquement. L'ILCD insiste sur le fait qu'une bonne identification de la couverture géographique de l'étude est nécessaire pour bien identifier les technologies et leurs conditions d'utilisation en ACV-A, le mix marginal des processus et des données d'arrière-plan en ACV-C (les représentativités géographique et technologique sont intimement liées).
 - Choix des données : de manière générale, l'ILCD recommande l'utilisation de données spécifiques à la localisation géographique pour les processus d'avant plan et de données plus agrégées en arrière-plan. Des recommandations plus précises sont fournies en fonction du type d'ACV (attributionnelle ou conséquente) (voir Tableau 4). L'extrapolation des données d'une zone géographique à l'autre n'est recommandée que si la différence en termes d'impacts environnementaux n'a pas d'influence sur la représentativité de l'inventaire, donc si les inventaires sont similaires. Certains flux élémentaires comme les émissions agricoles ou les émissions

liés à la transformation des sols sont influencés par des facteurs géographiques (climat, type de sol, utilisation des sols, température, humidité) et doivent être modélisées de façon spécifique en prenant en compte ces facteurs. L'ILCD insiste sur le fait que l'utilisation de données d'inventaire qui ne seraient pas assez représentatives peut mener à des conclusions trompeuses.

Tableau 4 – Recommandations sur la représentativité géographique des données à utiliser en ACV-A et ACV-C selon l'ILCD (adapté de JRC-IES, 2010b))

Données à utiliser pour	ACV-A	ACV-C
Avant plan	Les données spécifiques des fournisseurs d'avant plan, sauf si utilisation de données génériques (mix géographique) se justifie (par exemple si plus précises)	Les données spécifiques des fournisseurs pour les processus en contrôle direct et contractuel en avant plan sauf si utilisation de données génériques (mix géographique) se justifie (par exemple si plus précises)
Arrière-plan	Données de mix moyen du marché de consommation	Données de mix marginal court ou long terme du marché de consommation, à identifier en fonction des conditions du marché et des coûts

- Spatialisation des flux élémentaires : les normes ISO 14040/44 ne mentionnent rien sur la spatialisation des flux élémentaires. Selon l'ILCD, les flux élémentaires dont l'impact dépend du lieu d'émission devraient être spatialement différenciés pour pouvoir ensuite utiliser des facteurs de caractérisation régionalisés. Cependant, tant que les méthodes d'impacts régionalisés n'ont pas été testées en pratique, l'ILCD déconseille la différenciation spatiale des flux élémentaires. L'information spatiale devrait être recueillie séparément pour pouvoir être utilisée plus tard. Les recommandations ne précisent cependant pas un format particulier pour recueillir ces informations. Margni et al. (2008) suggère la mise en place d'une hiérarchie pour la spatialisation de l'inventaire afin de savoir si l'information spatiale doit être reportée au niveau des coordonnées géographiques, de la région, du pays, du continent. Les outils existants ou envisagés pour spatialiser l'inventaire sont détaillés dans la prochaine section de ce rapport. L'ILCD précise également que la différenciation géographique des flux élémentaires ressources doit être évitée, à moins que les méthodes d'impact le requièrent. Dans le cas où la méthode d'impact utilisée nécessite une spatialisation des flux élémentaires, l'inventaire ne doit pas être présenté agrégé dans le rapport.

Notons que le niveau de représentativité géographique de l'inventaire peut être différent du niveau de spatialisation de l'inventaire (voir Tableau 5). Le niveau de représentativité géographique correspond à la description du système de produits (donc aux flux économiques) alors que le niveau de spatialisation dépend de l'impact étudié et s'applique aux flux élémentaires. Ces niveaux dépendent également du niveau de pertinence souhaité des résultats, plus la résolution spatiale sera élevée et plus l'incertitude spatiale des résultats sera réduite. L'effort pour améliorer la pertinence des résultats est donc fonction des objectifs de l'étude et doit suivre le principe de parcimonie : « Aussi simple que possible et aussi complexe que nécessaire ».

Tableau 5 - Exemple de niveau de régionalisation et spatialisation de l'inventaire: cas d'une entreprise de production de pâtes et papier en France qui souhaite faire l'ACV-A de ses produits

	Niveau de représentativité géographique de l'inventaire	Niveau de spatialisation de l'inventaire	Pertinence des résultats
Option 1	Avant-plan : Données moyennes sur la production de pâte et papier en France Arrière-plan : Données moyennes par continent	Pas de spatialisation des flux élémentaires donc utilisation de FC génériques	Faible
Option 2	Avant-plan : Données moyennes	Spatialisation des flux	Moyenne

	sur la production de pâte et papier en France	élémentaires au niveau du pays donc utilisation des FC agrégés par pays	
	Arrière-plan : Données moyennes par pays		
Option 3	Avant-plan : Données spécifiques sur la production de pâte et papier de l'entreprise	Spatialisation des flux élémentaires en fonction de la résolution la plus fine nécessaire pour utiliser les FC natifs (exemple : au niveau des sous-bassins versants pour l'eau)	Elevée
	Arrière-plan : Données moyennes par marché de consommation		

3.2.2.1. Recommandations spécifiques à l’empreinte eau

Concernant la spatialisation d’un inventaire utilisé pour le calcul de l’empreinte eau, ISO 14046 stipule que chaque flux élémentaire doit inclure des informations sur la localisation géographique des prélèvements ou rejets, la localisation physique de ces flux ou l’assignation à une catégorie de classification de la région ou du bassin versant. De façon cohérente avec l’ILCD, ISO 14046 déconseille l’agrégation de l’inventaire pour les flux d’eau entrants/sortants, provenant de différentes ressources, avec des qualités différentes, sous des formes différentes, avec des localisations différentes.

3.2.2.2. Recommandations spécifiques à l’ACV-C

(Weidema 2005) fournit des recommandations sur la représentativité géographique des données d’inventaire en ACV-C. Ce document décrit une méthode par étape pour identifier les processus affectés par un changement sur la demande d’un produit en prenant en compte les informations disponibles sur les marchés économiques. Après avoir identifié l’échelle et l’horizon de temps du changement (étape 1), le marché potentiellement affecté est identifié (étape 2). A cette étape, le document recommande que les fournisseurs affectés par la décision soient identifiés au sein des frontières géographiques du marché affecté par la demande. L’étape 3 consiste à identifier les tendances à la croissance ou à la décroissance du marché affecté. Ensuite les contraintes de production sont identifiées dans une quatrième étape et dépendent entre autre de la localisation géographique du marché. Enfin le fournisseur ou technologie la plus sensible au changement doit être identifiée. Si aucune donnée n’existe sur les coûts de production, le fournisseur le plus sensible au changement est identifié en fonction de sa compétitivité qui est une fonction de la localisation géographique (compétitivité déterminée par les coûts de structure des plus importants facteurs de production comme les coûts de travail qui sont différenciés localement en termes de productivité et compétences).

3.2.2.3. Recommandations pour les bases de données ACV

L’UNEP/SETAC LCA *database Shonan guidance principles* (Sonnemann & Vigon 2011) fournit des recommandations sur l’intégration de la dimension géographique dans les bases de données ACV. Ces recommandations sont assez contraignantes et peuvent engendrer des BDD complexes. Ainsi l’UNEP/SETAC insiste sur l’importance de trouver un compromis entre l’effort à fournir pour la collecte et la mise à jour des informations géographiques en fonction de leur utilité pour des applications potentielles (principe de parcimonie).

- Représentativité géographique des processus : Une description du contexte géographique doit accompagner chaque jeu de donnée. Afin de rendre adaptables les processus à différentes régions, le paramétrage des processus doit prendre en compte les aspects pertinents qui discriminent les régions (et pas seulement le mix électrique).
- Spatialisation des flux élémentaires : La description géographique est essentielle pour l’application de FC régionalisé, les développeurs de BDD ACV doivent donc fournir les descriptions géographiques nécessaires pour l’évaluation des impacts sensibles à la localisation géographique. L’information géographique peut être sous la forme d’informations sur la localisation (coordonnées, région administratives, régions, continents), des conditions géographiques et non géographiques, des propriétés du site. La description de la localisation doit prendre en compte la granulométrie des informations disponibles. Si un processus

engendre une forte utilisation ou un changement d'usage des sols, des informations sur les types et utilisation des sols passés et présents doivent être fournis. Chaque flux élémentaire ayant une localisation géographique différente doit être traité individuellement. Pour un même processus agrégé, il peut donc y avoir plusieurs apparitions du même flux suivant sa localisation géographique, pouvant rendre les jeux de données difficiles à manipuler. Cependant, les développeurs de BDD ACV doivent considérer comment conserver la spécificité de l'information géographique même en cas d'agrégation de processus. Si la localisation ponctuelle n'est pas adaptée (par exemple dans le cas des processus de transport), d'autres types de description peuvent être faites (lignes, polygones).

3.2.2.4. Recommandations pour l'évaluation des performances environnementales de produits par les entreprises

PCR Guidance, EU PEF, PAS2050 et GHG Protocol sont des documents fournissant des recommandations pour l'évaluation ACV de produits afin de permettre aux entreprises de communiquer sur les résultats finaux des performances environnementales de leurs produits (affichage environnemental, reporting, comparaison, etc.). Les recommandations sont ici toutes liées à la représentativité géographique de l'inventaire et sont conformes aux recommandations de l'ISO et de l'ILCD.

- Collecte des données : Les données primaires doivent être collectées spécifiquement pour le système de produits sous le contrôle de l'organisation (PCR Guidance et GHG Protocol).
- Choix des données : La couverture géographique des BDD utilisées doit être cohérente avec la couverture géographique de l'étude (PCR Guidance). Des données spécifiques au contexte géographique doivent être utilisées en priorité (EU PEF et PAS 2050). La localisation géographique des marchés de substitution doit être précisée (EU PEF).
- Extrapolation des données : Selon EU PEF, les lacunes sur les données peuvent être comblées par des données génériques ou extrapolées de bonne qualité. Cependant la contribution de ces données aux impacts ne doit pas être supérieure à 10%. GHG Protocol suggère de focaliser sur l'évaluation de certaines régions plutôt que de faire une moyenne afin de donner un meilleur aperçu des impacts en termes d'émissions de GES.
- Choix du mix électrique : Selon EU PEF et PAS 2050, le mix électrique du pays où a lieu cette consommation doit être utilisé. Pour la phase d'utilisation d'un produit donné, le mix électrique utilisé doit refléter le ratio des ventes de ce produit entre les pays consommateurs. Si les données de mix électrique ne sont pas disponibles, le mix européen peut être utilisé selon EU PEF (EU PEF a été conçu dans un contexte européen). La directive européenne sur les énergies renouvelables (RED) pour les ACV appliqués aux biocarburants reste plus évasive en spécifiant que le mix électrique doit représenter le mix moyen de production et de distribution de l'électricité dans la région considérée. En revanche GHG Protocol spécifie que le mix électrique doit être représentatif du lieu de consommation d'électricité ("supplier-specific" si disponible), sinon une moyenne régionale peut être utilisée.
- Emissions de GES liés au transport des produits : Ces émissions doivent être égales à la moyenne de distribution du produit dans chaque pays (PAS2050).
- Qualité des données : La représentativité géographique doit être évaluée dans la qualité des données. Un processus itératif peut être mis en place pour améliorer la qualité de ces données (GHG Protocol).

3.2.3. Recommandations liées à l'étape d'évaluation des impacts

3.2.3.1. Recommandations sur le choix et l'utilisation des méthodes d'impacts

Ces recommandations s'adressent aux praticiens ACV pour les aider à choisir les méthodes d'impacts pour leurs études.

- Différentiation spatiale : La différenciation spatiale des modèles d'impacts doit être prise en compte en fonction des mécanismes environnementaux et de l'O&C de l'étude (ISO 14044). L'utilisation d'une méthode d'impact régionalisée doit être justifiée au regard de son influence significative sur les résultats (ILCD Detailed Guidance). L'ILCD recommande une série de modèles d'impacts agrégés au niveau mondial et se justifie en stipulant que la localisation des flux élémentaires n'est souvent pas connue. Cependant l'ILCD reconnaît que l'utilisation d'autres méthodes d'impact que celles recommandées peut se justifier, par exemple si la

couverture spatiale est plus pertinente. Il faut alors justifier que cela permet de réduire les incertitudes et être en accord avec l'O&C. En théorie, plus un FC est agrégé, plus son incertitude spatiale est élevée. En ce qui concerne les PCR, ceux-ci doivent recommander au moins une méthode d'impact pour chaque région concernée et ces méthodes doivent prendre en compte la variabilité spatiale des impacts.

- Normalisation : Le système de référence choisi doit être cohérent avec l'échelle spatiale du mécanisme environnemental (ISO 14044).
- Présentation des résultats d'impacts : Un groupement d'indicateurs d'impacts peut être fait en fonction de leur échelle spatiale (ISO 14044). L'ILCD recommande de toujours présenter les résultats d'impacts calculés avec les FC génériques en plus des FC régionalisés le cas échéant.

3.2.3.2. Recommandations sur l'élaboration des méthodes d'impacts

Ces recommandations s'adressent aux développeurs de méthodes d'impacts.

- Différentiation spatiale en général : La pertinence environnementale des modèles d'impacts doit être mentionnée, notamment par l'ajout de données sur les aspects spatiaux (ISO 14044). Cependant l'ISO prône le principe de parcimonie en avançant qu'il faut trouver un compromis entre simplicité et précision du modèle d'impact en fonction de l'impact et de la région considérée. L'ILCD recommande même que par défaut les méthodes d'impact soient "location generic". Au contraire, l'UNEP/SETAC recommande que la différenciation spatiale se fasse au moins à l'échelle continentale en définissant une situation générique pour chacun d'eux et des FC associés. Dans ce cas, la différenciation spatiale doit être explicitement justifiée.
- Méthode pour introduire la différenciation spatiale : Selon l'UNEP/SETAC, la différenciation spatiale doit être introduite si les études de sensibilité montrent de grandes variations entre les FC différenciés spatialement pour une même catégorie d'impact (entre 2 à 10 ordres de grandeur suivant l'incertitude de la catégorie). La différenciation spatiale peut se faire grâce à des archétypes, une différenciation géographique ou une combinaison des 2. L'avantage des archétypes est qu'un nombre restreint d'archétypes doit être reporté mais l'inconvénient est que les archétypes peuvent être différents entre les catégories évaluées et donc plusieurs archétypes doivent être reportés pour une même émission (Margni et al. 2008).
- Différenciation spatiale par impact : L'UNEP propose des archétypes pour plusieurs catégories d'impacts orientées problèmes (voir Tableau 6).
 - **Changement climatique** : Selon l'ILCD la différenciation spatiale est inutile au niveau problème pour cette catégorie mais il est pertinent de tenir compte de la variabilité spatiale au niveau des différentes régions au niveau du calcul du dommage. Les facteurs de caractérisation ne sont donc pas régionalisés (une émission a la même quantité d'impact peu importe où elle a lieu) mais devraient tenir compte de paramètres de vulnérabilité régionaux.
 - **Appauvrissement de la couche d'ozone** : Tout comme dans le cas des changements climatiques, la différenciation spatiale est inutile mais il faut tenir compte dans le calcul du dommage de la sensibilité variable des différentes populations. Les risques de cancer de la peau causés par la déplétion de la couche d'ozone sont fortement dépendants de la carnation et des radiations UV ainsi que des comportements individuels (bain de soleil). Ces facteurs dépendent essentiellement de la latitude et doivent être pris en compte selon l'ILCD.
 - **Acidification** : Considérer les variations entre les continents ou les régions peut être pertinent (Margni et al. 2008). L'ILCD mentionne d'ailleurs que la différenciation spatiale, notamment en fonction des caractéristiques des sols pour la modélisation du devenir des polluants (typiquement 100kmx100km), est plus importante que la différenciation entre substances. Cette différenciation en fonction du type de sol doit donc être prise en compte. Pour les travaux futurs, l'ILCD recommande la création d'un ensemble cohérent de FC globaux et régionaux.
 - **Eutrophisation** : Pour l'eutrophisation terrestre, l'ILCD mentionne que la différenciation spatiale, notamment en fonction des caractéristiques des sols pour la modélisation du sort (typiquement 100kmx100km), est plus importante que la différenciation entre substances et doit être prise en compte. Pour l'eutrophisation aquatique, les variations entre les pays sont moins importantes. Cependant la distinction en fonction du nutriment (N ou P) limitant dans le milieu aquatique

récepteur donc en fonction de l'eau douce et de l'eau de mer est très importante et doit être prise en compte.

- **Toxicité humaine** : Selon l'ILCD, la différenciation spatiale est encore très peu prise en compte pour cet impact alors que ses paramètres varient spatialement. A minima, le compartiment urbain devrait être considéré séparément et l'advection sortante ne devrait pas être considérée comme une perte finale. Bien que la différenciation spatiale puisse influencer les résultats, l'ILCD ne formule aucune recommandation sur ce point mais suggère que les travaux futurs identifient les besoins en différenciation spatiale afin de réduire les incertitudes.
- **Particules fines et respiratoires inorganiques** : A minima, le compartiment urbain devrait être considéré séparément, la résolution peut être assez fine pour capter les différences d'exposition et l'advection sortante (transport par particule) non considérée comme une perte finale. L'ILCD recommande que la différenciation spatiale se fasse en fonction de la densité de population et que les travaux futurs l'améliorent en captant les émissions dans d'autres types d'environnement comme les océans.
- **Formation d'ozone photochimique** : Pour cette catégorie d'impact, la différenciation spatiale, notamment en fonction de la densité de population, est plus importante que la différenciation entre substances. Un compromis entre le degré de détail de la modélisation spatiale du devenir environnemental des substances (sort) et la distinction entre les différentes substances doit être trouvé. Etant influencée par les conditions météorologiques et les interactions entre COV d'origine anthropogéniques et naturels comme les forêts, cette catégorie d'impact doit être décrite à une échelle régionale (JRC-IES, 2010a). L'ILCD recommande donc que les travaux futurs incluent les impacts sur la végétation en prenant en compte la distribution spatiale de la végétation et que les modèles soient adaptés à d'autres continents.
- **Ecotoxicité** : Selon l'ILCD, les modèles d'impact doivent prendre en compte le sort dans l'environnement, l'exposition des espèces et les différences de réponse toxicologiques. Il y a peu de recherche sur la différenciation spatiale en écotoxicité. Néanmoins, selon l'ILCD, ne pas la prendre en compte semble avoir une faible influence compte tenu de l'incertitude sur les scores d'impact pour cette catégorie. Notons que les avis ne sont pas partagés par tous sur ce point : en effet des travaux de recherche récents montrent que la variabilité spatiale en écotoxicité notamment des métaux peut atteindre jusqu'à 18 ordres de grandeur pour certaines substances (Plouffe et al. 2015). L'ILCD suggère de distinguer les types de compartiments (urbain ou rural, eau douce ou eau de mer, sols agricoles ou sols industriels) pour les catégories d'impact orientés problèmes et dommages (environnement terrestre, d'eau douce ou marin) et que les travaux futurs identifient les besoins en différenciation spatiale.
- **Utilisation des sols** : Cette catégorie d'impact est intrinsèquement régionalisée puisqu'elle dépend du type d'usage des sols, du type de sol, etc. L'ILCD recommande que les travaux futurs développent des FC régionalisés basés davantage sur l'usage des sols et avec une plus grande couverture géographique (pays en développement par exemple).
- **Utilisation de l'eau** : ISO 14046 affirme que l'évaluation des impacts de l'utilisation de l'eau doit considérer les conditions locales (bassin versant, conditions socio-économiques, précipitations, conditions climatiques et géographiques).
- **Aire de protection santé humaine** (modèle orienté dommage) : La différenciation spatiale devrait prendre en compte la variabilité spatiale de la situation des services de santé à travers le monde (ILCD).

Tableau 6 – Propositions d’archétypes pour les catégories d’impacts orientés problèmes santé humaine, particules fines, respiratoires inorganiques, acidification, eutrophisation aquatique et terrestre, utilisation de l’eau douce (extrait de Margni et al. (2008))

Table 3.1: definition of main spatial archetypes situations to differentiate in priority

Midpoint categories:	Factors of very high influence and differentiation criteria	Proposed archetypes	Characteristic scale
Human toxicity Particulate matter Respiratory inorganics	Population density + Dilution volume Emission height above ground	High population density - urban Medium population density Low population density-rural + Indoor emissions Height of emission or ground-pipe/stack/plane	Regional scale for short life substances and continental scale for PBT indoors vs outdoors process type (car/plane travel, industrial combustion processes)
Acidification	Fate & transport factor marginally / sensitive area Buffering capacity and sensitivity	fraction of emission to sensitive areas (to be further refined)	Large differences within continent and between continents
Aquatic and terrestrial Eutrophication	Fate & transport factor to P-limited and to N-limited area for freshwater and marine coastal water	fraction of P-limited area for freshwater/marine water fraction of N-limited area for freshwater/marine water	Continental level or very localized data (e.g., stream fate analysis)
Ecotoxicity	Fate & Transport: residence time of water to ocean Sensitivity of eco populations which are exposed.	Emission to river water basin Emission to lake water basin Deserts, lakes, forests, grasslands, etc.	large regions in continent Localized
Freshwater use	To be framed further	To be defined for physical impacts of water depletion	Highly local

3.2.4. Recommandations liées à l’étape d’interprétation

Seuls ISO 14044 et ILCD *Handbook Detailed guidance* traitent de la dimension géographique lors de la phase d’interprétation.

- Evaluation de la cohérence et robustesse des conclusions : Les incohérences dans la couverture spatiale et la non prise en compte de la différenciation spatiale alors qu'elle aurait pu influencer les résultats doivent être reportées car elles peuvent limiter les conclusions de l'étude.
- Analyse de sensibilité et qualité des données : L’ILCD recommande de concentrer l'effort d'amélioration de l'inventaire sur les données ayant une faible qualité (par exemple due à une mauvaise représentativité géographique) couplée avec une forte influence sur les résultats. Cette recommandation est basée sur les travaux de Heijungs (1996) qui recommande de prioriser la recherche de données sur celles qui sont très incertaines et qui contribuent le plus aux résultats.

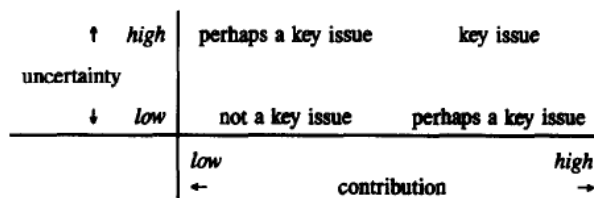


Figure 2 – Matrice de priorisation de l’effort (extrait de Heijungs (1996))

4. Revue bibliographique sur les approches existantes et en développement prenant en compte la dimension géographique en ACV et leur utilisation

4.1. Présentation de la bibliographie étudiée

Les références bibliographiques disponibles et décrivant les approches existantes et en développement les plus pertinentes pour prendre en compte la dimension géographique en ACV ont été sélectionnées. Dans un premier temps, une recherche a été menée sur Google et Google Scholar avec les mots clefs suivants : LCA + regionalisation, LCA + spatial, LCA + geography. Les rapports ou articles avec un contenu en adéquation apparente avec le sujet de la présente étude ont été retenus (28 références, voir Tableau 7). Il s'agit essentiellement d'articles scientifiques publiés dans des journaux à comité de lecture mais également des thèses de doctorat, des rapports, des actes de conférence, d'un site internet et d'un manuel d'utilisation.

Ces références peuvent être regroupées selon différents thèmes :

- Etudes ACV : ces références présentent des résultats d'ICV ou d'ACV en expliquant la démarche suivie pour réaliser l'étude. La plupart ont porté une attention spéciale à l'intégration de la dimension géographique en raison des objectifs de l'étude. Certaines références analysent même les apports et limites de l'intégration de cette dimension.
- Développement méthodologique : ces études présentent un développement méthodologique sur l'intégration de la dimension géographique en ACV.
- Méthode d'impact : ces études décrivent le développement de méthodes d'impact où une attention particulière a été portée pour l'intégration de la dimension géographique. La revue bibliographique se concentre notamment sur les méthodologies d'impacts LIME et IMPACT World+.
- Base de données : ces documents décrivent les caractéristiques d'une base de données ICV. Ici, seule la base de données ecoinvent v3 a été regardée en détail.
- Outil ACV : ces références traitent de l'intégration de la dimension géographique au sein des logiciels ACV. Les outils les plus utilisés, à savoir SimaPro et Gabi, ont été regardés mais les efforts se sont concentrés sur les logiciels qui déclarent intégrer spécifiquement la dimension géographique, à savoir OpenLCA et Brightway.

Pour chacune de ces références, les approches utilisées pour intégrer la dimension géographique ont été décrites suivants plusieurs critères lorsque l'information était disponible :

- Objectif de l'approche,
- Description de l'approche et des outils mis en place,
- Etape de la méthodologie ACV et aspects méthodologiques traités,
- Objectif de l'étude, secteur/produit, pays ou région, impact environnemental.
- Pertinence de l'utilisation de la méthode : influence sur les résultats, sur les incertitudes, sur les conclusions de l'étude, charge de travail pour la mise en œuvre,
- Avantages et limites de l'approche soulignés par l'auteur.

Tableau 7 – Liste des références bibliographiques analysées pour la revue bibliographique des approches

# etude	Nom raccourci	Type de document	Année	Thème
19	Weidema 2012	Rapport	2012	Base de données
11	Beloin Saint-Pierre 2012	Thèse de doctorat	2012	Base de données
22	Bengtsson 1998	Article scientifique	1998	Développement méthodologique
1	Nansai 2005	Article scientifique	2005	Développement méthodologique
3	Aissani 2008	Thèse de doctorat	2008	Développement méthodologique
18	Mutel 2009	Article scientifique	2009	Développement méthodologique
15	Mutel 2012	Article scientifique	2012	Développement méthodologique
16	Mutel 2013	Article scientifique	2013	Développement méthodologique
17	Marchand 2013	Thèse de doctorat	2013	Développement méthodologique
20	Ciroth 2002	Article scientifique	2002	Etude ACV
2	Bellekom 2006	Article scientifique	2006	Etude ACV
21	Yi 2007	Article scientifique	2007	Etude ACV
4	Steinberger 2009	Article scientifique	2009	Etude ACV
5	Geyer 2010a	Article scientifique	2010	Etude ACV
6	Geyer 2010b	Article scientifique	2010	Etude ACV
8	Gasol 2011	Article scientifique	2011	Etude ACV
9	Humpenoder 2011	Article scientifique	2011	Etude ACV
12	Urban 2012	Article scientifique	2012	Etude ACV
13	Humpenoder 2013	Article scientifique	2013	Etude ACV
14	Keeffe 2013	Actes de conférence	2013	Etude ACV
26	Liu 2014	Article scientifique	2014	Etude ACV
10	Boulay 2011	Article scientifique	2011	Méthode d'impact
28	Itsubo 2012	Article scientifique	2012	Méthode d'impact
25	Rodriguez 2014	Actes de conférence	2014	Outil ACV
27	Mutel 2014	Manuel	2014	Outil ACV
24	OpenLCA	Site internet		Outil ACV
23	Azapagic 2013	Article scientifique	2013	Outil intégrant ACV
7	Moliner 2010	Poster	2010	Pas ACV

4.2. Revue des principales approches

36 approches ont été identifiées pour intégrer la dimension géographique en ACV (voir Tableau 8). La nature de ces approches est très variée car elles peuvent s'appliquer à différents aspects méthodologiques et répondre à des questions spécifiques. Ces approches ont donc été regroupées 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 ACV et les logiciels ACV.

Tableau 8 –Approches identifiées en fonction des aspects méthodologiques ACV traités

Aspects méthodologiques	Type d'approche	Total
ACV		
Analyse de sensibilité		1
	Analyse de sensibilité pour ACV régionalisés	1
Approche conceptuelle		1
	Intégration conceptuelle du SIG dans ACV	1
Calcul ACV régionalisé		2
	Méthode de calcul ACV régionalisé	1
	Modification du calcul matriciel ACV	1
Implémentation logiciel		3
	Calcul ACV régionalisé	1
	Intégration du SIG	1
	Visualisation de la localisation des processus à l'origine des impacts	1
ICV		
Régionalisation		6
	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 paramétrée	1
	Méthode pour sélectionner les processus à régionaliser	2
Spatialisation		2
	Création de catégories d'eau	1
	Description de la localisation géographique des processus intégrant leurs incertitudes de localisation	1
Régionalisation et Spatialisation		6
	Approche pour définir le niveau de régionalisation et de spatialisation de l'ICV nécessaire	1
	Création ICV land use par SIG	4
	Désagrégation des processus	1
BDD Spatialisation		2
	Utilisation d'un descripteur géographique par processus	1
	Détermination de la façon la plus adéquate de spatialiser les flux d'inventaire dans BDD	1
BDD qualité des données		1
	Utilisation de la matrice Pedigree pour évaluation la qualité de la représentativité géographique	1
BDD Régionalisation		1
	Description des processus par pays	1
Implémentation logiciel		1
	Localisation textuelle des processus	1
EICV		
Classification		1
	Détermination de la pertinence du calcul d'un impact local ou régional d'une source fixe ou mobile d'émission	1
Différentiation spatiale		4
	Création de FC régionalisés par adaptation de USEtox aux spécificités locales	1
	Création FC regionalisés 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
Méthodologie d'impact		1
	Méthodologie d'impact régionalisés spécifique pour une région	1
Implémentation logiciel		2
	Localisation textuelle des FC	1
	Paramétrisation des méthodes d'impacts régionalisés	1
Interprétation		
Localisation des impacts		1
	Visualisation de la localisation des impacts	1
Outil intégrant ACV		
Utilisation de SIG		1
	Outil intégrant ACV et SIG	1
Total général		36

4.2.1. Approches pour la régionalisation de l'inventaire

La régionalisation de l'inventaire consiste à augmenter la représentativité géographique des données utilisées afin de refléter les variabilités spatiales du système étudié. Plusieurs études ont démontré l'importance de prendre en compte ces variabilités, une même technologie pouvant avoir des caractéristiques différentes et donc des résultats d'impacts variables d'une région à l'autre (Ciroth & Hagelüken 2002b) (voir exemple 5.2).

Il existe deux pratiques courantes, et utilisées de manière complémentaire, permettant de régionaliser l'inventaire :

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

- Améliorer la description du système de produits qui consiste à choisir des processus ou à modifier l'agencement des processus entre eux pour que le système de produits soit plus représentatif de la région modélisée (par exemple : choix d'une technologie de production d'électricité plus représentative de la région étudiée). On parle alors de recontextualisation du processus (Lesage & Samson 2013). Le choix des processus se fait généralement en fonction de ce qui est disponible dans les bases de données.
- Améliorer les données pour la description de chaque processus qui consiste à choisir des données spécifiques à un site, moyennes sur une région/un pays ou génériques pour représenter au mieux la région modélisée. On parle alors d'adaptation des données (valeurs numériques) du processus.

Plusieurs sources de données peuvent être utilisées et combinées pour décrire le système de produits de façon représentative. Voici quelques exemples de sources de données disponibles :

- Collecte de données spécifiques sur le terrain : contact direct avec les producteurs (Bellekom et al. 2006)
- Utilisation de données statistiques : Ces données peuvent être disponibles directement auprès des gouvernements et instances internationales. Par exemple, l'Organisation des Nations Unies propose un service de statistiques (<http://unstats.un.org/>) ainsi que l'Union européenne (<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/>) et les Etats-Unis (<http://www.usa.gov/Topics/Reference-Shelf/Data.shtml>). Notons également que certaines bases de données utilisent des données statistiques de façon intensive et automatisée, comme la base de données LCA digital Commons pour l'agriculture par état aux Etats-Unis (<http://www.lcacommons.gov/>).
- Utilisation de tables Input/Output (IO) étendues: Ces tables utilisent les données statistiques afin de représenter les échanges de commodités entre différentes zones géographiques. Les données sont souvent agrégées par secteur industriel et non au niveau des produits et distinguées au mieux par pays (exemple de table IO : *Environmental extended Input-Output tables* pour les Etats-Unis (Steinberger et al. 2009)). Le modèle Global Trade Analysis Project (GTAP) combine avec cohérence les tables IO de tous les pays du globe, ce qui permet de reconstruire les flux économiques à l'échelle du monde, désagrégés par pays.
- Utilisation de données issues de la réglementation
- Utilisation de bases de données ICV : Plusieurs bases de données peuvent être utilisées en fonction de la couverture géographique recherchée parmi lesquelles ecoinvent pour les pays industrialisés (dont un exemple de régionalisation dans la version 3.1 est le Québec, avec plusieurs centaines de jeux de données), Gemis et Gabi pour l'Allemagne (Steinberger et al. 2009), LCA Digital Commons pour l'agriculture aux Etats-Unis, AgriBalyse pour l'agriculture en France, Agri-Footprint pour l'agriculture dans plusieurs pays européens.,
- Utilisation d'autres bases de données : Corine Land Cover pour l'utilisation des sols en Europe (Keeffe et al. 2013; Urban et al. 2012) développée par l'Agence européenne pour l'environnement qui décrit 44 classes d'utilisation des sols à l'échelle 1 :100000, DBFZ pour la description des centrales biomasse en Allemagne (Keeffe et al. 2013)
- Utilisation de données spatiales ou géolocalisées : Cartes de données physico-chimiques (Keeffe et al. 2013; Gasol et al. 2011), Nomenclature of Territorial Units for Statistics (NUTS) fournit une nomenclature subdivisant le territoire européen avec 3 niveaux de détail (Urban et al. 2012), Google maps qui peut fournir des fonds de carte pour des données au format KML et utilisé pour calculer des distances (par exemple distance de transport)
- Utilisation de données issues de modèles : Par exemple, le modèle LandSHIFT pour modéliser le changement d'utilisation des sols à l'échelle mondiale et régionale (Humpenöder et al. 2011; Humpenöder et al. 2013). Les sorties des modèles de prospective économique de type TIMES et GTAP peuvent également être utilisés pour réaliser des ACV de type conséquentiel (Dandres et al. 2012; Marvuglia et al. 2013).
- Réutilisation des données extraites de rapport ACV existants : L'extrapolation de données pour d'autres zones géographiques doit se faire avec prudence en s'assurant de la représentativité de l'extrapolation. Les auteurs peuvent éventuellement être directement contactés pour obtenir plus de renseignements sur la zone de validité de certains processus (Bellekom et al. 2006).

La régionalisation de l'inventaire implique donc un effort supplémentaire sur la collecte des données. Cet effort dépend fortement de la nature des données recherchées (secteur modélisé) et de leur disponibilité. Bellekom et al. (2006) a mené l'exercice de régionalisation de l'inventaire pour du linoléum, une conduite d'eau et de la laine de roche issue d'études ACV déjà réalisées. Cet auteur

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

met en avant le fait que cet effort peut être réduit de plus de moitié si la démarche de régionalisation est mise en place dès le début de la collecte des données. Le temps ainsi passé pour la régionalisation de l'inventaire ne représenterait pas plus de 10% supplémentaire du temps total utilisé pour la collecte des données classiques (Bellekom et al. 2006). Le principal obstacle à la régionalisation de l'inventaire selon Bellekom et al. est l'accès aux données et leur confidentialité. Ces conclusions mériteraient d'être vérifiées pour d'autres types d'inventaires comme les inventaires agricoles par exemple. Ajoutons que la priorisation des données à régionaliser est également une voie pour optimiser l'effort de régionalisation. Mila i Canals et al. (2011) propose une hiérarchisation pour la création de données manquantes en fonction de leur incertitude et de l'effort nécessaire pour les produire (voir Figure 3). Plus l'effort de régionalisation de l'inventaire est élevé et moins la donnée obtenue sera incertaine. L'utilisation d'approximation et l'extrapolation de données pour créer une donnée adaptée à une zone géographique sont des pratiques courantes en ACV mais doivent être menées en évaluant l'incertitude associée.

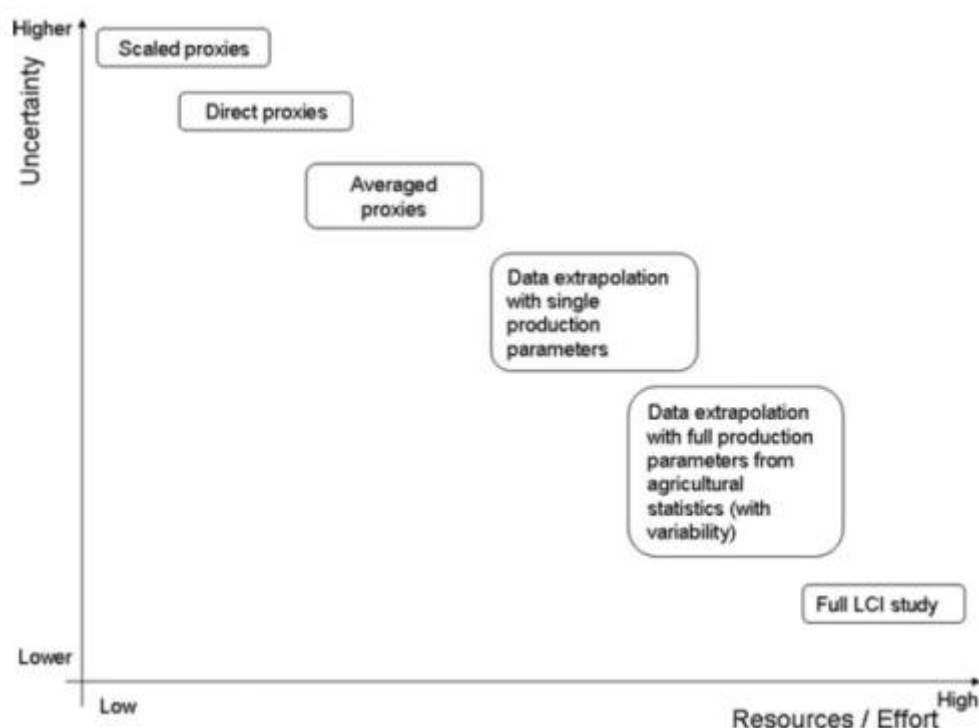


Figure 3 – Approches pour la création de données manquantes en fonction de l'incertitude de la donnée créée et de l'effort nécessaire pour la produire (extrait de Mila i Canals et al. (2011))

Un des enjeux de la régionalisation de l'inventaire est de savoir quelles données ont besoin d'être régionalisées. Un exemple de sélection des données d'inventaire à régionaliser est présenté en section 5.3.

- Une première méthode pour sélectionner les processus à régionaliser est d'avoir recours aux dires d'experts. Ciroth & Hagelüken (2002a) ont recours à cette méthode pour identifier les paramètres ayant une variabilité géographique et créer un inventaire régionalisé et paramétré.
- Bellekom et al. (2006) propose une méthode pour sélectionner les processus à régionaliser. Seuls les processus contribuant au-delà d'un seuil à l'impact sont retenus pour être régionalisés. Ce seuil est défini de façon arbitraire en fonction du système de produits étudié (0.1% pour le linoléum, 0.15% pour la conduite d'eau et 0% pour la laine de roche). Le seuil peut également être défini au niveau de l'inventaire.
- L'impact lié à l'utilisation des sols se divise entre l'impact de l'occupation du sol et l'impact de transformation des sols. Les FC de l'utilisation des sols sont basés sur des archétypes en fonction du type de sol et de l'usage des sols. Pour l'évaluation de ces impacts, la régionalisation de l'utilisation des sols est nécessaire puisque ces impacts sont par nature liés à la localisation géographique des sols utilisés pour déterminer notamment le type de sol utilisé. Dorénavant, de plus en plus d'études sur l'utilisation des sols ont recours aux logiciels SIG pour modéliser leur inventaire (Humpeñöder et al. 2013; Urban et al. 2012; Humpeñöder et al. 2011; Geyer et al. 2010). Chaque parcelle peut donc être identifiée grâce à des attributs (par exemple le type de culture), localisée et la surface de chaque parcelle de terre calculée.

La superposition des cartes permet de systématiser l'identification du changement d'usage des sols et du sol de référence. Un tel exercice suppose l'accès à des données historiques de l'utilisation des sols ou le recours à des modèles comme landSHIFT pour des études prospectives. Les cartes issues de Google Maps peuvent même être utilisées par exemple pour recueillir les incertitudes sur la localisation des processus et donc des sols utilisés (Keeffe et al. 2013). Ces auteurs ne mentionnent pas l'effort nécessaire pour réaliser ce type de régionalisation.

Un autre enjeu de la régionalisation de l'inventaire est de savoir jusqu'à quel niveau de détail il est nécessaire de régionaliser.

- Steinberger et al. (2009) insiste sur la grande différence entre pays industrialisés et pays émergents pour les infrastructures énergétiques et recommande que les processus consommant de l'énergie soient régionalisés à l'échelle du pays. Son étude porte sur des habits textiles fabriqués en Inde et en Chine.
- L'approche SAME a pour vocation de réduire la quantité de travail pour améliorer la qualité d'une ACV en déterminant le niveau de régionalisation et de spatialisation nécessaire de l'inventaire en fonction de la variabilité spatiale des impacts (Nansai et al. 2005). Cette approche est donc basée sur la définition de régions où l'impact est homogène pour définir la résolution de l'inventaire. La définition de ces régions doit prendre en compte les conditions géographiques qui contribuent au sort des polluants, les conditions liées au « *background level* » et les conditions de l'existence de récepteurs de l'impact. Cette méthode permet ensuite de réduire le nombre de régions à traiter et de faciliter la collecte en évitant de se heurter à la confidentialité des données. L'auteur note cependant que plus le nombre de régions est élevé, plus l'erreur est réduite.

La section 5.3 présente un exemple concret de régionalisation de l'inventaire de la production de biocarburant de deuxième génération.

4.2.2. Approches pour la spatialisation de l'inventaire

La spatialisation de l'inventaire consiste à ajouter une information géographique sur la localisation d'un flux élémentaire dans le but de pouvoir utiliser des FC régionalisés. Les flux élémentaires héritent souvent de la spatialisation du processus qui les engendre. L'inventaire peut donc être spatialisé au niveau des flux élémentaires ou des processus. Il convient ensuite de s'assurer de ce transfert d'information géographique dans le logiciel ACV utilisé (voir section 4.2.7).

L'information géographique peut être ajoutée sous différentes formes en fonction des besoins de l'étude (voir Tableau 9) :

- Description des archétypes associés au flux élémentaire
- Information sous forme de texte indiquant la zone géographique du flux élémentaire (continent, pays, région, etc.)
- Localisation avec des coordonnées géographiques. Ce type de spatialisation requiert l'intégration d'un SIG.
- Chaque processus peut être localisé avec son incertitude spatiale associée (Mutel et al. 2012). Il s'agit de définir des zones tampon autour du point de localisation avec des probabilités de présence décroissante (voir Figure 4). La distribution de probabilité de présence est basée sur la qualité spatiale des données utilisées pour décrire le processus. Une telle spatialisation fait appel à des compétences en SIG et a été implantée dans le logiciel Brightway.

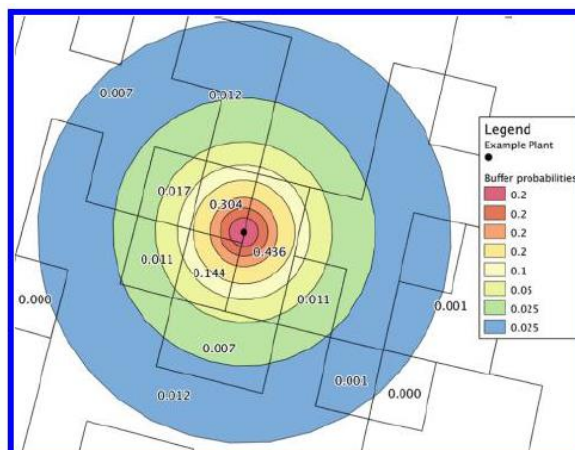


Figure 1. Buffering an example inventory geographic unit to include spatial uncertainty. Impact assessment spatial units (IASUs) are outlined, and the number shown in each IASU is the probability that a technological process occurs in that IASU. Probabilities are calculated according to eq 1.

Figure 4 – Spatialisation d’un processus et prise en compte de son incertitude spatiale (extrait de Mutel (2012)). Les cercles concentriques représentent l’incertitude de localisation d’un processus ponctuel. La probabilité de présence décroît avec la distance au point central. Le quadrillage en arrière-plan représente les FC régionalisés.

Tableau 9 - Exemple d’information géographique pour un flux élémentaire de particule fine émise à Paris

Archétypes	Information géographique textuelle	Information géographique utilisable en SIG
Densité de population : Zone urbaine à densité de population forte	Europe France	Description de la forme de la zone d’émission : ponctuelle, linéaire ou surfacique.
Hauteur d’émissions : émission au niveau du sol	Ile de France Paris 1 ^{er} arrondissement de Paris	+ Positionnement de la forme avec coordonnées GPS (latitude : 48.85, longitude : 2.35)

Il existe plusieurs façons de spatialiser l’inventaire :

- La zone de validité géographique du processus peut être utilisée (Mutel & Hellweg 2009). Le niveau de détail sera donc celui résultant de la régionalisation de l’inventaire. La régionalisation de l’inventaire est donc également un moyen de spatialiser l’inventaire. Cette approche est notamment proposée dans une étude ACV visant à démontrer la faisabilité et la valeur ajoutée de l’utilisation de FC régionalisés et à estimer le temps de collecte des données supplémentaires (Bellekom et al. 2006). Afin de pouvoir utiliser des FC régionalisés par pays pour l’acidification, le cycle de vie de 3 produits est désagrégé jusqu’à obtenir les niveaux d’émission et la localisation des émissions par pays pour chaque processus élémentaire. Les processus très peu contributeurs ne sont pas désagrégés. La principale difficulté relevée par l’auteur est la désagrégation des données confidentielles et des bases de données (ETH database). Cette désagrégation systématique entraîne de 10 à 30% de temps supplémentaire sur la collecte des données et souvent pour des processus peu contributeurs. En conclusion, dans ce cas précis, l’utilisation des FC régionalisés n’a pas d’influence sur le classement des produits mais sur les contributions relatives des processus. L’auteur souligne que la pertinence de l’utilisation des FC régionalisés dépend beaucoup du cas d’étude. Ces conclusions soulignent bien l’importance de la priorisation de l’effort de régionalisation et de spatialisation de l’inventaire.
- Une approche pour spatialiser un processus peut être de décrire plus finement sa distribution géographique en utilisant par exemple des données statistiques sur les ventes du produit, par exemple pour une technologie dont les caractéristiques varient peu en fonction de la localisation géographique mais dont l’impact est très sensible à la localisation géographique

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

(voir l'exemple sur des impacts d'une flotte de véhicule diesel sur les respiratoires inorganiques dans la section 5.5).

- Un inventaire peut être spatialisé à l'aide d'un SIG. C'est par exemple le cas des études évaluant les impacts de l'utilisation des sols. Pour évaluer les impacts sur la biodiversité de l'utilisation des sols pour la production d'éthanol, Geyer et al. (2010) développent un inventaire spatialisé en utilisant le SIG. Les cartes d'occupation des sols des scénarios de production de maïs et betteraves sont superposées avec des cartes sur les types d'habitat (29 types) en Californie. Les surfaces totales occupées pour chaque type d'habitat sont récupérées dans des vecteurs comme données d'inventaire nécessaires à l'évaluation de la biodiversité.

Comme pour la régionalisation, un des enjeux de la spatialisation est d'identifier les flux élémentaires à spatialiser et le niveau de détail nécessaire. Parfois, seuls quelques flux élémentaires ont besoin d'être spatialisés. Le besoin de spatialisation des flux élémentaires va dépendre des objectifs de l'étude, de l'impact évalué et, naturellement de la méthode d'impact choisie et des FC qu'elle offre en réponse.

La spatialisation de l'inventaire permet notamment l'identification des zones géographiques les plus contributrices à l'impact. Des cartes localisant l'origine des impacts peuvent donc être générées, comme ici pour la production d'électricité aux Etats-Unis (voir Figure 5).

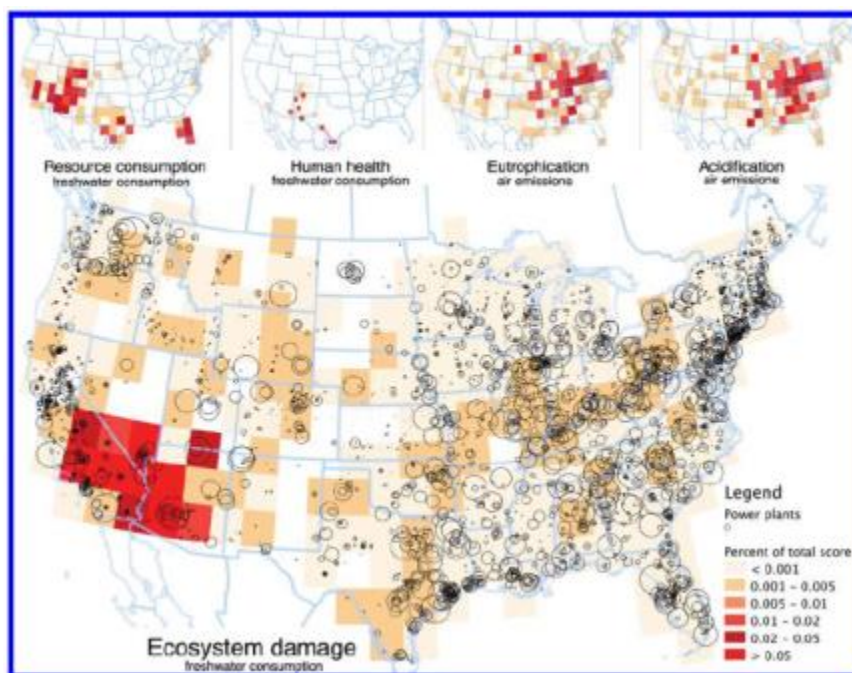


Figure 5 – Carte localisant l'origine des impacts de la production d'électricité aux Etats-Unis (extrait de Mutel et al. (2012)). Les pixels de couleurs représentent les résultats d'impacts. Les cercles représentent la localisation des processus de production d'électricité.

4.2.3. Approches pour intégrer la régionalisation lors du calcul d'impact

Lors du calcul d'impact en ACV, tous les flux élémentaires du cycle de vie sont agrégés avant d'être multipliés par leur FC respectif. L'impact d'un flux élémentaire est donc supposé être le même quel que soit le lieu d'émission de ce flux. Le calcul ACV classique ne permet donc pas d'utiliser des FC régionalisés. De plus, l'information sur l'origine géographique des flux élémentaires responsables de l'impact est perdue.

Pour pallier à ce problème, l'idée est donc d'appliquer les FC régionalisés aux flux élémentaires désagrégés avant l'agrégation des résultats (Mutel & Hellweg 2009). Le calcul matriciel du score d'impact doit donc être modifié (voir Figure 6). Dans cette approche, la résolution spatiale de

l'inventaire et les méthodes d'impact sont supposées identiques. Cette approche permet de connaître la répartition spatiale des impacts selon leur flux d'origine afin d'identifier les zones et processus les plus contributeurs. Mutel (2009) applique ensuite ce calcul pour comparer les résultats d'impact de la production d'électricité de plusieurs pays européens calculé avec des FC génériques et spécifiques à chaque pays. Dans la plupart des cas, les résultats régionalisés sont différents. Pour certaines catégories d'impact et pour certains pays, il peut même y avoir jusqu'à un ordre de grandeur de différence entre les scores d'impact obtenus avec des FC génériques et régionalisés (voir Figure 7).

$$h = \text{diag}(w)BA^{-1}f \quad (1)$$

$$v = [G \circ B]A^{-1}f \quad (2)$$

$$R = [G \circ B]\text{diag}(A^{-1}f) \quad (3)$$

Figure 6 – Modification du calcul matriciel pour ACV régionalisée (d'après Mutel & Hellweg 2009). L'équation (1) représente le calcul matriciel classique en ACV. h : score d'impact, w : vecteur des FC de chaque flux élémentaire pour l'impact donné, B : matrice d'intervention (matrice des flux élémentaires pour chaque processus), A : matrice technologique (matrice des flux économiques entrants et sortants pour chaque processus), f : vecteur de demande finale. L'équation (2) représente le calcul matriciel modifié pour ACV régionalisée afin d'obtenir le score d'impact agrégé pour toutes les régions (v). G : matrice des FC de chaque flux élémentaire pour chaque région définie dans l'inventaire (chaque processus correspond à une région). L'équation (3) permet de calculer le score d'impact pour chaque région, c'est-à-dire chaque processus (matrice R).

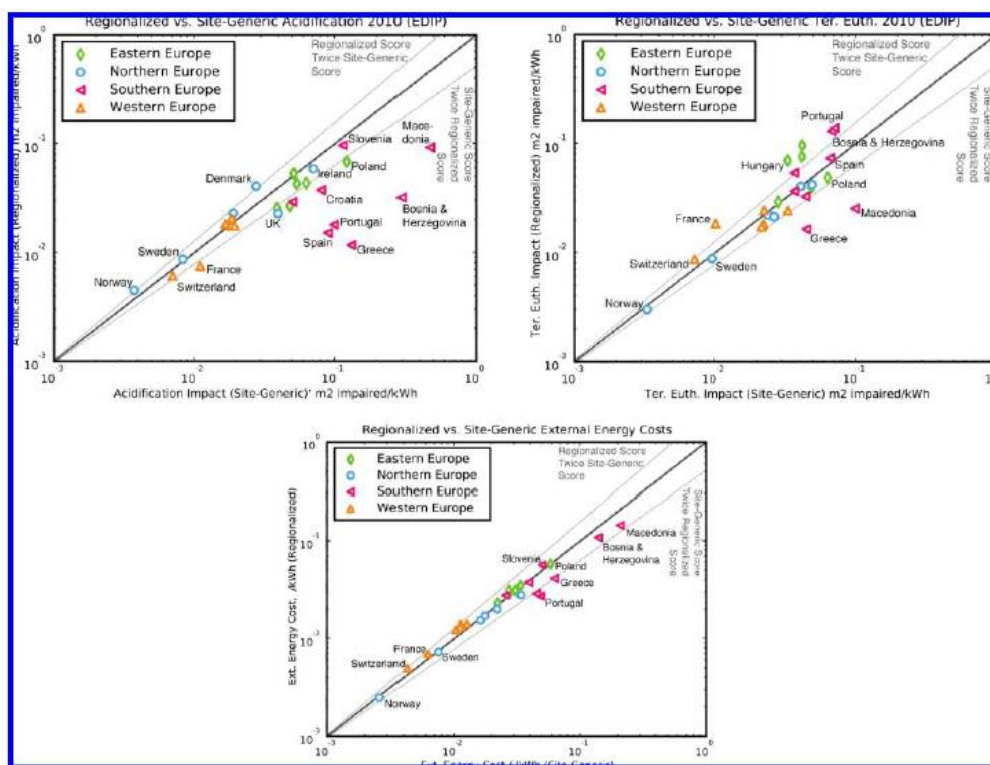


FIGURE 3. Site-generic versus regionalized results for 1 kWh, "Electricity, low voltage, at grid" using (a) EDIP Acidification (14) indicator, (b) EDIP terrestrial eutrophication 2010 (14) indicator, and (c) CASes external energy costs (38) indicator. All figures are log scaled.

Figure 7 – Comparaison des scores d'impact obtenus avec des FC génériques et régionalisés (extrait de Mutel & Hellweg 2009)

La faiblesse de l'approche proposée par Mutel (2009) est de supposer une résolution spatiale identique entre l'inventaire et les FC, ce qui est rarement le cas. Mutel (2012) propose donc une nouvelle modification du calcul matriciel basée sur la pondération surfacique. Le calcul du score d'impact se fait donc en prenant en compte les zones où l'inventaire et les FC régionalisés se superposent (Mutel et al. 2012). Chaque flux élémentaire est ici spatialisé en un point précis en prenant en compte sa distribution de probabilité de présence (voir Figure 4). Cette approche est

ensuite appliquée au mix électrique des Etats-Unis pour évaluer l'impact des émissions dans l'air avec TRACI et de la consommation d'eau (Pfister et al. 2009). Les résultats avec l'utilisation de FC régionalisés et génériques (moyennes pondérées par les niveaux d'émissions ou prélèvements d'eau aux États-Unis) sont comparés. Les résultats varient de +/- 30% pour la consommation d'eau, alors que les émissions dans l'air sont quasiment identiques. Cela s'explique par le fait que les centrales électriques sont parmi les principales sources d'émissions dans l'air et que le facteur générique est une moyenne pondérée par les émissions dans l'air. De plus, la différence entre les FC minimum et maximum pour les émissions dans l'air est beaucoup plus faible que celle pour l'eau. Cet exemple montre l'importance du choix du proxy d'agrégation des FC régionalisés.

$$h_r = (MGR)^T \circ [B(I - A)^{-1} \text{diag}(f)]$$

Figure 8 - Modification du calcul matriciel pour ACV régionalisée en prenant en compte les différences de résolution spatiale entre l'inventaire et les FC régionalisés. M : matrice indiquant dans quelle région se situe le flux élémentaire (régions définies ici par les FC régionalisés), G : matrice des probabilités que les flux élémentaires soient situés dans les régions (pondération surfacique), R : matrice des FC de chaque flux élémentaire pour chaque région.

4.2.4. Approches pour intégrer la régionalisation dans les méthodes d'impacts

4.2.4.1. Approche pour déterminer l'échelle des FC régionalisés

L'échelle de résolution native des FC est le plus souvent déterminée par le développeur de la méthode d'impact en fonction de son expertise sur la pertinence du niveau de différenciation spatiale. Le développeur va donc avoir une approche par mécanisme environnemental afin de déterminer les paramètres géographiques influençant les plus la valeur des FC. Bien souvent, le développeur se heurte au problème de la disponibilité des données et ne peut donc pas décrire les FC au niveau le plus pertinent par manque de données. C'est notamment le cas de l'utilisation de l'eau, où il serait pertinent d'avoir une échelle de résolution spatiale très fine (sous bassin versant ou même plus fine), échelle à laquelle certaines données nécessaires à la modélisation telles que la quantité d'eau consommée par les différents types d'utilisateurs (usage agricole, etc.) n'est pas disponible. Une façon d'obtenir tout de même des données à une résolution plus fine est de construire un modèle pour calculer les données à une résolution plus fine. Cependant une telle approche ne réduit pas nécessairement l'incertitude finale des FC à cause des hypothèses et des nouveaux paramètres introduits par le modèle.

Dépendamment des informations utilisées pour créer des FC régionalisés, le niveau de résolution peut conduire à un grand nombre de FC qui ne sont pas nécessairement très différents. Afin d'éviter de manipuler un grand nombre de données inutiles, Mutel et al. (2012) décrit une approche statistique pour déterminer l'échelle native pertinente des FC régionalisés. Partant de la première loi de la géographie « Tout interagit avec tout, mais deux objets proches ont plus de chance de le faire que deux objets éloignés » (Miller 2004), cette approche est basée sur la minimisation de l'autocorrélation spatiale de chaque pixel. L'idée est donc de quantifier la façon dont les plus proches voisins peuvent prédire la valeur de chaque pixel. Si l'autocorrélation est très élevée, alors les pixels peuvent être regroupés.

4.2.4.2. Intégration de la régionalisation pour l'empreinte eau

Plusieurs méthodes d'impact existent pour évaluer la rareté, la disponibilité et les impacts sur la santé humaine liés à l'utilisation de l'eau (Kounina et al. 2012). Chaque méthode prend en compte des facteurs ayant une variabilité géographique et fournit des FC à différentes résolutions (voir Tableau 10). Les résolutions peuvent être à l'échelle du sous-bassin versant, du bassin versant ou du pays.

Une des méthodes est celle développée par Boulay et al. (2011). Elle permet d'évaluer les impacts de l'utilisation de l'eau douce sur la santé humaine ou les impacts dus à la mise en place de technologies de substitution dans les pays aux revenus moyens et élevés. Cette méthode est basée sur la perte de fonctionnalité due à la disponibilité/accessibilité à l'eau et permet de calculer des indicateurs orientés problèmes et dommages. Dans un premier temps, 17 catégories d'eau ont été définies en fonction de leur origine (eau de surface ou eau souterraine) et de leur qualité. Ces catégories ont été définies pour représenter le monde entier. *Water stress indicator* (WSI) est l'indicateur orienté problème. Pour

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

le calculer, il faut faire la différence entre des volumes entrants et sortants pondérés par un indice de stress hydrique propre à chaque catégorie d'eau. Cet indice exprime le niveau de compétition entre usagers dus au stress physique sur la ressource eau pour chaque bassin versant. Il est différencié entre eau de surface et eau souterraine. Les informations nécessaires pour calculer WSI sont donc le volume, la source et la qualité de l'eau. L'indicateur orienté dommage sur la santé humaine est une différence des volumes entrants et sortants pondérés par un FC. Un FC est disponible pour chaque catégorie d'eau. Le calcul du FC prend en compte :

- L'indice de stress hydrique différencié pour chaque catégorie d'eau ;
- L'utilisateur qui sera affecté par la rareté, différencié pour chaque catégorie d'eau et chaque usage de l'eau ;
- La capacité d'adaptation du pays reflétée par son revenu national brut ; si celui-ci est inférieur à 936\$/capita.an, alors il n'y a pas d'adaptation pour ces pays ;
- Les impacts sur la santé humaine reliés à un manque d'eau pour l'agriculture et l'aquaculture (dus à la malnutrition conséquente) ainsi qu'à un manque d'eau pour un usage domestique (dus au manque d'hygiène conséquente) ;
- Les impacts indirects reliés à l'adaptation pour tous les types d'usage de l'eau ne sont pas encore pris en compte dans les FC pour IMPACT World+ mais sont en cours d'intégration.

Tableau 10 - Niveau de régionalisation des catégories d'impacts orientées problème et dommage dans les méthodes disponibles pour l'évaluation des impacts de l'utilisation de l'eau

Méthode d'impact	Impacts	Facteur de variabilité géographique pris en compte	Niveau de régionalisation des FC natif	Méthode d'agrégation des FC	
Swiss Ecoscarcity	Orienté problème	Impacts de l'utilisation de l'eau	Eau utilisée et eau disponible	Grille de 0.5° x 0.5°	Calcul direct à l'échelle du pays (et non agrégation des valeurs à l'échelle de résolution native)
Pfister WSI	Orienté problème	Impacts de l'utilisation de l'eau	Eau utilisée et eau disponible	Grille de 0.5° x 0.5°	Calcul direct à l'échelle du bassin versant et du pays (et non agrégation des valeurs à l'échelle de résolution native)
Blue water scarcity	Orienté problème	Impacts de l'utilisation de l'eau	Eau consommée et eau disponible	Échelle des bassins versants, mais ce ne sont pas tous les bassins versants de la planète qui sont couverts par le modèle	
Boulay – Simplified methodology considering consumptive use only	Orienté problème	Impacts de l'utilisation de l'eau	Eau consommée et eau disponible	808 cellules issues du croisement des bassins versants et des pays	Agrégation par pays, par continent et à l'échelle mondiale en utilisant l'utilisation de l'eau dans chaque cellule comme facteur de pondération
Boulay – Original method, including quality aspects	Orienté problème	Impacts de l'utilisation de l'eau	Eau consommée, eau disponible et qualité de l'eau	808 cellules issues du croisement des bassins versants et des pays	Agrégation par pays, par continent et à l'échelle mondiale en utilisant l'utilisation de l'eau dans chaque cellule comme facteur de pondération
Veolia Water Impact Index	Orienté problème	Impacts de l'utilisation de l'eau	Eau utilisée, eau disponible et qualité de l'eau	Basé sur la régionalisation du WSI de Pfister	
Pfister	Orienté dommage	Santé humaine	Eau utilisée, eau disponible, facteur de développement humain (paramètre socio-économique)	Grille de 0.5° x 0.5°	Calcul direct à l'échelle du bassin versant et du pays (et non agrégation des valeurs à l'échelle de résolution native)
Boulay	Orienté dommage	Santé humaine	Eau consommée, eau disponible, distribution des utilisateurs, revenu national brut (paramètre socio-économique)	808 cellules issues du croisement des bassins versants et des pays	Agrégation par pays, par continent et à l'échelle mondiale en utilisant l'utilisation de l'eau dans chaque cellule comme facteur de pondération
Motoshita	Orienté dommage	Santé humaine	Eau utilisée, eau disponible, distribution des utilisateurs, revenu national brut (paramètre socio-économique), données statistiques sur la température, le système sanitaire du pays, les conditions de santé et de nutrition, les imports / exports de nourriture	Pays	

L'analyse des choix de modélisation des différents indicateurs montre que l'échelle à laquelle l'indicateur est calculé a une influence sur les résultats (Boulay et al. 2015). Les FC à l'échelle des pays sont comparés statistiquement avec les FC à l'échelle du bassin et du sous bassin versant. Les

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

résultats indiquent une forte différence et une grande dispersion entre les FC à l'échelle du pays et ceux à une résolution plus élevée. Le choix de la résolution des FC est donc important pour les zones géographiques où la différence est grande. Ces zones sont représentées en rouge et jaune sur la Figure 9.

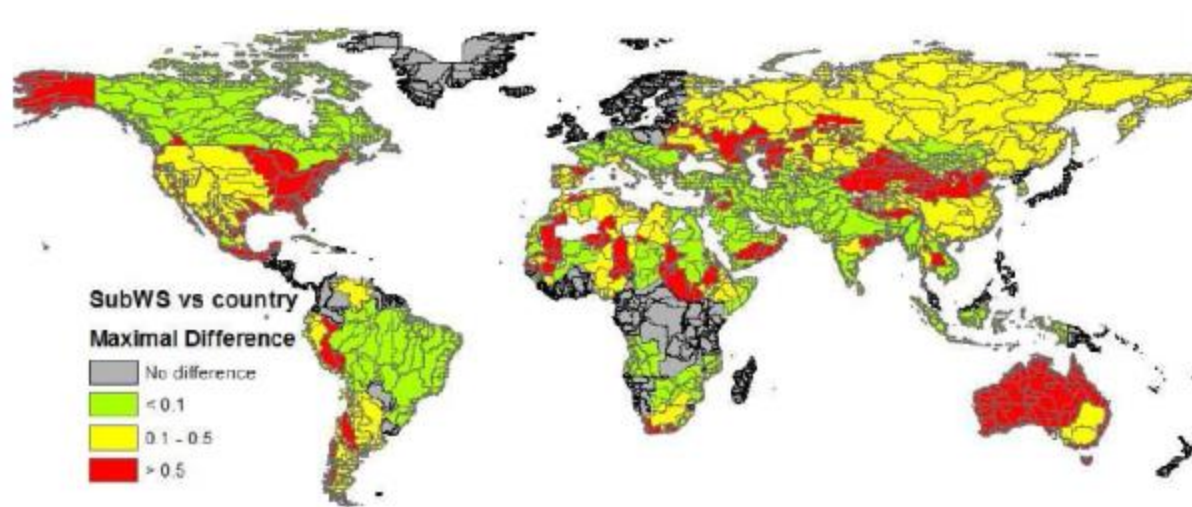


Fig. 7: Maximal absolute difference between different spatial resolution choices: country scale (aggregated from sub-watershed), watershed scale (aggregated from sub-watershed) or sub-watershed scale scarcity. Results are obtained using M-Boulay-Sc, which values range between 0 – 1.

Figure 9 – Différences entre les FC par sous-bassin versant et agrégé par pays pour l'indicateur orienté problème sur l'utilisation de l'eau (extrait de (Boulay et al. 2015))

La distinction entre les eaux de surface et les eaux souterraines est importante dans la mesure où leur raréfaction n'affecte pas les mêmes utilisateurs. La méthode décrite par Boulay et al. distingue donc les deux types d'eaux.

4.2.4.3. Méthodologie d'impacts régionalisés : IMPACT World+

La méthodologie d'impacts IMPACT World+ a été développée afin de répondre au besoin de régionalisation des impacts. Elle compte 10 groupes de catégories d'impact orientées problème et 3 catégories d'impacts orientées dommage (voir Figure 10). Contrairement aux autres méthodologies d'impacts, IMPACT World+ couvre l'ensemble des continents et fournit des FC à l'échelle native, nationale, continentale selon le type d'impact ainsi que des FC globaux. L'agrégation aux échelles nationale, continentale et globale est basée sur une probabilité (réelle ou estimée à l'aide d'un proxy) d'émission dans les différentes cellules de l'échelle de résolution native. De plus, cette méthodologie fournit l'incertitude associée à chaque FC, comprenant l'incertitude liée à la variabilité géographique.

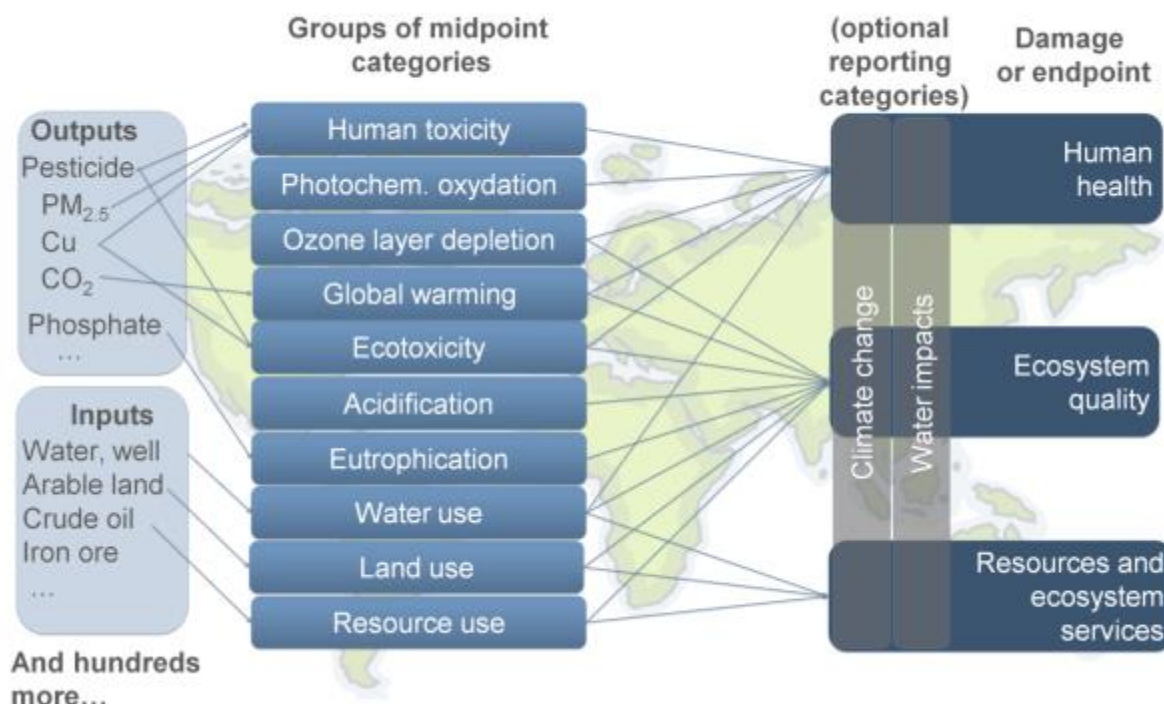


Figure 10 – Catégories d'impacts intégrées dans IMPACT World+

Chaque catégorie d'impact a ses caractéristiques propres et donc un découpage géographique spécifique (voir Tableau 11).

Le choix de l'échelle de résolution native est le fruit de travaux de recherches spécifiques à chaque impact. Ces recherches ont permis de déterminer le niveau de résolution acceptable afin de rendre compte de la variabilité géographique des impacts tout en assurant le développement des FC utilisables. De tels développements sont soumis à l'accès aux données.

L'incertitude de chaque FC est calculée. Cette incertitude comprend l'incertitude native des FC et l'incertitude liée à l'agrégation spatiale des FC (donc lié au fait de ne pas savoir où se situe le flux élémentaire). Notons que plus un FC est agrégé, plus son incertitude totale sera élevée par rapport aux FC natifs. Pour minimiser son incertitude, le praticien a donc intérêt à choisir des FC avec une haute résolution spatiale et donc à spatialiser davantage ses flux élémentaires.

- Pour la résolution native, l'incertitude des FC est déterminée de façon semi-quantitative à l'aide d'une matrice Pedigree. Les principaux facteurs d'influence ou sources d'incertitudes des FC sont identifiés puis évalués qualitativement selon leur classe d'incertitude (*no/low/medium/high/very high*). L'écart type géométrique de chaque classe est déterminé par simulation ou jugement d'expert puis l'écart-type géométrique du FC est ensuite calculé.
- Pour les FC agrégés, l'incertitude liée à l'agrégation spatiale des FC est également déterminée de façon quantitative à l'aide de la distribution des FC à l'échelle de résolution native. L'incertitude est ensuite calculée de la même manière que pour la résolution native (écart-type géométrique).

Tableau 11 – Niveau de régionalisation des catégories d'impacts orientés problème et dommage dans IMPACT World+

Impacts		Facteur de variabilité géographique pris en compte		Niveau de régionalisation des FC natifs	Niveau et méthode d'agrégation des FC
Utilisation des terres	Orienté problème et dommage	Utilisation des terres, biodiversité	Mesure empirique des disparitions d'espèces selon les biômes et les types d'usages des terres (de Baan et al.)	Échelle des biômes WWF	Agrégation par pays, par continent, globale en utilisant la surface comme facteur de pondération
Utilisation de l'eau	Orienté problème	Impacts de l'utilisation de l'eau	Échelle croisée entre les bassins versants (facteurs pris en compte : disponibilité de l'eau et intensité d'utilisation) et les pays (facteur pris en compte : capacité d'adaptation des pays selon leur richesse)	808 cellules issues du croisement des bassins versants et des pays	Agrégation par pays, continent et globale en utilisant l'utilisation de l'eau comme facteur de pondération
Utilisation de l'eau	Orienté dommage	Impacts de l'utilisation de l'eau, santé humaine	Échelle croisée entre les bassins versants (facteurs pris en compte : disponibilité de l'eau et intensité d'utilisation) et les pays (facteur pris en compte : capacité d'adaptation des pays selon leur richesse)	808 cellules issues du croisement des bassins versants et des pays	Agrégation par pays, continent et globale en utilisant l'utilisation de l'eau comme facteur de pondération
Utilisation de l'eau	Orienté dommage	Impacts de l'utilisation de l'eau, Ecosystèmes aquatiques	Variation du débit à l'embouchure en fonction de la quantité d'eau prélevée	Échelle des bassins versants, mais tous les bassins versants de la planète qui ne sont pas couverts par le modèle (Hannafiah et al.)	Agrégation globale uniquement, basée sur l'utilisation de l'eau dans les bassins versants pour lesquels un FC est disponible.
Utilisation de l'eau	Orienté dommage	Impacts de l'utilisation de l'eau, Ecosystèmes terrestres	Le seul facteur de régionalisation pris en compte est la proportion des eaux souterraines affleurantes (qui ont toutes le même FC) versus profondes (qui ont toutes un FC de 0)	FC développé pour la Hollande uniquement (Van Zelm et al.)	Par pays en utilisant la profondeur de nappe comme proxy d'agrégation
Acidification terrestre	Orienté problème et dommage	Acidification terrestre	Transport atmosphérique et déposition, sensibilité des sols récepteurs, sensibilité des espèces dans les régions réceptrices	Grille mondiale de 2° x 2.5°	Agrégation par pays, par continent et globale en utilisant les émissions dans chaque cellule comme facteur de pondération
Acidification aquatique (eau douce)	Orienté problème et dommage	Acidification aquatique (eau douce)	Transport atmosphérique et déposition, sensibilité des sols récepteurs, transport vers les cours d'eau, sensibilité des espèces dans les régions réceptrices		
Eutrophisation aquatique (eau douce)	Orienté problème et dommage	Acidification aquatique (eau douce)	Devenir des composés phosphorés dans l'eau (en tenant compte de l'hydrologie et des différents mécanismes d'enlèvement). Le facteur d'effet n'est pas régionalisé.	Grille mondiale de 0.5° x 0.5°	Agrégation par pays, par continent et globale en utilisant la densité de population dans chaque cellule comme facteur de pondération en guise de proxy des émissions de composés phosphorés
Eutrophisation aquatique marine	Orienté problème et dommage	Eutrophisation aquatique marine	Pas de régionalisation pour les émissions à l'eau, pour les émissions à l'air : devenir atmosphérique et déposition dans les zones côtière (même modèle atmosphérique que pour l'acidification terrestre et marine)	Grille mondiale de 2° x 2.5°	Agrégation par pays, par continent et globale en utilisant les émissions dans chaque cellule comme facteur de pondération
Cancérogène	Orienté problème et dommage	Cancérogène, court terme	Approche par archétypes basée sur la densité de population (indoor / urban / other) d'une part + Paramétrisation continentale de USEtox	Archétypes (indoor / urban / other)	Pas d'agrégation : soit utilisation de la version par défaut de USEtox pour les FC "global default", soit des versions continentales pour les FC par continents. Dans les deux cas, les FC des différents archétypes sont disponibles.
Cancérogène	Orienté problème et dommage	Cancérogène, long terme			
Non cancérogène	Orienté problème et dommage	Non cancérogène, court terme			
Non cancérogène	Orienté problème et dommage	Non cancérogène, long terme			
Respiratoires inorganiques	Orienté problème et dommage	Respiratoires inorganiques	Approche par archétypes basée sur la densité de population (indoor / urban / rural / remote) d'une part + sur la hauteur d'émission + Paramétrisation continentale basée sur l'âge de la population qui modifie la sensibilité aux particules fines	Archétypes (indoor / urban / rural / remote, high stack...)	Pas d'agrégation : soit utilisation de la version par défaut du modèle pour les FC "global default", soit des versions continentales pour les FC par continents. Dans les deux cas, les FC des différents archétypes sont disponibles.

4.2.4.4. Méthodologie d'impacts régionalisés : LIME 2

LIME 2 est une méthodologie d'impact développée spécifiquement pour le Japon (Itsubo & Inaba 2012). Les FC sont disponibles au niveau problèmes et dommages (voir Figure 11) avec leurs incertitudes associées. Les résultats peuvent également être exprimés en score unique (Eco index en Yen) calculé grâce à des facteurs de pondération basés sur la perception de l'environnement d'un panel représentatif de japonais (interviews). Les modèles utilisés pour générer les FC ont été régionalisés. Cette méthodologie fournit donc des FC régionaux avec une résolution fine dépendante des catégories d'impacts ainsi qu'à l'échelle nationale pour le Japon. Les FC régionaux sont agrégés en FC nationaux en fonction du niveau d'émission de chaque région par la méthode *Bootstrap*. Cette méthode permet d'agréger les FC en prenant en compte les incertitudes des FC mais également la distribution des émissions pour chaque région (voir Figure 12). Avec cette méthode, il est donc possible d'obtenir la distribution des FC agrégés.

LIME est utilisée comme les autres méthodologies d'impacts spécifiques à une région : les FC pour le Japon sont utilisés pour tous les flux élémentaires qu'ils soient émis au Japon ou dans le reste du monde. On suppose donc de manière implicite que toutes les émissions ont lieu au Japon.

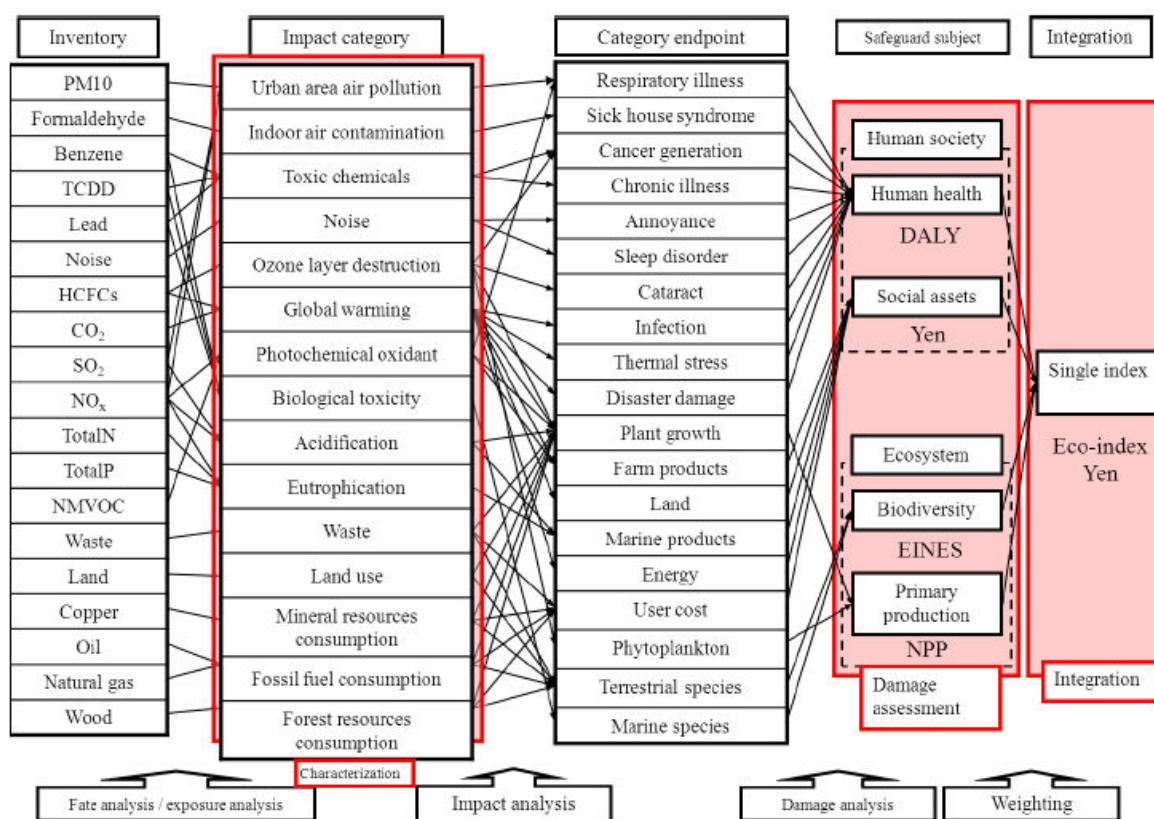


Figure S.1: Concept map of LIME2 and the range of objects of assessment

Figure 11 – Catégories d'impacts intégrées dans LIME 2 (extrait de Itsubo 2012)

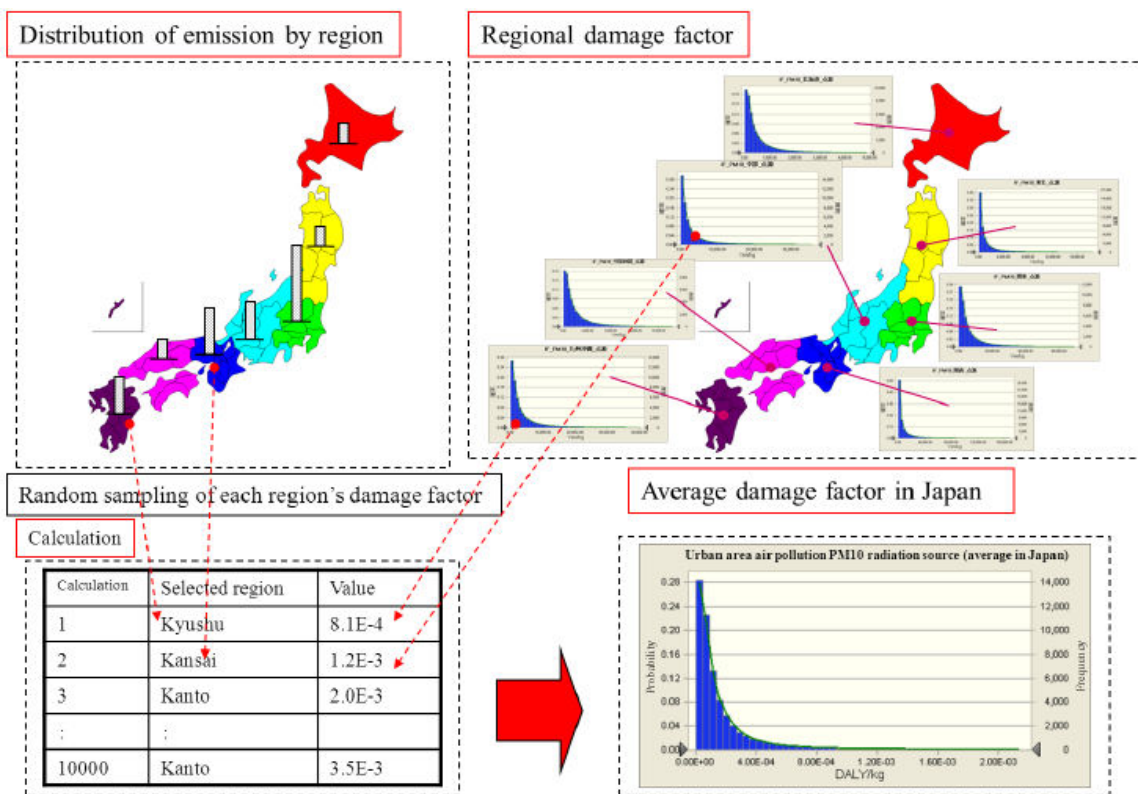


Figure 1.3-6: Method of calculating the average damage factor in Japan by the use of the Bootstrap method

After areas are identified from the regional distribution of amount of environmental burden, damage factors are randomly selected from the frequency distribution calculated beforehand for each region. This result is repeated several times to obtain a nationwide damage factor.

Figure 12 – Méthode d'agrégation des FC régionalisés par la méthode Bootstrap dans LIME 2 (extrait de Itsubo 2012)

4.2.5. Approches pour intégrer la régionalisation dans la phase d'interprétation

4.2.5.1. Approches pour évaluer la qualité des données

L'approche par matrice Pedigree permet d'intégrer la représentativité géographique à l'évaluation de la qualité des données (Weidema & Wesnæs 1996). Cette approche propose 5 niveaux d'évaluation qualitative de la qualité d'une donnée qui sont ensuite traduits en incertitude de façon semi-quantitative. L'un des niveaux d'évaluation est la corrélation géographique basée sur les similitudes entre les réglementations environnementales des zones géographiques.

Cette approche est notamment utilisée dans la base de données ecoinvent pour traduire la corrélation géographique des données numériques liées aux flux élémentaires et économiques d'un processus (voir section 4.2.6.1)

4.2.5.2. Approches pour visualiser les résultats d'impacts régionalisés

Même s'ils ont un domaine de validité pour une zone d'émission donnée, les FC régionalisés représentent des impacts intégrés dans l'espace et dans le temps. Il n'est donc pas possible de connaître la localisation spatiale des impacts, c'est-à-dire les zones géographiques qui seront impactées par les flux élémentaires.

Afin d'améliorer l'interprétation des résultats, Liu et al. (2014) propose une approche pour visualiser le lieu des impacts au travers d'un exemple sur un incinérateur de déchets municipaux à Taiwan. La localisation des résultats d'impacts (lieu de l'impact) est suivie par superposition des cartes sur le sort, l'exposition et l'effet, faisant ainsi appel à des compétences en SIG.

4.2.5.3. Approches pour mener des analyses de sensibilité

L'approche la plus populaire pour réaliser des analyses de sensibilité est l'analyse des perturbations qui consiste à faire varier la valeur d'un paramètre à la fois (Bjorklund 2002; Heijungs 1996). Le praticien identifie les paramètres qu'il juge les plus sensibles et fait varier leurs valeurs d'un certain pourcentage. Il relève ensuite l'effet de cette variation sur les résultats d'impacts afin de calculer un facteur de sensibilité. Une approche plus élaborée consiste à utiliser les variances des paramètres du modèle pour calculer les facteurs de sensibilité en utilisant l'approche matricielle (Heijungs 2010). Cependant ces approches semblent peu adaptées aux ACV régionalisés qui peuvent compter un très grand nombre de paramètres et ont une structure de calcul matriciel modifiée.

Pour réaliser des analyses de sensibilité adaptées aux ACV régionalisés, une approche en 2 étapes est proposée (Mutel et al. 2013). La première étape consiste à identifier les paramètres les plus sensibles par la méthode des effets élémentaires. Cette méthode permet de tester la sensibilité d'un changement de chaque paramètre en faisant également varier les autres paramètres afin d'explorer tous les résultats possibles du modèle et de capter les effets non linéaires. Les paramètres les plus sensibles sont ensuite sélectionnés en fonction du jugement du praticien. La seconde étape est un test de contribution à la variance afin de comparer l'importance relative des paramètres retenus. Cette méthode est basée sur les résultats de simulation de Monte Carlo qui sont faciles à calculer et à interpréter. Etant donné que le temps de calcul du test de contribution à la variance est élevé, la présélection des paramètres les plus sensibles permet de réduire le temps de calcul.

4.2.6. Intégration de la dimension géographique dans les bases de données ACV

L'intégration de la dimension géographique dans les bases de données se joue essentiellement au niveau de la régionalisation de l'inventaire (quelle précision spatiale pour les processus ?) et de l'opérationnalisation de la spatialisation des flux élémentaires. La description proposée ici se concentre notamment sur l'intégration de la dimension géographique dans la base de données ACV ecoinvent v3, lancée en mai 2013.

4.2.6.1. Régionalisation de l'inventaire dans les bases de données

Ecoinvent v3 revendique des jeux de données d'inventaire ayant une couverture géographique internationale, bien que beaucoup de processus soit représentatifs de la Suisse et l'Europe. Dans la version 3.1, la base de données contiendra également de nombreux jeux de données pour le Québec. Bien que des jeux de données ne soient pas nécessairement disponibles pour toutes les zones géographiques, cette base de données est très utilisée en ACV car elle est mise à jour régulièrement et tente de couvrir un maximum de secteurs économiques.

Les processus sont essentiellement distingués par pays mais ce niveau de précision peut varier d'un type de processus à l'autre. Ecoinvent v3 distingue les processus dits de transformation des processus dits de marché. Les premiers font référence à des processus classiques de transformation (incluant l'extraction, la production, le transport, la consommation et le traitement en fin de vie) par opposition aux seconds qui incluent des informations sur l'activité des marchés, les mix de production et les mix d'approvisionnement, les imports et les exports, etc. Les processus de marché représentent donc les mix de consommation pour les produits concernés en ajoutant des activités de transport, du détaillant ou revendeur ainsi que les éventuelles pertes dues au commerce et au transport.

Un descripteur géographique est attaché à chaque processus. Le descripteur permet de renseigner l'utilisateur sur la zone géographique de validité du processus ; les données peuvent donc provenir

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

d'autres zones géographiques et avoir ensuite été interpolées ou extrapolées pour la zone considérée. Ce descripteur peut être un point, une ligne ou une surface et est encodé en KML. Il est donc possible de renseigner des séries de coordonnées pour chaque processus mais également d'utiliser des noms raccourcis désignant un pays, un état ou un bassin versant préalablement définis (comme dans les versions précédentes d'ecoinvent). Chaque descripteur géographique appartient à une zone prédéfinie et il ne peut pas y avoir de superposition des localisations géographiques pour une même activité, ceci permet d'éviter le double comptage. Des descripteurs géographiques peuvent être ajoutés grâce à un outil gratuit disponible sur le site d'ecoinvent.

Le langage KML (*Keyhole Markup Language*) est un langage de programmation géographique destiné à la gestion de l'affichage de données géospatiales dans les logiciels de SIG. Ce langage est utilisé notamment par Google Maps. Pour décrire un objet géographique en KML, il est donc nécessaire de renseigner la forme de l'objet (ponctuel, linéaire ou surfacique), ses coordonnées géographiques (longitude, latitude, éventuellement altitude) et des informations sous forme textuelles peuvent être ajoutées. Notons que la base de données E-PRTR (*European Pollutant Release and Transfer Register*) sur les données polluantes des sites industriels (5kmx5km) de la Commission Européenne contient de l'information géographique codée en KML et pourrait donc être facilement utilisé pour faire un inventaire spatialisé en ACV en couplage avec un SIG.

Afin d'évaluer la qualité de la représentativité géographique de ses processus, ecoinvent v3 utilise la matrice pedigree comptant 5 niveaux d'évaluation permettant d'inclure la qualité des données à l'incertitude des processus (voir Muller et al. (2014) pour plus de précision sur le fonctionnement de l'approche pedigree dans ecoinvent v3). L'un des niveaux d'évaluation est la corrélation géographique qui spécifie le degré de représentativité géographique des flux utilisés pour un processus donné (voir Figure 13). Pour chaque flux économique et élémentaire, le niveau de corrélation géographique par rapport au descripteur géographique du processus est donc renseigné et traduit ensuite en incertitudes. Notons que seule la corrélation géographique des valeurs numériques représentant les quantités de flux pour un processus est évaluée. La corrélation géographique liée au choix du processus représentant un flux n'est pour le moment pas évaluée dans ecoinvent v3.

Non précisé
Données issues de la zone étudiée
Données moyennes relatives à une zone plus étendue dans laquelle se trouve la zone étudiée
Données issues d'une zone avec des conditions de production similaires
Données issues d'une zone avec des conditions de production légèrement similaires
Données issues d'une zone inconnue ou radicalement différente (Amérique du Nord au lieu du Moyen orient, Europe-OCDE au lieu de la Russie)

Figure 13 – Niveaux d'évaluation pour la corrélation géographique lors de l'évaluation de la qualité des données dans Ecoinvent v3

4.2.6.2. Spatialisation de l'inventaire dans les bases de données

Beloin-Saint-Pierre (2012) propose une méthodologie pour déterminer la façon la plus adéquate de spatialiser les flux d'inventaire dans les bases de données (BDD) ACV. Cette méthodologie est basée sur des critères tels que minimiser le temps de travail et maximiser le potentiel de précision et les conditions de viabilité des approches. Dans un premier temps, ce document dresse un panorama des méthodes existantes pour spatialiser les flux d'inventaire dans les BDD :

- Classiquement, les flux élémentaires sont distingués en fonction de leur compartiment d'émission (air, eau, sol et ressources naturelles) et sous-compartiment puisque ces informations sont nécessaires à l'utilisation de la plupart des méthodes d'impacts actuelles. L'opérationnalisation de cette approche demande un temps de recherche d'information minimal car celle-ci est déjà disponible. La caractérisation spatiale des flux élémentaires peut être conservée même lors de l'agrégation des processus et être propagée lors du calcul d'inventaire. Cependant, cette approche ne propose que 2 niveaux de précision et a donc un faible potentiel de précision spatiale. Elle force donc à l'utilisation des FC agrégés. Cette méthode est actuellement utilisée par toutes les bases de données.

- Le lieu géographique d'émission des flux élémentaires peut également être caractérisé par l'intermédiaire de la caractérisation géographique des processus (typiquement le pays, mais cela peut être une région ou même un point géographique). Cette approche favorise une meilleure transparence, présente un fort potentiel de précision spatiale, ne nécessite pas de renseigner chaque flux élémentaire un à un puisque l'information est déjà présente au niveau des processus ce qui amène un gain de temps considérable. Elle permet également l'utilisation de FC régionalisés. Cependant, l'opérationnalisation d'une telle approche peut induire un temps de recherche d'information et de modélisation supplémentaire potentiellement élevée car certains processus dont la précision spatiale est trop faible par rapport aux exigences de précision spatiale du flux élémentaire doivent être désagrégés. Cela peut poser problème pour l'utilisation de données confidentielles. Un problème peut également se poser pour la localisation d'infrastructure (par exemple les routes) qui ont une superficie plus large que la précision requise. A l'inverse, la précision peut être plus fine que nécessaire pour certains flux, il faudrait donc un outil de conversion pour certains impacts. De plus, d'après (Beloin-Saint-Pierre 2012), cette approche ne permet pas la propagation de la caractérisation spatiale lors de l'agrégation de processus et du calcul de l'inventaire. Notons que cette information n'était pas utilisée jusqu'à présent dans l'élaboration des bases de données pour spatialiser les flux mais deviendra nécessaire pour l'application des méthodes d'impacts régionalisées.

(Beloin-Saint-Pierre 2012) conclut qu'il est nécessaire que "chaque flux élémentaire (extraction/émission) soit spécifiquement défini par un compartiment, un sous-compartiment et une région" et que "le maillage des régions de caractérisation des flux élémentaires peut donc être défini par une taille qui permet d'utiliser des FC avec une faible variabilité spatiale". L'avantage d'utiliser les informations géographiques des processus pour spatialiser les flux élémentaires est que cela ne complexifie pas la structure de modélisation des systèmes des BDD et peut donc être directement fonctionnel pour toutes les BDD. Cependant, cela nécessite de définir une précision pour la caractérisation spatiale de chaque flux, ce qui sous-tend une plus grande synergie entre les concepteurs de BDD et les spécialistes de la modélisation des impacts.

Dansecoinvent v3, chaque flux élémentaire hérite de la localisation donnée par le descripteur géographique du processus auquel il est associé.

4.2.7. Intégration de la dimension géographique dans les logiciels ACV

Les logiciels ACV les plus utilisés, à savoir SimaPro et Gabi, permettent l'ajout d'informations géographiques textuelles dans les descriptions des processus mais cette information n'est pas utilisée par la suite dans le calcul d'impact. Les flux élémentaires sont définis par leur nom, leur compartiment et sous-compartiment. Ces logiciels peuvent supporter l'utilisation de méthodes d'impacts régionalisées dans la mesure où les flux élémentaires sont définis de façon adéquates, c'est-à-dire que la nomenclature des flux élémentaires intègre l'information géographique nécessaire (le pays d'émission par exemple).

Dans OpenLCA, la localisation de chaque processus est décrite par une forme (point, ligne, polygone) et un jeu de coordonnées géographiques grâce à un éditeur KML. OpenLCA supporte l'utilisation de méthodes d'impacts régionalisées. Le calcul régionalisé de l'impact est réalisé en fonction de l'intersection entre l'inventaire et les FC par pondération surfacique. Les résultats d'impacts peuvent être analysés et visualisés en fonction de l'origine géographique des substances générant l'impact (voir Figure 14). Les méthodes d'impacts peuvent être également paramétrées (Rodríguez et al. 2014) : chaque FC peut donc être paramétré en fonction des propriétés liées au site et à la substance. Les variables régionalisées sont contenues dans un fichier *shape*. Cela permet de réduire la quantité de donnée et la puissance de calcul.

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

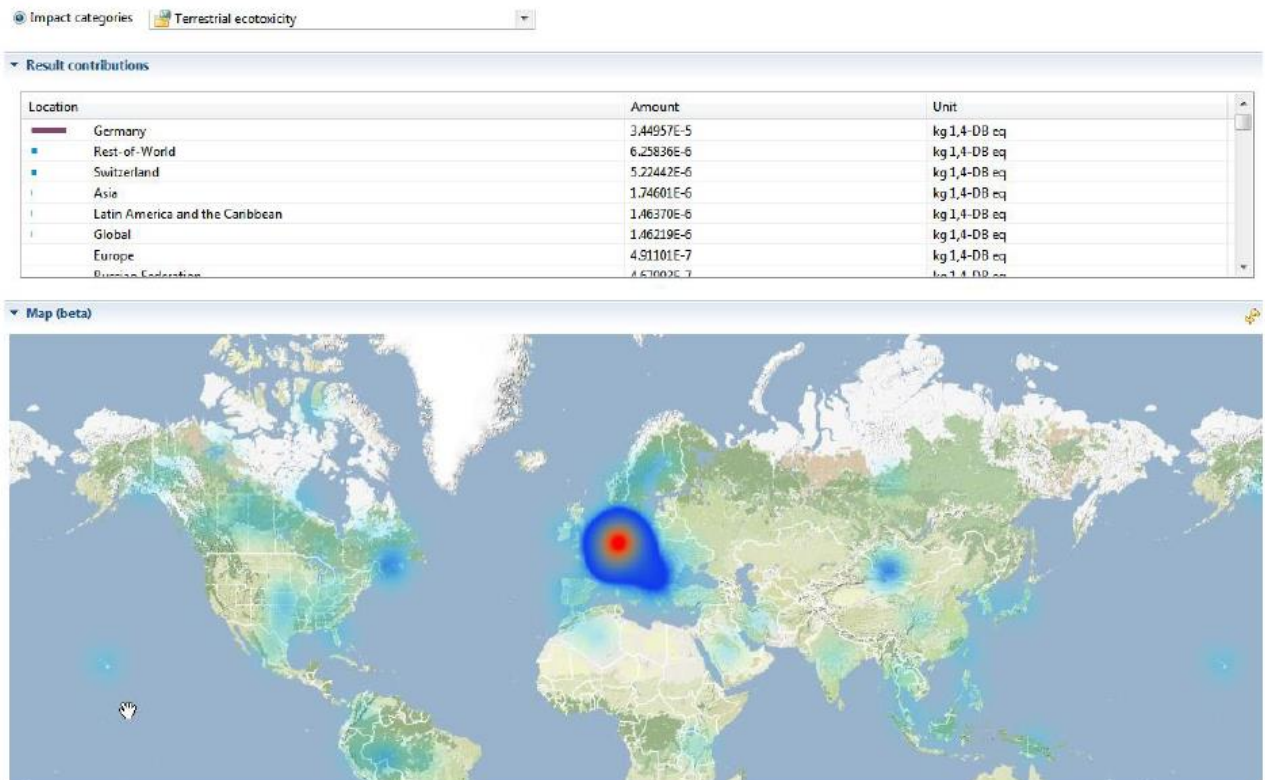


Figure 15: Sheet 'locations' (cropped) as an example for product system analysis results

Figure 14 – Visualisation des résultats d'impacts dans OpenLCA (extrait de <http://www.openlca.org/>)

Le logiciel Brightway est un logiciel de calcul ACV qui propose des fonctionnalités avancées mais a une interface relativement peu ergonomique et difficile à prendre en main. Il est essentiellement utilisé pour les besoins de la recherche. Dans ce logiciel, une localisation sous forme de chaîne de caractère peut être ajoutée à chaque processus. Toutes les méthodes d'impact dans Brightway sont régionalisées, c'est-à-dire qu'une localisation a été ajoutée pour chaque FC. Pour réaliser des ACV régionalisées, un *package* doit être installé. Celui-ci permet de gérer les différences d'échelles spatiales entre l'inventaire et les FC lors du calcul d'impact ainsi que le "*background loading*" qui sert à déterminer la probabilité d'occurrence d'une émission. Le calcul matriciel est donc modifié tel que proposé dans Mutel (2012). Des cartes permettant de visualiser l'origine des impacts peuvent être générées.

5. Exemples d'application

5.1. Exemple conceptuel de régionalisation de l'inventaire : le cas du secteur électrique

Pour illustrer la régionalisation de l'inventaire, un exemple conceptuel basé sur le secteur électrique en France est proposé. La représentativité géographique des processus d'approvisionnement en matières premières, de production d'électricité et de consommation d'électricité est améliorée afin de constater les effets sur les résultats d'impacts.

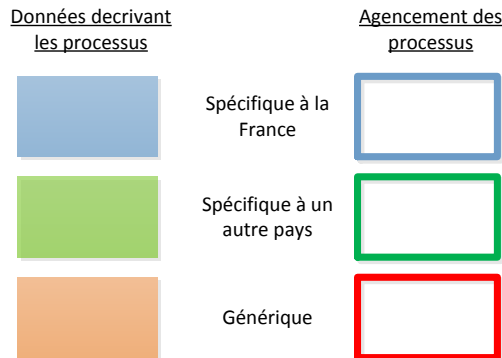


Figure 15 – Légende pour la représentativité géographique de l'inventaire pour les données décrivant chaque processus et l'agencement de ces processus

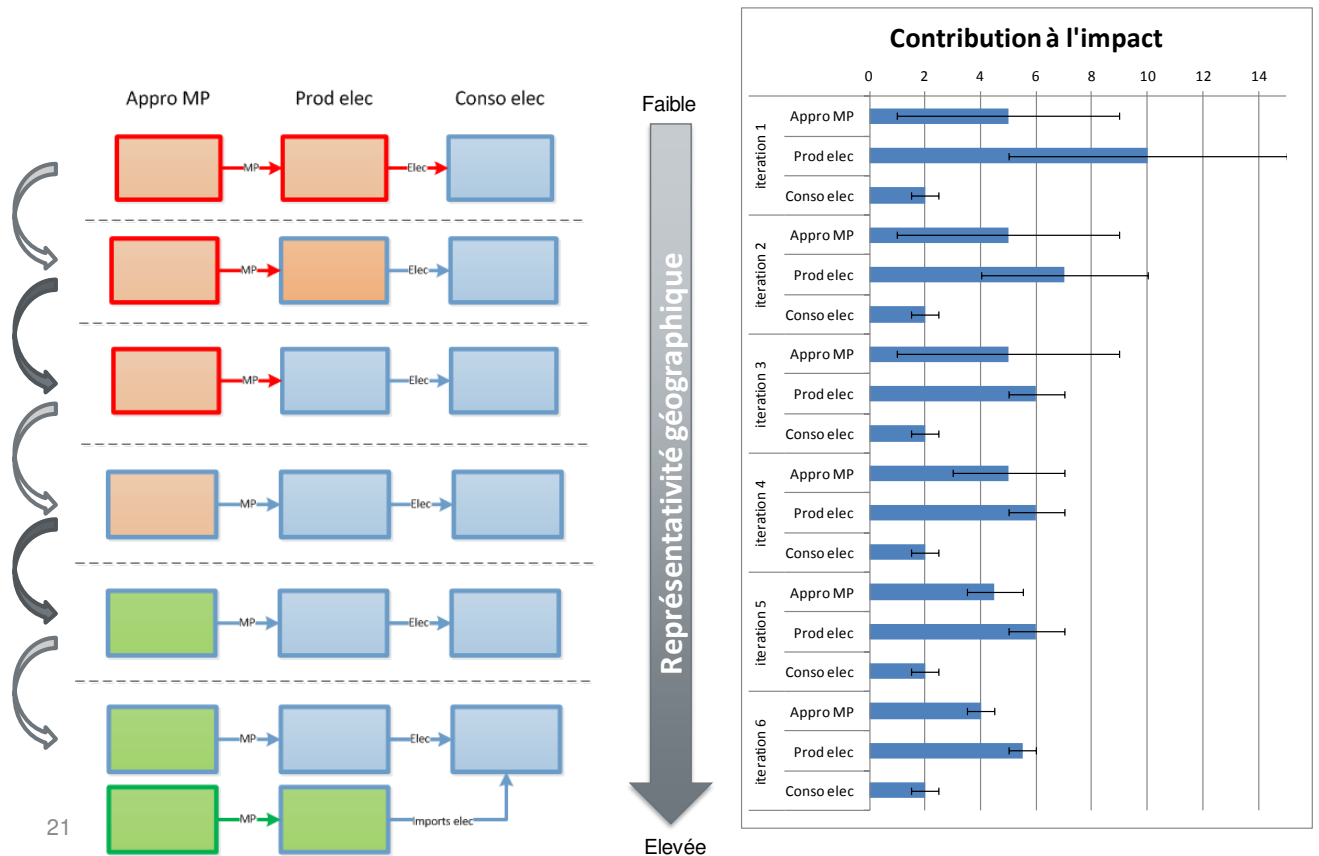


Figure 16 - Exemple de régionalisation de l'inventaire – Cas de la consommation d'électricité en France métropolitaine. Appro MP = approvisionnement en matières premières, Prod elec = production d'électricité, Conso elec = consommation d'électricité.

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

Le secteur électrique peut être décrit en utilisant un mix mondial moyen, ou en décrivant le mix électrique de la région concernée (par ex. 77% nucléaire, 10% thermique, 13% renouvelable) mais en utilisant des données génériques pour la description des technologies de production utilisées (centrale au charbon avec un rendement représentatif d'une moyenne mondiale pour les centrales au charbon) ou bien des données plus spécifiques sur les technologies représentatives de la région. Les importations d'électricité depuis d'autres pays peuvent également être prises en compte pour augmenter la représentativité géographique de l'inventaire.

La régionalisation de l'inventaire est ici faite en améliorant la qualité des données pour décrire chaque processus mais également en décrivant de façon plus représentative le mix électrique et le mix d'approvisionnement en matières premières. L'amélioration de la représentativité géographique permet donc de réduire les incertitudes spatiales associées à chaque processus ayant été régionalisé.

5.2. Influence de la régionalisation de l'inventaire sur les résultats d'impacts : le cas d'un plastique biosourcé

Les impacts environnementaux de la production de plastique biosourcé à partir de maïs sont comparés pour plusieurs zones géographiques de production de la biomasse. Dans tous les scénarios, le processus de production de bioplastique est identique (« Polylactide, granulate, at plant » issu de ecoinvent v2.2). Seuls les processus de production du maïs sont spécifiques aux zones géographiques comparées : Brésil, Allemagne, France, Hongrie, États-Unis. Les jeux de données agricoles sont issus de la base de Agri-Footprint v1.1. Les principaux discriminants entre ces pays pour le processus de production de maïs sont : le rendement, les pratiques culturales, les types d'engrais et de pesticides utilisés, la nature des sols, etc.

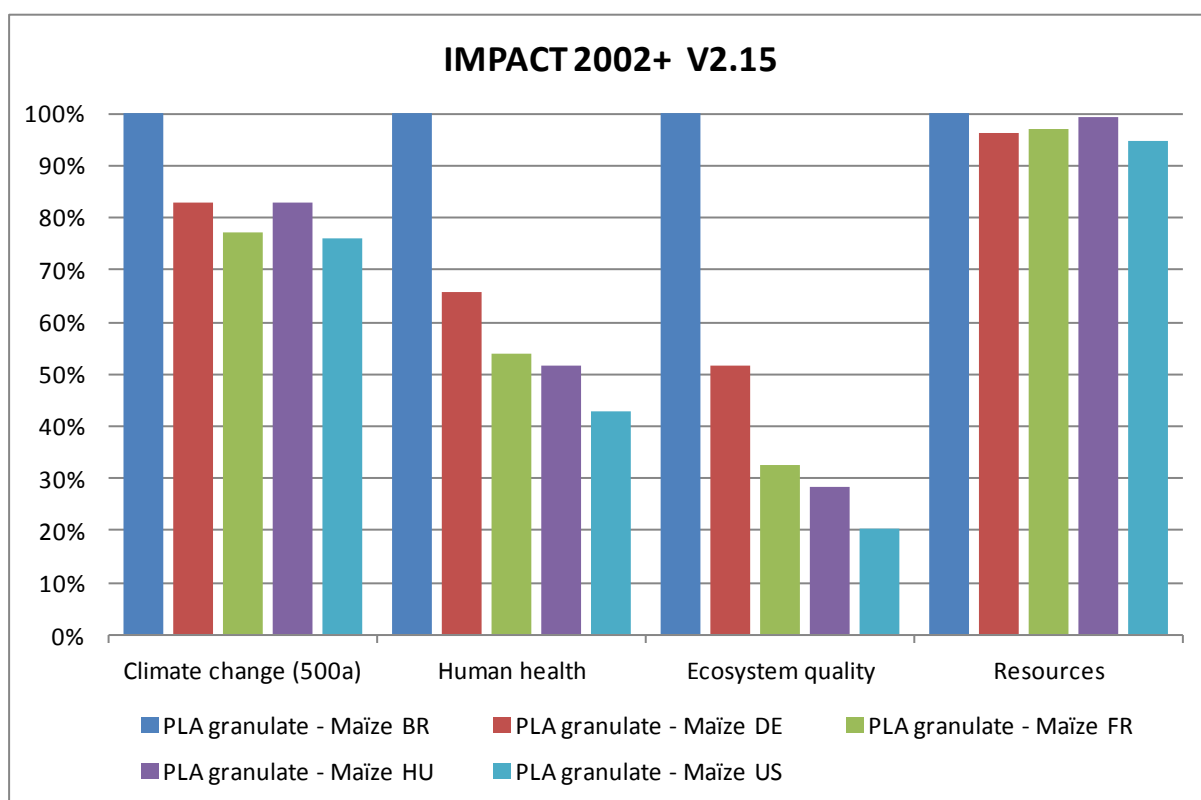


Figure 17 – Résultats d'impact orientés dommages obtenus avec IMPACT 2002+ pour la production de plastique biosourcé dans différentes régions.

Les résultats d'impacts obtenus montrent une variabilité en fonction du pays considéré notamment pour la santé humaine et la qualité des écosystèmes (voir Figure 17). Les impacts peuvent être jusqu'à 4 fois plus élevés suivant le pays considéré pour la production de maïs. Le Brésil est le pays ayant les impacts les plus élevés pour toutes les catégories de dommage. Ceci est notamment dû à :

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

- L'utilisation des sols au Brésil : les rendements agricoles sont faibles ce qui augmente les impacts dus à l'occupation des sols, la déforestation pour la mise en culture du maïs augmente les impacts dus à la transformation des sols ;
- L'utilisation intensive de machines agricoles fortement consommatrices de diesel ;
- La présence de Zinc qui augmente les impacts sur l'écotoxicité.

Ces résultats soulignent l'importance de décrire de façon représentative les systèmes étudiés car les résultats d'impacts peuvent être très différents et peuvent conduire à des conclusions erronées.

5.3. Exemple de sélection des processus à régionaliser : le cas de la production de colza en France

La procédure proposée ici permet de sélectionner les processus les plus pertinents pour être régionalisés. Elle est basée sur une analyse de contribution du scénario étudié et sur les dires d'expert quant à la variabilité géographique des données d'inventaire. Cette procédure est divisée en plusieurs étapes :

- Sélection des impacts à régionaliser en priorité par analyse de contribution des résultats d'impacts orientés dommage ;
- Sélection des processus à régionaliser en priorité par analyse de contribution par processus pour les impacts sélectionnés ;
- Sélection des données d'inventaire à régionaliser en priorité par analyse de contribution par substance pour les impacts sélectionnés ;
- Analyse de la pertinence de régionaliser les données sélectionnées en fonction de leur qualité/incertitude spatiale.

Prenons l'exemple de la production de colza en France avec le processus ecoinvent v3 « Rape seed {FR}| production | Alloc Def, U ». Une analyse des scores d'impacts normalisés obtenue avec IMPACT World+ montre que les impacts des changements climatiques contribuent à 49% pour le dommage sur la santé humaine et à 63% pour le dommage sur la qualité des écosystèmes (voir Figure 18). Cet indicateur n'est pas sensible à la localisation géographique des flux élémentaires, il n'est donc pas nécessaire de spatialiser l'inventaire. Cependant les processus qui y contribuent peuvent avoir une variabilité géographique qui pourrait justifier la régionalisation de l'inventaire pour le rendre plus représentatif. Si l'impact sélectionné avait des FC avec une forte variabilité géographique, il conviendrait d'envisager une spatialisation et une régionalisation de l'inventaire, et de prioriser ces efforts par rapport à leur potentiel de réduction de l'incertitude spatiale.

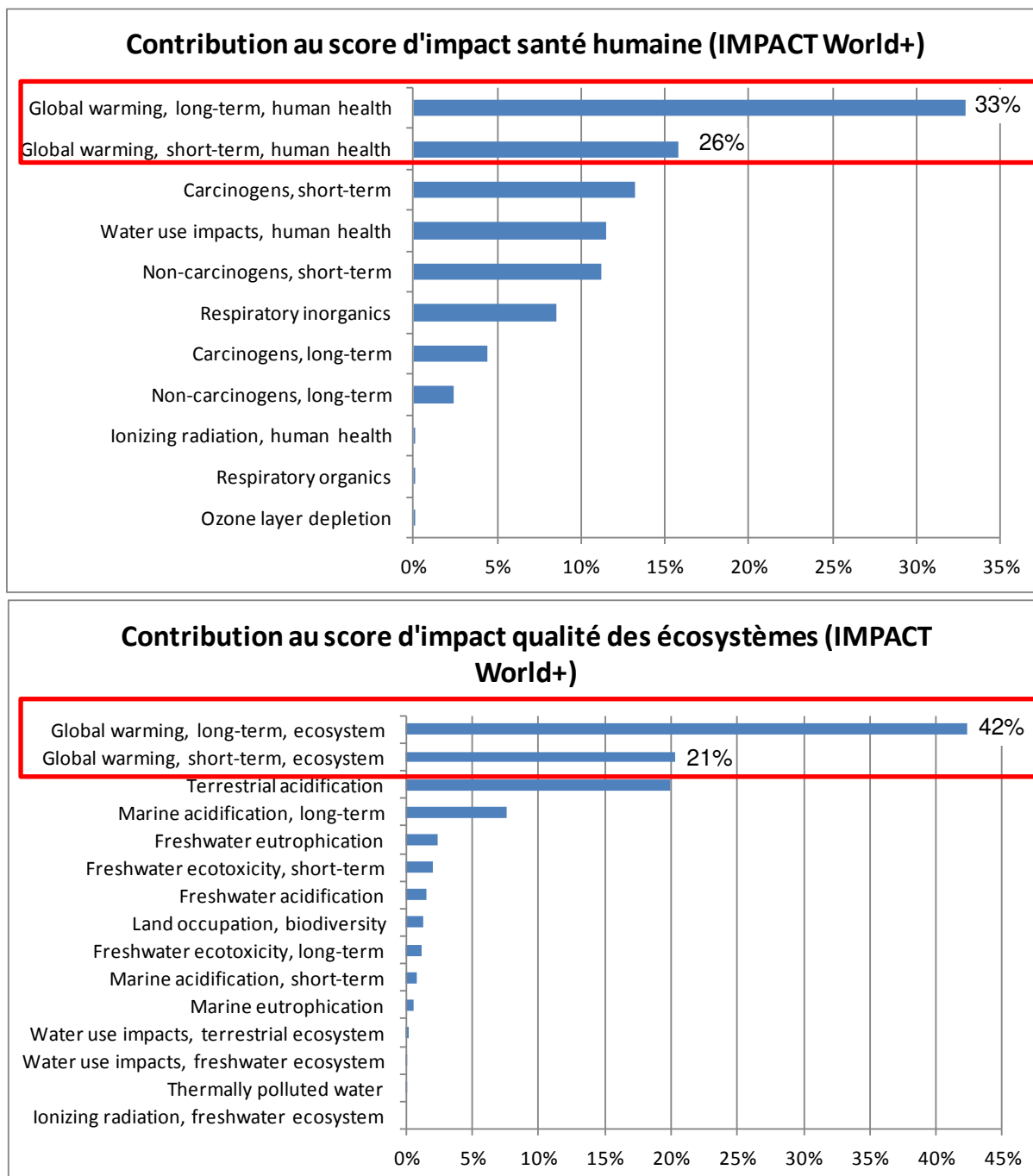


Figure 18 – Score d'impact pour les catégories d'impact orienté dommage santé humaine et qualité des écosystèmes obtenu avec IMPACT World+ pour le processus 1kg « Rape seed {FR} production | Alloc Def, U »

Une analyse de contribution par processus des indicateurs liés aux changements climatiques montre que le processus même de production du colza contribue entre 21.6% et 38% aux impacts sur la santé humaine et sur la qualité des écosystèmes. En analysant les flux élémentaires émis au niveau de la production de colza, les émissions de N₂O émises au champ apparaissent comme les principales contributrices aux impacts sur le changement climatique. Reste donc à juger de la pertinence de régionaliser les flux élémentaires N₂O émis au champ pour la production de colza. Comme cela a été souligné à plusieurs reprises dans la littérature, les données d'émissions de N₂O au champ pour les processus agricoles sont des données très incertaines car extrêmement dépendantes des pratiques culturales, des quantités d'engrais appliqués et du type de sol. Ces données ont donc une grande incertitude spatiale et méritent d'être régionalisées, c'est-à-dire décrites de façon plus représentative géographiquement afin de réduire les incertitudes spatiales sur les

résultats d'impacts. L'exemple de la section suivante montre un exemple concret de mise en place de la régionalisation des émissions de N₂O (voir section 5.4).

Notons que les seuils pour la sélection des impacts, des processus et des flux élémentaires à régionaliser sont ici définis de façon arbitraire. Notons que 20% des impacts sur la qualité des écosystèmes sont liés à l'acidification terrestre. Il pourrait donc également être pertinent de s'attarder sur cet impact pour la régionalisation de l'inventaire. De plus, cet impact a des FC avec une forte variabilité géographique, il conviendrait également d'envisager une spatialisation de l'inventaire pour l'acidification terrestre.

5.4. Exemple pratique de régionalisation de l'inventaire : le cas d'une filière de production de biocarburant

Aspects régionalisation traités :

- *Description régionalisée de l'inventaire ;*
- *Intégration d'outils pour améliorer l'inventaire :*
 - *Utilisation d'un modèle agro-systémique paramétré pour modéliser les cultures agricoles et donc certains flux ACV,*
 - *Couplage à un outil SIG pour spatialiser les flux ;*
- *Augmentation de la précision et de la pertinence des données d'inventaire, visualisation de la localisation des flux et donc des impacts potentiels associés.*
- *Travail sur les émissions azotées et aux changements d'affectation des sols (cycles azote et carbone).*

5.4.1. Pertinence de l'utilisation d'un modèle agro-systémique spatialisé pour l'ACV de filières biomasse.

Nous avons vu dans les recommandations liées à l'étape d'inventaire (3.2.2.1) que certains flux élémentaires comme les émissions agricoles ou les émissions liées à la transformation des sols sont influencées par des facteurs géographiques (climat, type de sol, utilisation des sols, température, humidité) et doivent être modélisées de façon spécifique en prenant en compte ces facteurs.

Prenons l'exemple ici de filières utilisant de la biomasse, et notamment l'exemple d'une filière biocarburant (éthanol de 2^{ème} génération (2G), ex-biomasse lignocellulosique, de type résidus agricoles ou cultures dédiées). De nombreuses études comparatives sur les impacts environnementaux des carburants fossiles et des biocarburants ont déjà été publiées. Cependant, leurs résultats sont variables et peu cohérents, ce qui a contribué à créer de la confusion quant aux réels bénéfices de ces biocarburants (Menten et al. 2013). En effet, bien que la qualité des données soit primordiale pour la fiabilité des ACV, les données des étapes agricoles sont soumises à de grandes incertitudes. Celles-ci sont dues notamment à la variabilité locale des conditions de sol, de climat et de gestion des cultures, ou encore à l'éventail d'impacts environnementaux causés par les mécanismes biophysiques mis en œuvre.

Pour pallier les limites de l'ACV lors de l'évaluation de tels systèmes, et notamment pour les aspects GES qui peuvent remettre en cause les conclusions des études, et notamment du fait des estimations des émissions de N₂O et du stockage de carbone dans le sol, la modélisation des agroécosystèmes apparaît une voie adéquate et prometteuse. Développés depuis les années 1980, des modèles permettent de simuler les dynamiques de l'eau, du carbone et de l'azote ainsi que la croissance des plantes selon le sol, le climat et l'itinéraire technique, et ce pour un nombre grandissant de cultures mais aussi d'impacts environnementaux. La modélisation permet également de prendre en compte les variations de climat et leurs impacts potentiels sur les rendements futurs. Ces propriétés sont essentielles pour l'évaluation à long terme des performances des cultures à la fois en termes de GES mais aussi de rendements.

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

Un modèle agronomique utilisé à l'INRA par exemple (modèle CERES-EGC¹) a été utilisé dans le cadre d'un projet français biocarburant pour simuler les cycles de l'eau, de l'azote et du carbone des cultures². Ce modèle a été spatialisé pour prendre en compte l'effet de la variabilité pédoclimatique au sein d'un bassin d'approvisionnement sur les performances des cultures. Puis, ces performances ont été associées à des scénarios d'implantation des cultures, ceci afin de préciser les données des inventaires de cycle de vie (rendements, émissions de N₂O et variations de C du sol). Le travail a été fait sur deux régions : Bourgogne et Picardie.

Pour une culture en effet, les émissions de GES sont très variables et dépendent des conditions locales de climats, sols et pratiques culturales, en particulier dans le cas des émissions de N₂O. Etant donné que le pouvoir de réchauffement global du N₂O est élevé, il est donc indispensable d'estimer ces émissions plus précisément afin de mieux prédire les bilans environnementaux des filières agricoles. Le GIEC propose des relations simplifiées afin d'estimer ces émissions, en se basant sur l'apport de fertilisation azotée pour de grandes zones climatiques. Cependant, ces facteurs d'émissions sont génériques, avec de larges incertitudes, et ne prennent pas en compte la variation locale des pédoclimats. Les émissions ainsi calculées peuvent conduire à des réductions de GES variables et incertaines.

La modélisation des agroécosystèmes et de leurs cycles carbonés et azotés permet de préciser les émissions de N₂O, de NH₃ et de NOx issus d'une parcelle, mais également les rendements des cultures, le lessivage des nitrates et les évolutions des stocks de C dans le sol, et ce en tenant compte des conditions locales de sol, de climat et de gestion des itinéraires techniques de la culture. Le modèle CERES-EGC a été développé dans cette optique : les différents cycles des nutriments sont simulés avec un pas de temps journalier et peuvent être intégrés sur plusieurs années consécutives en enchaînant des cultures différentes à l'échelle de la parcelle.

Afin de prendre en compte l'ensemble d'un bassin d'approvisionnement, le modèle CERES-EGC a été spatialisé à l'aide de bases de données pour les paramètres d'entrée, ce qui a permis de prendre en compte les variations spatiales de pédoclimats dans l'estimation des performances (rendements et émissions directes de N₂O) des cultures par région. Ainsi, selon la méthode de sélection des parcelles à convertir et de la demande en biomasse, des recommandations peuvent être formulées pour de futures implantations de cultures et localisations des unités de conversion de bioéthanol, permettant de ce fait l'optimisation des performances et du transport de la biomasse. Des éléments guidant l'implantation des cultures existent déjà, des scénarios peuvent donc être mis en place pour affiner les résultats à considérer lors de la comparaison des cultures.

¹ INRA UMR Environnement et Grandes Cultures (EGC). Grignon.

² Le travail présenté ici s'est inséré dans le Projet FUTUROL (http://www.projetfuturol.com/Le-Projet_a21.html), soutenu par Oséo, dont l'objectif est de mettre sur le marché une licence pour la production de bioéthanol à partir de biomasse lignocellulosique. Un des modules de ce projet se focalise particulièrement sur les ressources lignocellulosiques afin de produire des données aussi précises que possible pour réaliser des ACV tenant compte des conditions locales. Les résultats de ce travail sont déjà publiés dans l'article "Using Agroecosystem Modeling to Improve the Estimates of N₂O Emissions in the Life-Cycle Assessment of Biofuels.", Dufossé, K., B. Gabrielle, J.-L. Drouet and C. Bessou (2013). Waste and Biomass Valorization 4: 593-606 ; et seront complétés lors d'une communication à la conférence LCA Food 2014 (<http://lcafood2014.org/>, 8-10 octobre 2014) : "LCA of lignocellulosic feedstock : what is the most sustainable biomass for bioethanol production in Northern French regions considering local variability ? Example of the Burgundy region" par Karine Dufossé, Benoit Gabrielle, Jean-Louis Drouet, Cécile Querleu, et se retrouvent aussi de manière complète dans la thèse de Karine Dufossé (AgroParisTech, INRA EMR EGC, soutenue le 19/12/2013).

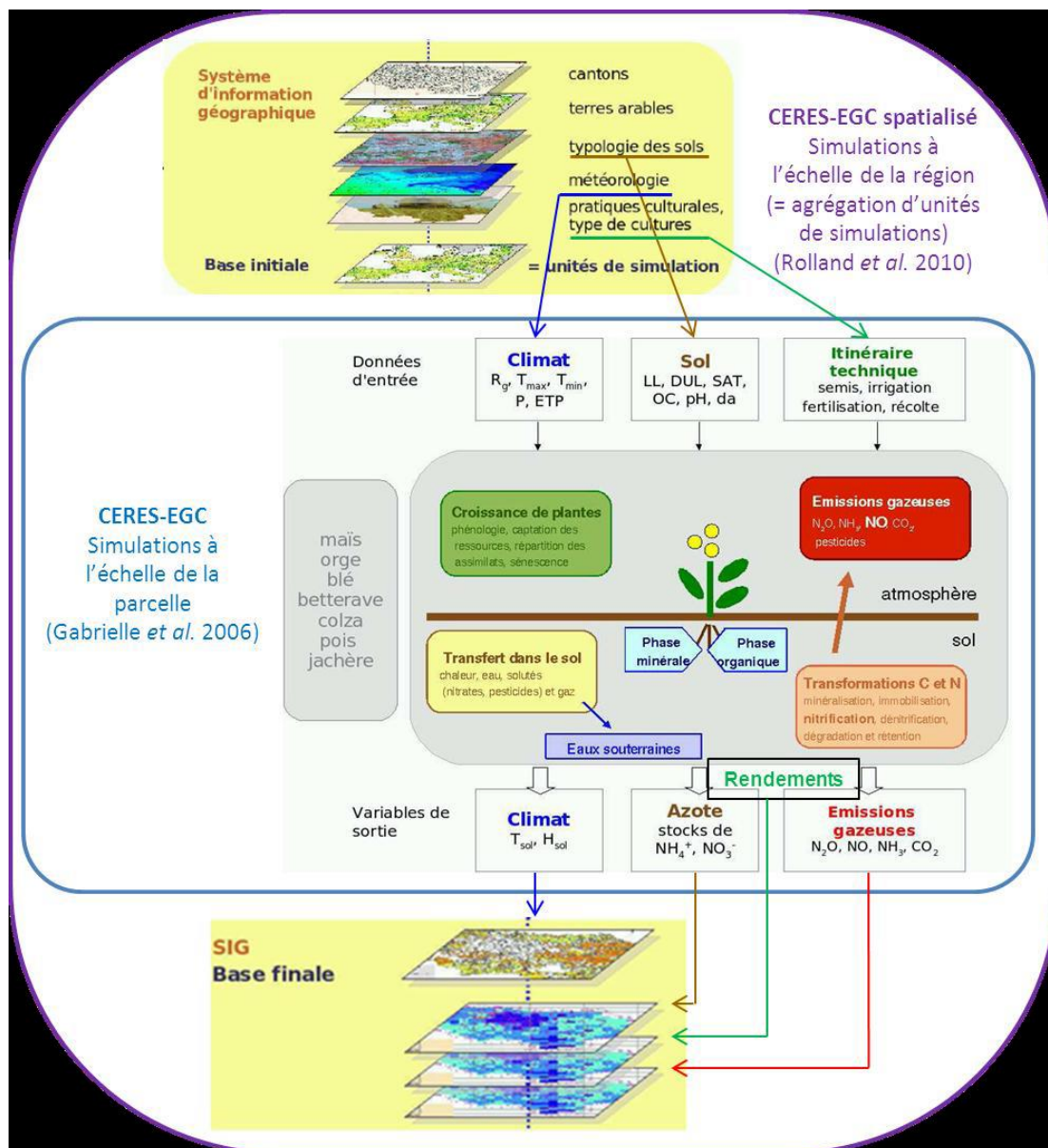


Figure 19 - Schéma présentant le fonctionnement général de CERES-EGC

Les émissions de substances azotées dans le sol, l'air et l'eau (N_2O direct, NO_x , NH_3 et NO_3^-) sont issues des résultats de simulation CERES-EGC des cultures. Les émissions de N_2O indirectes ont par contre été calculées à partir des lignes directrices du GIEC appliquées aux émissions simulées de NO_x , NH_3 et NO_3^- (IPCC, 2006).

En ce qui concerne les changements d'usage des sols direct, les variations dans les stocks de carbone sont estimées grâce à la modélisation, en sont déduites les variations issues de la succession de référence, afin d'obtenir des écarts de stocks nets. Car on a vu en paragraphe 3.2.2.4 sur la spatialisation des flux élémentaires que si un processus engendre une forte utilisation ou changement d'usage des sols, des informations sur les types et utilisation des sols passés et présents doivent être fournis. Ces écarts sont ensuite transformés en émissions (positives ou négatives) de CO_2 grâce aux équations proposées par le GIEC (2006).

5.4.2. Exemples de résultats obtenus.

Les sorties des 2 modèles couplés (CERES-EGC et SIG) donnent par exemple les résultats suivants pour une région donnée : la Picardie, et une culture donnée, ici le miscanthus (voir Figure 20).

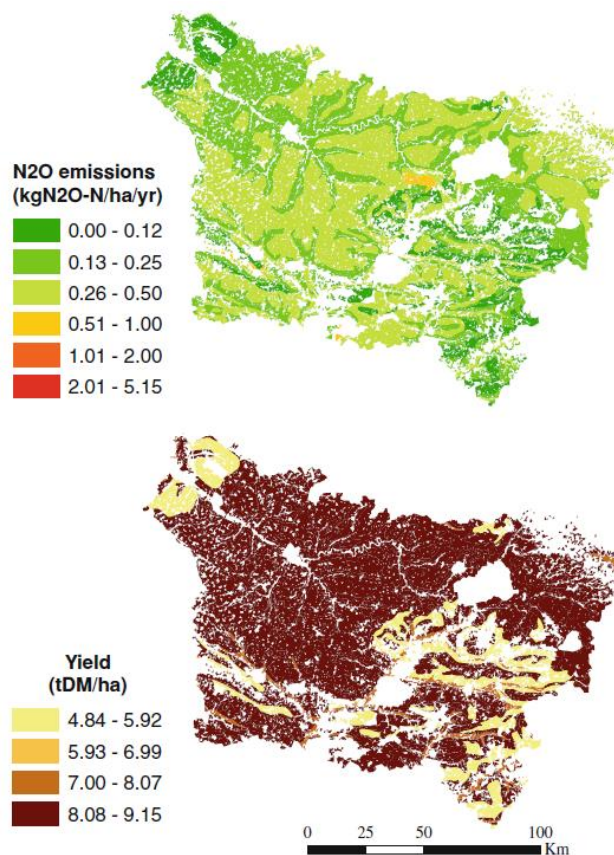
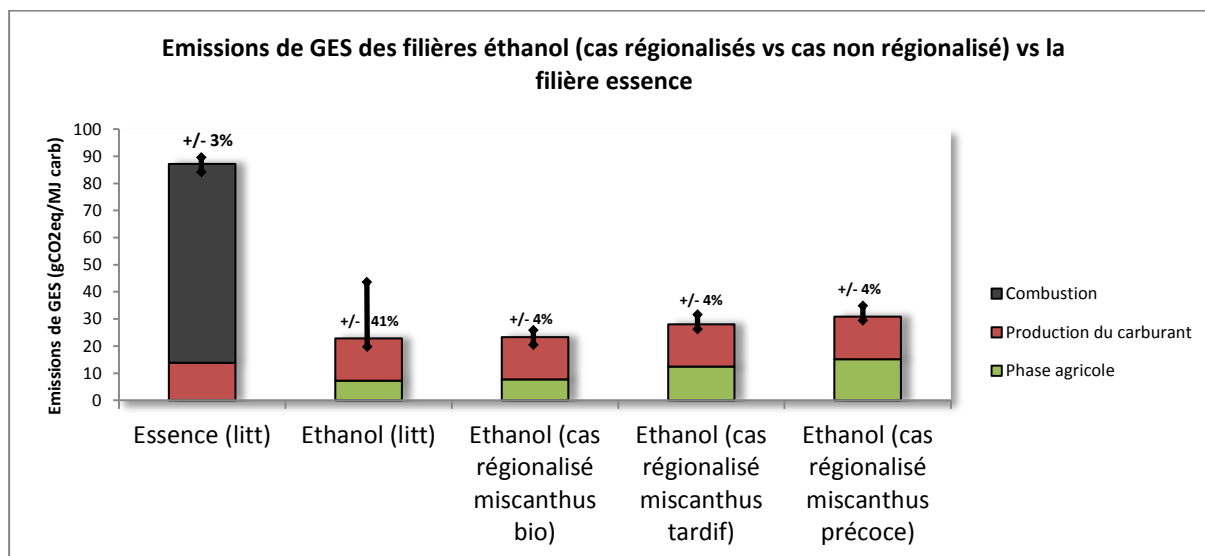


Figure 20 – Répartition spatiale des émissions de N₂O et des rendements pour la production de miscanthus en Picardie (France)

Les émissions les plus faibles de N₂O sont en vert sur la carte et les rendements les plus forts en brun, ce qui permet de localiser les zones de culture les plus intéressantes, les moins impactantes pour ce type de culture dédiée.

En reprenant les valeurs issues de ces modèles et en les intégrant à l'étude ACV, on peut ainsi comparer le bilan GES d'une filière éthanol à partir de miscanthus (3 scénarios possibles pour la culture du miscanthus), dont l'inventaire a été régionalisé, à deux filières de référence : une filière éthanol et la filière homologue fossile (essence), dont les valeurs proviennent de la littérature.

Le graphe suivant montre qu'une incertitude peut être calculée pour chacune des filières, et que celle-ci peut être fortement réduite pour la filière éthanol quand on peut régionaliser l'inventaire (fait pour la Bourgogne ici). Cela est illustré ici avec les émissions azotées au champ, qui impactent fortement le bilan GES de la filière.



La variabilité liée à la filière essence présentée ici est liée au contenu énergétique du « crude oil », du fait de la variabilité du mix d'approvisionnement en pétrole. Le contenu énergétique variant de 0,057 à 0,0730 MJ/MJ crude oil, il entraîne des variations du bilan GES de 3,75 à 4,75 gCO₂/MJ crude oil. La variabilité de cette filière est aussi liée en phase de production de carburant au fonctionnement différent des raffineries, selon le type de raffinerie considérée (orientée production d'essence ou autre produit pétrolier), et au mode d'allocation choisi entre les différents produits sortants de la raffinerie³. Cette variabilité n'est donc pas véritablement d'ordre géographique, sauf à considérer que les gisements de pétrole et leurs qualités sont tout de même différenciés selon leur provenance géographique.

Pour le bioéthanol, la variabilité est donc due à la manière dont sont calculées les émissions azotées survenant au champ. Dans le cas de la littérature⁴, la culture dédiée (taillis à courte rotation ici - TCR) reçoit des fertilisants pour sa croissance mais le fait d'utiliser des données de culture peu précises, on estime que les fertilisants azotés apportés à ces taillis (saule ou peuplier, car la zone géographique prise en compte ici est l'Europe et on trouve ces deux types de taillis majoritairement cultivés dans la zone), varient dans des quantités allant de 0,11 à 0,27 g/MJ biomasse, et engendrent donc 0,0001 à 0,0225 gN₂O émis/MJ biomasse (calculs d'après facteurs IPCC 2006).

En ayant un inventaire ACV beaucoup plus détaillé (3 itinéraires culturaux pour du miscanthus selon les intrants agricoles), dont les caractéristiques (rendements notamment) se rapprochent de celles des TCR et peuvent donc être comparées, et en régionalisant celui-ci, on obtient des valeurs beaucoup plus précises pour les émissions azotées au champ. Et on réduit de fait fortement la variabilité de ces valeurs : on passe de 41% de variabilité pour l'éthanol issu du cas littérature à 4% de variabilité, due ici à la variabilité spatiale de la zone étudiée, en l'occurrence la Bourgogne ici. On peut donc conclure plus précisément sur le réel gain apporté par la filière éthanol en termes de réduction d'émissions de GES par rapport à la filière fossile essence avec les cas régionalisés par rapport au cas non régionalisé (la question des changements d'affectation des sols étant exclue ici).

Cela a particulièrement son importance dans le cas de filières biocarburants car celles-ci sont soumises à la réglementation. La Directive Européenne sur les Energies renouvelables (Directive ENR 2009/28/EC) précise en effet que les filières biocarburants existantes doivent justifier de 35% de réduction d'émissions de GES par rapport à la filière homologue fossile de référence (diesel ou

³ Voir rapport ADEME (réf.8176) « Impact carbone « Well-to-Tank » des carburants fossiles », IFPEN pour ADEME, septembre 2013, 60 pages.

⁴ Le cas issu de la littérature vient de l'étude de référence pour l'ACV des biocarburants JEC (JRC/EUCAR/CONCAWE, Commission Européenne, JRC Technical Reports), WTT Appendix 4, Version 4a, Avril 2014 ("Description, results and input data per pathway, WTT analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context"). Le JEC a choisi les TCR pour établir son cas d'étude éthanol 2G à partir de biomasse lignocellulosique type bois mais assume que les plantes pérennes comme le miscanthus par exemple sont une alternative à ces taillis à courte rotation qui présenteraient les mêmes caractéristiques donc on peut comparer ce scénario au scénario éthanol ex-miscanthus avec inventaire des données régionalisé / spatialisé pour les flux azote et carbone.

essence) actuellement, puis que celles-ci devront justifier de 50% de réduction en 2017 et que celles en développement devront justifier de 60% en 2017 également. Il faut donc être capable de mesurer précisément ces gains, sans de fortes incertitudes, pour que les filières étudiées soient certifiées comme biocarburants et passent ces seuils de manière fiable. La filière éthanol issue de la littérature ici réduit de 80% les émissions de GES par rapport à l'essence, mais la variabilité de 41% sur le bilan GES de cette filière conduit à ne pas être certain de cette réduction. En revanche, avec les filières éthanol à l'inventaire régionalisé, qui permettraient d'avoir entre 73 et 80% de gains GES mais qui ne présentent que 4% de variabilité sur ces résultats, on peut conclure de manière fiable sur le fait que ces filières se présentent réellement comme efficaces pour diminuer les émissions de GES. Nous voyons alors bien là l'intérêt de régionaliser l'inventaire pour obtenir des résultats fiables et permettre de positionner une filière par rapport à la réglementation en vigueur.

5.4.3. Conclusions, intérêt et limites de l'utilisation de tels outils

La modélisation des agro-écosystèmes permet de simuler les cycles azotés, carbonés et de l'eau en interaction avec le sol, l'atmosphère et les plantes. Cela permet ainsi d'améliorer les estimations de rendements, d'émissions de N_2O ainsi que des évolutions du C du sol, liées à une culture. Puisqu'un bassin d'approvisionnement en biomasse s'étendra sur une échelle beaucoup plus large, la modélisation devient essentielle pour prendre en compte les multiples variabilités spatiales et temporelles à l'intérieur de ce bassin. C'est pourquoi la méthodologie de spatialisation de la modélisation a été développée pour estimer les rendements et émissions de GES liés à ces variations. L'implantation des cultures lignocellulosiques étant régie par des logiques économiques et environnementales, la mise en place de scénarios a permis de discriminer les surfaces à convertir et d'évaluer les potentiels de production (rendements) et d'émissions (N_2O et stockage de C du sol dû au CAS) des différentes sources de biomasse. Ces données ont ainsi permis de composer des inventaires de cycle de vie (ICV) plus précis de l'étape de production biomasse.

Les différentes étapes de la méthodologie mises en place ici ont eu pour objectif de diminuer ces incertitudes par l'utilisation de la modélisation. En effet, celle-ci permet de prendre en compte l'effet de la variabilité spatiale et temporelle, due aux pédoclimats, sur ces émissions et sur le stockage du carbone dans le sol. Les émissions au champ de N_2O , NO_x , NH_3 , NO_3^- ainsi que le stockage de carbone du sol des inventaires d'ACV pour les cultures ont été définis par le couplage de la modélisation spatialisée avec des scénarios d'implantations des cultures. Cela a ainsi permis des comparaisons précises entre les différentes sources de biomasses lignocellulosiques.

Même si les émissions de N_2O directes sont simulées dans CERES-EGC, les émissions indirectes de N_2O sont estimées à la fois par des émissions issues de la modélisation (NO_x , NH_3 , NO_3^-) et les équations génériques du GIEC. Ces émissions sont liées aux transferts latéraux des éléments azotés par l'hydrosphère et l'atmosphère entre les parcelles. Elles peuvent représenter jusqu'à 21% des émissions totales de N_2O (Drouet et al., 2012), ce qui n'est pas négligeable dans les bilans de GES des cultures.

Dans les autres limites qui pourraient être mises en évidence quant à l'usage de tels outils pour mieux appréhender l'évaluation environnementale de filières biomasse, il s'agit bien sûr de l'accès à de tels outils, du coût qu'ils représentent et de la difficulté à les prendre en main (le modèle CERES-EGC est un outil complexe par exemple et difficile d'accès). De même, le praticien doit maîtriser les outils SIG ou travailler en partenariat avec des professionnels ayant ces compétences.

5.5. Exemple de spatialisation de l'inventaire : le cas d'une flotte de véhicules diesel

Une entreprise souhaite réaliser l'ACV de la flotte d'un de ses véhicules diesel de petite taille commercialisés en France en utilisant la base de données ecoinvent v3. Plusieurs processus de transport sont disponibles dans cette base de données, la première étape sera donc de sélectionner le processus le plus proche de la technologie étudiée. Le processus « Transport, passenger car, small size, diesel, EURO 5 {RER} | transport, passenger car, small size, diesel, EURO 5 | Alloc Def, U » semble le plus adapté mais n'est représentatif que de l'Europe. Une analyse rapide des résultats d'impacts normalisés obtenus avec Impact WORLD+ permet d'identifier les principaux impacts à savoir les changements climatiques, l'acidification marine et terrestre, l'écotoxicité aquatique, les

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

inorganiques respiratoires et les effets cancérigènes et non cancérigènes. Ces impacts sont principalement dus aux émissions à l'échappement des véhicules. Hormis les changements climatiques, toutes ces catégories d'impacts sont sensibles au lieu d'émission des flux élémentaires. Un effort de spatialisation des émissions à l'échappement doit donc être fait afin de les rendre représentatives de la France.

Les inorganiques respiratoires et les effets cancérigènes et non cancérigènes sont des impacts régionalisés grâce à des archétypes sur la densité de population. Il faut donc renseigner au mieux les quantités d'émissions à l'échappement émises en milieu urbain et rural. Les quantités d'émissions peuvent être approximées en fonction des kilomètres parcourus en milieu urbain et rural ou bien en suivant plus spécifiquement une flotte de véhicule grâce à des données GPS. Ces données peuvent également être modulées en fonction des données de vente du véhicule étudié.

A titre d'exemple, les particules fines $<2,5\mu\text{m}$, principales responsables de l'impact respiratoire inorganiques, ont été spatialisées pour l'Europe et pour la France : la répartition de la population entre milieu urbain et rural a été utilisée comme proxy pour distinguer les émissions à l'échappement en milieu urbain et rural (source : statistiques Banque Mondiale pour 2013). Ce proxy pourrait être amélioré en prenant par exemple en compte le taux de possession et d'utilisation des véhicules par zone. Les FC choisis sont représentatifs d'une émission au niveau du sol. L'évolution des résultats d'impact pour les effets respiratoires inorganiques en DALY obtenu avec Impact WORLD+ est présentée avec l'incertitude spatiale associée (voir Figure 21). L'incertitude sans spatialisation intègre la variabilité des FC compte tenu de la densité de population et de la hauteur d'émission (c'est à dire l'incertitude sur le FC générique des particules fines $<2,5\mu\text{m}$). La proportion entre population urbaine et rurale étant différente d'un pays à l'autre en Europe, l'incertitude spatiale pour l'Europe intègre donc cette variabilité sur la répartition entre les archétypes urbain et rural au sein de la région modélisée. La spatialisation par archétype permet de réduire l'incertitude spatiale et également d'obtenir une valeur d'impact plus représentative du cas étudié. L'incertitude spatiale résiduelle pour la France, correspondant à notre non connaissance des zones exactes où la flotte de véhicules roule, n'est pas quantifiée. Cependant, on peut supposer que celle-ci serait plus faible que l'incertitude spatiale pour l'Europe en supposant que les parts de marché pour cette flotte de véhicules sont identiques en zone rurale et en zone urbaine.

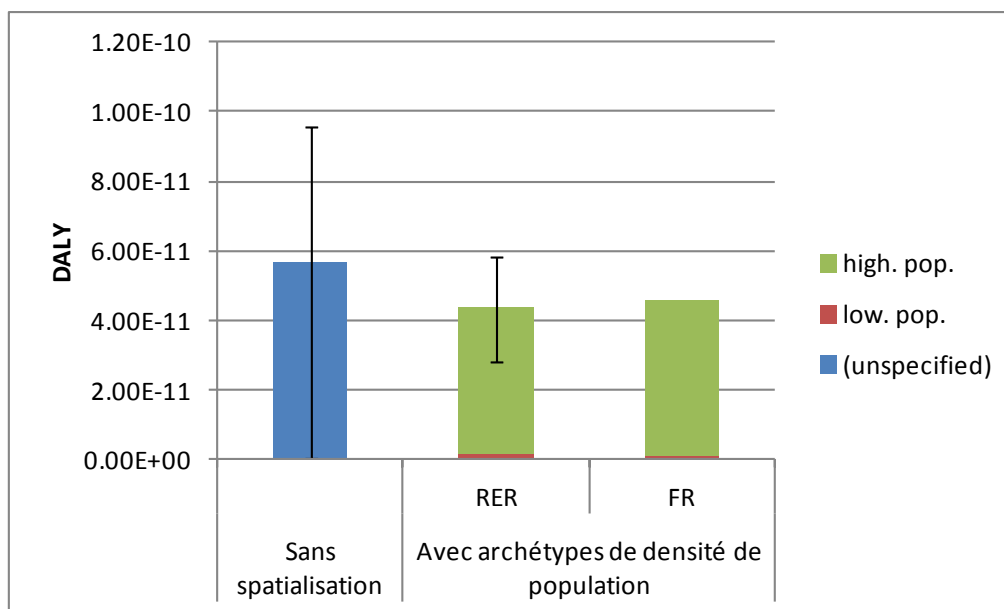


Figure 21 – Résultats d'impact pour les respiratoires inorganiques en DALY dues aux particules fines $<2,5\mu\text{m}$ obtenus avec Impact WORLD+ avec l'incertitude spatiale associée pour le processus « Transport, passager car, small size, diesel, EURO 5 {RER} | transport, passager car, small size, diesel, EURO 5 | Alloc Def, U ». Les résultats sont présentés sans spatialisation des particules fines puis avec une spatialisation représentative de l'Europe (RER) et de la France (FR).

6. Analyse des différentes approches possibles pour prendre en compte la dimension géographique en ACV et leur intégration/applicabilité en ACV

Les approches identifiées dans la section 4 sont analysées afin de rendre compte de leurs forces et de leurs limites ainsi que de leur degré de maturité et d'applicabilité à court et long terme.

6.1. Méthodologie pour l'analyse critique des approches

6.1.1. Structure de l'analyse

Afin d'analyser les différentes approches, celles-ci ont été regroupées en fonction de la question à laquelle elles répondent. En effet, l'intégration de la dimension géographique fait référence à des actions de nature très différentes qui se distinguent par différents objectifs.

Voici la liste des questions identifiées pour l'intégration de la dimension géographique regroupées par thème :

- Questions préliminaires à la régionalisation et spatialisation de l'inventaire
 - Est-il nécessaire de mettre en place une procédure de régionalisation ou de spatialisation de l'inventaire?
 - Comment prioriser l'effort entre régionalisation ou spatialisation de l'inventaire?
- Régionalisation de l'inventaire
 - Comment faire pour régionaliser l'inventaire?
 - Comment évaluer la qualité de la représentativité géographique des données?
 - Où concentrer l'effort de régionalisation de l'inventaire?
 - Comment prioriser l'effort de régionalisation de l'inventaire?
 - Jusqu'à quel niveau de détail régionaliser l'inventaire?
- Spatialisation de l'inventaire
 - Comment faire pour spatialiser l'inventaire?
 - Quels types d'informations spatiales?
 - Comment ajouter l'information géographique?
 - Où concentrer l'effort de spatialisation de l'inventaire?
 - Comment prioriser l'effort de spatialisation de l'inventaire?
 - Jusqu'à quel niveau de détail spatialiser l'inventaire?
- Calcul régionalisé des impacts
 - Comment faire le calcul des impacts régionalisés?
- Régionalisation des impacts
 - Quelle méthodologie d'impact utiliser?
- Interprétation
 - Comment visualiser les impacts?
 - Comment mener des analyses de sensibilité?

6.1.2. Listes des critères d'analyse

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.

Pour chaque critère, une analyse critique est proposée. Celle-ci est basée sur les résultats de la revue de littérature, sur l'expertise de l'équipe de réalisation de l'étude ainsi que sur les résultats du questionnaire adressé à la communauté ACV (voir sections 6.1.3 et 9.1).

La pertinence de l'approche permet de juger de l'intérêt de son utilisation en fonction de la question posée. Les niveaux de maturité et d'opérationnalisation reflètent le degré d'applicabilité de chacune des approches à court terme. Pour chacun de ces trois critères, une évaluation qualitative de l'intérêt de l'approche par rapport à la question posée est proposée sous forme de «+» et «-». Cette évaluation est purement subjective et a pour vocation d'aider à mieux positionner les différentes approches pour une question donnée et pour un critère donné. Elle a également permis d'aider à identifier les recommandations à court et long terme formulées par la suite.

6.1.3. Questionnaire sur les pratiques et perceptions actuelles sur la régionalisation et la spatialisation de l'inventaire en ACV

Dans le cadre de cette étude, un questionnaire a été envoyé à une sélection d'experts ainsi qu'à la communauté ACV via la LCAlist et le bouche à oreille. Ce questionnaire en ligne a été rédigé en français et en anglais. L'objectif de ce questionnaire est de recueillir les pratiques et perceptions des praticiens ACV par rapport à la régionalisation en ACV afin de les analyser et de formuler des recommandations sur les pratiques qui y sont liées et les besoins futurs. Les réponses à ce questionnaire n'ont pas vocation à être statistiquement représentatives de la communauté ACV mais à donner un aperçu de la diversité des réponses possibles ainsi que des grandes tendances.

Le questionnaire est composé de 23 questions sur les pratiques et perceptions actuelles divisée en 4 sections : profil du répondant, régionalisation de l'inventaire, spatialisation de l'inventaire et priorisation entre régionalisation et spatialisation de l'inventaire. La plupart des questions étaient à choix multiples. Cependant, le répondant avait toujours la possibilité de laisser un commentaire ou de compléter sa réponse grâce à une section prévue à cet effet pour chaque question. La série de questions était précédée d'un rappel des conditions d'utilisation des réponses au questionnaire (confidentialité) ainsi que d'une description du cadre théorique sur la régionalisation en ACV (définition des termes couverture géographique, régionalisation, spatialisation).

Voici la liste des questions :

- Profil du répondant
 - Identité du répondant
 - Expérience dans le domaine de l'ACV (années)
 - Secteur/domaine d'expertise
 - Statut
 - Niveau de pratique de l'ACV
 - Connaissez-vous le cadre théorique de la régionalisation et de la spatialisation de l'inventaire?
- Régionalisation de l'inventaire
 - Selon vous, quel est votre niveau de pratique de la régionalisation de l'inventaire?
 - Habituellement, évaluez-vous les incertitudes liées à une mauvaise représentativité géographique de votre inventaire? Si oui, comment?
 - Comment faites-vous concrètement pour régionaliser votre inventaire/le rendre le plus représentatif possible géographiquement?
 - Comment déterminez-vous les données/processus que vous devez régionaliser?
 - Jusqu'à quel niveau de détail allez-vous pour régionaliser votre inventaire?
 - Pour quels types d'études portez-vous une attention particulière à la régionalisation? (secteurs, impacts, objectifs de l'étude, destinataires de l'étude, etc.) Pour chacune de ces études, jusqu'à quel niveau de détail régionalisez-vous l'inventaire?
 - Comment jugez-vous l'effort supplémentaire pour régionaliser l'inventaire? Veuillez justifier votre réponse.
 - Selon vous, quels sont les principaux obstacles à la régionalisation de l'inventaire?
- Spatialisation de l'inventaire
 - Avez-vous déjà réalisé des études ACV utilisant des FC régionalisés?

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

- Comment feriez-vous concrètement pour spatialiser votre inventaire? Quels outils utiliseriez-vous?
- Connaissez-vous des logiciels capables de calculer des résultats d'impacts avec des FC régionalisés?
- Selon vous, quelle est la pertinence d'utiliser des FC régionalisés?
- Selon vous, comment l'utilisation de FC régionalisés influence-t-elle ou modifie-t-elle votre interprétation des résultats?
- Comment jugez-vous l'effort supplémentaire pour utiliser des FC régionalisés? Veuillez justifier votre réponse.
- Pour quels types d'études porteriez-vous une attention particulière à la spatialisation de l'inventaire et à l'utilisation de FC régionalisés? (secteurs, impacts, objectifs de l'étude, destinataires de l'étude, etc.)
- Selon vous, quels sont les principaux obstacles à l'utilisation de FC régionalisés?
- Priorisation entre régionalisation et spatialisation de l'inventaire
 - Si vous disposiez d'un budget limité pour améliorer les résultats de votre étude, que feriez-vous en priorité entre la régionalisation de l'inventaire et sa spatialisation pour utiliser des FC régionalisés? Vous pouvez distinguer plusieurs cas de figure.

42 répondants ont répondu au sondage. Leur expérience de l'ACV est de 7.5 années en moyenne. Les répartitions du statut et des domaines d'expertise des répondants sont données par la Figure 22 et Figure 23. 30% des répondants touchent à plusieurs secteurs ou domaines de par leur statut de consultants. Une synthèse des réponses par question est disponible en annexe (section 9.1).

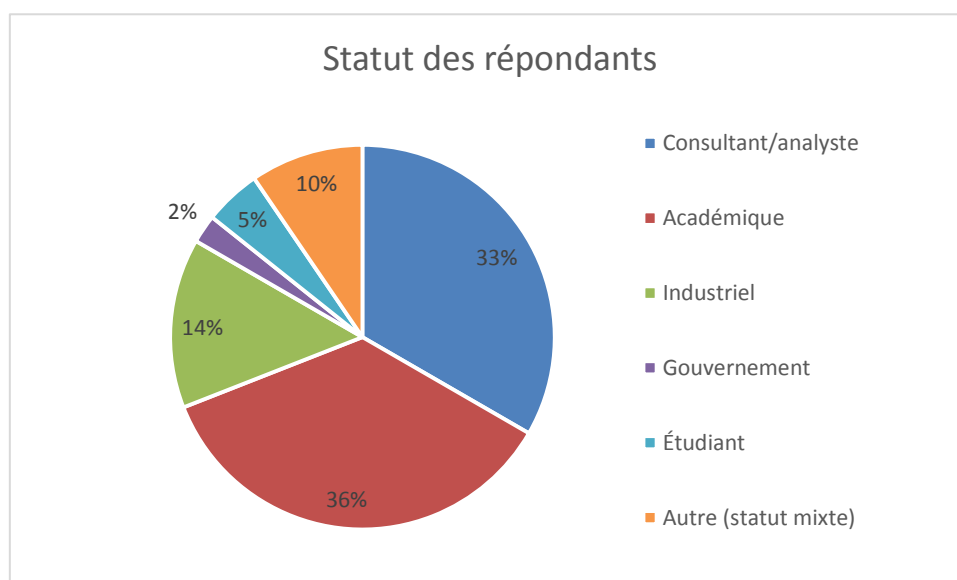


Figure 22 – Répartition des statuts des répondants

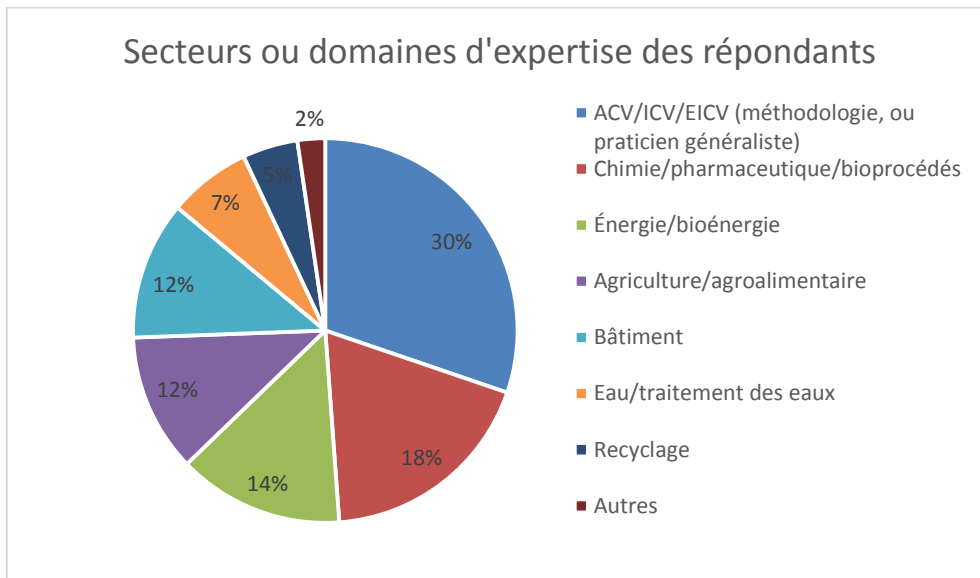


Figure 23 – Répartition des secteurs ou domaines d'expertise des répondants

Ce questionnaire a permis de recueillir une variété de pratiques et de perceptions liés à la régionalisation en ACV qui nous a permis d'affiner notre analyse et de mettre en avant plus clairement les besoins identifiés par la communauté ACV.

6.2. Grille d'analyse critique des approches

Question	Approche	Limites/biais théoriques	Limites pratiques	Pertinence	Maturité	Opérationnalisation			
		aspects non traités, hypothèses fortes	disponibilité des données et d'outils appropriés, compétences à développer.	apport de l'approche par rapport à la représentativité et à la fiabilité des résultats en ACV en fonction du secteur et type d'impact	méthode clef en main, besoins supplémentaires en développement méthodologique, niveau de pratique	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			
Questions préliminaires									
Est-il nécessaire de mettre en place une procédure de régionalisation ou de spatialisation de l'inventaire?	Pas d'approche identifiée actuellement								
Comment prioriser l'effort entre régionalisation ou spatialisation de l'inventaire?	Pas d'approche identifiée actuellement								
Régionalisation de l'inventaire									
Comment faire pour régionaliser l'inventaire?	Amélioration de la qualité des données quantitatives utilisées pour décrire un processus : l'application de cette approche consiste à rechercher les données les plus représentatives géographiquement (ex : Choix d'un rendement (énergétique ou agricole par exemple) plus représentatif pour décrire un processus)	La régionalisation de l'inventaire n'est pas seulement liée au choix des données mais également à la description du système de produits. Les deux approches ne sont donc pas alternatives mais complémentaires	L'accès à des données de meilleure qualité ou même l'absence de l'évaluation de la qualité sur la représentativité géographique d'une donnée peuvent limiter l'application de cette approche.	Cette approche permet effectivement d'améliorer la représentativité géographique de l'inventaire et de diminuer les incertitudes spatiales associées mais doit être faite conjointement avec la seconde approche	++	Cette approche est une pratique courante chez les praticiens ACV. Elle revient à chercher la donnée représentant au mieux la couverture géographique de l'étude.	+++	L'application de cette approche implique un effort supplémentaire sur la collecte de données. Cela suppose d'avoir accès à des données pertinentes et de pouvoir juger de leur qualité. La représentativité géographique des données doit donc être précisée ce qui est le cas dans la plupart des bases de données. Cependant, cette information est parfois mal identifiée ou plus difficilement accessible.	++
	Amélioration de la description du système de produits (recontextualisation) : sélectionner les processus les plus représentatifs géographiquement (ex : choix du mix électrique français plutôt que européen pour décrire la France : choix des technologies de production d'électricité les plus représentatives)		L'accès aux données pertinentes et à l'échelle désirée peut s'avérer problématique.	Cette approche permet effectivement d'améliorer la représentativité géographique de l'inventaire et de diminuer les incertitudes spatiales associées mais doit être faite conjointement avec la première approche	++	Cette approche est une pratique courante chez les praticiens ACV. Elle revient à chercher la donnée représentant au mieux la couverture géographique de l'étude.	+++	L'application de cette approche implique un effort supplémentaire sur la collecte de données et peut nécessiter le recours à des bases de données statistiques, des modèles techno-économiques. Les deux approches peuvent également être combinées en adaptant les processus de bases de données au contexte géographique souhaité. Par exemple, ultimement tous les processus de consommation d'électricité dans les processus	++

Question	Approche	Limites/biais théoriques	Limites pratiques	Pertinence	Maturité	Opérationnalisation			
						d'une librairie comme ecoinvent peuvent être modifiés pour de l'électricité US ou FR afin d'adapter ces processus (au moins pour l'électricité).			
Comment évaluer la qualité de la représentativité géographique des données?	Matrice Pedigree pour évaluer la qualité de la représentativité géographique des données	Cette évaluation est semi-qualitative et subjective basée sur le jugement d'expert. Les facteurs utilisés pour convertir l'évaluation qualitative de la représentativité géographique en incertitudes ne sont pas différenciés par secteur/type de processus. Dans la base de données ecoinvent v3, seule la représentativité géographique des données quantitatives des flux est captée par la matrice Pedigree (et pas le choix du processus ou du FE représentant le flux).	Le manque d'information sur la donnée initiale peut limiter le jugement sur la représentativité de cette donnée dans le contexte de l'étude.	Cette approche permet d'évaluer la qualité d'une donnée dans son contexte d'utilisation et donc de choisir la donnée la plus représentative. Les résultats sont donc plus représentatifs et l'incertitude spatiale plus faible. Tel qu'utilisée dans la base de données ecoinvent et tel que mise en œuvre dans le logiciel ACV SimaPro, la matrice Pedigree qualifie la donnée quantitative du flux et non pas le processus économique.	++	L'approche Pedigree est utilisée dans la base de données ecoinvent et a été appliquée également pour la BD ELCD (avec quelques différences) pour évaluer la qualité des données. Elle sert ensuite à évaluer l'incertitude associée à chaque processus et à sa propagation dans les résultats lors d'analyse Monte Carlo.	+++	Cette approche est relativement facile à mettre en place pour le praticien et permet à terme d'évaluer les incertitudes liées à l'inventaire. Elle suppose un léger effort supplémentaire lors de la collecte des données pour identifier la couverture géographique de la donnée et remplir la matrice pedigree. En pratique, les praticiens ACV ne renseignent que rarement la matrice Pedigree des flux d'avant plan qu'ils créent eux même. Les logiciels ACV tel que Simapro permettent d'intégrer cette information.	+++
	Quantification de la variabilité géographique des données à différentes échelles en utilisant des jeux de données représentatifs		Impossible à réaliser en l'état actuel des connaissances et en se basant sur les informations actuellement disponibles		+++		--	--	
Où concentrer l'effort?	Dires d'expert pour identifier les paramètres les plus variables	Aspect subjectif et non exhaustif. Approche non systématique. Ce qui semble très important à régionaliser au niveau de l'inventaire peut avoir une très faible contribution à l'impact ce qui peut entraîner une priorisation biaisée.	Cette approche suppose d'avoir recours à un expert du domaine.	Cette approche est pertinente pour la régionalisation mais il y a un risque d'oublier certains processus qui mériteraient d'être régionalisés. En revanche, le recours aux dires d'experts pour améliorer la représentativité du système une fois les processus importants à régionaliser identifiés lors d'une démarche itérative de régionalisation est une pratique très pertinente.	+ (++)	Le recours aux dires d'expert est une pratique courante en ACV.	+++	Cette approche nécessite le recours à un expert. Le praticien doit donc trouver cet expert et prendre le temps d'analyser le système avec lui. Il est possible qu'il faille avoir recours à plusieurs experts dans plusieurs domaines étant donné la complexité des systèmes de produits. L'effort supplémentaire pour l'étude dépendra donc de la disponibilité des experts.	++

Question	Approche	Limites/biais théoriques	Limites pratiques	Pertinence	Maturité	Opérationnalisation	
	Analyse de contribution à l'impact ou au dommage	Un processus fortement contributeur à l'impact n'a pas nécessairement besoin d'être régionalisé si son incertitude spatiale est faible. De plus, le choix du seuil pour la sélection des processus est bien souvent arbitraire. Certains processus sélectionnés peuvent donc ne pas être pertinents. L'approche devient pertinente si on la combine à une estimation de la contribution à l'incertitude spatiale (ce qui n'est pas possible en l'état actuel des connaissances et des outils autrement que par jugement d'expert)		Cette approche est pertinente pour sélectionner les processus à régionaliser si elle s'accompagne d'une évaluation de l'incertitude spatiale des processus sélectionnés.	+ (++)	L'analyse de contribution par processus est une pratique systématique en ACV. +++	Cette approche peut être appliquée à l'aide de tous les logiciels ACV. Elle ne nécessite pas un effort supplémentaire étant donné que l'analyse de contribution par processus est faite de façon quasiment systématique lors de la phase d'interprétation. Par contre la contribution des processus à l'incertitude spatiale n'est pour le moment pas opérationnelle dans les outils ACV et serait essentielle pour systématiser l'approche. Cependant il reste possible d'utiliser le bon sens et le jugement d'expert pour estimer de manière pragmatique lesquels, parmi les plus importants contributeurs à l'impact ou au dommage, valent la peine d'être priorisés en terme de régionalisation. ++ (+)
	Effort sur l'utilisation des sols	Si l'utilisation des sols est bel et bien importante à régionaliser quand sa contribution au dommage sur la qualité des écosystèmes et à la variabilité spatiale de ce dommage domine, il existe bien des situations où il est inutile de procéder à une telle régionalisation. Le faire de manière systématique risque d'entraîner une collecte de donnée inutilement laborieuse.	L'accès aux données ainsi que le traitement de ces données peut être un obstacle à la mise en œuvre de cette approche.	Cette approche est pertinente si elle fait suite à une évaluation préliminaire de la contribution au dommage et à l'incertitude spatiale des processus concernés. Elle peut être contre-productive si elle est réalisée de manière systématique.	+ (++)	Plusieurs études ACV tentent de régionaliser l'utilisation des sols mais il s'agit souvent d'études spécifiques sur le sujet. +	Selon l'étape du cycle de vie concernée, la méthode peut être simple (avant plan) ou terriblement laborieuse (changement d'usage des sols indirects, arrière-plan...). Certaines études régionalisent l'utilisation des sols grâce à des modèles agricoles. Il est parfois fait mention de l'utilisation des SIG. (+)
	Effort sur les données les plus incertaines et ayant le plus d'influence sur les résultats (Heijungs 1996)		Actuellement, il n'existe pas de méthode ni d'outil permettant d'appliquer cette approche.	Cette approche est très pertinente pour sélectionner les processus à régionaliser car elle concentre l'effort sur les processus ayant une influence sur les résultats et dont l'incertitude est élevée.	+++	Cette approche est conceptuelle mais non mature. -	Actuellement il n'existe aucune méthodologie pour opérationnaliser cette approche, ni aucun outil associé. Cette approche pourrait être couplée avec une évaluation de la qualité des données avec l'approche pedigree pour évaluer l'incertitude spatiale des processus. -
Comment prioriser l'effort?	Pas d'approche identifiée actuellement						

Question	Approche	Limites/biais théoriques	Limites pratiques	Pertinence	Maturité	Opérationnalisation	
Jusqu'à quel niveau de détail?	Régionalisation à l'échelle du pays pour les infrastructures énergétiques	Certains marchés énergétiques peuvent avoir une échelle plus grande ou plus petite que le pays.	Les données à l'échelle des pays ne sont pas toujours disponibles si un fort détail technologique est recherché.	Décrire les systèmes énergétiques au niveau des pays semble une approximation raisonnable pour la plupart des pays développés (quid des pays en voie de développement).	+	Les praticiens ACV décrivent souvent les systèmes électriques au niveau du pays. Ce n'est pas nécessairement le cas pour les autres systèmes énergétiques.	++ Cette approche est facilement applicable pour les systèmes électriques car les données sont pour la plupart présentes dans la base de données ecoinvent. En revanche, il y a un besoin de régionalisation des autres systèmes énergétiques dans les bases de données. En effet les systèmes énergétiques sont généralement des données d'arrière-plan pour les études donc des données issues de BD sont utilisées. L'effort supplémentaire pour le praticien peut donc être assez faible si les données sont disponibles dans les BD ACV.
	Niveau de régionalisation adapté par processus			Cette approche est très pertinente car le niveau de régionalisation nécessaire dépend du type de processus (variabilité géographique des marchés) et des objectifs de l'étude.	+++	Quelques recommandations existent aujourd'hui notamment concernant l'électricité.	++ Cette approche suppose de connaître les niveaux de régionalisation pertinents pour chaque type de processus. Cependant il n'existe aujourd'hui aucune étude sur ce sujet. Le bon sens et le recours à des experts peut permettre de choisir le niveau de régionalisation pertinent dépendamment du type de processus pour une étude ACV donnée.
	Approche SAME : Définition de régions où l'impact est homogène pour définir la résolution de l'inventaire	Cette approche confond le niveau de régionalisation de l'inventaire et le niveau de spatialisation de l'inventaire qui ne sont pas nécessairement confondus. Le niveau de régionalisation de l'inventaire est lié à la technosphère alors que son niveau de spatialisation est lié à l'écosphère. Il s'agit en réalité d'adapter l'inventaire au niveau de résolution native des catégories d'impact.		Cette approche ne semble pas pertinente pour définir le niveau de régionalisation de l'inventaire mais plutôt pour définir le niveau de spatialisation nécessaire pour les flux élémentaires.	--	Cette approche a été proposée dans un article scientifique mais n'est pas utilisée par les praticiens.	- Cette approche pourrait aisément être implémentée dans les logiciels ACV intégrant des SIG (Brightway ou OpenLCA). Elle impliquerait cependant soit que l'ensemble de l'inventaire soit régionalisé à l'échelle de résolution native pour l'ensemble des chaînes d'approvisionnement, ce qui ne semble pas réaliste.

Spatialisation de l'inventaire

Question	Approche	Limites/biais théoriques	Limites pratiques	Pertinence	Maturité	Opérationnalisation	
Comment spatialiser?	"Régionalisation" de l'inventaire : Le champ géographique du processus peut être utilisé pour le spatialiser ou pour identifier un archétype correspondant (ex : Pour un processus de production d'électricité par centrale nucléaire en France, le flux entrant "Natural resources, surface water, cooling water" peut donc être spatialisé en France devenant ainsi "Natural resources, surface water, cooling water, FR")	Le niveau de détail atteint avec la régionalisation de l'inventaire peut ne pas être pertinent/suffisant pour la spatialisation.	L'information géographique recueillie peut être sous une forme non utilisable directement pour l'utilisation de FC régionalisés. Par contre cette approche de spatialisation "partielle" peut permettre d'utiliser des facteurs de caractérisation agrégés qui auront une incertitude géographique ainsi que des facteurs génériques globaux. L'identification d'un archétype unique n'est pas toujours possible (p.ex. si le champ géo. du processus recouvre plusieurs archétypes) et peut nécessiter un travail de traitement de données allant du simple au plus compliqué (outil SIG).	Cette approche est pertinente si la régionalisation de l'inventaire est nécessaire par ailleurs.	++	Cette approche est déjà opérationnelle dans les faits en terme de spatialisation, mais laborieuse pour sa mise en œuvre concrète au niveau de la caractérisation de l'impact (concrètement il faudrait que la nomenclature des flux d'inventaire change lors de la régionalisation pour pouvoir ensuite procéder à une caractérisation régionalisée, ce qui n'est pour le moment pas encore le cas). Une exception (qui démontre que c'est parfaitement réalisable) : ce changement de nomenclature est opérationnel en ce qui concerne la catégorie utilisation de l'eau, pour laquelle les flux d'inventaire sont spatialisés au niveau de la base de données ecoinvent quand on fait la régionalisation de l'inventaire.	+ Toutes les approches pour la régionalisation de l'inventaire peuvent être utilisées. L'effort supplémentaire pour la collecte de données peut être important. Il est donc essentiel d'appliquer cette approche uniquement si la régionalisation de l'inventaire est nécessaire.
	Décrire plus finement la distribution géographique d'un flux élémentaire ou d'un processus (ex : Décrire la localisation des émissions de particules fines d'une flotte de véhicule pour utiliser des FC régionalisés)		Accès aux données	Cette approche est la plus pertinente si la régionalisation de l'inventaire ne fournit pas assez de détails ou est inutile.	+++	Cette approche a déjà été mise en œuvre dans la génération de FC agrégés dans IMPACT World+ et LIME.	++ Cette approche suppose un effort additionnel pour le praticien sur la collecte de données géographiques et sur la modélisation des systèmes pour intégrer ces informations. Elle peut également être déjà "intégrée" dans les facteurs de caractérisation et ne nécessiter alors aucun travail additionnel de la part du praticien. Opérationnaliser cette approche peut donc juste consister à choisir des FC agrégés spatialement si le niveau d'agrégation est pertinent pour l'étude.

Question	Approche	Limites/biais théoriques	Limites pratiques	Pertinence	Maturité	Opérationnalisation		
	Utilisation du SIG	Réaliser un inventaire du cycle de vie complet avec les coordonnées géographiques de chaque point d'émission n'est pas réaliste et implique un effort de collecte de données probablement en grande partie inutile. Cependant il s'agit là d'une approche extrême du SIG, l'utilisation de formes géographiques prédéfinies (comme les pays) peut suffire.	Cette approche suppose la maîtrise des logiciels SIG et de concepts propres au domaine de la géographie (système de coordonnées, etc.).	Cette approche est pertinente pour recueillir des informations géographiques sur un système une fois que la pertinence de régionaliser a été mise en évidence. L'utilisation de différentes échelles de spatialisation selon les besoins (et la faisabilité) de régionaliser et spatialiser est pertinente. Ces informations peuvent même être détaillées au niveau de la coordonnée géographique si besoin. De plus, l'utilisation du SIG pour la spatialisation facilite grandement le calcul d'ACV régionalisé (voir les travaux de Chris Mutel)	+++	Les SIG sont une discipline en plein développement. En ACV, leur utilisation est encore marginale par les praticiens ACV mais est en pleine expansion et son potentiel pour l'amélioration des ACV est important.	+	L'application directe par le praticien peut s'avérer difficile si celui-ci n'a pas de compétence en géographie et en SIG. Le recours à un expert en géographie et en SIG peut s'avérer nécessaire. Par ailleurs, la mise en place d'un SIG peut représenter un effort important nécessitant des données et de la modélisation supplémentaire. De plus, l'information donnée par un SIG n'est pas toujours utilisable directement pour l'ACV, elle nécessite souvent d'être adaptée. Il faut noter par contre que le SIG est déjà largement utilisé pour la génération et l'agrégation des facteurs de caractérisation de manière à éviter ensuite au praticien d'avoir besoin de l'utiliser dans l'ACV de tous les jours tout en rendant l'ACV opérationnelle. Il est important de noter que les logiciels tels que OpenLCA et Brightway intègrent un SIG et facilite donc l'opérationnalisation de cette approche.
Quels types d'informations spatiales?	Archétypes (ex : Densité de population faible (rural) ou forte (urbain))		Chaque indicateur d'impact a son propre archétype. Il peut donc être nécessaire de renseigner plusieurs archétypes pour un même flux élémentaire. Cependant, comme pour tout autre type de spatialisation, il est possible de générer des facteurs agrégés et pondérés en tenant compte de la probabilité d'émission dans différents archétypes : il est toujours possible de ne pas renseigner l'archétype d'un flux d'inventaire, il sera alors caractérisé avec une plus grande incertitude spatiale.	L'utilisation d'archétypes est pertinente lorsqu'un paramètre particulier qui n'a pas besoin d'être localisé précisément de manière géographique explique la variabilité spatiale des FC (par exemple la densité de population est l'un des paramètres les plus influents concernant l'exposition aux effets respiratoires, les archétypes "urbain/rural" permettent de couvrir cette variabilité sans pour autant connaître les coordonnées géographiques de la ville ou de la région rurale concernée).	++	L'utilisation d'archétypes est une pratique déjà utilisée dans plusieurs méthodes d'impacts.	+++	Renseigner l'archétype d'un flux élémentaire implique un effort supplémentaire sur la recherche de données. Cependant l'information ne concerne souvent qu'un seul aspect (par ex : densité de population) et est catégorisé (par ex : densité faible ou forte) ce qui rend l'effort supplémentaire plutôt faible. Toutefois, il est souvent nécessaire de renseigner plusieurs archétypes pour un même flux élémentaire. Certains nouveaux archétypes d'utilisation des terres plus détaillés sont moins explicitement et facilement identifiables.

Question	Approche	Limites/biais théoriques	Limites pratiques	Pertinence	Maturité	Opérationnalisation	
	Information texte avec zone géographique (continent, pays, région, etc.)		Cette information n'est pas toujours utilisable directement suivant le niveau de résolution voulu par la méthode d'impact.	La pertinence de cette approche est limitée dans la mesure où l'information uniquement textuelle n'est souvent pas utilisable directement et de façon systématique. Dans la mesure où la régionalisation utilisée et la nomenclature sont cohérentes avec celles utilisées dans les méthodes d'impact (agrégation des facteurs de caractérisation à différentes échelles de résolution spatiale) cette approche peut être pertinente.	+ (++)	Cette approche est souvent utilisée par défaut.	++ Elle doit être couplée avec une méthode d'impact qui offre des FC à l'échelle de résolution et à la nomenclature cohérente pour être opérationnelle. Son opérationnalisation nécessite donc un effort conjoint en amont de la part des développeurs de base de données et de méthodes EICV.
	Forme et Coordonnées géographiques		Il est souvent difficile de localiser précisément un flux élémentaire. Il peut être associé à une forme représentant une région ou un pays.	Cette approche permet de renseigner une seule information géographique qui sera utilisable pour toutes les catégories d'impacts.	+++	Cette approche est en développement.	+ Cette approche nécessite le recours à un logiciel ACV intégrant un SIG. L'effort sur la recherche d'information et sur la modélisation peut s'avérer plus important qu'avec les autres approches.
	Localisation avec incertitude spatiale associée (Mutel et al. 2012)	Cette approche nécessite la modification du calcul matriciel ACV	L'approche proposée laisse encore des zones de flou pour décrire la distribution associée à un processus.	Cette approche est très pertinente car elle permet de prendre en compte l'incertitude spatiale associée à la localisation des flux élémentaires.	+++	Cette approche n'est pas encore mature mais est très prometteuse pour améliorer la robustesse des résultats d'ACV.	- L'opérationnalisation de cette approche est encore difficile mais pourrait être intégré dans les logiciels ACV avec SIG (comme Brightway ou OpenLCA).
Comment ajouter l'information géographique?	Information contenue dans le nom des flux élémentaires (Simapro, Gabi)		L'intégration de cette information nécessite de modifier les flux élémentaires de chacun des processus modélisés ou de multiplier le nombre de flux d'inventaires par le nombre de régions pertinentes pour avoir autant de flux d'inventaires que de facteurs de caractérisation, alourdissant le calcul matriciel.	Cette approche permet les calculs d'ACV avec des FC régionalisés. Elle est très pertinente lorsque la régionalisation de l'inventaire aboutit à une spatialisation "automatique" comme c'est le cas pour l'utilisation de l'eau dans ecoinvent 3	+ (++)	Cette approche est appliquée pour utiliser les méthodes d'impacts régionalisés dans Simapro et Gabi.	++ L'utilisation de cette approche peut être très fastidieuse et demander un effort supplémentaire sur la modélisation non négligeable à moins que le changement de nomenclature ne se fasse en amont par les développeurs de base de données lors de la régionalisation de l'inventaire (cas de l'eau dans ecoinvent par exemple)
	Information géographique gérée par un SIG (OpenLCA, Brightway)		Cette approche peut nécessiter le recours à une expertise en SIG.	Cette approche est très pertinente pour faciliter les calculs avec des FC régionalisés.	+++	Cette approche est appliquée pour utiliser les méthodes d'impacts régionalisés dans OpenLCA et Brightway.	++ Cette approche peut nécessiter le recours à une expertise en SIG.
Où concentrer l'effort?	Pas d'approche identifiée actuellement						

Question	Approche	Limites/biais théoriques	Limites pratiques	Pertinence	Maturité	Opérationnalisation		
Comment prioriser l'effort?	Pas d'approche identifiée actuellement							
Jusqu'à quel niveau de détail?	Approche SAME : Définition de régions où l'impact est homogène pour définir la résolution de l'inventaire (équivalent au niveau de "résolution native" dans IMPACT World+)	Le niveau défini dépend de l'impact évalué et de la méthodologie d'impact utilisée.		Ce niveau de résolution est celui pour lequel la variabilité spatiale devient nulle. Il est généralement inutile pour la plupart des flux d'inventaire de se rendre à un tel niveau de résolution (heureusement). Par contre c'est le niveau de résolution idéal à viser pour les flux d'inventaire qui contribuent le plus à l'incertitude géographique d'un système de produit. Le niveau de résolution adéquat doit avant tout dépendre des objectifs de l'étude et donc du niveau d'incertitude acceptable pour celle-ci.	(++)	Cette approche a été proposée dans un article scientifique mais n'est pas utilisée par les praticiens au niveau de l'inventaire. C'est l'approche qui est mise en œuvre par la plupart des méthodes d'évaluation des impacts régionalisées pour déterminer l'échelle de régionalisation pertinente (IMPACT World+ etc...) et elle est rendue opérationnelle dans IMPACT World+ par l'agrégation des FC natifs à des échelles de résolution plus facilement "gérables" par les praticiens (pays, continent)	-(+) Cette approche pourrait aisément être implémentée dans les logiciels ACV intégrant des SIG (Brightway ou OpenLCA) ou une information textuelle sur les régions d'émission et des proxys d'émission pour agréger les FC à des échelles de résolution non natives. Cette approche pourrait permettre de gagner du temps lors de la collecte des informations géographiques nécessaires pour la spatialisation. En effet, elle permet d'identifier dès le début de la collecte de données le type d'information nécessaire à chercher. Cependant, le découpage proposé par cette approche peut être très différent des données spatiales disponibles qui sont souvent liées à des régions administratives. IMPACT World+ a suivi une démarche d'agrégation qui permet de matcher l'échelle de régionalisation pertinente au niveau de l'impact avec celle généralement disponible au niveau de l'inventaire.	-(++)
Calcul régionalisé des impacts								
Comment?	Modification du calcul matriciel avec résolution inventaire et FC identiques	La résolution de l'inventaire et des FC régionalisés sont rarement identiques à moins d'avoir été harmonisés (exemple ecoinvent 3 et IMPACT World+ pour l'eau et les effets respiratoires)	En pratique, cette approche est utilisable si le nombre de régions définies n'est pas trop élevée (continent ou pays).	Cette approche permet une première approximation pertinente des ACV régionalisées lorsque la résolution de l'inventaire et de l'impact sont concordantes.	+	Opérationnelle pour certaines catégories d'impact	+	

Question	Approche	Limites/biais théoriques	Limites pratiques	Pertinence	Maturité	Opérationnalisation		
	Modification du calcul matriciel avec résolution inventaire et FC différentes	Cette approche implique l'utilisation de la surface comme facteurs de pondération pour l'agrégation pour les FC qui ne sont pas à la "bonne" résolution.	Cette approche doit être intégrée dans les logiciels pour être utilisable.	Cette approche est très pertinente pour réaliser des calculs ACV régionalisés car elle prend en compte la superposition de l'inventaire et des FC. Elle peut cependant être réalisée en amont par les développeurs de méthode EICV de manière à éviter tout choix arbitraire ou maladroit en matière de pondération des FC de résolution native. Il n'y a pas encore de consensus quand à qui revient la "responsabilité" de l'agrégation des FC de résolution native en FC de résolution "opérationnelle"	+ (++)	Cette approche est disponible dans les options du logiciel Brightway. Elle a été mise en œuvre dans l'établissement des FC agrégés de IMPACT World+ qui permettent d'appliquer la méthodologie à une échelle de résolution différente de l'échelle de résolution native des FC.	+ (++)	Cette approche doit être intégrée dans un logiciel intégrant un SIG si elle est utilisée au niveau de l'étape de l'inventaire. Le fait d'adopter cette démarche en amont comme cela a été fait dans IMPACT World+ permet de la rendre opérationnelle avec tout logiciel d'ACV conventionnel.
Régionalisation des impacts								
Quelle méthodologie d'impact utiliser?	IMPACT World+		L'opérationnalisation de cette méthodologie est encore floue faute de documentation.	Cette méthodologie d'impact régionalisée est très pertinente car elle a une couverture mondiale et fournit les incertitudes associées aux FC natifs ainsi que la variabilité spatiale associée aux FC agrégés.	+++	Cette méthodologie est en fin de développement et devrait être bientôt disponible dans tous les logiciels ACV. Une version beta est disponible en ligne sur le site web de la méthodologie et une version 1.0 est mise en ligne depuis janvier 2015.	+ (++)	L'utilisation des FC régionalisés issues d'IMPACT World+ permet d'avoir un résultat quel que soit le niveau de résolution adopté au niveau de l'inventaire (générique, par continent, par pays ou cohérent avec l'échelle de résolution native des FC). Cette méthode est donc utilisable à la fois avec des logiciels d'ACV conventionnels et avec une approche SIG. Son opérationnalisation nécessiterait dans l'idéal de pouvoir communiquer l'incertitude spatiale sur les résultats, ce que les outils conventionnels ne permettent pas encore.
	LIME 2 - couverture géographique : Japon		La plupart de la documentation disponible sur cette méthodologie est écrite en japonais.	Cette méthodologie est pertinente pour des études dans un contexte japonais. Il faut noter cependant que l'utilisation de cette méthodologie revient à faire l'hypothèse que l'ensemble des étapes du cycle de vie du produit étudiées ont lieu dans un contexte japonais, ce qui peut être discutable.	++	LIME 2 a été développé entre 2003 et 2006. Une nouvelle version LIME 3 est en cours d'élaboration. A notre connaissance, cette méthode n'est pas disponible dans les logiciels ACV.	+ (++)	Son opérationnalisation reste floue à cause de la documentation rédigée en japonais. Par ailleurs, nous ne savons pas si cette méthodologie est importable dans les logiciels ACV.
Interprétation								

Question	Approche	Limites/biais théoriques	Limites pratiques	Pertinence	Maturité	Opérationnalisation	
Comment visualiser les impacts?	Carte avec la localisation des résultats d'impacts en fonction de l'origine de l'impact		Cette approche nécessite l'utilisation d'un SIG.	Cette approche est très pertinente pour améliorer l'étape d'interprétation des résultats. L'origine géographique des principaux contributeurs à l'impact peut être analysée.	+++	Cette approche est intégrée aux logiciels openLCA et Brightway. ++	L'application de cette approche suppose que tous les flux élémentaires soient spatialisés grâce à des données géolocalisées, ce qui n'est pas le cas par exemple lors de l'utilisation d'archétypes. Il est donc nécessaire d'avoir recours à un logiciel ACV intégrant un SIG. ++
	Résultat intégré à l'échelle globale			Cette approche est pertinente dans un contexte d'ACV pour lequel on veut considérer de manière équitable les différentes populations à travers le monde et où l'important est de réduire l'impact peu importe la "cible" affectée. Par contre une partie de l'information est perdue dans ces résultats intégrés en terme "d'exportation" des impacts de certaines régions importatrices de biens.	++	Cette approche est déjà mature et opérationnelle dans tous les logiciels ACV +++	Cette approche est déjà mature et opérationnelle dans tous les logiciels ACV +++
	Carte avec la localisation des résultats d'impacts en fonction du lieu impacté (Liu et al., 2014)			Cette approche nécessite l'utilisation d'un SIG. Par ailleurs, la quantité de données à traiter pour retracer le devenir environnemental de chaque flux élémentaire est considérable.	Cette approche est très pertinente pour améliorer l'étape d'interprétation des résultats. La localisation des impacts finaux peut être analysée.	+++	Cette approche est en voie de développement et devrait se généraliser à long terme. -
Comment mener des analyses de sensibilité?	Jugement d'expert pour identifier les catégories qui contribuent probablement le plus à l'impact et à la variabilité spatiale	Cette approche nécessite de recourir à un expert (et/ou à un certain bon sens)	Cette approche ne peut pas être quantitative en l'état actuel des outils d'ACV	Cette approche est très pertinente pour guider la régionalisation de l'inventaire et ne pas régionaliser inutilement des flux élémentaires dont la régionalisation n'apportera pas grand-chose en matière de prise de décision	++	Cette approche est déjà réalisable mais l'expertise en terme de variabilité spatiale des différentes catégories d'impact est encore assez peu répandue. +	L'approche est opérationnelle mais nécessiterait une diffusion de l'information sur l'incertitude spatiale pour être généralisée +
	Approche en 2 étapes : méthode des effets élémentaires et test de contribution à la variance (Mutel et al. 2013)			Cette approche est très pertinente pour sélectionner les paramètres les plus sensibles dans une ACV régionalisée en limitant la	+++	Les bases théoriques de cette approche ont été posées mais elle est encore à l'étape de R&D. +	Aucun logiciel ne permet aujourd'hui d'appliquer cette approche de façon systématique. --

Question	Approche	Limites/biais théoriques	Limites pratiques	Pertinence puissance nécessaire. de calcul	Maturité	Opérationnalisation
----------	----------	--------------------------	-------------------	--	----------	---------------------

7. Recommandations pratiques pour la prise en compte de la dimension géographique en ACV

7.1. Méthodologie pour l'élaboration des recommandations

Des recommandations sur l'intégration de la dimension géographique en ACV ont été formulées en les distinguant :

- Par type de questions liées à la prise en compte de la dimension géographique (voir section 6.1.1) ;
- Par type de destinataires : 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 long terme.

Ces recommandations sont basées sur les résultats de la revue de littérature, sur l'expertise de l'équipe de réalisation de l'étude ainsi que sur les résultats du questionnaire adressé à la communauté ACV (voir sections 6.1.3 et 9.1).

Une mise en œuvre concrète des recommandations à court terme est proposée sous forme d'un logigramme (voir section 7.3)

7.2. Grille des recommandations

Question	Recommandations à court terme	Recommandations à long terme
Questions préliminaires		
Est-il nécessaire de mettre en place une procédure de régionalisation ou de spatialisation de l'inventaire?	<u>Pour les praticiens</u> : Définir dans les objectifs et champ de l'étude les besoins 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.	<u>Pour la recherche</u> : Proposer une méthode opérationnelle et plus systématique pour juger l'intérêt de la régionalisation pour une étude donnée.
Comment prioriser l'effort entre régionalisation ou spatialisation de l'inventaire?	<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.	<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.
Régionalisation de l'inventaire		
Comment faire pour régionaliser l'inventaire?	<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.	<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.
Comment évaluer la qualité de la représentativité géographique des données?	<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.	<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 type de processus.

Question	Recommandations à court terme	Recommandations à long terme
Où concentrer l'effort?	<p><u>Pour les praticiens</u> : Si leur accès est immédiat, les données les plus détaillées possible doivent être préférées, quels que soient 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. <u>En effet le niveau d'agrégation aux dommages permet de mettre en perspective l'importance relative des impacts au niveau problème et donc de focaliser l'effort sur les enjeux les plus importants. Une analyse sur des résultats d'impacts normalisés (et surtout au niveau problème) doit être évitée pour ne pas induire de biais lié au choix du système de référence pour la normalisation.</u> 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>
Comment prioriser l'effort?	<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>
Jusqu'à quel niveau de détail?	<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>
Spatialisation de l'inventaire		

Question	Recommandations à court terme	Recommandations à long terme
Comment spatialiser?	<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).</p> <p><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.</p> <p><u>Pour les développeurs de logiciels ACV</u> : Proposer des logiciels ACV permettant de faciliter la spatialisation de flux, en permettant par exemple d'appliquer automatiquement le champ géographique d'un processus à ses flux élémentaires.</p>	
Quels types d'informations spatiales?	<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 donnés ou qui ignore le bassin</p>	<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.</p>

Question	Recommandations à court terme	Recommandations à long terme
	versant d'où une eau est prélevée dans un pays.	
Comment ajouter l'information géographique?	<p><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 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.</p>	
Où concentrer l'effort?	<p><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 impact orientée problème pour les impacts orientés dommages (cf ex 5.3, figure 18). 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; Cancérogène, (court et long terme); Non cancérogène (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 élémentaire. Des couples {Flux élémentaires Processus} doivent être identifiés. En d'autres termes, il ne sera pas nécessaire de spatialiser tous les flux élémentaires ayant le même nom mais uniquement les flux élémentaires des processus les plus contributeurs.</p>	<p><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.</p> <p><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.</p>
Comment prioriser l'effort?	<p><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.</p>	<p><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.</p>

Question	Recommandations à court terme	Recommandations à long terme
Jusqu'à quel niveau de détail?	<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 terme 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.
Calcul d'impact régionalisé		
Comment?	<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>
Régionalisation des impacts		
Quelle méthodologie d'impact utiliser?	<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. <u>Concernant le choix du système de référence pour normaliser les impacts, sa couverture spatiale doit être en adéquation avec la couverture spatiale de l'étude.</u></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>
Interprétation		

Question	Recommandations à court terme	Recommandations à long terme
<p>Comment visualiser les impacts?</p>	<p><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.</p>	<p><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.</p>
<p>Comment mener des analyses de sensibilité?</p>	<p><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.</p>	<p><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.</p>

7.3. Mise en œuvre concrète des recommandations à court terme à l'aide d'un logigramme

7.3.1. Présentation du logigramme

Le logigramme ci-dessous s'adresse aux praticiens ACV et propose une suite logique d'étapes permettant de mettre en œuvre la régionalisation et la spatialisation de l'inventaire. Ce logigramme est basé sur les recommandations à court terme formulées en 7.2. Les étapes sont réalisables en utilisant les outils disponibles actuellement les plus répandus et performants. Typiquement, ce logigramme est conçu pour fonctionner avec SimaPro, la base de données ecoinvent et IMPACT World+. L'analyse proposée se base sur une ACV évaluant tous les impacts orientés dommages, cependant son utilisation peut être adaptée en fonction des catégories d'impacts inclus dans l'étude. Un exemple d'utilisation de ce logigramme est proposé dans la section suivante.

L'objectif de ce logigramme est d'aider 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. Ce logigramme 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 se fait 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 dommage afin de réduire l'effort du praticien mais elles pourraient être menées au niveau problème. Cette section devra donc être faite pour chaque indicateur dommage étudié. 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 réalisée, il est nécessaire d'itérer le logigramme afin de vérifier si le niveau d'incertitude atteint est acceptable ou non.

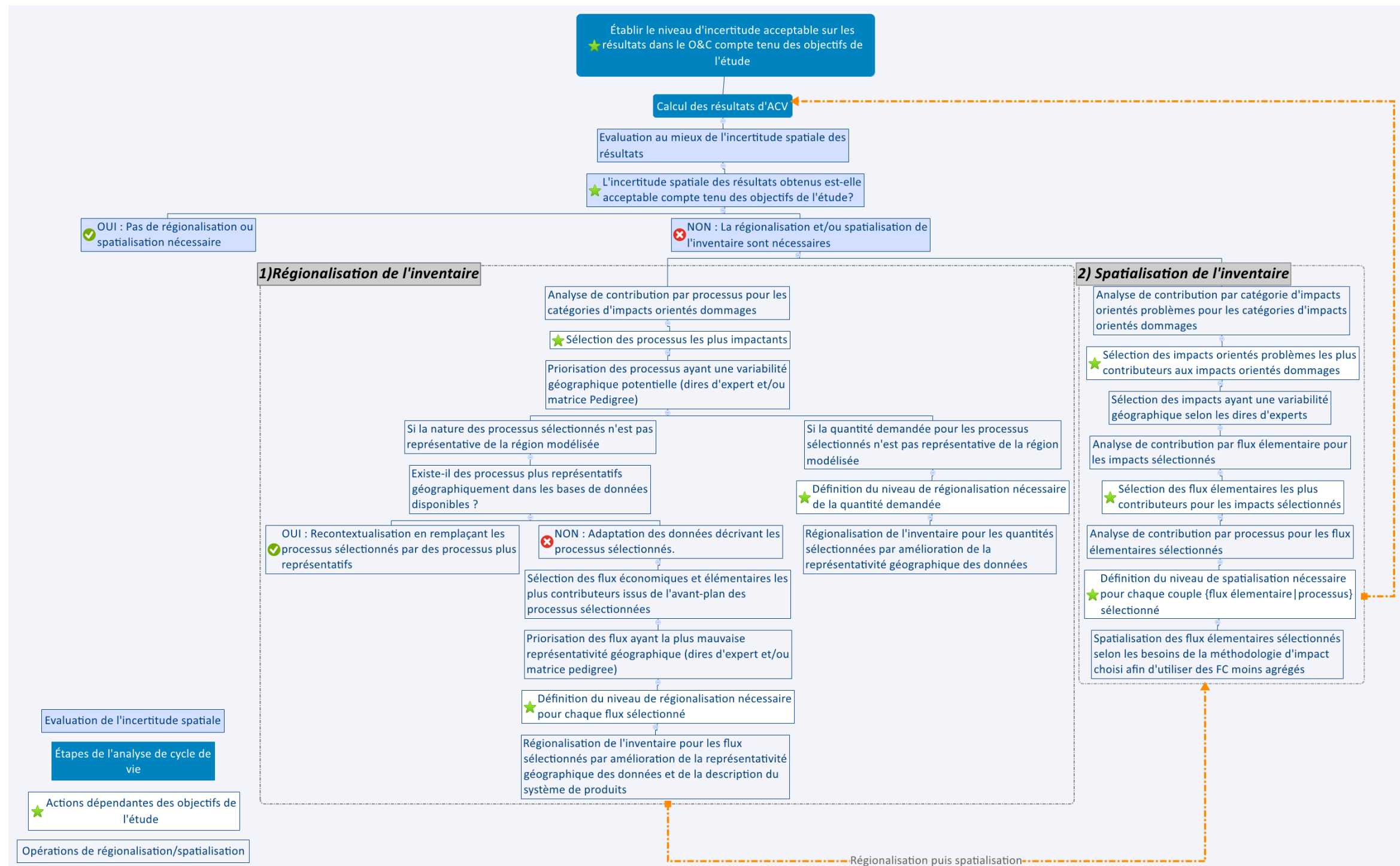


Figure 24 – Logigramme réaliste pour la mise en œuvre de la régionalisation et la spatialisation de l'inventaire en ACV

7.3.2. Exemple concret d'application du logigramme avec SimaPro

L'objectif de l'exemple proposé est de comparer deux filières de production de plastique en France pour aider un industriel à faire un choix stratégique sur ses futurs fournisseurs en fonction de leurs impacts sur la santé humaine et la qualité des écosystèmes.

- Production de plastique conventionnel (Polytéréphtalate d'éthylène, PET)
- Production de plastique biosourcé (Polylactide à partir de maïs)

La méthodologie d'impact utilisée est IMPACT World+ (v1.00). La modélisation est faite sous Simapro et fait appel à ecoinvent v3. Une première modélisation est réalisée a minima pour identifier là où un effort supplémentaire est nécessaire. Les processus de production de plastique déjà disponibles dans ecoinvent v3 sont utilisés. Ce sont des processus génériques (GLO).

Phase préliminaire :

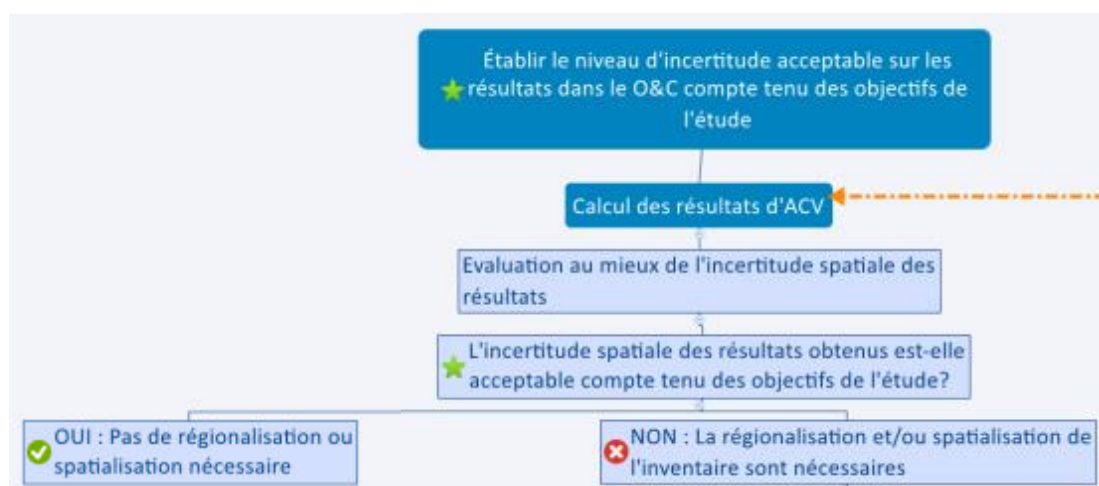


Figure 25 – Focus sur la phase préliminaire du logigramme

L'objectif de l'étude est de comparer des deux filières de production de plastique dont le choix est stratégique pour l'industriel en question. Les résultats obtenus doivent donc être les plus pertinents possibles. De plus un des plastiques est biosourcé. Or le secteur agricole a été identifié comme un secteur où un effort doit être fait pour la régionalisation de l'inventaire, due à une forte variabilité potentielle des systèmes d'une région à l'autre. De plus, certaines catégories d'impacts étudiées présentent un risque de variabilité géographique (voir Figure 26). L'incertitude spatiale associée aux résultats risque donc d'être élevée. Il est donc nécessaire de mettre en œuvre une démarche de régionalisation et spatialisation de l'inventaire.

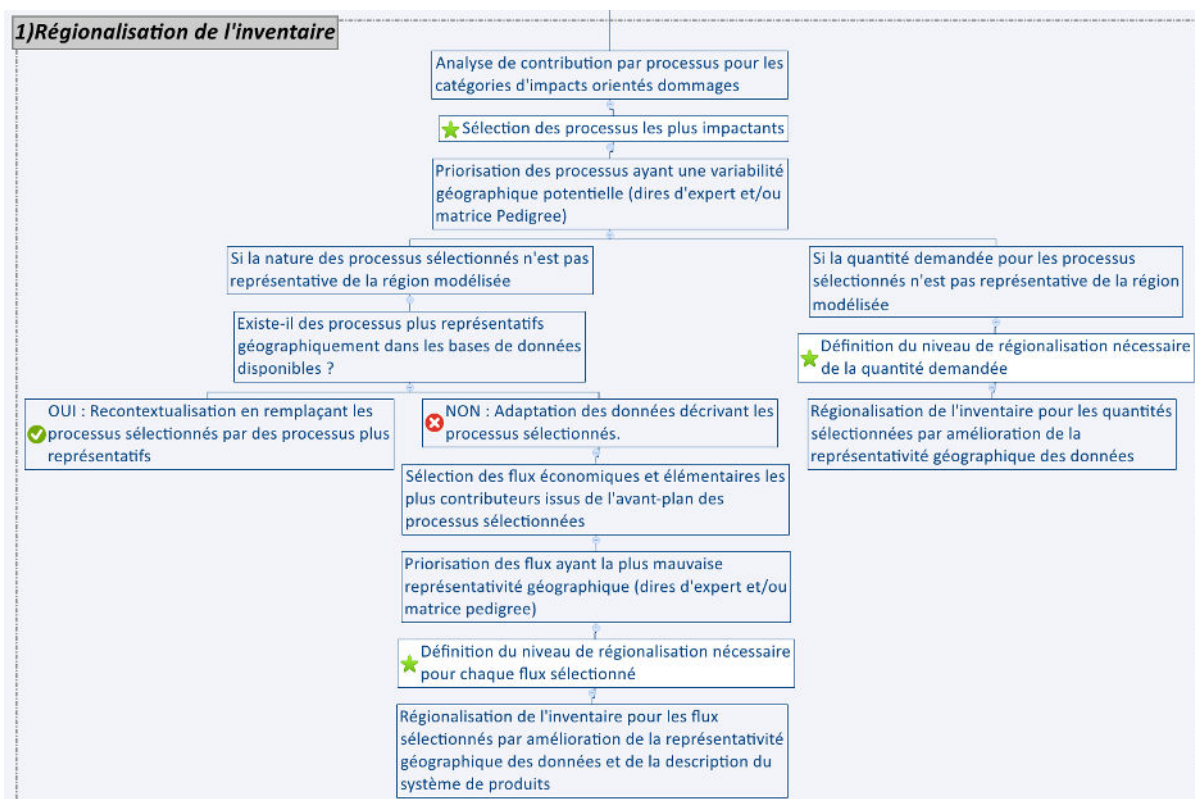


Figure 27 – Focus sur la phase de régionalisation de l'inventaire du logigramme L'analyse de contribution par processus pour l'impact sur la qualité des écosystèmes (

Figure 28) permet de sélectionner 5 processus potentiellement candidats pour être régionalisés dans le cas du bioplastique (Figure 29). Un seuil à 3% des impacts a été choisi par le praticien. Parmi ces processus, les processus de production de maïs, d'électricité et de chaleur sont jugés comme pouvant avoir une variabilité géographique. Ces processus seront donc régionalisés.

Régionalisation du processus de production de maïs :

Le processus de production de maïs est appelé directement par le processus de production de bioplastique (voir

Figure 30). La quantité de ce processus appelé n'est pas représentative géographiquement des processus pour la France (le processus de bioplastique est un processus générique GLO). Des données spécifiques fournis par un producteur français permettent de régionaliser la quantité de maïs nécessaire pour produire 1kg de bioplastique. La quantité de maïs appelée ainsi que sa matrice Pedigree associée sont donc modifiées (voir

- Figure 31).

Il n'est pas représentatif de la France (« Maize grain (GLO) | market for »). Il n'y a malheureusement aucun processus plus représentatif dans la base de données utilisé. Les données du processus de maïs vont donc être adaptées au contexte français. Une analyse de contribution permet d'identifier les flux économiques et élémentaires d'avant plan les plus contributeurs pour ce processus. Le flux élémentaire « occupation, arable » contribue à plus de 50 % des impacts sur la qualité des écosystèmes pour la production de maïs. La quantité de terres arables occupées est va donc être régionalisée pour la France (donnée de rendement à l'hectare français pour le maïs) (voir

Figure 33). La matrice Pedigree associée est également mise à jour (voir

- Figure 34).

Régionalisation de la production d'électricité :

- Les processus de production d'électricité sont appelés directement par le processus de production de bioplastique. Comme pour la quantité de maïs appelé pour la production du

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

bioplastique, les quantités de consommation d'électricité sont adaptées avec des données françaises spécifiques.

Il s'agit d'un mix de production d'électricité provenant de différents pays pour représenter l'approvisionnement électrique mondial. La nature de ces processus n'est donc pas représentative de la France. Les processus d'électricité sont donc recontextualisés pour la France, c'est-à-dire, remplacés par le processus français correspondant qui est disponible dans la base de données (voir

- Figure 35).

De la même manière le processus de production de chaleur sera régionalisé (le processus final obtenu est en

Figure 36). Le logigramme doit également être utilisé pour les impacts sur la santé humaine. Une analyse similaire peut également être menée pour la production de plastique PET si cela est jugé nécessaire. Dans cette phase, les étapes les plus consommatrices de temps sont la recherche de données spécifiques pour la France. C'est pourquoi la recontextualisation des processus est préférable si les processus sont disponibles dans la base de données. Si aucune donnée spécifique n'est facilement accessible, le praticien peut alors identifier et souligner les limites de la représentativité de son inventaire dans son rapport en pointant du doigt les processus potentiellement les plus problématiques.

Se	Damage category	Unit	Demande en France plastique	Demande en France bioplastique
<input checked="" type="checkbox"/>	Human Health	DALY	1,8967E-5	3,0452E-5
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecosystem Quality	PDF.m2.yr	2,773	3,7848

Figure 28 – Analyse de contribution par processus pour un impact sous Simapro

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

No	Process	Project	Unit	Demande en France plastique	Demande en France
	Total of all processes		%	100	100
	Remaining processes		%	88,735	63,029
1	Maize grain (RoW) production Alloc Def, U	Ecoinve	%	3,2305E-5	11,365
2	Electricity, high voltage (CN) electricity production, hard coal Alloc Def, U	Ecoinve	%	4,3693	8,1256
3	Maize grain (US) production Alloc Def, U	Ecoinve	%	2,1168E-5	7,4527
4	Heat, district or industrial, natural gas (RU) heat and power co-generation, natural	Ecoinve	%	1,6708	5,1578
5	Heat, district or industrial, other than natural gas (RoW) heat production, at hard c	Ecoinve	%	5,2043	4,8503

Figure 29 – Processus sélectionnés contribuant à plus de 3% des impacts sur la qualité des écosystèmes pour le bioplastique

Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste type	Category
Polylactide, granulate (GLO) production Alloc Def, U	1	kg	Mass	100 %	Biopolymers	Plastics_\Transport

Name	Sub-comp	Amount	Unit	Distribution	SD*2 or 2*SD Min	Comment
Water, unspecified natural origin, GLO	in water	0,00319993907195946	m3	Lognormal	9,025	(5,5,5,5,na) Calculated value. The provider for env2 was:

Name	Amount	Unit	Distribution	SD*2 +Min	Max	Comment
Maize grain (GLO) market for Alloc Def, U	1,50597130670091	kg	Lognormal	1,268		(1,2,3,5,1,na) .0
Chemical factory, organics (GLO) market for Alloc Def, U	3,99992303994933E-10	g	Lognormal	3,453		(5,2,3,5,1,na) .0
Natural gas, high pressure (SK) market for Alloc Def, U	6,71092199898856E-6	m3	Lognormal	1,274		(2,2,3,5,1,na) .0
Natural gas, high pressure (TE) market for Alloc Def, U	2,20865785333601E-6	m3	Lognormal	1,274		(2,2,3,5,1,na) .0
Natural gas, high pressure (AI) market for Alloc Def, U	5,02894403529269E-6	m3	Lognormal	1,274		(2,2,3,5,1,na) .0
Natural gas, high pressure (DE) market for Alloc Def, U	7,6493536582685E-5	m3	Lognormal	1,274		(2,2,3,5,1,na) .0
Natural gas, high pressure (SE) market for Alloc Def, U	9,34432168719526E-7	m3	Lognormal	1,274		(2,2,3,5,1,na) .0
Natural gas, high pressure (ES) market for Alloc Def, U	1,07374751023817E-5	m3	Lognormal	1,274		(2,2,3,5,1,na) .0
Natural gas, high pressure (FR) market for Alloc Def, U	3,61115559020764E-5	m3	Lognormal	1,274		(2,2,3,5,1,na) .0
Natural gas, high pressure (HU) market for Alloc Def, U	7,82374570395502E-6	m3	Lognormal	1,274		(2,2,3,5,1,na) .0

Figure 30 – Processus appelant le processus de production de maïs (« Maize grain (GLO) | market for »)

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

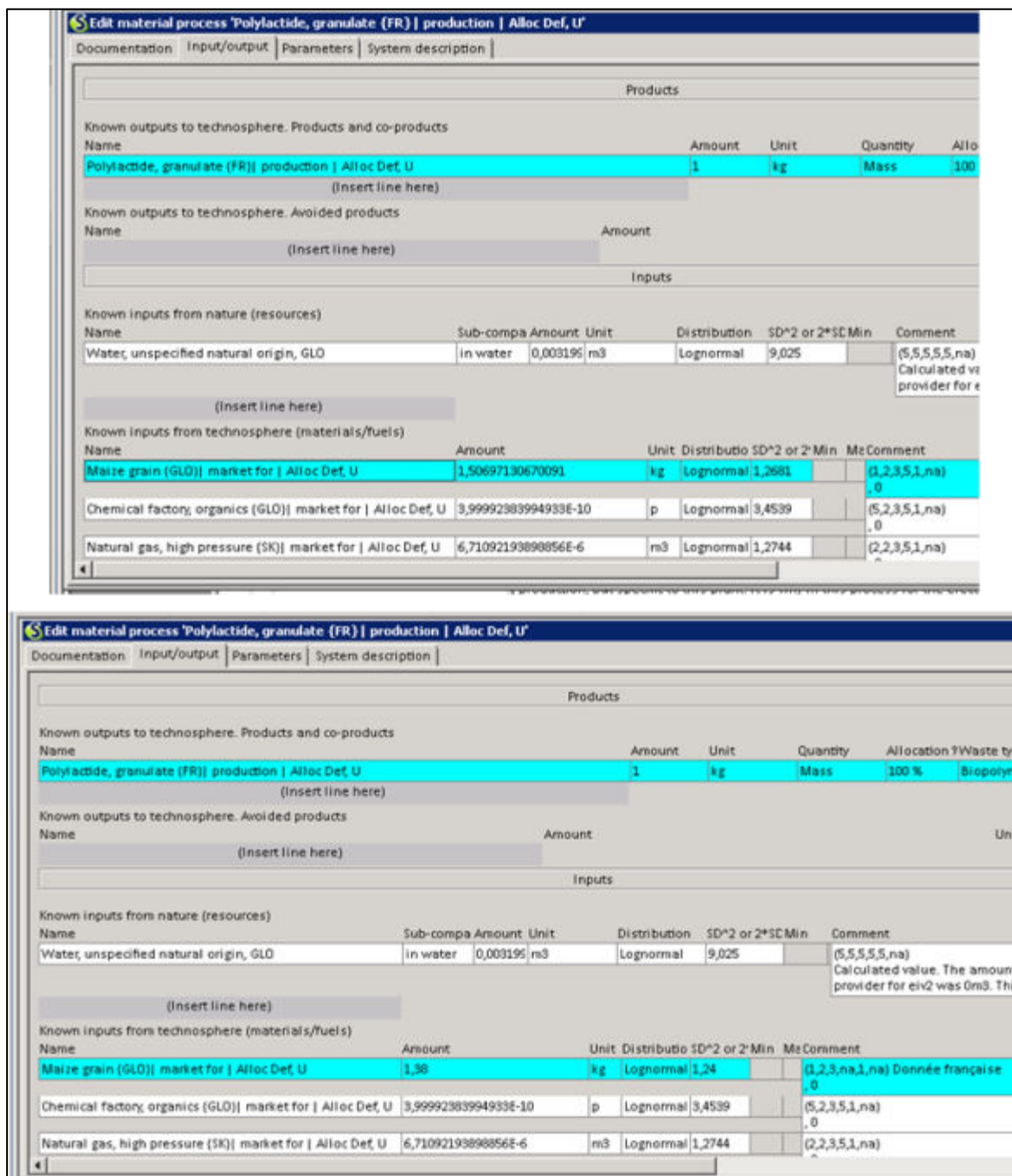


Figure 31 – Adaptation de la quantité de maïs consommée pour le bioplastique pour la France

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

Compartment		Indicator	Cut-off		
All compartments		Damage assessment	1%	<input type="checkbox"/> Default units <input type="checkbox"/> Exclude long-term <input checked="" type="checkbox"/> Per impact category	
<input type="checkbox"/> Per sub-compartment <input checked="" type="checkbox"/> Skip unused		Category	<input checked="" type="radio"/> Standard <input type="radio"/> Group		
		Ecosystem Quality			
No	Substance	Compartment	Unit	Maize grain (RoW)	
	Total of all compartments		%	100	
	Remaining substances		%	3,9919	
1	Occupation, arable	Raw	%	40,007	
2	Carbon dioxide, fossil	Air	%	38,627	
3	Dinitrogen monoxide	Air	%	6,0222	
4	Sulfur dioxide	Air	%	3,5208	
5	Ammonia	Air	%	3,5088	
6	Phosphorus	Water	%	1,7842	
7	Occupation, industrial area	Raw	%	1,3178	

Indicator		Cut-off			
Damage assessment		1%	<input type="checkbox"/> Default units <input type="checkbox"/> Exclude long-term <input checked="" type="checkbox"/> Per impact category		
Category		<input checked="" type="radio"/> Standard <input type="radio"/> Group			
		Ecosystem Quality			
No	Process	Project	Unit	Maize grain (RoW)	
	Total of all processes		%	100	
	Remaining processes		%	0,028655	
1	Maize grain (RoW) production Alloc Def, U	Ecoinve	%	99,971	

Figure 32 – Analyse de contribution par flux élémentaire pour la production de maïs

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

Known outputs to technosphere. Products and co-products

Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Weight
Maize grain (FR) production Alloc Def, U	1	kg	Mass	100 %	Co
(Insert line here)					

Known outputs to technosphere. Avoided products

Name	Amount
(Insert line here)	

Inputs

Known inputs from nature (resources)

Name	Sub-comp	Amount	Unit	Distrib SD*2 or 2 Min	Comment
Occupation, arable	land	0,62623	m2a	Logno 1,5639	(1,1,4,5,1,na) Modelled, see chapter 'Land use' in "01_cro resources_v1.0.pdf" - pdf-document on the dex (www.ecoinvent.org/documentation)
Energy, gross calorific value, in biomass	biotic	15,9099996474121	MJ	Logno 1,3247	(4,3,4,1,1,na)
Carbon dioxide, in air	in air	1,45118787215233	kg	Logno 1,4025	(4,3,4,5,1,na) Modelled, see chapter 'CO2 binding' in "01_cro resources_v1.0.pdf" - pdf-document on the dex (www.ecoinvent.org/documentation)

Known outputs to technosphere. Products and co-products

Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Weight
Maize grain (FR) production Alloc Def, U	1	kg	Mass	100 %	Co
(Insert line here)					

Known outputs to technosphere. Avoided products

Name	Amount
(Insert line here)	

Inputs

Known inputs from nature (resources)

Name	Sub-comp	Amount	Unit	Distrib SD*2 or 2 Min	Comment
Occupation, arable	land	0,52	m2a	Logno 1,55	(1,1,4,1,1,na) Donnée française
Energy, gross calorific value, in biomass	biotic	15,9099996474121	MJ	Logno 1,3247	(4,3,4,1,1,na)
Carbon dioxide, in air	in air	1,45118787215233	kg	Logno 1,4025	(4,3,4,5,1,na) Modelled, see chapter 'CO2 binding' in resources_v1.0.pdf" - pdf-document on (www.ecoinvent.org/documentation)
Transformation, to arable	land	1,0735	m2	Logno 2,0567	(1,1,4,5,1,na) Modelled, see chapter 'Land use' in "01_cro resources_v1.0.pdf" - pdf-document on (www.ecoinvent.org/documentation)

Figure 33 – Adaptation de la quantité de terre occupée pour la production de maïs pour la France

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

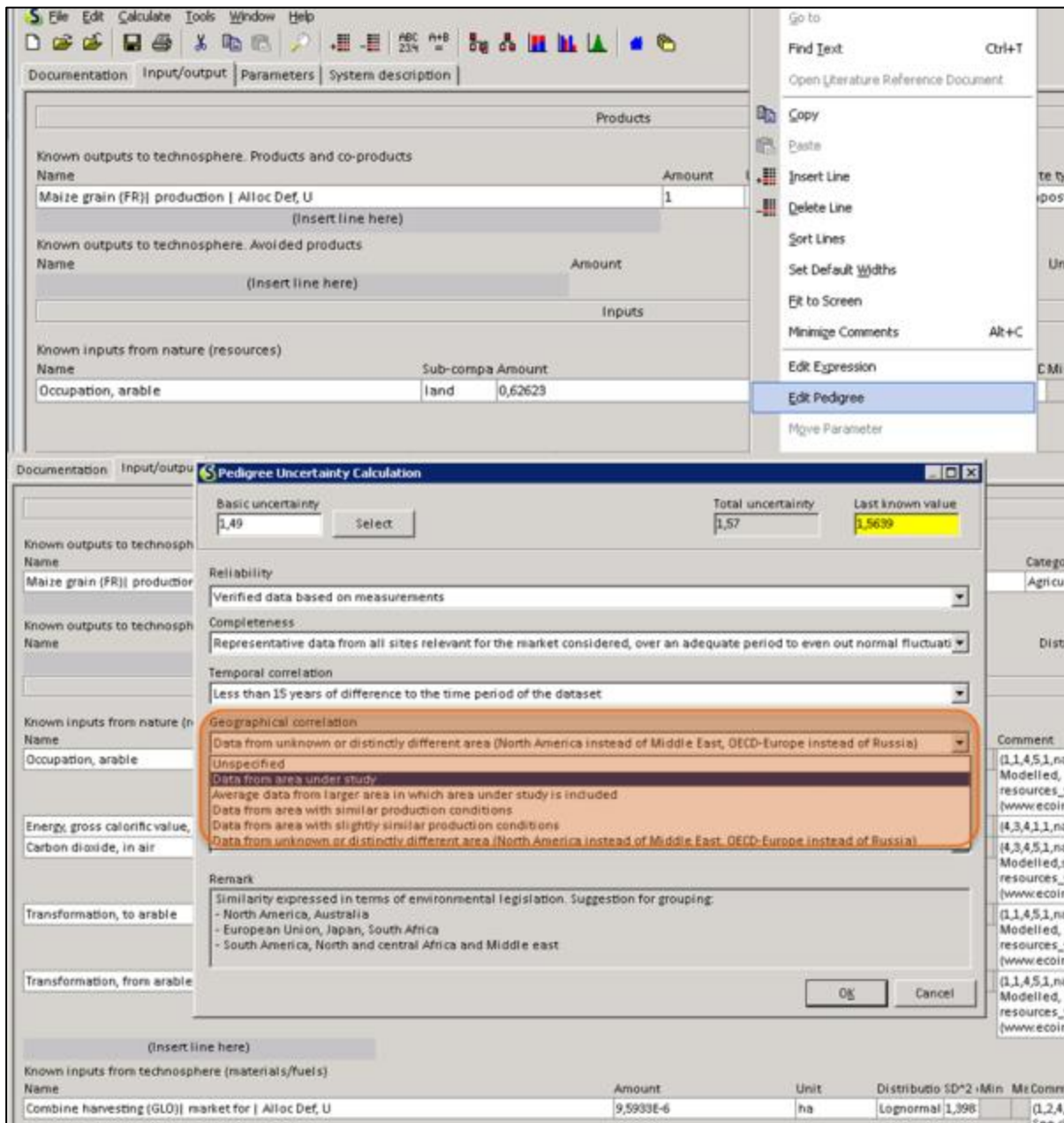


Figure 34 – Edition de la matrice Pedigree

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

Documentation	Input/output	Parameters	System description				
Natural gas, high pressure (CA-AB)	market for Alloc Def, U			0,000123098695972004	m3	Lognormal 1,274	
Naphtha (RER)	market for Alloc Def, U			0,0011875756684973	kg	Lognormal 1,274	
Naphtha (RoW)	market for Alloc Def, U			0,00581229105141403	kg	Lognormal 1,274	
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (electricity/heat)							
Name		Amount	Unit	Distrib	SD*2 or Min	Max	Comment
Electricity, low voltage (SK)	market for Alloc Def, U	0,00248400024253897	kWh	Lognor	1,2744		(2,2,3,5,1,na) ,0
Electricity, low voltage (BA)	market for Alloc Def, U	0,000818940137050195	kWh	Lognor	1,2744		(2,2,3,5,1,na) ,0
Electricity, low voltage (PL)	market for Alloc Def, U	0,012522811879251	kWh	Lognor	1,2744		(2,2,3,5,1,na) ,0
Electricity, low voltage (IE)	market for Alloc Def, U	0,00254545029611273	kWh	Lognor	1,2744		(2,2,3,5,1,na) ,0
Electricity, low voltage (KR)	market for Alloc Def, U	0,0393148665895074	kWh	Lognor	1,2744		(2,2,3,5,1,na) ,0
Electricity, low voltage (AT)	market for Alloc Def, U	0,00589131511868944	kWh	Lognor	1,2744		(2,2,3,5,1,na) ,0
Electricity, low voltage (CN)	market for Alloc Def, U	0,289078689358037	kWh	Lognor	1,2744		(2,2,3,5,1,na) ,0
Electricity, low voltage (DE)	market for Alloc Def, U	0,0522000479132031	kWh	Lognor	1,2744		(2,2,3,5,1,na) ,0

Documentation	Input/output	Parameters	System description				
Natural gas, high pressure (CA-AB)	market for Alloc Def, U			0,000123098695972004	m3	Lognormal 1,274	
Naphtha (RER)	market for Alloc Def, U			0,0011875756684973	kg	Lognormal 1,274	
Naphtha (RoW)	market for Alloc Def, U			0,00581229105141403	kg	Lognormal 1,274	
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (electricity/heat)							
Name		Amount	Unit	Distrib	SD*2 or Min	Max	Comment
Electricity, low voltage (FR)	market for Alloc Def, U	0,00248400024253897	kWh	Lognor	1,2744		(2,2,3,5,1,na) ,0
Electricity, low voltage (FR)	market for Alloc Def, U	0,000818940137050195	kWh	Lognor	1,2744		(2,2,3,5,1,na) ,0
Electricity, low voltage (FR)	market for Alloc Def, U	0,012522811879251	kWh	Lognor	1,2744		(2,2,3,5,1,na) ,0
Electricity, low voltage (FR)	market for Alloc Def, U	0,00254545029611273	kWh	Lognor	1,2744		(2,2,3,5,1,na) ,0
Electricity, low voltage (FR)	market for Alloc Def, U	0,0393148665895074	kWh	Lognor	1,2744		(2,2,3,5,1,na) ,0
Electricity, low voltage (FR)	market for Alloc Def, U	0,00589131511868944	kWh	Lognor	1,2744		(2,2,3,5,1,na) ,0
Electricity, low voltage (FR)	market for Alloc Def, U	0,289078689358037	kWh	Lognor	1,2744		(2,2,3,5,1,na) ,0
Electricity, low voltage (FR)	market for Alloc Def, U	0,0522000479132031	kWh	Lognor	1,2744		(2,2,3,5,1,na) ,0
Electricity, low voltage (FR)	market for Alloc Def, U	0,00299332664812142	kWh	Lognor	1,2744		(2,2,3,5,1,na) ,0
Electricity, low voltage (FR)	market for Alloc Def, U	0,0128221329926348	kWh	Lognor	1,2744		(2,2,3,5,1,na) ,0

Figure 35 – Recontextualisation de l'électricité consommée pour la France

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

Edit material process 'Polylactide, granulate (FR) | production | Alloc Def, U'

Documentation | Input/output | Parameters | System description

Products

Known outputs to technosphere. Products and co-products

Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %
Polylactide, granulate (FR) production Alloc Def, U	1	kg	Mass	100 %
(Insert line here)				

Known outputs to technosphere. Avoided products

Name	Amount
(Insert line here)	

Inputs

Known inputs from nature (resources)

Name	Sub-comp	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SC Min	Comment
Water, unspecified natural origin, GLO	in water	0,003195	m3	Lognormal	9,025	(5,5,5,5,na) Calculated value. The provider for eiv2 was
(Insert line here)						

Known inputs from technosphere (materials/fuels)

Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2* Min	Me	Comment
Maize grain (FR) market for Alloc Def, U	1,38	kg	Lognormal	1,24		(1,2,3,na,1,na) Donnée française ,0
Chemical factory, organics (GLO) market for Alloc Def, U	3,99992383994933E-10	p	Lognormal	3,4539		(5,2,3,5,1,na) ,0
Natural gas, high pressure (SK) market for Alloc Def, U	6,71092193898856E-6	m3	Lognormal	1,2744		(2,2,3,5,1,na) ,0
(Insert line here)						

Known inputs from technosphere (electricity/heat)

Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or Min	Max	Comment
Electricity, low voltage (FR) market for Alloc Def, U	1,89	kWh	Lognor	1,13		(2,2,3,1,1,na) Donnée française
Heat, district or industrial, natural gas (Europe without Switze	17,2	MJ	Lognor	1,25		(2,2,3,1,1,na) Donnée française
Heat, district or industrial, other than natural gas (Europe wit	0,05	MJ	Lognor	1,25		(2,2,3,1,1,na) Donnée française

Figure 36 – Processus final obtenu pour le bioplastique en France

Phase de spatialisation de l'inventaire :

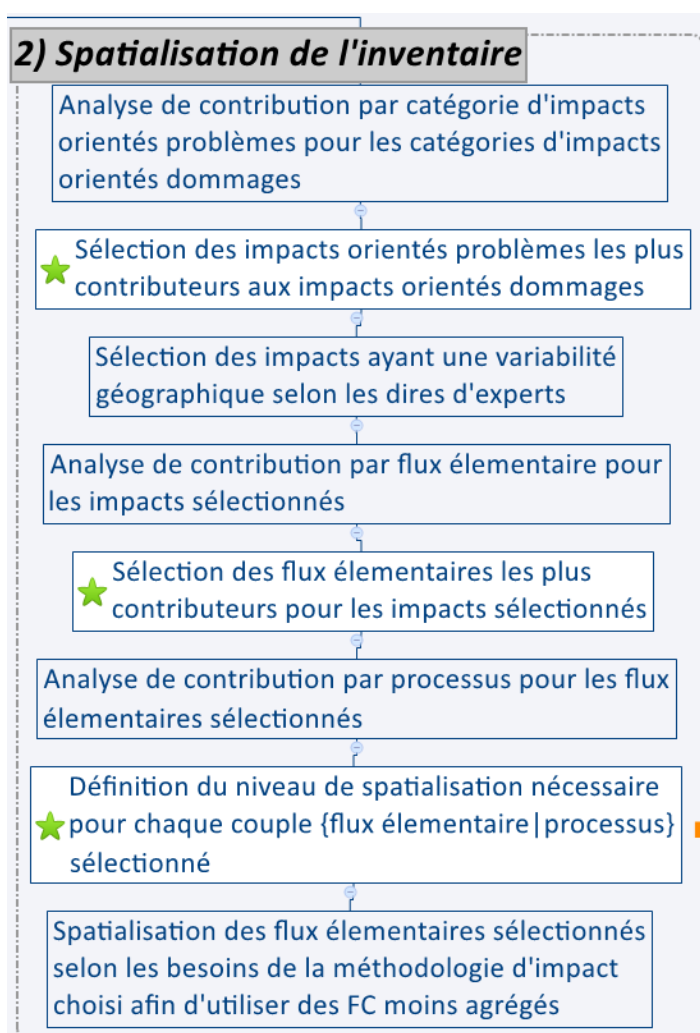


Figure 37 – Focus sur la phase de spatialisation de l'inventaire du logigramme

4 catégories d'impacts orientés problèmes pour la santé humaine et 6 pour la qualité des écosystèmes sont les plus contributrices (voir Figure 38). Parmi celles-ci, les impacts liés au réchauffement climatique et à l'acidification marine ne présentant pas de risque de variabilité spatiale sont donc exclues :

- Pour la santé humaine, on constate que les flux élémentaires liés à l'utilisation de l'eau sont déjà spatialisés dans la base de données ecoinvent v3 (voir Figure 39). Il reste donc à régionaliser les impacts pour les effets respiratoires inorganiques (c'est-à-dire spatialiser les flux élémentaires correspondants) si cela est jugé nécessaire. En effet ces impacts ne contribuent que 6% par dommage sur la santé humaine.
- Pour la qualité des écosystèmes, la priorité est mise sur l'occupation des sols qui contribue à 16% des impacts pour le bioplastique et présente un risque de variabilité spatiale forte. Pour cet impact, le flux élémentaire « occupation, arable » contribue à 91% des impacts pour le bioplastique (voir Figure 41). Une analyse de contribution par processus pour cette substance révèle que celle-ci est liée au processus de production de maïs. Le couple {« occupation, arable » | production de maïs} va donc être spatialisé. La méthodologie d'impact IMPACT World+ pour l'occupation propose que les terres puissent être spatialisées en fonction de plusieurs archétypes (voir Figure 42). Un archétype plus représentatif du type de culture est donc choisi et le flux élémentaire initial est donc remplacé par ce flux élémentaire spatialisé (voir Figure 43).

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

Le même raisonnement pourrait être mené sur la production de plastique PET si cela est jugé nécessaire. Cette phase du logigramme n'est pas très consommatrice de temps. Seules les informations pour choisir les bons archétypes ou spatialiser correctement les flux élémentaires peuvent être parfois difficiles d'accès. Si le praticien ne parvient pas à spatialiser ses flux, il peut tout de même reporter les limites liées à la spatialisation dans son rapport.

La Figure 44 présente une comparaison des impacts sur la qualité des écosystèmes pour le bioplastique avant et après régionalisation et spatialisation pour la France.

Impact category	Demande en France plastique	Demande en France bioplastique	Unit
Global warming, short-term, human health	12%	8%	DALY
Global warming, long-term, human health	37%	25%	DALY
Water use impacts, human health	27%	53%	DALY
Respiratory inorganics	6%	6%	DALY
Respiratory organics	0%	0%	DALY
Carcinogens, no water intake	1%	0%	DALY
Carcinogens, indoor	0%	0%	DALY
Non-carcinogens, no water intake	2%	-1%	DALY
Non-carcinogens, indoor	0%	0%	DALY
Carcinogens, water intake	9%	4%	DALY
Non-carcinogens, water intake	6%	4%	DALY
Carcinogens, pesticide residues	0%	0%	DALY
Non-carcinogens, pesticide residues	0%	0%	DALY
Ionizing radiation, human health	0%	0%	DALY
Ozone layer depletion	0%	0%	DALY
TOTAL HH	100%	100%	DALY
	Demande en France plastique	Demande en France bioplastique	
Global warming, short-term, ecosystem	19%	15%	PDF.m2.yr
Global warming, long-term, ecosystem	56%	45%	PDF.m2.yr
Marine acidification, short-term	1%	1%	PDF.m2.yr
Marine acidification, long-term	13%	10%	PDF.m2.yr
Land occupation, biodiversity	1%	16%	PDF.m2.yr
Water use impacts, freshwater ecosystem	0%	0%	PDF.m2.yr
Thermally polluted water	0%	0%	PDF.m2.yr
Freshwater acidification	1%	1%	PDF.m2.yr
Terrestrial acidification	6%	8%	PDF.m2.yr
Freshwater eutrophication	0%	2%	PDF.m2.yr
Marine eutrophication	0%	1%	PDF.m2.yr
Freshwater ecotoxicity, short-term	0%	0%	PDF.m2.yr
Freshwater ecotoxicity, long-term	2%	2%	PDF.m2.yr
Ionizing radiation, freshwater ecosystem	0%	0%	PDF.m2.yr
TOTAL EQ	100%	100%	PDF.m2.yr

Figure 38 – Sélection des catégories d'impacts orientés problèmes les plus contributrices aux impacts orientés dommages

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

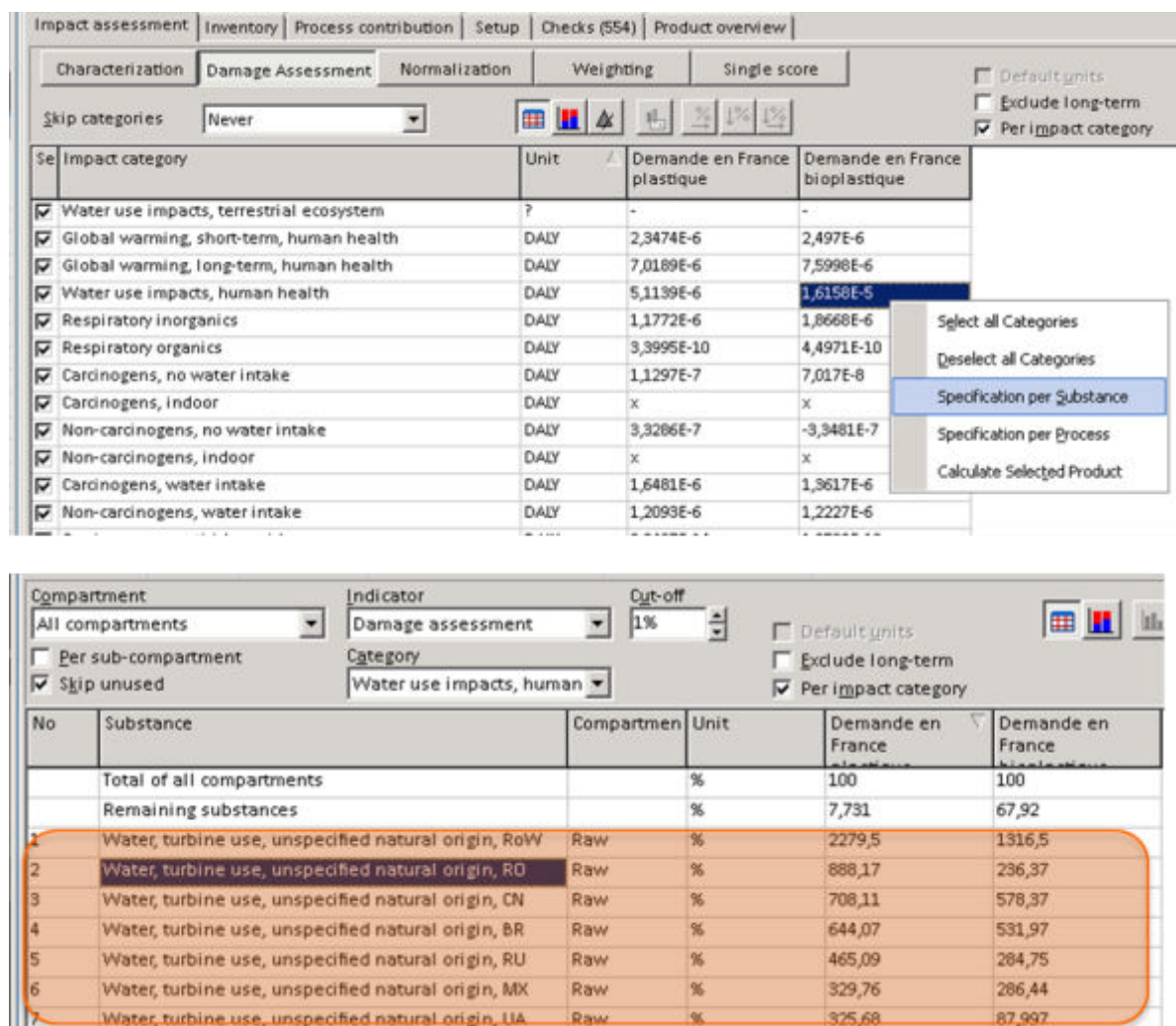


Figure 39 – Flux élémentaires liés à l'utilisation de l'eau

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

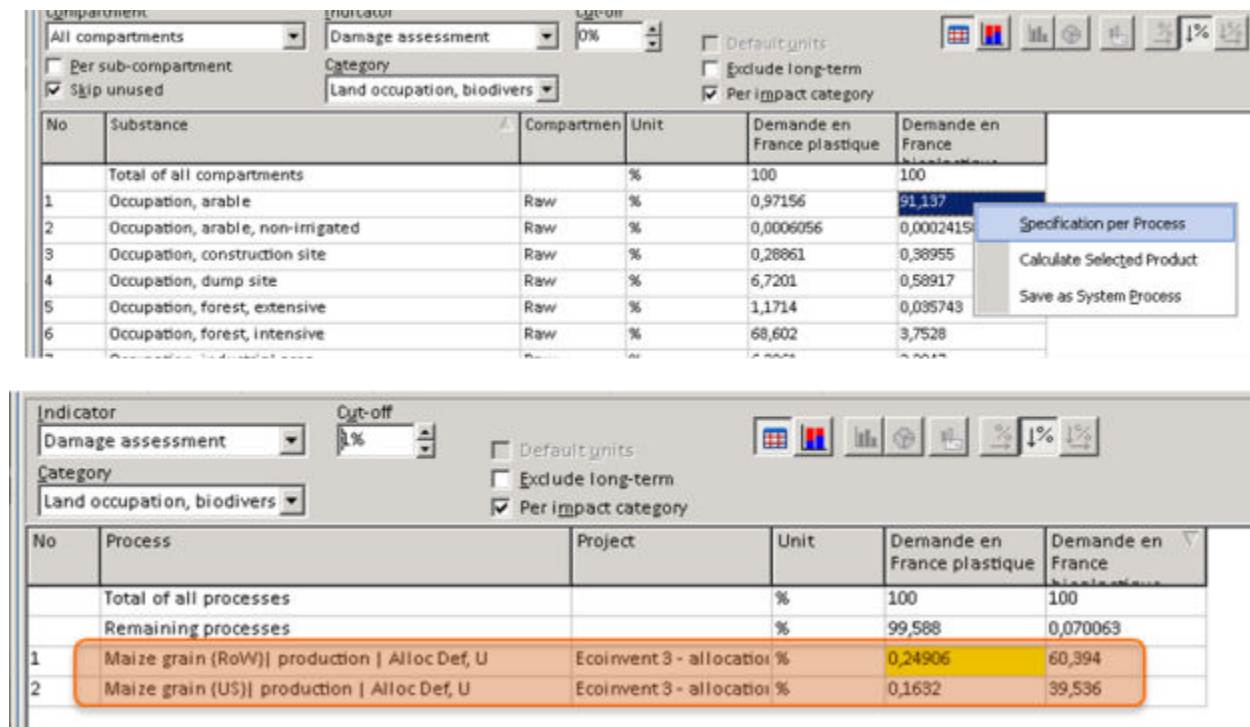


Figure 40 – Analyse de contribution par processus pour la substance « occupation, arable »

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

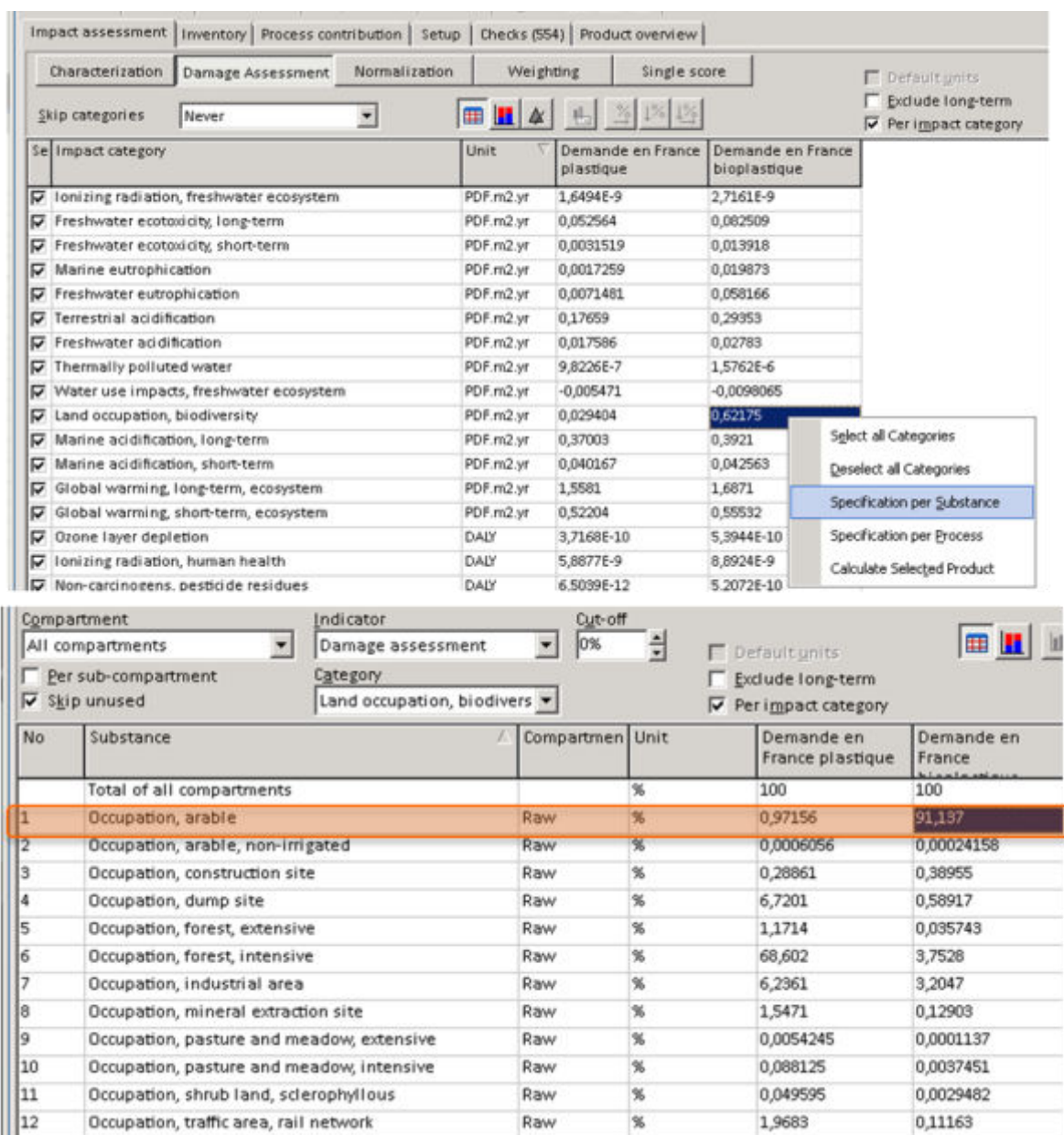


Figure 41 – Analyse de contribution par substance pour les impacts sur l'occupation des sols

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

General		Characterization	Damage assessment	Normalization and Weighting			
Impact category	Unit	Compt	Subcom	Substance	Cl	Facto	Unit
Global warming, short-term, ecosys	PDF.m2.yr	Raw	land	Occupation, arable		0,6	PDF.m2.yr / m2a
Global warming, long-term, ecosys	PDF.m2.yr	Raw	land	Occupation, arable, (Sub)trop coniferous forest		0,6	PDF.m2.yr / m2a
Global warming, short-term, human	DALY	Raw	land	Occupation, arable, (Sub)trop dry br.leaf forest		0,6	PDF.m2.yr / m2a
Global warming, long-term, human	DALY	Raw	land	Occupation, arable, (Sub)trop grass savan and shrub		0,65	PDF.m2.yr / m2a
Marine acidification, short-term	PDF.m2.yr	Raw	land	Occupation, arable, (Sub)trop moist br.leaf forest		0,54	PDF.m2.yr / m2a
Marine acidification, long-term	PDF.m2.yr	Raw	land	Occupation, arable, Boreal forest and taiga		0,6	PDF.m2.yr / m2a
Land occupation, biodiversity	PDF.m2.yr	Raw	land	Occupation, arable, Deserts and xeric shrub		0,6	PDF.m2.yr / m2a
Water use impacts, human health	DALY	Raw	land	Occupation, arable, Flooded grasss and savan		0,6	PDF.m2.yr / m2a
Water use impacts, freshwater eco	PDF.m2.yr	Raw	land	Occupation, arable, full tillage		0,6	PDF.m2.yr / m2a
Water use impacts, terrestrial ecos	PDF.m2.yr	Raw	land	Occupation, arable, full tillage, (Sub)trop coniferous forest		0,6	PDF.m2.yr / m2a
Thermally polluted water	PDF.m2.yr	Raw	land	Occupation, arable, full tillage, (Sub)trop dry br.leaf forest		0,6	PDF.m2.yr / m2a
Freshwater acidification	PDF.m2.yr	Raw	land	Occupation, arable, full tillage, (Sub)trop grass savan and shr		0,65	PDF.m2.yr / m2a
Terrestrial acidification	PDF.m2.yr	Raw	land	Occupation, arable, full tillage, (Sub)trop moist br.leaf forest		0,54	PDF.m2.yr / m2a
Freshwater eutrophication	PDF.m2.yr	Raw	land	Occupation, arable, full tillage, Boreal forest and taiga		0,6	PDF.m2.yr / m2a
Marine eutrophication	PDF.m2.yr	Raw	land	Occupation, arable, full tillage, Deserts and xeric shrub		0,6	PDF.m2.yr / m2a
Freshwater ecotoxicity, short-term	PDF.m2.yr	Raw	land	Occupation, arable, full tillage, Flooded grasss and savan		0,6	PDF.m2.yr / m2a
Freshwater ecotoxicity, long-term	PDF.m2.yr	Raw	land	Occupation, arable, full tillage, Mangroves		0,6	PDF.m2.yr / m2a
Respiratory inorganics	DALY	Raw	land	Occupation, arable, full tillage, Medit. forest wood. and scrub		0,6	PDF.m2.yr / m2a
Respiratory organics	DALY	Raw	land	Occupation, arable, full tillage, Montane grass and shrub		0,6	PDF.m2.yr / m2a
Carcinogens, no water intake	DALY	Raw	land	Occupation, arable, full tillage, Temp br.leaf forest		0,76	PDF.m2.yr / m2a
Carcinogens, indoor	DALY	Raw	land	Occupation, arable, full tillage, Temp coniferous forest		0,54	PDF.m2.yr / m2a
Non-carcinogens, no water intake	DALY	Raw	land	Occupation, arable, full tillage, Temp grasss savan and shrub		0,6	PDF.m2.yr / m2a
Non-carcinogens, indoor	DALY	Raw	land	Occupation, arable, full tillage, Tundra		0,6	PDF.m2.yr / m2a
Carcinogens, water intake	DALY	Raw	land	Occupation, arable, Mangroves		0,6	PDF.m2.yr / m2a
Non-carcinogens, water intake	DALY	Raw	land	Occupation, arable, Medit. forest wood. and scrub		0,6	PDF.m2.yr / m2a
Carcinogens, pesticide residues	DALY	Raw	land	Occupation, arable, Montane grass and shrub		0,6	PDF.m2.yr / m2a
Non-carcinogens, pesticide residue	DALY	Raw	land	Occupation, arable, no tillage		0,6	PDF.m2.yr / m2a
Ionizing radiation, human health	DALY	Raw	land	Occupation, arable, no tillage, (Sub)trop coniferous forest		0,6	PDF.m2.yr / m2a
Ionizing radiation, freshwater ecos	PDF.m2.yr	Raw	land	Occupation, arable, no tillage, (Sub)trop dry br.leaf forest		0,6	PDF.m2.yr / m2a
Ozone layer depletion	DALY	Raw	land	Occupation, arable, no tillage, (Sub)trop grass savan and shru		0,65	PDF.m2.yr / m2a
		Raw	land	Occupation, arable, no tillage, (Sub)trop moist br.leaf forest		0,54	PDF.m2.yr / m2a
		Raw	land	Occupation, arable, no tillage, boreal forest and taiga		0,6	PDF.m2.yr / m2a

Figure 42 – Archétypes pour l'occupation des sols dans IMPACT World+

The screenshot shows the 'Products' window in IMPACT World+ with a 'Select a raw material' dialog box open. The dialog box lists various land occupation archetypes with their units and CAS numbers. The 'land' sub-compartment is highlighted in yellow.

Name	Unit	CAS number	Sub-compartment
Occupation, arable, Deserts and xeric shrub	m2a		(unspecified)
Occupation, arable, fallow	m2a		in ground
Occupation, arable, flooded crops	m2a		in air
Occupation, arable, Flooded grasss and savan	m2a		in water
Occupation, arable, full tillage	m2a		biotic
Occupation, arable, full tillage, (Sub)trop coniferous fo	m2a		land
Occupation, arable, full tillage, (Sub)trop dry br.leaf for	m2a		
Occupation, arable, full tillage, (Sub)trop grass savan	m2a		
Occupation, arable, full tillage, (Sub)trop moist br.leaf	m2a		
Occupation, arable, full tillage, Boreal forest and taiga	m2a		
Occupation, arable, full tillage, Deserts and xeric shrub	m2a		
Occupation, arable, full tillage, Flooded grasss and sav	m2a		
Occupation, arable, full tillage, Mangroves	m2a		
Occupation, arable, full tillage, Medit. forest wood. an	m2a		

Figure 43 – Spatialisation d'un flux élémentaire

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

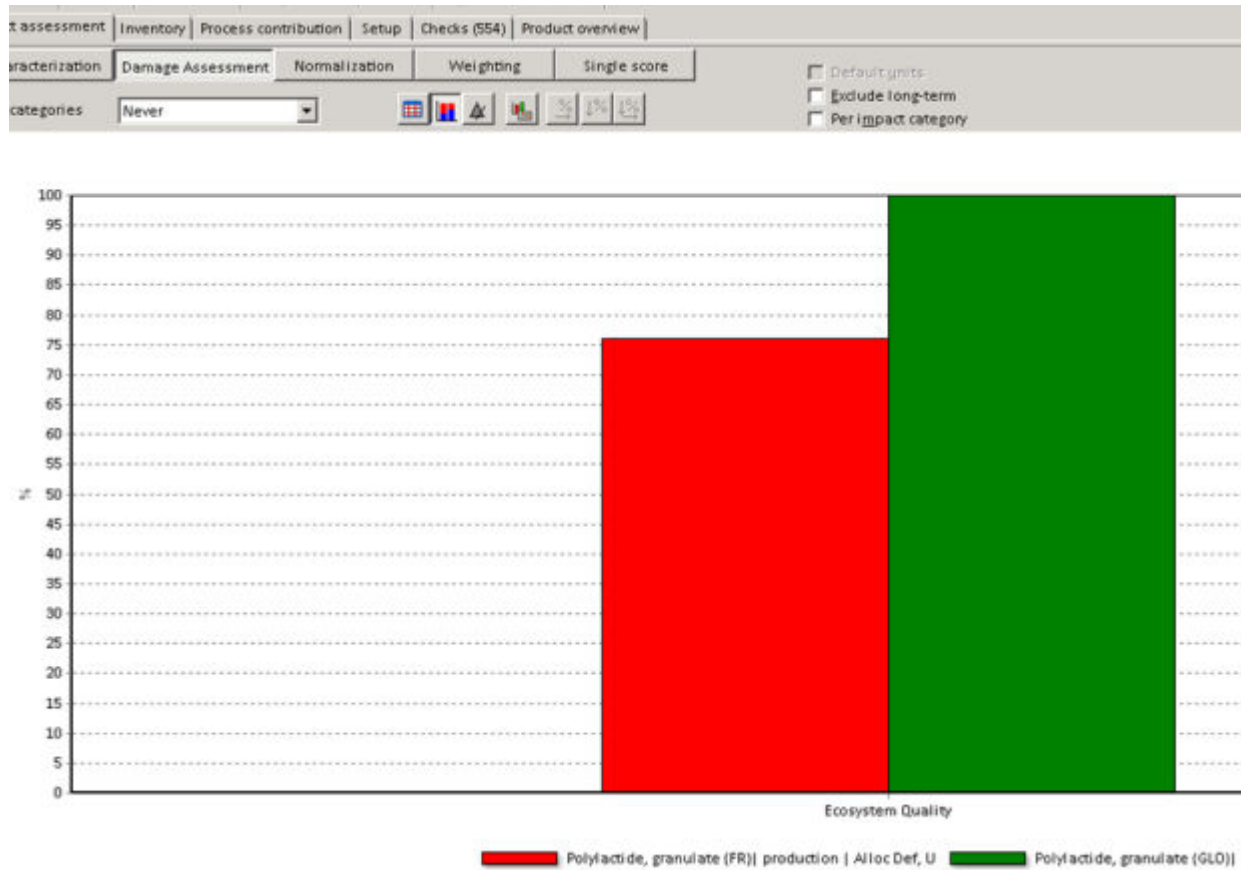


Figure 44 – Comparaison des impacts sur la qualité des écosystèmes avant et après régionalisation et spatialisation de l'inventaire

8. 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 obstacles – pratiques et conceptuels – de mise en œuvre de ces approches en ACV ont été mis en évidence. Fort de cette analyse, des recommandations pratiques sur les différentes façons d'intégrer cette dimension ont pu être formulées à court et à long terme. Un logigramme pour la mise en œuvre concrète de ces recommandations a été proposé et un exemple détaillé a permis d'illustrer son utilisation.

Cette étude a également été l'occasion de bien identifier comment la dimension géographique intervient en ACV. Les différentes approches liées à la dimension géographique en ACV ont ainsi pu être catégorisées et un cadre d'analyse pour cet aspect a été posé. 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.

Les recommandations 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 (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). L'expertise nécessaire à 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 de plus long terme.

9. Annexes

9.1. Analyse détaillée des réponses au questionnaire sur les pratiques et perceptions actuelles sur la régionalisation et la spatialisation de l'inventaire en ACV

Question et choix de réponse	Réponse	Commentaire / synthèse des réponses
Profil des répondants		
1. Répondants (nombre)		
Total	42	
Anglophones	13	
Francophones	29	
2. Expérience dans le domaine de l'ACV (années)		
moyenne	7,5	
1er quartile	4,0	
médiane	7,0	
3è quartile	10,3	
3. Secteur/domaine d'expertise		
Agriculture/agroalimentaire	12%	
Chimie/pharmaceutique/bioprocédés	19%	
Bâtiment	12%	
Énergie/bioénergie	14%	
ACV/ICV/EICV (méthodologie, ou praticien généraliste)	30%	
Recyclage	5%	
Eau/traitement des eaux	7%	
Astronomie	2%	
4. Statut		
Consultant/analyste	33%	
Académique	36%	
Industriel	14%	
Gouvernement	2%	
Étudiant	5%	
Autre (statut mixte)	10%	
5. Niveau de pratique de l'ACV		
Je réalise souvent des ACV.	83%	
Je suis surtout utilisateur de résultats d'ACV.	17%	
6. Connaissez-vous le cadre théorique de la régionalisation et de la spatialisation de l'inventaire?		
Oui	95%	

Non	5%	
Régionalisation de l'inventaire		
7. Selon vous, quel est votre niveau de pratique de la régionalisation de l'inventaire?		
Pratique systématique : j'essaie toujours de rendre mon inventaire le plus représentatif possible pour tous les processus.	24%	
Pratique courante : j'utilise les données les plus représentatives géographiquement pour tous les processus quand elles sont facilement accessibles. (par exemple, présentes dans ecoinvent)	50%	
Pratique occasionnelle : j'utilise des données représentatives géographiquement pour certains processus ou certaines études.	15%	Pour des études détaillées et quand les impacts dépendent de la géographie (typiquement les études empreintes eau (selon ISO 14046), et les flux d'occupation des terres); Selon le champ et les objectifs de l'étude: au moins, les données primaires sont régionalisées, de même que les données ecoinvent qui constituent l'avant-plan. Le jugement quand à l'effort à consentir pour régionaliser les données est évalué au moyen d'analyse de sensibilité, et révisé au besoin. Les processus les plus souvent régionalisés sont les mix énergétiques et l'adaptation des étapes de transport.
Aucune pratique : je ne régionalise pas mon inventaire.	3%	
Autre	9%	
8. Habituellement, évaluez-vous les incertitudes liées à une mauvaise représentativité géographique de votre inventaire? Si oui, comment?		
Oui	56%	L'incertitude est le plus souvent estimée soit qualitativement, soit semi-qualitativement à l'aide de la matrice Pedigree et d'une analyse Monte Carlo. Alternativement, c'est par le biais d'analyses de sensibilité en simulant des régions ou des valeurs extrêmes de paramètres clés. Certains ont pu élaborer des techniques plus poussées dans le cadre d'études dédiées (p.ex. doctorat sur le sujet).
Non	44%	
9. Comment faites-vous concrètement pour régionaliser votre inventaire/le rendre le plus représentatif possible géographiquement?		
J'utilise en priorité des données représentatives du contexte géographique de mon étude.	85%	
Je sélectionne les données ayant une bonne qualité géographique dans la matrice pedigree lorsque j'ai le choix entre 2 données ayant la même couverture géographique.	24%	
Je me base sur des dires d'experts pour sélectionner les données les plus représentatives à utiliser.	35%	

J'utilise les résultats de modèles pour bien identifier mon système de produits.	12%	
Autre	15%	Coupler les bases de données ACV avec des bases de données (non ACV) régionalisées comme il en existe pour l'eau (p.ex. WFN), pour les mix énergétiques (statistiques nationales)
10. Comment déterminez-vous les données/processus que vous devez régionaliser?		
Je ne régionalise que les données d'avant-plan.	32%	L'approche la plus rapportée consiste à chercher à régionaliser les processus qui sont à la fois des grands contributeurs ET qui risquent (selon l'expertise du praticien ou une analyse de sensibilité) de changer significativement lors du processus de régionalisation OU repérés comme hautement incertains. Ensuite, le temps nécessaire apparaît comme un critère d'arrêt du processus de régionalisation. L'approche est d'abord appliquée au processus d'avant-plan, puis d'arrière-plan.
Je me base sur des dires d'experts pour choisir les processus que je régionalise.	26%	
Je régionalise les processus les plus contributeurs à l'impact.	47%	
Je régionalise les processus ayant les données les plus incertaines.	12%	
Je régionalise les processus les plus incertains et ayant le plus d'influence sur les résultats.	15%	
Autre	12%	
11. Jusqu'à quel niveau de détail allez-vous pour régionaliser votre inventaire?		
J'utilise uniquement des données génériques.	12%	Beaucoup rapportent régionaliser au niveau du pays (au moins pour l'électricité, p.ex.), ou au niveau du bassin pour l'eau. Selon l'étude, la démarche peut consister à chercher à avoir du local par défaut, puis "rapidement" remonter progressivement en fonction 1) de la disponibilité des données, 2) de la spécificité du processus et de son marché de négoce (marché local si entreprise spécifique vs. régional voire mondial), et 3) du fardeau (temps passé et complexité du travail à fournir). Beaucoup reconnaissent également qu'aucune échelle n'est a priori adéquate car cela va dépendre des flux à régionaliser, de la nature de la donnée utilisée par défaut, et des indicateurs affectés.
Je régionalise au niveau du continent.	15%	
Je régionalise au niveau du pays.	53%	
Je régionalise de manière plus fine.	24%	
Cela dépend du contexte.	41%	
Autre	6%	
12. Pour quels types d'études portez-vous une attention particulière à la régionalisation? (secteurs, impacts, objectifs de l'étude, destinataires de l'étude, etc.) Pour chacune de ces études, jusqu'à quel niveau de détail régionalisez-vous l'inventaire?		
Secteurs		Agriculture (niveau= pays au minimum)
		Textile
		Bâtiment (pour les matières premières comme bois ou béton - niveau=pays voire continent ; pour Construction, utilisation et fin de vie - niveau=pays; énergie (production et/ou consommation - niveau=pays)
		Filières de recyclage (niveau=pays)
		Tout secteur si l'étude aborde les impacts liés à l'eau (niveau=sub-national)
Impacts/flux		Empreinte eau (nécessaire - niveau=sub-national)
		Particules fines (ACV où énergie/transport)

	domine)
	Émissions agricoles (tant que possible, régionaliser les émissions au champ en fonction des caractéristiques du milieu).
Type d'étude	Toute étude devant mener à la mise en place d'une politique publique
	ACV screening: régionalisation minimale (p.ex. gridmix électrique) vs. ACV détaillée: recherche de régionalisation plus poussée
	Implantation de site industriel
	ACV conséquentielle et changement d'affectation des sols
	Analyse de chaîne logistique (pertinent de discriminer entre des approvisionnements de, pex., Chine et EU)
	Prise en compte de l'accessibilité et du prix des ressources
	Quelle que soit l'étude, le niveau de détail cherché dépend également du temps et du périmètre de l'étude: au minimum niveau pays lorsque nécessaire.

13. Comment jugez-vous l'effort supplémentaire pour régionaliser l'inventaire? Veuillez justifier votre réponse.

Très important	26%	L'effort n'est pas si important pour certains processus comme les gridmix d'électricité, ou si l'on simule une variabilité régionale via une analyse de sensibilité. Il peut l'être si l'on cherche des nouvelles données pour tous les flux d'un processus qu'on cherche à régionaliser (p.ex. un processus de production agricole). L'expérience du praticien est un critère non négligeable pour les choix des données les plus pertinentes à régionaliser et la recherche des données. Les plus experts savent trouver rapidement des cartes et des données géolocalisées. Il semblerait que les sources de données soient plus nombreuses en Europe que dans les autres pays.
Important	59%	
Peu important	12%	
Aucun effort	3%	

14. Selon vous, quels sont les principaux obstacles à la régionalisation de l'inventaire?

Cela demande un effort trop important en terme de temps.	62%	D'autant plus pour les consultants et praticiens du secteur privé soumis à des impératifs économiques.
Les données ne sont pas disponibles.	79%	La confidentialité des données de certaines entreprises est également un frein à la régionalisation.
Les outils nécessaires pour le faire ne sont pas disponibles.	32%	Il y a aussi un manque d'expertise sur les outils disponibles. Un guide pratique serait aussi un outil utile.
Je ne sais pas comment faire concrètement.	3%	
Autre	12%	

Spatialisation de l'inventaire

15. Avez-vous déjà réalisé des études ACV utilisant des FC régionalisés?

Oui	44%	
Non	56%	
16. Comment feriez-vous concrètement pour spatialiser votre inventaire? Quels outils utiliseriez-vous?		
<p>Beaucoup de répondants réfèrent à l'utilisation (ou à la possibilité d'utiliser...) des logiciels SIG et de bases de données contenant des informations géolocalisées pour développer les données nécessaires pour l'ACV. Certains rapportent leur propre approche/technique de spatialisation dans les logiciels ACV existants comme Simapro ou la SUITE Quantis, le plus souvent "à la main", en créant des nouvelles substances et facteurs de caractérisation pour les principaux contributeurs. 13% des répondants se reposeraient sur des bases de données déjà adaptées (méthode EICV régionalisée comme IMPACT World+, base de données ICV avec flux spatialisés comme il en est question pour ecoinvent).</p>		
17. Connaissez-vous des logiciels capables de calculer des résultats d'impacts avec des FC régionalisés?		
Oui	69%	SimaPro, OpenLCA, Brightway 2, Brightway 2-Regional, Quantis SUITE. Ces logiciels supportent en théorie des méthodes EICV régionalisées; Ce n'est pas tant un problème de logiciel que de base de données d'inventaire régionalisée, de méthode régionalisée et de "mapping" correct entre les deux. En l'état, SimaPro n'est pas très convivial pour manipuler et modéliser facilement et rapidement avec des FC régionalisés
Non	31%	
18. Selon vous, quelle est la pertinence d'utiliser des FC régionalisés?		
Leur utilisation n'est pas pertinente.	0%	Pour certaines catégories d'impact comme la toxicité (matières particulaires), l'écotoxicité, l'acidification, l'eutrophisation; des enjeux comme la rareté de l'eau, la qualité et santé des sols (utilisation des terres). Des FC régionalisés ne sont pas pertinents pour les catégories d'impacts globaux (destruction de la couche d'ozone, changements climatiques, etc.).
Leur utilisation est pertinente pour certaines catégories d'impact.	75%	
Leur utilisation permet de rendre les résultats de l'étude plus représentatifs.	53%	
Leur utilisation permet de réduire les incertitudes sur les résultats.	63%	
Autre	3%	
19. Selon vous, comment l'utilisation de FC régionalisés influence-t-elle ou modifie-t-elle votre interprétation des résultats?		
<p>Une réduction de l'incertitude est attendue, donc les résultats sont plus fiables pour le contexte géographique considéré, et discriminants. Les résultats changent, mais la façon de les interpréter ne change pas fondamentalement. Dans le cadre d'ACV comparatives, l'interprétation peut devenir plus délicate si la régionalisation implique plusieurs catégories d'impact. Idéalement, les logiciels ACV devraient aider l'interprétation. En terme de recommandations issues de l'interprétation, l'ACV devient plus pertinente pour des choix stratégiques d'implantation (p.ex. d'une usine) mais il peut surgir la difficulté de devoir pondérer et faire des choix de valeur (p.ex. entre générer un impact en A et le générer en B). L'enjeu de la régionalisation doit également être couvert et discuté dans le rapport de l'étude ACV, ce qui est un fardeau supplémentaire (temps et argent) pour le praticien, et rend le rapport plus "lourd".</p>		
20. Comment jugez-vous l'effort supplémentaire pour utiliser des FC régionalisés? Veuillez justifier votre réponse.		
Très important	31%	Si les FC régionalisés doivent être développés au préalable, l'effort est important.

Important	50%	Si les FC régionalisés existent, l'effort ressenti actuellement reste tout aussi important car ce sont des logiciels non adaptés (comme SimaPro, GaBi) qui sont utilisés. Tant que le "mapping" entre les bases et les méthodes n'est pas assuré par les éditeurs de logiciel ce sera à l'analyste de le faire à la main. Il ne s'agit pas vraiment de complexité, mais d'un fardeau qui doit être assumé dès lors qu'on s'engage (en début ou en cours d'étude) à régionaliser l'inventaire parce qu'on aura pu démontrer que c'était pertinent de le faire. Plus en aval dans une étude, la phase d'analyse et d'interprétation des résultats est rendue plus difficile et longue lorsqu'il y a régionalisation.
Peu important	13%	
Aucun effort	6%	

21. Pour quels types d'études porteriez-vous une attention particulière à la spatialisation de l'inventaire et à l'utilisation de FC régionalisés? (secteurs, impacts, objectifs de l'étude, destinataires de l'étude, etc.)

Pour les études où les impacts principaux sont des impacts "régionalisables" et où les plages de variation de ces FC sont importantes. Pour les ACV comparatives où les impacts d'intérêts sont associés à des processus qui sont spatialement distribués de façon significativement différente OU pour lesquels une catégorie d'impact d'intérêt est dominée par un processus qui pourrait être spatialisé. P.ex. les impacts liés à la santé humaine, déplétion de la ressource eau, acidification, écotoxicité, utilisation des terres, eutrophisation. Des ACV agricoles, agroalimentaires, produits biosourcés, des water footprint, sur les systèmes énergétiques.

22. Selon vous, quels sont les principaux obstacles à l'utilisation de FC régionalisés?

Cela demande un effort trop important en termes de temps.	50%	Quand bien même des FC régionalisés sont (seront) disponibles dans SimaPro, le "mapping" manuel par les praticiens et analystes risque d'être trop long au regard du temps disponible pour une étude
Les données ne sont pas disponibles.	72%	L'effort semble énorme pour le milieu de la recherche ou la communauté ACV de générer des FC régionalisés, mais il en vaut la chandelle s'il est mené intelligemment et avec discernement (c'est-à-dire pas mécaniquement et paramétriquement).
Les outils nécessaires pour le faire ne sont pas disponibles.	56%	Les outils pour automatiser les calculs ne sont pas encore facile d'accès pour la majorité des analystes.
Je ne sais pas comment faire concrètement.	3%	
Autre	16%	La disponibilité de FC régionalisés peut créer un souci de pondération par l'analyste (cf. question 19)

Priorisation entre régionalisation et spatialisation de l'inventaire

23. Si vous disposiez d'un budget limité pour améliorer les résultats de votre étude, que feriez-vous en priorité entre la régionalisation de l'inventaire et sa spatialisation pour utiliser des FC régionalisés? Vous pouvez distinguer plusieurs cas de figure.

La régionalisation de l'inventaire apparaît comme une étape plus facile, raisonnable (en terme de fardeau), et offrant un bon compromis entre augmentation de la fiabilité des résultats et investissement. Toutefois, elle ne peut être aussi bénéfique qu'une spatialisation pour les impacts locaux déjà listés précédemment. Une approche pragmatique rapportée consiste à faire ce qui donne le plus de résultat avec le moins d'effort (cueillir les "low hanging fruits"): 1) utiliser des données ICV régionales quand elle sont disponibles; 2) adapter des données ICV régionales quand elle sont

potentiellement significativement différentes de la moyenne mondiale; 3) recontextualiser les processus pour lesquels les entrants sont importants et géographiquement dépendants (p.ex. électricité); 4) spatialiser les processus clés pour utiliser des FC régionalisés quand les FC régionalisés sont disponibles et qu'il est possible de spatialiser les processus.

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), pp.5–13. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s11367-012-0476-x> [Accessed September 19, 2013].
- Bellekom, S., Potting, J. & Benders, R., 2006. LCA Methodology Feasibility of Applying Site-Dependent Impact Assessment of Acidification in LCA. , 11(6), pp.417–424.
- Beloin-Saint-Pierre, D., 2012. *Vers une caractérisation spatiotemporelle pour l'analyse du cycle de vie*. École nationale supérieure des mines de Paris.
- Bjorklund, A.E., 2002. Survey of Approaches to Improve Reliability in LCA. , 7(2), pp.64–72.
- Boulay, A., Bulle, C. & Deschênes, L., 2011. LCA Characterisation of Freshwater Use on Human Health and Through Compensation. In M. Finkbeiner, ed. *Towards Life Cycle Sustainability Management*. Dordrecht: Springer Netherlands, pp. 193–204. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/978-94-007-1899-9> [Accessed October 8, 2013].
- Boulay, A.-M. et al., 2015. Analysis of water use impact assessment methods (part A): evaluation of modeling choices based on a quantitative comparison of scarcity and human health indicators. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(1), pp.139–160. Available at: <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-014-0814-2>.
- British Standards Institution, 2011. PAS 2050:2011 Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services.
- Canals, L.M.I. et al., 2011. Approaches for Addressing Life Cycle Assessment Data Gaps for Bio-based Products. *Journal of Industrial Ecology*, 15(5), pp.707–725. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1530-9290.2011.00369.x> [Accessed September 30, 2014].
- Ciroth, A. & Hagelüken, M., 2002a. Geographical and Technological Differences in Life Cycle Inventories shown by the use of process models for waste incinerators Part I. , 7(Goedkoop 1995), pp.295–300.
- Ciroth, A. & Hagelüken, M., 2002b. Geographical and technological differences in Life Cycle Inventories shown by the use of process models for waste incinerators Part II. ... *Journal of Life Cycle ...*, 7(6), pp.363–368. Available at: <http://link.springer.com/article/10.1007/BF02978685> [Accessed August 25, 2014].
- Dandres, T. et al., 2012. Macroanalysis of the economic and environmental impacts of a 2005–2025 European Union bioenergy policy using the GTAP model and life cycle assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(2), pp.1180–1192. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S136403211100520X> [Accessed September 19, 2013].
- European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability, 2010a. *ILCD Handbook - Framework and requirements for LCIA models and indicators First edition*,
- European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability, 2011. *ILCD Handbook - Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context*,
- European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability, 2010b. *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance*, Luxembourg: Publications Office of the European Union.

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

- European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability, 2010c. *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook-Specific Guide for Life Cycle Inventory Data Sets*, Available at: <http://www.citeulike.org/group/13799/article/12512792> [Accessed April 1, 2014].
- European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability, 2013. *Product Environmental Footprint Guide - DRAFT*,
- European Parliament, 2009. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. *Official Journal of the European Union*, L 140/16, pp.16–62.
- Gasol, C.M. et al., 2011. Environmental assessment: (LCA) and spatial modelling (GIS) of energy crop implementation on local scale. *Biomass and Bioenergy*, 35(7), pp.2975–2985. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0961953411001851> [Accessed April 2, 2014].
- Geyer, R. et al., 2010. Coupling GIS and LCA for biodiversity assessments of land use Part 1: Inventory modeling. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(5), pp.454–467. Available at: <http://www.springerlink.com/index/10.1007/s11367-010-0199-9> [Accessed July 9, 2014].
- Heijungs, R., 1996. Identification of key issues for further investigation in improving the reliability of life-cycle assessments. , 4(34), pp.159–166.
- Heijungs, R., 2010. Sensitivity coefficients for matrix-based LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(5), pp.511–520. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s11367-010-0158-5> [Accessed August 18, 2014].
- Huijbregts, M.A.J., 1998. Uncertainty in LCA LCA Methodology Application of Uncertainty and Variability in LCA Part I : A General Framework for the Analysis of Uncertainty and Variability in Life Cycle Assessment. , 3(5), pp.273–280.
- Humpenöder, F. et al., 2011. Analysing land-use effects on the carbon balance of biofuels by coupling a spatial model to LCA.
- Humpenöder, F. et al., 2013. Effects of land-use change on the carbon balance of 1st generation biofuels: An analysis for the European Union combining spatial modeling and LCA. *Biomass and Bioenergy*, 56, pp.166–178. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0961953413002274> [Accessed April 1, 2014].
- Ingwersen, W. & Subramanian, V., 2013. Guidance for Product Category Rule Development - Version 1.0. *The Product Category Rule Guidance Development Initiative*. Available at: <http://www.pcrguidance.org>.
- International Organization for Standardization (ISO), 2014. ISO 14046 Environmental management — Water footprint — Principles , requirements and guidelines.
- International Organization for Standardization (ISO), 2006a. ISO14040:2006 Environmental management-life cycle assessment-principles and framework. , 2006.
- International Organization for Standardization (ISO), 2006b. ISO14044:2006 Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. , 2006.
- Itsubo, N. & Inaba, A., 2012. LIME2 Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling. *Jlca news letter*, (12).

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

Keeffe, S.O., Wochele, S. & Thrän, D., 2013. Regional Bioenergy Inventory for the Central Germany Region. In *First International Conference on Resource Efficiency in Interorganizational Networks - ResEff 2013*.

Kounina, A. et al., 2012. Review of methods addressing freshwater use in life cycle inventory and impact assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(3), pp.707–721. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s11367-012-0519-3> [Accessed July 20, 2014].

Lesage, P. & Samson, R., 2013. The Quebec Life Cycle Inventory Database Project. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s11367-013-0593-1> [Accessed January 29, 2015].

Liu, K.F. et al., 2014. GIS-Based Regionalization of LCA. , (April), pp.1–8.

Margni, M., Gloria, T. & Bare, J., 2008. Guidance on how to move from current practice to recommended practice in Life Cycle Impact Assessment. *UNEP/SETAC Life Cycle Initiative*, pp.1–33. Available at: http://www.scpclearinghouse.org/upload/publication_and_tool/file/250.pdf [Accessed April 1, 2014].

Marvuglia, A. et al., 2013. Modelling approaches for consequential life-cycle assessment (C-LCA) of bioenergy: Critical review and proposed framework for biogas production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, pp.768–781. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032113002839> [Accessed September 19, 2013].

Menten, F. et al., 2013. A review of LCA greenhouse gas emissions results for advanced biofuels: The use of meta-regression analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, pp.108–134. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032113002736> [Accessed June 20, 2013].

Miller, H.J., 2004. Tobler's First Law and Spatial Analysis. *Annals of the Association of American Geographers*, 94(2), pp.284–289. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1111/j.1467-8306.2004.09402005.x> [Accessed September 29, 2014].

Muller, S. et al., 2014. The application of the pedigree approach to the distributions foreseen in ecoinvent v3. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s11367-014-0759-5> [Accessed June 10, 2014].

Mutel, C., 2012. *Framework and tools for regionalization in life cycle assessment*. ETH Zurich. Available at: <http://e-collection.library.ethz.ch/view/eth:6340> [Accessed October 11, 2013].

Mutel, C.L., de Baan, L. & Hellweg, S., 2013. Two-step sensitivity testing of parametrized and regionalized life cycle assessments: methodology and case study. *Environmental science & technology*, 47(11), pp.5660–7. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23656506>.

Mutel, C.L. & Hellweg, S., 2009. Regionalized life cycle assessment: computational methodology and application to inventory databases. *Environmental science & technology*, 43(15), pp.5797–803. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19731679>.

Mutel, C.L., Pfister, S. & Hellweg, S., 2012. GIS-based regionalized life cycle assessment: how big is small enough? Methodology and case study of electricity generation. *Environmental science & technology*, 46(2), pp.1096–103. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22206467>.

Nansai, K., Moriguchi, Y. & Suzuki, N., 2005. Site-dependent life-cycle analysis by the SAME approach: its concept usefulness, and application to the calculation of embodied impact intensity by means of an input-output analysis. *Environmental science & technology*, 39(18), pp.7318–28. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16201665>.

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

- Pfister, S., Koehler, A. & Hellweg, S., 2009. Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA. *Environmental science & technology*, 43(11), pp.4098–104. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19569336>.
- Plouffe, G., Bulle, C. & Deschênes, L., 2015. Assessing the variability of the bioavailable fraction of zinc at the global scale using geochemical modeling and soil archetypes. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, pp.1–14. Available at: <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-014-0841-z>.
- Potting, J. & Hauschild, M., 2005. Background for spatial differentiation in life cycle impact assessment. The EDIP2003 methodology. *Environmental news*, (80). Available at: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Spatial+differentiation+in+Life+Cycle+impact+assessment+-+The+EDIP2003+methodology#1> [Accessed March 27, 2014].
- Rodríguez, C., Citroth, A. & Srocka, M., 2014. The importance of regionalized LCIA in agricultural LCA – new software implementation and case study. In *9th International Conference LCA of Food San Francisco, USA 8-10 October 2014*.
- Sonnemann, G. & Vigon, B., 2011. Global guidance principles for life cycle assessment databases. *UNEP/SETAC Life Cycle Initiative*. Available at: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Global+guidance+principles+for+life+cycle+assessment+databases#0> [Accessed April 1, 2014].
- Steinberger, J.K. et al., 2009. A spatially explicit life cycle inventory of the global textile chain. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 14(5), pp.443–455. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s11367-009-0078-4> [Accessed February 22, 2014].
- Urban, B. et al., 2012. Spatially differentiated examination of biodiversity in LCA (Life Cycle Assessment) on national scale exemplified by biofuels. , 2012(62), pp.65–76.
- Weidema, B., 2005. *Geographical, Technological and Temporal Delimitations in LCA. UMIP 2003 method.*, Danish Ministry of the Environment. Available at: <http://www2.mst.dk/Udgiv/Publications/2004/87-7614-305-8/pdf/87-7614-306-6.PDF> [Accessed March 30, 2014].
- Weidema, B.P. & Wesnæs, M.S., 1996. Data quality management for life cycle inventories—an example of using data quality indicators. *Journal of Cleaner Production*, 4(3-4), pp.167–174. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652696000431> [Accessed October 28, 2014].
- World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development, 2011. Greenhouse Gas Protocol - Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard.