

**Titre:** Adaptation d'une base de données pour l'intégration d'un  
Title: algorithme de résolution d'inventaire en ACV dynamique

**Auteur:** Ariane Pinsonnault  
Author:

**Date:** 2013

**Type:** Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

**Référence:** Pinsonnault, A. (2013). Adaptation d'une base de données pour l'intégration d'un  
algorithme de résolution d'inventaire en ACV dynamique [Mémoire de maîtrise,  
Citation: École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie.  
<https://publications.polymtl.ca/1287/>

 **Document en libre accès dans PolyPublie**  
Open Access document in PolyPublie

**URL de PolyPublie:** <https://publications.polymtl.ca/1287/>  
PolyPublie URL:

**Directeurs de recherche:** Réjean Samson, & Pascal Lesage  
Advisors:

**Programme:** Génie chimique  
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ADAPTATION D'UNE BASE DE DONNÉES POUR L'INTÉGRATION D'UN  
ALGORITHME DE RÉSOLUTION D'INVENTAIRE EN ACV DYNAMIQUE

ARIANE PINSONNAULT

DÉPARTEMENT DE GÉNIE CHIMIQUE

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION  
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES  
(GÉNIE CHIMIQUE)  
DÉCEMBRE 2013

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé:

ADAPTATION D'UNE BASE DE DONNÉES POUR L'INTÉGRATION D'UN  
ALGORITHME DE RÉSOLUTION D'INVENTAIRE EN ACV DYNAMIQUE

présenté par : PINSONNAULT Ariane

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. MARGNI Manuele, Doct., président

M. SAMSON Réjean, Ph. D., membre et directeur de recherche

M. LESAGE Pascal, Ph. D., membre et codirecteur de recherche

Mme GAUDREAU Caroline, Ph. D., membre

## DÉDICACE

*À Josée et Hilaire.*

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier dans un premier temps Pr Réjean Samson pour m'avoir ouvert les portes du CIRAI. Je remercie également Pascal Lesage pour la confiance qu'il m'a accordée en me confiant ce projet. Merci à Annie Levasseur pour sa grande disponibilité.

Un remerciement tout particulier à Guillaume Bourgault pour son temps, ses encouragements et son expertise en Python ! Je tiens aussi à remercier Didier Beloin-Saint-Pierre pour ses commentaires toujours pertinents.

Merci à la communauté du CIRAI pour sa bonne humeur et son énergie. Un merci tout spécial aux collègues et amis: Stéphanie Muller, Viêt Cao, Vincent De Bruille et François Saunier qui m'ont soutenue et qui ont rendu le travail tellement plus agréable.

Je tiens enfin à remercier mes parents pour leur soutien et leur écoute attentive tout au long de mes études. Merci à Nicolas pour sa patience et ses efforts pour me faire relativiser. Vous avez été mes plus grands motivateurs.

Finalement, merci aux partenaires de la Chaire internationale en analyse du cycle de vie pour leur soutien financier : Arcelor-Mittal, Bell Canada, Bombardier, Cascades, Eco Entreprises Québec/Recyc-Québec, Groupe EDF/GDF-SUEZ, Hydro-Québec, Johnson & Johnson, Louis Vuitton Moët Hennessy (LVMH), Michelin, Mouvement des caisses Desjardins, Nestlé, Rio Tinto Alcan, RONA, SAQ, Solvay, Total, Umicore et Veolia Environnement

## RÉSUMÉ

L'analyse du cycle de vie (ACV) est un outil d'évaluation environnementale qui comptabilise les impacts potentiels survenant tout au long du cycle de vie d'un produit ou service, de l'extraction de ses matières premières à sa fin de vie. Cette méthode permet donc d'identifier les processus les plus contributeurs aux impacts environnementaux d'un produit, ainsi que de soutenir une prise de décision entre deux technologies ou produits basée sur des critères environnementaux.

L'ACV dynamique est une ACV prenant en compte le moment des émissions et des extractions dans l'environnement survenant tout au long du cycle de vie du produit ou service évalué. L'utilisation de facteurs de caractérisation dynamiques permet alors d'évaluer les impacts sur un horizon de temps fini et fixe dans un cadre temporel cohérent. Afin de représenter des systèmes souvent complexes dont les chaînes d'approvisionnement sont infinies, les praticiens ACV utilisent fréquemment des bases de données d'inventaire en cycle de vie (ICV). Toutefois, l'information temporelle présente dans les bases de données d'ICV n'est pas suffisante pour l'implantation de l'ACV dynamique. Il n'est donc pas possible pour l'instant de prendre en compte le profil temporel des émissions et des extractions dans l'environnement survenant en arrière-plan des chaînes de processus en ACV dynamique.

Ce mémoire de maîtrise vise à évaluer la sensibilité des résultats de l'ACV dynamique d'avant-plan à la différentiation temporelle des processus d'arrière-plan afin d'élaborer des recommandations pour les développeurs de bases de données d'inventaire quant à l'intégration de nouveaux paramètres temporels pour l'ACV dynamique. L'objectif de recherche est de développer une méthodologie afin de montrer l'importance ou non pour les résultats en ACV dynamique d'ajouter de l'information temporelle aux processus en arrière-plan des systèmes de produits et de l'appliquer à des études de cas pour la catégorie d'impact réchauffement climatique.

Les processus élémentaires de la base de données ecoinvent v2.2 sélectionnés pour la différentiation temporelle ont été : les infrastructures (14% de la base de données), les processus issue de l'agriculture et de la foresterie (3% de la base de données), les produits entreposés (4% de la base de données), et les processus d'enfouissement des déchets (2% de la base de données). Donc, 20% des processus élémentaires de la base de données ont été assignés de paramètres temporels non nuls parmi les suivants : proportion de matériel de remplacement, temps de

rotation des cultures, temps d'entreposage, durée de construction, durée d'occupation des infrastructures, et durée de démolition.

Les distributions temporelles des flux économiques et élémentaires des processus élémentaires estimées à partir des phases définies par les paramètres temporels (p. ex. phases de construction, utilisation et démolition d'une infrastructure) ont été considérées constantes dans le temps, à l'exception de l'absorption de carbone et des émissions dans l'air dans les sites d'enfouissement. Pour l'ACV dynamique d'avant et d'arrière-plan, pour des raisons de temps de calculs, seuls les flux élémentaires et économiques des 13 premiers niveaux de la chaîne de processus ont été différentiés temporellement.

L'objectif de recherche a été atteint; 8,6% des 4034 systèmes de produits de la base de données ecoinvent v2.2 ont obtenu un écart de plus de 10% entre les résultats de l'impact sur le réchauffement climatique de l'ACV dynamique d'avant et d'arrière-plan et l'ACV dynamique d'avant-plan, montrant l'importance de la différentiation temporelle pour les processus en arrière-plan de ces systèmes de processus. Les catégories de systèmes de produits où se trouvait la majorité de ces résultats étaient « Énergie, bois », « Matériaux, bois », « Matériaux, papiers », « Infrastructure » et « Électricité ».

Les limites principales de la méthode sont 1) que l'objectif de recherche n'a été atteint que pour la catégorie d'impacts réchauffement climatique, 2) que l'incertitude des données temporelles n'a pas été évaluée, 3) que les résultats obtenus de l'ACV dynamique d'avant-plan sont sensibles au positionnement des processus élémentaires d'allocation et 4) que 2,3% des systèmes de produits évalués en ACV dynamique d'avant et d'arrière-plan ont eu un résultat dont 90% et moins des impacts était attribuable aux impacts des flux élémentaires différentiés temporellement.

Finalement, il a été recommandé aux gestionnaires de bases de données d'ICV d'intégrer de nouveaux paramètres, tels que ceux proposés, afin de permettre la réalisation d'ACV dynamique qui considèreraient les profils temporels des émissions et extractions des processus élémentaires d'arrière-plan pour l'évaluation des impacts sur le réchauffement climatique. De plus, les développeurs de bases de données ICV devraient porter une attention particulière à la cohérence des considérations temporelles des processus lors de la modélisation. Aussi, il a été recommandé aux praticiens réalisant des ACV dynamiques de différentier temporellement l'arrière-plan des

systèmes de produits issus des secteurs identifiés sensibles, en priorisant une prise en compte des profils temporels issus de la phase d'agriculture et de foresterie.

## ABSTRACT

Life cycle assessment (LCA) is an environmental tool, which takes into account the potential environmental impacts of a product over its entire life cycle, from raw material extraction to end-of-life. This approach allows the identification of the major contributors to the environmental impact of a product, and may support decision-making between two technologies or two products based on environmental criteria. Dynamic LCA is an LCA that takes into consideration the temporal profile of emissions and extractions during a product life cycle. Then, using the dynamic characterization factors, impacts are assessed over a fixed and finite time horizon in a coherent temporal framework. To represent complex systems with infinite supply chains, LCA practitioners often use life cycle inventory (LCI) databases. However, the temporal information available in LCI databases isn't sufficient for dynamic LCA. Therefore, it is not possible in dynamic LCA, for now, to take into account the temporal profile of emissions and extractions occurring in background processes of product systems.

This thesis aims to evaluate how sensitive dynamic LCA results are to the addition of temporal information to background processes in order to elaborate recommendations to LCI database developers about the integration of new temporal parameters for dynamic LCA. The research objective is to develop a methodology to show the importance or not to introduce temporal information in the background system for dynamic LCA results and to apply it to study cases for the global warming impact category.

The selected unit processes of ecoinvent v2.2 database for temporal differentiation were: infrastructure processes (14% of the database), crop and forestry processes (3% of the database), stored products (4% of the database), and disposal to landfills (2% of the database). In the end, temporal parameters were added to 22% of the database unit processes. These parameters were: replacement material proportion, rotation time, storage time, construction time, infrastructure occupation, and demolition time.

The temporal distribution of elementary and intermediate flows was estimated with phases defined by temporal parameters (e.g. construction, use and end-of-life phases). These distributions were considered constant over time, with the exception of carbon uptake and emissions to air from landfills. For reasons of computing time, only the elementary and

intermediate flows in the first thirteen-levels of the supply chain were temporally differentiated for the implementation of dynamic LCA.

The research hypothesis was verified; for 8.6% of the 4034 product systems of the ecoinvent v2.2 database, the temporal differentiation of background processes changed global warming results, compared to dynamic LCA that considers the temporal profile of foreground processes only, by at least 10%. The LCA results that were the most sensitive to temporal differentiation of background unit processes were those from product systems in the categories « Energy, wood », « Material, wood », « Material, paper », « Infrastructure » and « Electricity ».

The main limitations of the method were 1) the research objective was verified only for the global warming category, 2) the uncertainty of the temporal data was not evaluated, 3) the results obtained with dynamic LCA with only foreground processes temporally differentiated were sensitive to the positioning of allocation unit processes, and 4) 2.3% of the results in dynamic LCA with foreground and background processes temporally differentiated had 90% and less of the impact due to the impact of temporally differentiated elementary flows.

In conclusion, it is recommended that LCI database developers integrate new temporal parameters, as the ones proposed, to allow the implementation of dynamic LCA with the consideration of the temporal profile of emissions and extractions of background processes for global warming impacts. Moreover, LCI database developers should pay attention to the coherence in the temporal considerations of the processes during modelling. Furthermore, it is recommended to LCA practitioners to temporally differentiate for dynamic LCA the background of the product systems from the sensible sectors identified, primarily for the temporal profiles from the crop and forestry phase.

## TABLE DES MATIÈRES

|   |      |
|---|------|
| DÉDICACE .....  | III  |
| REMERCIEMENTS .....   | IV   |
| RÉSUMÉ .....  | V    |
| ABSTRACT .....  | VIII |
| TABLE DES MATIÈRES .....  | X    |
| LISTE DES TABLEAUX .....  | XIII |
| LISTE DES FIGURES .....   | XIV  |
| LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS .....                                    | XVI  |
| LISTE DES ANNEXES .....   | XVII |
| INTRODUCTION .....  | 1    |
| CHAPITRE 1 REVUE DE LITTÉRATURE .....                                     | 2    |
| 1.1 L'analyse du cycle de vie .....                                       | 2    |
| 1.1.1 Définition et applications .....                                    | 2    |
| 1.1.2 Méthodologie .....  | 4    |
| 1.1.3 Structure des calculs ICV et ÉICV .....                             | 6    |
| 1.1.4 Bases de données ICV .....  | 10   |
| 1.1.5 Limites générales de l'outil .....                                  | 11   |
| 1.2 Les considérations temporelles et leurs problématiques .....          | 12   |
| 1.2.1 Information temporelle dans les bases de données .....              | 13   |
| 1.2.2 Cohérence de l'horizon de temps pour l'évaluation des impacts ..... | 14   |
| 1.2.3 Différentiation saisonnière et diurne .....                         | 17   |
| 1.3 L'analyse du cycle de vie dynamique .....                             | 19   |
| 1.3.1 Définition et applications .....                                    | 19   |

|  |    |
|--|----|
| 1.3.2 Méthode ESPA pour le calcul de l'ICV dynamique.....  | 23 |
| 1.4 Bilan de la revue de littérature .....   | 26 |
| CHAPITRE 2 OBJECTIFS ET MÉTHODOLOGIE DU PROJET.....  | 28 |
| 2.1 Problématique .....  | 28 |
| 2.2 Objectifs de recherche.....  | 28 |
| 2.2.1 Objectif général.....  | 28 |
| 2.2.2 Objectifs spécifiques.....   | 28 |
| 2.3 Méthodologie générale.....   | 29 |
| 2.3.1 Étapes suivies.....  | 29 |
| 2.3.2 Méthode ACV et ÉICV.....   | 30 |
| 2.3.3 Base de données et systèmes étudiés .....  | 31 |
| 2.3.4 Processus d'avant-plan et d'arrière-plan.....  | 31 |
| 2.3.5 Logiciels.....   | 31 |
| 2.3.6 Résultats considérés pour l'analyse .....  | 31 |
| 2.4 Contenu du mémoire.....  | 32 |
| CHAPITRE 3 LA DIFFÉRENTIATION TEMPORELLE EN ACV DYNAMIQUE : LA PERTINENCE D'AJOUTER DE L'INFORMATION TEMPORELLE DANS LES BASES DE DONNÉES D'INVENTAIRE ..... | 33 |
| 3.1 Présentation de l'article.....   | 33 |
| 3.2 Temporal differentiation of background systems in LCA: relevance of adding temporal information in LCI databases.....                                    | 33 |
| 3.2.1 Abstract .....   | 33 |
| 3.2.2 Introduction.....  | 34 |
| 3.2.3 Methodology .....  | 39 |
| 3.2.4 Results and discussion .....   | 46 |

|  |    |
|--|----|
| 3.2.5 Conclusions.....   | 49 |
| 3.2.6 Acknowledgments.....   | 50 |
| 3.2.7 References.....  | 50 |
| CHAPITRE 4 RÉSULTATS COMPLÉMENTAIRES .....                                       | 53 |
| 4.1 Méthode Monte-Carlo pour l'âge des infrastructures .....                     | 53 |
| 4.2 Résultats d'avant-plan et ACV traditionnelle .....                           | 54 |
| CHAPITRE 5 DISCUSSION GÉNÉRALE .....   | 57 |
| 5.1 Atteinte de l'objectif de recherche .....                                    | 57 |
| 5.2 Limites des résultats.....   | 57 |
| 5.2.1 Limite du modèle .....   | 57 |
| 5.2.2 Limite des études de cas .....   | 60 |
| 5.3 Recommandations générales aux bases de données .....                         | 60 |
| 5.3.1 Pertinence de la différentiation temporelle d'arrière-plan .....           | 60 |
| 5.3.2 Règles de modélisation recommandées .....                                  | 61 |
| 5.3.3 Distribution temporelle pour la différentiation saisonnière et diurne..... | 62 |
| 5.4 Recommandations aux praticiens ACV .....                                     | 63 |
| CHAPITRE 6 CONCLUSION .....  | 64 |
| RÉFÉRENCES .....   | 66 |
| ANNEXES .....  | 70 |

**LISTE DES TABLEAUX**

|   |    |
|---|----|
| Tableau 1-1 Caractéristiques de l'ACV dynamique .....   | 22 |
| Tableau 1-2 Paramètres temporels à intégrer aux bases de données .....  | 26 |
| Tableau 3-1 Phases according to unit process category.....  | 42 |
| Tableau 3-2 Process-relative parameters added to the selected database unit process to determine temporal distributions ..... | 43 |

## LISTE DES FIGURES

|  |    |
|--|----|
| Figure 1-1 Exemple d'arbre de processus.....   | 4  |
| Figure 1-2 Phases de l'ACV selon ISO14040 (ISO, 2006b).....  | 5  |
| Figure 1-3 Schéma illustrant les niveaux d'un arbre de processus faisant intervenir plusieurs processus élémentaires (UP).....   | 8  |
| Figure 1-4 Considérations temporelles en ACV .....   | 12 |
| Figure 1-5 Incohérence temporelle de l'horizon de temps choisi (Levasseur, 2011) .....   | 17 |
| Figure 1-6 Cohérence temporelle grâce à des facteurs de caractérisation dépendant du temps ....  | 17 |
| Figure 1-7 Exemple de distributions temporelles pour les flux économiques et environnementaux .....  | 24 |
| Figure 1-8 Produit de convolution entre les distributions de la matrice <b>B</b> et la matrice <b>E</b> .....  | 25 |
| Figure 2-1 Processus en avant-plan et en arrière-plan d'un arbre de processus .....  | 31 |
| Figure 3-1 Example of temporal distributions required by ESPA method.....  | 38 |
| Figure 3-2 Tiers at which ecoinvent v2.2 product systems reach 99% of their respective global warming impact scores with GWPs for 100 years.....   | 41 |
| Figure 3-3 Example of elementary flows, system (i.e. aggregated) processes (SP) and unit processes (UP) considered when generating the temporally differentiated LCI of a product system with a) background processes temporally differentiated until the 13th tier or with b) only temporally differentiated foreground processes ..... | 45 |
| Figure 3-4 Cumulative proportion of database product systems based on the normalized gap of impacts (Ngap).....  | 46 |
| Figure 3-5 Categorization of product systems with a normalized gap (Ngap) a) over 1% (29.1% of database product systems) and b) over 10% (8.6% of database product systems).....   | 47 |
| Figure 3-6 Year relative to the product system time 0 at which 90% of a product system impact score are reached for product systems with a normalized gap (Ngap) over 1%.....  | 48 |
| Figure 3-7 Profiles of dynamic impacts.....  | 49 |

|  |    |
|--|----|
| Figure 4-1. Résultats d'impact sur le réchauffement climatique du Monte-Carlo réalisé sur l'âge des infrastructures d'avant et d'arrière-plan pour le système de produits « Electricity, hydropower, at power plant/IT » .....   | 54 |
| Figure 4-2. Systèmes de produits ayant un écart de résultats (Ngap) au-delà de 1% (6,0% des systèmes de produits) et de 10% (2,5% des systèmes de produits) pour la comparaison des résultats obtenus par l'ACV dynamique d'avant-plan et l'ACV traditionnelle.....                        | 55 |
| Figure 4-3. Systèmes de produits ayant un écart de résultats (Ngap) au-delà de 1% (29,1% des systèmes de produits) et de 10% (8,6% des systèmes de produits) pour la comparaison des résultats obtenus par l'ACV dynamique d'avant et d'arrière-plan et l'ACV dynamique d'avant-plan. .... | 56 |
| Figure 5-1. Proportion cumulative des écarts d'impacts (Ngap) des systèmes de produits affectés par un flux d'allocation d'absorption de carbone. ....   | 58 |
| Figure 5-2. Proportion cumulative des impacts attribuable aux flux différentiés temporellement   | 59 |
| Figure 5-3 Exemple d'arbre de processus pour une infrastructure .....  | 61 |

## LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

|                        |  |
|------------------------|--|
| ACV                    | Analyse du cycle de vie                      |
| DCF                    | « Dynamic characterization factor »          |
| ÉICV                   | Évaluation des impacts du cycle de vie       |
| FC                     | Facteur de caractérisation                   |
| GES                    | Gas à effet de serre                         |
| GWP                    | « Global warming potential »                 |
| ICV                    | Inventaire du cycle de vie                   |
| ISO                    | Organisation internationale de normalisation |
| kg CO <sub>2</sub> -eq | Kilogramme de CO <sub>2</sub> équivalent     |
| kWh                    | Kilowatt-heure                               |
| LCA                    | « Life Cycle Assessment »                    |
| ONU                    | Organisation des Nations unies               |
| SP                     | Processus système                            |
| UP                     | Processus élémentaire                        |

## **LISTE DES ANNEXES**

ANNEXE I – Informations supplémentaires (« supplementary material ») joint à l'article « Temporal differentiation of background systems in LCA: relevance of adding temporal information in LCI databases » soumis à la revue International Journal of Life Cycle Assessment

## INTRODUCTION

Suivant l'émergence du concept de développement durable vers la fin du 20<sup>ème</sup> siècle, les sociétés industrialisées se sont préoccupées de plus en plus sérieusement des impacts de l'homme sur son environnement. Influencées par les préoccupations concernant le réchauffement climatique marquées par le Protocole de Kyoto signé en 1997, plusieurs initiatives pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre sont menées. Les entreprises et les gouvernements élaborent des stratégies de développement durable et prennent des décisions visant l'atteinte de cibles de performance environnementale. Afin d'éclairer leur prise de décision, ces derniers recourent fréquemment à des méthodes d'évaluation des impacts environnementaux.

Parmi ces méthodes, l'analyse de cycle de vie (ACV) se distingue en évaluant les impacts potentiels d'un produit ou service sur l'ensemble de son cycle de vie, et ce, pour différentes catégories d'impacts. Considérant la portée de ses applications, il est essentiel que la méthode présente des résultats suffisamment robustes pour une prise de décision.

L'ACV dynamique est une méthode d'ACV développée afin de rendre cohérente la gestion des horizons de temps fixes et finis lors de l'évaluation des impacts. L'ACV dynamique, utilisée pour l'instant pour l'évaluation des impacts sur le réchauffement climatique, requiert la connaissance du moment des émissions et absorptions des gaz à effet de serre survenant tout au long du cycle de vie du produit ou service évalué. Afin de représenter des systèmes souvent complexes dont les chaînes d'approvisionnement sont infinies, les praticiens ACV utilisent fréquemment des bases de données d'inventaire en cycle de vie (ICV). L'information temporelle présente dans les bases de données d'ICV n'est toutefois pas suffisante pour l'implantation de l'ACV dynamique. Il est alors difficile, voire impossible, de considérer la distribution temporelle des émissions et absorptions en arrière-plan. Ce manque pourrait affecter significativement les résultats d'ACV.

Avant d'ajouter une quantité d'informations temporelles aux bases de données ICV, la sensibilité des résultats d'ACV à la considération du profil temporel des émissions des processus d'arrière-plan doit être étudiée. L'objectif principal de cette thèse est de développer une méthodologie afin de montrer l'importance ou non pour les résultats en ACV dynamique d'ajouter de l'information temporelle aux processus en arrière-plan des systèmes de produits et de l'appliquer à des études de cas pour la catégorie d'impact réchauffement climatique.

## CHAPITRE 1 REVUE DE LITTÉRATURE

### 1.1 L'analyse du cycle de vie

#### 1.1.1 Définition et applications

##### 1.1.1.1 Définition générale

L'analyse du cycle de vie (ACV) est un outil d'évaluation environnementale qui comptabilise les impacts potentiels survenant tout au long du cycle de vie d'un produit ou service, de l'extraction de ses matières premières à sa fin de vie (ISO, 2006a).

Les résultats d'une ACV permettent la comparaison de la performance environnementale de différents produits ou services répondant à une même fonction, tout comme la comparaison des différentes phases de cycle de vie d'un produit (Jolliet, Saadé, Crettaz, & Shaked, 2010). De plus, l'ACV informe sur la chaîne d'approvisionnement d'un produit; les résultats permettent de cette manière d'identifier les processus les plus contributeurs à l'impact global du produit étudié, ainsi que les flux élémentaires (émissions de polluants dans l'air, dans l'eau, dans le sol ou extraction de matières premières) en étant responsable (Jolliet et al., 2010). Considérant ainsi systématiquement l'ensemble du cycle de vie d'un produit, l'ACV permet de prendre des décisions qui évitent le déplacement d'impacts environnementaux d'une étape du cycle de vie à une autre (ISO, 2006a; Jolliet et al., 2010).

L'application de cet outil permet donc d'agir pour la réduction des impacts environnementaux des processus les plus influents d'un produit, ainsi que de soutenir une prise de décision entre deux technologies ou produits basée sur des critères environnementaux, notamment en éco-conception ou en information divulguée au public (Hofstetter, 1998). L'ACV peut donc servir à des fins opérationnelles (évaluation environnementale d'un produit) ou à des fins stratégiques (évaluation de scénarios politiques, de stratégies de gestion de déchets, ou de projets de conception) (UNEP, 2003).

L'ACV peut être utile pour (UNEP, 2003):

- les industries et autres types d'entreprises commerciales;
- les gouvernements, à différents paliers;
- les organisations non-gouvernementales (de consommateurs et de groupes environnementaux).

### 1.1.1.2 Concepts de base

L'analyse de cycle de vie repose sur plusieurs concepts importants à rappeler. Un arbre de processus est une schématisation du système étudié par une étude ACV, un exemple est présenté à la Figure 1-1. Les limites du système sont illustrées par l'encadré pointillé; les processus en dehors de ces frontières ne sont pas considérés dans le cadre d'une étude. Les processus élémentaires sont représentés par des encadrés pleins. Ceux-ci représentent les activités propres à leur description pour une certaine quantité (p. ex. 1 t.km. de transport en train) et sont caractérisés par des flux élémentaires et des flux économiques.

Les flux élémentaires sont les entrants (p. ex. extraction de 1180 kg de dioxyde de carbone dans l'air, ou extraction de 1 m<sup>3</sup> de bois dur) et les sorties dans l'environnement (p. ex. 850 mg de dioxyde de soufre dans l'air) intervenant dans un processus élémentaire. Les échanges dans l'environnement sont caractérisés par des compartiments, tels l'eau, le sol et l'air. Le bilan des flux élémentaires du système étudié constitue l'inventaire du cycle de vie (ICV) et représente les éléments considérés pour l'évaluation des impacts environnementaux potentiels.

Les flux économiques, quant à eux, correspondent à la quantité d'un produit ou service entrant (p. ex. 1×10<sup>-7</sup> unité d'infrastructure de train) ou sortant du processus élémentaire. Typiquement, les flux économiques sortant sont le produit ou service fournis par le processus élémentaire, tel le 1 t.km de transport en train énoncé en exemple plus tôt. Les autres flux économiques sortants consisteraient alors en des produits secondaires d'un processus multifonctionnel. Un processus multifonctionnel est un processus dont la fonction principale (p. ex. la production de lait) entraîne aussi la production d'un autre produit (p. ex. la production de viande).

L'arbre de processus est donc une chaîne de processus caractérisée par un premier niveau correspondant aux processus responsables de l'unité fonctionnelle; dans le cas de la Figure 1-1, le

processus d'utilisation serait le processus du premier niveau. Les processus de deuxième niveau seraient le processus de fabrication et le processus de traitement des déchets, et ainsi de suite. Les processus d'avant-plan d'une chaîne de produits peuvent être définis en tant que processus spécifiques au système étudié, tandis que les processus d'arrière-plan sont plutôt ceux représentés correctement par des moyennes de marchés (European Commission, 2010).

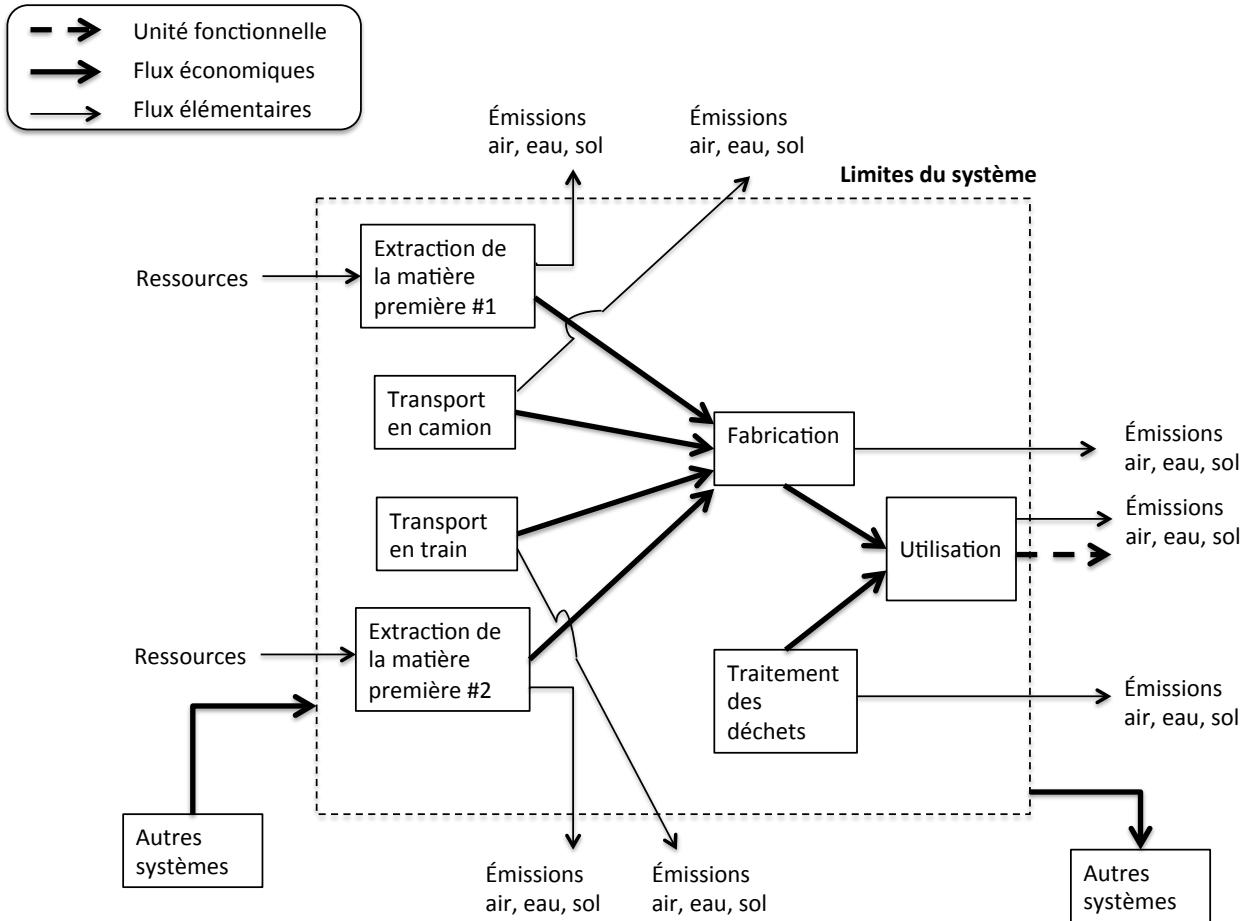


Figure 1-1 Exemple d'arbre de processus

### 1.1.2 Méthodologie

L'ACV est définie dans les normes ISO14040 (ISO, 2006a) et ISO14044 (ISO, 2006b) sous quatre phases distinctes se retrouvant à la Figure 1-2:

- *Définition des objectifs et du champ de l'étude*

Lors de cette phase, le mandat et les scénarios à l'étude sont décrits à l'aide d'arbres de processus. De plus, les éléments importants pour l'utilisation des résultats sont établis,

telles que la fonction du produit à l'étude, ainsi que la quantité de cette fonction considérée pour les calculs subséquents (unité fonctionnelle).

- *Inventaire*

Une fois les flux élémentaires de l'ensemble du cycle de vie identifiés, ceux-ci sont comptabilisés en un inventaire. La collecte des données d'inventaire est exhaustive et repose essentiellement sur des prises de mesures chez les industries concernées ainsi que sur des bases de données (Jolliet et al., 2010). Les bases de données s'avèrent essentielles pour la caractérisation des processus plus éloignés dans la chaîne de produits (processus d'arrière-plan).

- *Évaluation de l'impact*

L'évaluation des impacts (ÉICV) permet la classification des flux élémentaires sous différentes catégories d'impacts et la caractérisation des flux de même catégorie sous une unité commune (indicateur de catégorie) à l'aide de facteurs de caractérisation (ISO, 2006a).

- *Interprétation*

L'interprétation des résultats permet de répondre au mandat posé à la première phase de l'ACV. L'évaluation des incertitudes permet entre autres d'identifier les processus de l'inventaire auxquels les résultats sont particulièrement sensibles, pour lesquels un raffinement de la collecte de données devrait être réalisé. L'ACV est donc une procédure itérative (European Commission, 2010; Heijungs, 1996; ISO, 2006a, 2006b).

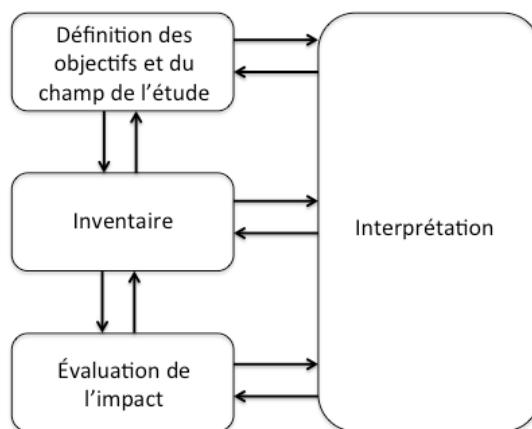


Figure 1-2 Phases de l'ACV selon ISO14040 (ISO, 2006a)

### 1.1.3 Structure des calculs ICV et ÉICV

L'exemple d'arbre de processus présenté à la Figure 1-1 est une représentation simplifiée de la quantité de processus inter-reliés et de flux à gérer pour représenter un système. L'arrière-plan d'un système peut être constitué de milliers de processus. De plus, des boucles de rétroaction surviennent pour certains processus, complexifiant les calculs relatifs à une chaîne de produits devenue alors infinie. Un exemple simple de boucle de rétroaction est l'entrée d'un flux d'électricité pour un processus générant de l'électricité. La définition d'une structure de calcul est alors très importante pour l'application de la méthode sur les études de cas rarement simples.

#### 1.1.3.1 Structure du calcul de l'ICV

Les échanges de flux économiques entre les processus sont décrits par des systèmes linéaires, représentés par la matrice technologique  $\mathbf{A}$  (Heijungs & Suh, 2002). Cette matrice est de dimension  $n \times n$ , où  $n$  correspond au nombre de processus du système.

La matrice suivante représente un exemple simplifié basé sur le système de la Figure 1-1 :

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -0,2 & 1 & 0 \\ -0,2 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

Chacune des colonnes représente un produit (respectivement, utilisation d'une unité, fabrication d'une unité et gestion d'une unité de déchets) nécessitant une quantité de produits des différentes lignes. Pour la première colonne du cas présenté, l'utilisation d'une unité (flux économique sortant) nécessite 0,2 unité de produit fabriqué (flux économique entrant) et la gestion de 0,2 unité de déchets (flux économique entrant). Compte tenu que la fabrication d'une unité de produit ne possède pas de flux entrant de gestion de déchets et d'utilisation de produit, une valeur nulle se retrouve à ces lignes.

La quantité de chaque produit nécessaire à l'unité fonctionnelle (flux de référence) est exprimée par le vecteur de demande finale  $f$  de dimension  $n \times 1$ . Par exemple, si notre flux de référence est 2 unités d'utilisation, le vecteur de demande finale correspond alors à :

$$f = \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

Un facteur de mise à l'échelle  $s$  peut alors être calculé, exprimant la quantité de chacun des produits nécessaire aux flux de référence:

$$s = \mathbf{A}^{-1}f \quad (1.3)$$

C'est ce facteur de mise à l'échelle qui quantifie les flux élémentaires constituant l'inventaire. Les flux élémentaires sont décrits par la matrice intervention  $\mathbf{E}$  de dimension  $m \times n$  pour  $m$  flux élémentaires et  $n$  processus.

Le modèle de base pour l'analyse de l'inventaire est alors (Heijungs & Suh, 2002) :

$$g = \mathbf{E} s \quad (1.4)$$

Le résultat  $g$  correspond à un vecteur de dimension  $m \times 1$ , correspondant à l'inventaire complet du système étudié.

Une des limites du calcul matriciel est qu'il ne permet pas l'analyse des impacts suivant le parcours dans la chaîne de processus. En effet, l'inversion de matrice correspond à la quantité des flux économiques entrants et sortants de chaque système, prenant en compte qu'un processus est appelé à plusieurs niveaux de la chaîne de processus et qu'une boucle de rétroaction peut survenir. L'impact de chaque processus obtenu par l'inversion de matrice correspond donc à l'ensemble de l'impact de ce processus au sein de la chaîne de processus et ne permet pas de distinguer les branches de l'arbre de processus en étant responsables.

Une alternative à l'inversion matricielle décrite précédemment et évitant la dernière limite évoquée est l'utilisation des séries entières (Bourgault, Lesage, & Samson, 2012; Suh & Heijungs, 2007) :

$$\mathbf{A}^{-1} = (\mathbf{I} + (\mathbf{I} - \mathbf{A}) + (\mathbf{I} - \mathbf{A})^2 + (\mathbf{I} - \mathbf{A})^3 + \dots) \quad (1.5)$$

L'équation du modèle de base (équation (1.4)) revient à :

$$g = \mathbf{E} \left( (\mathbf{I} + (\mathbf{I} - \mathbf{A}) + (\mathbf{I} - \mathbf{A})^2 + (\mathbf{I} - \mathbf{A})^3 + \dots) f \right) \quad (1.6)$$

Le calcul de l'inventaire devient alors:

$$g = \mathbf{E} \left( (\mathbf{I} + \mathbf{B} + \mathbf{B}^2 + \mathbf{B}^3 + \dots) f \right) \quad (1.7)$$

où  $\mathbf{B} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})$ .

Chaque élément de la somme infinie de l'équation (1.7) est interprété comme la contribution de chacun des niveaux de la chaîne de processus. La somme infinie de ces éléments représente donc l'ensemble de la contribution d'une chaîne de processus infinie (Bourgault et al., 2012).

Autrement dit, pour un système  $f$  défini par des valeurs non-nulles pour le processus  $j$ , l'inventaire du flux élémentaire  $i$  sur les niveaux 0, 1, 2 tel qu'illustré à la Figure 1-3, est décrit par l'équation suivante (Suh & Heijungs, 2007):

$$g_i = \sum_j e_{ij} f_j + \sum_j \sum_l e_{il} b_{lj} f_j + \sum_j \sum_l \sum_q e_{iq} b_{ql} b_{lj} f_j + \dots \quad (1.8)$$

où  $b_{lj}$  représente par exemple la quantité du processus élémentaire  $l$  du niveau 1 appelé par le processus de  $j$  du niveau 0 et  $e_{il}$  représente la quantité de flux élémentaire  $i$  émis par le processus élémentaire  $l$  du niveau 1.

Chaque élément de la somme de l'équation (1.8) représente donc les émissions du flux  $i$  pour chacun des processus  $j$ ,  $l$  et  $q$  des niveaux 0, 1 et 2 de la chaîne de processus, par exemple  $\sum_j \sum_l e_{il} b_{lj} f_j$  représente l'ensemble des émissions survenant au niveau 1 de la Figure 1-3.

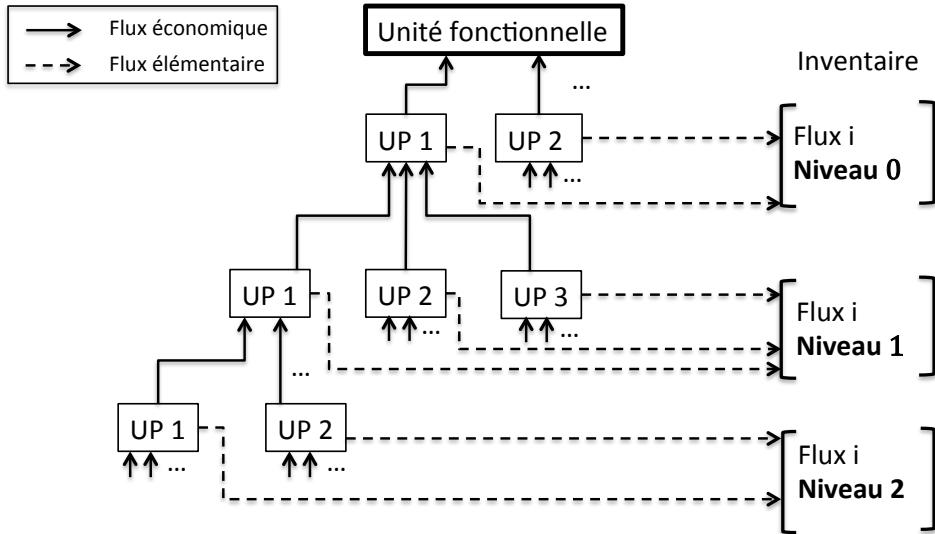


Figure 1-3 Schéma illustrant les niveaux d'un arbre de processus faisant intervenir plusieurs processus élémentaires (UP).

L'équivalence entre la série de puissance et l'inversion de matrice de l'équation (1.5) tient seulement sous certaines conditions (Suh & Heijungs, 2007):

1. La série entière converge. Cette convergence est obtenue si les valeurs propres de la matrice  $\mathbf{B} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})$  ont une valeur absolue inférieure à un.
2. La matrice  $\mathbf{A}$  est une matrice carrée réelle et inversible dont la matrice  $\mathbf{B} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})$  n'est pas négative.

Ces conditions impliquent que les processus soient décrits de manière monofonctionnelle dans la matrice  $\mathbf{A}$ , c'est-à-dire que les éléments de la diagonale soient égaux à 1 et que les éléments hors diagonale soient inférieurs ou égaux à 0 (Suh & Heijungs, 2007). Un processus monofonctionnel est un processus n'ayant qu'un seul flux économique sortant (p. ex. la production de crayon) en opposition à un processus multifonctionnel tel que décrit précédemment par l'exemple de la production de lait. Cette condition n'est toutefois pas problématique pour la base de données ecoinvent qui ne présente pas de tels cas (Frischknecht et al., 2007).

Par ailleurs, l'utilisation d'une somme infinie pour les calculs de l'équation (1.7) présente une difficulté pour l'arrêt des calculs « infinis ». Bourgault et al. (2012) proposent un algorithme hybride pour le calcul de l'inventaire combinant les avantages de la méthode par inversion de matrice et les avantages des séries entières. Les calculs sont réalisés par séries entières selon l'équation (1.7) et le critère pour des calculs « finis » consiste en une comparaison des impacts restants sur chacune des chaînes de produit et des impacts globaux du système, obtenus par inversion de matrice (Bourgault et al., 2012).

### 1.1.3.2 Structure du calcul de l'ÉICV

La caractérisation lors de l'évaluation des impacts est décrite par la relation suivante (Heijungs & Suh, 2002) :

$$h = \mathbf{Q}g \quad (1.9)$$

où  $h$  est le vecteur d'impact de dimension  $k \times 1$  pour  $k$  catégories d'impacts,  $\mathbf{Q}$  est la matrice de dimension  $m \times k$  constituée des facteurs de caractérisation pour  $m$  flux élémentaire et  $g$  est l'inventaire de dimension  $m \times 1$ .

## 1.1.4 Bases de données ICV

### 1.1.4.1 Fonction des bases de données ICV

La réalisation d'un ICV requiert beaucoup de données, et cette étape signifie une charge de travail exigeante en temps (Finnveden et al., 2009). Plusieurs bases de données ont été développées dans les dernières années afin de faciliter cette étape (Finnveden et al., 2009). Ces bases de données couvrent une étendue très large de données, allant des matières premières, transports, sources d'énergie, produits complexes et services de traitement de déchets.

Lors de l'étude d'un système, les données des processus d'avant-plan sont davantage accessibles aux praticiens d'ACV; les bases de données sont alors très utiles pour considérer les processus d'arrière-plan (European Commission, 2010).

Les bases de données utilisées peuvent être des bases de données ICV internationales, p. ex. ecoinvent (<http://www.ecoinvent.org/database/>) ou nationales, p. ex. la base de données américaine US LCI (<http://www.nrel.gov/lci/>) et la base de données européenne ELCD (<http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/datasetArea.vm>).

### 1.1.4.2 Données agrégées et données désagrégées

Les bases de données sur le marché fournissent soit majoritairement des données désagrégées, p. ex. ecoinvent (s.d.), soit majoritairement des données agrégées, p. ex. GaBi (s.d.). Les bases de données désagrégées permettent de relier les processus élémentaires entre eux afin d'élaborer un inventaire. Les flux disponibles à l'utilisateur sont donc spécifiques à des processus élémentaires, plutôt qu'à un système, ce qui est le cas de données agrégées.

Une plus grande confidentialité des compagnies fournissant des données est l'avantage principal des données agrégées (Finnveden et al., 2009). On reproche toutefois à ces données un manque de transparence et une évaluation difficile de leurs représentativités pour un scénario. Les données désagrégées répondent, quant à elles, à ces limites en étant transparentes des choix méthodologiques et des processus d'arrière-plan les constituant, permettant même aux praticiens d'ACV d'appliquer des modifications pour plus de représentativité.

Pour ce qui a trait aux prochains développements méthodologiques de l'ACV, l'utilisation de données agrégées est plutôt contraignante. Ne connaissant pas la provenance des processus

composant une donnée agrégée, seule les données désagrégées permettent une certaine différentiation spatiale (Reap, Roman, Duncan, & Bras, 2008). Ainsi, la différentiation spatiale des facteurs de caractérisation, tout comme la différentiation temporelle, a peu d'avantages si l'inventaire de cycle de vie était agrégé (Shah & Ries, 2009).

### 1.1.5 Limites générales de l'outil

L'ACV se distingue des autres outils d'analyse environnementale, telles que l'analyse de risque et l'étude de l'impact environnemental, par une comptabilisation des impacts environnementaux potentiels et non réels d'un produit (Jolliet et al., 2010). Les impacts sont dits potentiels, car même si l'effet des substances pour l'évaluation des impacts est pris en compte, d'autres paramètres importants pour la caractérisation ne sont pas considérés (UNEP, 2003):

- la concentration de fond des substances;
- la dépendance géographique du devenir des polluants;
- la variation dans l'espace, le temps et les concentrations des substances chimiques.

L'ÉICV est contrainte à négliger ces paramètres par l'utilisation d'un modèle en régime permanent, à cause de l'information insuffisante se trouvant dans l'inventaire, due notamment à l'agrégation temporelle et spatiale des données d'inventaire (Owens, 1997b). L'agrégation dans le temps et dans les lieux des éléments du système étudié est une particularité de l'ACV et confirme sa pertinence dans un cadre comparatif plutôt qu'absolu (Owens, 1997b). L'inventaire des émissions ne tient compte ni du moment, ni du lieu de l'émission, c.-à-d. les émissions pour une même substance sont rapportées à un même instant du cycle de vie. Cette particularité de l'ACV est jugée acceptable pour évaluer la performance de l'ensemble du système étudié, souvent très complexe (Owens, 1997a). Toutefois, l'absence des facteurs temporels est souvent soulevée en tant que limitation importante de la méthode (Hauschild, 2005; Owens, 1997a, 1997b; Reap et al., 2008; Udo de Haes, Heijungs, Suh, & Huppes, 2004), tout comme l'absence de considérations spatiales (Hauschild, 2005; Phungrassami, 2008; Reap et al., 2008; Udo de Haes et al., 2004).

Une sophistication idéale de la méthode est encore jugée peu réaliste à cause d'une énorme demande de temps, de données et de ressources (Bare, Pennington, & Udo de Haes, 1999). Le

niveau de sophistication approprié devrait permettre aux résultats d'ACV d'avoir une incertitude suffisamment faible afin de permettre une prise de décision environnementale (Bare et al., 1999).

Compte tenu que les résultats de l'ACV reposent significativement sur des choix méthodologiques, tels que le contexte d'étude et les hypothèses, les normes ISO accordent beaucoup d'importance à la transparence des procédures pour une prise de décision éclairée (ISO, 2006a, 2006b).

## 1.2 Les considérations temporelles et leurs problématiques

L'analyse de cycle de vie considère certains aspects temporels. Phungrassami (2008) en présente une revue pour les trois premières étapes de l'ACV. Ces considérations sont résumées à la Figure 1-4.

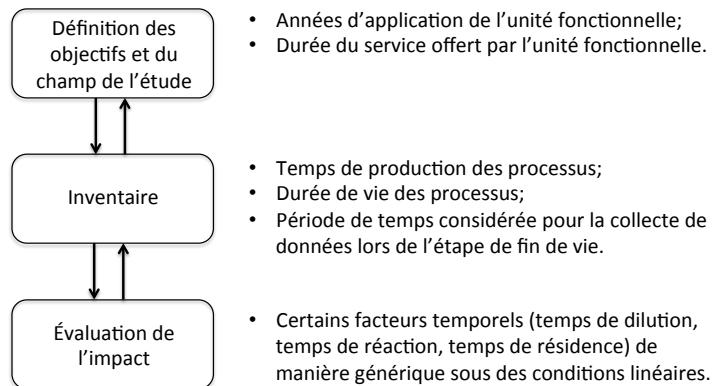


Figure 1-4 Considérations temporelles en ACV

Les exigences des normes ISO (ISO, 2006a, 2006b) à ce sujet sont donc assez limitées. La norme ISO14044 (ISO, 2006b) exige que la qualité des données couvre, entre autres, la représentativité des données de la période de temps de la situation étudiée, ainsi que les facteurs temporels, tels que l'âge des données et la durée minimale pour la collecte de données. Selon la même norme, le modèle de caractérisation devrait considérer la variabilité spatiale et temporelle (ISO, 2006b).

Une limitation concernant l'agrégation dans le temps des résultats a été soulevée au sujet de la différentiation temporelle pour la modélisation des systèmes (p. ex. le moment de la demande énergétique influence le mix électrique utilisé et ainsi l'inventaire calculé (Deru, 2010)).

Par ailleurs, le manque d'informations spatiales et temporelles au niveau de l'inventaire introduit aussi un manque de précision lors de l'ÉICV (ISO, 2006a), et donc une plus grande incertitude

des résultats ACV. Ce manque d'informations temporelles au niveau de l'inventaire est majoritairement attribuable à un manque d'informations temporelles provenant des bases de données ICV. Les problématiques concernant la différentiation temporelle pour la modélisation des impacts seront discutées dans les sections suivantes. Le manque de précision des résultats ÉICV concerne la cohérence des horizons de temps finis, ainsi que la différentiation saisonnière et diurne.

### **1.2.1 Information temporelle dans les bases de données**

Les principes directeurs du UNEP-SETAC pour les bases de données d'ACV reconnaissent l'intérêt de l'inclusion d'informations temporelles dans les bases de données ICV, toutefois cela doit être équilibré avec un coût de génération de données et de mise à jour raisonnable (UNEP, 2011). Les informations temporelles énoncées par ces principes sont la pertinence temporelle des données et le moment où se produit un intrant ou une émission au sein d'un processus élémentaire, ou d'un processus agrégé (UNEP, 2011).

L'utilisation de paramètres temporels ou données supplémentaires à ce sujet est requise quand (UNEP, 2011) :

- de fortes variations interannuelles surviennent pour un processus élémentaire, afin d'assurer la représentativité des données utilisées (problématique de la différentiation temporelle pour la modélisation des systèmes);
- les catégories d'impacts évaluées sont sensibles au moment de l'émission (problématique abordée à la section 1.2.3);
- les détenteurs ou les fournisseurs de données évaluent que l'agrégation temporelle empêche de plus larges applications.

Pour l'instant, la considération du temps dans les bases de données est assez limitée et généralement jugée insuffisante (Beloin-Saint-Pierre & Blanc, 2011). Les éléments souvent pris en compte sont :

1. La validité des données pour une période de temps définie;

Ceci est le cas par exemple, pour ecoinvent v.2 (Frischknecht et al., 2007) et GaBi 6 (GaBi Software, s.d.). Pour ecoinvent v.3 (Weidema et al., 2013), outre la période de

validité des données, les périodes récurrentes représentant les saisons ou les heures de pointe sont spécifiées dans le nom des produits (p. ex. « électricité, en heure de pointe » et « électricité, heure de faible influence ») (Weidema et al., 2013).

2. L'adéquation temporelle au modèle des sources de données;

La qualité des sources de données est évaluée par la matrice Pedigree dans ecoinvent v.2 (Frischknecht et al., 2007).

3. La caractérisation des infrastructures par une durée de vie;

Cette durée de vie permet le calcul des flux économiques, p. ex. pour ecoinvent v.2. (Frischknecht et al., 2007). Cette durée de vie est considérée comme un paramètre dans ecoinvent v.3 (Weidema et al., 2013).

4. La segmentation des émissions selon leur moment d'émission court-terme ou long-terme.

Ceci est le cas de ecoinvent v.2 (Frischknecht et al., 2007). Cette segmentation concorde avec les recommandations de la Commission européenne (European Commission, 2010), c'est-à-dire que les émissions à court-terme sont celles survenant entre 0 et 100 ans et que les émissions à long-terme sont celles qui surviennent au-delà de 100 ans.

## 1.2.2 Cohérence de l'horizon de temps pour l'évaluation des impacts

La problématique du choix de l'horizon de temps pour l'évaluation des impacts laisse présager une pratique plus courante d'analyse de sensibilité sur ce paramètre pour plusieurs catégories d'impacts. La cohérence des horizons de temps finis pour un inventaire agrégé temporellement est néanmoins discutée par plusieurs experts.

### 1.2.2.1 Choix de l'horizon de temps

Les facteurs de caractérisation (FC) utilisés lors de la phase ÉICV représentent une intégration des impacts sur un horizon de temps (Udo de Haes et al., 1999). Les impacts alors calculés informent sur les problématiques environnementales survenant entre le moment de l'émission et de l'extraction et l'horizon de temps choisi.

Le choix de l'horizon de temps repose sur un choix de valeurs; certains porteront un poids plus important aux impacts à court-terme, invoquant le caractère incertain des impacts futurs, d'autres

incluront également tous les impacts peu importe le moment auquel ils surviennent, par équité intergénérationnelle (Hauschild et al., 2002; Udo de Haes et al., 1999). Afin d'éviter un déplacement des impacts aux générations futures et ainsi respecter la définition du développement durable établie par le rapport Brundtland (Organisation des Nations unies [ONU], 1987), il serait préférable de considérer les impacts sur un horizon de temps infini. C'est d'ailleurs la meilleure pratique recommandée par le deuxième groupe de travail en ÉICV de la SETAC 1999 (Udo de Haes et al., 1999). Dans les pratiques courantes en ACV, lorsqu'un horizon de temps est nécessaire, l'horizon de temps choisi est infini, sauf pour la catégorie du réchauffement climatique pour laquelle un horizon de temps de 100 ans est préféré (Hauschild et al., 2002). Il est aussi conseillé d'étudier la sensibilité des résultats à l'horizon de temps choisi, et ce, pour toutes les catégories d'impacts (European Commission, 2011; Udo de Haes et al., 1999).

Cette sensibilité des résultats devient particulièrement importante pour les catégories d'impacts dont les substances ont une persistance dans l'environnement de différents ordres de grandeur. Les impacts survenant à court-terme peuvent être sous-estimés par une domination des impacts des substances plus persistantes qui prennent effet après une plus longue exposition (Guo & Murphy, 2012). Huijbregts et al. (2001) ont montré que le potentiel toxique des métaux variait de plusieurs ordres de grandeur selon le choix de l'horizon de temps, tandis que celui des substances organiques restait dans un ordre de grandeur de 0,5. Levasseur et al. (2010) ont, quant à eux, discuté la grande sensibilité du GWP (« Global warming potential ») au choix de l'horizon de temps, particulièrement pour les gaz à effet de serre (GES) de courte durée de vie. On note aussi une grande variation dans la persistance des substances responsables de l'appauvrissement de la couche d'ozone (Guo & Murphy, 2012).

L'intérêt de l'étude de sensibilité des horizons de temps a été démontré pour différents cas. Guo et Murphy (2012) ont fait varier l'horizon de temps des catégories réchauffement climatique, appauvrissement de la couche d'ozone, toxicité humaine et écotoxicité terrestre et aquatique, obtenant des classements différents pour les scénarios de fin de vie de polymères. Levasseur et al. (2010) ont montré que l'horizon de temps choisi influençait si un scénario de substitution de pétrole par du bioéthanol répondait aux cibles politiques ou non. Schwietzke et al. (2011) ont toutefois discuté l'importance du choix d'horizon de temps pour ce scénario compte tenu des incertitudes reliées aux indicateurs de réchauffement climatique. Finalement, le choix de

l'horizon de temps s'est montré déterminant pour la caractérisation des métaux dans le cas de sites d'enfouissement (Hellweg, 2001).

### 1.2.2.2 Cohérence temporelle de l'horizon de temps

L'agrégation temporelle de l'inventaire pose un problème de cohérence temporelle lors de l'utilisation d'un horizon de temps fini et fixe. En considérant que toutes les émissions ont lieu au début de l'horizon de temps, certains impacts sont considérés au-delà de l'horizon de temps choisi. En effet, tel que montré à la Figure 1-5 par l'exemple de l'impact sur le réchauffement climatique d'une infrastructure, en évaluant l'impact d'une émission ayant lieu 25 ans après la construction du bâtiment, l'impact estimé va au-delà de l'horizon de temps choisi pour l'étude (100 ans). Cela signifie une surestimation de l'impact d'une émission en fin de vie, tandis que l'impact d'une émission en phase de production se voit sous-estimé. Cette incohérence est plus flagrante pour des horizons de temps plus court (Kendall, Alissa, 2012). Une distinction est alors à faire entre l'horizon de temps choisi pour l'analyse des résultats et les durées sur lesquelles les impacts de l'ÉICV sont intégrées (Levasseur et al., 2010).

L'utilisation de facteur de caractérisation fixe dans le temps introduit donc un problème d'incohérence temporelle particulièrement pour les processus ou produits de longue durée. Cette problématique a été soulevée pour l'évaluation des impacts sur le réchauffement climatique des véhicules légers, où les crédits de recyclage en fin de vie sont surestimés par rapport aux émissions de la phase de production (Kendall, Alissa & Price, 2012).

Une cohérence temporelle pourrait être assurée par l'utilisation de facteurs de caractérisation dépendant du temps (Levasseur et al., 2010). L'exemple de la Figure 1-5 retrouverait donc sa cohérence temporelle, tel que montré à la Figure 1-6. Toutefois, ces facteurs ne sont utiles que si l'inventaire décrit le profil temporel des émissions et extractions.

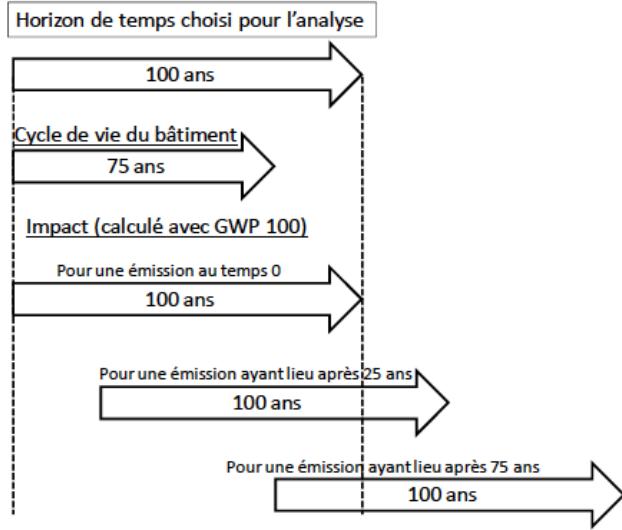


Figure 1-5 Incohérence temporelle de l'horizon de temps choisi (Levasseur, 2011)

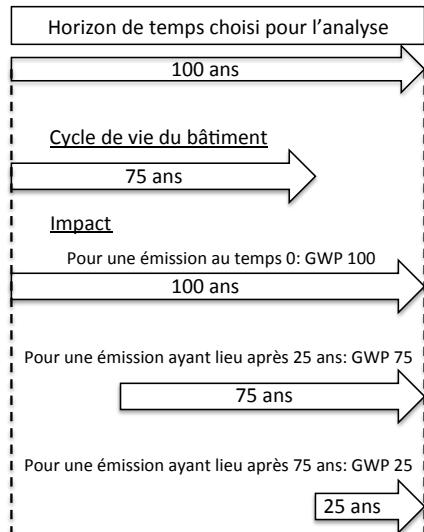


Figure 1-6 Cohérence temporelle grâce à des facteurs de caractérisation dépendant du temps

### 1.2.3 Différentiation saisonnière et diurne

La prise en compte de la différentiation saisonnière et diurne signifie que le moment d'émission dans la journée, ou dans l'année peut influencer l'impact environnemental d'une substance.

Différents auteurs ont abordé cette problématique pour différents flux élémentaires et les catégories d'impacts affectées, pourtant aucune des méthodes d'évaluation d'impact couramment employées en ACV ne considère la différentiation saisonnière des facteurs de caractérisation (Shah & Ries, 2009). L'ampleur et la portée de l'impact de certains polluants vont toutefois être

influencées significativement par ces effets saisonniers (Field, Kirchain, & Clark, 2000; Hofstetter, 1998).

La formation d'ozone troposphérique dépend grandement des variations saisonnières, et même des variations diurnes (Hauschild et al., 2002). Les émissions d'hydrocarbures et de NOx durant l'hiver affecte la formation de smog estival de manière très limitée, en comparaison aux mêmes émissions durant l'été (Hofstetter, 1998). Shah et Ries (2009) ont montré que les facteurs de caractérisation pour cette catégorie d'impacts sont influencés davantage par la saison à laquelle a lieu l'émission (été/hiver) que par la régionalisation.

L'eutrophisation aquatique possède aussi une variation saisonnière, selon la région où la substance est émise (Hauschild et al., 2002). La variation saisonnière pourrait aussi affecter la disponibilité de l'eau (UNEP, 2011). Par ailleurs, l'impact des bruits sur la santé humaine varie significativement selon le moment du jour où se produit l'émission (jour/nuit) (Cucurachi, Heijungs, & Ohlau, 2012). La différentiation saisonnière des fractions prises lors de l'évaluation des impacts sur la santé humaine a aussi été étudiée (Manneh, Margni, & Deschênes, 2012).

La considération des variations saisonnières et diurnes est donc importante pour une réduction de l'incertitude liée à l'évaluation des impacts, menant à une amélioration du pouvoir de décision (Shah & Ries, 2009).

La variation temporelle des impacts peut aussi dépendre de l'année d'émission si la concentration initiale du polluant dans l'environnement est considérée, ce qui a été démontré pour l'acidification (Potting, Schöpp, Blok, & Hauschild, 1998). Cette variation devrait toutefois être considérée conjointement avec la différentiation spatiale, car cette variation est reliée à la sensibilité du milieu.

La différentiation saisonnière et diurne repose sur une différentiation temporelle des flux élémentaires à la phase d'inventaire, ce qui représente un travail important de collecte de données. Afin de réduire l'ampleur de ce travail par le praticien ACV, Hofstetter (1998) propose une division du système de processus en des processus avant-plan, où la résolution temporelle pour la différentiation serait adaptée au scénario étudié, et en des processus arrière-plan où la différentiation serait issue d'hypothèses génériques. Selon la procédure itérative de l'ACV, le praticien ACV peut par la suite rendre spécifiques les informations temporelles des processus arrière-plan révélés lors de l'analyse de contribution (Hofstetter, 1998).

Tel qu'indiqué à la section 1.2.1, la base de données ecoinvent v.3 propose des processus élémentaires spécifiques pour des saisons particulières ou des heures de pointes (Weidema et al., 2013). Ces processus spécifiques aux saisons et aux périodes de la journée pourraient permettre une différentiation des flux, toutefois cela ne semble pas adapté pour une différentiation temporelle générale des flux élémentaires des bases de données ICV, compte tenu du grand nombre de processus ainsi créé.

## 1.3 L'analyse du cycle de vie dynamique

### 1.3.1 Définition et applications

#### 1.3.1.1 Définition générale

L'analyse du cycle de vie dynamique est une méthode englobant différents concepts et dont les auteurs n'abordent souvent qu'un aspect temporel spécifique. Levasseur et al. (2010) abordent l'ACV dynamique comme une solution à l'incohérence dans les cadres temporels utilisés en ÉICV. D'autres auteurs abordent l'ACV dynamique comme une prise en compte de la variabilité de certains processus selon le moment de la demande (p. ex. mix électrique) (Beloin-Saint-Pierre, Heijungs, & Blanc, submitted; Collinge et al., 2011).

Les considérations temporelles de l'ACV dynamique peuvent donc être divisées en deux catégories (Beloin-Saint-Pierre et al., submitted) :

- les considérations temporelles pour la modélisation des systèmes;
- les considérations temporelles pour la modélisation de l'évaluation des impacts.

Les considérations temporelles pour la modélisation de l'évaluation des impacts seront celles abordées dans les sections suivantes.

#### 1.3.1.2 L'ACV dynamique pour l'évaluation des impacts

Abordant la problématique de la différentiation temporelle, Heijungs et Suh (2002) ont proposé une méthode permettant l'élaboration d'un inventaire dynamique qui repose sur la définition de processus spécifiques à une date (année, mois, jour, heure, selon la précision recherchée). Toutefois, les auteurs s'entendent sur la limite pratique de la méthode : une telle augmentation de

la quantité de processus serait difficilement gérable (Beloin-Saint-Pierre et al., submitted; Heijungs & Suh, 2002).

L'ACV dynamique développée par Levasseur (2011) propose une ACV dont l'inventaire dynamique est plutôt décrit par une distribution des émissions dans le temps.

Cette méthode vise à répondre de manière quantitative à la problématique de cohérence temporelle de l'horizon de temps de l'ACV, et ce, en modifiant deux étapes de l'ACV traditionnelle:

1. Élaborer un inventaire dont la distribution temporelle des émissions est considérée;

Chaque type d'émissions est désagrégé dans le temps, de sorte qu'une quantité de flux élémentaire soit associée à chaque pas de temps  $t$  (Levasseur, Lesage, Margni, Brandão, & Samson, 2012). Le temps est considéré en tant que variable discrète plutôt que continue. Le pas de temps est choisi selon la catégorie d'impacts étudié. Par exemple, un pas de temps de 1 an a été choisi pour la catégorie réchauffement climatique, en raison d'un temps de résidence des GES généralement assez élevé (Levasseur, 2011).

L'inventaire prend alors l'allure suivante (Levasseur, 2011) :

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} g_{10} & \dots & g_{1T} \\ \dots & \square & \dots \\ g_{m0} & \dots & g_{mT} \end{bmatrix} \quad (1.10)$$

pour  $i$  flux élémentaires de 1 à  $m$  et  $t$  période de 0 à  $T$ .  $g_{10}$  représente par exemple la quantité du flux élémentaire 1 émise entre l'année 0 et l'année 1 pour la catégorie réchauffement climatique. L'année 0 est considérée comme la première année d'émission par Levasseur (2011).

L'inventaire traditionnel (équation (1.8)) peut être obtenu de l'équation (1.10) en sommant toutes les émissions dans le temps, selon la relation suivante :

$$\sum_t g_{it} = g_i \quad (1.11)$$

2. Calculer les impacts à l'aide de facteurs de caractérisation dynamiques (DCF).

Les facteurs de caractérisation dynamiques sont des facteurs de caractérisation définis pour chaque pas de temps, et donc  $DCF(t)$  (Levasseur, Lesage, Margni, Brandão, et al., 2012). La période ( $t$ ) est le temps entre le moment de chacune des émissions fourni par

l'inventaire temporel, et l'horizon de temps fixe choisi pour l'évaluation des impacts (Levasseur et al., 2010).

### **1.3.1.3 Caractéristiques générales et limites de l'opérationnalisation**

Les principales caractéristiques de l'ACV dynamique, telle que définie par Levasseur et al. (2010), sont résumées au Tableau 1-1. L'opérationnalisation demeure une difficulté importante de cette méthode, malgré son avantage d'être davantage généralisable que les autres méthodes abordant le moment des émissions (Kendall, Alissa, 2012). Les logiciels de modélisation couramment utilisés, tel que SimaPro, ne permettent pas l'ACV dynamique, l'information des bases de données n'étant pas adaptées à ses calculs. Cette problématique restreint son utilisation à plus grande échelle.

Une interface permettant l'ÉICV dynamique a été conçue pour l'évaluation des impacts sur le réchauffement climatique (Levasseur). Toutefois, l'élaboration de l'ICV dynamique est laissée à l'utilisateur. Cela implique que chaque processus de la chaîne de processus soit géré indépendamment afin d'associer ses émissions aux pas de temps du système à l'étude. L'application de l'ACV dynamique nécessite donc une collecte d'informations temporelles importantes, ce qui requiert des ressources considérables. Une méthode de priorisation des processus à adapter temporellement a été proposée, toutefois celle-ci repose toujours sur une analyse propre au scénario étudié (Collet, Lardon, Steyer, & Hélias, 2013).

Tableau 1-1 Caractéristiques de l'ACV dynamique

|          | <i>Caractéristiques</i>  | <i>Sources</i>  |
|----------|--|---|
| Intérêts | <p>Fournit de l'information temporelle aux décideurs.</p> <p>Applicable à tous les profils temporels d'émissions et à tous les types d'étude ACV.</p> <p>Applicable à toutes les catégories d'impacts, en développant de nouveaux DCF.</p> <p>Permet un calcul d'impacts cohérent avec l'horizon de temps fixe choisi.</p> | (Levasseur et al., 2010; Levasseur, Lesage, Margni, & Samson, 2012)   |
|          |  | (Levasseur et al., 2010)  |
|          |  | (Levasseur et al., 2010)  |
|          |  | (Levasseur, Lesage, Margni, Brandão, et al., 2012; Levasseur et al., 2010; Levasseur, Lesage, Margni, & Samson, 2012) |
|          | Permet l'étude de sensibilité des résultats à tout horizon de temps.   | (Levasseur, Lesage, Margni, & Samson, 2012)   |
| Limites  | <p>Requiert un inventaire dynamique établi « manuellement », qui constitue une étape supplémentaire à l'ACV très longue à réaliser.</p> <p>Impossible à utiliser avec les logiciels courants d'ACV.</p>  | (Collet et al., 2013; Levasseur, 2011)  |
|          |  | (Levasseur, 2011)   |

### 1.3.1.4 Applications

Il a été démontré que l'ACV dynamique permet d'obtenir des résultats davantage cohérents pour l'évaluation des impacts sur le réchauffement climatique pour des systèmes dont l'aspect temporel est un enjeu, par exemple, par un changement d'affectation des terres (Levasseur et al., 2010) ou par la séquestration de carbone (Levasseur, Lesage, Margni, Brandão, et al., 2012; Levasseur, Lesage, Margni, & Samson, 2012). La séquestration de carbone étant abordée lors du développement de normes et de lignes directrices pour le calcul d'empreintes carbone et ces normes et lignes directrices influençant les politiques et les choix des consommateurs, il est important de fournir aux décideurs l'information temporelle adéquate (Levasseur et al., 2011).

L'importance pour les résultats ACV de l'utilisation de cette méthodologie doit encore être démontrée pour les autres catégories d'impacts. Son application plus large passe donc par le développement de facteurs de caractérisation dynamiques pour d'autres catégories d'impacts (Levasseur, 2011). Des facteurs de caractérisation dynamiques ont récemment été développés pour l'impact des métaux en écotoxicité aquatique (Lebailly, Levasseur, Samson, & Deschênes, 2013).

## 1.3.2 Méthode ESPA pour le calcul de l'ICV dynamique

### 1.3.2.1 Description de la méthode

La méthode ESPA (« Enhanced Structure Path Analysis ») est une méthode développée par Beloin-Saint-Pierre et Blanc (2011) afin de calculer des inventaires caractérisés de manière spatiotemporelle, tout en minimisant les difficultés de gestion d'information des bases de données. Appliquée aux considérations temporelles, cette méthode propose de décrire les flux économiques et élémentaires d'un système de processus par des distributions temporelles relatives à ses processus élémentaires et de calculer l'inventaire dynamique par des produits de convolution (Beloin-Saint-Pierre et al., submitted).

Les distributions temporelles n'étant pas propres au système étudié, mais plutôt au processus élémentaires, la réutilisation des mêmes processus élémentaires différenciés temporellement est assurée tout au long de la chaîne de processus (Beloin-Saint-Pierre & Blanc, 2011). Cette réutilisation des processus élémentaires est un élément clé pour minimiser la quantité de données à gérer (Beloin-Saint-Pierre et al., submitted), et ainsi éviter la principale limitation de l'ACV dynamique : la caractérisation cas-par-cas de l'ensemble des processus d'un système étudié.

### 1.3.2.2 Élaboration des distributions temporelles

Les éléments de la matrice technologique **A** et la matrice intervention **E** sont décrits par des distributions temporelles. La Figure 1-7 illustre l'exemple d'un système simplifié et les distributions temporelles correspondantes. Le temps 0 des distributions est le moment où le processus commence à remplir sa fonction (Beloin-Saint-Pierre & Blanc, 2011). Selon cet exemple, le temps 0 de la Distribution 1 est donc le moment pour lequel le processus A est disponible, et celui de la Distribution 2, le moment pour lequel le processus B est disponible. La distribution des flux élémentaires peut se trouver après le temps 0, si les émissions ont lieu après la mise en service du processus (p. ex. les flux liés à la fin de vie d'un produit). Les temps 0 des différents processus ne sont donc pas simultanés et leurs positionnements temporels dépendent de la chaîne de processus.

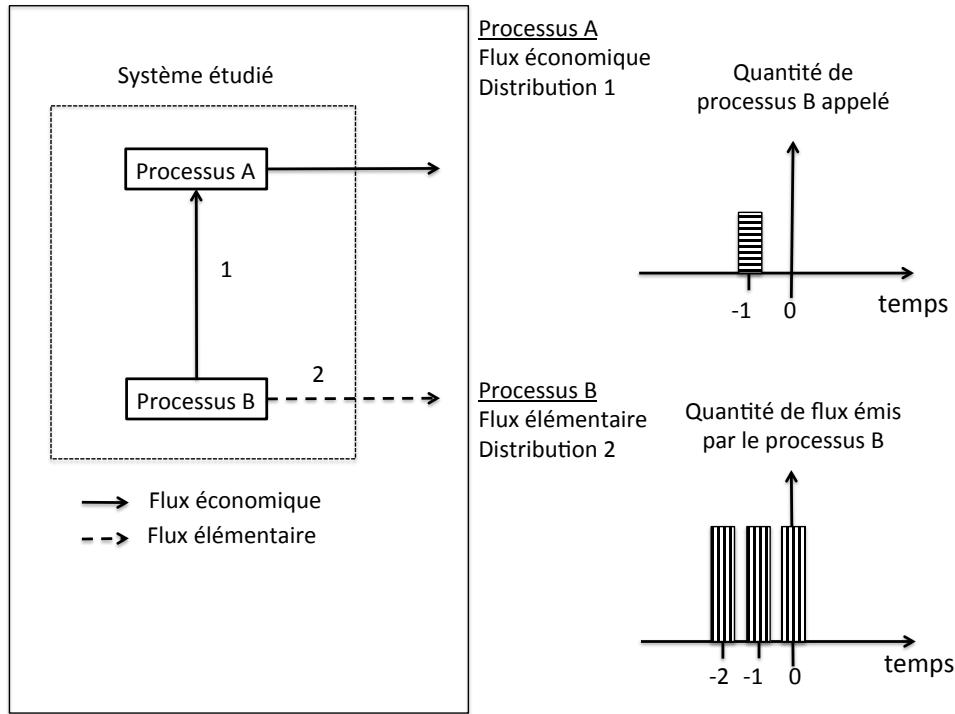


Figure 1-7 Exemple de distributions temporelles pour les flux économiques et environnementaux

### 1.3.2.3 Calcul de l'ICV dynamique

L'inversion de matrice présente pour le calcul de l'inventaire traditionnel (équation (1.3) de la section 1.1.3.1) n'est pas possible si les éléments de la matrice sont des distributions. Le calcul de l'inventaire proposé combine l'approximation par séries entières (équation (1.5)) et le calcul des produits matriciels par produits de convolution (symbole  $*$ ) (Beloin-Saint-Pierre et al., submitted).

Le calcul de l'ICV (équation (1.8)) devient alors l'équation suivante :

$$g_i = \sum_j e_{ij} f_j + \sum_j \sum_l (e_{il} * b_{lj}) f_j + \sum_j \sum_l \sum_m (e_{im} * b_{ml} * b_{lj}) f_j + \dots \quad (1.12)$$

pour un système  $f$  défini par des valeurs non-nulles pour les processus élémentaires  $j$ , l'inventaire du flux élémentaire  $i$  sur les processus élémentaires  $j$ ,  $l$  et  $m$  des niveaux 0, 1 et 2 respectivement (voir Figure 1-3 Schéma de la section 1.1.3.1 pour un schéma des niveaux de l'arbre de processus).

Le produit de convolution est un opérateur mathématique qui, lorsqu'appliqué sur deux fonctions, en génère une troisième décrivant la région de chevauchement entre les deux premières fonctions

quand une de celles-ci subit une translation. Son utilisation pour le calcul de l'ICV dynamique permet de positionner correctement dans le temps les flux élémentaires d'un processus selon sa distribution d'appel par un autre processus élémentaire.

Un produit de convolution reprenant l'exemple de la Figure 1-7 se trouve à la Figure 1-8. Le processus A est le processus 1 du niveau 0 et le processus B est le processus 1 du niveau 1. Le produit de convolution illustré représente donc les émissions du flux élémentaire à l'échelle de la quantité de processus B appelé par A et selon une distribution temporelle relative au moment de la mise en fonction du processus A.

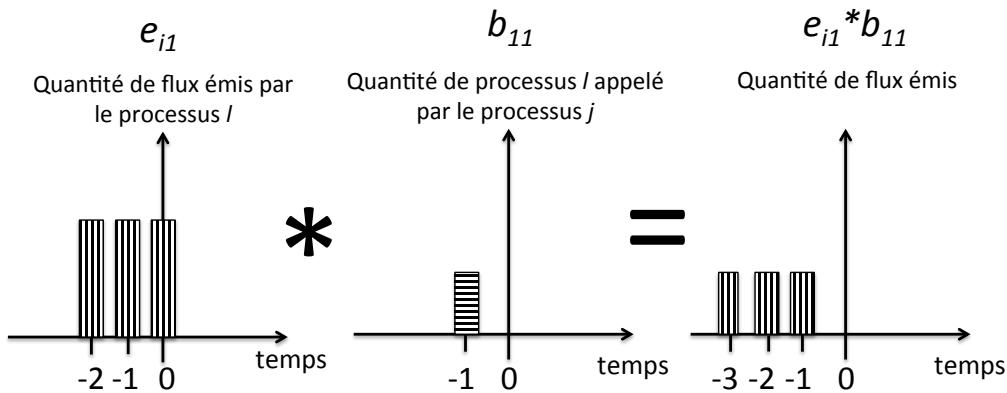


Figure 1-8 Produit de convolution entre les distributions de la matrice **B** et la matrice **E**

#### 1.3.2.4 Opérationnalisation et perspectives

La méthode ESPA est simple et nécessiterait que quelques ajustements à la structure des informations disponibles dans les bases de données (Beloin-Saint-Pierre & Blanc, 2011). Seuls les processus pertinents devraient être décrits par une distribution temporelle au sein de la chaîne de processus; le temps de calcul en serait probablement réduit (Beloin-Saint-Pierre & Blanc, 2011). Compte tenu de la propagation de l'information temporelle par produits de convolution, la précision temporelle de l'inventaire sera celle du plus grand pas de temps rencontré dans les calculs; il est donc important que les processus soient décrits par les plus petits pas de temps possibles (Beloin-Saint-Pierre & Blanc, 2011). Pour l'instant, la précision temporelle nécessaire pour les différentes méthodes d'ÉICV n'est pas identifiée (Beloin-Saint-Pierre et al., submitted).

L'information temporelle présente dans les bases de données n'est pas suffisante afin d'utiliser la méthode ESPA (Beloin-Saint-Pierre & Blanc, 2011). Pourtant, l'utilisation des bases de données

ICV pour la réalisation d'ACV dynamiques faciliterait son opérationnalisation. Beloin-Saint-Pierre et Blanc (2011) proposent des paramètres à incorporer aux bases de données pour le calcul d'ICV dynamiques: le temps 0 défini pour un scénario particulier, la durée des processus, les distributions temporelles de l'appel des processus fournisseurs et les distributions temporelles des flux élémentaires. Les unités et intérêts de ces paramètres se trouvent au Tableau 1-2. La description des distributions temporelles n'est toutefois pas simple compte tenu de la grande quantité de données à collecter. Malgré qu'une utilisation de paramètres clés pour l'estimation des distributions temporelles a été abordée (Beloin-Saint-Pierre & Blanc, 2011), aucune suggestion concrète n'a été formulée jusqu'à présent.

Tableau 1-2 Paramètres temporels à intégrer aux bases de données

| <i>Paramètres</i>                                  | <i>Unité</i>     | <i>Section du processus affectée dans la base de données</i> | <i>Fonction</i>   |
|--|------------------|--|---|
| Temps 0  | Date             | Processus sortant  | Indique le moment où le produit, système ou service est disponible pour positionner un scénario spécifique au calendrier. |
| Durée du processus                                 | Année/jour/heure | Processus technologique entrant<br>Flux élémentaires         | Informe sur l'intervalle possible des distributions.  |
| Distribution temporelle des processus fournisseurs | ----             | Processus technologique entrant                              | Décrit le moment et la quantité du processus fournisseur appelé (p. ex. Figure 1-7)                                       |
| Distribution temporelle des flux élémentaires      | ----             | Flux élémentaires  | Décrit le moment et la quantité de flux émis ou extraits (p. ex. Figure 1-7)  |

#### 1.4 Bilan de la revue de littérature

L'analyse de cycle de vie est un outil d'évaluation des impacts environnementaux potentiels très utile pour la comparaison entre deux produits ou services, ou la comparaison des différentes phases de cycle de vie d'un même produit. Cette méthode possède différentes limites, notamment un manque d'informations temporelles sur les émissions se trouvant dans l'inventaire, restreignant la considération de facteurs temporels lors de l'étape d'évaluation des impacts.

En effet, les exigences temporelles présentées dans les normes ISO sont assez limitées. Pourtant, l'importance de la différentiation temporelle, que ce soit en lien avec la cohérence temporelle de l'horizon de temps ou la variation saisonnière et diurne des impacts, a été démontrée par plusieurs auteurs pour différentes catégories d'impacts et différents cas d'application.

L'analyse de cycle de vie dynamique propose une solution à l'incohérence temporelle de l'horizon de temps présentement observée dans les pratiques. Cette méthode repose sur une caractérisation de l'ICV par des distributions temporelles, ainsi que sur une évaluation des impacts à l'aide de facteurs de caractérisation dynamiques. Son opérationnalisation est toutefois toujours un défi et nécessite une adaptation des outils présentement utilisés par les experts.

La méthode ESPA propose un algorithme pour faciliter les calculs de l'ICV dynamique, qui pourrait être applicable aux bases de données, à supposer que de nouveaux facteurs temporels soient introduits. En effet, les informations temporelles se trouvant présentement dans les bases de données ne sont pas suffisantes pour ce calcul. Quoiqu'une proposition d'intégration de facteurs temporels aux bases de données ICV a déjà été formulée à ce propos, aucune suggestion concrète d'implantation n'a été réalisée. Pourtant l'adaptation des bases de données à cette considération temporelle est l'élément clé à la différentiation temporelle en arrière-plan de l'ACV dynamique.

## CHAPITRE 2 OBJECTIFS ET MÉTHODOLOGIE DU PROJET

### 2.1 Problématique

Le défi du projet est d'optimiser l'information temporelle à fournir lors de la définition des processus élémentaires des bases de données ICV, afin de fournir une information temporelle suffisante pour le calcul d'ICV dynamique, tout en minimisant la demande de nouvelles données. L'utilisation de distributions temporelles pour lier les flux économiques dans les bases de données a été proposée par Beloin-Saint-Pierre et Blanc (2011). Toutefois, l'intérêt d'avoir des bases de données dont les flux seraient différentiés temporellement n'a pas encore été démontré dans la littérature.

### 2.2 Objectifs de recherche

#### 2.2.1 Objectif général

L'objectif principal du projet est de développer une méthodologie afin de montrer l'importance ou non pour les résultats en ACV dynamique d'ajouter de l'information temporelle aux processus en arrière-plan des systèmes de produits et de l'appliquer à des études de cas pour la catégorie d'impact réchauffement climatique.

#### 2.2.2 Objectifs spécifiques

Afin de répondre à l'objectif principal, différents objectifs spécifiques seront entrepris :

1. Proposer une méthodologie pour l'ajout des informations temporelles aux processus élémentaires d'une base de données pour l'ACV dynamique et appliquer la méthodologie pour les processus élémentaires de la base de données ecoinvent v2.2 pour l'évaluation des impacts sur le réchauffement climatique;
2. Réaliser l'ACV dynamique des systèmes de produits de la base de données ecoinvent v2.2 à l'aide des informations temporelles incorporées au processus élémentaires;
3. Identifier les systèmes de produits dont les résultats de l'ACV dynamique sont sensibles à la différentiation temporelle des processus en arrière-plan;

4. Élaborer des recommandations aux bases de données et aux praticiens ACV quant à l'intégration d'informations temporelles supplémentaires pour la réalisation d'ACV dynamiques.

## 2.3 Méthodologie générale

### 2.3.1 Étapes suivies

Les étapes suivantes ont été suivies afin de répondre aux objectifs spécifiques énoncés :

*Objectif spécifique 1* : Proposer une méthodologie pour l'ajout des informations temporelles aux processus élémentaires d'une base de données pour l'ACV dynamique et appliquer la méthodologie pour les processus élémentaires de la base de données ecoinvent v2.2 pour l'évaluation des impacts sur le réchauffement climatique;

- a. Déterminer un critère de sélection pour les processus élémentaires de la base de données à adapter pour la différentiation temporelle;
- b. Identifier les paramètres temporels nécessaires à la différentiation des flux économiques et élémentaires;
- c. Collecter les données pour les paramètres temporels choisis.

*Objectif spécifique 2* : Réaliser l'ACV dynamique des systèmes de produits de la base de données ecoinvent v2.2 à l'aide des informations temporelles incorporées au processus élémentaires ;

- a. Calculer les ICV et ÉICV dynamiques pour les systèmes de produits de la base de données ecoinvent v2.2 dont les processus élémentaires d'avant et d'arrière-plan sont temporellement différenciés;
- b. Calculer les ICV et ÉICV dynamiques pour les systèmes de produits de la base de données ecoinvent v2.2 dont seuls les processus élémentaires d'avant-plan sont temporellement différenciés.

*Objectif spécifique 3* : Identifier les systèmes de produits dont les résultats de l'ACV dynamique sont sensibles à la différentiation temporelle des processus en arrière-plan;

- a. Comparer les résultats d'impacts des systèmes de produits de la base de données ecoinvent avec la méthode dynamique appliquée aux processus d'avant et

d'arrière-plan avec ceux de l'ACV dont la méthode dynamique ne serait appliquée qu'aux processus d'avant-plan;

- b. Comparer les résultats d'impacts des systèmes de produits de la base de données ecoinvent avec la méthode dynamique appliquée qu'aux processus d'avant-plan avec ceux de l'ACV traditionnelle;
- c. Évaluer l'incertitude des résultats d'un système de produits associée au manque d'informations sur l'âge des infrastructures à l'aide de la méthode Monte-Carlo.

*Objectif spécifique 4* : Élaborer des recommandations aux bases de données et aux praticiens ACV quant à l'intégration d'informations temporelles supplémentaires pour la réalisation d'ACV dynamique.

- a. Évaluer la pertinence de l'ajout d'informations temporelles aux bases de données ICV;
- b. Recommander des règles de modélisation répondant aux problématiques de cohérence temporelle de certains aspects de modélisation présents dans la base de données d'ecoinvent v2.2;
- c. Recommander de bonnes pratiques quant à la différentiation temporelle des processus élémentaires de l'arrière-plan des systèmes étudiés dans le cadre d'une ACV dynamique.

### 2.3.2 Méthode ACV et ÉICV

La méthode ACV utilisée est la méthode dynamique développée par Levasseur (2011) dans un cadre attributionnel.

Les inventaires différentiés temporellement sont élaborés selon la méthode ESPA développée par Beloin-Saint-Pierre et Blanc (2011).

Les facteurs de caractérisation (FC) dynamiques utilisés pour l'ÉICV sont ceux développés pour la catégorie d'impacts réchauffement climatique par Levasseur (2011), ceux-ci étant pour l'instant les seuls FC dynamiques disponibles. Les impacts sont évalués sur un horizon de temps fixe de 100 ans suivant le moment où le produit étudié est disponible.

### 2.3.3 Base de données et systèmes étudiés

La base de données ecoinvent v2.2 est utilisée 1) comme exemple de base de données ICV à laquelle de l'information temporelle peut être ajoutée, ainsi que 2) comme source de milliers de systèmes produits.

### 2.3.4 Processus d'avant-plan et d'arrière-plan

Pour la différentiation temporelle des processus en avant-plan des systèmes de produits, les processus se trouvant au deuxième et troisième niveau sont considérés « d'avant-plan », tel qu'illustré à la Figure 2-1. Les processus d'arrière-plan correspondent alors aux processus de niveaux plus élevés.

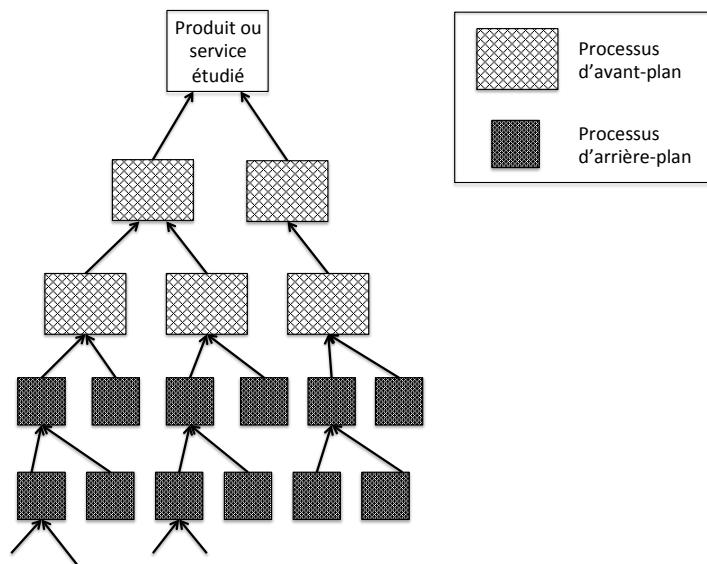


Figure 2-1 Processus en avant-plan et en arrière-plan d'un arbre de processus

### 2.3.5 Logiciels

La programmation des calculs des ICV dynamiques, ainsi que des ÉICV à l'aide des FC dynamiques est réalisée sous Python version 2.7.

### 2.3.6 Résultats considérés pour l'analyse

Pour initier une discussion sur les résultats d'une étude comparative d'ACV, Humbert et al. (2009) ont considéré non significatif un écart entre deux résultats d'impacts sur le réchauffement climatique inférieur à 10%. Considérant cette approche, les écarts entre les résultats d'impacts sur

le réchauffement climatique inférieurs à 10% ont été considérés non significatifs pour notre analyse.

## 2.4 Contenu du mémoire

Les résultats des objectifs spécifiques 1, 2 et 3a. sont présentés dans l'article soumis au Chapitre 3. Les critères de sélection des processus élémentaires considérés pour l'ACV dynamique, ainsi que les paramètres temporels choisis y sont définis. De plus, l'article résume brièvement la structure du code de programmation élaboré. Finalement, les résultats principaux de la comparaison des impacts sur le réchauffement climatique selon l'ACV dynamique d'avant-plan et l'ACV dynamique d'avant et d'arrière-plan sont présentés. L'intérêt du calcul d'ACV dynamiques d'avant et d'arrière-plan y est donc discuté. Par ailleurs, le Chapitre 4 présente des résultats complémentaires concernant une analyse Monte-Carlo sur un paramètre temporel (objectif spécifique 3c.), ainsi qu'une comparaison des résultats d'impacts sur le réchauffement climatique entre l'ACV dynamique d'avant-plan et l'ACV traditionnelle (objectif spécifique 3b.). Pour terminer, le Chapitre 5 discute les différentes limites du modèle et des cas étudiés, et présente les recommandations aux développeurs de bases de données ICV ainsi qu'aux praticiens ACV (objectif spécifique 4). Le Chapitre 6 rappelle les éléments importants en réponse aux objectifs du projet.

## **CHAPITRE 3 LA DIFFÉRENTIATION TEMPORELLE EN ACV DYNAMIQUE : LA PERTINENCE D'AJOUTER DE L'INFORMATION TEMPORELLE DANS LES BASES DE DONNÉES D'INVENTAIRE**

### **3.1 Présentation de l'article**

Ce chapitre présente l'article « Temporal differentiation of background systems in LCA: relevance of adding temporal information in LCI databases» qui a été soumis à la revue International Journal of Life Cycle Assessment en novembre 2013. Cet article a été écrit en collaboration avec Pascal Lesage, Annie Levasseur et Réjean Samson (Polytechnique Montréal). On y présente la méthodologie employée et les résultats obtenus lors de la comparaison des résultats d'impacts sur le réchauffement climatique obtenus par l'ACV dynamique d'avant-plan et l'ACV dynamique d'avant et d'arrière-plan. L'Annexe 1 présente les hypothèses et paramètres temporels utilisés, faisant partie des informations supplémentaires (« Supplementary material ») déposées avec l'article soumis.

### **3.2 Temporal differentiation of background systems in LCA: relevance of adding temporal information in LCI databases**

#### **3.2.1 Abstract**

*Purpose* Because the potential impacts of emissions and extractions can be sensitive to timing, the temporal aggregation of life cycle inventory (LCI) data has often been cited as a limitation in life cycle assessment (LCA). Until now, examples of temporal emission and extraction distributions were restricted to the foreground processes of product systems. The objective of this paper is to evaluate the relevance of considering the temporal distribution of the background system inventory.

*Methods* The paper focuses on the global warming impact category for which so-called dynamic characterization factors (CFs) were developed and uses the ecoinvent v2.2 database as both an example database to which temporal information can be added and a source of product systems to test the relevance of adding temporal information to the background system. Temporal information was added to the elementary and intermediate exchanges of 22% of the unit

processes in the database. Using the enhanced structure path analysis (ESPA) method to generate temporally differentiated LCIs in conjunction with time-dependent global warming characterization factors, potential impacts were calculated for all 4 034 product systems in the ecoinvent database.

*Results and discussion* Each time, the results were calculated for (1) systems in which temporal information was only added to the first two tiers, representing studies in which only the foreground system is temporally differentiated and (2) systems in which temporal information was also added to the background system. For 8.6% of the database product systems, adding temporal differentiation to background unit processes affected the global warming impact scores by more than 10%. For most of the affected product systems, considering temporal information in the background unit processes decreased the global warming impact scores. The sectors that show most sensitivity to the temporal differentiation of background unit processes are associated with wood and biofuel sectors.

*Conclusions* Even though the addition of temporal information to unit processes in LCI databases would not benefit every LCA study, the enhancement can be relevant. It allows for a more accurate global warming impact assessment, especially for LCAs in which products of biomass are present in substantial amounts. Relevance for other impact categories could be discussed in further work.

**Keywords:** Temporal differentiation - Dynamic LCA – LCI databases – Global warming - Time

### 3.2.2 Introduction

Life cycle assessment (LCA) is a method used to better understand the potential environmental impacts of a product or service by taking into account its entire life cycle, from raw material extraction to end of life (ISO, 2006a, b). LCA results make it possible to compare the environmental performances of products or services, supporting decision-making by consumers, industries and governments. The level of sophistication of an LCA model should reflect the robustness required to support a particular decision-making context (Bare et al., 1999).

A possible enhancement of interest is the inclusion of temporal information in LCA. Traditionally in LCA, emissions are aggregated over time, hence assuming that all emissions and extractions occur at a single point in time. However, it was shown that impacts can be sensitive to

the timing of the emissions and extractions in a product life cycle. The lack of dynamic representations or historical data has often been cited as an important limitation of LCA (Reap et al., 2008).

In order for LCA to effectively include temporal aspects, three elements are required: temporally differentiated characterization factors (CFs), a method to combine temporal information to generate temporally differentiated life cycle inventories (LCIs) and temporal information on the unit process level. They are discussed below.

### 3.2.2.1 Temporally differentiated characterization factors (CFs)

There are two aspects of extractions and emissions timing that are relevant in impact assessment. First, the moment of the day or the season when the emissions occur is critical to certain impact categories. Seasonal variations are important in some contexts when assessing photochemical smog (Shah & Ries, 2009), aquatic eutrophication (Hauschild et al., 2002), water availability (UNEP, 2011) or human toxicity (Manneh et al., 2012), while diurnal variations are associated with ozone formation (Hauschild et al., 2002) and the human health impact of noise (Cucurachi et al., 2012). Annual variations in the background concentrations of environmental pollutants are also significant when considering the acidification impact category (Potting et al., 1998).

Second, timing is relevant when an impact assessment is carried out over a finite and fixed time horizon (e.g. 100-year time horizon for global warming). Indeed, in these situations, to remain consistent with the selected time horizon, the emissions occurring earlier should cause more potential impact than those occurring towards the end of the time period. The issue is more significant for long-life products and processes, impacts assessed over a relatively short period of time and impact categories with a large variation in environmental persistency between substances, such as global warming (Levasseur et al., 2010), metal toxicity (Huijbregts et al., 2001) and ozone depletion (Levasseur et al., 2010). While impact categories other than global warming are usually evaluated for hypothetical infinite time horizons (Hauschild et al., 2002), accounting for alternative (shorter) time periods in a sensitivity analysis for every impact category is considered best practice (European Commission, 2011).

Since emissions are usually aggregated to a single point in time, the information required to consistently handle fixed and finite time horizons is missing (Levasseur et al., 2011). Methods to overcome this limitation were proposed, mainly for the global warming impact category. Among

them are methods with a case-specific approach (Cherubini, Peters, Berntsen, Stromman, & Hertwich, 2011; Kendall, A., Chang, & Sharpe, 2009; Kendall, Alissa & Price, 2012; O'Hare et al., 2009). A more general approach, coined the *dynamic LCA method*, was proposed by Levasseur et al. (2010) and can be used to calculate and apply time-dependent CFs to any gap between the moment of emission and the selected time horizon. While chiefly applied for the global warming impact category (Levasseur, Lesage, Margni, Brandão, et al., 2012; Levasseur et al., 2010; Levasseur, Lesage, Margni, & Samson, 2012), the method was recently used to develop time-dependent CFs to assess the aquatic ecotoxicity impacts of metals (Lebailly et al., 2013).

### 3.2.2.2 Calculating temporally differentiated LCIs

Temporally differentiated LCIs are required to use time-dependent CFs. The typical LCA algorithm to generate LCIs is as follows (Suh & Heijungs, 2007):

$$g = \mathbf{E}((\mathbf{I} - \mathbf{B})^{-1} f) \quad (3.1)$$

where  $\mathbf{E}$  is the  $m \times n$  intervention matrix describing  $m$  exchanges in the environment of  $n$  unit processes of the system;  $\mathbf{B}$  corresponds to  $(\mathbf{I} - \mathbf{A})$  where  $\mathbf{A}$  is the  $n \times n$  technological matrix describing supplier exchanges;  $f$  is the  $n \times 1$  final vector describing the system output and  $g$  is the  $m \times 1$  vector corresponding to the system inventory.

However, the matrix inversion solution flattens LCI information, limiting temporal differentiation to the foreground system.

Another approach to solving the system of linear equations is power series expansion (Bourgault et al., 2012; Peters, 2007; Suh & Heijungs, 2007). In this approach, the mathematical expression of LCI for the environmental exchange  $i$  of a product system can be expressed as (Suh & Heijungs, 2007):

$$g_i = \sum_j e_{ij} f_j + \sum_j \sum_l (e_{il} b_{lj}) f_j + \sum_j \sum_l \sum_m (e_{im} b_{ml} b_{lj}) f_j + \dots \quad (3.2)$$

where each element of the sum represents the elementary flow  $i$  associated with the unit processes ( $j, l, m \dots$ ) of the respective tiers (0, 1, 2 ...) of the supply chain, and  $b$  is an element of matrix  $\mathbf{B}$ . For example, the term  $(e_{i2} b_{25} b_{53}) f_3$  represents the amount of elementary flow  $i$  generated by the unit process supplying the intermediate flow “2” (at tier 2) consumed by the unit

process supplying intermediate flow “5” (at tier 1), itself consumed by the unit process supplying flow “3”, which is, in this case, set to the functional unit  $f_3$  (tier 0).

Using this approach, analytical tools such as structural path analysis (SPA), by which the complex network system can be decomposed into individual paths, can be used (Suh & Heijungs, 2007). The infinite sum then represents the inventory contribution of all the paths in the studied network system.

The power series expansion (PSE) algorithm converges under specific conditions (Suh & Heijungs, 2007) expected to be fulfilled in the LCA context from a practical point of view (Peters, 2007). Bourgault et al. (2012) propose the systematic disaggregation methodology, a hybrid LCI computation algorithm with user-defined cut-off criteria for path construction based on the structure of the supply chain and the impact contribution of its components.

Beloin-Saint-Pierre et al. (submitted) recently proposed a method they coined the *ESPA method* (enhanced structural path analysis), which can be used to propagate, throughout a product system, process-relative temporal information, i.e. temporal information defined at the unit process level. This propagation of process-relative temporal information is enabled by the use of convolution in the power series expansion algorithm. The typical result of the ESPA method is an inventory that expresses the timing of all emissions relative to a time 0, defined as the moment the product system’s function is fulfilled, which for a specific case study could be associated to a calendar date.

The relation to generate the temporally differentiated LCI of a product system for elementary flow  $i$  is then (Beloin-Saint-Pierre et al., submitted):

$$g_i = \sum_j e_{ij} f_j + \sum_j \sum_l (e_{il} * b_{lj}) f_j + \sum_j \sum_l \sum_m (e_{im} * b_{ml} * b_{lj}) f_j + \dots \quad (3.3)$$

where elements of the **B** matrix (e.g.  $b_{lj}$ ,  $b_{ml}$ ,  $b_{lj}$ ), of the **E** matrix (e.g.  $e_{ij}$ ,  $e_{il}$ ,  $e_{im}$ ), of the f vector (e.g.  $f_j$ ) and of the g vector (e.g.  $g_i$ ) are defined with process-relative temporal distributions. Convolution (\*) is a mathematical operator applied to two distributions generating a third that describes the overlap between the two when translating one of the original distributions. For example, the distribution generated by  $(e_{i1} * b_{11})$  represents the translation of distribution  $b_{11}$  over distribution  $e_{i1}$ . Figure 3-1 shows an example of temporally differentiated LCI and convolution for a simple system.

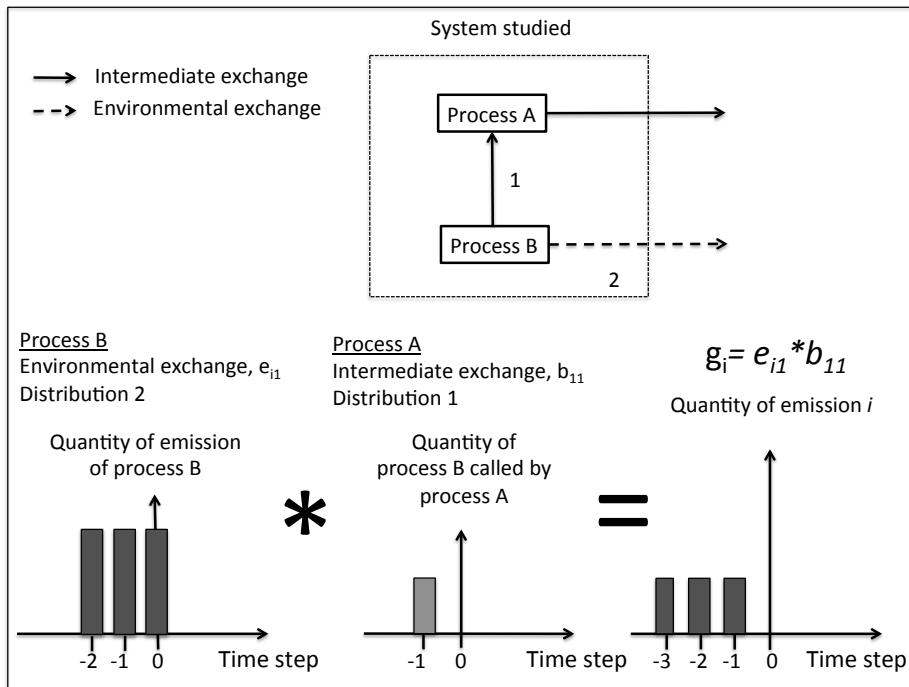


Figure 3-1 Example of temporal distributions required by ESPA method

### 3.2.2.3 Temporal information in LCA

Time-dependent CFs exist, and at least one method to calculate temporally-differentiated LCIs has been set out. However, data is currently lacking to integrate time into LCA. The temporal information generally considered in LCA is often limited to 1) the calendar date and the duration of the studied services, as defined in the goal and scope, 2) the time frames of the life cycle stages and the temporal adequacy of the life cycle inventory (LCI) data, and 3) the generic dilution, reaction and residence times of emissions used to calculate the characterization factors, along with the time horizon over which the impacts of the emissions are integrated (Phungrassami, 2008). This information is insufficient to calculate time-dependent life cycle impacts.

The UNEP-SETAC Global Guidance Principles for Life Cycle Assessment Databases recommend additional temporal information in LCI databases (e.g. the moment of extraction or emission within a unit or aggregated process datasets) in order to better describe a process or an emission in LCIA and enable broader applications (UNEP, 2011). Seasonal specific unit processes have begun to appear in the ecoinvent v.3 database (Weidema et al., 2013). To our knowledge, no database has included exploitable information on the duration of unit processes, the temporal profile of emissions or the timing of purchases of intermediate inputs.

### 3.2.2.4 Objective of this work

The objective of this paper is to evaluate how sensitive dynamic LCA (DLCA) results are to the addition of temporal information to background processes. This sensitivity is measured by comparing the DLCA results when information on timing is considered only for the foreground system to those in which such information is considered for both the foreground and background systems. Impact assessment is limited to global warming, for which time-dependent CFs are readily available (Levasseur et al., 2010). The temporally differentiated LCIs are generated for every product in the ecoinvent v2.2 database (ecoinvent, s.d.) to which simplified process-relative temporal parameters were applied to selected unit processes using the ESPA method.

### 3.2.3 Methodology

The ecoinvent v2.2 database is used in this study as a sample database to which temporal information can be added to generate temporally differentiated LCIs for background systems and as a source of sample product systems. Replacing the final demand vector in equation 1 with  $n \times n$  identity matrix **I** makes it possible to generate as many LCIs as there are products in the database: the generation of 4 034 product systems that are likened, here, to LCA study cases.

In order to add the temporal information required for dynamic global warming impact assessment, unit processes to be adapted from the ecoinvent v2.2 database were identified (section 2.1). Unit processes that are assumed to be of a certain duration were given temporal profiles consisting of phases (e.g. construction, use and demolition are the phases of infrastructure processes). These process-relative temporal phases (section 2.2) are used to estimate the temporal distribution of intermediate and elementary flows. The data required to generate distributions for each temporal phase were collected from various sources (section 2.3). Two sets of dynamic global warming impact scores were computed. For each product system in the ecoinvent v2.2 database, one set only considered temporal information for the foreground system (first two tiers) and the other considered temporal information for the background system as well (13 tiers in all; section 2.4). The two sets were then compared (section 2.5).

### 3.2.3.1 Identification of relevant unit processes for adaptation

#### 3.2.3.1.1 Selection of unit processes

Since adding temporal information to the entire database would be extremely time consuming and, ultimately, probably useless, it was deemed important to determine relevant unit processes for adaptation. For all other unit processes, it was assumed that the emissions and delivery of intermediate flows were instantaneous.

Beloin-Saint-Pierre et al. (submitted) acknowledge that the effort required to enter the information for all unit processes is significant even with the use of the ESPA method. They recommend prioritizing unit processes for which the information would be most relevant, like the method proposed by Collet et al. (2013) who suggest a selection procedure that relies on a sensitivity analysis of the impacts on the temporal variability of environmental and intermediate product flows and on a comparison of the timescales of the selected flows and affected impact categories. Since the selected flows are specific to a product system, the approach cannot be applied to determine the unit processes to which temporal information should be added in a generic LCI database.

In past DLCA studies, the time frame of one year was considered relevant to global warming (Levasseur, Lesage, Margni, Brandão, et al., 2012; Levasseur et al., 2010; Levasseur, Lesage, Margni, & Samson, 2012). Therefore, unit processes for which temporal information must be added are those that collectively and cumulatively result in a one-year difference between time 0 and the time of the emission. Using the systematic disaggregation methodology (Bourgault et al., 2012), it is possible to calculate which supply chain tier must be reached to account for a given share of cradle-to-gate impact scores.

Figure 3-2 shows that the 13th tier of the supply chain must be reached to guarantee that the LCI of any ecoinvent v2.2 product system will account for 99% of the cradle-to-gate global warming impact score. In the extreme case that no temporal overlap occurs over these 13 tiers, all unit processes with a distribution time interval of at least  $52\text{ weeks}/13\text{ tiers} = 4\text{ weeks}$  were selected for temporal adaptation. It should be noted that the minimum distribution time interval that can serve as a criterion to decide whether a unit process should be adapted will be impact category specific since impact categories will differ in the number of tiers required to account for 99% of impacts and the time steps that are relevant.

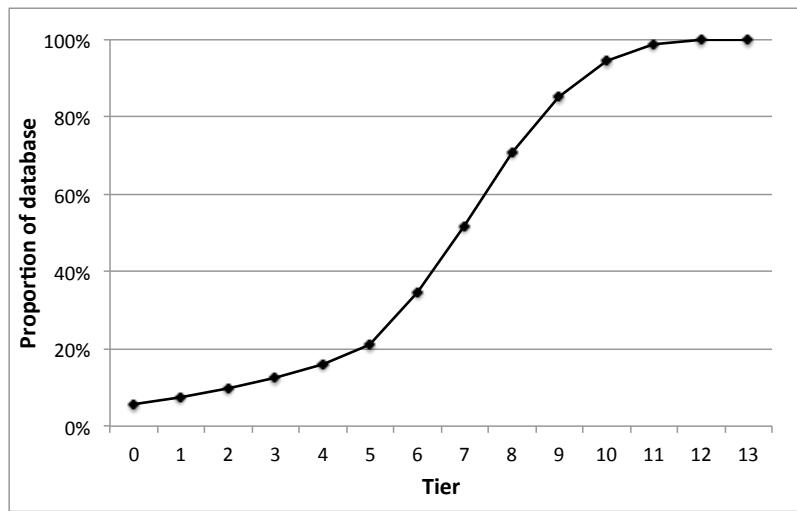


Figure 3-2 Tiers at which ecoinvent v2.2 product systems reach 99% of their respective global warming impact scores with GWPs for 100 years

### 3.2.3.1.2 *Flows described with temporal distributions*

The unit processes for which the temporal distributions of flows were considered non-negligible (i.e. over 4 weeks) were infrastructure processes (14% of the database), crop and forestry (3% of the database), stored products (4% of the database) and disposal to landfills (2% of the database). In the end, temporal information was added to 22% of the database unit processes.

Transport processes, which could conceivably last for more than four weeks, were left out because no reliable conversion from transport units (t.km or pers.km) to time was found. Furthermore, European statistics (eurostat) provide information from which average transport durations by product class could be estimated. None of the durations were over 4 weeks, and transport unit processes were therefore not considered.

Land use and land use change may be responsible for GHG emissions, depending on climatic conditions, site conditions and human activities (IPCC, 2000). However, the information required to consider these issues was not available in the ecoinvent v2.2 database.

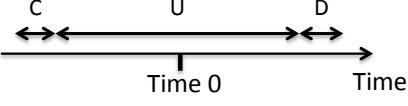
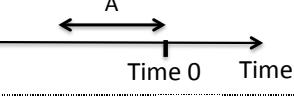
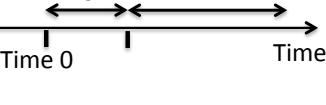
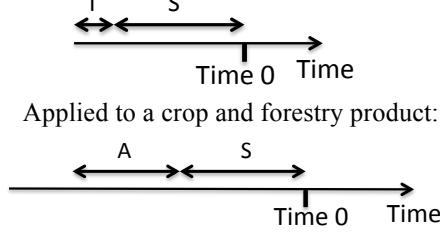
### 3.2.3.2 **Temporal parameters and temporal distributions**

The selected unit processes were split into so-called phases (Tableau 3-1), whereby the duration and the position of a process-specific time 0 can be defined. Carbon uptake was assigned to the crop phase and emissions to air from landfills were assigned to the corresponding emission phase

(Tableau 3-1). Specifically for the disposal to landfills unit processes, wastewater treatment infrastructures were the only intermediate flows that were temporally differentiated.

For the majority of flows, rates of use or of emissions were considered constant over time (e.g. the rate of use of intermediate flows associated with the use phase of an infrastructure process is assumed to be constant for the entire use phase (Tableau 3-1)). The temporal distributions were not assumed to be constant for carbon uptake, which was approximated by a Gaussian function defined by the rotation period of crop or forestry (Cherubini et al., 2011) or for emissions to air from landfill, which were approximated using the SWANA model for traditional landfills (Sich & Barlaz, 2000).

Tableau 3-1 Phases according to unit process category

| <i>Unit process</i>  | <i>Phases</i>  | <i>Legend</i>   |
|----------------------|--|---|
| Infrastructure       |   | C: Construction phase<br>U: Use phase<br>D: Demolition phase                                      |
| Crop and forestry    |   | A: Crop   |
| Landfills            |   | E-ST: Emissions short-term (in the first 100 years)<br>E-LT: Emissions long-term (over 100 years) |
| Product being stored |  <p>Applied to a crop and forestry product:</p> | A: Crop<br>S: Storage<br>T: Transformation of product   |

Since it is quite difficult to know when a required product will be produced in the use phase of an infrastructure, time 0 for infrastructures was considered to occur in the middle of the use phase. The temporal position of time 0, like any other predefined parameter, can be defined by a probability density function in a probabilistic model or refined on a case-by-case basis by the LCA practitioner following a sensitivity analysis and data collection.

The process-relative parameters chosen to represent the temporal phases are described in Tableau 3-2 (see their values for each selected unit process in supplementary material). Landfill unit processes for which we used the ecoinvent temporal phase definitions (short term and long term) were not described with the parameters presented in Tableau 3-2.

Tableau 3-2 Process-relative parameters added to the selected database unit process to determine temporal distributions

| Parameters                      | Description  |
|---------------------------------|--|
| Replacement material proportion | Ratio defining the proportion of intermediate product flows (materials/fuels/electricity) and elementary flows occurring during the construction and use phases, and the ratio of waste occurring during the use and demolition phases |
| Rotation time (h)               | Duration of the crop phase and the associated carbon uptake function   |
| Storage time (h)                | Duration of the storage phase  |
| Construction time (h)           | Duration of the construction phase   |
| Infrastructure occupation (h)   | Duration of the infrastructure use phase   |
| Demolition time (h)             | Duration of the demolition phase   |

### 3.2.3.3 Data collection and integration

Most of the data was collected from ecoinvent v2.2 literature reference documents. When data was not available, assumptions or proxies were used. More information on the assumptions made during data collection is available in the supplementary material.

The temporal parameters were used to define the elements of technological matrix **A** and intervention matrix **E**. Each unit process in the ecoinvent v2.2 database was described with a list of values representing the amount of intermediate or elementary flow for each time step (in this case, four weeks) and a time zero position, which indicates the time step that corresponds to time 0. For example, the environmental exchange of process B in Fig. 1 could be described in traditional LCA with an emission of 3 kg, which, in DLCA, would correspond to the list of values [1; 1; 1]. Time 0 lines up with the third element of the list (position 2 in our code, which

starts indexing list elements at 0). For flows that were considered instantaneous, only the time 0, relative to the time of the instantaneous flow, needed to be defined.

### 3.2.3.4 Computing DLCA

The following steps were applied to implement the DLCA method:

1. For each commodity in the ecoinvent v2.2 database, a “traditional” (i.e. non temporally differentiated) LCI and a corresponding global warming impact score were generated using the matrix inversion approach. The global warming impact was calculated using traditional characterization factors based on GWP100 (Levasseur et al., 2010).
2. For each commodity in the database
  - a. The inventory with temporally differentiated foreground and background processes was generated (tree representation in Figure 3-3a.). For each selected intermediate flow (e.g.  $b_{11}$ , the first intermediate flow of the unit process 1 of tier 0), the elementary flows of the corresponding unit process (e.g.  $e_{i1}$ , for the flow  $i$  of the unit process 1 of tier 1) were scaled according to equation 3.3 (e.g.  $(e_{i1} * b_{11})$  in Figure 3-3a.). The time zero position of these scaled elementary flows was also updated. The addition of the scaled elementary flows generated the temporally differentiated inventory. Unit processes beyond the 13th tier, which, as shown above, can collectively contribute to up to 1% of the global warming scores, were included in the inventory and considered at time 0 of the UP1 of tier 0 (i.e. all emissions from the path were addressed as in traditional LCA). Paths contributing less than a threshold value of  $2 \times 10^{-4}\%$  were also considered at time 0 of the UP1 of tier 0. The threshold value is based on a compromise between the completeness of the temporal information and computation time (see supplementary material for more details). The global warming impact scores were calculated using time-dependent characterization factors for a fixed time horizon of 100 years (i.e. the impacts of emissions occurring at -150 years according the product system time 0 were integrated over 250 years).
  - b. The inventory with only temporally differentiated foreground processes was generated (tree representation at Figure 3-3b.). To generate this temporally differentiated inventory, elementary flows were addressed with the same approach described in 2a, but only until tier 1. The elementary flows of the next tiers were considered instantaneous, occurring at the

time specified by unit processes in tier 1. The global warming impact scores were calculated using time-dependent characterization factors for a fixed time horizon of 100 years.

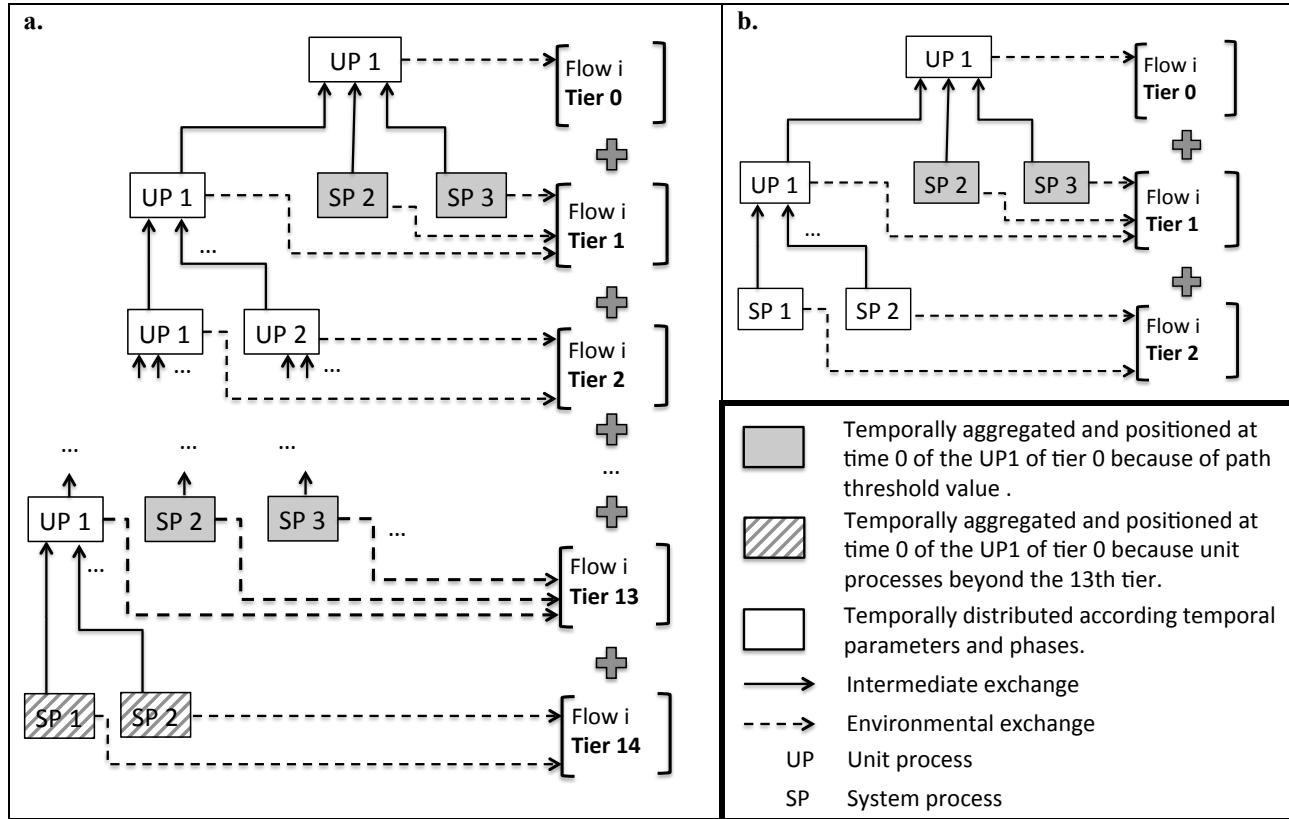


Figure 3-3 Example of elementary flows, system (i.e. aggregated) processes (SP) and unit processes (UP) considered when generating the temporally differentiated LCI of a product system with a) background processes temporally differentiated until the 13th tier or with b) only temporally differentiated foreground processes

### 3.2.3.5 Systematic comparisons

Dynamic global warming impacts for each of the product systems in the ecoinvent v.2.2 database were compared in order to determine whether the temporal differentiation of background processes significantly affects the results. The comparison is carried out with the normalized gap of impacts (Ngap) of each product system:

$$Ngap = \text{abs} \left[ \frac{(\text{Impacts with temp.diff.background} - \text{Impacts with temp.diff.foreground})}{\text{Impacts with temp.diff.foreground}} \right] \quad (3.4)$$

The most affected process categories reveal the type of study cases that would benefit from this type of information in LCI databases.

### 3.2.4 Results and discussion

For 29.1% of the database product systems, the normalized gap of the global warming impact is over 1%, as shown in Figure 3-4. For most of these, considering temporal information in the background unit processes decreased the global warming impact scores because of the high sensibility to carbon uptake temporal differentiation. According to the rule of thumb of 10% defining a significant difference between global warming scores suggested by Humbert et al. (2009), the temporal differentiation of background processes significantly affects the LCA scores for 8.6% of the database product systems.

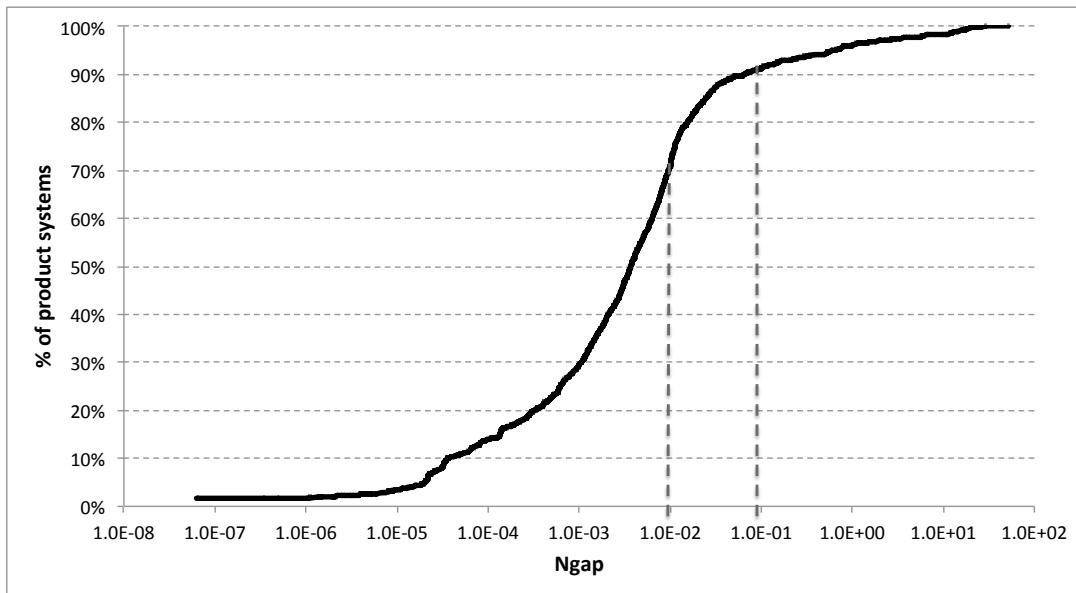


Figure 3-4 Cumulative proportion of database product systems based on the normalized gap of impacts (Ngap)

The product systems that are most sensitive to the temporal differentiation of background unit processes are from the wood sector (e.g. wood products, paper and board material) and those using wood products (e.g. energy from wood). The infrastructure, electricity, biofuels, processing and chemicals categories were also sensitive to the temporal differentiation of the background (see Figure 3-5). Again, this is due to the high influence of carbon uptake on the climate change category scores.

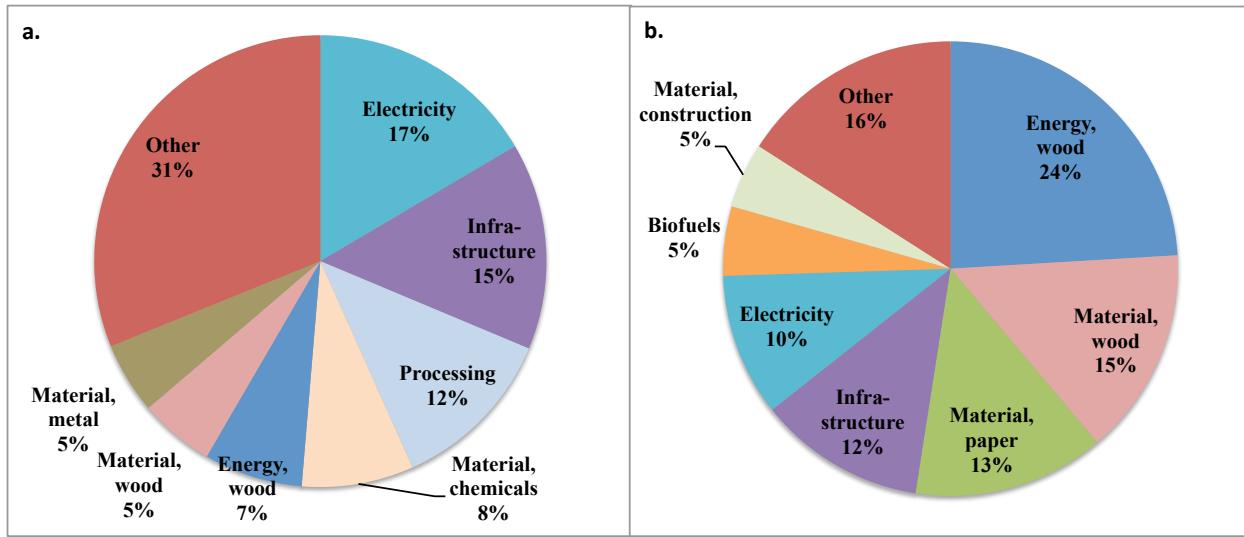


Figure 3-5 Categorization of product systems with a normalized gap (Ngap) a) over 1% (29.1% of database product systems) and b) over 10% (8.6% of database product systems)

In Figure 3-6, the year relative to the product system time 0 at which 90% of impacts are reached is shown for each product system with an Ngap over 1%. This year is far in the negative (over 100 years) in some cases due to the high crop rotation of softwood (150 years). Impact profiles of product systems are presented as examples in Figure 3-7. Profiles with and without background differentiation are more different in the cases of wood chip, wood wool, cement plant and paper processes because of a high amount of wood products in supply chain backgrounds.

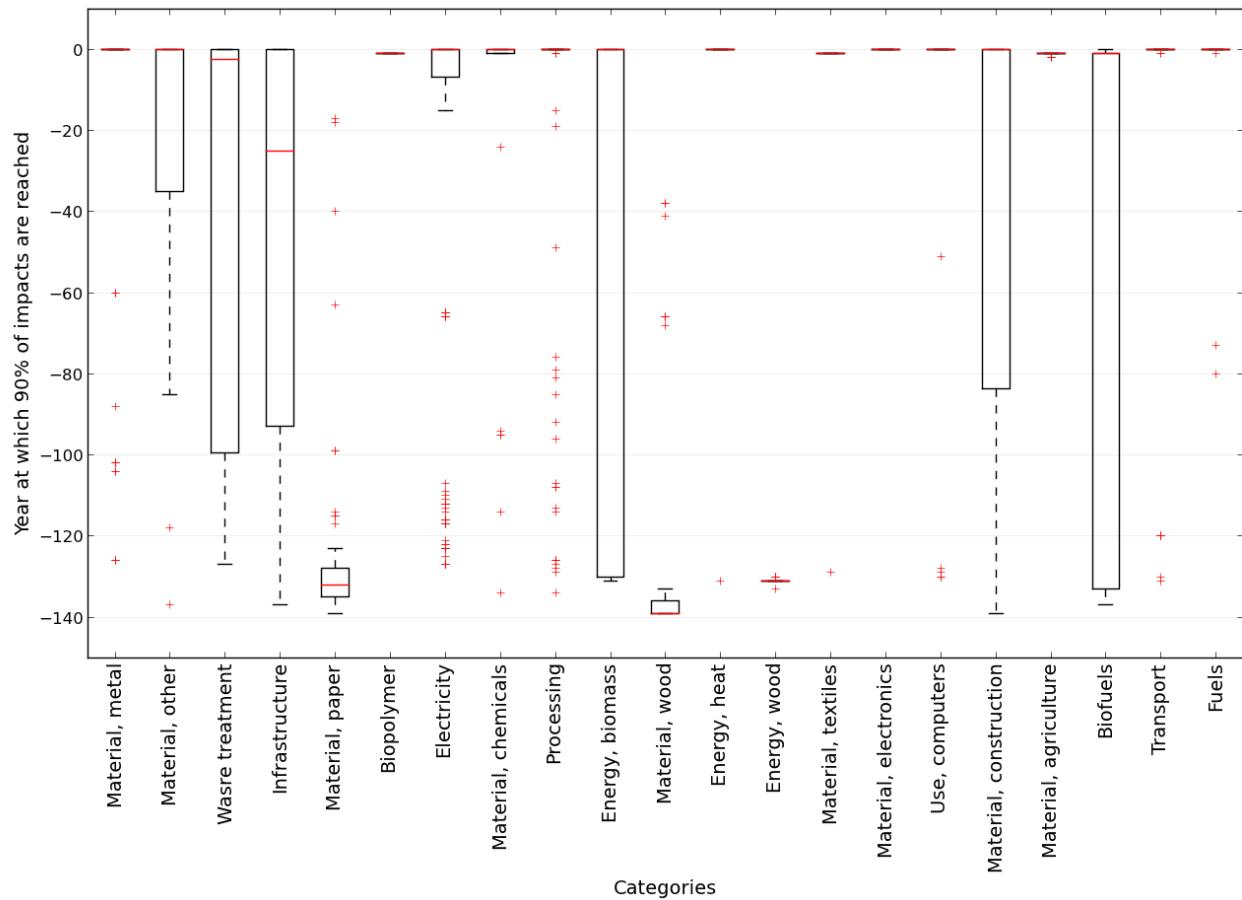


Figure 3-6 Year relative to the product system time 0 at which 90% of a product system impact score are reached for product systems with a normalized gap (Ngap) over 1%

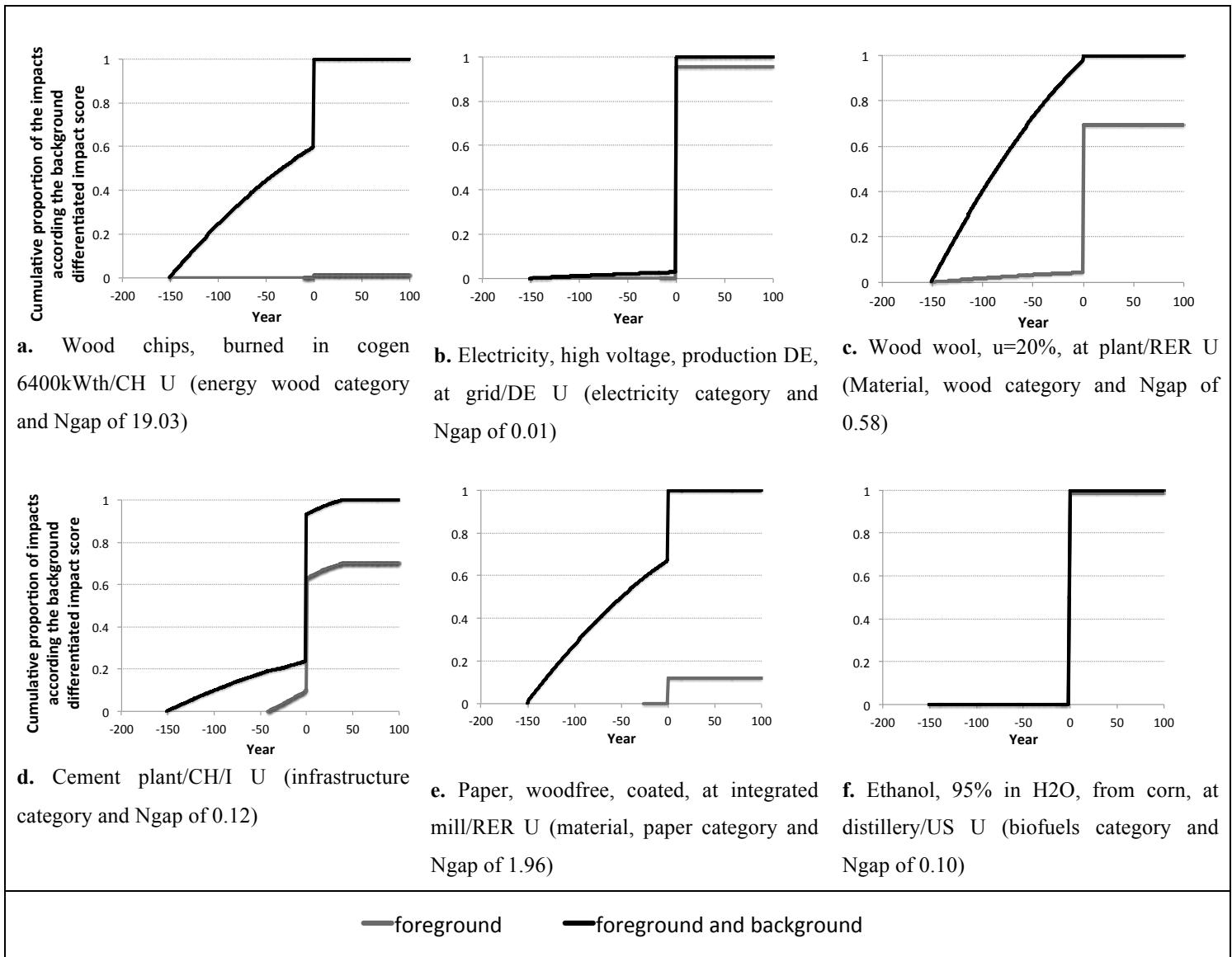


Figure 3-7 Profiles of dynamic impacts

### 3.2.5 Conclusions

Considering the sometimes significant difference between dynamic results with and without background process differentiation, adding temporal information to unit processes in LCI databases would enable a more accurate global warming impact assessment, at least in some cases. According to the results presented above, the enhancement would benefit LCAs in which products of biomass are present in substantial amounts.

Collecting sufficient temporal information to differentiate background unit processes is not an easy task and therefore cannot be expected to be carried out for specific LCA studies. We

recommend centralizing the collection and inclusion of this type of data by making it the responsibility of database providers. The integration of process-relative temporal parameters into LCI databases would limit the time and effort required to inform about the moment when intermediate and elementary flows occur. Since values of Ngap were mostly sensitive to rotation time and infrastructure parameters, they should be prioritized for further work and for integration in databases. However, the time step used in this study was relevant for the global warming impact category and may therefore need to be refined to cater to other impact categories.

The temporal information discussed in this paper for LCI databases would also facilitate the implementation of DLCA by practitioners. This increase in the level of operationalization could, hopefully, lead the method's broader use by LCA analysts.

### 3.2.6 Acknowledgments

The International Life Cycle Chair (a research unit of the CIRAIG) would like to acknowledge the financial support of its industrial partners: ArcelorMittal, Bell Canada, Bombardier, Cascades, Eco Entreprises Québec, Groupe EDF, GDF SUEZ, Hydro-Québec, Johnson & Johnson, LVMH, Michelin, Mouvement des caisses Desjardins, Nestlé, RECYC-QUÉBEC, Rio Tinto Alcan, RONA, SAQ, Solvay, Total, Umicore and Veolia Environnement

### 3.2.7 References

- Bare JC, Pennington DW, Udo de Haes HA (1999) Life cycle impact assessment sophistication. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 4 (5):299-306
- Beloin-Saint-Pierre D, Heijungs R, Blanc I (submitted) The ESPA method: A solution to an implementation challenge of dynamic life cycle assessment studies. *The International Journal of Life Cycle Assessment*
- Bourgault G, Lesage P, Samson R (2012) Systematic disaggregation: a hybrid LCI computation algorithm enhancing interpretation phase in LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 17 (6):1-13
- Cherubini F, Peters GP, Berntsen T, Stromman AH, Hertwich E (2011) CO<sub>2</sub> emissions from biomass combustion for bioenergy: atmospheric decay and contribution to global warming. *GCB Bioenergy* 3 (5):413-426
- Collet P, Lardon L, Steyer J-P, Hélias A (2013) How to take time into account in the inventory step: a selective introduction based on sensitivity analysis. *The International Journal of Life Cycle Assessment*:1-11. doi:10.1007/s11367-013-0636-7
- Cucurachi S, Heijungs R, Ohlau K (2012) Towards a general framework for including noise impacts in LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 17 (4):471-487
- ecoinvent The ecoinvent database. <http://www.ecoinvent.org/database/>. Accessed August 2013

- European Commission (2011) International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook, Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context. Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability Publications Office of the European Union, Luxembourg
- eurostat Transport database. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/transport/data/database>. Accessed September 2013
- Hauschild MZ, Udo de Haes H, Finnveden G, Goedkoop M, Hertwich E, Hofstetter P, Klöpffer W, Krewitt W, Lindeijer E (2002) Life Cycle Impact Assessment: Striving towards best practice.
- Huijbregts MAJ, Guinee JB, Reijnders L (2001) Priority assessment of toxic substances in life cycle assessment. III: Export of potential impact over time and space. *Chemosphere* 44 (1):59-65
- Humbert S, Rossi V, Margni M, Jolliet O, Loerincik Y (2009) Life cycle assessment of two baby food packaging alternatives: glass jars vs. plastic pots. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 14 (2):95-106
- IPCC (2000) Land Use, Land-use Change and Forestry. Cambridge, UK
- ISO (2006a) ISO14040 Environmental management-Life cycle assessment-Principles and framework.
- ISO (2006b) ISO14044 Environmental management-Life cycle assessment-Requirements and guidelines.
- Kendall A, Chang B, Sharpe B (2009) Accounting for time-dependent effects in biofuel life cycle greenhouse gas emissions calculations. *Environmental science & technology* 43 (18):7142-7147
- Kendall A, Price L (2012) Incorporating time-corrected life cycle greenhouse gas emissions in vehicle regulations. *Environmental science & technology* 46 (5):2557-2563
- Lebailly F, Levasseur A, Samson R, Deschênes L Considering temporal variability for the characterization of metals aquatic ecotoxicity impacts in LCA. In: 23rd SETAC Europe, Glasgow, Scotland, 2013.
- Levasseur A, Brandão M, Lesage P, Margni M, Pennington D, Clift R, Samson R (2011) Valuing temporary carbon storage. *Nature Climate Change* 2 (1):6-8
- Levasseur A, Lesage P, Margni M, Brandão M, Samson R (2012a) Assessing temporary carbon sequestration and storage projects through land use, land-use change and forestry: comparison of dynamic life cycle assessment with ton-year approaches. *Climatic Change* 115 (3-4):1-18. doi:10.1007/s10584-012-0473-x
- Levasseur A, Lesage P, Margni M, Deschênes L, Samson R (2010) Considering time in LCA: Dynamic LCA and its application to global warming impact assessments. *Environmental science & technology* 44 (8):3169-3174
- Levasseur A, Lesage P, Margni M, Samson R (2012b) Biogenic carbon and temporary storage addressed with dynamic life cycle assessment. *Journal of Industrial Ecology* 17 (1)
- Manne R, Margni M, Deschênes L (2012) Evaluating the relevance of seasonal differentiation of human health intake fractions in life cycle assessment. *Integrated Environmental Assessment and Management* 8 (4):749-759
- O'Hare M, Plevin RJ, Martin JI, Jones AD, Kendall A, Hopson E (2009) Proper accounting for time increases crop-based biofuels' greenhouse gas deficit versus petroleum. *Environmental Research Letters* 4:024001

- Peters GP (2007) Efficient algorithms for life cycle assessment, input-output analysis, and Monte-Carlo analysis. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 12 (6):373-380
- Phunggrassami H (2008) A Review of Time Consideration in Life Cycle Assessment. *Global Journal of Environmental Research* 2 (2):62-65
- Potting J, Schöpp W, Blok K, Hauschild M (1998) Site-Dependent Life-Cycle Impact Assessment of Acidification. *Journal of Industrial Ecology* 2 (2):63-87
- Reap J, Roman F, Duncan S, Bras B (2008) A survey of unresolved problems in life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 13 (5):374-388. doi:10.1007/s11367-008-0009-9
- Shah VP, Ries RJ (2009) A characterization model with spatial and temporal resolution for life cycle impact assessment of photochemical precursors in the United States. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 14 (4):313-327
- Sich B, Barlaz M (2000) Life-Cycle Inventory of Landfill Gas. In: *Process Model Documentation: Calculation of the Cost and Life-Cycle Inventory for Waste Disposal in Traditional, Bioreactor and Ash Landfills*. North Carolina State University, p 225
- Suh S, Heijungs R (2007) Power series expansion and structural analysis for life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 12 (6):381-390. doi:10.1065/lca2007.08.360
- UNEP (2011) *Global Guidance Principles for Life Cycle Assessment Databases A Basis for Greener Processes and Products*.
- Weidema B, Bauer C, Hischier R, Mutel C, Nemecek T, Reinhard J, Vadenbo C, Wernet G (2013) Overview and methodology: Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. St Gallen, ecoinvent (1)

## CHAPITRE 4 RÉSULTATS COMPLÉMENTAIRES

### 4.1 Méthode Monte-Carlo pour l'âge des infrastructures

Dans le modèle présenté, l'âge attribué aux infrastructures a été défini de manière déterministe et est égal à la moitié de la durée de vie. On peut par ailleurs évaluer l'incertitude des résultats d'un système de produits associée au manque d'information sur l'âge des infrastructures à l'aide de la méthode Monte-Carlo. Pour ce faire, l'âge de chaque infrastructure de la base de données a été décrit par une variable aléatoire entre le minimum et le maximum possibles de son âge. Les paramètres temporels prédéfinis, c'est-à-dire un âge minimum de 0, un âge maximum équivalant à la durée totale de l'occupation et une distribution uniforme de la probabilité des valeurs, ont donc défini cette fenêtre d'âges possibles.

La sensibilité des résultats a été étudiée pour une étude de cas : 1 kWh du système de produits de la base de données ecoinvent v.2.2 « Electricity, hydropower, at power plant/IT ». L'impact sur le réchauffement climatique de ce système de produits a été évalué avec l'ACV dynamique d'avant et d'arrière-plan, d'abord à l'aide de la valeur déterministe de l'âge des infrastructures. Le résultat d'impact pour le système à l'étude s'est alors élevé à 1,4015 g CO<sub>2</sub> - eq. L'étude Monte-Carlo sur 1000 itérations a révélé une distribution de résultats s'étalant sur 8,3%, présentée à la Figure 4-1. L'impact du système de produits est tout de même sensible à l'âge de ses infrastructures. L'incertitude des résultats associée à la distribution de probabilité des paramètres temporels pourrait aussi être quantifiée par une analyse Monte-Carlo, si la distribution de probabilité de chacun des paramètres était d'abord identifiée.

Dans le cas où l'analyse Monte-Carlo révèlerait que la robustesse des résultats n'est pas suffisante dans le contexte de l'étude, une analyse de contribution sur les infrastructures les plus contributrices à l'impact pourrait être réalisée afin d'identifier les processus élémentaires pour lesquels les paramètres d'âge minimum et d'âge maximum devraient être raffinés.

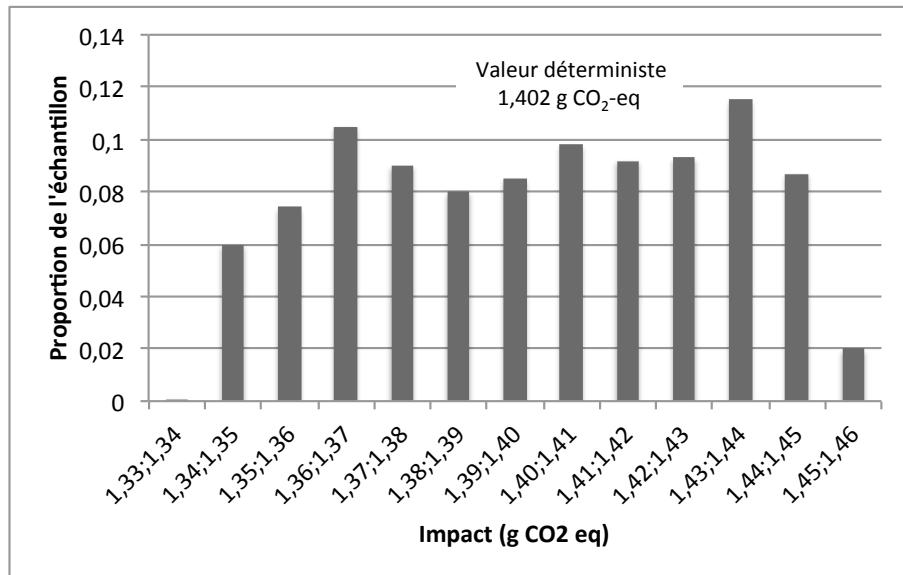


Figure 4-1. Résultats d'impact sur le réchauffement climatique du Monte-Carlo réalisé sur l'âge des infrastructures d'avant et d'arrière-plan pour le système de produits « Electricity, hydropower, at power plant/IT »

## 4.2 Résultats d'avant-plan et ACV traditionnelle

Il est intéressant d'identifier les systèmes de produits de la base de données ecoinvent v2.2 les plus affectés par l'ACV dynamique dont seuls les processus élémentaires en avant-plan sont différenciés temporellement, en comparaison à l'ACV traditionnelle. En effet, cette comparaison révèle que les secteurs les plus affectés par l'utilisation de l'ACV dynamique d'avant-plan (Figure 4-2) se retrouvent aussi dans les catégories identifiées lors de la comparaison des résultats obtenus par l'ACV dynamique d'avant et d'arrière-plan et ceux obtenus par l'ACV dynamique d'avant-plan (Figure 4-3). Cela signifie que les secteurs déjà identifiés pertinents pour l'utilisation de l'ACV dynamique d'avant-plan sont aussi pertinents pour l'utilisation de l'ACV dynamique d'avant et d'arrière-plan.

Par ailleurs, certaines catégories de systèmes de produits ayant des résultats peu sensibles à l'ACV dynamique d'avant-plan ont des résultats sensibles à l'ACV dynamique d'avant et d'arrière-plan. Les plus importantes sont : « énergie, bois », « électricité », « matériaux, métal » et « utilisation, ordinateurs ». Il est intéressant de noter que ces catégories ont une part significative (0,38) des systèmes de produits ayant un écart de résultats (Ngap) au-delà de 10%. On constate donc que l'ACV dynamique différentiant temporellement les processus élémentaires

d'avant et d'arrière-plan, en plus d'influencer les résultats obtenus en ACV dynamique d'avant-plan, identifie de nouveaux secteurs auxquels l'application de cette méthodologie pourrait être profitable.

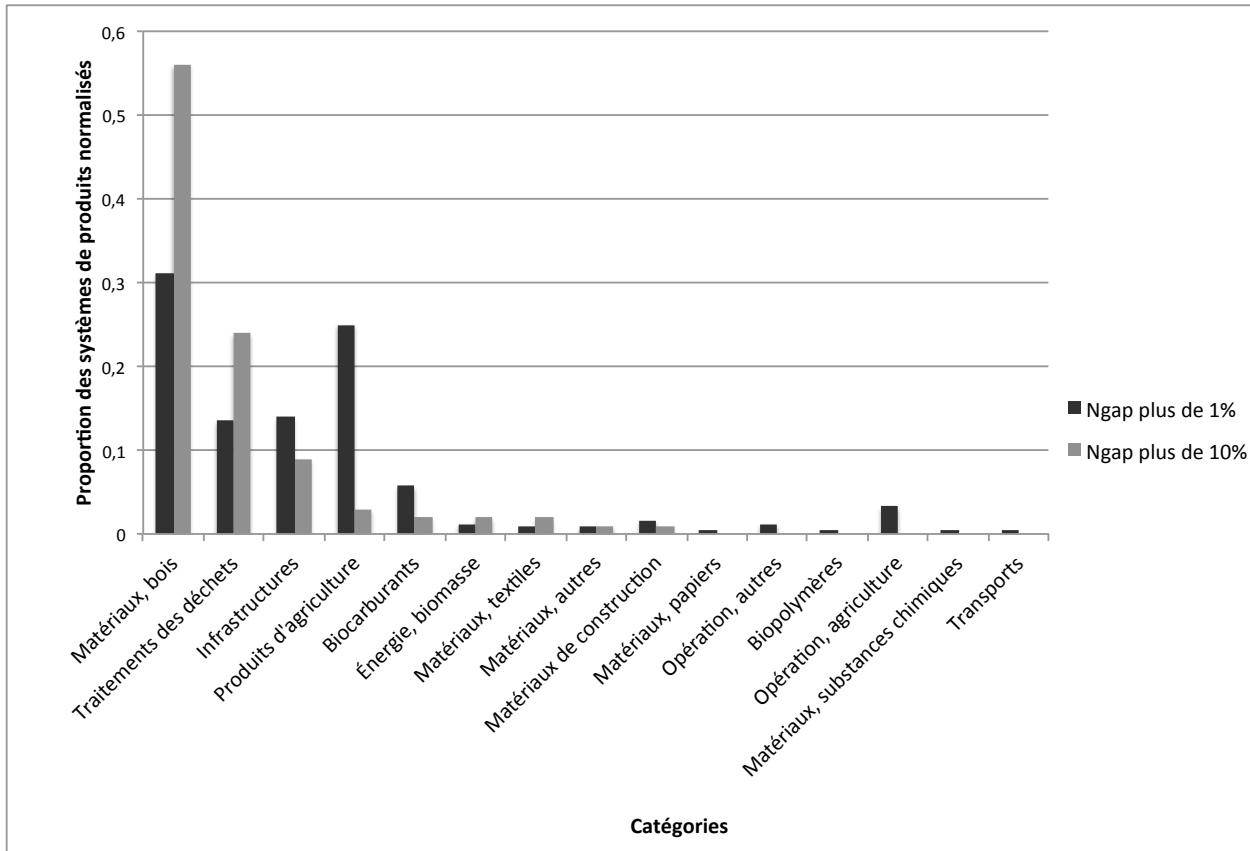


Figure 4-2. Systèmes de produits ayant un écart de résultats (Ngap) au-delà de 1% (6,0% des systèmes de produits) et de 10% (2,5% des systèmes de produits) pour la comparaison des résultats obtenus par l'ACV dynamique d'avant-plan et l'ACV traditionnelle.

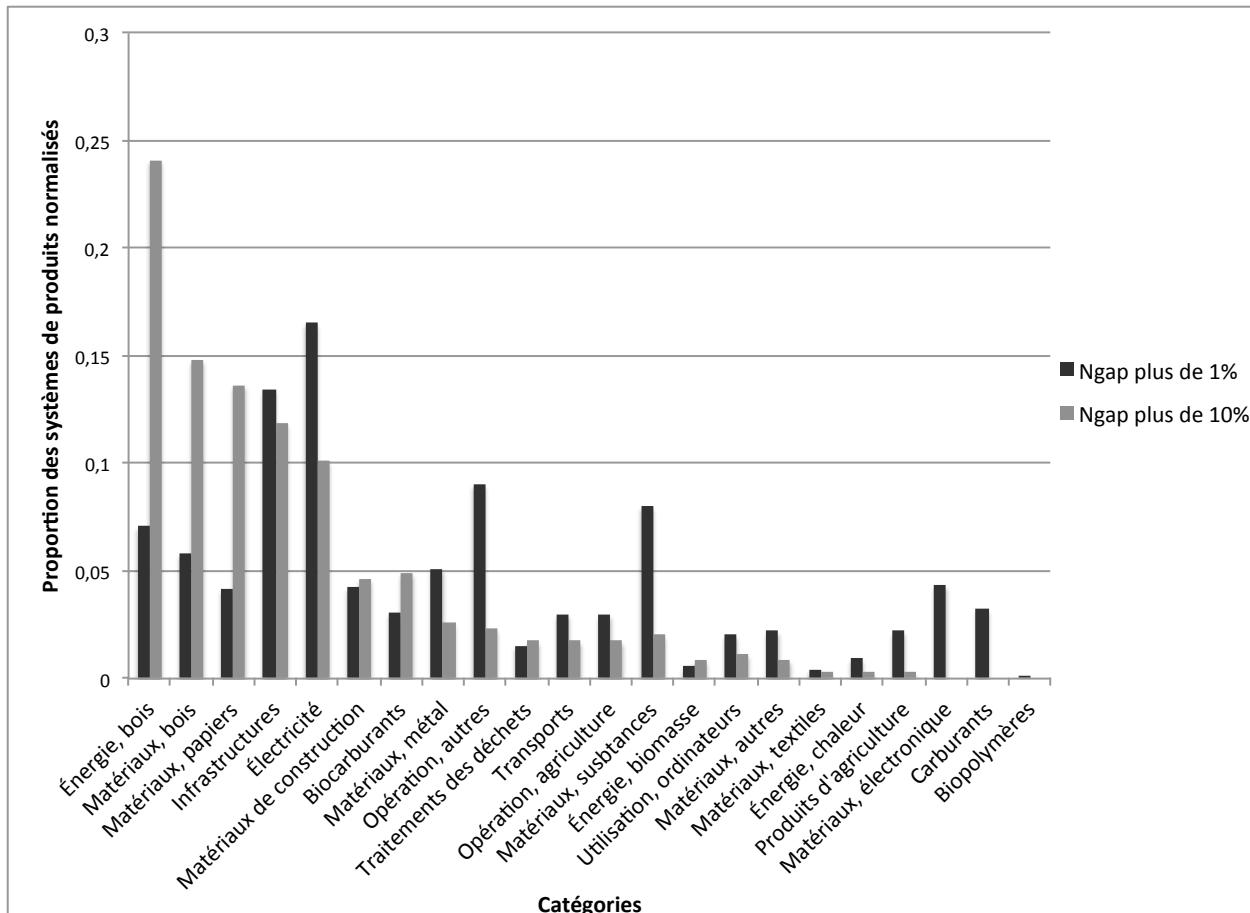


Figure 4-3. Systèmes de produits ayant un écart de résultats (Ngap) au-delà de 1% (29,1% des systèmes de produits) et de 10% (8,6% des systèmes de produits) pour la comparaison des résultats obtenus par l'ACV dynamique d'avant et d'arrière-plan et l'ACV dynamique d'avant-plan.

## CHAPITRE 5 DISCUSSION GÉNÉRALE

### 5.1 Atteinte de l'objectif de recherche

Pour les systèmes de produits de la base de données ecoinvent v2.2, les écarts entre les résultats d'impacts sur le réchauffement climatique pour un horizon de temps de 100 ans selon l'ACV dynamique d'avant-plan et l'ACV dynamique d'avant et d'arrière-plan ont été de plus de 10% dans 8,6% des cas (Chapitre 3). La différentiation temporelle des processus en arrière-plan pour ces systèmes de processus a donc été importante. Les écarts se sont montrés plus marqués pour des systèmes de produits des catégories : « Énergie, bois », « Matériaux, bois », « Matériaux, papiers », « Infrastructure » et « Électricité ». L'objectif de recherche étant de montrer l'importance ou non d'ajouter de l'information temporelle aux processus en arrière-plan des systèmes de produits pour les résultats en ACV dynamique a donc été atteint.

### 5.2 Limites des résultats

#### 5.2.1 Limite du modèle

##### 5.2.1.1 Incertitudes des paramètres temporels

Les paramètres temporels propres à chaque processus élémentaire, utilisés pour la définition des phases temporelles, ont été définis par une collecte de données dans la littérature et par des estimations (« proxy »). Toutefois, les incertitudes quant à ces valeurs n'ont pas été quantifiées. Afin de vérifier la robustesse des résultats, le praticien ACV pourrait procéder à des analyses de contribution conjointement à des analyses de sensibilité sur les paramètres. De cette manière, il est possible d'adapter les paramètres temporels aux spécificités des études de cas.

##### 5.2.1.2 Incohérence pour certaines valeurs d'impacts calculé en ACV dynamique d'avant-plan

Pour les résultats d'impacts calculés à l'aide de l'ACV dynamique d'avant-plan, seuls les paramètres temporels des processus élémentaires du niveau 0 et 1 ont été considérés. De cette manière, les résultats sont très sensibles à l'élaboration des systèmes de produits. Par exemple, plusieurs systèmes de produits de la base de données ecoinvent v2.2 ont un flux économique

entrant qui est une correction d'allocation (p. ex. « Hardwood, allocation correction 1 »). Ce flux ajuste à la baisse la quantité de carbone pris de l'environnement pour un système de produits issu d'une production multifonctionnelle. Par exemple, la production de contreplaqué produit à la fois du contreplaqué et des résidus de bois. La correction d'allocation corrige l'imputation économique préalablement réalisée afin de tenir compte du bilan de masse entre les coproduits.

Pour ces systèmes de produits, ce flux se retrouve au niveau 0 et cette « émission » de carbone est distribuée temporellement. Toutefois, ce n'est pas le cas des autres processus élémentaires en arrière-plan du système de produits faisant intervenir l'absorption de carbone. Les résultats d'impacts, alors calculés à l'aide de la méthode d'avant-plan, sont beaucoup plus élevés que l'impact obtenu en ACV traditionnelle. Cette incohérence n'est pas présente lors du calcul de l'impact à l'aide de l'ACV d'avant et d'arrière-plan comme les paramètres temporels des 13 premiers niveaux sont considérés et que les principaux processus élémentaires responsables de l'absorption de carbone s'y trouvent.

Ce sont 55 systèmes de produits de la catégorie « Matériaux, bois » qui sont affectés par cette incohérence et 4 systèmes de produits de la catégorie « Matériaux de construction ». Leurs écarts (Ngap) sont présentés à la Figure 5-1. Compte tenu des Ngap assez élevées (plus de 10% dans 56% des cas), cette incohérence a affecté les écarts d'impacts à la hausse.

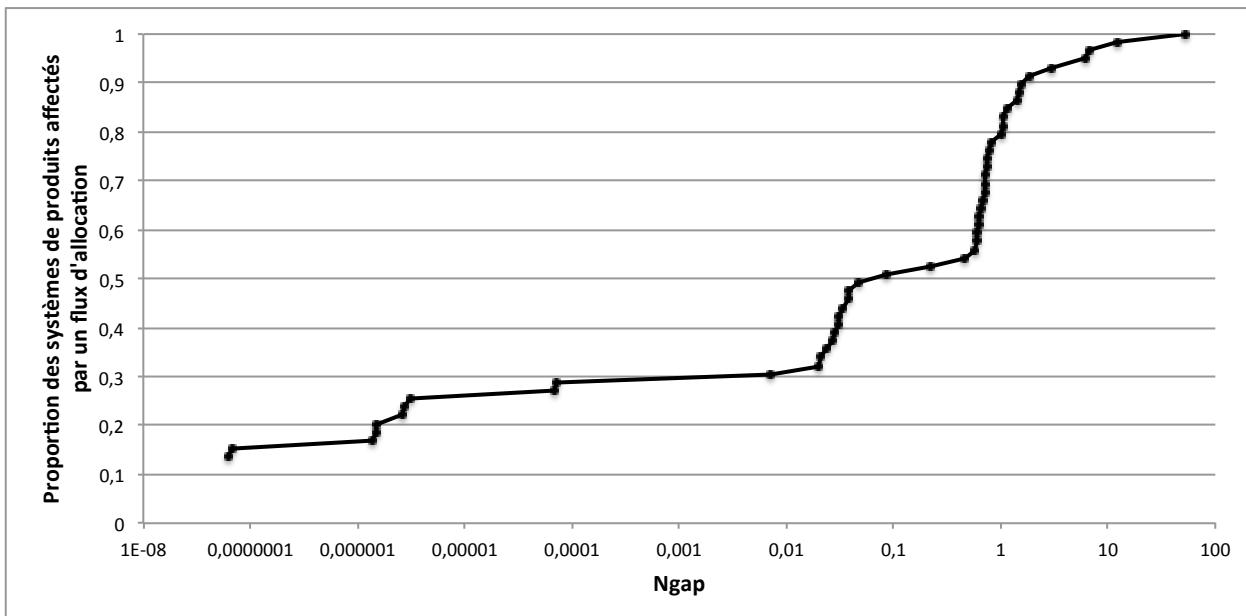


Figure 5-1. Proportion cumulative des écarts d'impacts (Ngap) des systèmes de produits affectés par un flux d'allocation d'absorption de carbone.

### 5.2.1.3 Proportion des flux distribués temporellement pour l'ACV dynamique d'avant et d'arrière-plan

Au sein des 13 premiers niveaux de la chaîne de produits, seuls les flux élémentaires et économiques des branches ayant une contribution à l'impact au-delà du critère établi de  $2 \times 10^{-4}\%$  ont été différentiés temporellement. Les flux non différentiés ont été estimés au temps 0 du système de produit à l'étude; tels qu'ils l'auraient été selon l'ACV traditionnelle. Cette estimation a permis de maintenir le temps de calculs raisonnable, ce qui n'était pas le cas si les flux non différentiés avaient été plutôt estimés « instantanés », soit au temps 0 de leur processus élémentaire. La Figure 5-2 montre la proportion de l'impact en absolu attribuable aux flux élémentaires différentiés temporellement pour chacun des systèmes de produits. Pour la plupart des systèmes de produits, la majorité des impacts calculés sont attribuables aux flux différentiés temporellement (83% des systèmes de produits ont une proportion de plus de 95%). On remarque toutefois, que pour 2,3% des systèmes de produits, 90% et moins des impacts étaient attribuable à l'inventaire des flux différentiés temporellement.

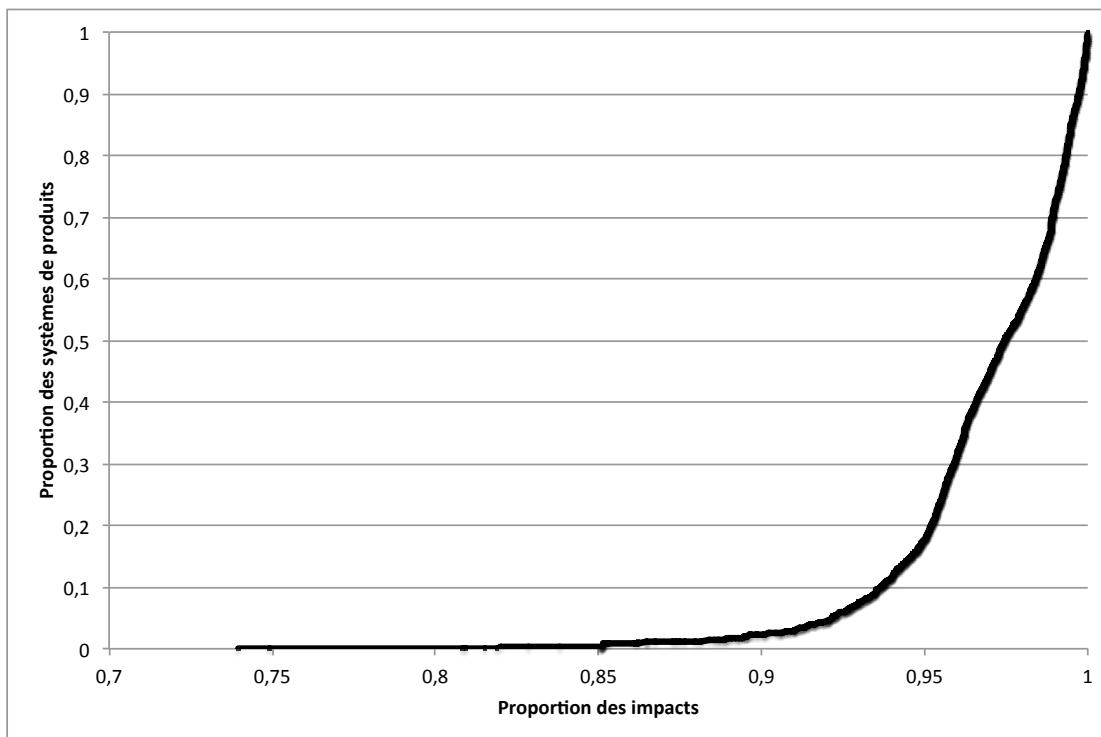


Figure 5-2. Proportion cumulative des impacts attribuable aux flux différentiés temporellement

#### 5.2.1.4 Catégorie d'impacts étudiée

L'objectif de recherche n'a été étudié que pour la catégorie d'impacts réchauffement climatique sur un horizon de temps fixe de 100 ans. Grâce au développement de nouveaux facteurs de caractérisation dynamiques pour l'écotoxicité aquatique des métaux (Lebailly et al., 2013), la méthodologie utilisée pourrait être adaptée pour étudier l'objectif de recherche aussi pour cette catégorie d'impacts. L'utilisation de ces nouveaux facteurs, élaborés aussi pour des pas de temps d'un an, nécessiterait par ailleurs la considération temporelle des émissions des métaux dans l'eau, dans l'air et dans le sol.

#### 5.2.2 Limite des études de cas

L'utilisation de 4034 systèmes de produits pour l'atteinte de l'objectif de recherche a entraîné une analyse portant sur des catégories de systèmes variées (infrastructures, phase d'utilisation, matériels, opération, etc.). D'un autre côté, l'analyse d'une étude de cas spécifique aurait permis une analyse de contribution exhaustive, validant la possibilité pour le praticien ACV de raffiner les données d'arrière-plan si celles-ci ont une influence sur les conclusions de l'étude.

### 5.3 Recommandations générales aux bases de données

#### 5.3.1 Pertinence de la différentiation temporelle d'arrière-plan

Les résultats présentés aux Chapitre 3 et Chapitre 4 ont montré une grande sensibilité des résultats d'impacts sur le réchauffement climatique à la différentiation temporelle en arrière-plan; l'écart normalisé (Ngap) des résultats était de plus de 10% pour 8,6% des systèmes de produits de la base de données. Cela a montré que pour une plus grande exactitude des résultats en ACV dynamique, le profil temporel des émissions et extractions des processus élémentaires d'arrière-plan devrait aussi être pris en considération lors de l'ÉICV sur le réchauffement climatique. Il revient aux bases de données ICV d'intégrer de nouveaux paramètres temporels, tels que ceux proposés (Chapitre 3), celles-ci étant déjà utilisées pour la modélisation des processus d'arrière-plan lors d'études ACV.

Il est difficile de discuter si l'effort à fournir par les développeurs de bases de données pour l'intégration des paramètres temporels serait justifié par une quantité d'études de cas affectée. En effet, les bases de données ICV donnent accès à des données relatives à des processus. Pour

pouvoir prétendre que l'effort est justifié, il faudrait pouvoir connaître les études de cas qui sont réalisées à partir de ces données. L'échantillon de systèmes de produits déduit des processus de la base de données ecoinvent v2.2 n'est effectivement pas représentatif des secteurs d'études des utilisateurs de bases de données ICV.

### 5.3.2 Règles de modélisation recommandées

L'utilisation d'une base de données en tant que systèmes de produits a révélé certains aspects de modélisation présents dans la base de données ecoinvent v2.2 rendant difficile la cohérence pour les considérations temporelles proposées :

- Ne pas modéliser certains processus élémentaires d'infrastructures par d'autres infrastructures (situation à éviter à la Figure 5-3);

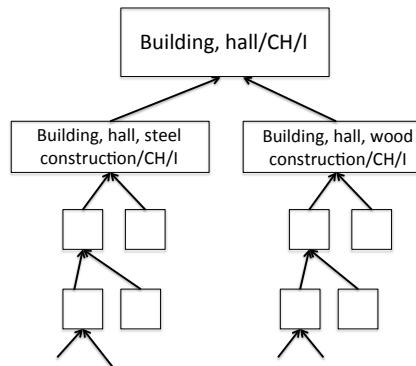


Figure 5-3 Exemple d'arbre de processus pour une infrastructure

Seuls les paramètres temporels de l'infrastructure à modéliser devraient être considérés (Building, hall/CH/I par l'exemple). Afin d'éviter le risque d'un double-comptage temporel en considérant aussi les paramètres temporels des processus élémentaires d'infrastructures utilisés pour la modélisation (Building, hall, steel construction/CH/I et Building, hall, wood construction/CH/I), les processus élémentaires d'infrastructures basés sur d'autres processus élémentaires d'infrastructures devraient incorporer les flux entrants et sortants de ceux-ci et non leur produit sortant (infrastructure).

- Ne pas modéliser certains processus élémentaires par d'autres processus élémentaires auxquels une quantité de flux est par la suite soustraite;

Cette situation peut entraîner des incohérences temporelles comme les flux soustraits ne se retrouvent pas au même niveau de la chaîne de produits que les flux à soustraire.

- Les données de transport ne devraient pas être agrégées.

L'information concernant les produits transportés et la séquence de transport (transports séquentiels ou simultanés) manque afin de déterminer les temps de transport. Idéalement, la durée de transport devrait être assignée à chaque produit. Les transports répondant alors au critère de durée de 4 semaines pourraient alors être considérés pour la différentiation temporelle.

Finalement, compte tenu de l'importance pour le praticien ACV de raffiner les données d'arrière-plan concernant les paramètres temporels (p. ex. âge des infrastructures, section 4.1), la différentiation temporelle des processus élémentaires d'arrière-plan ne semble possible que pour les bases de données désagrégées. Il est donc recommandé de rendre disponible les données désagrégées aux praticiens ACV.

### 5.3.3 Distribution temporelle pour la différentiation saisonnière et diurne

La représentation des distributions temporelles utilisées pour l'inventaire dynamique pourrait aussi être utilisée pour la différentiation saisonnière et diurne. En effet, la notation qui a été utilisée pour l'inventaire dynamique décrit chacun des flux par :

- une liste de chiffre [x, y, z, etc.], où chaque élément de la suite est la quantité de flux intervenant au pas de temps;
- un temps 0, signifiant la position du temps 0 dans la liste de chiffres.

Pour la différentiation saisonnière et diurne, les flux pourraient être décrits par une liste de chiffres, où cette fois-ci chaque élément de la suite serait la quantité de flux intervenant à une phase (diurne ou saisonnière). Par exemple, si un flux est caractérisé par un facteur de caractérisation spécifique au jour ou à la nuit, celui-ci serait décrit dans l'inventaire par une liste (p. ex. [0,1; 0,02]) exprimant la quantité de flux émise le jour (0,1 unité) et la quantité de flux émise la nuit (0,02 unité). Dans ce cas, les distributions seraient mises à l'échelle par une multiplication, plutôt que par le produit de convolution utilisé pour l'inventaire dynamique.

## 5.4 Recommandations aux praticiens ACV

Les systèmes identifiés dont les résultats ACV en réchauffement climatique sont sensibles à la différentiation temporelle de l’arrière-plan sont principalement issus des secteurs :

- « Énergie, bois »;
- « Matériaux, bois »;
- « Matériaux, papiers »;
- « Infrastructure »;
- « Électricité »;
- « Biocarburants »;
- « Matériaux, construction ».

Les praticiens réalisant une ACV dynamique sur un système de produits étant issu d'un de ces secteurs devraient différentier temporellement l’arrière-plan du système. Ceux-ci devraient prioriser la considération des profils temporels de l’arrière-plan issus de la phase d’agriculture et de foresterie compte tenu que les résultats ACV étaient davantage sensibles au paramètre de temps de rotation des cultures.

## CHAPITRE 6 CONCLUSION

L'objectif de recherche de développer une méthodologie afin de montrer l'importance ou non pour les résultats en ACV dynamique d'ajouter de l'information temporelle aux processus en arrière-plan des systèmes de produits et de l'appliquer à des études de cas pour la catégorie d'impact réchauffement climatique a été atteint.

Des paramètres temporels ont été assignés à 884 processus élémentaires (21,9% de la base de données) constitués de processus d'infrastructures, d'agriculture et de foresterie, de produits entreposés et d'enfouissement. Ces processus ont été sélectionnés car les distributions temporelles de leurs flux élémentaires et économiques respectifs étaient d'un intervalle de temps non-négligeable pour la modélisation du réchauffement climatique.

Les flux élémentaires et économiques de ces processus ont été décrits par des distributions temporelles constantes dans le temps à l'exception de l'absorption de carbone et des émissions dans l'air des sites d'enfouissement. Les inventaires différentiés temporellement, ainsi que les impacts sur le réchauffement climatique pour un horizon de temps fixe de 100 ans ont été calculés. Pour l'ACV dynamique d'avant et d'arrière-plan, seuls les flux élémentaires des 13 premiers niveaux de la chaîne de produits ont été différentiés temporellement.

Finalement, les résultats ont montré des écarts normalisés (Ngap) entre les impacts de l'ACV dynamique d'avant-plan et les impacts de l'ACV dynamique d'avant et d'arrière-plan de plus de 10% pour 8,6% des 4034 systèmes de produits étudiés. Les catégories de systèmes de produits où se trouvait la majorité de ces résultats étaient « Énergie, bois », « Matériaux, bois », « Matériaux, papiers », « Infrastructure » et « Électricité ».

Différentes limites du modèle ont été soulevées; 1) l'incertitude des données temporelles n'a pas été évaluée, 2) les résultats des ACV dynamiques d'avant-plan sont très sensibles à l'élaboration des systèmes de produits, 3) ce ne sont pas tous les flux élémentaires et économiques qui sont différentiés temporellement en arrière-plan pour les ACV d'avant et d'arrière-plan et 4) l'objectif de recherche n'a été atteint que pour la catégorie réchauffement climatique. La sensibilité des résultats d'ACV dynamique à la considération des profils temporels des émissions de processus élémentaires d'arrière-plan pour la catégorie d'écotoxicité aquatique pourrait être étudiée dans de prochains travaux.

En terminant, il a été recommandé aux bases de données d'ICV d'intégrer de nouveaux paramètres, tels que ceux proposés, afin de permettre la réalisation d'ACV dynamiques sur le réchauffement climatique qui considèreraient les profils temporels des émissions et extractions des processus élémentaires d'arrière-plan. De plus, une attention particulière devrait être portée à la cohérence des considérations temporelles dans les bases de données ICV lors de la modélisation. Aussi, il a été recommandé aux praticiens réalisant des ACV dynamiques de différentier temporellement l'arrière-plan des systèmes de produits issus des secteurs identifiés sensibles, en priorisant une prise en compte des profils temporels issus de la phase d'agriculture et de foresterie.

## RÉFÉRENCES

- Bare, J. C., Pennington, D. W., & Udo de Haes, H. A. (1999). Life cycle impact assessment sophistication. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 4(5), 299-306.
- Beloin-Saint-Pierre, D., & Blanc, I. (2011). *New spatiotemporally resolved LCI applied to photovoltaic electricity*. Communication présentée à Proceedings of the Life Cycle Management Conference, Berlin, Allemagne.
- Beloin-Saint-Pierre, D., Heijungs, R., & Blanc, I. (soumis). The ESPA method: A solution to an implementation challenge of dynamic life cycle assessment studies. *The International Journal of Life Cycle Assessment*.
- Bourgault, G., Lesage, P., & Samson, R. (2012). Systematic disaggregation: a hybrid LCI computation algorithm enhancing interpretation phase in LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 17(6), 1-13.
- Collet, P., Lardon, L., Steyer, J.-P., & Hélias, A. (2013). How to take time into account in the inventory step: a selective introduction based on sensitivity analysis. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 1-11. doi: 10.1007/s11367-013-0636-7
- Collinge, W. O., Liao, L., Xu, H., Saunders, C. L., Bilec, M. M., Landis, A. E., . . . Schaefer, L. A. (2011). *Enabling dynamic life cycle assessment of buildings with wireless sensor networks*. Communication présentée à IEEE International Symposium on Electronics and the Environment.
- Cucurachi, S., Heijungs, R., & Ohlau, K. (2012). Towards a general framework for including noise impacts in LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 17(4), 471-487.
- Deru, M. (2010). Moving toward better GHG calculations for buildings. *ASHRAE Transactions*, 116 10.
- ecoinvent. (s.d.). The ecoinvent database. Tiré de <http://www.ecoinvent.org/database/>
- European Commission. (2010). International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook, general guide for life cycle assessment, detailed guidance. *Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. Publications Office of the European Union, Luxembourg*.
- European Commission. (2011). International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook, Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context. *Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. Publications Office of the European Union, Luxembourg*.

- Field, F., Kirchain, R., & Clark, J. (2000). Life-Cycle Assessment and Temporal Distributions of Emissions: Developing a Fleet-Based Analysis. *Journal of Industrial Ecology*, 4(2), 71-91. doi: 10.1162/108819800569816
- Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekval, T., Guinee, J., Heijungs, R., Hellweg, S., . . . Suh, S. (2009). Recent developments in life cycle assessment. *Journal of environmental management*, 91(1), 1-21.
- Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H., Doka, G., Heck, T., Hellweg, S., . . . Spielmann, M. (2007). Overview and methodology. *Ecoinvent Rep*, 1.
- GaBi Software. (s.d.). GaBi 6 life cycle inventory data documentation. Tiré de <http://database-documentation.gabi-software.com/support/gabi/gabi-6-lci-documentation/>
- Guo, M., & Murphy, R. J. (2012). LCA data quality: Sensitivity and uncertainty analysis. *Science of The Total Environment*, 435-436(0), 230-243. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.07.006>
- Hauschild, M. Z. (2005). Assessing environmental impacts in a life-cycle perspective. *Environmental science & technology*, 39(4), 81A-88A.
- Hauschild, M. Z., Udo de Haes, H., Finnveden, G., Goedkoop, M., Hertwich, E., Hofstetter, P., . . . Lindeijer, E. (2002). Life Cycle Impact Assessment: Striving towards best practice.
- Heijungs, R. (1996). Identification of key issues for further investigation in improving the reliability of life-cycle assessments. *Journal of Cleaner Production*, 4(3-4), 159-166. doi: 10.1016/s0959-6526(96)00042-x
- Heijungs, R., & Suh, S. (2002). *The computational structure of life cycle assessment* (vol. 11): Kluwer Academic Pub.
- Hellweg, S. (2001). Time-and site-dependent life cycle assessment of thermal waste treatment processes. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 6(1), 46-46.
- Hofstetter, P. (1998). *Perspectives in life cycle impact assessment: a structured approach to combine models of the technosphere, ecosphere, and valuesphere*: Springer.
- Huijbregts, M. A. J., Guinee, J. B., & Reijnders, L. (2001). Priority assessment of toxic substances in life cycle assessment. III: Export of potential impact over time and space. *Chemosphere*, 44(1), 59-65.
- Humbert, S., Rossi, V., Margni, M., Jolliet, O., & Loerincik, Y. (2009). Life cycle assessment of two baby food packaging alternatives: glass jars vs. plastic pots. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 14(2), 95-106.
- ISO. (2006a). ISO14040 Management environnemental-Analyse du cycle de vie-Principes et cadre.

ISO. (2006b). ISO14044 Management environnemental-Analyse du cycle de vie-Exigences et lignes directrices.

Jolliet, O., Saadé, M., Crettaz, P., & Shaked, S. (2010). *Analyse du cycle de vie: comprendre et réaliser un écobilan* (vol. 23): PPUR Presses polytechniques.

Kendall, A. (2012). Time-adjusted global warming potentials for LCA and carbon footprints. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 17(8), 1042-1049.

Kendall, A., & Price, L. (2012). Incorporating time-corrected life cycle greenhouse gas emissions in vehicle regulations. *Environmental science & technology*, 46(5), 2557-2563.

Lebailly, F., Levasseur, A., Samson, R., & Deschênes, L. (2013). *Considering temporal variability for the characterization of metals aquatic ecotoxicity impacts in LCA*. Communication présentée à 23rd SETAC Europe, Glasgow, Scotland.

Levasseur, A. DynCO2 (Version 1.0.). Montréal: CIRAIQ, École Polytechnique de Montréal.

Levasseur, A. (2011). *Développement d'une méthode d'analyse du cycle de vie dynamique pour l'évaluation des impacts sur le réchauffement climatique*. (École Polytechnique de Montréal, Montréal, QC, Canada).

Levasseur, A., Brandão, M., Lesage, P., Margni, M., Pennington, D., Clift, R., & Samson, R. (2011). Valuing temporary carbon storage. *Nature Climate Change*, 2(1), 6-8.

Levasseur, A., Lesage, P., Margni, M., Brandão, M., & Samson, R. (2012). Assessing temporary carbon sequestration and storage projects through land use, land-use change and forestry: comparison of dynamic life cycle assessment with ton-year approaches. *Climatic Change*, 115(3-4), 1-18. doi: 10.1007/s10584-012-0473-x

Levasseur, A., Lesage, P., Margni, M., Deschênes, L., & Samson, R. (2010). Considering time in LCA: Dynamic LCA and its application to global warming impact assessments. *Environmental science & technology*, 44(8), 3169-3174.

Levasseur, A., Lesage, P., Margni, M., & Samson, R. (2012). Biogenic carbon and temporary storage addressed with dynamic life cycle assessment. *Journal of Industrial Ecology*, 17(1).

Manneh, R., Margni, M., & Deschênes, L. (2012). Evaluating the relevance of seasonal differentiation of human health intake fractions in life cycle assessment. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 8(4), 749-759.

Organisation des Nations unies [ONU]. (1987). *Notre avenir à tous. Rapport de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement*. Genève: Organisation des Nations unies.

Owens, J. W. (1997a). Life-Cycle Assessment in Relation to Risk Assessment: An Evolving Perspective. *Risk analysis*, 17(3), 359-365.

- Owens, J. W. (1997b). Life-Cycle Assessment: Constraints on Moving from Inventory to Impact Assessment. *Journal of Industrial Ecology*, 1(1), 37-49. doi: 10.1162/jiec.1997.1.1.37
- Phunggrassami, H. (2008). A Review of Time Consideration in Life Cycle Assessment. *Global Journal of Environmental Research*, 2(2), 62-65.
- Potting, J., Schöpp, W., Blok, K., & Hauschild, M. (1998). Site-Dependent Life-Cycle Impact Assessment of Acidification. *Journal of Industrial Ecology*, 2(2), 63-87.
- Reap, J., Roman, F., Duncan, S., & Bras, B. (2008). A survey of unresolved problems in life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(5), 374-388. doi: 10.1007/s11367-008-0009-9
- Schwietzke, S., Griffin, W. M., & Matthews, H. S. (2011). Relevance of emissions timing in biofuel greenhouse gases and climate impacts. *Environmental science & technology*, 45(19), 8197-8203.
- Shah, V. P., & Ries, R. J. (2009). A characterization model with spatial and temporal resolution for life cycle impact assessment of photochemical precursors in the United States. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 14(4), 313-327.
- Sich, B., & Barlaz, M. (2000). Life-Cycle Inventory of Landfill Gas. Dans *Process Model Documentation: Calculation of the Cost and Life-Cycle Inventory for Waste Disposal in Traditional, Bioreactor and Ash Landfills* (p. 225): North Carolina State University.
- Suh, S., & Heijungs, R. (2007). Power series expansion and structural analysis for life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 12(6), 381-390. doi: 10.1065/lca2007.08.360
- Udo de Haes, H. A., Heijungs, R., Suh, S., & Huppes, G. (2004). Three Strategies to Overcome the Limitations of Life Cycle Assessment. *Journal of Industrial Ecology*, 8(3), 19-32.
- Udo de Haes, H. A., Jolliet, O., Finnveden, G., Hauschild, M., Krewitt, W., & Müller-Wenk, R. (1999). Best available practice regarding impact categories and category indicators in life cycle impact assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 4(2), 66-74.
- UNEP. (2003). *Evaluation of environmental impacts in life cycle assessment*: UNEP/Earthprint.
- UNEP. (2011). *Global Guidance Principles for Life Cycle Assessment Databases A Basis for Greener Processes and Products*.
- Weidema, B., Bauer, C., Hischier, R., Mutel, C., Nemecek, T., Reinhard, J., . . . Wernet, G. (2013). Overview and methodology: Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. *St. Gallen, ecoinvent(1)*.

## ANNEXE 1 – Informations supplémentaires

### A-1.1 Main assumptions

#### *General*

System processes were not defined with temporal parameters.

The rate of output of unit processes was considered constant over time.

#### *Storage*

No intermediate flows were assumed to be consumed or produced during the storage phase.

#### *Infrastructure*

The waste products of infrastructure processes were assumed to occur during the use phase and the demolition.

Maintenance processes were addressed over the lifespan of their infrastructure.

When the specific information about duration of construction and demolition was not available, these durations were estimated as the half value of the construction site duration available in ecoinvent v2.2.

Recultivation processes were considered at the end-of-life of mine infrastructures.

The values of the land-use flows of infrastructure were used to estimate lifespan of infrastructure when no specific information was available in the ecoinvent supporting information document.

If an infrastructure had an intermediate input of infrastructure, only the lifespan of the infrastructure modeled is taken into account.

#### *Animal products*

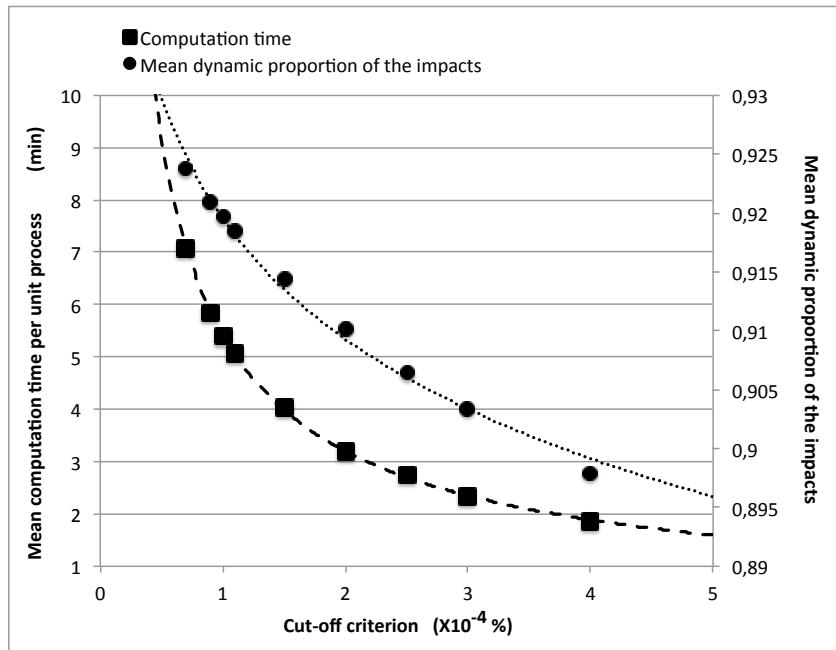
Products of animal production (e.g. wool, sheep) are defined like agricultural products, which means that the cycle of production is addressed the same way as crop rotation.

#### *Transports*

No information about handling times and customs delays were considered for the estimation of durations for transport processes; from this estimation, transport durations were not fulfilling the 4 weeks criterion for temporal differentiation.

## A-1.2 The choice of a threshold value to select the paths for temporal differentiation

Ideally, all the background unit processes and their distributions up to the 13th tier would be considered for temporal differentiation. However, to save computing time, a criterion to select paths for differentiation was defined as the minimum contribution of paths to the product system impact score. A compromise between supply chain representativeness and computation time was made. The criterion  $2 \times 10^{-4} \%$  was chosen according to the results of tests conducted on a sample of 100 ecoinvent-derived product systems and shown in Figure A-1.1.



**Figure A-1.1** Compromise between computation time and dynamic characterization.

## A-1.3 Temporal parameters

Table A-1.1 Temporal parameters

**RMP:** Replacement material ratio; **ST:** Storage time; **CRT:** Crop rotation time; **CT:** Construction time; **DT:** Demolition time; **IO:** Infrastructure occupation

| UP name  | RMR      | ST (h)   | CRT (yr) | CRT (h) | CT (h)   | DT (h)   | IO (h)   |
|--|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|
| [sulfonyl]urea-compounds, at regional storehouse/CH U                            | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0       | 0        | 0        | 0        |
| [sulfonyl]urea-compounds, at regional storehouse/RER U                           | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0       | 0        | 0        | 0        |
| [thio]carbamate-compounds, at regional storehouse/CH U                           | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0       | 0        | 0        | 0        |
| [thio]carbamate-compounds, at regional storehouse/RER U                          | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0       | 0        | 0        | 0        |
| 2,4-D, at regional storehouse/CH U   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0       | 0        | 0        | 0        |
| 2,4-D, at regional storehouse/RER U  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0       | 0        | 0        | 0        |
| 3kWp facade installation, multi-Si, laminated, integrated, at building/CH/I U    | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| 3kWp facade installation, multi-Si, panel, mounted, at building/CH/I U           | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| 3kWp facade installation, single-Si, laminated, integrated, at building/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| 3kWp facade installation, single-Si, panel, mounted, at building/CH/I U          | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| 3kWp flat roof installation, multi-Si, on roof/CH/I U                            | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| 3kWp flat roof installation, single-Si, on roof/CH/I U                           | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| 3kWp slanted-roof installation, a-Si, laminated, integrated, on roof/CH/I U      | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| 3kWp slanted-roof installation, a-Si, panel, mounted, on roof/CH/I U             | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| 3kWp slanted-roof installation, CdTe, laminated, integrated, on roof/CH/I U      | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| 3kWp slanted-roof installation, CIS, panel, mounted, on roof/CH/I U              | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, laminated, integrated, on roof/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted, on roof/CH/I U         | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| 3kWp slanted-roof installation, ribbon-Si, laminated, integrated, on roof/CH/I U | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| 3kWp slanted-roof installation, ribbon-Si, panel, mounted, on roof/CH/I U        | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| 3kWp slanted-roof installation, single-Si, laminated, integrated, on roof/CH/I U | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| 3kWp slanted-roof installation, single-Si, panel, mounted, on roof/CH/I U        | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Absorption chiller 100kW/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Acetamide-anilide-compounds, at regional storehouse/CH U                         | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0       | 0        | 0        | 0        |
| Acetamide-anilide-compounds, at regional storehouse/RER U                        | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0       | 0        | 0        | 0        |
| Acetylene, at regional storehouse/CH U   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0       | 0        | 0        | 0        |
| Aclonifen, at regional storage/RER U   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0       | 0        | 0        | 0        |
| Agricultural machinery, general, production/CH/I U                               | 6,00E-01 | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 4,38E+04 |
| Agricultural machinery, tillage, production/CH/I U                               | 6,00E-01 | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 4,38E+04 |
| Air compressor, screw-type compressor, 300 kW, at plant/RER/I U                  | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Air compressor, screw-type compressor, 4 kW, at plant/RER/I U                    | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Air separation plant/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0       | 4,38E+03 | 4,38E+03 | 1,75E+05 |
| Aircraft, freight/RER/I U  | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Aircraft, long haul/RER/I U  | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Aircraft, medium haul/RER/I U  | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Aircraft, passenger/RER/I U  | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Airport/RER/I U  | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 8,76E+05 |
| Alachlor, at regional storehouse/CH U  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0       | 0        | 0        | 0        |
| Alachlor, at regional storehouse/RER U   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0       | 0        | 0        | 0        |
| Aluminium casting, plant/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Aluminium electrolysis, plant/RER/I U  | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Aluminium hydroxide, plant/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Aluminium melting furnace/RER/I U  | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Aluminium oxide, plant/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Ammonia, liquid, at regional storehouse/CH U                                     | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0       | 0        | 0        | 0        |
| Ammonia, liquid, at regional storehouse/RER U                                    | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0       | 0        | 0        | 0        |
| Ammonium nitrate phosphate, as N, at regional storehouse/RER U                   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0       | 0        | 0        | 0        |
| Ammonium nitrate phosphate, as P2O5, at regional storehouse/RER U                | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0       | 0        | 0        | 0        |
| Ammonium nitrate, as N, at regional storehouse/RER U                             | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0       | 0        | 0        | 0        |
| Ammonium sulphate, as N, at regional storehouse/RER U                            | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0       | 0        | 0        | 0        |
| Anaerobic digestion plant covered, agriculture/CH/I U                            | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Anaerobic digestion plant, agriculture/CH/I U                                    | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Anaerobic digestion plant, biowaste/CH/I U                                       | 0        | 0        | 0        | 0       | 4,38E+03 | 4,38E+03 | 2,19E+05 |
| Anaerobic digestion plant, sewage sludge/CH/I U                                  | 0        | 0        | 0        | 0       | 1,31E+04 | 1,31E+04 | 2,63E+05 |
| Anode plant/RER/I U  | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Assembly, generator and motor, cogen unit 160kWe/RER/I U                         | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Assembly, generator and motor, Mini CHP plant/CH/I U                             | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Assembly, module cogen unit 160kWe/RER/I U                                       | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Atrazine, at regional storehouse/CH U  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0       | 0        | 0        | 0        |

|  |   |          |          |          |          |          |          |
|--|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Atrazine, at regional storehouse/RER/U                                       | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Auxiliary heating, electric, 5kW, at plant/CH/I U                            | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Azobe (SFM), standing, under bark, in rain forest/CM U                       | 0 | 0        | 7,50E+01 | 6,57E+05 | 0        | 0        | 0        |
| Azobe, allocation correction 1/GLO U   | 0 | 0        | 7,50E+01 | 6,57E+05 | 0        | 0        | 0        |
| Azobe, allocation correction 2/GLO U   | 0 | 0        | 7,50E+01 | 6,57E+05 | 0        | 0        | 0        |
| Barge tanker/RER/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,85E+05 |
| Barge/RER/I U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,07E+05 |
| Barley grains conventional, Barrois, at farm/FR U                            | 0 | 0        | 7,92E-01 | 6,94E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Barley grains conventional, Castilla-y-Leon, at farm/ES U                    | 0 | 0        | 7,08E-01 | 6,21E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Barley grains conventional, Saxony-Anhalt, at farm/DE U                      | 0 | 0        | 9,17E-01 | 8,03E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Barley grains extensive, at farm/CH U  | 0 | 0        | 8,33E-01 | 7,30E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Barley grains IP, at farm/CH U   | 0 | 0        | 8,33E-01 | 7,30E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Barley grains organic, at farm/CH U  | 0 | 0        | 8,33E-01 | 7,30E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Barley IP, at feed mill/CH U   | 0 | 2,19E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Barley organic, at feed mill/CH U  | 0 | 2,19E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Barley seed IP, at regional storehouse/CH U                                  | 0 | 4,38E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Barley seed organic, at regional storehouse/CH U                             | 0 | 4,38E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Barley straw extensive, at farm/CH U   | 0 | 0        | 8,33E-01 | 7,30E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Barley straw IP, at farm/CH U  | 0 | 0        | 8,33E-01 | 7,30E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Barley straw organic, at farm/CH U   | 0 | 0        | 8,33E-01 | 7,30E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Benzimidazole-compounds, at regional storehouse/CH U                         | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Benzimidazole-compounds, at regional storehouse/RER U                        | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Benzo[thia]diazole-compounds, at regional storehouse/CH U                    | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Benzo[thia]diazole-compounds, at regional storehouse/RER U                   | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Benzoic-compounds, at regional storehouse/CH U                               | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Benzoic-compounds, at regional storehouse/RER U                              | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Bicycle, at regional storage/RER/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 7,01E+05 |
| Bipyridylum-compounds, at regional storehouse/CH U                           | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Bipyridylum-compounds, at regional storehouse/RER U                          | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Blast furnace/RER/I U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Blast oxygen furnace converter/RER/I U                                       | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Borehole heat exchanger 150 m/CH/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Building machine/RER/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+04 |
| Building, hall, steel construction/CH/I U                                    | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Building, hall, wood construction/CH/I U                                     | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Building, hall/CH/I U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Building, multi-storey/RER/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 7,01E+05 |
| Bus/RER/I U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,10E+05 |
| Calcium ammonium nitrate, as N, at regional storehouse/RER U                 | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Calcium chloride, CaCl2, at regional storage/CH U                            | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Calcium nitrate, as N, at regional storehouse/RER U                          | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Canal/RER/I U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,03E+06 |
| Captan, at regional storage/RER U  | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Carbofuran, at regional storehouse/CH U                                      | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Carbofuran, at regional storehouse/RER U                                     | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Catalytic converter, oxidation, 20 litre/RER/I U                             | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Catalytic converter, SCR, 200 litre/RER/I U                                  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Catalytic converter, three-way, 19,1 litre/RER/I U                           | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Catalytic converter, three-way, Mini CHP plant/CH/I U                        | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Cement plant/CH/I U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Ceramic plant/CH/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Chemical plant, organics/RER/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Chimney/CH/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 7,01E+05 |
| Chlorothalonil, at regional storage/RER U                                    | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Chlorotoluron, at regional storage/RER U                                     | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Chopper, mobile, diesel/RER/I U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Chopper, stationary, electric/RER/I U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Clover seed IP, at farm/CH U   | 0 | 0        | 8,33E-01 | 7,30E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Clover seed IP, at regional storehouse/CH U                                  | 0 | 4,38E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Coal stove, 5-15 kW/RER/I U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Cogen unit 160kWe, common components for heat+electricity/RER/I U            | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Cogen unit 160kWe, components for electricity only/RER/I U                   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Cogen unit 160kWe, components for heat only/RER/I U                          | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Cogen unit 1MWe, common components for heat+electricity/RER/I U              | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Cogen unit 1MWe, components for electricity only/RER/I U                     | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Cogen unit 1MWe, components for heat only/RER/I U                            | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Cogen unit 200kWe diesel SCR, common components for heat+electricity/RER/I U | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Cogen unit 200kWe diesel SCR, components for electricity only/RER/I U        | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Cogen unit 200kWe diesel SCR, components for heat only/RER/I U               | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Cogen unit 200kWe, common components for heat+electricity/RER/I U            | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |

|  |   |          |          |          |          |          |          |
|--|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Cogen unit 200kWe, components for electricity only/RER/I U                           | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Cogen unit 200kWe, components for heat only/RER/I U                                  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Cogen unit 500kWe, common components for heat+electricity/RER/I U                    | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Cogen unit 500kWe, components for electricity only/RER/I U                           | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Cogen unit 500kWe, components for heat only/RER/I U                                  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Cogen unit 50kWe, common components for heat+electricity/RER/I U                     | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Cogen unit 50kWe, components for electricity only/RER/I U                            | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Cogen unit 50kWe, components for heat only/RER/I U                                   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Cogen unit 6400kWth, wood burning, building/CH/I U                                   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Cogen unit 6400kWth, wood burning, common components for heat+electricity/CH/I U     | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Cogen unit 6400kWth, wood burning, components for electricity only/CH/I U            | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Cogen unit ORC 1400kWth, wood burning, building/CH/I U                               | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Cogen unit ORC 1400kWth, wood burning, common components for heat+electricity/CH/I U | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Cogen unit ORC 1400kWth, wood burning, components for electricity only/CH/I U        | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Compost plant, open/CH/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 4,38E+03 | 4,38E+03 | 2,19E+05 |
| Concrete mixing plant/CH/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Construction work, cogen unit 160kWe/RER/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Control cabinet cogen unit 160kWe/RER/I U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Conveyor belt, at plant/RER/I U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Corn, at farm/US U   | 0 | 0        | 5,83E-01 | 5,11E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Cotton fibres, at farm/US U  | 0 | 0        | 6,67E-01 | 8,76E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Cotton fibres, ginned, at farm/CN U  | 0 | 0        | 4,58E-01 | 4,02E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Cotton seed, at farm/CN U  | 0 | 0        | 4,58E-01 | 4,02E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Cotton seed, at farm/US U  | 0 | 0        | 6,67E-01 | 8,76E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Cotton seed, at regional storehouse/US U   | 0 | 4,38E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Cyanazine, at regional storehouse/CH U   | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Cyanazine, at regional storehouse/RER U  | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Cyclic N-compounds, at regional storehouse/CH U                                      | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Cyclic N-compounds, at regional storehouse/RER U                                     | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Diammonium phosphate, as N, at regional storehouse/RER U                             | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Diammonium phosphate, as P2O5, at regional storehouse/RER U                          | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Diazine-compounds, at regional storehouse/RER U                                      | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Diazole-compounds, at regional storehouse/RER U                                      | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Dicamba, at regional storehouse/CH U   | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Dicamba, at regional storehouse/RER U  | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Diesel-electric generating set production 10MW/RER/I U                               | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,40E+05 |
| Diesel, at regional storage/CH U   | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Diesel, at regional storage/RER U  | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Diesel, low-sulphur, at regional storage/CH U  | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Diesel, low-sulphur, at regional storage/RER U                                       | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Diffusion absorption heat pump 4kW, future/CH/I U                                    | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Dimethenamide, at regional storage/RER U   | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Dinitroaniline-compounds, at regional storehouse/CH U                                | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Dinitroaniline-compounds, at regional storehouse/RER U                               | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Diphenylether-compounds, at regional storehouse/CH U                                 | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Diphenylether-compounds, at regional storehouse/RER U                                | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Disposal, airport/RER/I U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+05 |
| Disposal, bicycle/CH/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 7,01E+05 |
| Disposal, bus/CH/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,10E+05 |
| Disposal, electric bicycle/CH/I U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+04 |
| Disposal, electric scooter/CH/I U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+04 |
| Disposal, electric vehicle, LiMn2O4/RER/I U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Disposal, ICE/DE/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Disposal, locomotive/RER/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3,50E+05 |
| Disposal, long-distance train/CH/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3,50E+05 |
| Disposal, lorry 16t/CH/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Disposal, lorry 28t/CH/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Disposal, lorry 40t/CH/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Disposal, passenger car, diesel EURO5, city car/RER/I U                              | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Disposal, passenger car, electric, LiMn2O4, city car/RER/I U                         | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Disposal, passenger car/RER/I U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Disposal, railway track, ICE/my/DE/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+05 |
| Disposal, railway track/CH/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+05 |
| Disposal, regional train/CH/I U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3,50E+05 |
| Disposal, road/RER/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+05 |
| Disposal, scooter/CH/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+04 |
| Disposal, tram track/CH/I U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+05 |
| Disposal, tram/CH/I U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Disposal, van < 3.5t/CH/I U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,40E+05 |
| Distribution network, electricity, low voltage/CH/I U                                | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |

|  |          |          |          |          |          |          |          |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Dithiocarbamate-compounds, at regional storehouse/CH U                       | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Dithiocarbamate-compounds, at regional storehouse/RER U                      | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Diuron, at regional storehouse/CH U  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Diuron, at regional storehouse/RER U   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Dried roughage store, air dried, solar/CH/I U                                | 6,00E-01 | 0        | 0        | 0        | 4,38E+03 | 4,38E+03 | 4,38E+05 |
| Dried roughage store, cold-air dried, conventional/CH/I U                    | 6,00E-01 | 0        | 0        | 0        | 4,38E+03 | 4,38E+03 | 4,38E+05 |
| Dried roughage store, non ventilated/CH/I U                                  | 6,00E-01 | 0        | 0        | 0        | 4,38E+03 | 4,38E+03 | 4,38E+05 |
| Dung slab/CH/I U   | 6,00E-01 | 0        | 0        | 0        | 4,38E+03 | 4,38E+03 | 3,50E+05 |
| Electric arc furnace converter/RER/I U                                       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Electric bicycle, at regional storage/RER/I U                                | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+04 |
| Electric installation, photovoltaic plant, at plant/CH/I U                   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Electric parts of cogen unit 160kWe/RER/I U                                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Electric parts of Mini CHP plant/CH/I U                                      | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Electric scooter, at regional storage/RER/I U                                | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+04 |
| Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/AT U                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/BA U                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/BE U                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/CH U                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/CS U                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/CZ U                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/DE U                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/DK U                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/ES U                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/FI U                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/FR U                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/GB U                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/GR U                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/HR U                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/HU U                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/IE U                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/IT U                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/JP U                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/LU U                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/MK U                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/NL U                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/NO U                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/PL U                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/PT U                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/SE U                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/SI U                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/SK U                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/US U                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at reservoir power plant, alpine region/RER U       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at reservoir power plant, non alpine regions/RER U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at reservoir power plant/BR U                       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at reservoir power plant/CH U                       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at reservoir power plant/FI U                       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Electricity, hydropower, at run-of-river power plant/CH U                    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 7,01E+05 |
| Electricity, hydropower, at run-of-river power plant/RER U                   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 7,01E+05 |
| Electronic component machinery, unspecified/GLO/I U                          | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Electronic component production plant/GLO/I U                                | 0        | 0        | 0        | 0        | 6,57E+03 | 6,57E+03 | 2,19E+05 |
| Ethanol fermentation plant/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,19E+04 | 2,19E+04 | 1,75E+05 |
| Ethanol, 99.7% in H2O, from biomass, at service station/CH U                 | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Ethanol, 99.7% in H2O, from biomass, production BR, at service station/CH U  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Ethanol, 99.7% in H2O, from biomass, production CN, at service station/CH U  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Ethanol, 99.7% in H2O, from biomass, production RER, at service station/CH U | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Ethanol, 99.7% in H2O, from biomass, production US, at service station/CH U  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Ethanol, 99.7% in H2O, from Swedish wood, at service station/CH U            | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Eucalyptus ssp., standing, under bark, u=50%, in plantation/TH U             | 0        | 0        | 2,00E+01 | 1,75E+05 | 0        | 0        | 0        |
| Evacuated tube collector, at plant/GB/I U                                    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Expansion vessel 25l, at plant/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,05E+05 |
| Expansion vessel 80l, at plant/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,05E+05 |
| Explosive production plant/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Facade construction, integrated, at building/RER/I U                         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Facade construction, mounted, at building/RER/I U                            | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Facilities anode refinery, secondary copper/SE/I U                           | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Facilities blister-copper conversion, secondary copper/SE/I U                | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Facilities for mechanical treatment of WEEE scrap/GLO/I U                    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Facilities precious metal refinery/SE/I U                                    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,19E+05 |
| Facilities, chemical production/RER/I U                                      | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |

|  |   |          |          |          |          |          |          |
|--|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Fava beans IP, at farm/CH U                                | 0 | 0        | 5,42E-01 | 4,75E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Fava beans IP, at feed mill/CH U                           | 0 | 2,19E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Fava beans organic, at farm/CH U                           | 0 | 0        | 5,42E-01 | 4,75E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Final repository for nuclear waste LLW/CH/I U              | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Final repository for nuclear waste SF, HLW, and ILW/CH/I U | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Flat glass plant/RER/I U                                   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Flat plate collector, at plant/CH/I U                      | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Flat roof construction, on roof/RER/I U                    | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Foam glass plant/BE/I U                                    | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Fodder beets IP, at farm/CH U                              | 0 | 0        | 5,42E-01 | 4,75E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Folpet, at regional storage/RER U                          | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Fosetyl-Al, at regional storage/RER U                      | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Fungicides, at regional storehouse/RER U                   | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Furnace, logs, hardwood, 100kW/CH/I U                      | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+05 |
| Furnace, logs, hardwood, 30kW/CH/I U                       | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+05 |
| Furnace, logs, hardwood, 6kW/CH/I U                        | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Furnace, logs, mixed, 100kW/CH/I U                         | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+05 |
| Furnace, logs, mixed, 30kW/CH/I U                          | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+05 |
| Furnace, logs, mixed, 6kW/CH/I U                           | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Furnace, logs, softwood, 100kW/CH/I U                      | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+05 |
| Furnace, logs, softwood, 30kW/CH/I U                       | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+05 |
| Furnace, logs, softwood, 6kW/CH/I U                        | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Furnace, pellets, 15kW/CH/I U                              | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Furnace, pellets, 50kW/CH/I U                              | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Furnace, wood chips, hardwood, 1000kW/CH/I U               | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Furnace, wood chips, hardwood, 300kW/CH/I U                | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Furnace, wood chips, hardwood, 50kW/CH/I U                 | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Furnace, wood chips, mixed, 1000kW/CH/I U                  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Furnace, wood chips, mixed, 300kW/CH/I U                   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Furnace, wood chips, mixed, 50kW/CH/I U                    | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Furnace, wood chips, softwood, 1000kW/CH/I U               | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Furnace, wood chips, softwood, 300kW/CH/I U                | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Furnace, wood chips, softwood, 50kW/CH/I U                 | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Gas boiler/RER/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3,15E+05 |
| Gas combined cycle power plant, 400MWe/RER/I U             | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3,15E+05 |
| Gas motor 206kW/RER/I U                                    | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,23E+05 |
| Gas motor Mini CHP plant/CH/I U                            | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 7,01E+04 |
| Gas power plant, 100MWe/RER/I U                            | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3,15E+05 |
| Gas power plant, 300MWe/GLO/I U                            | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3,15E+05 |
| Gas turbine, 10MWe, at production plant/RER/I U            | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,40E+05 |
| Generator 200kWe/RER/I U                                   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,40E+05 |
| Generator Mini CHP plant/CH/I U                            | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,40E+05 |
| Glass etching plant/DK/I U                                 | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Glass production site/RER/I U                              | 0 | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Glass sorting site/RER/I U                                 | 0 | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Glass tube plant/DE/I U                                    | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Glyphosate, at regional storehouse/CH U                    | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Glyphosate, at regional storehouse/RER U                   | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Goods wagon/RER/I U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3,50E+05 |
| Grain drying, high temperature/CH U                        | 0 | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Grain drying, low temperature/CH U                         | 0 | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Grain maize IP, at farm/CH U                               | 0 | 0        | 5,42E-01 | 4,75E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Grain maize IP, at feed mill/CH U                          | 0 | 2,19E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Grain maize organic, at farm/CH U                          | 0 | 0        | 5,42E-01 | 4,75E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Grain maize organic, at feed mill/CH U                     | 0 | 2,19E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Grass drying/CH U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Grass from meadow intensive IP, at field/CH U              | 0 | 0        | 1,00E+00 | 8,76E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Grass from meadow intensive, organic, at field/CH U        | 0 | 0        | 1,00E+00 | 8,76E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Grass from natural meadow extensive IP, at field/CH U      | 0 | 0        | 1,00E+00 | 8,76E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Grass from natural meadow extensive organic, at field/CH U | 0 | 0        | 1,00E+00 | 8,76E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Grass from natural meadow intensive IP, at field/CH U      | 0 | 0        | 1,00E+00 | 8,76E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Grass from natural meadow intensive organic, at field/CH U | 0 | 0        | 1,00E+00 | 8,76E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Grass seed IP, at farm/CH U                                | 0 | 0        | 1,00E+00 | 8,76E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Grass seed IP, at regional storehouse/CH U                 | 0 | 4,38E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Grass seed organic, at regional storehouse/CH U            | 0 | 4,38E+03 | 1,00E+00 | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Grass silage IP, at farm/CH U                              | 0 | 0        | 1,00E+00 | 8,76E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Grass silage organic, at farm/CH U                         | 0 | 0        | 1,00E+00 | 8,76E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Green manure IP, until April/CH U                          | 0 | 0        | 4,17E-01 | 3,65E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Green manure IP, until February/CH U                       | 0 | 0        | 4,17E-01 | 3,65E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Green manure IP, until January/CH U                        | 0 | 0        | 4,17E-01 | 3,65E+03 | 0        | 0        | 0        |

|   |          |          |          |          |          |          |          |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Green manure IP, until march/CH U   | 0        | 0        | 4,17E-01 | 3,65E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Green manure organic, until April/CH U  | 0        | 0        | 4,17E-01 | 3,65E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Green manure organic, until February/CH U   | 0        | 0        | 4,17E-01 | 3,65E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Green manure organic, until January/CH U  | 0        | 0        | 4,17E-01 | 3,65E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Green manure organic, until march/CH U  | 0        | 0        | 4,17E-01 | 3,65E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Growth regulators, at regional storehouse/RER U                                     | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Hard coal briquettes production plant/RER/I U                                       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Hard coal coke production plant/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Hard coal mix, at regional storage/UCTE U   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Hard coal power plant, 100MW/GLO/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 2,19E+05 |
| Hard coal power plant, 500MW/GLO/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 2,19E+05 |
| Hard coal power plant/CN/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 2,19E+05 |
| Hard coal power plant/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 2,19E+05 |
| Hard coal supply mix, at regional storage/US U                                      | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Hard coal supply mix/AT U   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Hard coal supply mix/BE U   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Hard coal supply mix/CN U   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Hard coal supply mix/CZ U   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Hard coal supply mix/DE U   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Hard coal supply mix/ES U   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Hard coal supply mix/FR U   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Hard coal supply mix/HR U   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Hard coal supply mix/IT U   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Hard coal supply mix/NL U   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Hard coal supply mix/PL U   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Hard coal supply mix/PT U   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Hard coal supply mix/SK U   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Hard coal, at regional storage/AU U   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Hard coal, at regional storage/CPA U  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Hard coal, at regional storage/EEU U  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Hard coal, at regional storage/RLA U  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Hard coal, at regional storage/RNA U  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Hard coal, at regional storage/RU U   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Hard coal, at regional storage/WEU U  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Hard coal, at regional storage/ZA U   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Hardwood, allocation correction, 1/RER U  | 0        | 0        | 1,50E+02 | 1,31E+06 | 0        | 0        | 0        |
| Hardwood, allocation correction, 2/RER U  | 0        | 0        | 1,50E+02 | 1,31E+06 | 0        | 0        | 0        |
| Hardwood, allocation correction, 3/RER U  | 0        | 0        | 1,50E+02 | 1,31E+06 | 0        | 0        | 0        |
| Hardwood, Scandinavian, standing, under bark, in forest/NORDEL U                    | 0        | 0        | 1,50E+02 | 1,31E+06 | 0        | 0        | 0        |
| Hardwood, stand establishment / tending / site development, under bark/RER U        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Hardwood, standing, under bark, in forest/RER U                                     | 0        | 0        | 1,50E+02 | 1,31E+06 | 0        | 0        | 0        |
| Harvester, production/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Hay extensive, at farm/CH U   | 0        | 8,76E+03 | 1,00E+00 | 8,76E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Hay intensive IP, at farm/CH U  | 0        | 8,76E+03 | 1,00E+00 | 8,76E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Hay intensive organic, at farm/CH U   | 0        | 8,76E+03 | 1,00E+00 | 8,76E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Hazardous waste incineration plant/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,19E+04 | 2,19E+04 | 3,50E+05 |
| Heat distribution, hydronic radiant floor heating, 150m <sup>2</sup> /CH/I U        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Heat exchanger of cogen unit 160kWe/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,40E+05 |
| Heat exchanger of Mini CHP plant/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,40E+05 |
| Heat pump 30kW/RER/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Heat pump, brine-water, 10kW/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Heat storage 2000l, at plant/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Heating, sanitary equipment cogen unit 160kWe/RER/I U                               | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Heating, sanitary equipment Mini CHP plant/CH/I U                                   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Heavy fuel oil, at regional storage/CH U  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Heavy fuel oil, at regional storage/RER U   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Helicopter/GLO/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+04 |
| Herbicides, at regional storehouse/RER U  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Horn meal, at regional storehouse/CH U  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Hot water tank 600l, at plant/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Hot water tank factory/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Housing system with fully-slatted floor, pig/CH/I U                                 | 6,00E-01 | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Husked nuts harvesting, at farm/PH U  | 0        | 0        | 1,00E+00 | 8,76E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Hydraulic digger/RER/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+04 |
| ICE/DE/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,19E+05 |
| Industrial furnace 1MW, oil/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Industrial furnace, coal, 1-10 MW/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Industrial furnace, natural gas/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Industrial machine, heavy, unspecified, at plant/RER/I U                            | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,19E+05 |
| Industrial residue wood, hardwood, including bark, air dried, u=20%, at plant/RER U | 0        | 1,75E+04 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |

|   |          |          |          |          |          |          |          |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Industrial residue wood, softwood, forest-debarked, air dried, u=20%, at plant/RER U  | 0        | 1,75E+04 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Industrial wood, Scandinavian hardwood, under bark, u=80%, at forest road/NORDEL U    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Industrial wood, Scandinavian softwood, under bark, u=140%, at forest road/NORDEL U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Inert material landfill facility/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 4,38E+04 | 8,76E+04 |
| Insecticides, at regional storehouse/RER U  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Interim storage, nuclear waste to dispose in final repository LLW/CH/I U              | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Interim storage, nuclear waste to dispose in final repository SF, HLW, and ILW/CH/I U | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Inverter, 2500W, at plant/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Inverter, 500kW, at plant/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Inverter, 500W, at plant/RER/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Irrigating/ha/CH U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 0        | 0        |
| Irrigating/m <sup>3</sup> /CH U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 0        | 0        |
| Irrigating/US U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 0        | 0        |
| Isoproturon, at regional storage/RER U  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Jute fibres, irrigated system, at farm/IN U   | 0        | 0        | 3,33E-01 | 2,92E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Jute fibres, rainfed system, at farm/IN U   | 0        | 0        | 3,33E-01 | 2,92E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Jute stalks, from fibre production, irrigated system, at farm/IN U                    | 0        | 0        | 3,33E-01 | 2,92E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Jute stalks, from fibre production, rainfed system, at farm/IN U                      | 0        | 0        | 3,33E-01 | 2,92E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Kenaf fibres, at farm/IN U  | 0        | 0        | 3,33E-01 | 2,92E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Kenaf stalks, from fibre production, at farm/IN U                                     | 0        | 0        | 3,33E-01 | 2,92E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Kerosene, at regional storage/CH U  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Kerosene, at regional storage/RER U   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Krypton, gaseous, at regional storage/CH U  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Label housing system, pig/CH/I U  | 6,00E-01 | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Light fuel oil, at regional storage/CH U  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Light fuel oil, at regional storage/RER U   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Lignite briquettes production plant/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Lignite dust production plant/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Lignite power plant/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 7,30E+03 | 7,30E+03 | 2,63E+05 |
| Lime, algae, at regional storehouse/CH U  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Lime, from carbonation, at regional storehouse/CH U                                   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Linuron, at regional storehouse/CH U  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Linuron, at regional storehouse/RER U   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Liquefied petroleum gas, at service station/CH U                                      | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Liquid storage tank, chemicals, organics/CH/I U                                       | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Locomotive/RER/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3,50E+05 |
| Long-distance train/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3,50E+05 |
| Loose housing system, cattle/CH/I U   | 6,00E-01 | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Lorry 16t/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Lorry 21t, municipal waste collection/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Lorry 28t/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Lorry 40t/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Magnesium plant/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Maintenance micro gas turbine 100kWe/CH U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Maintenance PEM fuel cell 2kWe/CH U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+05 |
| Maintenance SOFC fuel cell 125kWe, future/CH U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,40E+05 |
| Maintenance SOFC-GT fuel cell 180kWe, future/CH U                                     | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,40E+05 |
| Maintenance stirling cogen unit 3kWe, wood pellets, future/CH U                       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+05 |
| Maintenance, barge/RER/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,07E+05 |
| Maintenance, bicycle/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 7,01E+05 |
| Maintenance, bus/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,10E+05 |
| Maintenance, cogen unit 160kWe/RER U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Maintenance, electric bicycle/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+04 |
| Maintenance, electric scooter/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+04 |
| Maintenance, electric vehicle, LiMn2O4/RER/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Maintenance, goods wagon/RER/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3,50E+05 |
| Maintenance, ICE/DE/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,19E+05 |
| Maintenance, locomotive/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3,50E+05 |
| Maintenance, long-distance train/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3,50E+05 |
| Maintenance, lorry 16t/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Maintenance, lorry 28t/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Maintenance, lorry 40t/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Maintenance, Mini CHP plant/CH U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Maintenance, operation, canal/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,03E+06 |
| Maintenance, passenger car, diesel, EURO5, city car/RER/I U                           | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Maintenance, passenger car, electric, LiMn2O4, city car/RER/I U                       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Maintenance, passenger car/RER/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Maintenance, regional train/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3,50E+05 |
| Maintenance, scooter/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+04 |
| Maintenance, tram/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |

|   |          |          |          |          |          |          |          |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Maintenance, transoceanic freight ship/RER/I U                | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,19E+05 |
| Maintenance, van < 3.5t/RER/I U                               | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,40E+05 |
| Maize drying/CH U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Maize seed IP, at farm/CH U                                   | 0        | 0        | 4,58E-01 | 4,02E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Maize seed IP, at regional storehouse/CH U                    | 0        | 4,38E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Maize seed organic, at farm/CH U                              | 0        | 0        | 4,58E-01 | 4,02E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Maize seed organic, at regional storehouse/CH U               | 0        | 4,38E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Mancozeb, at regional storage/RER U                           | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Maneb, at regional storehouse/CH U                            | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Maneb, at regional storehouse/RER U                           | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Manual treatment plant, WEEE scrap/GLO/I U                    | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+03 | 4,38E+03 | 2,19E+05 |
| MCPA, at regional storehouse/CH U                             | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| MCPA, at regional storehouse/RER U                            | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Mechanical treatment plant, WEEE scrap/GLO/I U                | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 2,19E+05 |
| Mecoprop, at regional storage/RER U                           | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Meranti, standing, under bark, u=70%, in rainforest/MY U      | 0        | 0        | 7,50E+01 | 6,57E+05 | 0        | 0        | 0        |
| Metal coating plant/RER/I U                                   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Metal working factory/RER/I U                                 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Metal working machine, unspecified, at plant/RER/I U          | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,19E+05 |
| Metaldehyde, at regional storage/RER U                        | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Metamitron, at regional storage/RER U                         | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Methanol plant/GLO/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+04 | 4,38E+04 | 2,63E+05 |
| Methanol, at regional storage/CH U                            | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Methanol, from biomass, at regional storage/CH U              | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Methylchloride, at regional storage/CH U                      | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Metolachlor, at regional storehouse/CH U                      | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Metolachlor, at regional storehouse/RER U                     | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Micro gas turbine 100kWe/CH/I U                               | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Milking parlour/CH/I U  | 6,00E-01 | 0        | 0        | 0        | 4,38E+03 | 4,38E+03 | 4,38E+05 |
| Mine, bauxite/GLO/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Mine, bentonite/DE/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Mine, clay/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,19E+05 |
| Mine, gold and silver/CL/I U                                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Mine, gold and silver/PE/I U                                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Mine, gold and silver/PG/I U                                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Mine, gold-silver-zinc-lead-copper/SE/I U                     | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Mine, gold/AU/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Mine, gold/CA/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Mine, gold/TZ/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Mine, gold/US/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Mine, gold/ZA/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Mine, gravel/sand/CH/I U                                      | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Mine, iron/GLO/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Mine, limestone/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Mine, vermiculite/ZA/I U                                      | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Mini CHP plant, common components for heat+electricity/CH/I U | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Mini CHP plant, components for electricity only/CH/I U        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Mini CHP plant, components for heat only/CH/I U               | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Monoammonium phosphate, as N, at regional storehouse/RER U    | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Monoammonium phosphate, as P2O5, at regional storehouse/RER U | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Municipal waste incineration plant/CH/I U                     | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,19E+04 | 2,19E+04 | 3,50E+05 |
| Naphtha, at regional storage/CH U                             | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Naphtha, at regional storage/RER U                            | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Napropamide, at regional storage/RER U                        | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Natural gas service station/CH/I U                            | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Network access devices, internet, at user/CH/I U              | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,19E+05 |
| Nitrile-compounds, at regional storehouse/CH U                | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Nitrile-compounds, at regional storehouse/RER U               | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Nitro-compounds, at regional storehouse/CH U                  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Nitro-compounds, at regional storehouse/RER U                 | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Non-ferrous metal mine, surface/GLO/I U                       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Non-ferrous metal mine, underground/GLO/I U                   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Non-ferrous metal smelter/GLO/I U                             | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Nuclear fuel fabrication plant/CN/I U                         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3,50E+05 |
| Nuclear fuel fabrication plant/GLO/I U                        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3,50E+05 |
| Nuclear fuel fabrication plant/US/I U                         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3,50E+05 |
| Nuclear power plant, boiling water reactor 1000MW/CH/I U      | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,32E+04 | 8,32E+04 | 3,50E+05 |
| Nuclear power plant, boiling water reactor 1000MW/DE/I U      | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,32E+04 | 8,32E+04 | 3,50E+05 |
| Nuclear power plant, boiling water reactor 1000MW/UCTE/I U    | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,32E+04 | 8,32E+04 | 3,50E+05 |
| Nuclear power plant, boiling water reactor 1000MW/US/I U      | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,32E+04 | 8,32E+04 | 3,50E+05 |

|   |          |          |          |          |          |          |          |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Nuclear power plant, pressure water reactor 1000MW/CH/I U                           | 0        | 0        | 0        | 0        | 6,57E+04 | 6,57E+04 | 3,50E+05 |
| Nuclear power plant, pressure water reactor 1000MW/CN/I U                           | 0        | 0        | 0        | 0        | 6,57E+04 | 6,57E+04 | 3,50E+05 |
| Nuclear power plant, pressure water reactor 1000MW/DE/I U                           | 0        | 0        | 0        | 0        | 6,57E+04 | 6,57E+04 | 3,50E+05 |
| Nuclear power plant, pressure water reactor 1000MW/FR/I U                           | 0        | 0        | 0        | 0        | 6,57E+04 | 6,57E+04 | 3,50E+05 |
| Nuclear power plant, pressure water reactor 1000MW/UCTE/I U                         | 0        | 0        | 0        | 0        | 6,57E+04 | 6,57E+04 | 3,50E+05 |
| Nuclear power plant, pressure water reactor 1000MW/US/I U                           | 0        | 0        | 0        | 0        | 6,57E+04 | 6,57E+04 | 3,50E+05 |
| Nuclear spent fuel conditioning plant/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Nuclear spent fuel conditioning plant/CN/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Nuclear spent fuel reprocessing plant/RER/I U                                       | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+04 | 4,38E+04 | 4,38E+05 |
| Oil boiler 100kW/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Oil boiler 10kW/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Oil mill/CH/I U   | 6,00E-01 | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Oil power plant 500MW/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Oil storage 3000l/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Open cast mine, hard coal/GLO/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Open cast mine, lignite/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Open cast mine, peat/NORDEL/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Operation start, cogen unit 160kWe/RER/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Operation, maintenance, airport/RER U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+05 |
| Operation, maintenance, port/RER/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+05 |
| Operation, maintenance, railway track, ICE/DE/I U                                   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+05 |
| Operation, maintenance, railway track/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+05 |
| Operation, maintenance, road/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+05 |
| Operation, tram track/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+05 |
| Orbencarb, at regional storage/RER U  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Organophosphorus-compounds, at regional storehouse/CH U                             | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Organophosphorus-compounds, at regional storehouse/RER U                            | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Packaging box production unit/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Palm fruit bunches, at farm/MY U  | 0        | 0        | 5,00E-01 | 4,38E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Palm methyl ester, production MY, at service station/CH U                           | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Paper machine, at paper mill/RER/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Paper mill, integrated/RER/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Paper mill, non-integrated/RER/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Paran- pine, allocation correction 1/GLO U  | 0        | 0        | 4,50E+01 | 3,94E+05 | 0        | 0        | 0        |
| Paran- pine, allocation correction 2/GLO U  | 0        | 0        | 4,50E+01 | 3,94E+05 | 0        | 0        | 0        |
| Paran- pine, standing, under bark, in rain forest/BR U                              | 0        | 0        | 4,50E+01 | 3,94E+05 | 0        | 0        | 0        |
| Parathion, at regional storehouse/CH U  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Parathion, at regional storehouse/RER U   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Passenger car, diesel, EUROS, city car, at plant/RER/I U                            | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Passenger car, electric, LiMn2O4, at plant/RER/I U                                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Passenger car, electric, LiMn2O4, city car, at plant/RER/I U                        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Passenger car/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Pea seed IP, at regional storehouse/CH U  | 0        | 4,38E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Pea seed organic, at regional storehouse/CH U                                       | 0        | 4,38E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| PEM fuel cell 2kWe, future/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+05 |
| Pendimethalin, at regional storage/RER U  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Pesticide unspecified, at regional storehouse/CH U                                  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Pesticide unspecified, at regional storehouse/RER U                                 | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Petrol, 15% vol. ETBE additive, EtOH f. biomass, prod. RER, at service station/CH U | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Petrol, 4% vol. ETBE additive, EtOH f. biomass, prod. RER, at service station/CH U  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Petrol, low-sulphur, at regional storage/CH U                                       | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Petrol, low-sulphur, at regional storage/RER U                                      | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Petrol, unleaded, at regional storage/CH U  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Petrol, unleaded, at regional storage/RER U   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Phenoxy-compounds, at regional storehouse/CH U                                      | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Phenoxy-compounds, at regional storehouse/RER U                                     | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Phosphate rock mine/MA/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,19E+04 | 2,19E+04 | 1,75E+05 |
| Phosphate rock mine/US/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,19E+04 | 2,19E+04 | 1,75E+05 |
| Phosphoric acid plant, fertiliser grade/US/I U                                      | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,19E+04 | 2,19E+04 | 4,38E+05 |
| Photovoltaic cell factory/DE/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,19E+05 |
| Photovoltaic laminate, a-Si, at plant/US/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Photovoltaic laminate, CdTe, at plant/DE/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Photovoltaic laminate, CdTe, at plant/US/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Photovoltaic laminate, CdTe, mix, at regional storage/RER/I U                       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Photovoltaic laminate, CIS, at plant/DE/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Photovoltaic laminate, multi-Si, at plant/RER/I U                                   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Photovoltaic laminate, ribbon-Si, at plant/RER/I U                                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Photovoltaic laminate, single-Si, at plant/RER/I U                                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Photovoltaic panel factory/GLO/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,19E+05 |
| Photovoltaic panel, a-Si, at plant/US/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |

|   |   |          |          |          |          |          |          |
|---|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Photovoltaic panel, CIS, at plant/DE/I U                              | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Photovoltaic panel, multi-Si, at plant/RER/I U                        | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Photovoltaic panel, ribbon-Si, at plant/RER/I U                       | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Photovoltaic panel, single-Si, at plant/RER/I U                       | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Phtalamide-compounds, at regional storehouse/CH U                     | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Phtalamide-compounds, at regional storehouse/RER U                    | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Pipeline, crude oil, offshore/OCE/I U                                 | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Pipeline, crude oil, onshore/RER/I U                                  | 0 | 0        | 0        | 0        | 7,30E+03 | 7,30E+03 | 2,63E+05 |
| Pipeline, natural gas, high pressure distribution network/CH/I U      | 0 | 0        | 0        | 0        | 7,30E+03 | 7,30E+03 | 3,50E+05 |
| Pipeline, natural gas, high pressure distribution network/RER/I U     | 0 | 0        | 0        | 0        | 7,30E+03 | 7,30E+03 | 3,50E+05 |
| Pipeline, natural gas, long distance, high capacity, offshore/GLO/I U | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3,94E+05 |
| Pipeline, natural gas, long distance, high capacity, onshore/GLO/I U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 7,30E+03 | 7,30E+03 | 3,50E+05 |
| Pipeline, natural gas, long distance, low capacity, onshore/GLO/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 7,30E+03 | 7,30E+03 | 3,50E+05 |
| Pipeline, natural gas, low pressure distribution network/CH/I U       | 0 | 0        | 0        | 0        | 7,30E+03 | 7,30E+03 | 3,50E+05 |
| Planing mill/RER/I U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Planning, cogen unit 160kWe/RER/I U                                   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Planning, cogen unit Mini CHP plant/CH/I U                            | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Plant offshore, natural gas, production/OCE/I U                       | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 9,64E+04 |
| Plant onshore, natural gas, production/GLO/I U                        | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Plastics processing factory/RER/I U                                   | 0 | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Platform, crude oil, offshore/OCE/I U                                 | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+05 |
| Port facilities/RER/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+05 |
| Potassium chloride, as K2O, at regional storehouse/RER U              | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Potassium hydroxide, at regional storage/RER U                        | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Potassium nitrate, as K2O, at regional storehouse/RER U               | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Potassium nitrate, as N, at regional storehouse/RER U                 | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Potassium sulphate, as K2O, at regional storehouse/RER U              | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Potato seed IP, at farm/CH U  | 0 | 0        | 4,58E-01 | 4,02E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Potato seed IP, at regional storehouse/CH U                           | 0 | 4,38E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Potato seed organic, at farm/CH U                                     | 0 | 0        | 4,58E-01 | 4,02E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Potato seed organic, at regional storehouse/CH U                      | 0 | 4,38E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Potatoes IP, at farm/CH U   | 0 | 0        | 4,58E-01 | 4,02E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Potatoes organic, at farm/CH U  | 0 | 0        | 4,58E-01 | 4,02E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Potatoes, at farm/US U  | 0 | 0        | 3,33E-01 | 2,92E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Poultry manure, dried, at regional storehouse/CH U                    | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Power saw, with catalytic converter/RER/I U                           | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+04 |
| Power saw, without catalytic converter/RER/I U                        | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+04 |
| Preservative treatment, infrastructure/RER/I U                        | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Printed wiring board mounting facilities, SMT type/GLO/I U            | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,19E+05 |
| Printed wiring board mounting facilities, THT type/GLO/I U            | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,19E+05 |
| Printed wiring board mounting plant/GLO/I U                           | 0 | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 2,19E+05 |
| Process-specific burdens, inert material landfill/CH U                | 0 | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 0        | 8,76E+04 |
| Process-specific burdens, residual material landfill/CH U             | 0 | 0        | 0        | 0        | 4,38E+04 | 0        | 2,63E+05 |
| Process-specific burdens, sanitary landfill/CH U                      | 0 | 0        | 0        | 0        | 4,38E+04 | 0        | 2,63E+05 |
| Process-specific burdens, slag compartment/CH U                       | 0 | 0        | 0        | 0        | 4,38E+04 | 0        | 2,63E+05 |
| Production plant crude oil, onshore/GLO/I U                           | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Production plant, natural gas/GLO/I U                                 | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 5,26E+05 |
| Propachlor, at regional storehouse/CH U                               | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Propachlor, at regional storehouse/RER U                              | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Prosulfocarb, at regional storage/RER U                               | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Protein peas conventional, Barrois, at farm/FR U                      | 0 | 0        | 7,50E-01 | 6,57E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Protein peas conventional, Castilla-y-Leon, at farm/ES U              | 0 | 0        | 5,42E-01 | 4,75E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Protein peas conventional, Saxony-Anhalt, at farm/DE U                | 0 | 0        | 7,50E-01 | 6,57E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Protein peas IP, at feed mill/CH U                                    | 0 | 2,19E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Protein peas, IP, at farm/CH U  | 0 | 0        | 5,00E-01 | 4,38E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Protein peas, organic, at farm/CH U                                   | 0 | 0        | 5,00E-01 | 4,38E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Provision, stubbed land/BR U  | 0 | 0        | 0        | 3,37E+02 | 0        | 0        | 0        |
| Provision, stubbed land/MY U  | 0 | 0        | 0        | 3,37E+02 | 0        | 0        | 0        |
| Pulp plant/RER/I U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Pump 40W, at plant/CH/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Pump station/CH/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 6,13E+05 |
| Pyretroid-compounds, at regional storehouse/CH U                      | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Pyretroid-compounds, at regional storehouse/RER U                     | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Pyridazine-compounds, at regional storehouse/CH U                     | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Pyridazine-compounds, at regional storehouse/RER U                    | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Pyridine-compounds, at regional storehouse/RER U                      | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Railway track, ICE/DE/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+05 |
| Railway track/CH/I U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+05 |
| Rape methyl ester, at regional storage/CH U                           | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Rape methyl ester, production RER, at service station/CH U            | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |

|  |          |          |          |          |          |          |          |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Rape oil, at regional storage/CH U   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Rape seed conventional, at farm/DE U   | 0        | 0        | 9,17E-01 | 8,03E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Rape seed conventional, Barrois, at farm/FR U                                | 0        | 0        | 9,17E-01 | 8,03E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Rape seed conventional, Saxony-Anhalt, at farm/DE U                          | 0        | 0        | 9,17E-01 | 8,03E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Rape seed extensive, at farm/CH U  | 0        | 0        | 9,17E-01 | 8,03E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Rape seed IP, at farm/CH U   | 0        | 0        | 9,17E-01 | 8,03E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Rape seed IP, at regional storehouse/CH U                                    | 0        | 4,38E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 0        | 4,38E+05 |
| Rape seed organic, at regional storehouse/CH U                               | 0        | 4,38E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 0        | 4,38E+05 |
| Rape seed, at farm/US U  | 0        | 0        | 9,17E-01 | 8,03E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Rape seed, organic, at farm/CH U   | 0        | 0        | 9,17E-01 | 8,03E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Recultivation, bauxite mine/GLO U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Recultivation, bentonite mine/DE U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Recultivation, iron mine/GLO U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Recultivation, limestone mine/CH U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Refinery/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Regional distribution, oil products/RER/I U                                  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 7,01E+05 |
| Regional train/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3,50E+05 |
| Reservoir hydropower plant, alpine region/RER/I U                            | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Reservoir hydropower plant, non alpine regions/RER/I U                       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Reservoir hydropower plant/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+06 |
| Residential sewer grid/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+05 |
| Residual material landfill facility/CH/I U                                   | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+04 | 3,50E+05 | 2,63E+05 |
| Rice seed, at regional storehouse/US U                                       | 0        | 4,38E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 0        | 4,38E+05 |
| Rice, at farm/US U   | 0        | 0        | 6,25E-01 | 5,48E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Road vehicle plant/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Road/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+05 |
| Roads, company, internal/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+05 |
| Rock wool plant/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Rolling mill/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Round wood, primary forest, clear-cutting, at forest road/BR U               | 0        | 0        | 0        | 3,37E+02 | 0        | 0        | 0        |
| Round wood, primary forest, clear-cutting, at forest road/MY U               | 0        | 0        | 0        | 3,37E+02 | 0        | 0        | 0        |
| Round wood, Scandinavian softwood, under bark, u=70% at forest road/NORDEL U | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Router, IP network, at server/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,19E+05 |
| Run-of-river hydropower plant/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 7,01E+05 |
| Run-of-river hydropower plant/RER/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 7,01E+05 |
| Rye grains conventional, at farm/RER U                                       | 0        | 0        | 8,75E-01 | 7,67E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Rye grains extensive, at farm/CH U   | 0        | 0        | 8,75E-01 | 7,67E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Rye grains IP, at farm/CH U  | 0        | 0        | 8,75E-01 | 7,67E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Rye grains organic, at farm/CH U   | 0        | 0        | 8,75E-01 | 7,67E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Rye IP, at feed mill/CH U  | 0        | 2,19E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Rye organic, at feed mill/CH U   | 0        | 2,19E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Rye seed IP, at regional storehouse/CH U                                     | 0        | 4,38E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Rye seed organic, at regional storehouse/CH U                                | 0        | 4,38E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Rye straw conventional, at farm/RER U  | 0        | 0        | 8,75E-01 | 7,67E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Rye straw extensive, at farm/CH U  | 0        | 0        | 8,75E-01 | 7,67E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Rye straw IP, at farm/CH U   | 0        | 0        | 8,75E-01 | 7,67E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Rye straw organic, at farm/CH U  | 0        | 0        | 8,75E-01 | 7,67E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Sanitary landfill facility/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+04 | 1,31E+06 | 2,63E+05 |
| Sawmill/RER/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Sawn timber, hardwood, raw, air dried, u=20%, at plant/RER U                 | 0        | 1,75E+04 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Sawn timber, softwood, raw, air dried, u=20%, at plant/RER U                 | 0        | 1,75E+04 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Scooter, ICE, at regional storage/RER/I U                                    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+04 |
| Scrap preparation plant/RER/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Sewer grid, class 1/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+05 |
| Sewer grid, class 2/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+05 |
| Sewer grid, class 3/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+05 |
| Sewer grid, class 4/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+05 |
| Sewer grid, class 5/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+05 |
| Shed/CH/I U  | 6,00E-01 | 0        | 0        | 0        | 4,38E+03 | 4,38E+03 | 4,38E+05 |
| Sheep for slaughtering, live weight, at farm/US U                            | 0        | 0        | 1,00E+00 | 8,76E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Silage maize IP, at farm/CH U  | 0        | 0        | 3,75E-01 | 3,29E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Silage maize organic, at farm/CH U   | 0        | 0        | 3,75E-01 | 3,29E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Silicone plant/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+05 |
| Single superphosphate, as P2O5, at regional storehouse/RER U                 | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Slag compartment/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+04 | 6,57E+05 | 2,63E+05 |
| Slanted-roof construction, integrated, on roof/RER/I U                       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Slanted-roof construction, mounted, on roof/RER/I U                          | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Slurry store and processing/CH/I U   | 6,00E-01 | 0        | 0        | 0        | 4,38E+03 | 4,38E+03 | 3,50E+05 |
| Slurry tanker, production/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+04 |
| SOFC fuel cell 125kWe, future/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,40E+05 |

|  |          |          |          |          |          |          |          |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| SOFC-GT fuel cell 180kWe, future/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,40E+05 |
| Softwood, allocation correction, 1/RER U   | 0        | 0        | 1,50E+02 | 1,31E+06 | 0        | 0        | 0        |
| Softwood, allocation correction, 2/RER U   | 0        | 0        | 1,50E+02 | 1,31E+06 | 0        | 0        | 0        |
| Softwood, allocation correction, 3/RER U   | 0        | 0        | 1,50E+02 | 1,31E+06 | 0        | 0        | 0        |
| Softwood, Scandinavian, standing, under bark, in forest/NORDEL U                     | 0        | 0        | 1,50E+02 | 1,31E+06 | 0        | 0        | 0        |
| Softwood, stand establishment / tending / site development, under bark/RER U         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Softwood, standing, under bark, in forest/RER U                                      | 0        | 0        | 1,50E+02 | 1,31E+06 | 0        | 0        | 0        |
| Solar collector factory/RER/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Solar system with evacuated tube collector, one-family house, combined system/CH/I U | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Solar system, flat plate collector, multiple dwelling, hot water/CH/I U              | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Solar system, flat plate collector, one-family house, combined system/CH/I U         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Solar system, flat plate collector, one-family house, hot water/CH/I U               | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Solder production plant/RER/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Sorting plant for construction waste/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Sound insulation cogen unit 160kWe/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Soy beans IP, at farm/CH U   | 0        | 0        | 4,58E-01 | 4,02E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Soy beans organic, at farm/CH U  | 0        | 0        | 4,58E-01 | 4,02E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Soybean methyl ester, production BR, at service station/CH U                         | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Soybean methyl ester, production US, at service station/CH U                         | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Soybeans, at farm/BR U   | 0        | 0        | 3,33E-01 | 2,92E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Soybeans, at farm/US U   | 0        | 0        | 5,00E-01 | 4,38E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Stack PEM fuel cell 2kWe, future/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 5,26E+04 |
| Stack SOFC fuel cell 125kWe, future/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 5,26E+04 |
| Stirling cogen unit 3kWe, wood pellets, future/CH/I U                                | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+05 |
| Stone meal, at regional storehouse/CH U  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Storage 10'000 l/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Storage 650 l Mini CHP plant/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Storage building, chemicals, solid/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Straw, from straw areas, at field/CH U   | 0        | 0        | 1,00E+00 | 8,76E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Sugar beet seed IP, at regional storehouse/CH U                                      | 0        | 4,38E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Sugar beets IP, at farm/CH U   | 0        | 0        | 5,42E-01 | 4,75E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Sugar refinery/GLO/I U   | 6,00E-01 | 0        | 0        | 0        | 2,19E+04 | 2,19E+04 | 4,38E+05 |
| Sugarcane, at farm/BR U  | 0        | 0        | 2,50E-01 | 2,19E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Sunflower conventional, Castilla-y-Leon, at farm/ES U                                | 0        | 0        | 7,92E-01 | 6,94E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Sunflower IP, at farm/CH U   | 0        | 0        | 4,17E-01 | 3,65E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Supply air input/spent air output cogen unit 160kWe/RER/I U                          | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Sweet sorghum grains, at farm/CN U   | 0        | 0        | 2,92E-01 | 2,56E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Sweet sorghum stem, at farm/CN U   | 0        | 0        | 2,92E-01 | 2,56E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Synthetic gas plant/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Tallow, at plant/CH U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Technical wood drying, infrastructure/RER/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Tetrachloroethylene, at regional storage/CH U  | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Thomas meal, as P2O5, at regional storehouse/RER U                                   | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Tied housing system, cattle/CH/I U   | 6,00E-01 | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Tower silo, plastic/CH/I U   | 6,00E-01 | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 2,19E+05 |
| Tractor, production/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Trailer, production/CH/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+04 |
| Tram track/CH/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+05 |
| Tram/RER/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Transmission network, electricity, high voltage/CH/I U                               | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Transmission network, electricity, medium voltage/CH/I U                             | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Transmission network, long-distance/UCTE/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Transoceanic freight ship/OCE/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,19E+05 |
| Transoceanic tanker/OCE/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,37E+05 |
| Triazine-compounds, at regional storehouse/CH U                                      | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Triazine-compounds, at regional storehouse/RER U                                     | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Triple superphosphate, as P2O5, at regional storehouse/RER U                         | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Tube insulation plant/DE/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Underground mine, hard coal/CN/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Underground mine, hard coal/GLO/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,63E+05 |
| Uranium conversion plant/CN/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3,50E+05 |
| Uranium conversion plant/US/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3,50E+05 |
| Uranium enrichment centrifuge plant/CN/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3,50E+05 |
| Uranium enrichment centrifuge plant/GLO/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3,50E+05 |
| Uranium enrichment centrifuge plant/RU/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3,50E+05 |
| Uranium enrichment diffusion plant/US/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3,50E+05 |
| Uranium mill/US/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+05 |
| Uranium open pit mine/RNA/I U  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Uranium underground mine/RNA/I U   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Urea ammonium nitrate, as N, at regional storehouse/RER U                            | 0        | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |

|  |   |          |          |          |          |          |          |
|--|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Urea, as N, at regional storehouse/RER/I U                                       | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Van <3.5t/RER/I U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,40E+05 |
| Vegetable oil esterification plant/CH/I U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Vegetable oil methyl ester, production FR, at service station/CH U               | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Ventilation components factory/RER/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Ventilation system, central, 1 x 720 m3/h, PE ducts, with GHE/CH/I U             | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Ventilation system, central, 1 x 720 m3/h, steel ducts, with GHE/CH/I U          | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Ventilation system, decentralized, 6 x 120 m3/h, PE ducts, with GHE/CH/I U       | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Ventilation system, decentralized, 6 x 120 m3/h, PE ducts, without GHE/CH/I U    | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Ventilation system, decentralized, 6 x 120 m3/h, steel ducts, with GHE/CH/I U    | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Ventilation system, decentralized, 6 x 120 m3/h, steel ducts, without GHE/CH/I U | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Wafer factory/DE/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2,19E+05 |
| Waste paper sorting plant/RER/I U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Wastewater treatment plant, class 1/CH/I U                                       | 0 | 0        | 0        | 0        | 4,38E+03 | 4,38E+03 | 2,63E+05 |
| Wastewater treatment plant, class 2/CH/I U                                       | 0 | 0        | 0        | 0        | 4,38E+03 | 4,38E+03 | 2,63E+05 |
| Wastewater treatment plant, class 3/CH/I U                                       | 0 | 0        | 0        | 0        | 4,38E+03 | 4,38E+03 | 2,63E+05 |
| Wastewater treatment plant, class 4/CH/I U                                       | 0 | 0        | 0        | 0        | 4,38E+03 | 4,38E+03 | 2,63E+05 |
| Wastewater treatment plant, class 5/CH/I U                                       | 0 | 0        | 0        | 0        | 4,38E+03 | 4,38E+03 | 2,63E+05 |
| Water storage/CH/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 6,13E+05 |
| Water supply network/CH/I U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 6,13E+05 |
| Water treatment plant, deionisation/CH/I U                                       | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,31E+05 |
| Water works/CH/I U   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 6,13E+05 |
| Well for exploration and production, offshore/OCE/I U                            | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Well for exploration and production, onshore/GLO/I U                             | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 8,76E+04 |
| Wheat grains conventional, Barrois, at farm/FR U                                 | 0 | 0        | 8,33E-01 | 7,30E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Wheat grains conventional, Castilla-y-Leon, at farm/ES U                         | 0 | 0        | 1,71E+00 | 1,50E+04 | 0        | 0        | 0        |
| Wheat grains conventional, Saxony-Anhalt, at farm/DE U                           | 0 | 0        | 8,75E-01 | 7,67E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Wheat grains extensive, at farm/CH U   | 0 | 0        | 7,92E-01 | 6,94E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Wheat grains IP, at farm/CH U  | 0 | 0        | 7,92E-01 | 6,94E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Wheat grains organic, at farm/CH U   | 0 | 0        | 7,92E-01 | 6,94E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Wheat grains, at farm/US U   | 0 | 0        | 8,75E-01 | 8,76E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Wheat IP, at feed mill/CH U  | 0 | 2,19E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Wheat organic, at feed mill/CH U   | 0 | 2,19E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Wheat seed IP, at regional storehouse/CH U                                       | 0 | 4,38E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Wheat seed organic, at regional storehouse/CH U                                  | 0 | 4,38E+03 | 0        | 0        | 8,76E+03 | 8,76E+03 | 4,38E+05 |
| Wheat straw extensive, at farm/CH U  | 0 | 0        | 7,92E-01 | 6,94E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Wheat straw IP, at farm/CH U   | 0 | 0        | 7,92E-01 | 6,94E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Wheat straw organic, at farm/CH U  | 0 | 0        | 7,92E-01 | 6,94E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Wind power plant 150kW, fixed parts/CH/I U                                       | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3,50E+05 |
| Wind power plant 150kW, moving parts/CH/I U                                      | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Wind power plant 2MW, offshore, fixed parts/OCE/I U                              | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Wind power plant 2MW, offshore, moving parts/OCE/I U                             | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Wind power plant 30kW, fixed parts/CH/I U  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3,50E+05 |
| Wind power plant 30kW, moving parts/CH/I U                                       | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Wind power plant 600kW, fixed parts/CH/I U                                       | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3,50E+05 |
| Wind power plant 600kW, moving parts/CH/I U                                      | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Wind power plant 800kW, fixed parts/CH/I U                                       | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3,50E+05 |
| Wind power plant 800kW, fixed parts/RER/I U                                      | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3,50E+05 |
| Wind power plant 800kW, moving parts/CH/I U                                      | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Wind power plant 800kW, moving parts/CH/I U                                      | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1,75E+05 |
| Wood pellet manufacturing, infrastructure/RER/I U                                | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Wooden board manufacturing plant, cement bonded boards/RER/I U                   | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Wooden board manufacturing plant, organic bonded boards/RER/I U                  | 0 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4,38E+05 |
| Wool, sheep, at farm/US U  | 0 | 0        | 1,00E+00 | 8,76E+03 | 0        | 0        | 0        |
| Xenon, gaseous, at regional storage/CH U   | 0 | 1,46E+03 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |