

## ECOTOXICITE : INDICATEURS, METHODOLOGIE, DEVELOPPEMENTS RECENTS ET A VENIR

### RAPPORT FINAL

Juin 2022

#### Responsables scientifiques\* et co-rédacteurs :

- **Aurore Wermeille, Arnaud Depond, Anne-Claire Asselin\***  
Sayari, 6 rue Carnot, 78112 SAINT GERMAIN EN LAYE



- **Magdalena Czyrnek-Delêtre\*, Célia Chamillard, Florian Diot-Néant, Eugène Pipraud**  
I Care, 28 rue du 4 Septembre, 75002 PARIS



- **Céline Gentil-Sergent**  
Experte toxicité

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

- En Bibliographie, ce document sera cité sous la référence :

**SCORE LCA**, Ecotoxicité : indicateurs, méthodologie, développements récents et à venir, Juin 2022, 88 pages, n°2021-03.

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

**Comité de suivi pour Score LCA :** Benjamin Jaumard, Marion Pasquier, Elodie Gaouyat – TOTALENERGIES ; Tatiana Bratec – ENGIE ; Anne Grau, Denis Le Boulch – EDF ; Olivier Mahé – RENAULT ; Rafaele Desplats – ADEME ; Lise Maisonneuve, Tiffany Charbouillot, Vincent Debost – MICHELIN ; Kaiwei Wang, Jacques L'Haridon – L'OREAL ; Annabelle Barteau, Flavien Colin – Alstom ; Julien Garcia, Olivier Guyon – IFPEN ; Bénédicte Couffignal – RECORD ; Philippe Osset, Jade Garcia - SCORE LCA



## RESUME

---

Les impacts sur les écosystèmes des contaminants émis dans l'environnement constituent une préoccupation croissante pour la population et les entreprises. Cette tendance devrait encore s'accroître ces prochaines années au regard des dernières publications scientifiques qui démontrent que les limites planétaires ont été dépassées au niveau de la toxicité notamment (« novel entities » (Persson et al., 2022)). En Analyse du Cycle de Vie (ACV), l'écotoxicité n'est souvent pas prise en compte, et si elle l'est, les résultats sont peu communiqués car jugés peu robustes. Le groupement souhaite répondre à la question suivante : comment utiliser les indicateurs actuels d'écotoxicité en ACV pour la prise de décision des entreprises ?

### Objectif :

L'objectif du groupement est quadruple : i) mener un inventaire des méthodes et indicateurs d'écotoxicité existants en ACV ; ii) analyser les fondements de ces indicateurs, comprendre les choix méthodologiques et les méthodes de calcul sous-jacents ; iii) tester les méthodes sur des études de cas ; iv) établir des recommandations pour les praticiens.

### Méthode :

Le groupement a analysé cinq méthodes, en se basant notamment sur les recommandations et les critères de GLAM : USEtox, ReCiPe 2016, LC-Impact, IMPACT World+ et EF3.0, à la fois dans leur format natif et tels que disponibles dans SimaPro (sauf pour LC-Impact). Afin de fournir des recommandations pertinentes, nous avons réalisé i) une cartographie de la méthodologie native et des facteurs de caractérisation en termes de champ d'application (substances couvertes), de voies d'impact, de milieux cibles, d'horizon(s) temporel(s), de données sous-jacentes et de lien avec les méthodes et les données d'évaluation des risques ; ii) une analyse de la mise en œuvre des méthodes dans les logiciels (SimaPro, OpenLCA et Gabi), et des choix connexes faits par les développeurs du logiciel ; iii) une application des méthodes pour plusieurs substances (3 organiques, 2 métalliques et 1 inorganique non métallique) par compartiment et sous-compartiment et pour 2 processus (production de maïs et traitement des eaux usées d'Ecoinvent).

### Résultats :

L'absence d'indicateurs d'écotoxicité terrestre et marine dans 3 des 5 méthodes influence dans le choix de la méthode d'impact et modifie l'interprétation des résultats car ces 2 catégories d'impacts ne font pas l'objet d'un consensus. Pour une substance donnée, les méthodes natives et leur application logicielle ne conduisent pas aux mêmes résultats, en raison de l'absence des dernières versions des méthodes dans les logiciels et des adaptations de ces méthodes liées à l'absence (ou la simplification) de la régionalisation et de la cartographie des compartiments d'émission. Le nombre de substances caractérisées varie de manière importante entre les différentes méthodes mais également entre les versions natives et les versions logicielles. Le groupement constate une différence notable pour les métaux, pour lesquels la prise en compte d'un horizon temporel infini entraîne un impact relatif plus important par rapport à un horizon de 100 ans. Pour les deux processus ecoinvent étudiés, nous observons des différences de résultats selon les méthodes utilisées, en raison de l'importance relative des CFs entre les substances et les compartiments d'émission selon les méthodes.

La comparaison des données sous-jacentes des CFs entre les méthodes soulève différentes limites, notamment sur la qualité des données à l'origine de ces CFs.

### Recommandations :

Le groupement souligne la nécessité d'être extrêmement prudent dans l'analyse des résultats d'écotoxicité en ACV, en raison des limites identifiées (écotoxicité terrestre et marine mal prise en compte, résultats divergents pour les métaux entre méthodes, substances non caractérisées...). Toutefois, le groupement considère qu'il est nécessaire de prendre l'écotoxicité en compte afin de rendre l'ACV complète. Sur la base des travaux réalisés, et d'entretiens avec 4 experts, le groupement propose des recommandations pour les praticiens, afin de les aider à choisir la méthode d'évaluation

de l'écotoxicité en ACV la plus adaptée à l'objectif et au champ de leur étude, adjointes d'un arbre de décisions.

**MOTS CLES : écotoxicité, ACV, AICV**

## SUMMARY

---

The impacts on ecosystems of contaminants emitted into the environment are a growing concern for the public and companies. In Life Cycle Assessment (LCA), ecotoxicity is often not taken into account, and if it is, the results are not widely communicated because they are not considered very robust. The group wishes to answer the following question: how to use the current indicators of ecotoxicity in LCA for the decision making of companies?

### Objective:

The group's objective is fourfold: i) to conduct an inventory of existing ecotoxicity methods and indicators in LCA; ii) to analyze the foundations of these indicators, understand the underlying methodological choices and calculation methods; iii) to test the methods on case studies; iv) to establish recommendations for practitioners.

### Method:

The consortium analyzed five methods, based in part on GLAM recommendations and criteria: USEtox 2.12, ReCiPe 2016, LC-Impact, IMPACT World+, and EF3.0, both in their native format and as available in SimaPro (except for LC-Impact). In order to provide relevant recommendations, we performed i) a mapping of the native methodology and characterization factors in terms of scope (substances covered), impact pathways, target media, time horizon(s), underlying data, and linkage to risk assessment methods and data ; (ii) an analysis of the implementation of the methods in SimaPro, and related choices made by the software developers; (iii) an application of the methods for several substances (3 organic, 2 metallic, and 1 non-metallic inorganic) by compartment and sub-compartment and for 2 processes (corn production and ecoinvent wastewater treatment).

### Results:

The lack of terrestrial and marine ecotoxicity indicators in 3 of the 5 methods alters the interpretation of the results. For a given substance, the native methods and their software application do not lead to the same results, due to the absence of the latest versions of the methods in the software and the adaptations of these methods related to the absence (or simplification) of regionalization and mapping of emission compartments. The group notes a notable difference for metals, for which the consideration of an infinite time horizon results in a greater relative impact compared to a 100-year horizon. For the two ecoinvent processes studied, we observe differences in results depending on the methods used, due to the relative importance of CFs between substances and emission compartments depending on the methods.

The comparison of the underlying data of the CFs between the methods raises limitations, on e.g. data quality from which these CFs originate.

### Recommendations:

The group emphasizes the need to be cautious in the analysis of ecotoxicity results in LCA, due to known limitations (terrestrial and marine ecotoxicity poorly taken into account, divergent results for metals between methods, uncharacterized substances...). However, the group considers that it is necessary to take ecotoxicity into account for completeness of LCA approach. Based on the work carried out, and interviews with 4 experts, the group proposes recommendations for practitioners, to help them choose the ecotoxicity assessment method in LCA according to their goal and scope, together with a decision tree.

### KEY WORDS: ecotoxicity, LCA, LCIA

## **TABLE DES MATIÈRES**

<b>RESUME .....</b>	<b>4</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>6</b>
<b>GLOSSAIRE .....</b>	<b>9</b>
<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1. Contexte et objectifs .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2. Méthodologie générale .....</b>	<b>14</b>
<b>1.3. Objet du présent rapport .....</b>	<b>15</b>
<b>1.4. Cadrage de l'état de l'art .....</b>	<b>15</b>
1.4.1. Fonctionnement des méthodes ACV en écotoxicité .....	16
1.4.2. Articulation de l'ACV avec l'évaluation du risque .....	17
<b>2. GLAM ET LA METHODE USETOX 2.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1. Bref historique de GLAM et du consensus international USEtox.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2. Recommandations de GLAM .....</b>	<b>18</b>
<b>2.3. La méthode USEtox 2 .....</b>	<b>19</b>
2.3.1. Schéma de la chaîne d'impact .....	19
2.3.2. Paramètres et hypothèses de calcul des facteurs de caractérisation .....	20
<b>3. DESCRIPTION DES METHODES .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1. Méthodes existantes .....</b>	<b>25</b>
3.1.1. Synthèse des méthodes existantes et de leurs évolutions .....	25
3.1.2. Description des méthodes par famille .....	27
3.1.3. Régionalisation des impacts .....	30
3.1.4. Utilisation d'archétypes de substances .....	32
<b>3.2. Méthodes en cours de développement.....</b>	<b>34</b>
3.2.1. MariLCA .....	34
3.2.2. Proscale .....	36
<b>4. COMPARAISON DES METHODES EXISTANTES.....</b>	<b>38</b>
<b>4.1. Approche théorique .....</b>	<b>38</b>
<b>4.2. Prise en compte des méthodes dans les EPD .....</b>	<b>43</b>
<b>4.3. Adaptation des méthodes dans les logiciels ACV .....</b>	<b>44</b>
4.3.1. SimaPro .....	45

4.3.2.	Open-LCA.....	46
4.3.3.	GaBi.....	46
4.3.4.	Mapping des sous-compartiments dans les logiciels : exemple de USEtox dans SimaPro	46
<b>4.4.</b>	<b>Application aux cas d'études .....</b>	<b>48</b>
4.4.1.	Cas d'étude : comparaison des méthodes par substance .....	48
4.4.2.	Cas d'études processus.....	58
<b>5.</b>	<b>LIMITES ET ROBUSTESSE DES METHODES .....</b>	<b>61</b>
<b>6.</b>	<b>RECOMMANDATIONS POUR LES PRATICIENS.....</b>	<b>64</b>
<b>6.1.</b>	<b>Arbres de décision .....</b>	<b>64</b>
<b>6.2.</b>	<b>Recommandations .....</b>	<b>67</b>
6.2.1.	Sélection de la méthode d'évaluation de l'écotoxicité .....	67
6.2.2.	Interprétation des résultats .....	72
<b>7.</b>	<b>PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT POUR LES METHODES.....</b>	<b>74</b>
<b>7.1.</b>	<b>Méthodes et recommandations GLAM .....</b>	<b>74</b>
<b>7.2.</b>	<b>Perspectives d'amélioration pour les développeurs de méthode .....</b>	<b>77</b>
<b>8.</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>80</b>
<b>9.</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>81</b>

## GLOSSAIRE

---

ACR : Acute-to-Chronic Ratio, Ratio aiguës-chroniques

ACV : Analyse du Cycle de Vie (LCA : Life Cycle Assessment)

AICV : Analyse d'Impact du Cycle de vie (LCIA : Life Cycle Impact Assessment)

CF : Characterization Factor, Facteur de caractérisation

CTUe : Comparative Toxic Unit for ecotoxicity, Unité comparative de la toxicité pour l'écotoxicité

CDUe : Comparative Damage Unit for ecotoxicity, Unité comparative de dommage pour l'écotoxicité

COD : carbone organique dissout

COV : Composés Organiques Volatils

CSOV : Composés Semi-Organiques Volatils

DF : Damage factor, facteur de dommage

e-toxBASE : Base de données sur l'écotoxicité développée par RIVM

EC : Effective Concentration, concentration effective

ECHA : European Chemical Agency, Agence européenne des produits chimiques

EF : Effect factor, facteur d'effet

EF 3.0 : Environmental Footprint, Empreinte environnementale, méthode d'analyse d'impacts à l'initiative de la Commission Européenne (version 3).

EPD : Environmental Product Declarations, Déclarations environnementales de produits

FF : Fate factor, facteur de devenir

HC : Hazardous Concentration, concentration dangereuse

GLAM : Global LCA Access to Methods, Globale évaluation des méthodes ACV

ICV : Inventaire du Cycle de Vie (LCI : Life Cycle Inventory)

I'IPBES : Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services

IMPACT World+ : méthode AICV (Bulle et al., 2019)

IUCLID : International Uniform Chemical Information Database, application logicielle de saisie, stockage, gestion et échange de données sur les propriétés intrinsèques et dangereuses des substances chimiques.

LC-IMPACT : méthode AICV (Verones et al., 2020)

LOEC : Lowest Observed Effect Concentration, concentration minimale avec effet observé

MarILCA : Initiative globale sur l'évaluation des impacts des plastiques en mer via l'ACV (Boulay et al., 2021)

NOEC : No Observed Effect Concentration, concentration où aucun effet observé

OpenFoodTox : base de données de l'EFSA

PAF : Potentially affected fraction of species, fraction d'espèce potentiellement affectée

PAH : Hydrocarbure Aromatique Polycyclique

PDF : Potentially disappeared fraction of species, fraction d'espèce potentiellement disparue

PLP : Plastic Leak Project, méthodologie scientifique pour cartographier, mesurer et prévoir les fuites de plastique tout au long de la chaîne de valeur.

PPDB : Pesticide Properties Database, base de données sur les propriétés chimiques, physiques et biologiques des pesticides.

ProScale : méthode AICV en cours de développement

QSAR : Quantitative Structure Activity Relationship, modèle mathématique permettant d'estimer la capacité de provoquer des effets toxiques en fonction de la structure moléculaire du produit chimique.

REACH : Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals, règlement de l'Union Européenne établissant des procédures pour la collecte et l'évaluation d'informations sur les propriétés et les dangers des substances chimiques

ReCiPe : méthode AICV (Huijbregts et al., 2017)

RIVM : Institut Néerlandais de la santé publique et de l'environnement

SETAC : Society of Environmental Toxicology and Chemistry

SSD : Species Sensitivity Distribution, distribution de la sensibilité des espèces

UNEP : United Nations Environment Programme

US-EPA : United States Environmental Protection Agency

USES-LCA : Uniform System for the Evaluation of Substances, modèle de devenir, d'exposition et d'effets adapté à l'ACV.

USEtox (R) : version « recommended » de USEtox

USEtox (R+I) : version « recommended » cumulée avec la version « interim » de USEtox

XP : Exposure factor, facteur d'exposition

**Liste des figures**

Figure 1 : Méthodologie du projet..... 15

Figure 2 : Schéma général du fonctionnement des méthodes d'AICV pour l'écotoxicité. .... 16

Figure 3 : Principales différences entre l'évaluation du risque et l'ACV..... 17

Figure 4 : Chaîne d'impact AICV pour l'écotoxicité issue du consensus international USEtox et reprise dans GLAM (UNEP-SETAC Life Cycle Initiative, 2019)..... 19

Figure 5 : Description de la méthode de calcul de la caractérisation des impacts d'écotoxicité dans USEtox, des émissions aux dommages (Fantke et al., 2017) ..... 20

Figure 6 : Description des différents compartiments utilisés pour la modélisation du devenir d'une substance dans USEtox (Fantke et al., 2017)..... 21

Figure 7 : Exemple de courbe statistique de distribution de sensibilité des espèces (Species Sensitivity Distribution ; SSD) pour une substance donnée. .... 23

Figure 8 : Cartographie des différentes méthodes étudiées, de leurs développeurs et des méthodes sur lesquelles elles sont basées au niveau du(des) indicateur(s) écotoxicité..... 26

Figure 9 : Evolution de la méthode EF (EF 2.0 et EF 3.0) d'écotoxicité par rapport à la méthode USEtox, montrant la prise en compte de facteurs de robustesse dans le calcul des CF. Figure adaptée de (Sala, 2020)..... 29

Figure 10 : les trois phases du projet MariLCA sur la période 2019-2025..... 35

Figure 11 : Cadre méthodologique MariLCA, issu de (Boulay et al., 2021) ..... 35

Figure 12 : Méthode native vs méthode dans logiciel : l'exemple de USEtox. .... 38

Figure 13 : Nombre total de facteurs de caractérisation dans (USEtox 2.1) et dans EF 3.0 (EC-JRC-2018) (Saouter et al., 2018)..... 41

Figure 14 : Pondération relative des substances pour les impacts sur l'écotoxicité d'eau douce pour 1 kg de substances émises dans l'air (sous compartiment unspecified) en fonction des différentes méthodes ACV. .... 49

Figure 15 : Facteurs de caractérisations pour 1 kg de différentes substances émises dans l'air (sous-compartiment unspecified) pour la catégorie d'impact midpoint écotoxicité des eaux douces selon différentes méthodes ACV..... 50

Figure 16 : Facteurs de caractérisation pour 1 kg de différentes substances émises dans l'eau (sous-compartiment unspecified) pour la catégorie d'impact intermédiaire endpoint écotoxicité des eaux douces selon différentes méthodes ACV. .... 52

Figure 17 : Présentation des CFs par sous-compartiments (compartiment eau) par méthode et pour les différentes substances afin de caractériser les impacts midpoint sur l'écotoxicité d'eau douce. .... 55

Figure 18 : Présentation des CFs du glyphosate par sous-compartiments pour les versions 2.02 et 2.12 de USEtox..... 57

Figure 19 : Présentation des CFs de l'aluminium et de l'ion Al(III) par sous-compartiments pour les versions 2.02 et 2.12 de USEtox..... 57

Figure 20 : Analyse des impacts de la production de maïs et du traitement des eaux usées au niveau midpoint et pour l'écotoxicité d'eau douce. .... 58

Figure 21 : Perspective temporelle à 100 ans pour différents types de substances. Avec l'aimable autorisation de Philippe Roux..... 61

Figure 22 : Arbre de décision pour une étude portant spécifiquement sur l'écotoxicité..... 65

Figure 23 : Arbre de décision pour une étude multi-indicateurs incluant l'impact écotoxicité..... 66

**Liste des tableaux**

Tableau 1 : Liste des recommandations de GLAM d’après (UNEP-SETAC Life Cycle Initiative, 2019) .....	18
Tableau 2 : Processus de distribution entre compartiments (USEtox 2.1) .....	21
Tableau 3 : Ratio ACR (Acute-to-Chronic Ratio) dans la méthode USEtox 2 .....	23
Tableau 4 : Conditions de durée pour la classification d'un essai comme aiguë, sub-chronique ou chronique (Tableau issue de (Fantke et al., 2017).....	24
Tableau 5 : Sous-compartiments d'émissions pour l'écotoxicité dans les méthodes de la famille USEtox .....	28
Tableau 6 : Sous-compartiments d'émissions pour l'écotoxicité dans la méthode EF 3.0 .....	30
Tableau 7 : Sous-compartiments d'émission pour l'écotoxicité dans la méthode ReCiPe 2016 .....	30
Tableau 8 : Etat de l'art pour la régionalisation des impacts selon les différentes méthodes.....	31
Tableau 9 : Paramètres utilisés pour régionaliser les facteurs de devenir dans USEtox 2.12. ....	31
Tableau 10 : Synthèse des archétypes de substances pour les méthodes EF 3.0 et ReCiPe 2016 par famille chimique et classe. *Noble gases, radioactive and actinides unspcified ne concernent pas l'écotoxicité mais les impacts du rayonnement ionisant.....	32
Tableau 11 : Comparaison de l'approche méthodologique des différentes méthodes retenues. ....	39
Tableau 12 : Sources de données pour le calcul des facteurs de caractérisation suivant les différentes méthodes.....	40
Tableau 13 : Exigences pour déterminer les courbes SSD en termes de nombre d'espèces et de niveaux trophiques.....	43
Tableau 14 : Versions des méthodes natives les plus récentes et versions disponibles dans les logiciels. ....	44
Tableau 15 : Version des méthodes natives les plus récentes et des versions disponibles dans la nouvelle mise à jour de SimaPro sortie lors de la rédaction de ce rapport. ....	45
Tableau 16 : Mapping des sous-compartiments natifs avec les sous-compartiments disponibles dans les logiciels pour la méthode USEtox 2.02.....	47
Tableau 17 : Contribution des 3 substances les plus importantes par méthodes et pour la production de maïs et le traitement des eaux usées au niveau midpoint et pour l'écotoxicité d'eau douce.....	59
Tableau 18 : Contribution des substances pour la production de maïs et le traitement des eaux usées au niveau midpoint et pour l'écotoxicité d'eau douce.....	59
Tableau 18 : Synthèse des avancées des méthodes par rapport aux recommandations GLAM (UNEP-SETAC Life Cycle Initiative, 2019). ....	75

## 1. INTRODUCTION

---

### 1.1. Contexte et objectifs

Le sujet de la prise en compte des impacts des activités anthropiques sur les écosystèmes gagne d'ampleur au sein de la population et des entreprises. Considérée comme l'une des cinq grandes pressions sur la biodiversité par l'IPBES (*Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*) (IPBES, 2019), la pollution inclue les impacts liés à l'écotoxicité des substances rejetées dans les milieux naturels.

Historiquement, l'ACV a essentiellement considéré l'écotoxicité eau douce, mais l'impact écotoxicité touche également les espèces terrestres et marines pour lesquels les indicateurs et méthodes d'évaluation sont encore peu développés. Cette prise en compte partielle des enjeux liés à l'écotoxicité, associée à des travaux et indicateurs encore limités, conduit à des résultats ACV aujourd'hui considérés peu robustes et de fait peu communiqués.

Cette étude doit permettre de déterminer, dans un contexte comparatif, si les impacts d'un produit ou d'un processus sur les écosystèmes évalués par les méthodes ACV sont bel et bien représentatifs de la réalité, afin de construire des recommandations pour une meilleure considération des indicateurs écotoxicité en ACV.

L'étude devra permettre de répondre aux questions suivantes :

- Quelles méthodes permettent d'estimer les impacts d'écotoxicité en ACV aujourd'hui ? Quels développements sont en cours ?
- Sur quelles hypothèses reposent ces méthodes ? Que couvrent-elles (ex. milieux, taxons, compartiments) ? Quelles sont leurs limites ?
- Comment utiliser et interpréter au mieux ces méthodes ?

Ainsi, les objectifs de l'étude sont les suivants :

1. Faire un état des lieux des indicateurs d'écotoxicité existant en ACV et des développements en cours ou à venir ;
2. Analyser les fondements de ces indicateurs, comprendre les choix méthodologiques, les modes de calculs et les utilisations possibles, en particulier à travers les logiciels d'ACV ;
3. Etablir des recommandations pour le praticien : préciser le cadre d'une utilisation juste et crédible des indicateurs existants.

### 1.2. Méthodologie générale

Cette étude repose sur un travail bibliographique de synthèse visant à analyser les indicateurs écotoxicité en ACV pour évaluer les limites des méthodes derrière et proposer des recommandations.

**La méthodologie de cette étude, présentée en Figure 1, repose sur 3 volets :**

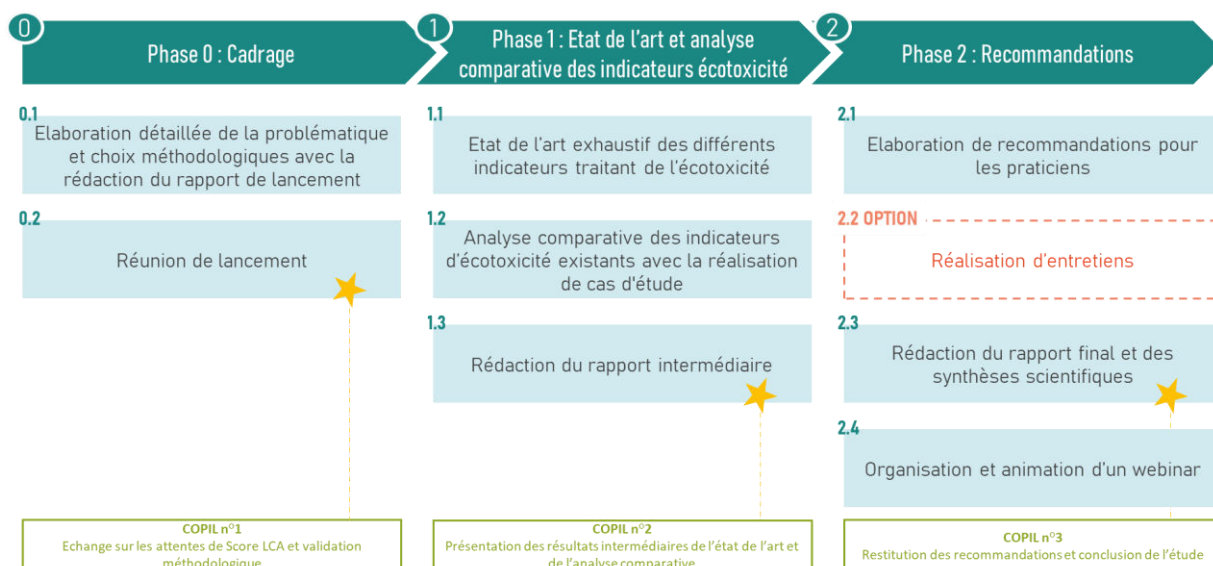


Figure 1 : Méthodologie du projet

La phase de cadrage a été réalisée dans le courant du mois d'octobre. Une réunion de lancement s'est tenue le 5 octobre 2021. A l'issue de cette réunion un rapport de lancement a été rédigé et validé par SCORE LCA fin octobre 2021.

La phase 1 concerne l'« Etat de l'art et l'analyse comparative des indicateurs d'écotoxicité ». Elle s'est déroulée entre octobre 2021 et janvier 2022.

La phase 2 a permis d'établir des recommandations pour les praticiens sur la base des travaux de la phase 1 et d'entretiens menés avec quatre experts : Erwan Saouter, Tomas Rydberg, Peter Fantke et Ralph Rosenbaum.

### 1.3. Objet du présent rapport

Le présent rapport final fait la synthèse du projet en précisant certains points du rapport intermédiaire et en le complétant par les recommandations aux praticiens et les perspectives de développement des méthodes.

Il présente plusieurs parties :

- Présentation des recommandations issues de GLAM
- Description de la méthode USEtox 2 considérée comme la méthode clé parmi les méthodes d'écotoxicité
- Description des différentes méthodes existantes
- Analyse théorique des différentes méthodes
- Analyse pratique avec la comparaison des méthodes basée sur les cas d'étude.
- Limites et robustesse des méthodes
- Recommandations aux praticiens pour la sélection des méthodes et l'interprétation des résultats
- Perspectives de développements pour les méthodes écotoxicité

### 1.4. Cadrage de l'état de l'art

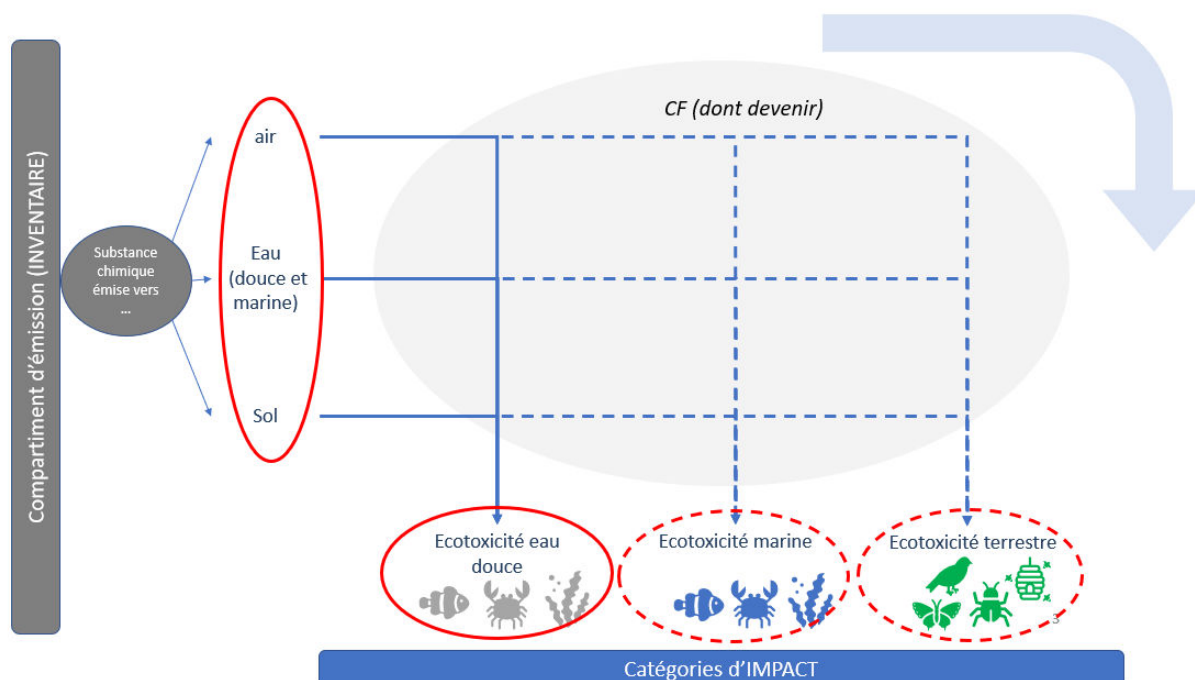
Le travail de l'analyse comparative a reposé sur l'étude des 5 principales méthodes utilisées en ACV et sur les publications ayant servi à élaborer ces méthodes. Ces méthodes sont les suivantes :

- USEtox 2
- Impact World+
- LC-Impact
- EF 3.0
- ReCiPe 2016, dont la partie toxicité a été construite à partir de la méthode USES-LCA.

La méthode USEtox 2 est la méthode issue du consensus international UNEP-SETAC. Ce consensus international regroupe l'ensemble des chaînes d'impact ACV, et pas seulement la toxicité, sous l'acronyme de GLAM (Global LCA Access to Methods). En tant que méthode issue du consensus international et reconnue par GLAM, USEtox constitue le point de départ de notre étude. Dans l'analyse, les autres méthodes sont comparées à USEtox 2.

Par ailleurs, des travaux de développement sont en cours pour approfondir ou développer la caractérisation de certaines chaînes d'impact. Il s'agit des projets MariLCA et ProScale, qui seront également décrits.

### 1.4.1. Fonctionnement des méthodes ACV en écotoxicité



**Figure 2 : Schéma général du fonctionnement des méthodes d'AICV pour l'écotoxicité. Les inventaires répertorient les émissions de substances vers l'air, le sol et l'eau, et les méthodes AICV caractérisent les impacts de ces substances pour trois types écosystèmes (Eau douce, marin, terrestre). Les écotoxicités terrestre et marine ne sont pas systématiquement traitées dans les méthodes, et figurent donc en pointillés.**

Les méthodes d'Analyse d'impact du Cycle de Vie (AICV) en écotoxicité, présente une spécificité particulière, car des milliers de substances sont caractérisées. En sortie d'inventaire, les substances peuvent être émises vers l'air, le sol, et l'eau ; des facteurs de caractérisation différents sont déterminés pour ces différents compartiments d'émission (voir Figure 2). Une substance émise dans un compartiment (par exemple l'air) peut finalement se retrouver dans un autre compartiment par un phénomène physique (par exemple dans l'eau par dissolution) ; ce transfert de compartiment est traité dans le facteur de caractérisation, par la composante devenir (« fate ») de celui-ci. Les écosystèmes systématiquement évalués en termes d'impacts sont les écosystèmes d'eau douce, et on parle alors d'écotoxicité « eau douce ». Cependant, certaines méthodes AICV évaluent également l'impact d'une substance émise dans l'environnement sur les systèmes terrestres – « écotoxicité terrestre » - ou

marins « écotoxicité marine ». Dans la Figure 2, ces liens ont été mis en pointillé pour représenter qu'ils ne sont pas systématiquement traités dans les méthodes d'AICV.

### 1.4.2. Articulation de l'ACV avec l'évaluation du risque

L'évaluation des risques est une approche différente de l'ACV. L'ACV représente une évaluation complète et « macro » dans des conditions « moyennes » avec pour objectif de comparer des process/produits entre eux, alors que l'évaluation du risque représente un cas raisonnable mais conservateur pour un site bien spécifique. L'écosystème cible en ACV est un écosystème moyen, représentatif au niveau mondial ou continental, alors qu'il est local en évaluation du risque. Le nombre de produits chimiques évalués en ACV est beaucoup plus important qu'en évaluation du risque. La durée d'exposition en ACV est considérée sur une période longue (préférence pour des données chroniques), alors qu'elle est court terme en évaluation des risques (préférence pour des données aiguës). L'effet du produit chimique sur les écosystèmes est supposé linéaire en ACV, alors que les effets de seuils sont pris en compte dans l'évaluation du risque. L'évaluation du risque tient compte des concentrations de fond dans les milieux d'émissions. Les principales différences entre les deux approches sont résumées sur la Figure 3.

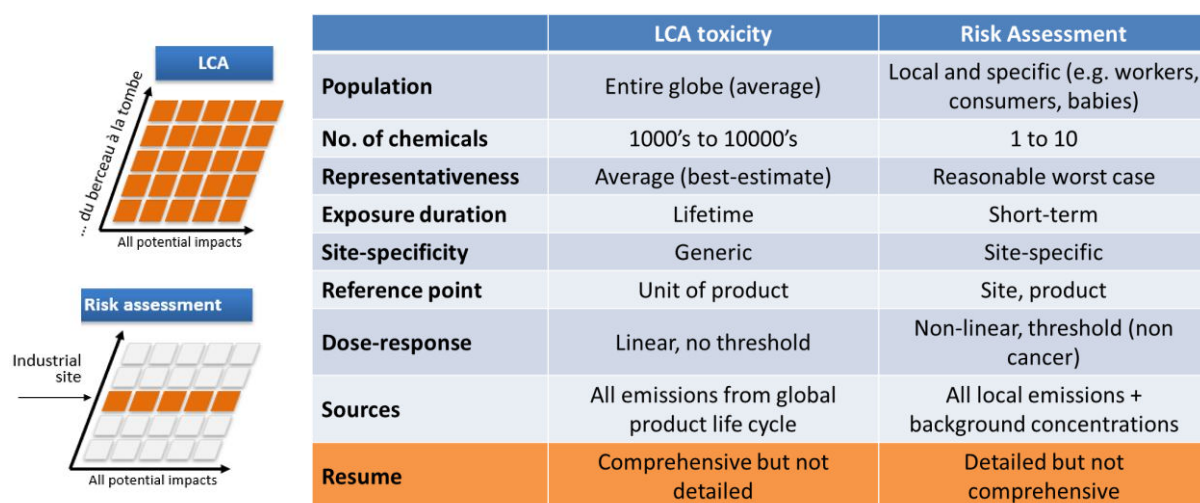


Figure 3 : Principales différences entre l'évaluation du risque et l'ACV, présentée de façon schématique (à gauche) et sous forme de tableau (à droite). Crédit R. Rosenbaum, 2016, dans le cadre d'une étude ScoreLCA

## 2. GLAM ET LA METHODE USETOX 2

### 2.1. Bref historique de GLAM et du consensus international USEtox

La « Life Cycle Initiative » a été créée sous l'égide conjointe de UNEP et SETAC en 2001. Elle avait, depuis son démarrage, comme objectif de faire dialoguer au niveau global l'ensemble des parties prenantes et praticiens autour des approches en cycle de vie. Entre 2004 et 2008, les modèles d'évaluation de l'écotoxicité disponibles ont été comparés et harmonisés sur la base de critères prédéfinis, représentant leur qualité scientifique et la couverture des voies d'impact. En 2008, la « Life Cycle Initiative » a approuvé le modèle de consensus scientifique USEtox ([www.usetox.org](http://www.usetox.org)), proposant les facteurs de caractérisation de l'écotoxicité basés sur USEtox pour les écosystèmes aquatiques d'eau douce (Henderson et al., 2011; Rosenbaum et al., 2008). À l'époque, seule l'évaluation de l'écotoxicité dans le milieu d'eau douce était considérée comme suffisamment aboutie et étayée par une quantité adéquate de données pour permettre une représentation appropriée et robuste de l'écotoxicité en ACV.

Une consultation d'experts ultérieure sur les meilleures pratiques pour l'évaluation de l'écotoxicité des métaux (Diamond et al., 2010) a conduit à une modification de la modélisation des impacts écotoxicologiques liés aux métaux en eau douce (Dong et al., 2014; Gandhi et al., 2010).

Entre 2016 et 2018, le consensus USEtox a été revu pour tenir compte des dernières avancées scientifiques, dont (pour l'écotoxicité) : substances organiques ionisantes, écotoxicité eau douce générique pour les métaux, régionalisation, nouvelles substances...

Depuis 2016, les travaux de UNEP-SETAC en matière de recommandations et de développements de méthodes ACV, pour toutes les catégories d'impact, sont rassemblés sous l'acronyme « GLAM » (Global LCA Access to Methods).

En 2018, les experts du consensus UNEP-SETAC se sont réunis pour formaliser un état de l'art et des recommandations pour l'évaluation de l'écotoxicité en ACV. Les résultats de cette réunion ont fait l'objet d'une synthèse et de recommandations. C'est ce que nous appelons plus loin les « recommandations de GLAM ».

### 2.2. Recommandations de GLAM

Nous présentons ci-dessous (Tableau 1) les recommandations de GLAM, telles que formulées en 2018 et publiées en 2019 (UNEP-SETAC Life Cycle Initiative, 2019).

**Tableau 1 : Liste des recommandations de GLAM d'après (UNEP-SETAC Life Cycle Initiative, 2019)**

Critères de GLAM
<b>SR 'Strongly recommended' – 'Fortement recommandés'</b>
Cadre général d'évaluation : base sur le cadre actuel d'AICV pour évaluer les dommages sur les écosystèmes de l'émission des produits toxiques.
Baser le dommage sur la fraction potentielle d'espèces disparues (potentially disappeared fraction of species). Cependant, le lien entre la fraction affectée et la fraction disparue doit être établi.
Utiliser des données avec une origine traçable.
Utiliser les modèles d'activité de l'ion libre pour calculer les facteurs d'effet des métaux.
Prendre en compte la spéciation dans les phases solides (accessibilité) dans le calcul du facteur d'exposition pour les métaux dans le sol.
Prendre en compte la spéciation des métaux dans les phases liquides dans le calcul du facteur d'exposition pour l'eau douce, les eaux marines côtières, le sol et les sédiments d'eau douce.
Ne pas prendre en compte l'accumulation comme un mécanisme d'élimination dans tous les compartiments, lors du calcul des facteurs d'exposition.
Prendre en compte les caractéristiques spécifiques des substances, organismes et compartiments pour le calcul des facteurs d'effet.

Développer des méthodes pour prendre en compte l'exposition des pollinisateurs et les impacts afférents en AICV, du fait de l'importance de cette voie d'impact.
<b>R 'Recommended' – 'Recommandés'</b>
Inclure en AICV les effets écotoxiques des substances chimiques sur les organismes vivant dans les sédiments d'eau douces, dans le sol, et dans les eaux marines côtières.
Calculer les facteurs d'effet à partir de HC20 calculée en utilisant un modèle SSD construit en utilisant les équivalents EC10 chroniques.
Utiliser l'unité "comparative toxic units (CTUe) " pour l'écotoxicité comme unité pour le score d'impact.

## 2.3. La méthode USEtox 2

### 2.3.1. Schéma de la chaîne d'impact

Dans la méthode USEtox issue du consensus international, la chaîne de cause à effet pour la caractérisation de l'impact lié à l'émission d'une substance est décrite dans la Figure 4, et a été reprise dans la dernière publication de GLAM (UNEP-SETAC Life Cycle Initiative, 2019). Elle se compose de l'enchaînement de 4 facteurs :

- Le **facteur de devenir** de la substance du milieu d'émission au milieu cible (fate factor),
- Le **facteur d'exposition** des espèces à la substance dans le milieu cible (exposure factor),
- Le **facteur d'effet** de la substance sur la fraction des différentes espèces (effect factor),
- Et enfin le **facteur de sévérité** permettant de convertir la fraction potentielle d'espèces affectées en fraction potentielle d'espèces disparues (severity factor).

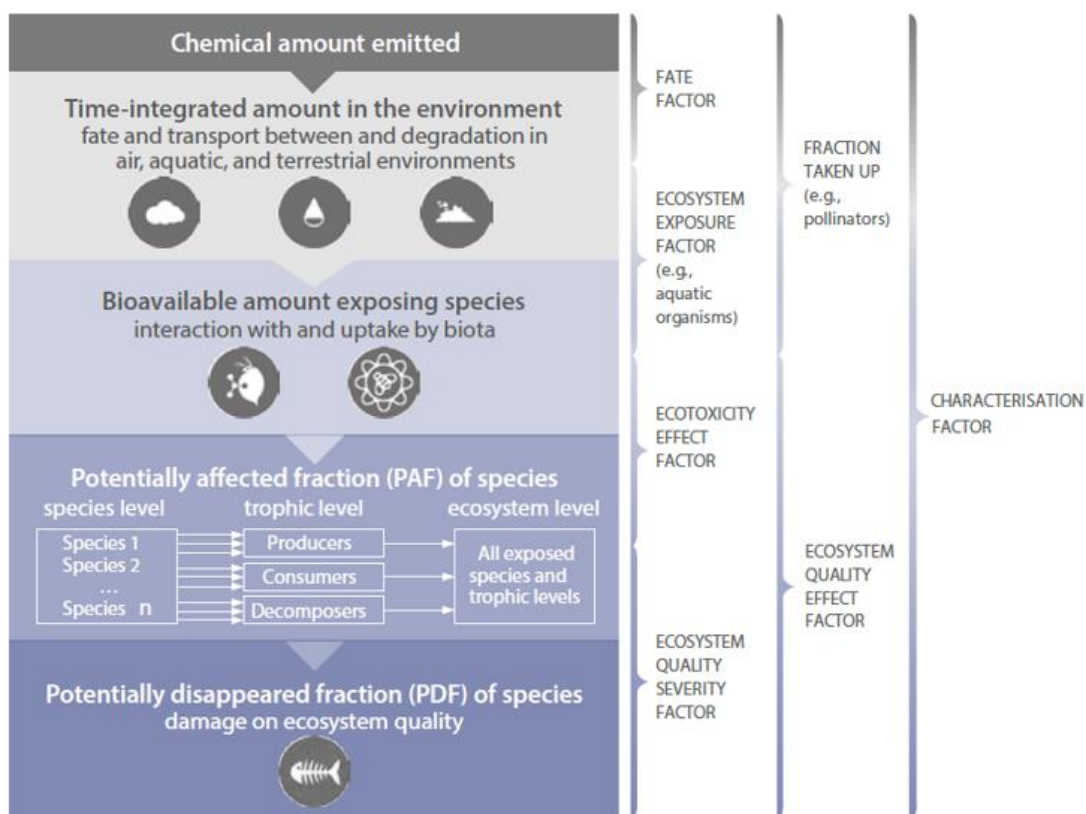


Figure 4 : Chaîne d'impact AICV pour l'écotoxicité issue du consensus international USEtox et reprise dans GLAM (UNEP-SETAC Life Cycle Initiative, 2019)

La majorité des méthodes AICV sur l'écotoxicité relèvent aujourd'hui de cette chaîne de cause à effet. Certaines d'entre elles s'arrêtent cependant au facteur d'effet (inclus), qui est le niveau intermédiaire retenu comme « midpoint » et ne considèrent pas le facteur de sévérité qui lui, permet d'aller jusqu'au « endpoint ».

### 2.3.2. Paramètres et hypothèses de calcul des facteurs de caractérisation

Les facteurs de caractérisation,  $CF_{p,c}$  (impact ou dommage/kg<sub>emitted</sub>), utilisent la masse de substance émise dans un compartiment environnemental donné comme point de départ pour évaluer les impacts (midpoint) ou les dommages (endpoint) sur les écosystèmes en se basant sur la caractérisation pour chaque substance de son devenir environnemental, de son exposition, de ses effets d'écotoxicité et de sa sévérité (endpoint). Les équations de calculs sont décrites ci-dessous et la Figure 5 décrit la méthode de calcul pour passer des émissions aux potentiels dommages.

$$CF_{p,c} = FF_{p,c} \times XF_{p,c} \times EF_p \text{ à midpoint (impact)} \quad (1)$$

$$CF_{p,c} = FF_{p,c} \times XF_{p,c} \times EF_p \times SF \text{ à endpoint (dommage) avec } DF_p = EF_p \times SF \quad (2)$$

Où  $FF_{p,c}$  (kg<sub>in compartment</sub> per kg<sub>emitted</sub>/d) est le facteur de devenir indiquant l'augmentation de la masse de substance dans le compartiment c pour une émission dans un compartiment quelconque,  $XF_{p,c}$  (kg<sub>dissolved</sub>/kg<sub>in compartment</sub>) est le facteur d'exposition de la masse de substance dissoute (pour l'exposition des écosystèmes) par rapport à la masse totale dans le compartiment donné,  $EF_p$  (impact/kg<sub>dissolved</sub>) est le facteur d'effet reliant finalement l'exposition aux impacts ;  $DF_p$  (PDF m<sup>3</sup>/kg<sub>dissolved</sub>) est le facteur de dommage incluant le facteur de sévérité  $SF$ .

Le facteur de caractérisation des impacts de l'écotoxicité aquatique au niveau des impacts (midpoint, équation 1) est exprimé en unités comparatives de toxicité (CTUe) par kg émis ou fraction d'espèces affectées pour 1 m<sup>3</sup> et pendant une journée (PAF.m<sup>3</sup>.day) par kg émis.

Le facteur de caractérisation de la qualité de l'écosystème au niveau des dommages (endpoint, équation 2) associé aux impacts de l'écotoxicité aquatique est exprimé en unités comparatives de dommages (CDUe) par kg émis ou en fraction d'espèces disparues pour 1 m<sup>3</sup> et pendant une journée (PDF.m<sup>3</sup>.day) par kg émis.

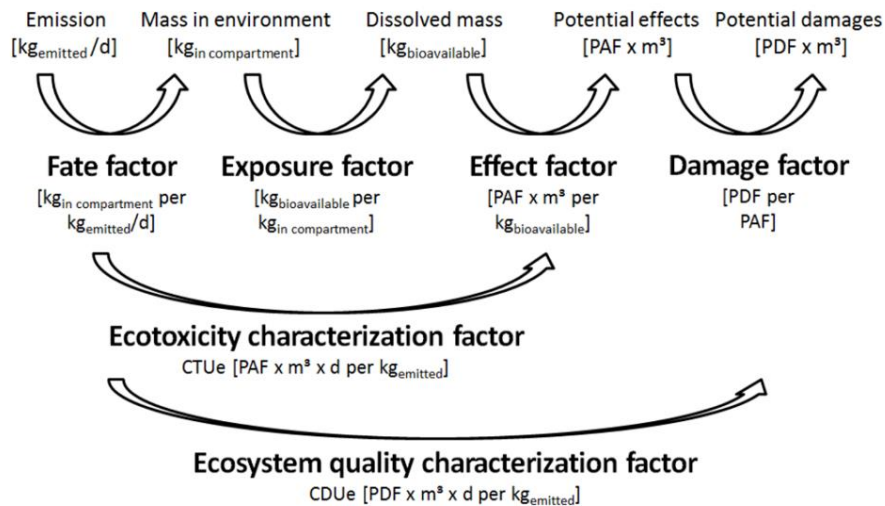


Figure 5 : Description de la méthode de calcul de la caractérisation des impacts d'écotoxicité dans USEtox, des émissions aux dommages (Fantke et al., 2017)

#### 2.3.2.1. Le facteur de devenir, FF

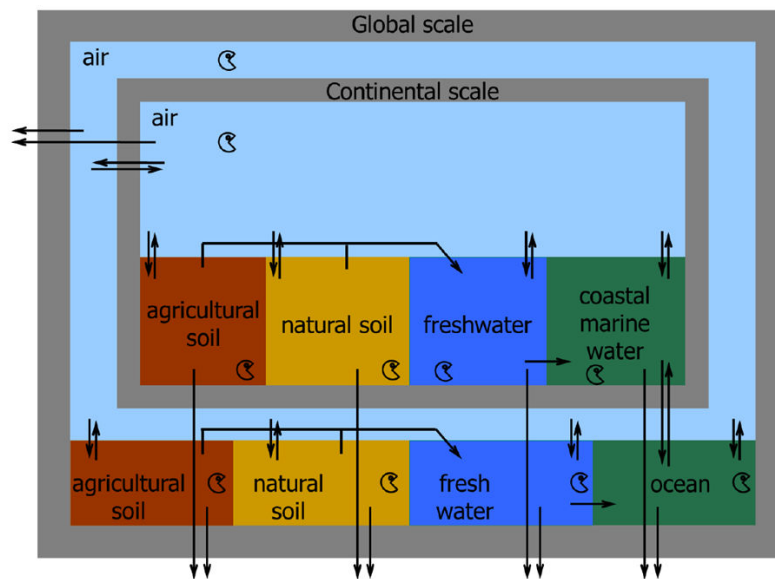
Le devenir des substances dans l'environnement, vers l'air, le sol et l'eau, est schématisé dans la Figure 6 et l'ensemble des processus de distribution des substances entre les compartiments est synthétisé

dans le Tableau 2. Le facteur de devenir (FF) est exprimé en kg dans un compartiment donné par kg émis / par jour.

**Tableau 2 : Processus de distribution entre compartiments (USEtox 2.1)**

<b>Processus de distribution</b>	<b>De</b>	<b>Vers</b>
Transport de la pollution atmosphérique à long terme	Source de pollution	Air
Ruissellement	Sol agricole	Surfaces hors champs
Erosion	Sol agricole	Surfaces hors champs
Lessivage	Sol agricole	Eau souterraine
Volatilisation	Sol	Air
Volatilisation	Culture	Air
Déposition	Air	Surface de la culture
Déposition	Air	Sol
Déposition	Air	Surface eau douce
Déposition	Air	Surface eau marine
Dégradation	Culture/sol/air/eau	
Prélèvement par la plante	Surface de la culture/sol/air	Culture

Le compartiment d'émission « sédiment » n'en est pas vraiment un, car USEtox ne calcule pas explicitement les concentrations de substances dans les sédiments, il considère le transport des substances toxiques entre l'eau et les sédiments via l'adsorption et la désorption directe, et par sédimentation/re-suspension des particules en suspension.



**Figure 6 : Description des différents compartiments utilisés pour la modélisation du devenir d'une substance dans USEtox. La substance, émise dans un des compartiments, se retrouve ensuite dans les autres, en fonction de ses propriétés physico-chimiques et du contexte pédoclimatique. Les flèches indiquent les flux possibles entre substances (Fantke et al., 2017).**

### 2.3.2.2. Le facteur d'exposition, XF

Le facteur d'exposition décrit la fraction de substance chimique présente dans l'eau douce qui est biodisponible pour être absorbée par les espèces présentes dans l'écosystème eau douce et peut donc avoir de potentiels impacts et dommages. Le facteur d'exposition est donc exprimé en kg de substance dissoute biodisponible par kg de substance présente dans le compartiment.

### 2.3.2.3. Le facteur d'effet, EF

Le facteur d'effet ( $EF_{eco}$ ) est calculé de la manière suivante :

$$EF_{eco} = \frac{f_{eco}}{HC_{eco}} \quad (3)$$

Où  $EF_{eco}$  : facteur d'effet écotoxique pour les écosystèmes d'eau douce [PAF m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup>],  $f_{eco}$  : multiplicateur pour les écosystèmes [-] (par défaut 0,5 ; défini comme les 50 % de HC<sub>50</sub> : concentration dangereuse affectant 50 % des espèces exposées à un niveau EC50 (concentration effective affectant 50 % de la population exposée pour un effet défini) et  $HC_{eco}$  : moyenne géométrique des EC50 chroniques pour les espèces d'eau douce [kg m<sup>-3</sup>].

Avec  $HC_{eco}$

$$HC_{50} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n EC_{50,i}} = 10^{\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log_{10} \left( \frac{EC_{50,i}}{1000} \right)\right]} \quad (4)$$

Où  $HC_{50}$  : la moyenne géométrique des données chroniques aquatiques des  $EC_{50}$  [kg m<sup>-3</sup>];  $EC_{50,i}$  concentration à laquelle 50 % des tests sur des organismes d'espèce i montrent des effets [mg L<sup>-1</sup>] et 1000 le facteur de conversion de mg/L à g/L [mg g<sup>-1</sup>].

Le facteur d'effet s'appuie sur le concept de la courbe statistique de distribution de sensibilité des espèces (Species Sensitivity Distribution ; SSD). Cette courbe est en général construite pour une proportion donnée d'individus affectés dans chaque espèce, dénommée « effective concentration » ou ECx, 'x' représentant le pourcentage fixe d'individus affectés par la substance dans chaque espèce.

Historiquement, les courbes utilisées en ACV pour construire les modèles sont les courbes EC50, c'est-à-dire celle retraçant la distribution statistique des espèces pour lesquelles 50 % des individus sont affectés. Un exemple de SSD est illustré dans la Figure 7. Les espèces prises en compte dans la courbe SSD devraient être représentatives de la diversité naturelle de l'écosystème étudié (Posthuma et al., 2002). A partir de cette courbe, un point spécifique est relevé, la concentration dangereuse pour 50 % des espèces (Hazardous Concentration ; HC50). Le 50<sup>e</sup> centile s'est avéré être une base appropriée pour comparer les produits chimiques en termes de contribution au risque cumulatif en présence de plusieurs facteurs de stress et de mélanges chimiques de fond. <sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Notons que d'autres disciplines (par exemple, l'évaluation des risques écologiques) peuvent appliquer différentes estimations du PAF, telles que PAF<sub>NOEC</sub> dans le contexte de la dérivation des critères de qualité de l'eau, du sol ou des sédiments pour les produits chimiques.

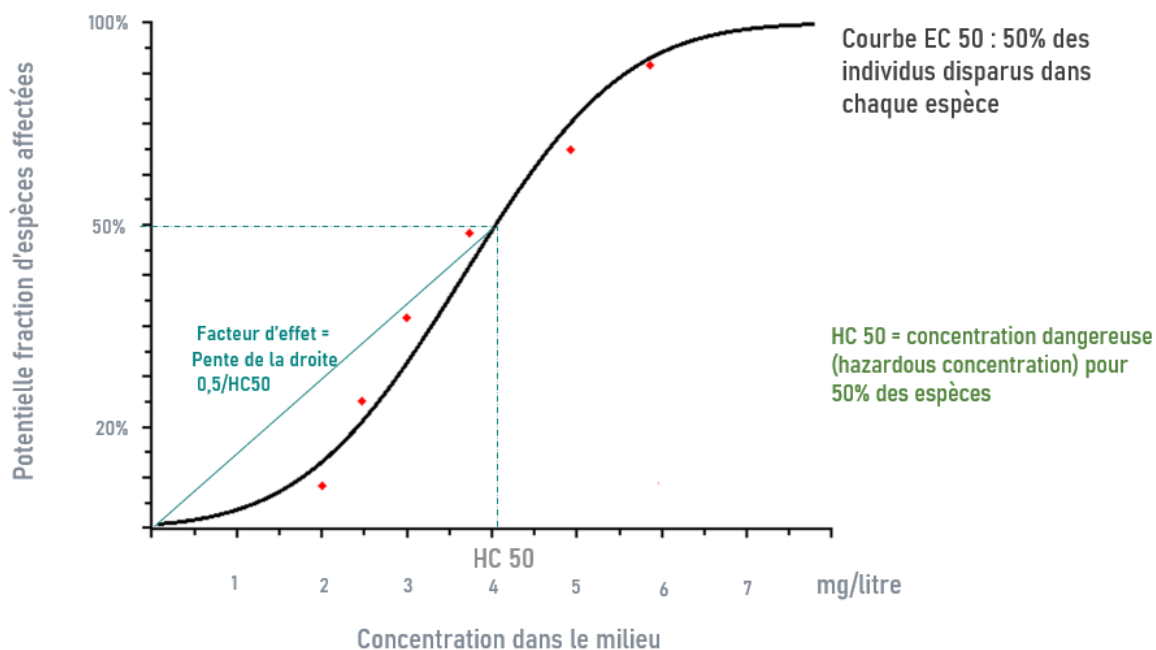


Figure 7 : Exemple de courbe statistique de distribution de sensibilité des espèces (Species Sensitivity Distribution ; SSD) pour une substance donnée ; les espèces les plus sensibles figurent en bas à gauche de la figure, et les moins sensibles en haut à droite. La courbe est extrapolée à partir de plusieurs points d'observations (points rouges) pour certaines espèces. Le facteur d'effet est la pente de la droite reliant l'origine au point de la courbe SSD pour HC50.

Ainsi, HC<sub>50</sub> n'est pas calculé directement à partir d'une courbe SSD (distribution de sensibilité des espèces, Species Sensitivity Distribution), mais comme une pente linéaire à 0.5/HC<sub>50</sub>, où le HC<sub>50</sub> est dérivé de 1 ou plusieurs EC<sub>50</sub> sous-jacentes. Dans USEtox, 2 sources sont utilisées pour calculer le HC<sub>50</sub>, décrites dans les fichiers de la base de données des substances de USEtox dans les feuilles "Ecotox-Payet" et "Etoxbase". La première source fournit les HC<sub>50</sub> uniquement pour les substances chimiques pour lesquelles les données sont suffisantes (c'est-à-dire les EC<sub>50</sub> sur au moins 3 niveaux trophiques). La seconde source fournit également les HC<sub>50</sub> pour les substances chimiques pour lesquelles les données sont inférieures au minimum requis.

Ainsi, le facteur d'effet doit être basé sur des données d'effet pour au moins trois niveaux trophiques (généralement les algues, les crustacés et les poissons), ce qui fait que le facteur de caractérisation de USEtox est classé comme "recommandé". Les données chroniques et sub-chroniques sont préférentiellement utilisées, néanmoins, les données sur la toxicité aiguës sont plus répandues et ce pour de nombreuses substances pour un seul ou plusieurs niveaux trophiques. Si c'est le cas, les valeurs de la EC<sub>50</sub> chronique sont estimées à partir des valeurs aiguës en divisant ces dernières par un ratio aigu/chronique (ACR voir Tableau 3).

Tableau 3 : Ratio ACR (Acute-to-Chronic Ratio) dans la méthode USEtox 2

Type de substance	Espèces	ACR	Référence
Métaux	Crustacés	10	(Dong et al., 2014)
	Poissons	20	(Dong et al., 2014)
	Autres niveaux trophiques	15	(Fantke, Bijster, et al., 2018)
Autres	Toutes par défaut (sauf information disponible)	2	(Rosenbaum et al., 2008)

Pour différencier les données sur la toxicité aiguë, sub-chronique et chronique d'après les tests réalisés, la méthode USEtox propose une classification par type d'organisme (Tableau 4).

**Tableau 4 : Conditions de durée pour la classification d'un essai comme aiguë, sub-chronique ou chronique (Tableau issue de (Fantke et al., 2017)**

	<b>Aiguë</b>	<b>Sub-chronique</b>	<b>Chronique</b>
<b>Vertébrés</b>	< 7 jours	≥ 7 jours ; < 32 jours	≥ 32 jours
<b>Invertébrés</b>	< 7 jours	≥ 7 jours ; < 21 jours	≥ 21 jours
<b>Plantes</b>	< 7 jours	-	≥ 7 jours
<b>Algues</b>	< 3 jours	-	≥ 3 jours

#### 2.3.2.4. Le facteur de sévérité, SF

Le facteur de sévérité permet la traduction de la fraction potentiellement affectée (CTUe ou PAF.m<sup>3</sup>.day) des espèces en une fraction potentiellement disparue (PDF), dans laquelle le PDF représente les dommages au niveau du point final. Le PDF a été défini comme une fraction linéaire du PAF, où (Jolliet et al., 2003) ont proposé que  $PDF = 0,5 \times PAF$ .<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Des approches récentes ont étudié les relations empiriques entre les valeurs des paramètres PAF prédites en laboratoire et les impacts observés attribués aux produits chimiques via des méthodes d'évaluation éco-épidémiologique. Divers exemples d'études suggèrent que le PAF-EC50 est lié aux dommages en terme de perte d'espèces (UNEP-SETAC Life Cycle Initiative, 2019).

### 3. DESCRIPTION DES MÉTHODES

#### 3.1. Méthodes existantes

##### 3.1.1. Synthèse des méthodes existantes et de leurs évolutions

La Figure 8 sur la page suivante présente les méthodes existantes, ainsi que les principaux développeurs. Cette figure permet de comprendre l'historique dans le temps des différentes méthodes, ainsi que leurs imbrications. On constate un nombre d'experts assez restreint impliqué dans la construction de ces méthodes.

Celle-ci peuvent être groupées en 3 grandes familles :

- La famille USEtox qui comprend les versions de USEtox mais également IMPACT World+ et LC-Impact qui sont majoritairement basées sur USEtox pour l'indicateur écotoxicité ;
- La famille EF qui se compose de ILCD et EF 3.0 et qui sont basées sur USEtox avec toutefois des modifications importantes de certaines hypothèses et données utilisées.
- La famille USES-LCA qui regroupe les différentes versions de USES-LCA et de ReCiPe.

Une synthèse des différentes familles est proposée dans les points suivants. Pour plus d'informations sur le fonctionnement détaillé des différentes méthodes, se référer aux annexes 1 à 5.

Certaines méthodes d'écotoxicité font partie de méthodes ACV couvrant plusieurs voies d'impact : c'est le cas d'IMPACT World+, LC-Impact, EF 3.0 et ReCiPe 2016.

Dans EF 3.0, l'agrégation de l'indicateur écotoxicité avec les autres indicateurs issus des méthodes est faite en fonction des résultats d'une enquête auprès du grand public et des experts (Sala et al., 2018). Cette agrégation en un score unique est exprimée en  $\mu\text{Pt}$  et vient compléter les indicateurs midpoint qui sont calculés pour chaque catégorie d'impact (climate change, ecotoxicity freshwater...).

Dans LC-Impact, IMPACT World+ et ReCiPe, l'agrégation de l'indicateur écotoxicité avec les autres indicateurs est faite au niveau « endpoint » pour le domaine de protection « qualité des écosystèmes » en quantifiant les effets des différentes voies d'impact. Suivant les méthodes, l'unité d'expression des dommages est différente :

- pour LC-Impact, PDF.yr (PDF signifiant "Potential Disappeared Fraction of species") : fraction d'espèces disparue au niveau régional ou global sur une année
- pour IMPACT World+, PDF.m<sup>2</sup>.yr : fraction d'espèces disparue localement sur un m<sup>2</sup> et sur une année ;
- pour ReCiPe, species.year (nombre d'espèces disparue sur une année).

Les différentes voies d'impact sont ainsi évaluées par rapport à la fraction disparue d'espèces (LC-Impact, IMPACT World+) ou au nombre absolu d'espèces (ReCiPe).

Cependant, il faut noter que chacune des voies d'impact adresse des taxa différents suivant le type d'écosystème : terrestre, eau douce, marin. Pour certaines voies d'impacts, les taxa couverts sont incomplets.

Pour l'écotoxicité, les taxa sont traités ensemble et de façon non individualisée (par le biais des HC). Ce point est une limite de l'approche écotoxicité telle que traitée actuellement.

La non-harmonisation des taxons couverts est également une limite. Ce point a été relevé dans la première publication de GLAM (UNEP-SETAC Life Cycle Initiative, 2016) qui « *suggère aux développeurs de méthodes de rapporter les facteurs de caractérisation de manière désagrégée, c'est-à-dire séparément pour différents types d'écosystèmes (aquatiques, marins et terrestres) et taxons, le cas échéant. Afin de pouvoir additionner les taxons et les différents types d'écosystèmes, une pondération est nécessaire.* »

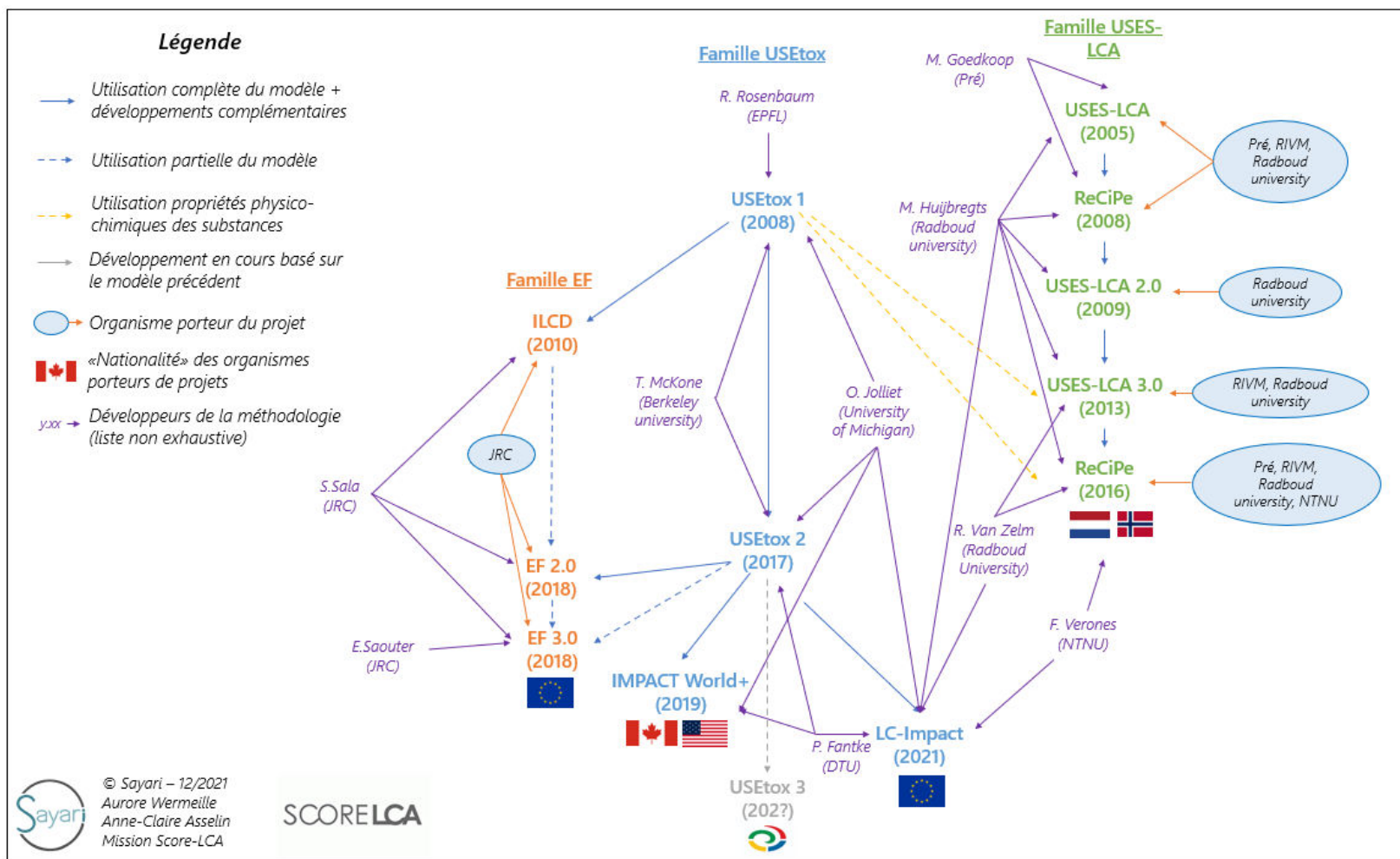


Figure 8 : Cartographie des différentes méthodes étudiées, de leurs développeurs et des méthodes sur lesquelles elles sont basées au niveau du(des) indicateur(s) écotoxicité.

### 3.1.2. Description des méthodes par famille

#### 3.1.2.1. Famille USEtox

La version la plus récente de **USEtox** est la version 2.12, elle a été développée en 2008 par (Rosenbaum et al., 2008). C'est un modèle scientifique consensuel approuvé par l'initiative du cycle de vie de l'UNEP/SETAC pour la caractérisation des impacts humains et éco toxicologiques des produits chimiques. Le résultat principal est une base de données de facteurs de caractérisation recommandés et provisoires, incluant les paramètres de devenir, d'exposition et d'effet.

USEtox est déclinée en 2 versions : USEtox (R) et USEtox (R+I). USEtox reflète le niveau de fiabilité des calculs (dans la modélisation et/ou la disponibilité de données sur les substances) d'une manière qualitative en indiquant si le facteur de caractérisation est « provisoire » (I : indicative) ou « recommandé » (R : recommended). L'indicateur « provisoire » signifie une plus grande incertitude du facteur de caractérisation par rapport à l'indicateur « recommandé », parce que toutes les exigences minimales ne sont pas remplies pour le calcul (c'est-à-dire : CFs basés pour les données d'effet sur au moins 3 espèces différentes couvrant au moins 3 niveaux trophiques distincts (taxa)). Les substances provisoires regroupent notamment l'ensemble des substances organométalliques et les métaux.

Suite aux recommandations GLAM, plusieurs mises à jour de USEtox sont prévues pour les années 2020-2023, dont la mise à jour de la modélisation des effets d'écotoxicité basée sur les HC20 dérivés des équivalents EC10. Une version bêta de USEtox 3.0 basée sur les recommandations de GLAM est d'ores et déjà disponible depuis avril 2021 (<https://usetox.org/model/download>), il s'agit néanmoins d'une version bêta dont les données et les résultats inclus sont uniquement destinés à des fins de démonstration et ne représentent pas les facteurs USEtox officiellement recommandés. D'après les concepteurs de la méthode, cette version 3 finalisée de USEtox est prévue pour 2022.

A noter que c'est une méthode « single issue », par conséquent elle ne propose que des indicateurs midpoint sur la santé humaine et sur l'écotoxicité (d'eau douce uniquement) et des indicateurs endpoint (toujours sur la santé humaine et la santé des écosystèmes liés à l'écotoxicité uniquement).

**LC-Impact** est une méthodologie développée en plusieurs itérations, sa version finale vient d'être publiée (Verones et al., 2020). L'objectif de LC-Impact est de fournir une méthodologie globale d'évaluation de l'impact du cycle de vie pour les trois principaux domaines de protection (santé humaine, qualité des écosystèmes, ressources), en incluant des informations spatialement différenciées chaque fois que cela est nécessaire et possible. La méthode est ainsi une méthode exclusivement « endpoint ». Concernant l'écotoxicité, LC-Impact se base majoritairement sur la méthode USEtox 2.1 tout en y ajoutant quelques correctifs. Elle propose notamment 2 scénarii, la version « core » qui détermine les impacts à 100 ans et la version « extended » qui détermine les impacts à l'infini (seul l'impact des métaux diffère par rapport à la version « core »).

A noter une incohérence dans les unités des différentes voies d'impact sur le site de LC-Impact. L'unité commune à toutes les voies d'impact suivant le document Framework (Verones et al., 2016) et la publication (Verones et al., 2020) est le PDF.yr.

Cependant, les unités LC-Impact pour les facteurs de caractérisation d'écotoxicité fournies dans le fichier Excel disponible sur le site sont en PDF.m<sup>3</sup>.day. Le facteur permettant de passer de cette unité à l'unité commune n'est pas explicité, ce qui ne permet pas pour l'instant d'intégrer l'écotoxicité aux autres voies d'impact.

**IMPACT World+** est la mise à jour des méthodes IMPACT 2002 +, LUCAS et EDIP (Environmental Development of Industrial Products). Elle est détaillée dans l'article *IMPACT World+: a globally regionalized life cycle impact assessment method publication* publié en 2019 (Bulle et al., 2019). C'est une méthode développée par un partenariat composé du CIRAI (Centre International de Référence sur le cycle de vie des produits, procédés et services), de l'Université du Michigan, de Quantis, de

l'Université Technique du Danemark (DTU), et de l'Ecole Polytechnique de Lausanne (EPFL). IMPACT World+ couvre toutes les catégories d'impact en caractérisation midpoint et endpoint ; les fichiers avec les facteurs de caractérisation « global, par défaut » et par régions sont disponibles sur le site du consortium<sup>3</sup> et peuvent être intégrés dans les logiciels SimaPro et OpenLCA. IMPACT World+ propose des CFs écotoxicité short- et long-term pour l'eau douce, mais seulement au niveau end-point. C'est une méthode dite mondialement régionalisée, proposant la même régionalisation que USEtox. L'impact de l'écotoxicité est basé sur la version paramétrée de USEtox 2.0 (R+I).

Les 3 méthodes se basent sur le même principe : Les facteurs de caractérisation,  $CF_{p,c}$  (impact/kg<sub>emitted</sub>), utilisent la masse de substance émise dans un compartiment environnemental comme point de départ pour évaluer les impacts sur les écosystèmes en se basant sur la caractérisation pour chaque substance de son devenir environnemental, de son exposition et de ses effets d'écotoxicité.

Les sous-compartiments utilisés par les méthodes de la famille USEtox pour modéliser le devenir d'une substance pour l'écotoxicité sont présentés dans le Tableau 5.

**Tableau 5 : Sous-compartiments d'émissions pour l'écotoxicité dans les méthodes de la famille USEtox**

Compartiments d'émissions	Air	Eau	Sol
Sous-compartiments associés	Air intérieur des ménages Air intérieur professionnel Air urbain Air rural continental	Eaux douces continentales* Eaux marines	Sol agricole continental Sol naturel continental

\* Ce compartiment inclut également les émissions vers les eaux douces souterraines même si ce compartiment n'est pas modélisé séparément.

Les compartiments d'émissions pour caractériser l'impact écotoxique d'une substance sont les mêmes pour toutes les méthodes de la famille USEtox.

### 3.1.2.2. Famille EF

Les méthodes de la famille EF sont portées par le laboratoire de recherche scientifique et technique de l'Union Européenne (JRC). La Commission européenne a proposé les méthodes de l'empreinte environnementale (EF) comme moyen commun pour mesurer la performance environnementale des biens et des services. Cette méthode permet de calculer uniquement des indicateurs midpoints. En revanche elle propose également l'agrégation des différentes catégories d'impact en un score unique. Concernant la prise en compte de l'écotoxicité, cette famille de méthodes se base sur la méthode USEtox mais y apporte plusieurs modifications majeures. La dernière version en date, EF 3.0 a été développée par (Fazio et al., 2018; Saouter et al., 2018). Celle-ci se base sur la version 2.1 de USEtox tout en y ajoutant des contributions importantes sur les données utilisées (sources), dans les calculs du facteur d'effets (HC20 pour les substances organiques et inorganiques non-métalliques) et en y ajoutant des facteurs de robustesse. Un nombre important de substances et de données physico-chimiques (nécessaires à la caractérisation des CFs) ont également été ajoutées (basées sur des méthodes de calcul différentes de USEtox).

Notons enfin une **caractéristique spécifique** à la méthode EF 3.0. Celle-ci inclut en effet la notion de « **facteurs de robustesse** » (voir Figure 9). Ces facteurs permettent de calculer des CFs dont la valeur est modifiée pour tenir compte de la robustesse de la méthode de calcul des facteurs sur la voie d'impact en fonction de la nature des substances. La voie d'impact est jugée adaptée pour les substances organiques, et le facteur de robustesse, égal à 1, n'apporte aucune correction. En revanche, les facteurs

<sup>3</sup> <https://www.impactworldplus.org/en/writeToFile.php>

de caractérisation finaux sont multipliés par 0.1 (divisés par dix) pour les substances métalliques et les substances non-organiques non métalliques ; notons enfin que les CFs des métaux essentiels sont multipliés par 0.01 (divisés par 100).

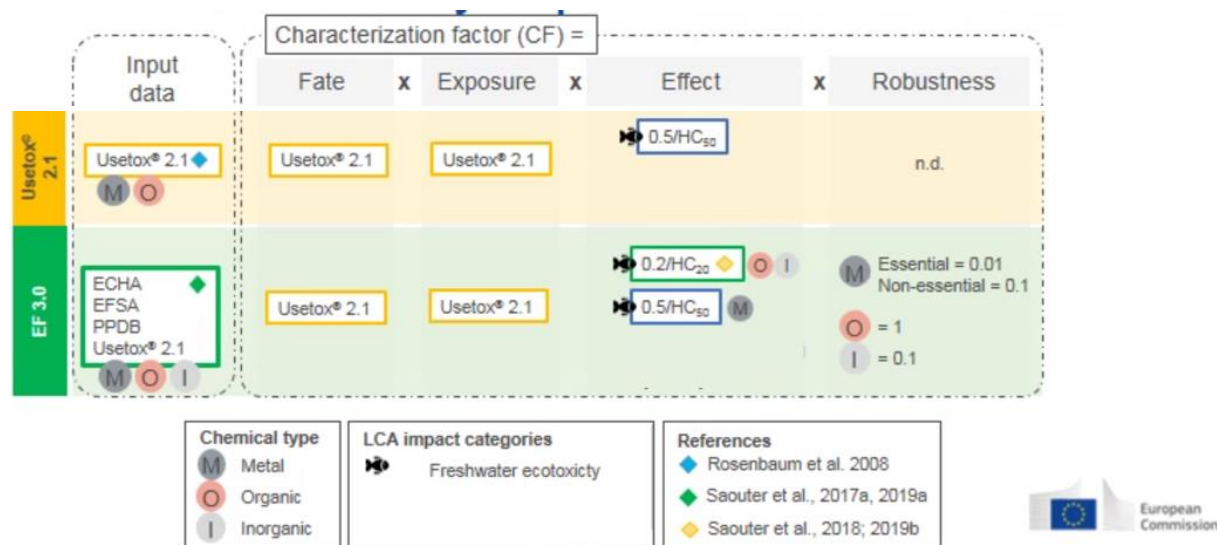


Figure 9 : Evolution de la méthode EF (EF 2.0 et EF 3.0) d'écotoxicité par rapport à la méthode USEtox, montrant la prise en compte de facteurs de robustesse dans le calcul des CF. Figure adaptée de (Sala, 2020).

La méthode EF 3.0 a mis en place un score de qualité des données pour aider les praticiens à déterminer le niveau de fiabilité de leur analyse. Ce score est ainsi calculé pour chaque donnée obtenue à partir d'une HC<sub>20</sub>. La méthode distingue trois niveaux de qualité : 1. LOW (faible), 2. AVERAGE (moyen) et 3. HIGH (élevé). Celles-ci sont déterminées à partir de 3 paramètres :

- Le nombre d'espèces utilisées pour réaliser la courbe,
- Le nombre de niveaux trophiques (avec un bonus attribué si les taxons des algues, des crustacés et des poissons sont présents),
- Le nombre de données extrapolées.

Une base logarithmique 3 est utilisée pour calculer le score. Une fonction logarithmique a été utilisée pour réduire les valeurs afin de donner beaucoup plus d'importance à l'avantage qu'il y a à ajouter un résultat en présence de peu de valeurs de concentration effective plutôt que de l'ajouter en présence de plusieurs valeurs. La base 3 est retenue car, d'un point de vue mathématique, il est nécessaire d'avoir un minimum de 3 points pour dessiner une courbe. Les détails du calcul peuvent être retrouvés p57 du rapport de Saouter et al., (2018).

La répartition des substances avec une courbe HC<sub>20</sub> par score de qualité dans EF 3.0 est la suivante :

- LOW : 34 % des substances
- AVERAGE : 61 % des substances
- HIGH : 5 % des substances

Le score de qualité pour chaque substance peut être retrouvé dans le « supplementary material » de EF 3.0 (EC-JRC-2018 Input data table.xlsx). A noter encore que les espèces et les taxons utilisés pour calculer les courbes HC<sub>20</sub> de chaque substance sont également disponibles dans le « supplementary material » (ECOTOX tables.xlsx).

Les sous-compartiments d'émissions caractérisés par la méthode EF 3.0 sont présentés dans le Tableau 6.

**Tableau 6 : Sous-compartiments d'émissions pour l'écotoxicité dans la méthode EF 3.0**

Compartiments d'émissions	Air	Eau	Sol
Sous-compartiments associés	Air intérieur Air stratosphérique Air, densité de population élevée Air, densité de population faible	Eaux, rivières Eaux, souterraines Eaux, océan	Sol industriel Sol agricole

### 3.1.2.3. Famille USES-LCA

ReCiPe 2016 a été développée par van Zelm et al. (2016) et se base sur les différentes versions de USES-LCA. Cette famille de méthodes est développée par des chercheurs Hollandais et Norvégiens. La méthode ReCiPe 2016 est **globale**. Sa particularité est qu'elle propose 3 scénarios « culturels » :

- « Individualist » : vision court terme (20 ans) et qui estime que la technologie permettra d'éviter de nombreux problèmes dans le futur ;
- « Hierarchist » : modèle consensuel, il est considéré comme le modèle par défaut (horizon temporel à 100 ans) ;
- « Egalitarian » : version long-terme (horizon infini) basée sur les principes de précautions, c'est celui qui se rapproche le plus des autres méthodes.

A noter encore que la méthode propose des impacts midpoint (18 indicateurs) et endpoint (3 indicateurs). Au niveau de l'écotoxicité, la méthode propose 3 indicateurs midpoint (freshwater ecotoxicity, terrestrial ecotoxicity et marine ecotoxicity) permettant de prendre cet impact en considération dans les différents milieux.

La publication de référence pour le modèle écotoxicité de ReCiPe 2016 est décrite précédemment dans Van Zelm et al.(2009), qui décrit USES-LCA 2.0. La documentation de ReCiPe 2016 fait également référence au modèle USES-LCA 3.0, décrit dans van Zelm et al.(2013).

Les compartiments et sous compartiments utilisés par la méthode pour modéliser le devenir d'une substance sont présentés dans le Tableau 7.

**Tableau 7 : Sous-compartiments d'émission pour l'écotoxicité dans la méthode ReCiPe 2016**

Compartiments d'émissions	Air	Eau	Sol
Sous-compartiments associés		Eaux douces Eaux de mer	Sol naturel Sol agricole Sol industriel

Aucun sous-compartiment n'est déterminé pour le compartiment air contrairement aux méthodes des autres familles.

### 3.1.3. Régionalisation des impacts

La régionalisation des impacts est variable selon les méthodes mais également en fonction des logiciels. La notion de régionalisation diffère également selon les méthodes puisqu'elle s'applique parfois à différentes étapes du calcul d'impact (devenir et/ou effet) (Tableau 8).

**Tableau 8 : Etat de l'art pour la régionalisation des impacts selon les différentes méthodes.**

Méthodes	Régionalisation	Disponibilité dans logiciel	Types de flux spatialisés	Paramétrage personnalisable
USEtox 2.12	x (devenir)	non	tous	x
IMPACT World +	x (devenir)	non, mais possible de l'importer	tous	non
LC-Impact	x (devenir + effet)	-	tous	non
EF 3.0	non	-	-	-
ReCiPe 2016	non	-	-	-

La colonne « disponibilité dans logiciel » décrit si la régionalisation est accessible dans les logiciels ACV. La colonne « paramétrage personnalisable » correspond à la possibilité de créer une nouvelle région dont l'utilisateur définit lui-même les paramètres caractérisant la région étudiée.

Le terme régionalisation est à distinguer de la spatialisation (précédemment utilisée dans le rapport intermédiaire). La spatialisation renvoie à la localisation géographique du point d'émission et des transferts, alors que la régionalisation renvoie à l'utilisation de paramètres spécifiques à une région (décrit ci-dessous).

### 3.1.3.1. Famille USEtox

Les méthodes USEtox, LC-Impact et IMPACT World+ offrent une régionalisation des impacts. USEtox, qui est la base utilisée par LC-Impact et IMPACT World+, propose une régionalisation des facteurs de devenir des substances pour 8 continents et 16 sous continents (*voir encadré*). Pour ce faire, plusieurs paramètres sont utilisés pour différencier les régions (Tableau 9).

A noter que la régionalisation du facteur de devenir pour l'écotoxicité d'eau douce proposée par LC-Impact et IMPACT World+ est la même que pour USEtox et par conséquent se base sur les mêmes paramètres.

LC-Impact régionalise également des CFs pour l'écotoxicité marine et l'écotoxicité d'eau douce. Cet aspect se base essentiellement sur d'autres travaux scientifiques. Le détail peut être retrouvé dans l'annexe 3.

**Tableau 9 : Paramètres utilisés pour régionaliser les facteurs de devenirs dans USEtox 2.12.**

Echelles considérées		
Continentale	Globale	Urbaine
	Surface des terres*	Surface des terres*
	Surface des mers	
	Température	
	Vitesse du vent de surface	
	Pluviométrie	
	Profondeur de l'eau de surface	
	% ruissellement	
	% d'infiltration	
	Erosion du sol	
	Irrigation	

\* A noter que la surface des terres est calculée de manière différente entre les échelles Continentale, globales et l'échelle urbaine. Au niveau global et continental, ce sont le % d'eau douce, de sol naturels, de sols agricoles et d'autres surfaces qui sont pris en compte. En revanche à l'échelle urbaine, ce sont le % de zones pavées vs zones non pavées qui sont pris en considération.

#### Continents et sous-continentes pour le facteur de devenir dans USEtox, LC-Impact et IMPACT World+.

**8 continents :** Amérique du Nord ; Amérique latine ; Europe ; Afrique et Moyen-Orient ; Asie centrale ; Asie du Sud-Est ; régions septentrionales ; Océanie

**16 sous continents :** Asie centrale ; Indochine ; Australie du Nord ; Australie du Sud et Nouvelle-Zélande ; Afrique du Sud ; Afrique du Nord, de l'Ouest, de l'Est et centrale ; Argentine+ ; Brésil+ ; Amérique centrale et Caraïbes ; USA et Canada du Sud ; Europe du Nord et Canada septentrional ; Europe ; Indes orientales et Pacifique ; Inde+ ; Chine orientale ; Japon et péninsule coréenne.

LC-Impact régionalise également le facteur d'effet grâce à la notion de « species richness » (richesse des espèces). Ainsi, selon le nombre d'espèces présentes dans une zone, la méthode considère que l'impact sera différent. Par conséquent, une substance émise dans un continent (ou sous-continent) riche en nombre d'espèces aura un effet plus important sur les écosystèmes qu'une substance émise dans un continent avec une faible richesse spécifique.

USEtox et LC-Impact proposent une régionalisation pour l'ensemble des flux, ainsi n'importe quelle substance caractérisée dans la méthode peut être régionalisée. En revanche, pour réaliser ce type de modélisation, il est indispensable de passer par les versions natives des méthodes puisque SimaPro et

OpenLCA ne proposent pas les flux régionalisés par substances ; seul le facteur « continental-default » est utilisé dans les logiciels.

Attention la régionalisation des impacts grâce aux fichiers Excel des méthodes natives peut être une manipulation très fastidieuse. En effet, elle nécessite d'exporter le jeu de données dont l'utilisateur souhaite calculer les impacts puis de multiplier chacune des substances présentes dans le jeu de données par les facteurs de caractérisation correspond à la zone d'étude disponible dans le fichier Excel de la méthode native. Attention cette démarche fastidieuse n'est pas liée à la régionalisation mais à l'utilisation des versions natives.

La méthode USEtox a la particularité dans sa version native de proposer la régionalisation personnalisée. Pour ce faire, il suffit de renseigner les différentes valeurs des paramètres mentionnés dans le Tableau 9 pour modéliser la région souhaitée et obtenir de nouveaux CFs pour toutes les substances (annexe 1).

A noter que la publication IMPACT World+ (Bulle, et al., 2019) propose des facteurs de caractérisation régionalisés pour la catégorie écotoxicité d'eau douce. Ceux-ci ne sont pas intégrés dans les logiciels mais sont accessibles en ligne : <https://www.impactworldplus.org/en/writeToFile.php>.

### 3.1.3.2. Famille EF

Les méthodes de la famille EF ne permettent pas d'offrir des résultats régionalisés comme le font les méthodes USEtox, IMPACT World+ et LC-Impact.

Lors de la version intermédiaire de ce rapport, nous vous indiquions que EF 3.0 proposait une régionalisation pour 3 substances (ammoniac, dioxyde d'azote et oxyde de soufre). Originellement modélisés pour les catégories d'impacts acidification et eutrophisation par ILCD, elles ont été reprises par EF 3.0 et régionalisés dans 36 pays. Ces substances régionalisées se retrouvent dans la version EF 3.0 disponible dans SimaPro (9.2.0.2), toutefois après discussion avec les experts en charge du développement de la méthode, il apparaît que cette régionalisation pour l'écotoxicité est une erreur et qu'elle sera supprimé lors de la prochaine mise à jour officielle de EF. Par conséquent il n'est pas recommandé d'utiliser ces CFs régionalisés qui sont une erreur et voués à disparaître.

### 3.1.3.3. Famille USES-LCA

Les méthodes de la famille USES-LCA, dont ReCiPe 2016 ne proposent pas de résultats régionalisés des impacts.

### 3.1.4. Utilisation d'archétypes de substances

Les archétypes de substances sont définis comme des regroupements permettant de caractériser l'impact de substances dont seule la classe (ex. fongicide) ou la famille chimique (ex. organochlorés) est connue, mais aussi pour des groupes de substances pour lesquels l'émission globale des substances individuelles n'est pas disponible comme les PAH ou les COV. Parmi les 5 méthodes étudiées, seules 2 proposent des archétypes de substances, EF 3.0 et ReCiPe. L'ensemble des archétypes de substances sont présentés dans le Tableau 10.

**Tableau 10 : Synthèse des archétypes de substances pour les méthodes EF 3.0 et ReCiPe 2016 par famille chimique et classe. \*Noble gases, radioactive and actinides unspecified ne concernent pas l'écotoxicité mais les impacts du rayonnement ionisant.**

Méthodes	Famille Chimique	Classe
EF 3.0	Actinides, radioactive, unspecified ; Aldehydes, unspecified ; Carboxylic acids, unspecified ; Chlorides, unspecified ; Chlorinated solvents, unspecified ; Hydrocarbons, unspecified ; Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unsecified ; Inorganic salts and acides, unspecified ; Nitrogenous mater unspecified as N ; Noble gases, radiative, unspecified ; Oils, unspecified ; Radiative species, nuclides, unspecified	Fundigicides unsecifides ; Herbicides unspecified ; Aerosols, radioactive, unspecified ; Insecticides, unspecified ; Pesticides, unspecified ; Suspended solids, unspecified
ReCiPe 2016	Aldehydes, unspecified ; PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons ; Actinides, unspecified (kBq) ; Carboxylic acids ; Hydrocarbons, chlorinated ; Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, cyclic ; Hydrocarbons, aromatic ; Noble gases, radioactive.	

Pour la méthode EF 3.0, les archétypes de substances sont calculés en utilisant le 50<sup>ème</sup> percentile de tous les CFs individuels disponibles dans la base de données EC-JRC-2018 appartenant au même groupe, à l'exception de « fungicides unspecified », « herbicides unspecified » et « insecticides unspecified » dont le calcul vient d'être mis à jour et dont les CFs sont maintenant calculés comme une moyenne pondérée sur les ventes de produits phytopharmaceutiques à partir d'EUROSTAT.

Pour la méthode ReCiPe, les facteurs de caractérisation pour les différentes catégories d'impact ont été dérivés en prenant une moyenne pondérée des substances dans chaque groupe de substances. Les moyennes pondérées sont basées sur les données d'émissions mondiales fournies par Sleeswijk et al., (2008) pour l'année 2000. Les pondérations sont calculées séparément pour chaque compartiment (air, eau, sol) en fonction de l'émission totale de chaque substance dans chaque compartiment.

### 3.1.5. Incertitudes

#### 3.1.5.1. Incertitude inhérentes aux méthodes d'impact

« Les incertitudes des différentes catégories d'impact ne sont pas directement comparables et constituent donc un argument discutable pour exclure une catégorie d'impact » (Fantke, Bijster, et al., 2018). La qualité de l'évaluation d'une voie d'impact est liée au rapport entre l'incertitude de chaque facteur de caractérisation rapportée à la variabilité des facteurs pour toutes les substances évaluées. En écotoxicité, des milliers de substances sont caractérisées et l'ordre de grandeur du facteur entre le CF de la substance la moins impactante et le CF de la substance la plus impactante est de l'ordre de 10<sup>20</sup>.

L'incertitude sur chacun de ces facteurs est de l'ordre de 10<sup>2</sup> à 10<sup>4</sup> (voir précision en bas de page <sup>4</sup>). Si on ramène cette incertitude à la variabilité entre substances, l'évaluation de l'écotoxicité apporte un pouvoir discriminant entre les substances (Fantke, Bijster, et al., 2018; Fantke, 2021) ; ce pouvoir discriminant est tout aussi pertinent que pour la discrimination entre substances pour la catégorie d'impacts gaz à effet de serre.

Dans la documentation USEtox (Fantke, Bijster, et al., 2018), il est en effet précisé que, dans le cadre des gaz à effet de serre « environ 50 substances différentes sont considérées. Leurs facteurs de

<sup>4</sup> En général, ces incertitudes sont liées majoritairement au facteur d'effet EF, dont l'incertitude ne peut être réduite en dessous d'un facteur 10, compte tenu des données actuellement disponibles (entretien avec Peter Fantke, voir annexe 21).

*caractérisation du plus faible au plus élevé (PRG<sub>100</sub>) varient d'un facteur d'environ 10<sup>4</sup> et s'accompagnent d'une incertitude inférieure au facteur 10 ».*

Le document précise ensuite que « *des potentiels de toxicité (CF) sont actuellement disponibles pour 3000 substances différentes [...] avec un facteur 10<sup>15</sup> à 10<sup>21</sup> entre le plus faible et le plus élevé (selon le compartiment d'émission et s'il s'agit de santé humaine ou d'écotoxicité). Même en supposant une incertitude très élevée d'un facteur 10<sup>4</sup>, il existe encore une grande variabilité entre les substances qui peuvent être identifiées dans une plage de >10<sup>15</sup> ».*

Le rapport indique ensuite que **le pouvoir de discernement entre substances pour l'écotoxicité n'est pas moins important que pour les gaz à effet de serre.**

### 3.1.5.2. Incertitudes dans l'inventaire

Les experts interviewés ont attiré notre attention sur les **incertitudes fortes générées par les imperfections ou carences au niveau des inventaires**. En écotoxicité, on traite des milliers de substances, et il est souvent difficile d'avoir la certitude que toutes les émissions de substances (d'intérêt) ont été inventoriées. C'est en particulier le cas pour les substances non métalliques, dont la toxicité est extrêmement variable, et dont les dénominations d'inventaires sont parfois peu spécifiques.

Par exemple, les appellations COV (pour « composés organiques volatils » ou VOC en anglais) peuvent couvrir un éventail large de substances à la toxicité très variable. De même pour les appellations CSOV (pour « composés semi-organiques volatils » ou SVOC en anglais) « COD » (Carbone organique dissout ou DOC en anglais). Nous conseillons dans la mesure du possible d'éviter ces appellations non spécifiques dans les inventaires.

## 3.2. Méthodes en cours de développement

Au-delà de GLAM, deux grands projets hébergent aujourd'hui des développements méthodologiques sur le volet écotoxicité : les projets MarILCA et ProScale. A date, ces projets n'en sont pas encore à produire des facteurs de caractérisation utilisables.

Ils sont décrits dans cette section.

### 3.2.1. MarILCA

Le projet MarILCA vise à intégrer les impacts environnementaux potentiels des déchets marins, notamment plastiques, dans les résultats de l'Analyse du Cycle de Vie. L'objectif est de conduire à une image plus complète des impacts environnementaux potentiels afin d'identifier les compromis associés à l'utilisation de plastique et d'autres matériaux dans un système de produits.



Il est issu de la déclaration de Medellin (Sonnemann & Valdivia, 2017).

Le projet s'étale sur la période 2019-2025, avec trois phases identifiées (Figure 10) :

- Une phase 1 de cadrage, terminée
- Une phase 2 de recherche, en cours, sur la période 2019-2022
- Une phase 3 de proposition méthodologique concrète à venir (2023-2025).

Le projet est coordonné au niveau international par Anne-Marie Boulay (CIRAIG) et Ian-Vasquez Rowe (PUCP), sous l'égide conjointe de la Life Cycle Initiative et du Forum for Sustainability through Life Cycle Innovation (FSLCI).

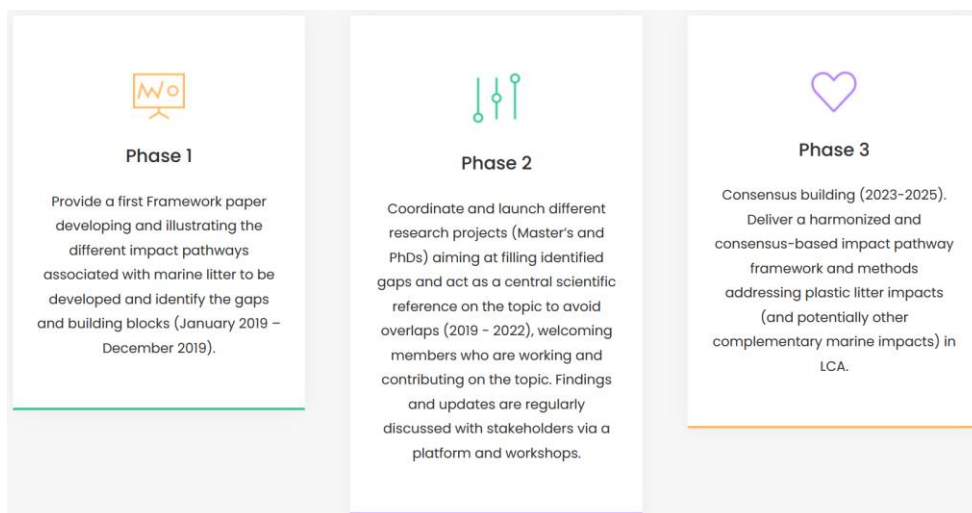


Figure 10 : les trois phases du projet MarILCA sur la période 2019-2025

La phase 1 de cadrage est terminée. La Figure 11 présente le cadre méthodologique arrêté et décrit dans (Woods et al., 2021). Différents chantiers de recherche ont été lancés avec un focus sur :

- Les facteurs de devenir des plastiques (fragmentation, dégradation chimique), en particulier dans les milieux marins ;
- Les facteurs d'exposition dans les écosystèmes, en particulier marins ;
- Les facteurs d'effet, en particulier physique (enchevêtrement, étouffement...), écotoxique, et liés aux espèces invasives transportées par les plastiques.

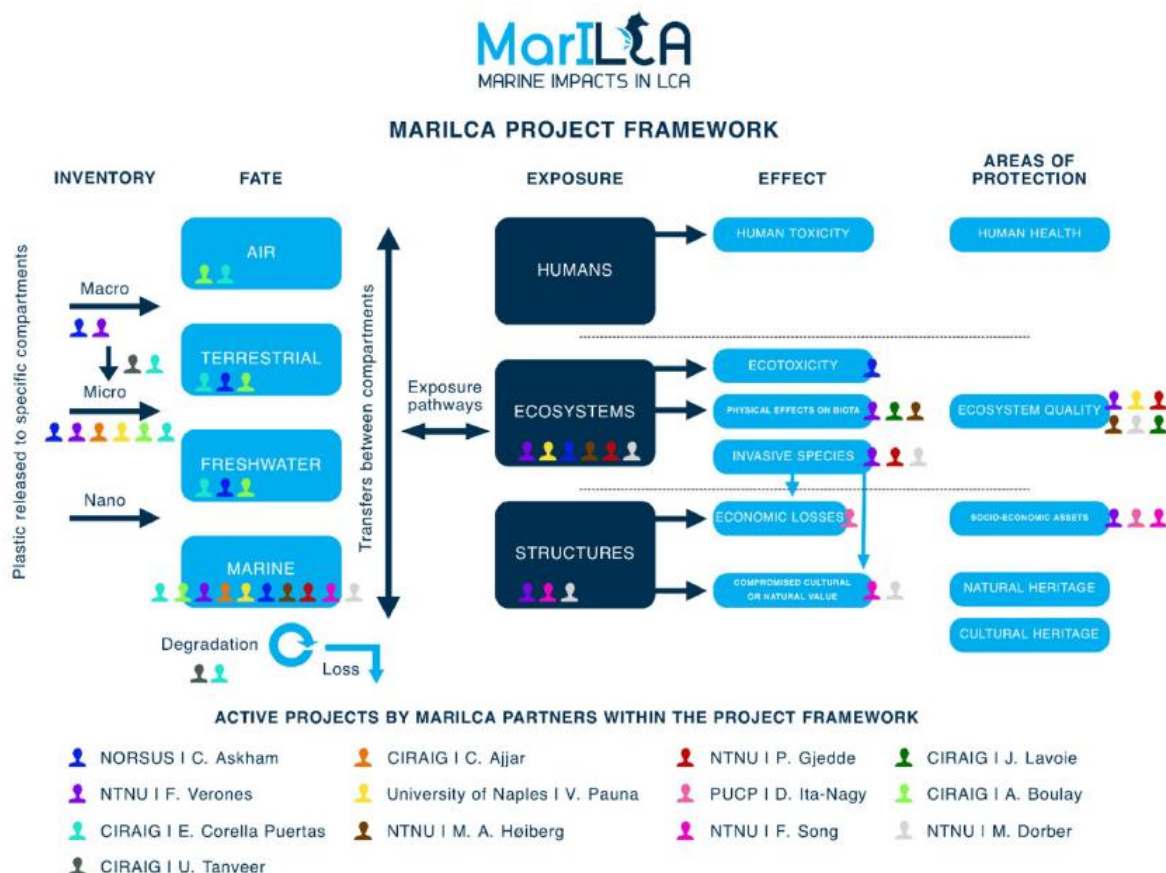


Figure 11 : Cadre méthodologique MarILCA, issu de (Boulay et al., 2021)

Les travaux sur les effets écotoxiques sont essentiellement conduits par NORSUS, l'institut de recherche norvégien sur le développement durable. Les effets identifiés sont liés i) aux effets des additifs dans les plastiques et ii) aux effets d'adsorption et donc de concentration de produits chimiques par les matières plastiques, qui entrent ensuite en contact avec les espèces (Saling et al., 2020).

A noter qu'un additif est une substance chimique qui est intégrée à la matrice polymère (ou plastique au sens commun du terme). La taille de ces additifs est variable, allant de petites molécules à des molécules bien plus grosses telles que les oligomères (polymères avec un degré de répétition faible). Ces additifs ne sont pas présents en tant que tels dans la synthèse de base du polymère (matière plastique de base) mais ils sont ajoutés lors de l'étape de production car ils permettent de faire varier les propriétés du matériau. Ils se retrouvent ainsi dans le produit fini et peuvent avoir des effets indésirables en raison de leur toxicité.

Les effets écotoxiques à proprement parler ne sont pas encore publiés. Les effets pour l'instant étudiés dans les publications sont les effets physiques des (micro et nano-) plastiques (Lavoie et al., 2021; Saling et al., 2020) sur les espèces vivantes.

Des recherches sont en cours également sur les facteurs de devenir et d'exposition dans les milieux eau douce et marins. Elles viendront faire le lien avec les éléments d'inventaire répertoriés dans le Plastic Leak Project (Peano et al., 2020).

Les travaux du Plastic Leak Project (Peano et al., 2020) ont essentiellement porté sur les inventaires des fuites de plastique sur l'environnement. Ces travaux ont également permis un premier recensement des chaînes de causes à effet sur les écosystèmes présentés dans l'annexe 7, mais finalement non repris dans le rapport final.

### 3.2.2. Proscale

ProScale est une méthode créée en 2016 et fournissant un système de notation basé sur les dangers et l'exposition pour comparer les risques chimiques associés aux produits dans une perspective de cycle de vie. ProScale offre un indicateur de performance qui peut intégrer les potentiels de danger et d'exposition directe des produits chimiques tout au long de leur cycle de vie, et qui peut être appliqué et communiqué dans le cadre de l'analyse du cycle de vie (ACV), des déclarations environnementales de produits ("EPD") et des empreintes environnementales de produits ("PEF") en (i) utilisant l'approche sur le cycle de vie, (ii) utilisant une approche basée sur le risque pour les évaluations de produits, (iii) pour un produit simple à une solution complexe et (iv) utilisant des données existantes et systématiques (ProScale, 2017).

Actuellement, il s'agit d'une méthode « single issue » pour la santé humaine uniquement.

Le volet écotoxicité a été développé de manière exploratoire par :

- L'IVL (Institut de recherche environnemental suédois) en 2019 : une proposition d'« Eco-scale » pour évaluer l'écotoxicité avec une approche similaire à la santé humaine a été proposée, il s'agit d'une approche développée sur le classement des H-phrases (« GHS hazard statement », Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques (GHS), Mention de Danger) pour caractériser l'écotoxicité. Cette approche a été testée sur 27 substances chimiques sans modélisation du devenir (Pas de publication scientifique à ce jour).
- BASF, avec un outil appelé « Proscale-E » dont aucune information n'a pu être récupérée.

Cette méthode a été développée par un consortium de 6 acteurs économiques (BASF, Covestro, Deutsche Bauchemie, DSM, Solvay et Kingspan) et un institut de recherche (IVL, Institut de recherche environnemental suédois) ; <https://www.proscale.org/> (lien vers l'outil web pour évaluer la toxicité humaine : <https://ivl-proscale.azurewebsites.net/>).

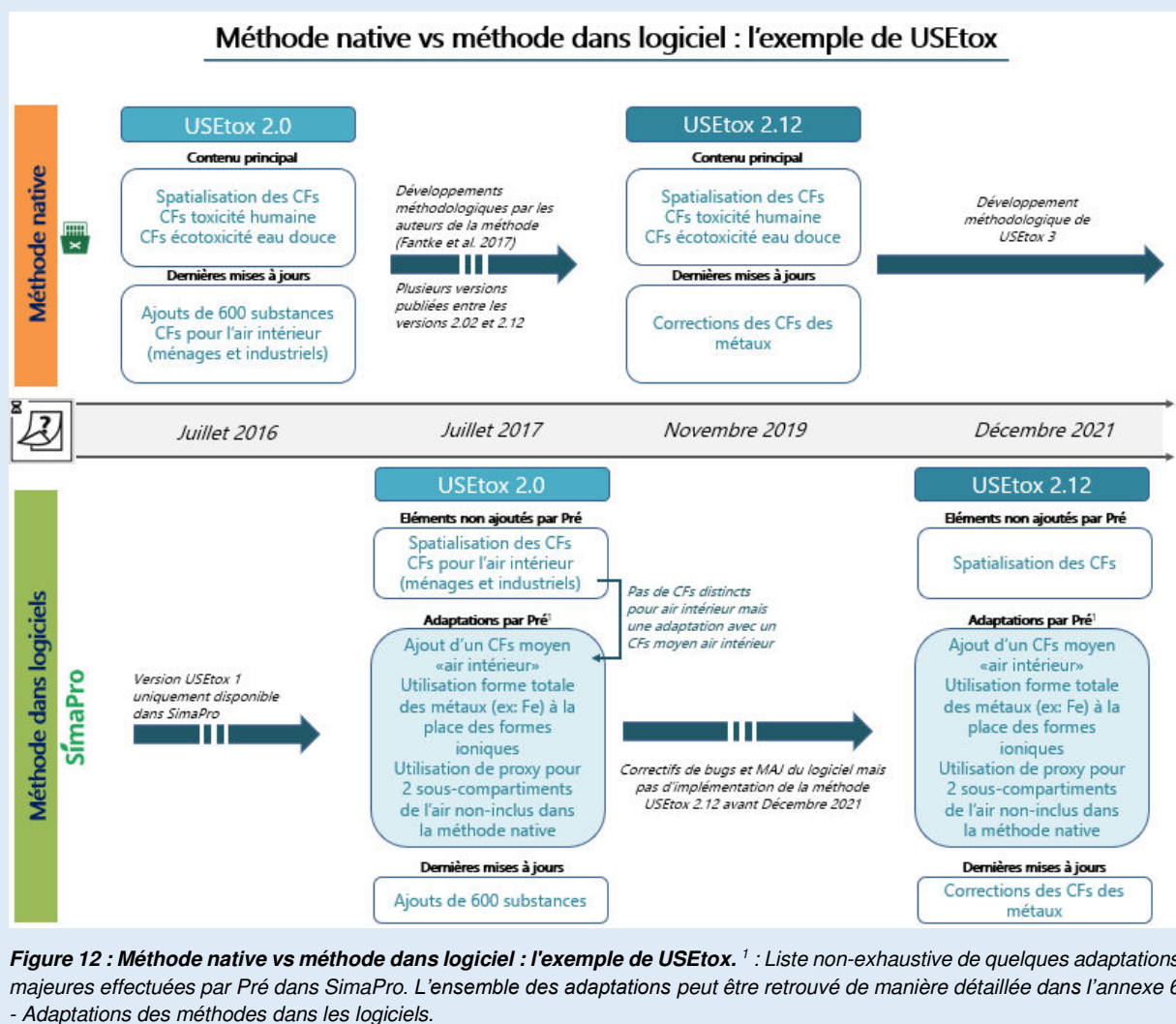
En conclusion, concernant la méthode ProScale pour évaluer l'écotoxicité de substances chimiques, il n'existe à ce jour aucune méthode finalisée et approuvée scientifiquement. Des propositions ont été faites par l'IVL et BASF et restent à ce jour exploratoires.

## 4. COMPARAISON DES METHODES EXISTANTES

### 4.1. Approche théorique

Les différentes méthodes retenues dans le cadre de ce travail ont été comparées afin de permettre aux praticiens de mieux comprendre les différents aspects méthodologiques qu'elles proposent ainsi que les points qu'elles ne couvrent pas. La comparaison des méthodes est disponible dans le Tableau 11.

Cette comparaison a pour but d'analyser les versions natives des méthodes. Une version dite native correspond à la méthodologie publiée par les développeurs de la méthode via des rapports ou des publications scientifiques et aux fichiers Excel regroupant les CFs fournis par les développeurs. Elle ne correspond en aucun cas à la version disponible dans les logiciels car celles-ci subissent des adaptations pour pouvoir être implémentées. *Par exemple, il convient de distinguer la version SimaPro USEtox 2.02 de la version native USEtox 2.02* (Figure 12). Par ailleurs les logiciels n'intègrent pas systématiquement la dernière version native. *Il existe ainsi plusieurs versions d'une méthode native, c'est le cas de USEtox 2.02 (implémentée dans SimaPro) et USEtox 2.12 (version la plus récente non implémentée dans les logiciels comportant des mises à jour importantes notamment sur la caractérisation des métaux)*. Par ailleurs, la méthode EF 3.0 n'utilise pas non plus la version la plus récente 2.12 de USEtox dans ses calculs et n'inclut par conséquent pas les dernières avancées de USEtox sur la caractérisation des métaux.



**Tableau 11 : Comparaison de l'approche méthodologique des différentes méthodes retenues.**

Méthodes		USEtox 2.12	IMPACT World +	LC-Impact	EF 3.0	ReCiPe 2016
Catégorie d'impact écotoxicité	Eau douce	x	x	x	x	x
	Terrestre	non	non*	x	non	x
	Marine	non	non*	x	non	x
Type de substances	Organique	x	x	x	x	x
	Inorganiques métalliques	x	x	x	x	x
	Inorganiques non métalliques	non	non	non	x	non
Nombre de substances dans les versions natives	Organique	2499	2499	2499	5632**	2233
	Inorganiques métalliques	27	31	27	62**	22
	Inorganiques non métalliques	0	0	0	397**	0
Horizon temporel	20 ans	non	non	non	non	x
	100 ans	non	non	x	non	x
	Infini	x	x	x	x	x
Niveau de calcul	Mid-point	x	x	non	x	x
	End-point	x	x	x	non	x
Unités des indicateurs	Unité - mid-point	CTUe, PAF m <sup>3</sup> day	CTUe, PAF m <sup>3</sup> day	-	CTUe, PAF m <sup>3</sup> day	kg 1,4-DCB
	Unité - end-point	CDUe, PDF m <sup>3</sup> day	PDF m <sup>2</sup> year	PDF m <sup>3</sup> day	-	species.yr
Selection des données d'effets toxicologiques	Organique	EC50-level	EC50-level	EC50-level	EC10-level	EC50-level
	Inorganiques métalliques	EC50-level	EC50-level	EC50-level	EC50-level	EC50-level
	Inorganiques non métalliques	-	-	-	EC10-level	-

\*IMPACT World+ ne caractérise pas l'écotoxicité terrestre et marine à proprement parler. Toutefois, selon la publication méthodologique d'IMPACT World+ (Bulle et al. 2019), les impacts sur la toxicité d'eau douce peuvent être retenus comme proxy pour mesurer la toxicité terrestre et marine. Ces proxys présentent toutefois une fiabilité très discutable.

\*\* Le nombre de substance indiqué est valable pour la version native de EF 3.0. Contrairement aux autres méthodes, le nombre de substances disponibles dans la version SimaPro (9.3.0.3) pour la méthode EF3.0 est différents. En effet, les développements méthodologiques de 2021 proposant l'ajout de nombreuses substances ne sont à l'heure actuelle pas encore implémentés dans les logiciels. Ainsi, seules 2806 organiques, 42 inorganiques métalliques et 92 inorganiques non-métalliques sont disponibles dans SimaPro (9.3.0.3) pour EF3.0.

La première différence notable au niveau des impacts sur l'écotoxicité réside dans les indicateurs proposés par les méthodes. Si toutes calculent les impacts vers les écosystèmes d'eau douce, l'écotoxicité marine et l'écotoxicité terrestre ne sont pas toujours prises en compte. C'est le cas de USEtox et EF 3.0. A noter que la publication méthodologique d'IMPACT World+ (Bulle, et al., 2019) propose l'utilisation de l'écotoxicité d'eau douce comme proxy pour caractériser les impacts sur l'écotoxicité marine et terrestre et en indiquant la faible fiabilité engendrée par un tel choix (uniquement à midpoint). De plus, le fichier Excel de la méthode native, tout comme la méthode à intégrer dans SimaPro, ne prévoit pas le calcul des écotoxicités terrestres et marines.

**Distinction entre l'écotoxicité eau douce et l'écotoxicité marine et terrestre**

Seule l'écotoxicité eau douce est évaluée par l'ensemble des méthodes, en effet les données d'écotoxicités proviennent majoritairement de tests réalisés sur des organismes d'eau douces. Aujourd'hui l'écotoxicité marine et terrestre est extrapolée de l'écotoxicité eau douce, par conséquent l'incertitude est plus élevée sur ces deux catégories d'impacts terrestre et marine ne prenant pas en compte les organismes spécifiquement présents dans ces écosystèmes. Par ailleurs, à ce jour aucune corrélation entre l'écotoxicité sur les organismes d'eau douce et les organismes terrestres ou marins n'a été mise en avant, questionnant le fondement même de ces extrapolations. Certains chercheurs ont même montré le contraire et ne préconise pas ces extrapolations (*études en cours*).

Enfin, il convient de bien définir les termes utilisés lorsqu'on parle d'écotoxicité terrestre et marine. En effet, l'écotoxicité terrestre englobe généralement l'écotoxicité à la fois des organismes du sol, mais également les animaux vivants sur le sol (ex. les petits mammifères), les insectes volants (dont les pollinisateurs) et les oiseaux ; les données disponibles sont pour l'instant parcellaires : elles concernent les organismes du sol et/ou les pollinisateurs, pour lesquels l'estimation des impacts est spécifique (Crenna et al., 2020). Pour l'écotoxicité marine, elle peut concerner à la fois les eaux côtières et les océans.

La nature des substances disponibles dans les méthodes est également un paramètre important pour sélectionner une méthode. Ainsi, il faudra être prudent avant de choisir ReCiPe pour une analyse comprenant une part importante de métaux car la méthode caractérise un nombre plus faible de ces substances. Des métaux très utilisés dans les procédés industriels ne sont par exemple par caractérisés par ReCiPe (*voir encadré*). A contrario, il sera préférable d'utiliser EF 3.0 dans un scénario comprenant un nombre important de substances inorganiques non-métalliques car elle demeure la seule méthode proposant la caractérisation de telles substances.

**Liste des métaux caractérisés ou non par ReCiPe par rapport aux méthodes de la famille USEtox.**

Caractérisés : Chrome(III), Chrome(VI), Cobalt, Cuivre, Zinc, Arsenic(III), Arsenic(V), Sélénium, Argent, Béryllium, Cadmium, Baryum, Nickel, Vanadium, Thallium, Etain, Plomb, Antimoine, Antimoine(III), Antimoine(V), Molybdène, Mercure .

Non caractérisés : Aluminium, Fer, Césium, Strontium, Manganèse

Par ailleurs, la méthode IMPACT World+ propose également en plus des formes ioniques du fer, de l'antimoine, du chrome et de l'arsenic leurs formes totales.

Si la nature des substances varie entre les méthodes, leur nombre varie également. Par conséquent, une substance peut très bien être caractérisée dans une méthode mais pas dans une autre même si des familles chimiques similaires y sont caractérisées. Cette variation s'explique par des critères et des sources différentes pour déterminer les propriétés physico-chimiques des substances (

Tableau 12).

**Tableau 12 : Sources de données pour le calcul des facteurs de caractérisation suivant les différentes méthodes**

Méthode	Sources de données			Commentaire
	EF - effect	XF - exposure	FF - fate (substance database)	
USEtox 2.12	EC <sub>50</sub> : e-toxBASE (RIVM), US-EPA ECOTOX database, IUCLID, Dong et al (2014), van Zelm et al (2007, 2009), Payet (2004)	ECHA - European Chemicals Agency (2012) ; Gandhi et al (2010) ; Brandes et al (1996) ; IAEA International Atomic Energy Agency (2010) ; US-EPA United States - Environmental Protection Agency (2002)	Subs. Organique : EPISuite ; Métaux : IAEA (2010), Allison and Allison (2005)	(USEtox documentation, page 51-54), certaines valeurs manquantes estimés avec une approche QSAR (ex. KOC, constante d'Henry)
LC-Impact	EC <sub>50</sub> : e-toxBASE (RIVM), US-EPA ECOTOX database, IUCLID, Dong et al (2014), van Zelm et al (2007, 2009), Payet (2004) + species richness Verones et al (2020)	ECHA - European Chemicals Agency (2012) ; Gandhi et al (2010) ; Brandes et al (1996) ; IAEA International Atomic Energy Agency (2010) ; US-EPA United States - Environmental Protection Agency (2002)	Subs. Organique : EPISuite ; Métaux : IAEA (2010), Allison and Allison (2005)	
ReCiPe 2016	cf USEtox® (Rosenbaum et al. 2008)	cf USEtox® (Rosenbaum et al. 2008)	cf USEtox® (Rosenbaum et al. 2008)	La publication Huijbrechts et al. 2017 présentant ReCiPe 2016 fait référence pour l'écotoxicité à "la base de données USEtox avec la référence Rosenbaum et al. 2008.
EF3.0	Type 1 : USEtox2.1 ☉ Type 2 : USEtox2.1 ☉ Type 3 : REACH-IUCLID Type 4 : EFSA Type 5 : PPDB	Type 1 : USEtox2.1 ☉ Type 2 : REACH-IUCLID Type 3 : REACH-IUCLID Type 4 : EFSA Type 5 : PPDB	Type 1 : USEtox2.1 ☉ Type 2 : REACH-IUCLID Type 3 : REACH-IUCLID Type 4 : EFSA Type 5 : PPDB	Voir Saouter et al. (2018) ainsi que le SI de EF3.0 (R codes for ECOTOX) 5 types de combinaisons de sources de données distinguées dans EF3. Environ 21% des substances sont de Type 1, 72% sont de Type 3, 3% sont de Type 4, et le reste se répartit entre Type 2 et 5.
IMPACT World +	EC <sub>50</sub> : e-toxBASE (RIVM), US-EPA ECOTOX database, IUCLID, Dong et al (2014), van Zelm et al (2007, 2009), Payet (2004) + species richness Verones et al (2020)	ECHA - European Chemicals Agency (2012) ; Gandhi et al (2010) ; Brandes et al (1996) ; IAEA International Atomic Energy Agency (2010) ; US-EPA United States - Environmental Protection Agency (2002)	Subs. Organique : EPISuite ; Métaux : IAEA (2010), Allison and Allison (2005) [marine, terrestrial and freshwater ecotoxicity models use the same fate factors, from USEtox]	

**Les cases grisées font référence à des informations dont l'exactitude n'a pas pu être totalement vérifiée.**

En dehors de la méthode EF 3.0, les facteurs d'effet de l'ensemble des méthodes sont basés sur les données de USEtox. Celles-ci sont obtenues à partir de trois bases de données de substances chimiques disponibles dans le monde. En premier lieu, il s'agit de la base e-toxBASE de RIVM (Institut Néerlandais de la santé publique et de l'environnement). Ces données sont complétées par celles de US EPA ECOTOX (<http://www.epa.gov/ecotox>) et de REACH-IUCLID (ECHA (European Chemical Agency), s. d.).

Nous n'avons pas pu accéder à la base e-toxBASE de RIVM dans le cadre de cette étude<sup>5</sup>. La base de données ECOTOX de US EPA est décrite en annexe 8.

<sup>5</sup> Le lien <http://www.ru.nl/environmentalscience/research/themes-0/risk-assessment/e-toxbase/> est inopérant.

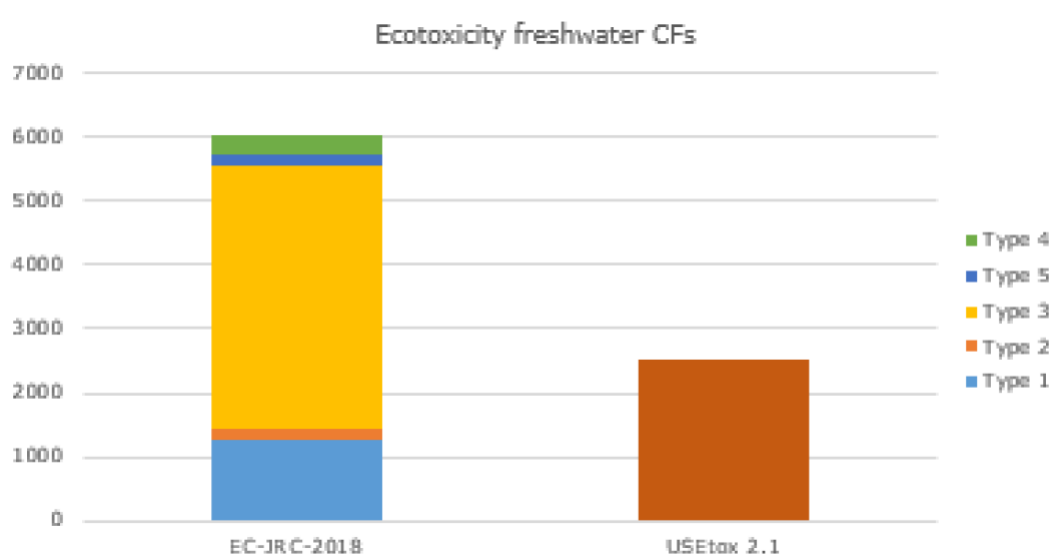
Pour la méthode EF 3.0, les évaluations de risque environnemental sont conduites essentiellement avec les données de REACH-IUCLID, EFSA-OpenFoodTox (Barbaro et al., 2015; Dorne et al., 2017) et PPDB (Lewis et al., 2016). La base REACH-IUCLID a été initialement conçue pour faire de l'évaluation de risques.

La base de données OpenFoodTox de l'EFSA rassemble les éléments sur les dangers des substances dans les denrées alimentaires et les aliments pour animaux évaluées par l'EFSA (Barbaro et al., 2015; Dorne et al., 2017).

La base « Pesticide Properties Database (PPDB) » est développée et maintenue par l'Université du Hertfordshire (Unité AERU - Agriculture & Environment Research Unit). Elle contient une sélection de données sur les propriétés physicochimiques, toxicologiques, éco toxicologiques, de santé humaine de 2300 principes actifs et 700 métabolites.

En cas d'absence de ces sources, les données peuvent être reprises de USEtox.

La Figure 13 ci-dessous indique l'origine des données retenues pour les substances dans la méthode EF 3.0.



**Figure 13 : Nombre total de facteurs de caractérisation dans (USEtox 2.1) et dans EF 3.0 (EC-JRC-2018) (Saouter et al., 2018). Pour les facteurs de caractérisations EF 3.0, les différents types sont les suivants : Type 1 : facteurs de devenir, exposition et effet repris de USEtox 2.1 ; Type 2 : facteurs de devenir et d'exposition calculés à partir des données physico-chimiques de REACH, facteurs d'effet repris de USEtox 2.1 ; Type 3 : facteurs de devenir, exposition et effet calculés à partir des données REACH ; Type 4 : facteurs de devenir, exposition et effet calculés à partir des données EFSA ; Type 5 : facteurs de devenir, exposition et effet calculés à partir des données PPDB.**

A noter que ces nouvelles substances caractérisées ne sont toutefois pas disponibles dans SimaPro à l'heure actuelle.

Des recommandations récentes du consensus UNEP-SETAC conduisent à faire évoluer le mode de détermination du facteur d'effet pour l'adapter à des concentrations plus proches de celles observées dans l'environnement. Ces recommandations n'ont pas encore été complètement mises en œuvre. Une tentative récente existe avec la méthode EF 3.0 et est en cours dans USEtox dans sa version 3.0.

Autre subtilité importante, les méthodes LC-Impact et IMPACT World+ proposent un total de 3077 substances dans le fichier Excel de la version native (pour LC-Impact) et dans SimaPro (9.1.1.7) (pour IMPACT World+ (v.1.28 midpoint et v1.46 endpoint)). Toutefois, ce nombre ne correspond pas au total des substances caractérisées. En effet, environ 1/6 (578) des substances proposées dans LC-Impact

et IMPACT World+ ne sont tout simplement pas caractérisées. Ainsi, le nombre de substances caractérisées dans ces deux méthodes est exactement le même que pour la méthode USEtox 2.12, à savoir 2499 substances (Tableau 11).

L'horizon temporel modélisé par les différentes méthodes est également variable. Si la plupart s'accordent pour présenter un horizon à l'infini, ReCiPe offre la possibilité de faire varier les résultats en fonction de ces 3 scénarios (« Individualist » : 20 ans ; « Hierarchist » : 100 ans et « Egalitarian » : infini). LC-Impact offre également la possibilité de sélectionner un scénario à 100 ans (pour toutes les substances) ou un scénario avec un horizon temporel infini (pour toutes les substances mais où seuls les CFs des métaux sont modifiés, les substances organiques ayant rarement des impacts au-delà de 100 ans). Pour IMPACT World+, il semblerait que le calcul du CF soit différencié en deux étapes : jusqu'à 100 ans et après 100 ans. Néanmoins aucune trace de CF n'a été trouvé dans la BDD de la méthode. Ainsi, les éléments disponibles dans la bibliographie sur la méthode ne permettent pas de conclure sur ce point.

Alors que LC-Impact ne propose que des indicateurs endpoint, EF 3.0 à l'inverse n'inclut que des indicateurs midpoint. Les autres méthodes quant à elles permettent d'utiliser les deux types d'indicateurs.

USEtox, LC-Impact et EF 3.0 possèdent les mêmes unités : CTUe, PAF.m<sup>3</sup>.day pour le midpoint et CDUe, PDF.m<sup>3</sup>.day pour le endpoint. LC-Impact ne précise pas l'unité comparative (CDUe) mais l'unité de mesures endpoint reste la même, à savoir des PDF.m<sup>3</sup>.day en endpoint. Subtilité importante, la méthode IMPACT World+ propose une unité différente pour ses indicateurs endpoint par rapport aux autres méthodes de la même famille. En effet, les indicateurs endpoint IMPACT World+ sont exprimés en PDF.m<sup>2</sup>.year alors que USEtox et LC-Impact utilisent l'unité CDUe PDF.m<sup>3</sup>.day. Cette unité spécifique à IMPACT World+ est calculée en convertissant dans un premier temps les PAF en PDF via l'application d'un facteur 0,5. Ce facteur 0,5 se fonde sur l'hypothèse que 50 % des espèces affectées disparaissent. Enfin, une division par une profondeur moyenne de 2,5 m est effectuée pour accéder à des PDF.m<sup>2</sup>. year. Cette unité a pour but, dans le cadre de la méthode IMPACT World+, d'homogénéiser les unités des indicateurs utilisés pour le endpoint qualité des écosystèmes.

Les méthodes se basent sur des courbes statistiques de distribution de sensibilité (SSD) des espèces pour calculer les facteurs d'effet. Toutes les méthodes retenues, à l'exception de EF, se basent sur des courbes EC50 ce qui pour rappel correspond à des dommages pour 50 % d'espèces affectées. La méthode EF 3.0 n'applique cette courbe EC50 que pour les substances inorganiques métalliques. Ainsi, pour déterminer le facteur d'effet des inorganiques non-métalliques et des organiques, ce sont des courbes HC20 de EC10 (10 % d'espèces affectées) qui ont été retenues.

Pour chaque substance, la valeur HC20 pour une courbe SSD basée sur les EC10 est déterminée suivant les étapes suivantes :

- Etape 1 : les EC10 (correspondant, pour une espèce donnée, à la concentration pour laquelle 10 % des individus de l'espèce sont affectés) sont identifiées et classées par ordre croissant.
- Etape 2 : la courbe statistique SSD correspondante est déterminée.
- Etape 3 : la valeur de la concentration pour laquelle 20 % des espèces ont plus de 10 % des individus affectés est la valeur HC20 EC10. Ce point est identifié sur la courbe SSD issue de l'étape 2.

**Tableau 13 : Exigences pour déterminer les courbes SSD en termes de nombre d'espèces et de niveaux trophiques**

Méthodes	USEtox 2.02 (substances R)	USEtox 2.02 (substances I)	IMPACT World+	LC-Impact (core et extended)	EF3 (*)	ReCiPe 2016 (I)	ReCiPe 2016 (H)	ReCiPe 2016 (E)
Nombre minimum d'espèces	3	-	(**)	(**)	Optimal $\geq 5$	4	1	1
					Minimum 1			
Nombre minimum de niveaux trophiques	3	-	(**)	(**)	Optimal $\geq 3$	-	-	-
					Minimum 1			

(\*) Attribution d'un score de qualité dégradé (quality score) dans le cas où le nombre de niveaux trophiques est inférieur à 3 et/ou le nombre d'espèces est inférieur à 5

(\*\*) La méthode ne détermine pas d'exigences minimales. Toutefois, IMPACT World+ est basé sur USEtox 2.0 et LC-Impact sur USEtox 2.1 ; ainsi pour chaque substance, les exigences en matière de nombre d'espèces et de niveaux trophiques sont similaires à celles de USEtox.

Le Tableau 13 présente les exigences en fonction des différentes méthodes pour déterminer les courbes SSD permettant de calculer les facteurs d'effets des substances. Ces exigences sont très variables, même au sein des méthodes. En effet, dans le cadre de USEtox, les substances R (recommandé) sont calculées avec un minima de 3 espèces et 3 niveaux trophiques différents alors qu'aucune exigence n'existe pour les substances I (provisoire), d'où la dénomination en substance provisoire (I : indicative). Il en va de même pour ReCiPe puisque selon les différents scénarios, les exigences diffèrent. A noter que dans le cas de LC-Impact et d'IMPACT World+, les méthode ne déterminent pas d'exigence particulière. Toutefois les substances utilisées provenant de USEtox, les exigences qui s'y relatent se retrouvent également dans la méthode LC-Impact. Ainsi les substances R (recommandé) présentent dans LC-Impact sont également calculées avec un minimum de 3 espèces et niveaux trophiques alors que les substances dites I (provisoire) n'ont pas d'exigences particulières. Ce niveau d'exigences provient avant tout du niveau de données disponibles.

EF 3.0 détermine un nombre optimal d'espèces et de niveaux trophiques mais n'exige pas d'atteindre cet optimal pour calculer les facteurs d'effets. La méthode possède la particularité de proposer un score de qualité des données pour aider l'utilisateur à déterminer la fiabilité de son analyse. C'est la seule méthode à proposer un tel système.

## 4.2. Prise en compte des méthodes dans les EPD

La recherche des méthodes ACV appliquées dans les EPD en France concernent deux secteurs :

- Les fiches de déclarations environnementales et sanitaires - FDES pour le bâtiment (AFNOR, 2014, 2016), document normalisé présentant les résultats de l'ACV d'un produit ainsi que des informations sanitaires dans la perspective du calcul de la performance environnementale et sanitaire du bâtiment pour son éco-conception ;
- PEP eco-passeport pour les produits électroniques (Association P.E.P., 2021) : il s'agit d'une déclaration environnementale de type III au sens de la norme ISO 14025, spécifique aux équipements électriques, électroniques et de génie climatique et nécessite la réalisation d'une ACV.

Dans le cas des déclarations FDES, et sur la base des informations disponibles sur le site de l'INIES<sup>6</sup>, 28 indicateurs sont prévus dans la norme EN 15804/CN. Deux indicateurs, en lien avec la biodiversité, semble traiter de l'écotoxicité : l'indicateur de pollution de l'air (en m<sup>3</sup>) et l'indicateur de pollution de l'eau

<sup>6</sup> <https://www.inies.fr/#>

(en m<sup>3</sup>)<sup>7</sup>. La consultation des documents en ligne ne nous a pas permis d'accéder au détail de ces indicateurs.

Dans le cas du PEP Eco passeport<sup>8</sup>, les indicateurs d'écotoxicité sont facultatifs. Dans le cas où ils sont déclarés, c'est USEtox 1.0 qui s'applique (Rosenbaum et al., 2008).

### 4.3. Adaptation des méthodes dans les logiciels ACV

Il existe parfois des différences méthodologiques entre les méthodes natives (telles que développées par les concepteurs de la méthodologie) et les versions implémentées dans les logiciels d'ACV.

Il existe également des différences entre les versions disponibles dans les logiciels et les versions natives les plus récentes. Les paragraphes ci-dessous décrivent les différentes adaptations qui ont été effectuées afin de rendre la méthode disponible dans les logiciels ainsi que les versions actuellement disponibles dans ceux-ci.

Le Tableau 14 présente les différentes versions des méthodologies disponibles dans les logiciels en date du 08.12.2021 et qui ont été utilisées pour la réalisation des cas d'étude.

**Tableau 14 : Versions des méthodes natives les plus récentes et versions disponibles dans les logiciels.**

Méthodes	USEtox	IMPACT World+ (midpoint)	IMPACT World+ (endpoint)	LC-Impact	EF	ReCiPe (2016) (midpoint & endpoint)
Version native la plus récente	v.2.12	v. 1.31	v. 1.49	v. 1.0	3.0 (MAJ novembre 2019)	v. 1.1
Version disponible dans SimaPro (9.2.0.2)	v. 2.02	v. 1.29	v. 1.47	Non disponible	v. 3.0	v. 1.1
Version disponible dans Open-LCA (1.10.3)	v. 2.02	v. 1.29	v. 1.47	Non disponible	v. 3.0	v. 1.1
Version disponible dans GaBi (10.5)	v. 2.12	Non disponible	Non disponible	Non disponible	v. 3.0	v. 1.1

En décembre 2021, la dernière mise à jour de SimaPro (9.3.0.3) a introduit plusieurs changements conséquents. Le Tableau 15 illustre les différents changements de versions qui sont apparus lors de cette mise à jour. A noter que la méthode EF 3.0 n'a toujours pas été mises à jour, par conséquent les nombreux CFs calculés en 2019 pour environ 6000 substances ne sont à l'heure actuelle pas disponibles dans SimaPro.

<sup>7</sup> Lien consulté le 01/03/2022 <https://www.inies.fr/inies-pour-le-batiment/lacv-produit/>

<sup>8</sup> Lien consulté le 10/01/2022 <http://www.pep-ecopassport.org/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=1641&token=afc1554a4d44f2e43005accd5315cfcaa454ec43>

**Tableau 15 : Version des méthodes natives les plus récentes et des versions disponibles dans la nouvelle mise à jour de SimaPro sortie lors de la rédaction de ce rapport.**

Méthodes	USEtox	IMPACT World+ (midpoint)	IMPACT World+ (endpoint)	LC-Impact	EF	ReCiPe (2016) (midpoint & endpoint)
Version native la plus récente	v.2.12	v. 1.31	v. 1.49	v. 1.0	3.0 (MAJ novembre 2019)	v. 1.1
Version disponible dans SimaPro (9.2.0.2)	v. 2.12	v. 1.29	v. 1.47	v 1.0	v. 3.0	v. 1.1

Les cases en bleu représentent les changements de versions qui sont apparus lors de la sortie de SimaPro 9.3.0.3. Les autres méthodes n'ont pas changé.

### 4.3.1. SimaPro

Les adaptations des méthodes dans le logiciel SimaPro sont majoritairement effectuées au niveau du mapping entre les sous-compartiments des méthodes natives et les compartiments et sous-compartiments disponibles dans SimaPro. La régionalisation disponible dans les méthodes natives n'est en général pas disponible dans le logiciel. D'autres facteurs correctifs peuvent également être effectués. Tous les détails concernant les adaptations logiciels sont disponibles en annexe 6.

#### 4.3.1.1. USEtox

La version disponible dans SimaPro diffère sur plusieurs points avec la version native :

- La version disponible dans le logiciel ne permet pas la régionalisation des résultats, seuls les CFs « default-USEtox » sont implémentés ;
- Elle ne contient pas la partie résidus vers les produits récoltés, disponible dans l'outil Excel de USEtox (pour la toxicité humaine uniquement) ;
- Les compartiments de la méthode native ont été mappés avec les compartiments disponibles dans SimaPro.

#### 4.3.1.2. IMPACT World+

La méthode IMPACT World+ n'est pas directement présente dans les logiciels ACV étudiés, elle doit être importée via le fichier natif Excel. En conséquence, aucune différence n'est présente entre la méthode importée dans SimaPro et celle du fichier natif.

#### 4.3.1.3. LC-Impact

La méthode LC-Impact a nouvellement été installé dans SimaPro. Comme pour toutes les méthodes, plusieurs adaptations ont été effectuées par Pré. Les adaptations concernant la toxicité sont les mêmes que celles appliquées à la méthode USEtox, ce qui est cohérent puisque LC-Impact se base sur la méthode USEtox pour les calculs de toxicité. Pour plus de détails concernant les adaptations effectuées par les développeurs de Pré, se référer au point 4.3.1.1 USEtox ainsi qu'à l'annexe 6.

#### 4.3.1.4. EF 3.0

Les adaptations majeures pour la toxicité entre la version native et la version disponible dans le logiciel sont les suivantes :

- Des substances supplémentaires ont été incluses car elles sont largement utilisées par les bases de données de référence et leurs synonymes font partie de la méthode EF originale.

#### **4.3.1.5. ReCiPe**

La méthode de ReCiPe disponible dans SimaPro ne comporte aucune adaptation majeure de la méthode native. Des corrections ont toutefois été effectuées au fil des versions afin de corriger certaines erreurs d'implémentation ou des erreurs de calculs issus de la méthode native.

#### **4.3.2. Open-LCA**

Les adaptations des méthodes dans Open-LCA sont les mêmes que celles effectuées pour SimaPro. Par conséquent, aucune différence d'implémentation ne peut expliquer des différences de résultats entre les deux logiciels. Pour plus d'informations sur les adaptations effectuées par les développeurs d'Open-LCA pour implémenter les méthodes natives, se référer au paragraphe « 7.1 SimaPro ».

#### **4.3.3. GaBi**

Ne disposant pas d'un accès à GaBi, les informations présentées ci-dessous sont fondées sur la documentation disponible sur le site internet du logiciel. Nous ne sommes par conséquent pas certains de leurs actualisations et nous recommandons de les considérer avec prudence.

Tout comme Simapro et OpenLCA, GaBi semble inclure les méthode USEtox, ReCiPe et Environmental Footprint (EF 3.0 et EF 2.0). LC-Impact et IMPACT World+ ne semblent pas faire partie des méthodes initialement intégrées à GaBi.

#### **4.3.4. Mapping des sous-compartiments dans les logiciels : exemple de USEtox dans SimaPro**

Comme nous l'avons vu pour les diverses méthodes, de nombreuses adaptations ont été effectuées par les développeurs des logiciels pour mapper les compartiments des méthodes natives avec les compartiments disponibles dans SimaPro.

Le Tableau 16 illustre le cas de l'adaptation de USEtox 2.02 dans SimaPro.

**Tableau 16 : Mapping des sous-compartiments natifs avec les sous-compartiments disponibles dans les logiciels pour la méthode USEtox 2.02.**

Compartiment d'émission	Sous compartiments Simapro	Méthode de conversion USEtox > Simapro	Sous compartiments natifs USEtox	
			Abréviation	Explication
Air	unspecified	Average of airC and airU		
	low pop	= airC <sub>default</sub>	airC	Rural air at the continental scale
	low pop long-term			
	stratosphere + troposphere			
	high pop	= airU <sub>default</sub>	airU	Urban air at the urban scale
	stratosphere	**		
	indoor	= home.airI <sub>of.eco</sub>	home.airI	Household indoor air at the indoor scale
		ind.airI	Occupational indoor air at the indoor scale	
Eau	unspecified	= fr.waterC <sub>default</sub>		
	groundwater	**	fr.waterC	Freshwater at the continental scale
	groundwater, long-term	**		
	lake	**	fr.waterC	Freshwater at the continental scale
	river	**	fr.waterC	Freshwater at the continental scale
	river, long-term	**		
	fossilwater	**		
	ocean	= seawaterC <sub>1</sub>	seawaterC	Coastal sea water at the continental scale
Sol	unspecified	= natsoilC <sub>default</sub>		
	agricultural	= agr.soilC <sub>default</sub>	agr.soilC	Agricultural soil at the continental scale
	forestry	**	natsoilC	Natural soil at the continental scale
	industrial	**		
	urban, non industrial	**		

\*\* Sous-compartiments non caractérisés en tant que tel dans le logiciel. La valeur unspecified est appelée par défaut. Il est par conséquent impossible de corriger des CFs spécifiquement pour ce sous-compartiment.

/ / / / / Sous-compartiment dont les transferts sont considérés dans USEtox, mais non distingués en sous-compartiments tels que ceux proposés par SimaPro

  Non considéré dans la méthode native (i.e fossilwater) ou non calculés (i.e unspecified)

Il convient ainsi d'être prudent lors de l'utilisation des sous-compartiments et lors de l'interprétation des résultats. Il existe en effet différents cas de figure :

**Scénario 1 :** Le praticien décide de réaliser l'analyse la plus précise possible ; il modélise ses émissions selon les différents sous-compartiments dont les rivières sur le long terme. Ces dernières ne sont pas directement caractérisées dans la méthode native. Cependant SimaPro propose un facteur de caractérisation pour ce sous-compartiment. Ainsi lors de l'analyse des résultats par le praticien, il y a un risque de sur- interprétation des résultats car il peut être amené à considérer que son impact est bien modélisé sur le long terme pour les rivières alors que ce n'est pas du tout le cas. Le même problème intervient également lors d'une modélisation vers le sous-compartiment rivière. La méthode native ne distingue par les rivières et les lacs, elle propose un facteur de caractérisation eaux douces (qui regroupe rivières, lacs et eaux souterraines). Une surinterprétation des résultats est ainsi également possible même lorsque la méthode native caractérise un impact.

**Scénario 2 :** Le praticien souhaite modéliser des émissions vers l'air à l'intérieur de son entreprise. La méthode native propose différents niveaux de modélisation (air intérieur des maisons, air intérieur industriel). Toutefois SimaPro ne propose pas ce niveau de détail et utilise le facteur de caractérisation de l'air intérieur des maisons. Le praticien ne peut ainsi pas affiner son analyse, de plus celle-ci se voit faussée car le sous-compartiment ne s'applique en réalité que pour l'air intérieur des maisons.

**Scénario 3 :** Le praticien réalise une analyse approfondie de ses impacts et modélise des émissions vers les eaux fossiles. Celles-ci ne sont pas caractérisées dans la méthode native et ne possèdent pas de facteur de caractérisation dans la méthode SimaPro. Pourtant lors du calcul de l'impact par le logiciel, une valeur non nulle en découle. En effet, le logiciel prend par défaut la valeur du compartiment « unspecified », lorsqu'aucun CF du sous-compartiment n'est caractérisé. Cette approche n'est pas renseignée dans le guide utilisateur logiciel. Un praticien pourrait ainsi s'attendre à trouver une valeur nulle pour ce sous-compartiment en raison de l'absence de CF et pourtant ce n'est pas le cas. Il peut ainsi être difficile de tracer certains impacts. Par conséquent, nous

recommandons de bien analyser les différents sous-compartiments et leur mapping respectif entre la méthode native et le logiciel avant de les utiliser et d'interpréter les résultats.

#### 4.4. Application aux cas d'études

Dans le cadre de cette étude, deux cas d'études ont été réalisés :

- 1) Comparaison de l'impact de 1 kg de substance émise (8 substances étudiées) vers les différents sous compartiments de l'air, de l'eau et du sol entre les différentes méthodes (USEtox, ReCiPe, EF, LC-Impact et IMPACT World+).
- 2) Comparaison de l'impact de deux jeux de données de processus (« traitement des eaux usées » et « production de maïs ») entre les différentes méthodes disponibles dans SimaPro (USEtox, ReCiPe, EF, IMPACT World+).

Comme nous l'avons vu précédemment, les méthodes disponibles dans les logiciels ne sont pas toujours les versions les plus à jours des méthodes natives ; de plus, des adaptations sont effectuées par les développeurs des logiciels lors de l'implémentation des méthodes. Les résultats des cas d'études sont donc à considérer au regard de ces éléments.

Ce cas d'étude a été réalisé avec la version SimaPro 9.2.0.2. Les versions des méthodes disponibles dans cette version du logiciel et donc retenues pour le cas d'études peuvent être retrouvées dans le Tableau 14. A noter que dans la version utilisée pour cette étude, LC-Impact n'était pas encore disponible dans les logiciels. Cette méthode n'a par conséquent pas été retenue pour le cas d'étude numéro 2. Lors de ce cas d'étude nous avons également comparé USEtox 2.12 natif avec les versions disponibles dans les logiciels. La version 2.12 de USEtox est désormais disponible dans la nouvelle version de SimaPro tout comme LC-Impact.

##### 4.4.1. Cas d'étude : comparaison des méthodes par substance

Le présent cas d'étude a vocation à comparer la caractérisation de 8 substances dans les différentes méthodes présentées au travers de ce rapport.

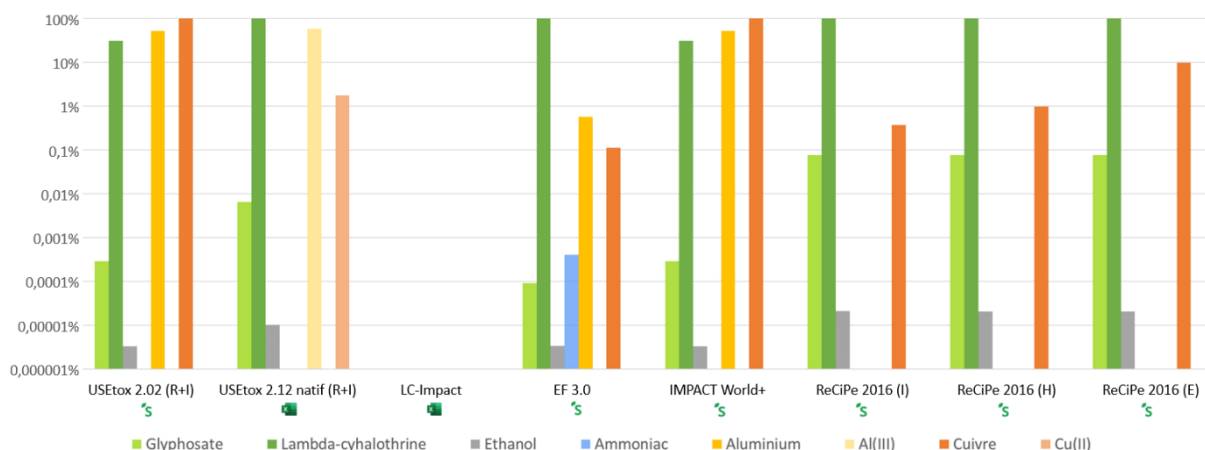
Parmi les substances étudiées, nous retrouvons :

- 3 substances organiques
  - o Glyphosate
  - o Lambda-cyhalothrine (insecticide)
  - o Ethanol
- 1 substance inorganique non-métallique
  - o Ammoniac
- 2 métaux et une de leurs formes ioniques
  - o Aluminium
  - o Al(III)
  - o Cuivre
  - o Cu(II)

L'ensemble des CFs utilisés dans cette étude sont disponibles en annexe 18 pour le niveau midpoint et en annexe 19 pour le niveau endpoint.

##### 4.4.1.1. Pondération relative des substances dans les différentes méthodes au niveau midpoint

La pondération relative des substances varie entre les différentes familles de méthodes mais aussi entre les méthodes appartenant aux mêmes familles et même entre les différentes versions d'une même méthode (Figure 14).



**Figure 14 : Pondération relative des substances pour les impacts sur l'écotoxicité d'eau douce pour 1 kg de substances émises dans l'air (sous compartiment unspecified) en fonction des différentes méthodes ACV.** Le niveau d'impact est midpoint. L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est logarithmique. Pour chaque méthode, il normalise l'impact de la substance la plus importante à 100 % et permet d'illustrer la pondération relative des substances par méthode sur une échelle logarithmique. A noter que la méthode LC-Impact ne propose pas de résultats midpoint. Version SimaPro 9.2.0.2.



**Remarque concernant l'interprétation de la Figure 14.** Il convient d'étudier ce graphique avec prudence. Il illustre la pondération relative des substances sur une échelle logarithmique pour chaque méthode. Ainsi, des substances avec des CFs identiques peuvent être représentées avec un % différent. En effet chaque méthode est normalisée à 100 % pour sa substance la plus impactante. La normalisation est par conséquent différente pour chaque méthode et peut engendrer des décalages de pondération même pour des CFs équivalents dans les méthodes.

Nous constatons une différence importante entre la pondération attribuée aux métaux (aluminium et cuivre) aux travers des différentes méthodes. Alors que USEtox et IMPACT World+ considèrent l'impact des deux métaux comme prédominant pour les écosystèmes (cuivre normalisé à 100 % pour USEtox version SimaPro et IMPACT World+) d'autres méthodes, telles que EF 3.0 et ReCiPe attribuent un impact prédominant à la lambda-cyhalothrine. Il est toutefois important de ne pas généraliser ce constat à toutes les autres substances. En effet, les métaux sélectionnés au travers de ce cas d'études ne sont pas représentatifs de tous les métaux. Il en va de même pour les autres familles chimiques.

Cette différence de pondération se retrouve également aux travers des 3 scénarios proposés par la méthode ReCiPe. Si la substance dominante reste la lambda-cyhalothrine dans les 3 cas de figures, la pondération de l'impact des métaux (du cuivre dans ce cas d'étude) varie considérablement. En effet, dans la version « Egalitarian », le cuivre représente 10 % des impacts par rapport à la lambda-cyhalothrine. Il passe en revanche à 1 % dans la version « Hierarchist » et à moins de 0.5 % dans le scénario « Individualist ».

La caractérisation des métaux varie également sur des aspects plus techniques. Alors que ReCiPe, IMPACT World+ et USEtox 2.02 (version Simapro) proposent un facteur de caractérisation pour l'aluminium et le cuivre, la version 2.12 de USEtox ainsi que LC-Impact caractérisent les ions Al(III) et Cu(II). A noter que la version SimaPro de USEtox 2.02 propose des résultats pour l'aluminium et le cuivre et non pour les ions. C'est une liberté d'implémentation qui a été prise par les développeurs de SimaPro car le fichier Excel natif de USEtox 2.02 caractérise les ions Al(III) et Cu(II) et non l'aluminium et le cuivre. Les CFs utilisés pour caractériser l'aluminium et le cuivre dans la méthode USEtox 2.02 disponible dans SimaPro correspondent en effet aux CFs des ions Al(III) et Cu(II).

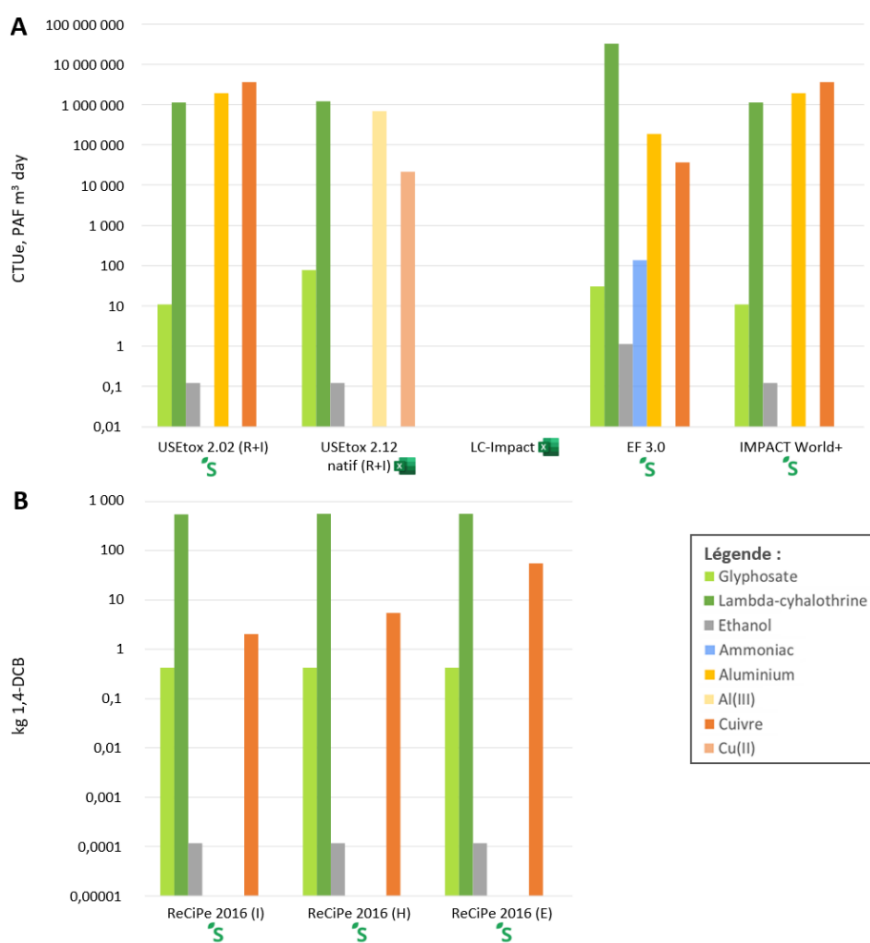
A noter que dans ReCiPe (version SimaPro), certains métaux sont modélisés sous leurs formes ioniques mais également sous leur forme totale (moyenne des CFs des différents ions), c'est le cas du Chrome et de l'Arsenic par exemple.

Ce cas d'étude permet de mettre en avant la différence de caractérisation entre les substances inorganiques métalliques et les substances organiques (et inorganiques non métalliques pour EF 3.0).

Notons, en dehors de la méthode EF 3.0, l'absence de caractérisation de l'ammoniac. Il s'agit d'une substance « non organique- non métallique », et ce type de substance (inorganique) n'est en effet pas caractérisé dans les autres méthodes.

Les pondérations relatives midpoint pour les compartiments eau et sol pour les différentes catégories d'impacts (écotoxicité d'eau douce, marine et terrestre) peuvent être retrouvées en annexe 9.

#### 4.4.1.2. Valeurs absolues : facteurs de variation entre les méthodes au niveau midpoint



**Figure 15 : Facteurs de caractérisations pour 1 kg de différentes substances émises dans l'air (sous-compartiment unspecified) pour la catégorie d'impact midpoint écotoxicité des eaux douces selon différentes méthodes ACV. L'axe des abscisses représente les 7 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est en valeur absolue (CTUe, PAF m3.day (A) ou kg 1,4-DCB(B)). A noter que la méthode LC-Impact ne propose pas de résultats midpoint. Version SimaPro 9.2.0.2.**

Comme déjà souligné dans la partie comparaison des méthodes, certains métaux ne sont pas caractérisés dans ReCiPe (Figure 15 B) contrairement aux autres méthodes (Figure 15 A). C'est le cas de l'aluminium, une substance pourtant très couramment utilisée dans les procédés industriels. L'impact de cette substance est considéré comme important par les autres méthodes (CF de l'aluminium dans USEtox 2.02 : 1 880 000), utiliser la méthode ReCiPe dans le cadre de procédés à forte consommation d'aluminium rendrait ainsi les résultats peu fiables et inutilisables.

Le graphique en valeur absolue permet également de constater des différences importantes concernant l'ordre de grandeur des CFs des substances selon les méthodes. C'est le cas de la lambda-cyhalothrine avec un CF qui varie d'un facteur 29 entre USEtox 2.02 (*CF : 1 120 000*) et EF 3.0 (*CF : 32 639 000*).

Alors que USEtox 2.02 (SimaPro) et IMPACT World+ présentent des résultats très proches, la version native de USEtox 2.12 se rapproche plutôt des valeurs proposées par EF 3.0 pour les métaux (*USEtox 2.12, Al(III) : 69 392 et EF 3.0, aluminium : 188 000*). En effet, il existe un facteur 3 entre USEtox 2.12 et EF 3.0 alors qu'il y a un facteur 10 (*USEtox 2.02, aluminium : 1 880 000 et EF 3.0, aluminium : 188 000*) entre USEtox 2.02 et EF 3.0. Le même constat s'applique pour le cuivre avec une différence encore plus marquée. Il existe un facteur 1,7 entre USEtox 2.12 et EF 3.0 alors qu'il y a un facteur 100 entre USEtox 2.02 et EF 3.0 (*USEtox 2.02, cuivre : 3 640 000 ; USEtox 2.12, Cu(II) : 21 056 ; EF 3.0, cuivre : 36 400*). Le facteur 100 s'explique par le facteur de robustesse appliqué aux métaux par la méthode EF.

A noter que les différences de CFs pour les substances organiques semblent très variables, avec un facteur 29 pour la lambda-cyhalothrine (*USEtox 2.12 : 1 120 000 ; EF 3.0 32 639 000*), un facteur 2,5 pour le glyphosate (*USEtox 2.12 : 78,5 ; EF 3.0 : 30,4*) et un facteur 9 pour l'éthanol (*USEtox 2.12 : 0,123 ; EF 3.0 : 1,126*).

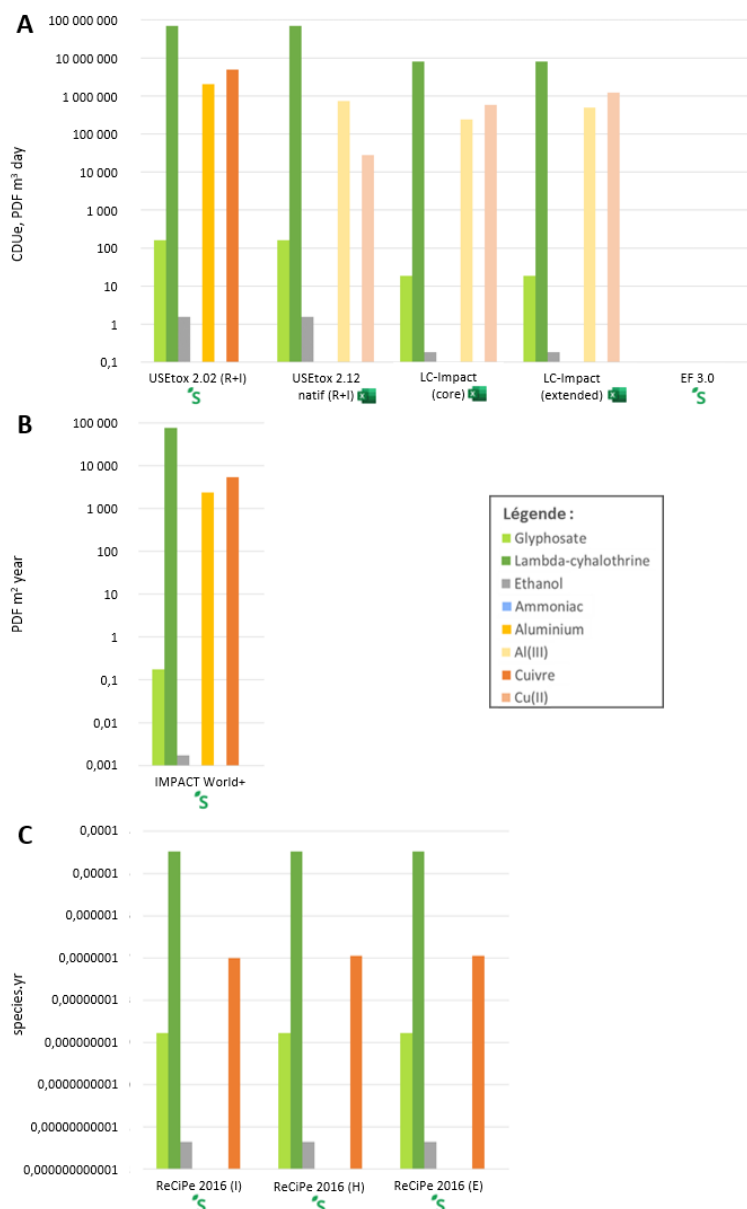
Cette différence entre USEtox 2.02 et USEtox 2.12 est intéressante car cette dernière vient d'être implémentée dans les logiciels, ce qui conduira à des résultats d'impacts des métaux sur la toxicité relativement proche entre EF 3.0 et USEtox 2.12 et assez différents de la version précédente de USEtox (2.02) (Figure 15 A).

Il est intéressant de constater que pour les différents scénarios de ReCiPe, seul l'impact des métaux diffère en fonction de l'horizon temporel. Cette variation est conséquente puisqu'il y a pour le cuivre un facteur 2,1 entre les scénarios « Individualist » et « Hierarchist » et un facteur 10 entre « Hierarchist » et « Egalitarian » (« *Individualist* » : 2,1 ; « *Hierarchist* » : 5,5 ; « *Egalitarian* » : 55,4).

Les CFs de l'éthanol, de la lambda-cyhalothrine et du glyphosate ne varient pas. Cela s'explique par le fait que la plupart des substances organiques ou inorganiques non-métalliques sont dégradées avant 100 ans alors que ce n'est pas le cas pour les métaux qui perdurent dans les écosystèmes.

Les autres résultats midpoint en valeurs absolues pour les compartiments eau et sol pour les différentes catégories d'impacts (écotoxicité d'eau douce, marine et terrestre) peuvent être retrouvés en annexe 10.

### 4.4.1.3. Les constats au niveau endpoint



**Figure 16 : Facteurs de caractérisation pour 1 kg de différentes substances émises dans l'eau (sous-compartiment unspecified) pour la catégorie d'impact intermédiaire endpoint écotoxicité des eaux douces selon différentes méthodes ACV. L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est en valeur absolue (CDUE, PDF.m<sup>3</sup>.day (A), PDF.m<sup>2</sup>.year (B) ou kg 1,4-DCB(C)). A noter que la méthode EF 3.0 ne propose pas de résultats endpoint. Version SimaPro 9.2.0.2.**

Petite spécificité par rapport aux graphiques présentés dans les points précédents, nous avons choisi ici d'illustrer les émissions des substances dans l'eau afin de mieux représenter les variations de CFs entre les versions « core » et « extended » de LC-Impact. En effet, celles-ci sont plus marquées dans l'eau que dans les autres compartiments. En raison des échelles des graphiques très élevées, cette différence était très peu prononcée. A noter encore que nous présentons dans le texte ci-dessous uniquement les variations entre LC-Impact et les autres méthodes car les constats décrits dans les points précédents pour les impacts midpoint entre les autres méthodes se retrouvent également dans les impacts endpoint<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> A noter la différence d'unité pour IMPACT World+.

La première différence notable sur la Figure 16 est ainsi la variation de CFs entre les deux scénarios de LC-Impact (« core » et « extended ») concernant les substances métalliques. Comme pour les autres méthodes, seul l'impact des métaux (en raison de leur ½ vie plus longue) augmente dans le cadre d'un scénario avec un horizon temporel infini (version « extended »). Le cuivre et l'aluminium voient ainsi leurs CFs augmenter d'un facteur 2 entre la version « core » et la version « extended ». (*Cu (II)*): « Core »: 581 983 ; « Extended »: 1 223 052 ; *Al (III)*: « Core »: 240 066 ; « Extended »: 501 091).

Une autre différence notable en endpoint est la différenciation d'unité de la méthode IMPACT World+ par rapport aux méthodes de la famille USEtox. Alors que les impacts midpoint présentaient la même unité, les unités endpoint diffèrent, rendant ainsi la comparaison directe avec les autres méthodes impossible. Par contre, nous pouvons constater que les résultats IMPACT World+ et USEtox 2.0 (R+I) présentent la même répartition d'impact entre les substances analysés. A noter toutefois que même si les unités comparées entre deux méthodes sont similaires, le classement des substances pourra toujours être discuté.



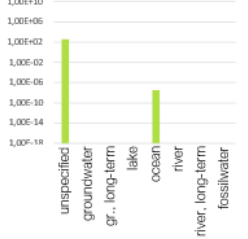
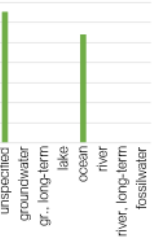
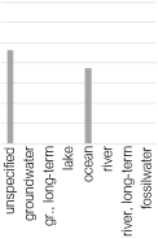
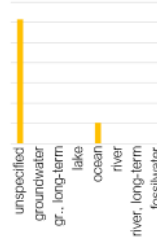
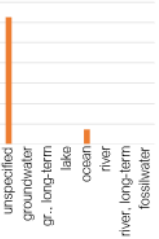

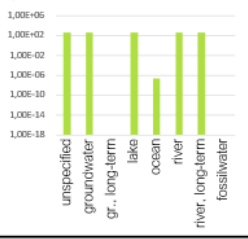
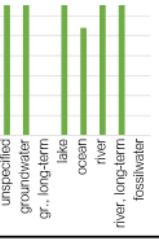
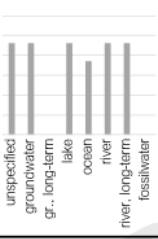
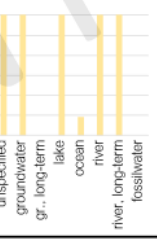
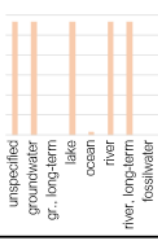


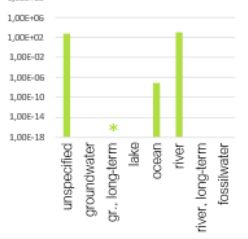
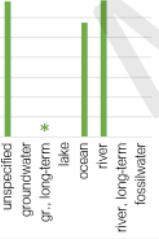
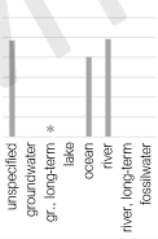
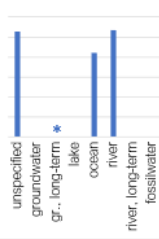
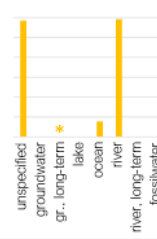
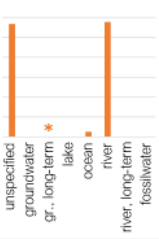

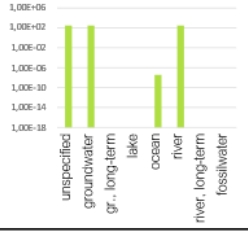
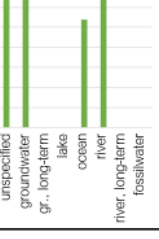
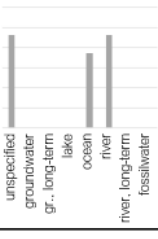
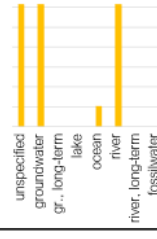
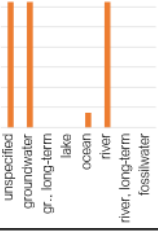
Les variations entre LC-Impact « extended » et USEtox (les deux méthodes étant basées sur le même horizon temporel : l'infini) sont notables. On constate ainsi pour l'aluminium un facteur 4 entre USEtox 2.02 et LC-Impact « extended » (*USEtox 2.02* : 2 045 000 ; *LC-Impact « Extended »* : 501 091) et un facteur 1,5 entre USEtox 2.12 et LC-Impact « extended » (*USEtox 2.12* : 739 091 ; *LC-Impact « Extended »* : 501 091). Les différences sont plus marquées avec le cuivre puisqu'il existe un facteur 4 entre USEtox 2.02 et LC-Impact « extended » (*USEtox 2.02* : 4 960 000 ; *LC-Impact « Extended »* : 1 223 052) et un facteur 43 entre USEtox 2.12 et LC-Impact « extended » (*USEtox 2.12* : 28 156 ; *LC-Impact « Extended »* : 1 223 052). Il faut donc s'attendre à des impacts différents entre LC-Impact et USEtox, que ce soit avec la version actuelle (2.02) ou la version 2.12.

Les pondérations relatives sont disponibles en annexe 11 pour les compartiments air, eau et sol. Les autres résultats endpoint en valeurs absolues pour les compartiments air et sol pour les différentes catégories d'impacts (eau douce, marine et terrestre) peuvent être retrouvés en annexe 12.

#### 4.4.1.4. Les variations de CFs par sous-compartiments et par méthodes

La Figure 17 présente les différents facteurs de caractérisation midpoint pour la toxicité d'eau douce par sous-compartiments pour une émission dans l'eau, en fonction des méthodes et des substances. Les comparaisons pour les sous compartiments air et sol sont présentées en annexe 13.

ECOTOXICITE : INDICATEURS, METHODOLOGIE, DEVELOPPEMENTS RECENTS ET A VENIR

	Glyphosate	Lambda-cyhalothrine	Ethanol	Ammoniac	Aluminium	Al(III)	Cuivre	Cu(II)
<b>USEtox 2 (R+)</b>  								
<b>USEtox 2.12 natif (R+)</b> 								
<b>LC-Impact</b> 	Facteurs de caractérisation non disponibles							
<b>EF 3.0</b> 								
<b>IMPACT World+</b> 								

ECOTOXICITE : INDICATEURS, METHODOLOGIE, DEVELOPPEMENTS RECENTS ET A VENIR

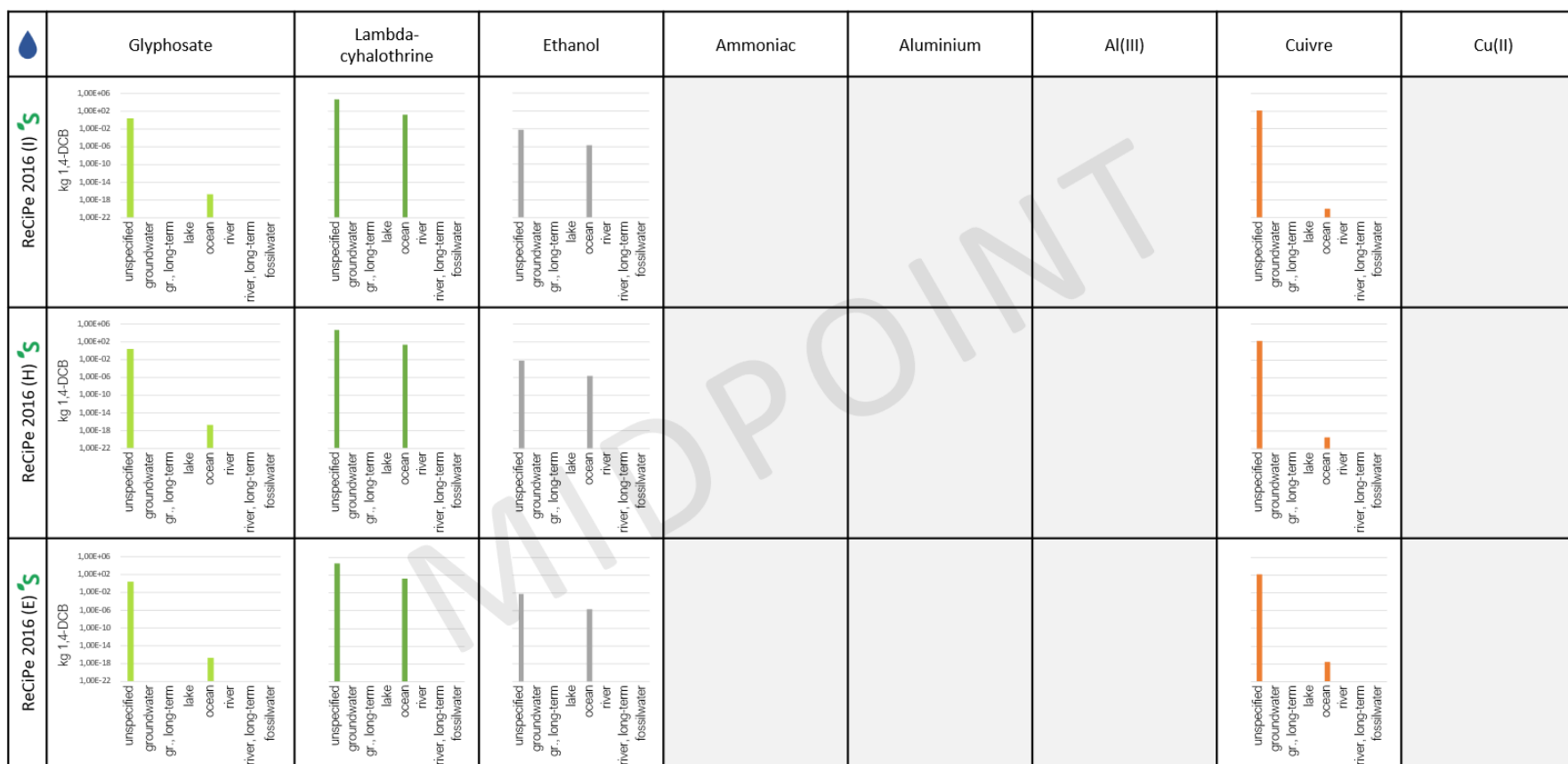


Figure 17 : Présentation des CFs par sous-compartiments (compartiment eau) par méthode et pour les différentes substances afin de caractériser les impacts midpoint sur l'écotoxicité d'eau douce. Les pastilles rose présentes pour la méthode USEtox indiquent les substances I « provisoires » et donc caractérisées uniquement dans la méthode USEtox 2.02 (R+I). Les logos SimaPro et Excel permettent également de déterminer si les CFs ont été obtenus à partir de la version disponible dans SimaPro (version 9.2.0.2) ou à partir du fichier natif (logo Excel). L'ordre des sous-compartiments liés aux émissions dans l'eau et utilisé pour chaque graphique est le suivant : unspecified, groundwater, groundwater long-term, lake, ocean, river, river long-term, fossil water. (\*) désigne une substance dont le CF est caractérisé avec une valeur nulle.

Il est intéressant de constater les différences de résultats entre USEtox 2.02 (version SimaPro) et USEtox 2.12 (version native Excel)<sup>10</sup>. En effet, si la méthode native propose des CFs pour de nombreux sous-compartiments (c'est le cas du CF « freshwater » qui regroupe les lacs, les rivières ainsi que les eaux souterraines), la version SimaPro ne propose pas une traçabilité de ces mêmes CFs. Comme nous pouvons le constater dans la version 2.02 de USEtox dans SimaPro, seuls les CFs pour l'océan et pour la valeur « unspecified » sont renseignés. Par conséquent, toutes substances émises dans les autres sous-compartiments seront caractérisées avec la valeur unspecified, même si celle-ci n'est pas caractérisée par la méthode native, c'est l'exemple du sous-compartiment « groundwater, long-term »).

Bien que basées sur USEtox, EF 3.0 et IMPACT World+ ne caractérisent pas les mêmes sous-compartiments. Dans un premier temps, EF 3.0 caractérise les impacts sur les eaux-souterraines (long-terme) comme étant nuls alors que la méthode USEtox native considère le compartiment (« groundwater, long-term ») comme non pris en considération et que SimaPro utilise la valeur « unspecified ». Des résultats et des interprétations totalement différentes peuvent ainsi découler d'une modélisation selon les méthodes et les sous-compartiments dans lesquels les substances sont émises.

Au niveau des sous-compartiments d'émissions dans l'eau, il y a une différence très importante lors de la caractérisation des métaux dans les eaux douces ou dans l'océan. Avec USEtox 2.12, pour Cu(II), il y a un facteur  $1.05^{E22}$  entre l'eau douce et les océans ce qui est considérable (« freshwater » : 56 312; « ocean » :  $5,35E-18$ ). Dans le cadre des substances organiques, la différence de caractérisation entre les sous-compartiments 'eau douce' et océans est moins marquée mais reste cependant significative. Ainsi, dans USEtox 2.12, pour l'éthanol, il y a un facteur 4000 entre l'eau douce et les océans (« freshwater » : 3,12 ; « ocean » : 0,000777162). Cette différence de caractérisation entre les eaux douces et l'océan s'explique probablement en raison du facteur de dilution. En effet, l'océan possédant un volume plus important, une même quantité d'une substance émise dans une rivière ou dans l'océan n'entraînera pas la même concentration dans le milieu. Il paraît ainsi assez cohérent d'avoir un impact plus important en cas de concentration plus forte dans le milieu.

**Variation des CFs par sous-compartiment pour les impacts endpoint** : Concernant les émissions par sous-compartiment pour les catégories d'impacts endpoint, les constats sont similaires (annexe 14). A noter que LC-Impact étant majoritairement basée sur USEtox, les modélisations par sous-compartiments sont identiques. Par conséquent, les conclusions tirées de la version native USEtox 2.12 s'appliquent au cas de LC-Impact.

#### 4.4.1.5. Mapping par sous-compartiments, le cas de l'aluminium et du glyphosate dans USEtox

S'il existe des différences d'impacts entre sous-compartiments, il est également intéressant de constater que l'émission d'une substance dans l'eau, dans l'air ou dans le sol n'a pas les mêmes conséquences.

La Figure 18 et la Figure 19 permettent d'illustrer cette différence pour le glyphosate et l'aluminium avec la méthode USEtox (2.02 et 2.12).

<sup>10</sup> Nous illustrons ainsi pour quelques substances la partie « Mapping des sous-compartiments dans les logiciels : exemple de USEtox dans SimaPro ».

## ECOTOXICITE : INDICATEURS, METHODOLOGIE, DEVELOPPEMENTS RECENTS ET A VENIR

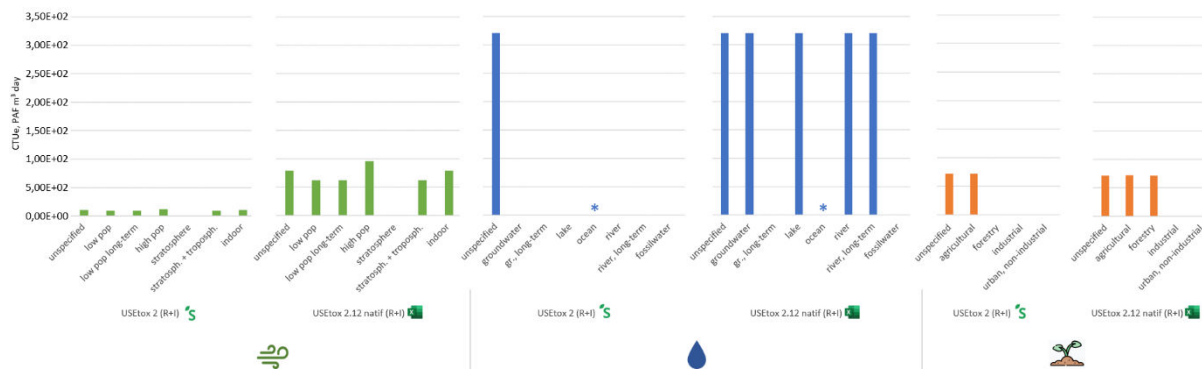


Figure 18 : Présentation des CFs du glyphosate par sous-compartiments pour les versions 2.02 et 2.12 de USEtox. \* symbolise un CF caractérisé mais trop petit pour être visible sur le graphique (ordre de grandeur 10E-15).

La Figure 18 illustre les variations des CFs utilisés pour le glyphosate par les versions 2.02 et 2.12 de USEtox au sein des différents sous-compartiments. Nous constatons une augmentation moyenne d'un facteur 7 entre les deux versions pour les émissions dans l'air. Pas de changements significatifs pour les émissions dans l'eau et dans le sol qui restent les mêmes. Nous retrouvons dans ce graphique les différences de mapping entre les sous-compartiments natifs et les sous-compartiments SimaPro. En effet, alors que le logiciel ne permet pas toujours de tracer les CFs puisqu'il ne caractérise pas tous les sous-compartiments (utilisation par défaut de la valeur unspecified) lorsque les CFs ne sont pas renseignés. Nous pouvons voir que dans le cadre du glyphosate, les émissions dans les eaux souterraines, les lacs et les rivières ne sont pas caractérisées en tant que tel dans SimaPro.

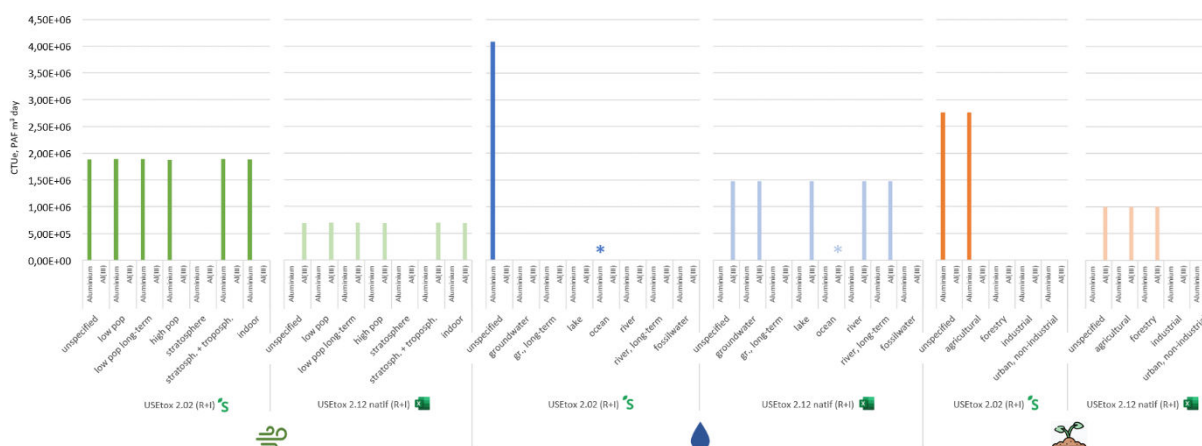


Figure 19 : Présentation des CFs de l'aluminium et de l'ion Al(III) par sous-compartiments pour les versions 2.02 et 2.12 de USEtox. \* symbolise un CF caractérisé mais trop petit pour être visible sur le graphique (ordre de grandeur 10E-15).

La Figure 19 illustre les CFs de l'Aluminium et de l'ion Al (III) dans les versions 2.02 et 2.12 de la méthode USEtox selon les différents sous-compartiments. Nous retrouvons tout d'abord cette distinction entre la forme totale (modélisée dans la version Simapro) et la forme ionique disponible dans la version native.

Comme nous l'avons vu dans les cas graphiques précédents, la plus grande variation au sein d'un même compartiment intervient pour les émissions dans l'eau avec une distinction importante entre les émissions dans l'eau douce et celles dans l'océan. Dans le cadre des sous-compartiments d'émissions de l'air, il est possible de constater de légères variations entre les sous-compartiment (facteur 1,01 au maximum entre les compartiments « low pop. » (CF : 1 890 000) et « high pop. » (CF : 1 870 000)). Il n'existe en revanche pas de variation au niveau des sous-compartiments du sol puisque tous possèdent les mêmes CFs. A noter que la version 2.12 propose un CF pour le sous-compartiment « forestry » ce qui n'est pas le cas pour la version 2.02.

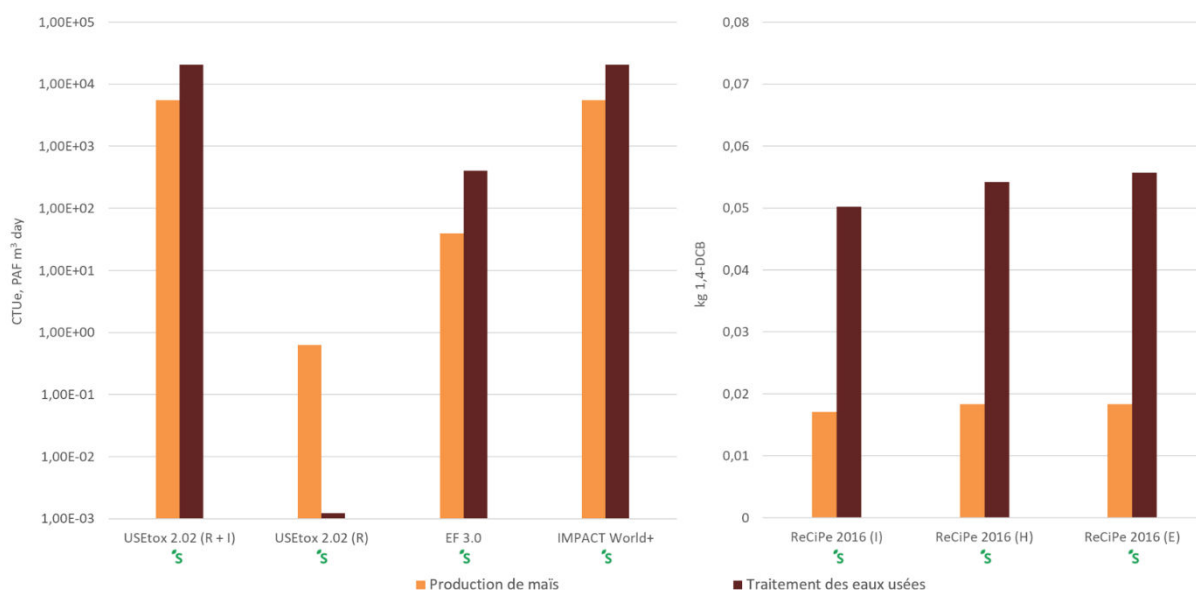
#### 4.4.2. Cas d'études processus

Le second cas d'étude a pour but de comparer l'impact de deux jeux de données présents dansecoinvent grâce à 4 méthodes (USEtox (R) et (R+I), EF 3.0, IMPACT World+ et ReCiPe 2016 (E, H et I). LC-Impact n'est pas présenté dans ce cas d'étude car elle n'était pas disponible dans les logiciels lors de la réalisation des cas d'étude.

Les deux jeux de données retenus sont les suivants :

- Production de maïs : « *Maize grain {RoW}| production | Cut-off, U* »
- Traitement des eaux usées : « *Wastewater, average {Europe without Switzerland}| treatment of wastewater, average, capacity 1E9l/year | Cut-off, U* »

##### 4.4.2.1. Impacts en valeurs absolues



**Figure 20 : Analyse des impacts de la production de maïs et du traitement des eaux usées au niveau midpoint et pour l'écotoxicité d'eau douce.**

L'analyse des impacts de la production de maïs et du traitement des eaux usées permettent de mettre en évidence des différences importantes entre les méthodes pour les impacts sur la toxicité d'eau douce (Figure 20). Alors que le traitement des eaux usées est plus impactant dans USEtox 2.02 (R+I), EF 3.0, IMPACT World+ et ReCiPe (E, H et I), les résultats inverses sont observés dans USEtox 2.02 (R). Cette différence s'explique très facilement pour la version R (recommandé) de USEtox car celle-ci ne caractérise pas les métaux, substances très présentes dans les procédés de traitement des eaux usées.

Les différences d'impacts sont importantes entre USEtox 2.02 et EF 3.0. En effet, il existe un facteur 142 entre USEtox 2.02 (R+I) et EF 3.0 pour les impacts relatifs à la production de maïs (*USEtox 2.02 (R+I) : 5 577,25 CTUe et EF 3.0 : 39,34 CTUe*). La différence est moins marquée dans le cadre du traitement des eaux usées avec un facteur 50 entre les deux méthodes (*USEtox 2.02 (R+I) : 20 408,75 CTUe et EF 3.0 : 401,98 CTUe*).

Les différents scénarios ReCiPe ne permettent pas d'observer une grande différence concernant le traitement des eaux usées, puisqu'il existe au maximum un facteur 1,1 entre les scénarios (*ReCiPe 2016 (E) : 0,05568 kg 1-4 DCB et (I) : 0,05025 kg 1-4 DCB*). La différence est encore plus faible dans le cadre de la production de maïs avec un facteur 1,07 observé (*ReCiPe 2016 (E) : 0,01837 kg 1-4 DCB et (I) : 0,01756 kg 1-4 DCB*).

Les résultats midpoint des cas d'études processus pour l'écotoxicité marine et terrestre sont disponibles en annexe 15. Les résultats endpoint pour les trois catégories d'impacts sont présentés en annexe 16.

4.4.2.2. Contribution par substances

Le Tableau 17 permet de déterminer les substances les plus impactantes lors de la production de maïs et du traitement des eaux usées selon les différentes méthodes ACV.

Tableau 17 : Contribution des 3 substances les plus importantes par méthodes et pour la production de maïs et le traitement des eaux usées au niveau midpoint et pour l'écotoxicité d'eau douce.

Jeux de données	Eco-toxicité d'eau douce																				
	Résultats midpoint : contribution des substances par kg de maïs produit ou m <sup>3</sup> d'eaux usées émises																				
	USEtox 2.02 (R + I)			USEtox 2.02 (R)			EF 3.0			IMPACT World+			ReCiPe 2016 (I)			ReCiPe 2016 (H)			ReCiPe 2016 (E)		
Substances	% *	CTUe, PAF m <sup>3</sup> day	Substances	% *	CTUe, PAF m <sup>3</sup> day	Substances	% *	CTUe, PAF m <sup>3</sup> day	Substances	% *	CTUe, PAF m <sup>3</sup> day	Substances	% *	kg 1,4-DCB	Substances	% *	kg 1,4-DCB	Substances	% *	kg 1,4-DCB	
Maize grain (RoW) production   Cut-off, U	Aluminium	84	4,6E+03	Atrazine	51	3,2E-01	Soufre	30	1,2E+01	Aluminium	84	4,6E+03	Cuivre	49	8,4E-03	Cuivre	51	9,4E-03	Cuivre	51	9,4E-03
	Cuivre	10	5,8E+02	Acetochlor	9	5,8E-02	Acetochlor	21	8,3E+00	Cuivre	10	5,8E+02	Zinc	23	4,0E-03	Zinc	22	4,0E-03	Zinc	22	4,0E-03
	Fer	5	2,6E+02	Metolachlor	8	5,3E-02	Aluminium	13	5,2E+00	Fer	4,6	2,6E+02	Chlorpyrifos	9	1,6E-03	Chlorpyrifos	9	1,6E-03	Chlorpyrifos	9	1,6E-03
Wastewater, average (Europe without Switzerland) treatment of wastewater, average, capacity 1E9/year   Cut-off, U	Aluminium	55	1,1E+04	Pyrene	34	4,2E-04	Aluminium	73	2,9E+02	Aluminium	55	1,1E+04	Cuivre	52	2,6E-02	Cuivre	54	2,9E-02	Cuivre	52	2,9E-02
	Aluminium	14	2,9E+03	Cumene	17	2,1E-04	Ammonium ion	7	2,8E+01	Aluminium	14	2,9E+03	Zinc	37	1,8E-02	Zinc	34	1,8E-02	Zinc	33	1,8E-02
	Fer	12	2,5E+03	Phenol, pentachloro	13	1,5E-04	Soufre	6	2,3E+01	Fer	12	2,5E+03	Nickel	4	1,9E-03	Nickel	4	2,1E-03	Nickel	4	2,1E-03

Compartiments d'émission : Air Eau Sol \* Le % représente le pourcentage d'impact de la substance considérée

Les résultats sont obtenus pour 1 kg de maïs produit et 1 m<sup>3</sup> d'eaux usées émises. En fonction de leur compartiment d'émission, les noms des substances ont été coloriés ; vert pour l'air, bleu pour l'eau et rouge pour le sol.

Tableau 18 : Contribution des substances pour la production de maïs et le traitement des eaux usées au niveau midpoint et pour l'écotoxicité d'eau douce.

Substance	Production de maïs : Eco-toxicité d'eau douce													
	Résultats midpoint : contribution des substances par kg de maïs produit													
	USEtox 2.02 (R + I)		USEtox 2.02 (R)		EF 3.0		IMPACT World+		ReCiPe 2016 (I)		ReCiPe 2016 (H)		ReCiPe 2016 (E)	
% *	CTUe, PAF m <sup>3</sup> day	% *	CTUe, PAF m <sup>3</sup> day	% *	CTUe, PAF m <sup>3</sup> day	% *	CTUe, PAF m <sup>3</sup> day	% *	kg 1,4-DCB	% *	kg 1,4-DCB	% *	kg 1,4-DCB	
Aluminium	84,00	4,6E+03	-	-	0,64	2,5E-01	83,45	4,6E+03	-	-	-	-	-	
Cuivre	10,00	5,8E+02	-	-	0,03	1,3E-02	10,38	5,8E+02	49,00	8,4E-03	51,00	9,4E-03	51,00	9,4E-03
Fer	5,00	2,6E+02	-	-	0,00	7,3E-04	4,60	2,6E+02	-	-	-	-	-	
Aluminium	0,94	5,2E+01	-	-	13,00	5,2E+00	0,94	5,2E+01	-	-	-	-	-	
Zinc	0,044	2,4E+00	-	-	0,001	5,8E-04	0,045	2,5E+00	23,00	4,0E-03	22,00	4,0E-03	22,00	4,0E-03
Atrazine	0,006	3,2E-01	51,00	0,3195808	3,51	1,4E+00	<0,001	4,9E-17	8,08	1,4E-03	7,53	1,4E-03	7,51	1,4E-03
Acetochlor	0,001	5,8E-02	9,00	0,057956	21,00	8,3E+00	0,001	5,8E-02	-	-	-	-	-	
Metolachlor	0,001	5,3E-02	8,00	0,0530964	0,45	1,8E-01	0,001	5,3E-02	2,40	4,1E-04	2,23	4,1E-04	2,22	4,1E-04
Chlorpyrifos	0,001	3,4E-02	5,43	0,0341251	2,89	1,1E+00	0,001	3,4E-02	9,00	1,6E-03	9,00	1,6E-03	9,00	1,6E-03
Soufre	-	-	-	-	30,00	1,2E+01	-	-	-	-	-	-	-	

Substance	Traitement des eaux usées : Eco-toxicité d'eau douce													
	Résultats midpoint : contribution des substances par m <sup>3</sup> d'eaux usées émises													
	USEtox 2.02 (R + I)		USEtox 2.02 (R)		EF 3.0		IMPACT World+		ReCiPe 2016 (I)		ReCiPe 2016 (H)		ReCiPe 2016 (E)	
% *	CTUe, PAF m <sup>3</sup> day	% *	CTUe, PAF m <sup>3</sup> day	% *	CTUe, PAF m <sup>3</sup> day	% *	CTUe, PAF m <sup>3</sup> day	% *	kg 1,4-DCB	% *	kg 1,4-DCB	% *	kg 1,4-DCB	
Aluminium	55,00	1,1E+04	-	-	6,50	2,6E+01	54,77	1,1E+04	-	-	-	-	-	
Aluminium	14,00	2,9E+03	-	-	73,00	2,9E+02	14,31	2,9E+03	-	-	-	-	-	
Fer	12,00	2,5E+03	-	-	0,12	4,9E-01	12,35	2,5E+03	-	-	-	-	-	
Cuivre	8,77	1,8E+03	-	-	0,24	9,7E-01	8,77	1,8E+03	52,00	2,6E-02	54,00	2,9E-02	52,00	2,9E-02
Nickel	0,067	1,4E+01	-	-	0,031	1,2E-01	0,07	1,4E+01	4,00	1,9E-03	4,00	2,1E-03	4,00	2,1E-03
Zinc	0,057	1,2E+01	-	-	0,011	4,6E-02	0,06	1,2E+01	37,00	1,8E-02	34,00	1,8E-02	33,00	1,8E-02
Pyrene	<0,001	4,2E-04	34,00	0,0004202	<0,001	6,7E-04	<0,0001	4,2E-04	0,001	5,9E-07	0,001	5,9E-07	0,001	5,9E-07
Cumene	<0,001	2,1E-04	17,00	0,0002117	<0,001	6,5E-04	<0,0001	2,1E-04	<0,001	1,8E-07	<0,001	1,8E-07	<0,001	1,8E-07
Phenol, pentachloro-	<0,001	1,5E-04	13,00	0,0001545	<0,001	5,1E-04	<0,0001	1,6E-04	0,001	2,9E-07	0,001	2,9E-07	0,001	2,9E-07
Ammonium ion	-	-	-	-	7,00	2,8E+01	-	-	-	-	-	-	-	
Soufre	-	-	-	-	6,00	2,3E+01	-	-	-	-	-	-	-	

Compartiments d'émission : Air Eau Sol \* Le % représente le pourcentage d'impact de la substance considérée

Les résultats sont obtenus pour 1 kg de maïs produit et 1 m<sup>3</sup> d'eaux usées émises. En fonction de leur compartiment d'émission, les noms des substances ont été coloriés ; vert pour l'air, bleu pour l'eau et rouge pour le sol.

Les observations faites dans le cas d'étude des substances se retrouvent dans cet exemple. Ainsi, les métaux qui présentent des facteurs de caractérisations globalement plus élevés que les substances organiques et inorganiques non-métalliques se retrouvent comme étant parmi les deux substances les plus impactantes dans cinq méthodes sur sept. A noter que dans le cas de USEtox (R), il est normal de ne pas retrouver les métaux dans le classement. En effet, la version R (recommandé) ne comprend que les substances dites R (recommandé) et les métaux sont classés I (provisoire), raison pour laquelle ils n'apparaissent que dans la version (R+I) (Tableau 18). EF 3.0 est la seule méthode qui permet de voir apparaître d'autres familles chimiques. C'est le cas avec le soufre qui domine la production de maïs avec une contribution de 30 % au total. Attention toutefois, la caractérisation du soufre a récemment été

revue par les experts du JRC, et sa valeur est maintenant de 0, des nouvelles études ayant mise en évidence l'absence d'impact avéré. Les méthodes USEtox et IMPACT World+ étant très proche, les résultats obtenus le sont également. Comme discuté dans la comparaison des méthodes, ReCiPe caractérise moins de métaux que les autres méthodes. C'est le cas de l'aluminium qui n'est pas caractérisé dans ReCiPe et qui par conséquent n'apparaît pas du tout dans les résultats alors que son impact est conséquent dans les autres méthodes puisqu'il représente jusqu'au 84 % des contributions totales dans USEtox 2.12 (R+I) pour la production de maïs.

Comme nous l'avons vu lors de l'analyse des facteurs de caractérisation du glyphosate et de l'aluminium, les émissions dans l'eau sont considérées comme plus impactantes. Il n'est ainsi pas surprenant de voir le compartiment eau apparaître dans le haut du classement. Ce constat est toutefois à prendre avec un peu de recul car toutes les substances du jeu de données ne sont pas forcément émises dans les trois compartiments. Si toutes les substances caractérisées sont émises dans l'eau, il est logique de voir ce compartiment dominer les impacts.

A noter que la caractérisation des substances en fonction de leur compartiment d'émission semble différer entre EF 3.0 et les autres méthodes. Ceci se retrouve dans les impacts liés aux émissions d'aluminium. Alors que USEtox considère son émission dans l'eau comme responsable de 84 % des impacts, EF 3.0 considère les émissions dans l'air comme plus importantes même si elles ne représentent que 13 % des contributions totales.

Aucune différence notable n'est constatée entre les différentes versions de ReCiPe dans le cadre de la production de maïs et du traitement des eaux usées. En effet, malgré des scénarios différents, la contribution des substances au total des impacts reste similaire.

Alors que les méthodes USEtox, IMPACT World+ et ReCiPe sont dominées par les métaux, ce n'est pas le cas dans EF 3.0 qui a attribué des facteurs de robustesse notamment aux métaux réduisant leurs CFs. Ainsi l'acétochlore, substance utilisée dans la composition de produits phytosanitaires apparaît dans la contribution des substances dominantes. La contribution des différentes substances varie grandement selon les méthodes. La substance la plus dominante représente dans la méthode EF 3.0 30 % des contributions totales alors que dans USEtox ou IMPACT World+ elle représente 84 % des contributions pour la production de maïs.

Les contributions par substance pour les catégories d'impacts écotoxicité marine et terrestre au niveau midpoint sont présentées en annexe 17. Les résultats endpoint sont disponibles en annexe 18.

## 5. LIMITES ET ROBUSTESSE DES METHODES

### Perspective temporelle

La perspective temporelle retenue pour l'impact des différentes substances est infinie pour la majorité des méthodes : USEtox 2, IMPACT World+, LC-Impact (extended), EF 3.0, ReCiPe 2016 (E). Cependant, certaines méthodes retiennent une perspective temporelle à 100 ans : LC-Impact (core) et ReCiPe 2016 (H)<sup>11</sup>.

Des débats sont en cours au sein de la communauté (PEF notamment) pour harmoniser la perspective temporelle de la catégorie écotoxicité avec d'autres catégories d'impacts, notamment le changement climatique (100 ans). L'option de retenir une perspective temporelle à 100 ans a pour effet principal de réduire les facteurs de caractérisation des métaux, dont l'effet est stable et très long dans le temps ; en revanche, les substances organiques sont marginalement affectées, du fait de leur dégradation rapide avant 100 ans pour la majorité d'entre elles (Figure 21).

Cette perspective temporelle est notamment discutée dans la communauté scientifique des ACVistes de produits agricoles (à usages alimentaires, cosmétiques ou énergétiques), où un usage mixte de métaux et substances organiques est observé.

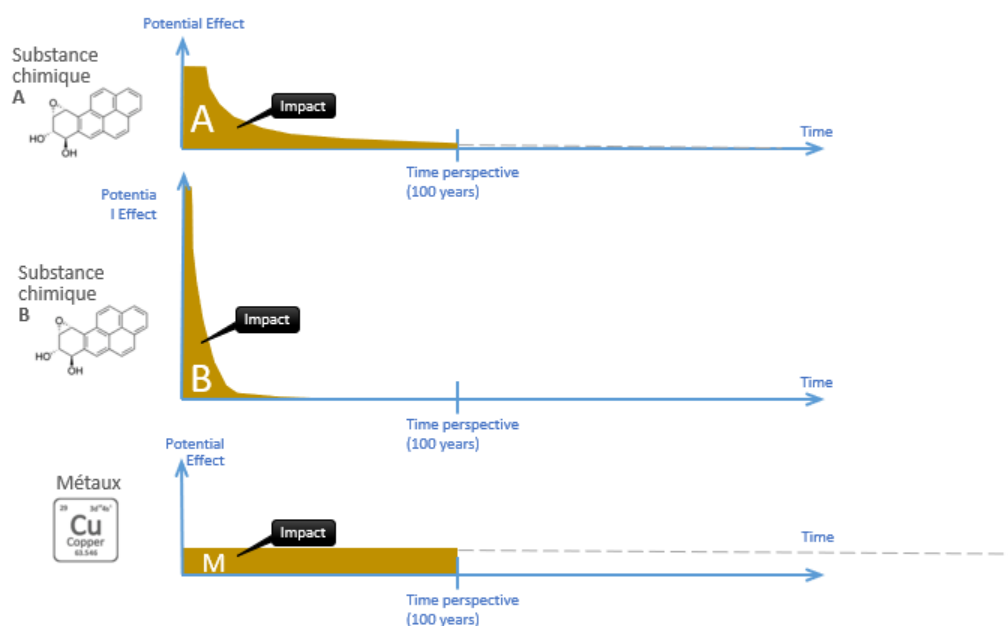


Figure 21 : Perspective temporelle à 100 ans pour différents types de substances. Avec l'aimable autorisation de Philippe Roux.

### Extrapolation de données de toxicité aiguës en données de toxicité chronique :

En dehors de EF 3.0, les facteurs d'effet retenus sont basés **sur les concentrations efficaces médiantes chroniques (EC 50 chronic)**. Pour une substance et une espèce donnée, l'EC50 d'une courbe dose-effet représente la concentration d'un composé où 50 % de la population de l'espèce présente une réponse, après une durée d'exposition spécifiée ; si la durée d'exposition est courte par rapport à la durée de reproduction de l'espèce, l'EC50 est dite « aiguë » ; si la durée d'exposition est

<sup>11</sup> Notons que ReCiPe 2016 (I) retient même une perspective plus court terme à 20 ans.

longue, l'EC50 est dite « chronique ». Dans les bases de données éco toxicologiques, les tests EC50 disponibles sont en général des facteurs d'effet « aigus » et non « chroniques ». Les méthodes (en dehors de EF 3.0) s'appuient sur les données de USEtox qui prennent l'hypothèse d'un facteur de conversion constant entre EC50 aigue et EC50 chronique, dénommé 'ACR' (Acute-to-Chronic Ratio), le plus souvent égal à deux, sauf pour les métaux. Cette approche est débattue par les écotoxicologues : le coefficient est en effet très variable suivant la substance ; il peut varier entre 0,1 jusqu'à plus de 100 000 (Saouter et al., 2017).

Les écotoxicologues soulignent l'intérêt de prendre des valeurs chroniques déjà existantes comme les **EC10, NOEC et LOEC, qui sont utilisés en évaluation des risques pour rapporter les résultats des tests de toxicité chronique.**

La méthode EF 3.0, publiée en 2018, a formulé des améliorations par rapport à un certain nombre de critiques formulées sur **les données** de USEtox, qui sont utilisées dans l'ensemble des autres méthodes (IMPACT World+, LC-Impact, ReCiPe 2016 et sa méthode toxicité sous-jacente USES-LCA).

La construction de EF 3.0 a cherché à articuler les données entre l'approche « risk assessment » et ACV.

Les valeurs chroniques EC10, NOEC et LOEC, ont été prise en compte pour le calcul des facteurs d'effet.

### **Robustesse de la valeur HC50**

En évaluation des risques, pour les expositions environnementales à long terme, l'accent est mis sur les espèces les plus sensibles **d'au moins trois niveaux trophiques représentatifs des fonctions écosystémiques essentielles à protéger**. Ces niveaux trophiques se réfèrent aux producteurs (organismes photosynthétiques comme les algues et les plantes), les consommateurs primaires (les herbivores comme les espèces *Daphnia*) et les consommateurs secondaires (les prédateurs comme les espèces de poissons carnivores). Si l'un de ces niveaux trophiques disparaît du réseau trophique écologique, l'écosystème pourrait s'effondrer. Habituellement, la valeur d'écotoxicité la plus faible de ces niveaux trophiques est utilisée par produit chimique pour représenter son écotoxicité et protéger l'ensemble de l'écosystème.

En évaluation des risques, une distribution cumulative de la sensibilité des espèces (SSD) peut être utilisée pour dériver le critère d'effet spécifique. Cette approche consiste à évaluer les risques sur l'ensembles des espèces. Elle est **utilisée lorsque des valeurs d'écotoxicité sont disponibles pour plus de 10 espèces exposées**. C'est souvent une valeur de HC5 qui est retenue : la HC5 médiane est la concentration qui est inférieure à d'autres valeurs d'écotoxicité (par exemple EC50) pour 95 % des espèces testées.

**Dans les méthodes ACV, la valeur HC (HC50 ou HC20) est prise en compte avec des critères moins exigeants sur le nombre d'espèces, et parfois (pour des niveaux de recommandation intérimaires ou plus faibles) sur le nombre de niveau trophiques** (voir Saouter et al., 2017).

Dans les cas où les données indiquent que non seulement les espèces testées mais l'ensemble d'un niveau trophique est touché avec des concentrations très faibles, alors que les autres niveaux trophiques sont impactés avec des concentrations beaucoup plus fortes, il y aurait lieu de s'interroger sur le fait de choisir une HC sur l'ensemble des espèces, plutôt que de retenir les concentrations impactant le niveau trophique le plus vulnérable : en effet, si un niveau trophique est fortement affecté, c'est la structure et le fonctionnement complets de l'écosystème qui est impacté, et qui devrait être reflété dans le facteur d'effet.

Le rapport entre la valeur HC50 retenue en ACV et la valeur retenue en évaluation des risque est ainsi très variable, entre 0.1 et 50 000 suivant Saouter et al. (2017)<sup>12</sup>.

<sup>12</sup> voir table 4 de la publication.

### **Sources de données**

Certaines des bases de données d'écotoxicité sous-jacentes aux SSD sont dynamiques : c'est le cas de la base REACH-IUCLID, où des données peuvent être ajoutées ou supprimées à tout moment. Ainsi, à l'heure actuelle, il n'est pas possible d'assurer la reproductibilité du calcul des facteurs d'effets.

UNEP-SETAC (Life Cycle Initiative, 2019) a relevé ce point comme une faiblesse majeure de traçabilité. GLAM recommande fortement que les données brutes sous-jacentes au calcul des facteurs d'effet puissent être sauvegardées et disponibles, indépendamment de l'évolution de la base de données sous-jacente (ex. REACH IUCLID).

### **Absence de prise en compte des effets de seuil et de la concentration du milieu**

L'ICV rapporte les émissions en masse liées à l'unité fonctionnelle (c'est-à-dire la fonction sur laquelle les systèmes de produits sont finalement comparés) et n'apporte aucune information, pour un processus donnée, sur la durée pendant laquelle l'émission a lieu vers les milieux récepteurs ni sur la capacité de « dilution » du milieu (par exemple, petite ou grande rivière, mer ou sol) ; le calcul d'une exposition exprimée en concentration n'est donc pas possible ; en cas d'effet de seuil, elle serait pourtant nécessaire pour s'ajouter à la concentration du milieu avant émission afin d'évaluer si le seuil est dépassé ou non (Saouter et al., 2017).

### **Hypothèse de linéarité du facteur d'effet**

L'utilisation d'une courbe concentration-réponse linéaire correspond à l'hypothèse d'additivité de la toxicité. Cela signifie que même si des seuils existent pour des produits chimiques individuels et qu'ils ne sont dépassés pour aucun produit chimique dans une situation d'exposition concrète, la présence d'une multitude de produits chimiques en même temps dans le même compartiment peut conduire à un effet, on parle généralement d'effet cocktail.

L'hypothèse de linéarité est inhérente au fait que toute quantité d'un produit chimique émis contribuera à un impact potentiel d'écotoxicité. Cette hypothèse de linéarité surestime cependant la toxicité dans la partie inférieure de la courbe 'S' et sous-estime la toxicité dans la partie supérieure (Saouter et al., 2017).

## 6. RECOMMANDATIONS POUR LES PRATICIENS

---

Comme nous venons de le voir, les méthodes et outils de calcul de l'impact écotoxicité peuvent conduire à des évaluations différentes. Le groupement insiste sur la nécessité pour le praticien de sélectionner la méthode la mieux adaptée en fonction des « objectifs et le champ de l'étude », le « Goal and Scope », première étape clé dans la réalisation d'une ACV.

Le groupement ne recommande cependant pas d'exclure l'impact écotoxicité des ACV, malgré les limites reconnues des méthodes disponibles (voir §5.2 : forte incertitude sur les facteurs d'effet, nombreuses substances non caractérisées). Exclure l'écotoxicité de l'ACV la rendrait incomplète.

Comme le mentionnent Fantke et al. (2018) et Rosenbaum et al. (2018), **le fait d'ignorer une catégorie d'impact est source d'incertitudes plus importantes** que de la prendre en compte. Cette posture d'omission a de plus, le plus souvent, l'effet de rendre l'incertitude « **inconsciente** » plutôt que de la rendre explicite.

Concernant les impacts « écotoxicité », il convient de rester extrêmement prudent dans l'interprétation des résultats. Le présent chapitre a vocation à guider le praticien dans le choix de la méthode d'évaluation de l'écotoxicité la plus adaptée au contexte de son étude (périmètre, nombre et type de substances considérées, etc...). Ces recommandations sont basées sur les conclusions de l'étude, ainsi que des entretiens avec des experts. Des arbres de décisions sont proposés, permettant une lecture visuelle des recommandations.

### 6.1. Arbres de décision

Les arbres de décision ci-dessous permettront au praticien de choisir la démarche et la méthode la plus adaptée à son besoin. Ils sont à lire en parallèle de la partie recommandations (§6.2). Pour plus de lisibilité, ils sont séparés en 2 arbres distincts, selon les besoins du praticien. Le premier arbre concerne une étude portant spécifiquement sur l'écotoxicité ; le second concerne la prise en compte de l'écotoxicité au sein d'une étude multi-indicateurs. A noter que la version 3.0 de USEtox n'est pas proposée, car elle n'est pas encore disponible à la date de cette étude.

# ECOTOXICITE : INDICATEURS, METHODOLOGIE, DEVELOPPEMENTS RECENTS ET A VENIR

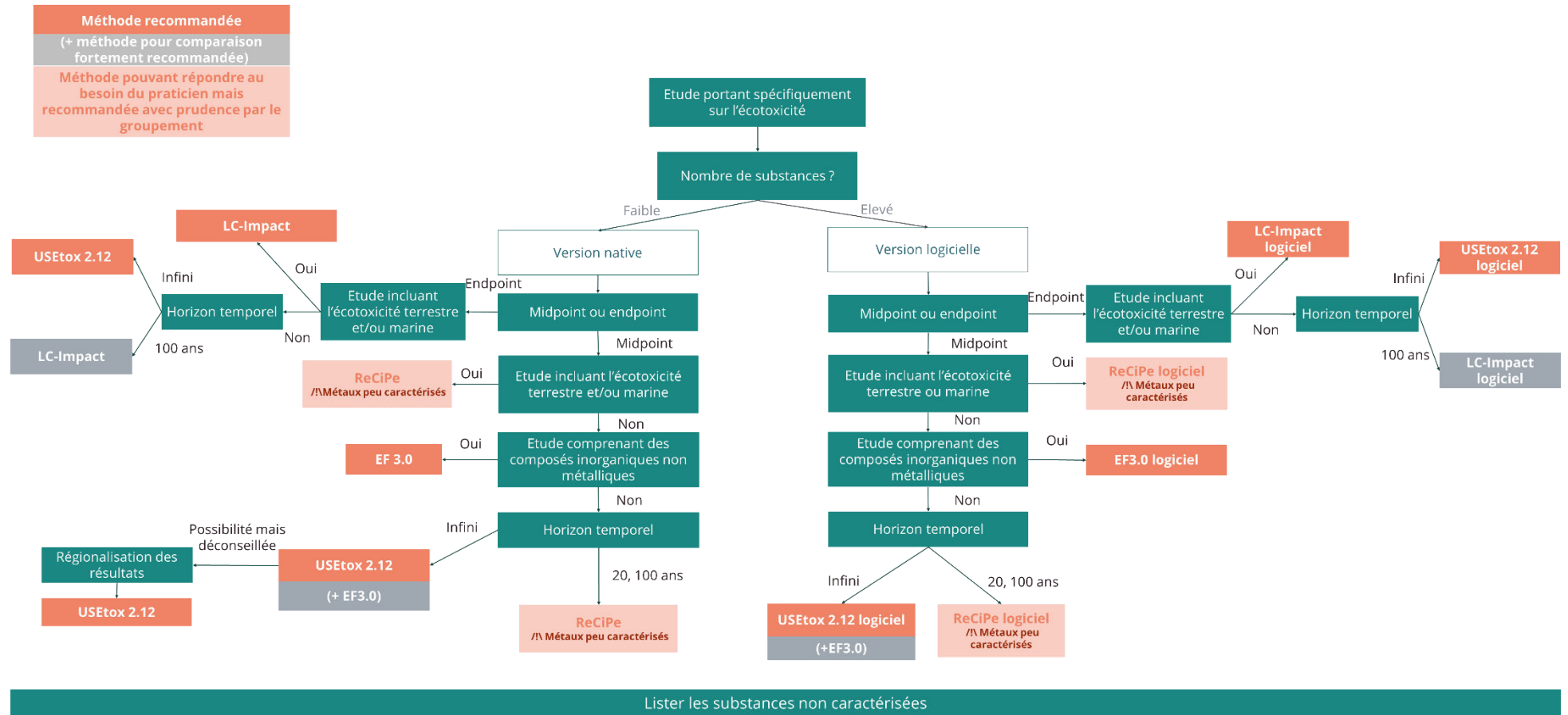


Figure 22 : Arbre de décision pour une étude portant spécifiquement sur l'écotoxicité.

**Méthode recommandée**  
 Méthode pouvant répondre au besoin du praticien mais recommandée avec prudence par le groupement

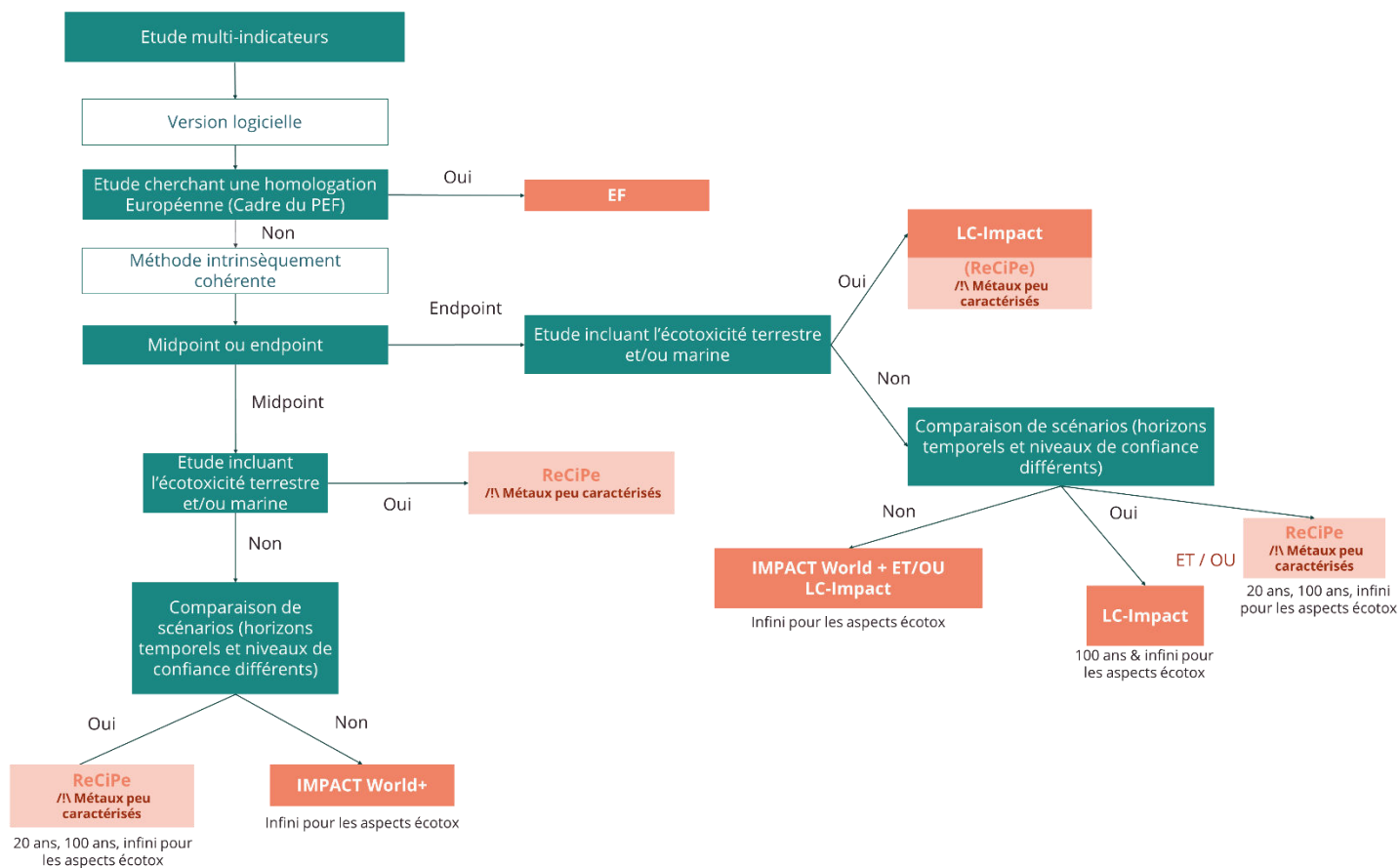


Figure 23 : Arbre de décision pour une étude multi-indicateurs incluant l'impact écotoxicité.

## 6.2. Recommandations

Les présentes recommandations se basent sur les conclusions du rapport intermédiaire, enrichies des enseignements tirés des entretiens d'experts (4 au total, dont les comptes-rendus sont présentés en annexe 21). Le groupement tient à souligner que ces recommandations sont contextuelles dans le temps ; elles sont valables à la date de ce rapport, mais compte tenu des évolutions annoncées des méthodes (USEtox 3.0, mise à jour de EF3...), elles sont amenées à évoluer.

Ces recommandations sont illustrées par les arbres de décisions présentés en §6.1.

### 6.2.1. Sélection de la méthode d'évaluation de l'écotoxicité

#### - Recommandations générales

Le groupement rappelle que l'ACV doit être conduite dans le respect des normes ISO 14040 et 14044.

Il est nécessaire d'être particulièrement vigilant sur les jeux de données existants et de vérifier si les données sont suffisamment complètes, précises, actualisées, et d'une qualité suffisante pour les substances et les compartiments considérés.

De manière générale, le groupement conseille d'apporter une vigilance particulière sur la liste des substances non caractérisées par les différentes méthodes, en vérifiant que ces substances non caractérisées ne sont pas présentes et/ou ne présentent pas un enjeu fort pour le système étudié.

Les experts conseillent autant que possible l'utilisation de 2 méthodes différentes afin de comparer les résultats : si possible entre une méthode de la famille USEtox, et une de la famille USES LCA (ReCiPe) en gardant à l'esprit que cette dernière ne caractérise pas certains métaux très présents dans les jeux de données d'arrière-plan et très utilisés (aluminium...).

#### - Niveau d'enjeu pour l'impact écotoxicité

Les recommandations dépendent du temps et des moyens dont le praticien dispose, mais aussi du niveau d'enjeu que représente l'écotoxicité.

Dans le cas d'une étude liée à un produit ou domaine à l'enjeu écotoxicité déjà bien identifié (ex. cosmétique, agriculture, agroalimentaire...), il est vivement recommandé d'utiliser au moins deux méthodes différentes. Il est également conseillé d'utiliser la version native de la méthode afin d'affiner les résultats (actualisation des versions décalée dans les logiciels ACV). L'utilisation de la méthode native est toutefois conditionnée au nombre de substances de l'étude. Ce point sera détaillé dans la suite des recommandations.

Dans le cas d'une étude avec un enjeu écotoxicité moins identifié par des études antérieures (ex. énergie, bâtiment...), il est possible de se concentrer sur une seule méthode.

#### - Etude multi-impacts

Dans le cas d'une étude multi-impacts, pour laquelle l'écotoxicité est l'un des impacts considérés, le groupement recommande l'utilisation d'une méthode globale (couvrant l'ensemble des voies d'impact), intrinsèquement cohérente, au sein d'un logiciel. Les méthodes intrinsèquement cohérentes abordent de façon systémique les différentes voies d'impact sur les catégories endpoint, et permettent ainsi de comparer les résultats liés à l'écotoxicité avec les résultats d'autres voies d'impact, comme le changement climatique ou l'eutrophisation.

Les méthodes répondant à ces critères sont **LC-Impact**, **IMPACT World+** et **ReCiPe**. Ces méthodes sont harmonisées et conçues pour rendre comparables les différentes catégories d'impacts. La méthode EF, bien que présentée comme globale, n'est pas recommandée en multi-impacts. En effet,

EF compile des éléments de différentes méthodes d'impact, sans harmonisation<sup>13</sup>.

Si certaines catégories d'impacts dominent les scores d'impact, il est conseillé de les étudier plus précisément<sup>14</sup>, l'écotoxicité ne faisant pas exception.

- **Etude portant spécifiquement sur l'écotoxicité**

Dans le cas d'une étude portant spécifiquement sur l'écotoxicité, il est conseillé d'utiliser une méthode présentant les développements les plus récents. **USEtox 2.12** et **EF 3.0** sont les méthodes les plus documentées. Elles proposent un niveau de détail avancé sur des aspects tels que les données utilisées et les taxas retenus pour calculer les facteurs de caractérisation de chaque substance. Pour réaliser une analyse approfondie de l'impact écotoxicité d'un produit ou d'un service (écoconception par exemple), il est recommandé de choisir parmi ces deux méthodes. Dans certaines exceptions détaillées ci-après, d'autres méthodes pourront être conseillées.

**USEtox 2.12** est une méthode issue d'un consensus scientifique international, « single issue », avec l'avantage de présenter une base de données sous-jacente aux facteurs de devenir plus fiable, car celles-ci ne sont pas modélisées comme cela peut être le cas avec EF 3.0<sup>15</sup>.

**EF 3.0** est la méthode développée par la Commission Européenne. EF3.0 a l'avantage de caractériser un nombre plus important de substances dans sa version native, y compris des substances inorganiques non métalliques (non caractérisées par USEtox), avec des données toxicologiques plus actualisés notamment pour les EC10. EF 3.0 diminue artificiellement le poids accordé aux métaux en imposant des « facteurs de robustesse » arbitraires, qui ne font pas consensus<sup>16</sup>. Une autre limite d'EF, est l'utilisation de la base de données REACH comme source des CFs, car celle-ci n'a pas été conçue pour comparer des substances à l'origine, et contient de nombreuses données extrapolées ainsi que des données fournies par les industriels. Bien que seules les données « considérées comme les plus robustes<sup>17</sup> » aient été conservées pour EF, il reste un flou sur l'utilisation de proxys pour caractériser certaines substances<sup>18</sup> (« *cross-referencing* »).

Dans le cas d'une étude spécifique sur l'écotoxicité, le groupement conseille d'utiliser **USEtox 2.12**, en comparant ses résultats avec ceux d'**EF 3.0**. Le choix de la deuxième méthode est toutefois débattable. En effet, Ralph Rosenbaum lors de son entretien suggérait plutôt d'utiliser ReCiPe comme méthode comparative car elle est une des rares méthodes non basées sur USEtox. Toutefois, en raison de l'absence de caractérisation de certains métaux importants (aluminium) nous recommandons plutôt une comparaison avec la méthode EF 3.0.

---

<sup>13</sup> Entretien avec Ralph Rosenbaum, réalisé le 01/04/2022

<sup>14</sup> Entretien avec Peter Fantke, réalisé le 25/03/2022

<sup>15</sup> Dans EF3.0, un certain nombre de propriétés physico-chimiques nécessaires au calcul des facteurs de devenir sont calculées, en l'absence de données observées dans REACH. Dans ce cas, elles sont le plus souvent modélisées avec des modèles QSAR, de l'OCDE (OECD QSAR toolbox) ou de EPIsuite™.

<sup>16</sup> Entretien avec Peter Fantke, Entretien avec Ralph Rosenbaum.

<sup>17</sup> Entretien avec Erwan Saouter, réalisé le 21/02/2022

<sup>18</sup> Entretien avec Peter Fantke, entretien avec Ralph Rosenbaum

- **Nombre de substances présentes dans l'étude**

Dans le cas où l'étude porte sur un nombre élevé de substances, le groupement et les experts recommandent<sup>19</sup> d'utiliser les versions contenues dans les logiciels en première approche, en raison de la complexité d'utilisation des versions natives (analyse substance par substance). Si une mise à jour importante et structurante pour les résultats finaux (ex USEtox 2.12 et ses changements sur la caractérisation des métaux) n'est pas disponible dans les logiciels mais que le praticien souhaite la prendre en considération, il existe une solution intermédiaire. Celle-ci consiste à analyser les résultats une première fois avec la version logicielle et à identifier les substances les plus impactantes ainsi que les substances les plus utilisées dans le système étudié puis à corriger les CFs de ces substances par les nouvelles valeurs disponibles dans la version native. Ceci permet ainsi de prendre en considération les mises à jour pertinentes de CFs de façon optimale en termes de temps passé. Il est toutefois important de bien documenter les changements effectués.

Dans le cas d'une étude portant sur un nombre de substances plus réduit, il est conseillé d'utiliser les versions natives, dont les derniers développements ne sont souvent pas inclus dans les logiciels<sup>20</sup>.

**Dans tous les cas, il est indispensable de lister l'ensemble des substances non caractérisées par la méthode et de s'interroger sur la pertinence de les caractériser.**

- **Recommandations pour l'utilisation de versions logicielles**

Les logiciels ne proposent pas nécessairement la dernière version des méthodes, les mises à jour arrivant souvent très tardivement après la sortie d'une nouvelle version. Par exemple, EF3.0 a été modifié en 2019 avec l'ajout de nombreuses substances, mais ces modifications ne sont pas disponibles dans SimaPro et OpenLCA (avril 2022). De plus, dans certains cas, les logiciels comportent des simplifications. Par exemple, la version SimaPro de USEtox 2.02 utilise les CFs des ions Al(III) et Cu(II) pour caractériser l'aluminium et le cuivre.

Dans le cas de l'utilisation d'un logiciel, il est recommandé de vérifier si la version la plus récente de la méthode utilisée y est disponible. Dans le cas contraire, le groupement conseille d'affiner les résultats présentés par la version logicielle, en utilisant les versions natives pour les substances les plus utilisées dans le process, et/ou qui ressortent le plus dans l'analyse logicielle. Dans le cas où les scores d'impact diffèrent pour ces substances, il est conseillé de rentrer manuellement les CFs provenant de la version native dans la version logicielle.

A l'inverse, les logiciels intègrent parfois un niveau de détail qui n'existe pas dans les méthodes natives et qui peut par conséquent engendrer des surinterprétations. C'est le cas de la prise en compte de certains sous-compartiments. Par exemple, le sous-compartiment « freshwater » est séparé en 3 sous-compartiments dans SimaPro (rivière, lac, eaux souterraines) alors que les CFs sont les mêmes dans la méthode USEtox native.

Pour l'utilisateur doutant de la distinction des CFs entre les compartiments, nous suggérons de vérifier si les valeurs des CFs sont identiques entre les compartiments, et ce pour les substances d'intérêt.

---

<sup>19</sup> Entretien avec Peter Fantke, réalisé le 25/03/2022

<sup>20</sup> Le temps entre la mise à jour de la version native et la mise à jour correspondante dans les logiciels peut prendre quelques mois.

- **Etude visant une homologation européenne (PEF)**

Dans le cadre d'une étude cherchant à correspondre aux critères Européens (étude réalisée dans le cadre du Product Environmental Footprint), il est indispensable<sup>21</sup> d'utiliser EF3.0, qui est la méthode développée par l'Union Européenne, afin d'obtenir l'homologation.

- **Etude midpoint ou endpoint**

Les méthodes ne proposent pas toutes la caractérisation des impacts en midpoint et endpoint. Si USEtox, IMPACT World+ et ReCiPe proposent les deux, EF ne permet qu'une caractérisation midpoint, et LC-Impact ne permet qu'une caractérisation endpoint.

Le choix de la méthode doit donc également prendre en compte le niveau de caractérisation voulu dans l'étude.

- **Etude incluant l'écotoxicité terrestre ou marine**

Seuls LC-Impact et ReCiPe caractérisent l'écotoxicité terrestre et marine. Il est recommandé d'utiliser **LC-Impact** qui propose des développements plus récents que ReCiPe (qui par ailleurs, ne caractérise pas certains métaux). Il convient toutefois de rester très prudent sur ces indicateurs car ceux-ci présentent des niveaux d'incertitude plus élevés que ceux de l'écotoxicité de l'eau douce. Par ailleurs, contrairement à l'eau douce, il n'existe pas à ce jour de consensus international sur la méthode d'évaluation des écotoxicités marine et terrestre en ACV.

- **Nombre et types de substances caractérisées par les méthodes**

Le nombre de substances caractérisées dans les différentes méthodes est très variable. EF 3.0 est la méthode caractérisant le plus de substances (environ 6000, disponibles uniquement dans la version native), ReCiPe est celle en caractérisant le moins.

Il est recommandé de sélectionner la méthode qui caractérise le plus de substances modélisées dans le jeu d'intérêt. Par conséquent, la méthode ReCiPe est déconseillée en première approche, car elle ne caractérise pas certains métaux (Aluminium, Fer, Césium, Strontium, Manganèse) pourtant, pour certains, très présents dans les procédés d'arrière-plan.

Dans le cas d'une étude portant spécifiquement sur l'écotoxicité, et comprenant des composés inorganiques non métalliques, le groupement conseille l'utilisation d'**EF3.0**, qui est la seule méthode caractérisant ces substances.

- **Cas de substances non caractérisées**

Les experts interviewés ont attiré notre attention sur les **incertitudes fortes générées par les imperfections ou carences au niveau des inventaires** (voir section 3.1.5.2).

Dans le cas où i) des substances ne sont pas caractérisées par la méthode choisie, ii) l'inventaire recense des groupes de substances (types COV, CSOV, COD...) ou des archétypes (« unspecified »), le groupement conseille d'identifier ces substances. Le groupement déconseille l'utilisation de groupes de substances et d'archétypes de substances (proposés dans EF 3.0 notamment et dont l'usage n'y est pas recommandé non plus).

Le groupement recommande vivement de lister les substances non caractérisées dans les méthodes utilisées, afin de déterminer si elles pourraient avoir un impact significatif sur le résultat. Si oui, l'un des experts conseille aux équipes de calculer elles-mêmes les facteurs de caractérisation manquants (en particulier pour des substances dominantes en termes d'émission dans l'environnement) ou de les faire

---

<sup>21</sup> Entretiens avec Erwan Saouter, Peter Fantke, Ralph Rosenbaum.

calculer<sup>22</sup> (ce qui est faisable si la donnée figure dans la littérature, ou si la substance est propre à l'entreprise), et de rentrer manuellement les CFs dans les logiciels/méthodes<sup>23</sup>.

- **Régionalisation des résultats**

La régionalisation des résultats présente surtout un intérêt pour la recherche, mais n'est pas encore adaptée pour un usage opérationnel<sup>24</sup>. Le groupement ne conseille pas de l'utiliser en première approche (notamment si la chaîne de valeur du produit est localisée sur plusieurs continents). En effet, la régionalisation concerne uniquement le facteur de devenir, alors que la variabilité et l'incertitude des CF repose plus largement sur le facteur d'effet.

Toutefois, dans le cas où la régionalisation des résultats serait requise, et pour une entreprise connaissant précisément la localisation des éléments de sa chaîne de valeur, la régionalisation est envisageable, à condition d'utiliser la version native, pour une étude écotox dédiée, avec un faible nombre de substances.

Dans ce cas, **la méthode USEtox native est la seule possible**. En effet, elle régionalise tous les flux, et propose également au praticien de calculer des CFs pour sa propre région. Il faut néanmoins garder à l'esprit que ce travail doit être effectué dans Excel et peut s'avérer très fastidieux dans le cas d'un nombre important de substances.

- **Scénario / horizon temporel**

Les horizons temporels considérés pour évaluer l'impact différent selon les méthodes. Certaines considèrent les impacts à un temps infini : USEtox, EF, IMPACT World+. D'autres permettent de comparer différents horizons : LC-Impact (qui propose un horizon à 100 ans et un horizon infini), et ReCiPe (20 ans, 100 ans et infini). Pour ces deux méthodes (LC-Impact, ReCiPe), les horizons temporels font parties de scénarios plus larges incluant également des niveaux de confiance différents dans la réalisation des impacts.

Le scénario, et plus spécifiquement l'horizon temporel choisi, aura une influence sur la hiérarchisation de l'impact des différentes substances. En effet, à un horizon infini, les métaux ont souvent un impact plus important que les composés organiques : ils persistent dans l'environnement alors que ces derniers se dégradent. Cependant, à un horizon de 20, ou 100 ans, certains composés organiques auront un impact bien supérieur. Considérer uniquement un horizon temporel infini (comme le fait USEtox 2.12 et EF3.0), entraîne nécessairement une pondération accrue des métaux dans les résultats d'impact.

Le choix de l'horizon temporel (et plus largement du scénario), amène à se questionner sur le moindre mal entre une pollution relativement faible, mais persistante, ou une pollution potentiellement plus élevée, mais sur un temps plus court.

Cependant, ces considérations sont secondaires par rapport au choix d'une méthode caractérisant le mieux les substances de l'étude. Ainsi, dans une étude comprenant de l'aluminium ou du manganèse, choisir ReCiPe au lieu de USEtox (au motif que ReCiPe permet une comparaison des horizons temporels) serait une erreur car ReCiPe ne caractérise pas ces métaux.

Le choix de l'horizon temporel se pose essentiellement lorsque la méthode LC-Impact est recommandée. En effet celle-ci permet de calculés des impacts à 100 ans ou à l'infini. Le praticien devra

---

<sup>22</sup> Entretien avec Ralph Rosenbaum, réalisé le 01/04/2022

<sup>23</sup> Dans le cadre du projet OLCA-Pest (lien : <https://www.sustainability.man.dtu.dk/english/research/qa/research/research-projects/olca-pest>), un article sortira prochainement, explicitant notamment la méthodologie de création des CFs, et probablement des éléments facilitant le choix de proxys lorsque les informations sont peu ou pas disponibles.

<sup>24</sup> Entretien avec Erwan Saouter, réalisé le 21/02/2022

donc déterminer précisément le « goal and scope » de son étude et les objectifs pour choisir la version proposant l'horizon temporel le plus adapté (Beloin-Saint-Pierre et al., 2020).

### 6.2.2. Interprétation des résultats

L'intégration de l'écotoxicité à l'ACV se heurte à de nombreuses limites. Le praticien se doit d'être particulièrement vigilant sur certains points lors de l'interprétation des résultats.

#### - Niveau d'incertitude et robustesse à considérer dans l'interprétation des résultats

Le niveau d'incertitude et par conséquent de robustesse varie entre les méthodes et au sein des méthodes (USEtox R et R+I). Les résultats obtenus avec la méthode USEtox R+I induisent une incertitude plus importante que USEtox R (qui ne comprend que des CFs pour les substances dites « recommended »). La méthode EF3.0 propose quant à elle des CFs dont le calcul prend en compte un facteur de robustesse (qui est contesté par certains chercheurs<sup>25</sup>), en particulier pour les métaux. D'un point de vue plus général il convient également de mettre en regard les incertitudes liées à l'écotoxicité avec les autres catégories d'impacts. Celles-ci sont en général de 2 à 3 ordres de grandeur, alors qu'elles sont plus faibles pour les autres catégories (Fantke et al., 2018, p. 42,43; Rosenbaum et al., 2018; van Zelm et al., 2009).

#### - Écotoxicité terrestre et marine

Concernant l'écotoxicité marine et terrestre, il n'existe aucun consensus international sur le calcul des CFs. Les indicateurs d'écotoxicité extrapolent souvent les données d'eau douce. Il convient donc d'être prudent lors de l'interprétation de résultats pour ces catégories d'impacts. En outre, il est à noter que lorsque ces voies d'impact ne sont pas évaluées, ne pas les considérer augmente le niveau d'incertitude de façon significative.

#### - Absence de caractérisation de certaines substances

Avant d'interpréter des résultats, il est important de s'assurer que les substances étudiées sont bien caractérisées dans les méthodes. **Il est ainsi indispensable de mentionner une substance non caractérisée et d'en tenir compte lors de l'interprétation.** Il faut également distinguer les substances non caractérisées de celles caractérisées avec un impact nul (CF=0).

#### - Prise en compte des produits de dégradation des substances

Les produits de dégradation des substances peuvent être plus dangereux que la substance-mère. Pour l'instant, ils ne sont pas pris en compte dans les méthodes. Cependant, certains de ces métabolites sont déjà caractérisés, et devraient être pris en considération dans le cadre d'une démarche plus approfondie. Pour cela, il est possible d'utiliser USEtox qui caractérise certains produits de dégradation. En l'absence de consensus scientifique sur le sujet, certaines publications (Fantke, 2019; van Zelm et al., 2010) permettent de faire des choix (horizon temporel à choisir, prise en compte du plus fort CF, etc.)

#### - Analyse par types de substances

Comme le recommande le consensus GLAM, il est important pour réaliser une étude écotoxicité d'étudier les résultats séparément pour chaque type de substances (organiques, inorganiques métalliques, inorganiques non-métalliques).

#### - Prépondérance des métaux en impact écotoxicité et horizon temporel

Comme vu plus haut (§6.2.1), la catégorie des métaux ressort souvent comme la catégorie responsable de l'impact majoritaire lors d'une analyse écotoxicité en ACV<sup>26</sup>, les substances organiques (dont

<sup>25</sup> Entretien avec Peter Fantke et Ralph Rosenbaum

<sup>26</sup> Entretien avec Erwan Saouter, réalisé le 21/02/2022

l'écotoxicité est reconnue pour certaines) étant présentées comme ayant un impact plus faible. Cela est lié en partie à l'horizon temporel choisi (horizon infini le plus souvent) : les substances organiques se dégradent avec le temps, leur présence dans l'environnement et leur impact associé diminue donc avec le temps, tandis que les métaux sont persistants dans les milieux. Néanmoins, les métabolites issus de la dégradation des substances organiques sont rarement évalués alors que leurs impacts sont parfois plus élevés que la substance dite mère (Fantke, 2019; Oturan et al., 2008).

Cet élément est à garder à l'esprit au moment de l'interprétation des résultats.

- **Domaine de validité de l'écotoxicité en ACV**

L'ACV donne un « indicateur de pression environnementale », qui est différent de la réalité toxicologique et éco-toxicologique. Par conséquent, la prise en compte de l'écotoxicité en ACV n'est pas une mesure de l'impact environnemental, mais un outil de comparaison des process et produits étudiés<sup>27</sup>.

La prise en compte de l'écotoxicité en ACV est la plus pertinente dans le cas où l'on compare des produits de type similaire / avec des catégories de substances proches, afin de choisir l'option la moins problématique.

---

<sup>27</sup> Entretien avec Erwan Saouter, réalisé le 21/02/2022

## 7. PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT POUR LES METHODES

---

### 7.1. Méthodes et recommandations GLAM

Nous présentons ci-après (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) une synthèse des méthodes étudiées par rapport aux recommandations GLAM (UNEP-SETAC Life Cycle Initiative, 2019). Notons que ce tableau se base sur les éléments trouvés dans la bibliographie et les interviews avec les experts.

Ce tableau montre que parmi les méthodes actuellement disponibles, EF 3.0 est la plus avancée, du fait de la prise en compte de facteurs HC20 calculés à partir des EC10 pour les substances organiques et non-organiques-non-métalliques. Cependant, la version USEtox 3.0, disponible pour l'instant en version bêta uniquement, couvre plus largement encore les recommandations de GLAM : traçabilité des données sous-jacentes, utilisation de modèles d'activité des ions libres pour les facteurs d'effet des métaux, prise en compte de la spéciation de la phase solide (accessibilité) pour le facteur d'exposition des métaux dans le sol et non prise en compte de la bioaccumulation comme un mécanisme d'élimination. Cette nouvelle méthode USEtox 3.0 devrait être disponible en natif courant 2022.

# ECOTOXICITE : INDICATEURS, METHODOLOGIE, DEVELOPPEMENTS RECENTS ET A VENIR

**Tableau 19 : Synthèse des avancées des méthodes par rapport aux recommandations GLAM (UNEP-SETAC Life Cycle Initiative, 2019).**

Critères GLAM	USEtox 2.12	USEtox 3.0beta (basé sur GLAM)	LC-Impact	ReCiPe 2016	EF3.0	Impact World *
<b>SR "strongly recommended"</b>						
Cadre général d'évaluation : s'appuyer sur le cadre actuel de LCIA pour évaluer les dommages écosystémiques causés par les émissions de produits chimiques	Oui (a priori)	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui (a priori)
Dommages basés sur une fraction d'espèces potentiellement disparues (PDF). Toutefois, le lien entre la fraction affectée et la fraction disparue doit être	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Utiliser des données d'origine traçable	Elles ne sont pas toutes traçables	Oui (y compris les données brutes sous-jacentes pour HC20 et EC10)	Elles ne sont pas toutes traçables	En majorité des données de la base électronique du RIVM, traçable **	Elles ne sont pas toutes traçables	Elles ne sont pas toutes traçables
Utiliser des modèles d'activité des ions libres pour calculer les facteurs d'effet pour les métaux	Oui	Oui	Oui	Non	?	Oui (a priori)
Tenir compte de la spéciation en phase solide (accessibilité) dans le calcul du facteur d'exposition pour les métaux dans le sol	Non	Oui "(actuellement, seule la version LC-Impact de USEtox tient compte de l'accessibilité des métaux dans le sol)" *	Oui	?	Non?	Non
Tenir compte de la spéciation des métaux en phase liquide dans le calcul du facteur d'exposition dans l'eau douce, l'eau de mer côtière, le sol et les sédiments d'eau douce	"Partiellement (la spéciation des métaux en phase liquide est envisagée pour 15 métaux dans l'eau douce et l'eau de mer (bien que K <sub>susp,x</sub> et K <sub>DOC,x</sub> ), mais pas pour les sols ou les sédiments d'eau douce (pour lesquels la FRACTION de produit chimique dans la phase eau des sédiments d'eau douce n'est pas encore calculée)" *	Oui	"Partiellement (la spéciation des métaux en phase liquide est envisagée pour 27 métaux dans l'eau douce et l'eau de mer (bien que K <sub>susp,x</sub> et K <sub>DOC,x</sub> ), mais pas pour les sols ou les sédiments d'eau douce (pour lesquels la FRACTION de produit chimique dans la phase eau des sédiments d'eau douce n'est pas encore calculée)" *	?	?	?
Ne pas tenir compte de la bioaccumulation comme mécanisme d'élimination dans tous les compartiments lors du calcul des	Non	Oui	Non	Oui **	Non	Non
Tenir compte des caractéristiques particulières des produits chimiques, des organismes et des compartiments lors du calcul des facteurs d'effet	"non (applique systématiquement l'eau douce - extrapolations terrestres sans tenir compte des caractéristiques spécifiques des produits chimiques, des organismes et des compartiments)" *	"Oui ? (Le chapitre de Pellston suggère que les extrapolations de l'eau douce aux compartiments terrestres ou marins sont autorisées. Toutefois, si nous savons que certains organismes terrestres ou marins sont beaucoup plus ou beaucoup moins sensibles à un produit chimique donné que les organismes d'eau douce, l'extrapolation doit être faite avec soin ou évitée. Par exemple, les coraux, qui n'ont pas de contrepartie dans l'eau douce, peuvent être plus sensibles à certains produits chimiques par rapport aux organismes d'eau douce, et la recommandation était d'en tenir compte lors de l'application des procédures d'extrapolation." *	Non	Oui pour l'écotoxicité de l'eau douce.  Pour l'écotoxicité marine et terrestre, le HC50 pour l'écotoxicité de l'eau douce est utilisé comme substituts **	Non	Comme Usetox 2.12
Élaborer des méthodes pour tenir compte de l'exposition des pollinisateurs et des répercussions connexes en LCIA en raison de l'importance de cette voie	Non	Non	Non	Non	Non	Non

## ECOTOXICITE : INDICATEURS, METHODOLOGIE, DEVELOPPEMENTS RECENTS ET A VENIR

Critères GLAM	USEtox 2.12	USEtox 3.0beta (basé sur GLAM)	LC-Impact	ReCiPe 2016	EF3.0	Impact World •
<b>R Recommandé</b>						
Inclure les effets écotoxicologiques des substances chimiques sur les organismes vivant dans les sédiments d'eau douce, le sol et les eaux de mer	Non	"Pas clair mais probablement le sol" **	Oui, inclut seulement pour le terrestre (sol?) et marin (eaux de mer côtières?)	Non	Non	Oui, y compris le milieu marin et le sol
Calculer le facteur d'effet du HC20 à partir d'un modèle SSD construit à l'aide d'équivalents EC10 chroniques	Non (sera mis à jour dans les années à venir)	Oui	Non	Non	Oui uniquement pour les substances organiques et non organiques non métalliques	Non
Utiliser des unités toxiques comparatives pour l'écotoxicité (CTUe) comme unité de score d'impact	Oui	Oui	Oui, ils peuvent (même unité mais non exprimée directement en CTUe)	Oui dans le modèle sous-jacent « Nous utilisons les espèces*gr/kg et avons des facteurs sous-jacents dans le modèle PAF*m3*gr. CTUe égale PAF*m3*jour. C'est donc essentiellement la même chose. » **	Oui	Oui
* Réponses de P. Fankte à C. Gentil en décembre 2021						
** Réponses de R. Van Zelm à A.-C. Asselin en janvier 2022						

## 7.2. Perspectives d'amélioration pour les développeurs de méthode

Les différentes limites à l'inclusion de l'écotoxicité en ACV ont été pointées dans ce rapport. Outre les recommandations de GLAM, le groupement souligne plusieurs points de vigilance et axes d'amélioration pour les développeurs de méthode, qui permettraient d'augmenter leur pertinence.

- **Comparaison des horizons temporels pour mettre en perspective la prépondérance des métaux dans les scores d'impact**

La prépondérance des métaux par rapport aux substances organiques dans les scores d'impact écotoxicité pose question, et devrait être étudiée.

On l'a vu, l'un des facteurs d'explication est l'horizon temporel pris en compte par les méthodes, fixé généralement à l'infini. Les métaux, étant stables dans le temps, leur impact à l'infini est plus élevé que celui des substances organiques, rapidement dégradées. De nombreuses substances potentiellement très toxiques à court terme, mais dégradables, ne sont ainsi probablement pas prises en compte à leur juste mesure ; leurs métabolites n'étant par ailleurs non évalués.

La prise en compte d'horizons temporels plus courts pour comparer l'impact écotoxicité (100, voire 20 ans), ainsi que la généralisation de modèles dynamiques permettant de comparer différents horizons temporels (USEtox 3.0 devrait l'être) sont des pistes d'amélioration.

- **Retrait de la bioaccumulation comme mécanisme d'élimination**

Il a été souligné la nécessité de retirer la bioaccumulation des mécanismes d'élimination d'une substance. Cela devrait être le cas dans la nouvelle version USEtox 3.0 disponible en 2022-2023.

- **Renforcement des critères pour la construction des courbes SSD**

Les méthodes ACV présentent des exigences bien moindres que les critères utilisés en évaluation des risques pour la construction des courbes SSD (Species Sensivity Distribution).

Pour USEtox, il suffit de 3 espèces et 3 niveaux trophiques pour les substances R, aucune exigence pour les substances I. En évaluation des risques, l'ECHA impose comme critères 10 espèces provenant de 8 groupes taxonomiques différents<sup>28</sup>.

Le facteur d'effet étant déterminé à partir de ces courbes SSD, une plus grande exigence pour les courbes SSD, ou bien à défaut une évaluation de la qualité des données (comme c'est le cas dans USEtox 2.12) représentent des axes d'amélioration importants.

- **Regroupement de bases de données, consolidation des données**

La prise en compte pertinente de l'écotoxicité en ACV se heurte au manque de données. La base de données utilisée dans USEtox (méthode issue du consensus international), possède des données parfois anciennes<sup>29</sup>. La base de données REACH est la base de référence réglementaire européenne, renseignée par les industriels, elle est plus étoffée mais, dans son objet, non destinée à l'ACV, et présentant l'utilisation de proxys (rendant la comparabilité des résultats difficile contrairement à USEtox). Un rapprochement de ces bases de données serait une évolution souhaitable, d'après un des experts<sup>30</sup>. D'autres bases de données sont en cours de développement (comme celle du [Projet Solutions](#), au Pays-Bas), qui proposent des données additionnelles. Ces données pourraient enrichir

<sup>28</sup> ECHA guidance on information requirements and chemical safety assessment, chap. R.10.3.1.3

<sup>29</sup> Entretien avec Ralph Rosenbaum, réalisé le 01/04/2022

<sup>30</sup> Entretien avec Ralph Rosenbaum, réalisé le 01/04/2022

les bases utilisées actuellement, selon un autre expert<sup>31</sup>, ce qui permettrait d'augmenter le nombre de substances caractérisées.

La prise en compte d'autres données d'écotoxicité utilisées en évaluation des risques (EC10, LOEC, NOEC), en plus des EC50, comme c'est le cas dans EF 3.0, permettrait également d'augmenter le nombre de substances caractérisées et d'améliorer le calcul des CF, notamment en se rapprochant des concentrations environnementales et des effets chroniques.

De manière générale, une meilleure coopération scientifique internationale permettrait d'aller vers une harmonisation de la prise en compte de l'écotoxicité en ACV (Fantke et al., 2018).

### - **Calcul des incertitudes pour les études multi-impacts**

Le calcul des incertitudes cumulées associées aux différentes catégories d'impacts serait un développement particulièrement pertinent, même si complexe à mettre en œuvre<sup>32</sup>.

### - **Meilleure implémentation des méthodes dans les logiciels**

Les experts interrogés conseillent de renforcer les liens entre développeurs de méthodes et développeurs de logiciels, afin que ceux-ci disposent des dernières mises-à-jour.

### - **Inclusion de l'écotoxicité terrestre et marine**

L'inclusion des données d'écotoxicité terrestre et marine est un axe d'amélioration majeur. Aujourd'hui, elles sont majoritairement extrapolées à partir des données d'eau douce, car peu de données existent. La prise en compte de l'écotoxicité terrestre et marine devra faire l'objet d'un consensus scientifique, afin d'asseoir sa crédibilité.

### - **Intérêt de faire appel à des méthodes complémentaires**

Les experts suggèrent<sup>33</sup> de favoriser le dialogue entre les équipes chargées de l'ACV et celles chargées de l'évaluation des risques, afin d'enrichir l'interprétation des résultats. L'approche « évaluation des risques » pourrait permettre de confirmer les résultats de l'ACV, ou au contraire d'identifier des substances problématiques qui ne seraient pas apparues dans les résultats ACV (notamment des substances organiques biodégradables).

Dans le cadre de l'écoconception, il pourrait également être utile de compléter l'ACV par d'autres méthodes. D'après plusieurs experts<sup>34, 35</sup>, la « Critical Dilution Volume » (CDV : volume d'eau nécessaire pour diluer la substance afin qu'elle ne soit pas toxique pour l'environnement), utilisée dans le cadre de l'écolabel, serait plus adaptée à l'écoconception. Or, les résultats du CDV et de USEtox sont souvent contradictoires, d'après cet expert. Chaque méthode présente cependant des limites : USEtox pose question quant à la pondération entre métaux et substances organiques, tandis que le CDV ne modélise pas le devenir et les voies d'impact des substances.

Pour certaines entreprises encore peu habituées à la réalisation des tests et l'interprétation des résultats, il pourrait être utile de faire appel à un bureau d'études spécialisé.

---

<sup>31</sup> Entretien avec Erwan Saouter, réalisé le 21/02/2022

<sup>32</sup> Entretien avec Peter Fantke, réalisé le 25/03/2022

<sup>33</sup> Entretien avec Peter Fantke, réalisé le 25/03/2022

<sup>34</sup> Entretien avec Erwan Saouter, réalisé le 21/02/2022

<sup>35</sup> Entretien avec Thomas Rydberg, réalisé le 22/02/2022

- **Futures mises à jour**

Les recommandations seront amenées à changer en fonction des développements futurs. USEtox est la méthode alignée avec le consensus GLAM, avec une mise-à-jour majeure (USEtox 3.0) prévue à l'horizon 2022-2023<sup>36</sup>. Cette mise à jour prévoit notamment une version dynamique de USEtox (permettant de comparer différents horizons temporels), de nouvelles données de toxicités environnementale et humaine (notamment chroniques), et la caractérisation de plus de 10 000 substances. USEtox 3.0 sera à sa sortie la méthode la plus robuste et consensuelle pour la prise en compte de l'écotoxicité, et donc fortement conseillée.

---

<sup>36</sup> Entretien avec Peter Fantke, réalisé le 25/03/2022

## 8. CONCLUSION

---

Cette étude a permis dans un premier temps de dresser un inventaire des méthodes et indicateurs d'écotoxicité existants en ACV, puis d'analyser les fondements de ces indicateurs, comprendre les choix méthodologiques et les méthodes de calcul avant de tester les méthodes sur des études de cas, et enfin d'établir des recommandations pour les praticiens.

Les premières parties de l'étude ont mis en évidence les différences entre les méthodes d'évaluation de l'écotoxicité et la variabilité qu'il pouvait y avoir entre les résultats. Les recommandations ont donc entre autres permis de donner les clés aux praticiens pour choisir la (ou les) méthode(s) la (les) plus adaptée(s) à leurs besoins.

Ainsi, la sélection et l'application de la méthode dépendent à la fois du périmètre et des ambitions du projet (étude single- ou multi-indicateur(s), midpoint ou endpoint, substances caractérisées), mais doivent aussi se faire selon le niveau d'enjeu écotoxicité pressenti :

- Pour un projet centré sur l'écotoxicité ou multi-indicateurs mais à enjeu écotoxicité fort (Secteur des cosmétiques, agriculture, agro-alimentaire...), il est recommandé d'approfondir le travail en utilisant la version native de la méthode choisie, en comparant les résultats à l'aide d'une deuxième méthode recommandée, et/ou en cherchant à trouver dans la littérature ou développer (en interne ou à l'aide d'un expert) des facteurs de caractérisation écotoxicité si elles ne sont pas disponibles dans les méthodes.
- Au contraire, pour un projet multi-indicateurs où l'enjeu écotoxicité est moindre (ex : bâtiment, énergie), l'utilisation d'une méthode multi-indicateurs peut être suffisante. Les méthodes multi-indicateurs telles que LC-Impact, IMPACT World+ ou ReCiPe sont en effet construites dans une logique globale, permettant d'assurer une comparaison entre les indicateurs.

Dans les deux cas, il convient de rester prudent dans l'interprétation des résultats. Il est en particulier essentiel de lister les substances non caractérisées, ou les groupes de substances (COV, CSOV, COD, archétypes « unspecified »...).

Les méthodes d'évaluation de l'écotoxicité ont encore des limites importantes, qui ne seront qu'en partie levées avec les mises à jour à venir devant prendre en compte les recommandations GLAM. Certains sujets seront encore à améliorer dans les années qui viennent, tels que le choix de l'horizon temporel et l'interprétation de la différence de résultats qu'il implique entre métaux et substances organiques, et la prise en compte encore très limitée des écotoxicités marine et terrestre.

Malgré ces limites reconnues, exclure l'indicateur écotoxicité d'une ACV la rendrait incomplète et pourrait conduire à ignorer un aspect important de l'impact environnemental d'un produit, dont les limites planétaires ont été dépassées (« *novel entities* » Persson et al., 2022). Pour mieux interpréter les résultats écotoxicité de l'ACV et éviter au mieux de ne pas (ou de mal) prendre en compte certains éléments, les praticiens sont encouragés à dialoguer avec les équipes d'évaluation des risques. En effet, si les deux approches ne sont pas substituables, elles devraient plutôt travailler ensemble pour s'enrichir. Il convient également de rappeler que l'ACV donne un « indicateur de pression environnementale », qui diffère de la réalité éco-toxicologique. La prise en compte de l'écotoxicité en ACV n'est pas une mesure de l'impact environnemental, mais un outil de comparaison entre process et produits.

## 9. BIBLIOGRAPHIE

---

- AFNOR. (2014). Contribution des ouvrages de construction au développement durable—Déclarations environnementales sur les produits—Règles régissant les catégories de produits de construction (NF EN 15804+A1).
- AFNOR. (2016). Contribution des ouvrages de construction au développement durable—Déclarations environnementales sur les produits—Règles régissant les catégories de produits de construction—Complément national à la NF EN 15804+A1 (NF EN 15804/CN).
- Association P.E.P. (2021). Règles de définition des catégories de produits relatives aux équipements électriques, électroniques et de génie climatique (PCR-ed4-FR-2021 09 06).
- Aw, S., Lf, van O., Jb, G., J, S., & Ma, H. (2008). Normalisation in product life cycle assessment : An LCA of the global and European economic systems in the year 2000. *The Science of the Total Environment*, 390(1). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.09.040>
- Barbaro, B., Baldin, R., Kovarich, S., Pavan, M., Fioravanzo, E., & Bassan, A. (2015). Further development and update of EFSA's Chemical Hazards Database. *EFSA Supporting Publications*, 12(7), 823E. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2015.EN-823>
- Beloin-Saint-Pierre, D., Albers, A., Hélias, A., Tiruta-Barna, L., Fantke, P., Levasseur, A., Benetto, E., Benoist, A., & Collet, P. (2020). Addressing temporal considerations in life cycle assessment. *Science of The Total Environment*, 743, 140700. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140700>
- Boulay, A.-M., Verones, F., & Vázquez-Rowe, I. (2021). Marine plastics in LCA: current status and MarILCA's contributions. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01975-1>
- Bulle, C., Margni, M., Patouillard, L., Boulay, A. M., Bourgault, G., De Bruille, V., Cao, V., Hauschild, M., Henderson, A., Humbert, S., Kashef-Haghighi, S., Kounina, A., Laurent, A., Levasseur, A., Liard, G., Rosenbaum, R. K., Roy, P. O., Shaked, S., Fantke, P., & Jolliet, O. (2019). IMPACT World+ : A globally regionalized life cycle impact assessment method. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(9), 1653-1674. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01583-0>

- Bulle, C., Margni, M., Patouillard, L., Boulay, A.-M., Bourgault, G., De Bruille, V., Cao, V., Hauschild, M., Henderson, A., Humbert, S., Kashef-Haghighi, S., Kounina, A., Laurent, A., Levasseur, A., Liard, G., Rosenbaum, R. K., Roy, P.-O., Shaked, S., Fantke, P., & Jolliet, O. (2019). IMPACT World+ : A globally regionalized life cycle impact assessment method. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(9), 1653-1674. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01583-0>
- Crenna, E., Jolliet, O., Collina, E., Sala, S., & Fantke, P. (2020). Characterizing honey bee exposure and effects from pesticides for chemical prioritization and life cycle assessment. *Environment International*, 138, 105642. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105642>
- Diamond, M. L., Gandhi, N., Adams, W. J., Atherton, J., Bhavsar, S. P., Bulle, C., Campbell, P. G. C., Dubreuil, A., Fairbrother, A., Farley, K., Green, A., Guinee, J., Hauschild, M. Z., Huijbregts, M. A. J., Humbert, S., Jensen, K. S., Jolliet, O., Margni, M., McGeer, J. C., ... Vijver, M. G. (2010). The clearwater consensus : The estimation of metal hazard in fresh water. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(2), 143-147. <https://doi.org/10.1007/s11367-009-0140-2>
- Dong, Y., Gandhi, N., & Hauschild, M. Z. (2014). Development of Comparative Toxicity Potentials of 14 cationic metals in freshwater. *Chemosphere*, 112, 26-33. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.03.046>
- Dorne, J. L., Richardson, J., Kass, G., Georgiadis, N., Monguidi, M., Pasinato, L., Cappe, S., Verhagen, H., & Robinson, T. (2017). Editorial: OpenFoodTox: EFSA's open source toxicological database on chemical hazards in food and feed. *EFSA Journal*, 15(1), e15011. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.e15011>
- ECHA (European Chemical Agency). (s. d.). IUCLID 6. <https://iuclid6.echa.europa.eu/>
- Fantke, P. (2019). Modeling the environmental impacts of pesticides in agriculture. In Weidema, B.P. (Ed) *Assessing the environmental impact of agriculture* (Burleigh Dodds Science Publishing).
- Fantke, P. (2021). USEtox—Characterizing ecotoxicological impacts of chemicals in LCA. <https://www.youtube.com/watch?v=XmNs4hBnsLE>
- Fantke, P., Aurisano, N., Bare, J., Backhaus, T., Bulle, C., Chapman, P. M., De Zwart, D., Dwyer, R., Ernstoff, A., Golsteijn, L., Holmquist, H., Jolliet, O., McKone, T. E., Owsianiak, M., Peijnenburg, W., Posthuma, L., Roos, S., Saouter, E., Schowanek, D., ... Hauschild, M. (2018). Toward

- harmonizing ecotoxicity characterization in life cycle impact assessment. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 37(12), 2955-2971. <https://doi.org/10.1002/etc.4261>
- Fantke, P., Bijster, M., Guignard, C., Hauschild, M., Huijbregts, M. A. J., Jolliet, O., Kounina, A., Magaud, V., Margni, M., McKone, T. E., Posthuma, L., Rosenbaum, R. K., Van de meent, D., & van Zelm, R. (2017). USEtox® 2.0 Documentation (Version1) (p. 208). <http://www.usetox.org/>
- Fantke, P., Bijster, M., Guignard, C., Hauschild, M. Z., Mark Huijbregts, Jolliet, O., Kounina, A., Magaud, V., Margni, M., McKone, T., Posthuma, L., Rosenbaum, R. K., Van De Meent, D., & Van Zelm, R. (2018). USEtox®2.0. Documentation (Version 1.1; p. 208). USEtox® International Center. <https://doi.org/10.11581/DTU:00000011>
- Fazio, S., Castellani, V., Sala, S., Schau, E. M., Secchi, M., Zampori, L., & Diaconu, E. (2018). Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment method. In Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment methods, (p. 42). <https://doi.org/10.2760/671368>
- Gandhi, N., Diamond, M. L., van de Meent, D., Huijbregts, M. A., Peijnenburg, W. J., & Guinée, J. (2010). New method for calculating comparative toxicity potential of cationic metals in freshwater : Application to copper, nickel, and zinc. *Environmental science & technology*, 44(13), 5195-5201.
- Henderson, A. D., Hauschild, M. Z., van de Meent, D., Huijbregts, M. A., Larsen, H. F., Margni, M., McKone, T. E., Payet, J., Rosenbaum, R. K., & Jolliet, O. (2011). USEtox fate and ecotoxicity factors for comparative assessment of toxic emissions in life cycle analysis : Sensitivity to key chemical properties. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(8), 701-709.
- Huijbregts, M., Steinmann, Z., Elshout, P., Stam, G., Verones, F., Viera, M., Hollander, A., Zijp, M., & van Zelm, R. (2017). ReCiPe 2016—A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. Report I: Characterization (p. 194).
- IPBES. (2019). Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5657041>

- Jolliet, O., Margni, M., Charles, R., Humbert, S., Payet, J., Rebitzer, G., & Rosenbaum, R. K. (2003). IMPACT 2002+ : A new life cycle impact assessment methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 8(6), 324-330. <https://doi.org/10.1007/BF02978505>
- Lavoie, J., Boulay, A.-M., & Bulle, C. (2021). Aquatic micro- and nano-plastics in life cycle assessment : Development of an effect factor for the quantification of their physical impact on biota. *Journal of Industrial Ecology*, n/a(n/a). <https://doi.org/10.1111/jiec.13140>
- Lewis, K. A., Tzilivakis, J., Warner, D. J., & Green, A. (2016). An international database for pesticide risk assessments and management. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 22(4), 1050-1064.
- Oturan, N., Trajkovska, S., Oturan, M. A., Couderchet, M., & Aaron, J.-J. (2008). Study of the toxicity of diuron and its metabolites formed in aqueous medium during application of the electrochemical advanced oxidation process "electro-Fenton". *Chemosphere*, 73(9), 1550-1556. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.07.082>
- Peano, L., Kounina, A., Magaud, V., Chalumeau, S., Zgola, M., & Boucher, J. (2020). Plastic Leak Project—Methodological guidelines—V1.3.
- Persson, L., Carney Almroth, B. M., Collins, C. D., Cornell, S., de Wit, C. A., Diamond, M. L., Fantke, P., Hassellöv, M., MacLeod, M., Ryberg, M. W., Søgaard Jørgensen, P., Villarrubia-Gómez, P., Wang, Z., & Hauschild, M. Z. (2022). Outside the Safe Operating Space of the Planetary Boundary for Novel Entities. *Environmental Science & Technology*, 56(3), 1510-1521. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04158>
- Posthuma, L., Traas, T. P., & Suter, G. (2002). General introduction to species sensitivity distributions. *Species sensitivity distributions in ecotoxicology*, 3-10.
- ProScale. (2017). ProScale : A life cycle oriented method to assess toxicological potentials of product systems, Guidance document, version 1.5 (p. 82). [www.proscale.org](http://www.proscale.org)
- Rosenbaum, R. (2016, mai 23). Synergies and divergence between LCA human toxicity assessment and Risk Assessment approaches. SETAC Europe, Nantes, France.
- Rosenbaum, R. K., Bachmann, T. M., Gold, L. S., Huijbregts, M. A. J., Jolliet, O., Juraske, R., Koehler, A., Larsen, H. F., MacLeod, M., Margni, M., McKone, T. E., Payet, J., Schuhmacher, M., Van

- De Meent, D., & Hauschild, M. Z. (2008). USEtox—The UNEP-SETAC toxicity model : Recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(7), 532-546. <https://doi.org/10.1007/s11367-008-0038-4>
- Rosenbaum, R. K., Georgiadis, S., & Fantke, P. (2018). Uncertainty Management and Sensitivity Analysis. In M. Z. Hauschild, R. K. Rosenbaum, & S. I. Olsen (Éds.), *Life Cycle Assessment : Theory and Practice* (p. 271-321). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3_11)
- Sala, S. (2020, mai). Guiding the interpretation of toxicity-related impacts in the Environmental Footprint 3.0 : A case study on the consumption of EU citizens. SETAC Europe 30th Annual Meeting online.
- Sala, S., Cerutti, A. K., & Pant, R. (2018). Development of a weighting approach for the Environmental Footprint. In Publications Office of the European Union (p. 146). JRC. <https://doi.org/10.2760/945290>
- Saling, P., Gyuzeleva, L., Wittstock, K., Wessolowski, V., & Griesshammer, R. (2020). Life cycle impact assessment of microplastics as one component of marine plastic debris. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(10), 2008-2026. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01802-z>
- Saouter, E., Aschberger, K., Fantke, P., Hauschild, M. Z., Bopp, S. K., Kienzler, A., Paini, A., Pant, R., Secchi, M., & Sala, S. (2017). Improving substance information in USEtox®, part 1 : Discussion on data and approaches for estimating freshwater ecotoxicity effect factors. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 36(12), 3450-3462. <https://doi.org/10.1002/etc.3889>
- Saouter, E., Biganzoli, F., Ceriani, L., Versteeg, E., Crenna, E., Zampori, L., Sala, S., & Pant, R. (2018). *Environmental Footprint : Update of Life Cycle Impact Assessment Methods – Ecotoxicity freshwater, human toxicity cancer, and non-cancer* (EUR 29495 EN; JRC Technical Reports). Publications Office of the European Union.

- Sonnemann, G., & Valdivia, S. (2017). Medellin Declaration on Marine Litter in Life Cycle Assessment and Management. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(10), 1637-1639. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1382-z>
- UNEP-SETAC Life Cycle Initiative. (2016). *Global Guidance for Life Cycle Impact Assessment Indicators—Volume 1* (p. 166).
- UNEP-SETAC Life Cycle Initiative. (2019). *Global Guidance for Life Cycle Impact Assessment Indicators—Volume 2* (p. 166).
- Van Zelm, R., Huijbregts, M., & Van De Meent, D. (2009). USES-LCA 2.0—A global nested multi-media fate, exposure, and effects model. *International Journal of Life Cycle Assessment*.
- van Zelm, R., Huijbregts, M. A. J., Posthuma, L., Wintersen, A., & van de Meent, D. (2009). Pesticide ecotoxicological effect factors and their uncertainties for freshwater ecosystems. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 14(1), 43-51. <https://doi.org/10.1007/s11367-008-0037-5>
- van Zelm, R., Huijbregts, M. A. J., & van de Meent, D. (2010). Transformation Products in the Life Cycle Impact Assessment of Chemicals. *Environmental Science & Technology*, 44(3), 1004-1009. <https://doi.org/10.1021/es9021014>
- van Zelm, R., Preiss, P., van Goethem, T., Van Dingenen, R., & Huijbregts, M. (2016). Regionalized life cycle impact assessment of air pollution on the global scale: Damage to human health and vegetation. *Atmospheric Environment*, 134, 129-137. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.03.044>
- van Zelm, R., Stam, G., Huijbregts, M. A. J., & van de Meent, D. (2013). Making fate and exposure models for freshwater ecotoxicity in life cycle assessment suitable for organic acids and bases. *Chemosphere*, 90(2), 312-317. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.07.014>
- Verones, F., Hellweg, S., Antón, A., Azevedo, L. B., Chaudhary, A., Cosme, N., Cucurachi, S., de Baan, L., Dong, Y., Fantke, P., Golsteijn, L., Hauschild, M., Heijungs, R., Jolliet, O., Juraske, R., Larsen, H., Laurent, A., Mutel, C. L., Margni, M., ... Huijbregts, M. A. J. (2020). LC-IMPACT: A regionalized life cycle damage assessment method. *Journal of Industrial Ecology*, 24(6), 1201-1219. <https://doi.org/10.1111/jiec.13018>

Verones, F., Hellweg, S., Azevedo, L. B., Chaudhary, A., Cosme, N., Fantke, P., Goedkoop, M., Hauschild, M. Z., Laurent, A., Mutel, C. L., Pfister, S., Ponsioen, T., Steinmann, Z. J. N., van Zelm, R., Vieira, M., & Huijbregts, M. a. J. (2016). LC-Impact Version 0.5. 1-143.

Woods, J. S., Verones, F., Jolliet, O., Vázquez-Rowe, I., & Boulay, A.-M. (2021). A framework for the assessment of marine litter impacts in life cycle impact assessment. *Ecological Indicators*, 129, 107918. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107918>

## 7. ANNEXES

---

### Table des annexes

Annexe 1 -	Fiche méthode USEtox .....	II
Annexe 2 -	Fiche méthode IMPACT World+ .....	XII
Annexe 3 -	Fiche méthode LC-Impact .....	XVI
Annexe 4 -	Fiche méthode EF 3.0 .....	XIX
Annexe 5 -	Fiche méthode ReCiPe .....	XXII
Annexe 6 -	Adaptations des méthodes dans les logiciels .....	XXX
Annexe 7 -	Chaîne de cause à effet du plastique sur les écosystèmes (PLP) .....	XXXIII
Annexe 8 -	Description de la base de données ECOTOX de US EPA .....	XXXIV
Annexe 9 -	Pondération relative des substances au niveau midpoint .....	XXXVI
Annexe 10 -	Valeurs absolues des substances au niveau midpoint .....	XL
Annexe 11 -	Pondération relative des substances au niveau endpoint .....	XLIV
Annexe 12 -	Valeurs absolues des substances au niveau endpoint .....	XLIX
Annexe 13 -	CFs des substances par sous-compartiment et par méthode au niveau midpoint .....	LIII
Annexe 14 -	CFs des substances par sous-compartiment et par méthode au niveau endpoint ..	LVII
Annexe 15 -	Résultats des cas d'études processus au niveau midpoint .....	LXVI
Annexe 16 -	Résultats des cas d'études processus au niveau endpoint .....	LXVII
Annexe 17 -	Contributions par substances au niveau midpoint .....	LXIX
Annexe 18 -	Contributions par substances au niveau endpoint .....	LXX
Annexe 19 -	Facteurs de caractérisation par substance et par méthode au niveau midpoint .....	LXXI
Annexe 20 -	Facteurs de caractérisation par substance et par méthode au niveau endpoint ..	LXXVII

## Annexe 1 - Fiche méthode USEtox

Nom de la méthode	Date de création
USEtox version 2.12 (version la plus récente)	2008
Résumé	
USEtox est un modèle scientifique consensuel approuvé par l'initiative du cycle de vie de l'UNEP/SETAC pour la caractérisation des impacts humains et écotoxicologiques des produits chimiques. Le résultat principal est une base de données de facteurs de caractérisation recommandés et provisoires, incluant les paramètres de devenir, d'exposition et d'effet. Il s'agit d'une méthode dite « single issue », ne considérant que 2 catégories d'impacts, la toxicité humaine et l'écotoxicité.	
Développé / approuvé par	
UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, <a href="http://www.usetox.org">www.usetox.org</a>	

### Facteur de caractérisation « de base »

Les facteurs de caractérisation,  $CF_{p,c}$  (impact/kg<sub>emitted</sub>), utilisent la masse de substance émise dans un compartiment environnemental donné comme point de départ pour évaluer les impacts sur les écosystèmes en se basant sur la caractérisation pour chaque substance de son devenir environnemental, de son exposition et de ses effets d'écotoxicité.

$$CF_{p,c} = FF_{p,c} \times XF_{p,c} \times EF_p \quad (1)$$

Où  $FF_{p,c}$  (kg<sub>in compartiment</sub> per kg<sub>emitted</sub>/d) est le facteur de devenir indiquant l'augmentation de la masse de substance dans le compartiment c pour une émission dans un compartiment quelconque,  $XF_{p,c}$  (kg<sub>dissolved</sub>/kg<sub>in compartiment</sub>) est le facteur d'exposition de la masse de substance dissoute (pour l'exposition des écosystèmes) par rapport à la masse totale dans le compartiment donné, et  $EF_p$  (impact/kg<sub>dissolved</sub>) est le facteur d'effet reliant finalement l'exposition aux impacts.

### Facteur de devenir (fate)

Les sous-compartiments utilisés par les méthodes de la famille USEtox pour modéliser le devenir d'une substance pour l'écotoxicité sont présentés dans le Tableau 1.

**Tableau 1 : Sous-compartiments d'émissions pour l'écotoxicité dans les méthodes de la famille USEtox**

Compartiments d'émissions	Air	Eau	Sol
Sous-compartiments associés	Air intérieur des ménages Air intérieur professionnel Air urbain Air rural continental	Eaux douces continentales* Eaux marines	Sol agricole continental Sol naturel continental

\* Ce compartiment inclus également les émissions vers les eaux douces souterraines même si ce compartiment n'est pas modélisé séparément.

**Tableau 2 : Processus de distribution entre compartiments (USEtox 2.1)**

Processus de distribution	de	vers
Transport de la pollution atmosphérique à long terme	Source de pollution	Air
Ruissellement	Sol agricole	Surfaces hors champs
Erosion	Sol agricole	Surfaces hors champs
Lessivage	Sol agricole	Eau souterraine
Volatilisation	Sol	Air
Volatilisation	Culture	Air
Déposition	Air	Surface de la culture
Déposition	Air	Sol
Déposition	Air	Surface eau douce
Déposition	Air	Surface eau marine
Dégradation	Culture/sol/air/eau	
Prélèvement par la plante	Surface de la culture/sol/air	Culture

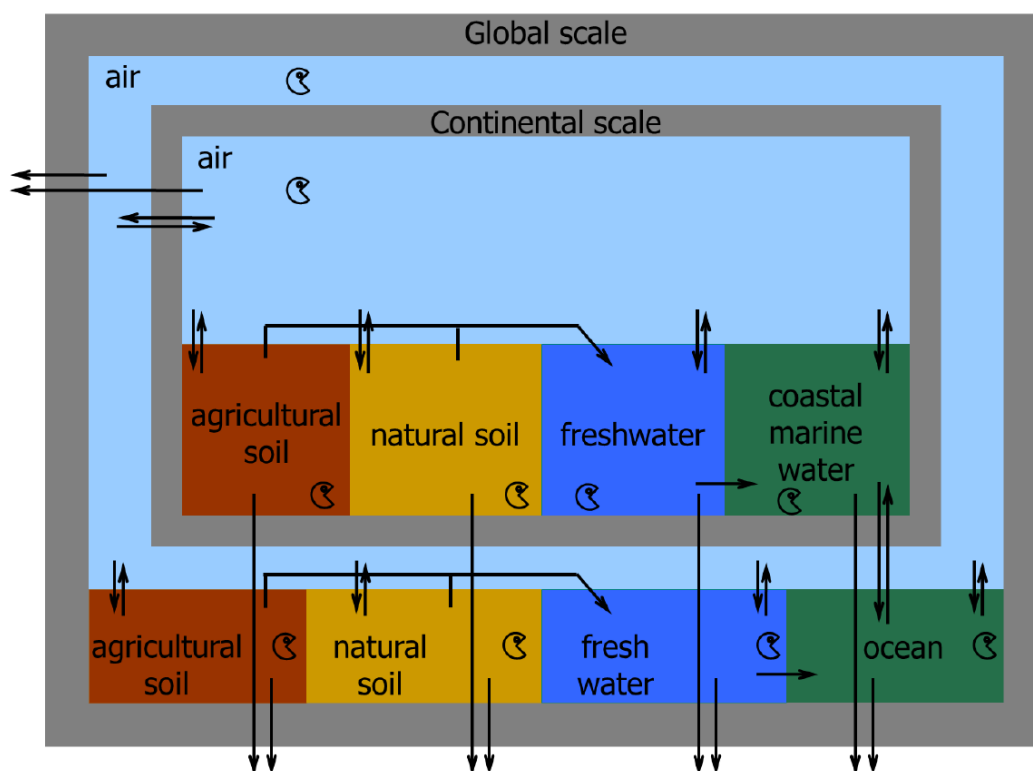


Figure 1 Configuration des compartiments de USEtox pour l'échelle continentale et globale. Les flèches indiquent les flux de la substance dans le système et le smiley indique la dégradation. Les flux concernant la culture ne sont pas indiqués car récemment ajouté dans la méthode via une version simplifiée de dynamiCROP. (Figure issue de (Fantke et al. 2017))

Le compartiment d'émission « sédiment » n'en est pas vraiment un, car USEtox ne calcule pas explicitement les concentrations de substances dans les sédiments, il considère le transport des substances toxiques entre l'eau et les sédiments via l'adsorption et la désorption directe, et par sédimentation/re-suspension des particules en suspension.

**Facteur d'effet (effect)**

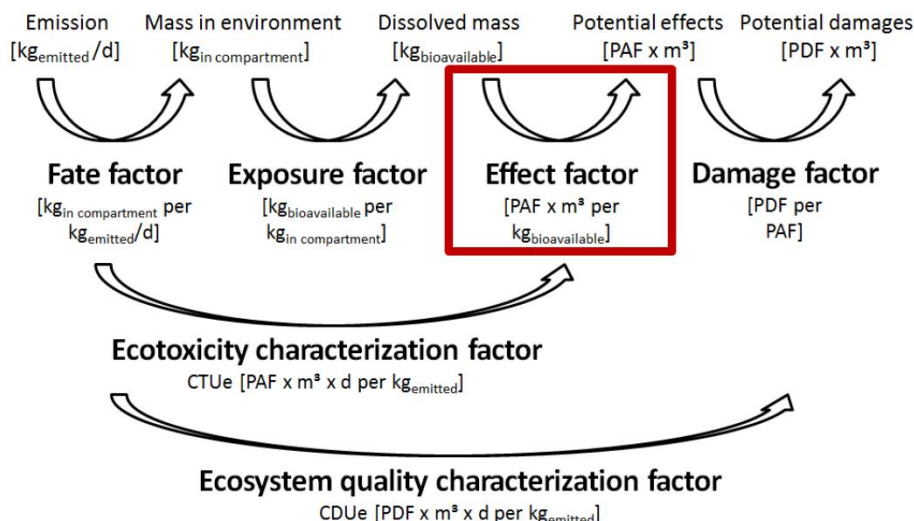


Figure 2 Description synthétique du cadre conceptuel de calcul de l'émission jusqu'au dommage pour les impacts d'écotoxicités avec USEtox 2 (Figure issue de (Fantke et al. 2017))

« Le facteur d'effet d'écotoxicité représente la toxicité chronique de la substance pour un écosystème d'eau douce. La toxicité chronique est dérivée d'observations sur les sensibilités d'un échantillon des espèces dont un écosystème peut être composé. L'approche est basée sur des études de confirmation, dans lesquelles il a été démontré qu'une augmentation de la fraction prédite d'espèces potentiellement affectées (PAF basée sur la modélisation SSD) pour un composé est liée à une augmentation de l'effet écologique. » (Fantke et al. 2017)

« Pour révéler les éventuels effets chroniques d'une substance sur l'écosystème, la préférence est donnée aux résultats des tests chroniques ou subchroniques au niveau de la EC-50 ('effect concentration', concentration causant un effet de 50% sur un trait vital). » (Fantke et al. 2017)

Le facteur d'effet ( $EF_{eco}$ ) est calculé de la manière suivante :

$$EF_{eco} = \frac{f_{eco}}{HC_{eco}} \quad (2)$$

Où  $EF_{eco}$  : facteur d'effet écotoxique pour les écosystèmes d'eau douce [ $PAF \ m^3 \ kg^{-1}$ ],  $f_{eco}$  : multiplicateur pour les écosystèmes [-] (par défaut 0,5 ; défini comme les 50% de  $HC_{50}$  : concentration dangereuse affectant 50% des espèces exposées à un niveau EC50 (concentration effective affectant 50% de la population exposée pour un effet défini) et  $HC_{eco}$  : moyenne géométrique des EC50 chroniques pour les espèces d'eau douce [ $kg \ m^{-3}$ ].

Avec  $HC_{eco}$

$$HC_{50} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n EC_{50,i}} = 10^{\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log_{10} \left( \frac{EC_{50,i}}{1000} \right)\right]} \quad (3)$$

Où  $HC_{50}$  : la moyenne géométrique des données chronique aquatique des  $EC_{50}$  [ $kg \ m^{-3}$ ];  $EC_{50,i}$  concentration à laquelle 50% des tests sur des organismes d'espèce i montrent des effets [ $mg \ L^{-1}$ ] et 1000 le facteur de conversion de mg/L à g/L [ $mg \ g^{-1}$ ].

Le facteur d'effet doit être basé sur des données d'effet pour au moins trois niveaux trophiques (généralement les algues, les crustacés et les poissons), ce qui fait que le facteur de caractérisation de USEtox est classé comme "recommandé". Les données chroniques et sub-chroniques sont préférentiellement utilisées, néanmoins, les données sur la toxicité aiguës sont plus répandues et ce

pour de nombreuses substances pour un seul ou plusieurs niveaux trophiques. Si c'est le cas, les valeurs de la EC50 chronique sont estimées à partir des valeurs aiguës en divisant ces dernières par un ratio aigu/chronique (ACR). Cela est possible, car plusieurs auteurs ont mis en évidence des modèles cohérents dans les données d'écotoxicité et/ou les SSDs des substances, par exemple lorsqu'ils sont basés sur des données chroniques ou aiguës.

Pour différencier les données sur la toxicité aiguë, sub-chronique et chronique d'après les tests réalisés, la méthode USEtox propose une classification par type d'organisme (Tableau 3).

**Tableau 3 : Conditions de durée pour la classification d'un essai comme aiguë, sub-chronique ou chronique (Tableau issue de (Fantke et al. 2017))**

	Aiguë	Sub-chronique	Chronique
<b>Vertébrés</b>	< 7 jours	≥ 7 jours ; < 32 jours	≥ 32 jours
<b>Invertébrés</b>	< 7 jours	≥ 7 jours ; < 21 jours	≥ 21 jours
<b>Plantes</b>	< 7 jours	-	≥ 7 jours
<b>Algues</b>	< 3 jours	-	≥ 3 jours

Procédure pour calculer les facteurs d'effet d'écotoxicité (Fantke et al. 2017) :

1. Rassembler les données expérimentales de la EC<sub>50</sub> pour le produit chimique d'intérêt
2. Préciser pour chaque valeur de la EC<sub>50</sub> si elle est basée sur une exposition chronique, sub-chronique ou aiguë (cf Tableau 3) et donner la préférence aux valeurs de EC<sub>50</sub> chronique
3. En l'absence de données sur l'exposition chronique, utiliser les données disponibles sur l'exposition aiguë pour calculer la EC<sub>50</sub> équivalente à l'exposition chronique par espèce en divisant par une valeur ACR de 2 (Rosenbaum et al. 2008) sauf si d'autres informations sont disponibles. Pour les métaux, un ACR de 10 est appliqué pour les crustacés, 20 pour les poissons (Dong et al. 2014) et 15 (moyenne des crustacés et des poissons) pour tous les autres niveaux trophiques.
4. Lorsque plus d'un point de données EC<sub>50</sub> est disponible pour une espèce, éliminer les éventuelles valeurs aberrantes et calculer la valeur EC<sub>50</sub> représentative de l'espèce comme la moyenne géométrique du reste des valeurs EC<sub>50</sub> disponibles pour cette espèce  $i$  ( $EC_{50,i} = 10^{\left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \log_{10}(EC_{50,i,j})\right]}$  pour  $j \in \{1, \dots, n\}$  données individuelles d'EC<sub>50,i</sub> pour les espèces  $i$ ).
5. Suivant le calcul de la EC<sub>50</sub>, prendre le log de la moyenne géométrique de la EC50 par espèce et calculer la moyenne des valeurs log. Cette moyenne est égale au Log<sub>10</sub>HC<sub>50</sub> (log<sub>10</sub> kg/m<sup>3</sup>). Si, l'utilisateur souhaite pré-calculer directement Log<sub>10</sub>HC<sub>50</sub> (qui est dénommé avlogEC50 dans les bases de données substances de USEtox) à partir de diverses valeurs individuelles de EC<sub>50</sub> par espèce  $i \in \{1, \dots, n\}$ , l'équation suivante s'applique directement après le point (3), c'est-à-dire pour tous les points de données de EC<sub>50</sub> ou étant convertis en valeurs chroniques :  $\log_{10}(HC_{50}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \log_{10}(EC_{50,i,j})$
6. Implémenter cette valeur dans la colonne AD de la feuille "Données sur les substances" du fichier modèle USEtox ou des fichiers de la base de données des substances.
7. Soyez toujours prudent avec les unités !

Sources de données écotoxicités (Fantke et al. 2017) :

La modélisation de l'écotoxicité dans USEtox est basée sur les données EC50. Elle se concentre spécifiquement sur la médiane log-EC50 d'un ensemble suffisamment large de données sur la EC50 pour toutes les espèces (au moins trois espèces ont été sélectionnées à minima). Cette médiane est le point d'inflexion de la distribution sigmoïdale de la sensibilité des espèces (SSD). La médiane log-EC50 d'une substance est dérivée de manière transparente des compilations de données d'écotoxicité, dont les éléments sont intégrés dans USEtox.

Deux bases de données contenant des données sur les effets d'écotoxicité sur les valeurs moyennes de la EC50 (c'est-à-dire les HC50) étaient disponibles pour créer USEtox 2.0, couvrant respectivement

3 498 (van Zelm et al. 2007, 2009) et 1 408 produits chimiques (Payet 2004). La première base de données est basée sur les valeurs de EC50 aiguës de l'e-toxBase de l'Institut national pour la santé publique et l'environnement (RIVM) (<http://www.ru.nl/environmentalscience/research/themes-0/risk-assessment/e-toxbase/>) et la seconde sur les données de EC50 chroniques et aiguës provenant principalement d'ECOTOX (<http://www.epa.gov/ecotox>) et d'IUCLID (<http://bookshop.europa.eu/en/iuclid-cd-rom-pbLBNA19559/>).

Dans USEtox, les valeurs de EC50 chroniques de Payet (2004) ont été privilégiées pour la modélisation, dans la mesure où elles représentent des valeurs de EC50 mesurées. La deuxième priorité a été donnée aux données aiguës de Payet (2004), en appliquant un facteur d'extrapolation de meilleure estimation sous forme de ratio aigu/chronique (ACR), par exemple 1,9 pour les substances organiques et 2,2 pour les pesticides. Dans le cas où Payet (2004) ne fournit pas d'informations sur l'écotoxicité d'un produit chimique, les données de toxicité aiguë de la RIVM e-toxBase ont été utilisées, en appliquant un ratio aigu/chronique (ACR) de 2, comme détaillé dans Müller et al. (2017).

### **Spatialisation**

Les CFs moyens mondiaux pour l'écotoxicité sont fournis par défaut pour différents compartiments d'émissions dans l'environnement (échelle locale : air intérieur et urbain ; échelle continentale et mondiale : air rural, sol agricole et naturel, eau douce et eau de mer), où les paramètres intérieurs, urbains et continentaux représentent des bâtiments résidentiels et industriels moyens pour l'intérieur, une ville moyenne pour l'air urbain et un continent par défaut (défini comme la moyenne de tous les continents du monde réel) pour l'échelle continentale (Rosenbaum et al. 2008).

Les CFs pour l'écotoxicité sont en outre dérivées pour 8 continents et 16 zones sous-continentales paramétrées basées sur les travaux de Kounina et al. (2014) (Tableau 4). Les zones continentales sont soit des moyennes pondérées de zones sous-continentales (par exemple, la zone continentale "Océanie" est la moyenne pondérée des deux zones sous-continentales "Australie du Nord" et "Australie du Sud et Nouvelle-Zélande"), soit, dans certains cas, égales aux zones sous-continentales (par exemple, la zone continentale "Régions du Nord" est égale à la zone sous-continentale "Europe du Nord et Nord du Canada"). Les CFs pour les régions continentales et sous-continentales peuvent en outre servir d'analyse de sensibilité des CFs mondiaux moyens par défaut (représentant les émissions continentales moyennes).

**Tableau 4 : Détail des continents et sous-continent spatialisés dans la méthode USEtox.**

Nom simplifiée	Nom complet	Détail des régions, pays concernés
USEtox-DEF	Default USEtox	-
W1	Central Asia	Russian Federation, Afghanistan, Iran (Islamic Republic of), Kazakhstan, Kyrgyzstan, Mongolia, Tajikistan, Turkmenistan, Uzbekistan, Western China
W2	Indochina	Brunei Darussalam, Cambodia, Lao People's Democratic Republic, Malaysia, Maldives, Myanmar, Philippines, Singapore, Thailand, Viet Nam, Indonesia
W3	Northern Australia	Australia, Wallis and Futuna Islands
W4	Southern Australia & New Zealand	Australia, New Zealand
W5	Southern Africa	Angola, Botswana, Comoros, Lesotho, Madagascar, Malawi, Mauritius, Mozambique, Namibia, Rwanda, Réunion, South Africa, Swaziland, United Republic of Tanzania, Zambia, Zimbabwe, Democratic Republic of the Congo, Congo, Gabon, Kenya, Uganda, Saint Helena, Seychelles
W6	North, West, East & Central Africa	Democratic Republic of the Congo, Congo, Gabon, Kenya, Uganda, Algeria, Bahrain, Benin, Burkina Faso, Burundi, Cameroon, Cape Verde, Central African Republic, Chad, Côte d'Ivoire, Djibouti, Egypt, Eritrea, Ethiopia, Gambia, Ghana, Guinea, Guinea-Bissau, Iraq, Israel, Jordan, Kuwait, Lebanon, Liberia, Libyan Arab Jamahiriya, Mali, Mauritania, Morocco, Niger, Nigeria, Oman, Occupied Palestinian Territory, Qatar, Sao Tome and Principe, Saudi Arabia, Senegal, Sierra Leone, Sudan, Syrian Arab Republic, Togo, Tunisia, United Arab Emirates, Western Sahara, Yemen, Equatorial Guinea, Somalia
W7	Argentina+	Argentina, Chile, Falkland Islands (Malvinas), Paraguay, Uruguay
W8	Brazil+	Bolivia, Peru, most of Brazil, Colombia, southern Ecuador
W9	Central America+ & Caribbean	Anguilla, Antigua and Barbuda, Aruba, Bahamas, Barbados, Belize, Bermuda, British Virgin Islands, Cayman Islands, Costa Rica, Cuba, Dominica, Dominican Republic, El Salvador, French Guiana, Grenada, Guadeloupe, Guatemala, Guyana, Haiti, Honduras, Jamaica, Martinique, Mexico, Montserrat, Netherlands Antilles, Nicaragua, Panama, Puerto Rico, Saint Kitts and Nevis, Saint Lucia, Saint Pierre and Miquelon, Saint Vincent and the Grenadines, Suriname, Trinidad and Tobago, Turks and Caicos Islands, United States Virgin Islands, Venezuela (Bolivarian Republic of), part of Brazil, Colombia, northern Ecuador
W10	USA & Southern Canada	Southern Canada, USA (except Alaska)
W12	Northern Europe & Northern Canada	Alaska, Greenland, Iceland, Finland, Northern parts of Canada, Norway, Sweden, Russian Federation
W13	Europe	Gibraltar, Greece, Hungary, Ireland, Italy, Latvia, Liechtenstein, Lithuania, Luxembourg, TFYR Macedonia, Malta, Moldova, Monaco, Netherlands, Poland, Portugal, Romania, San Marino, Serbia, Slovakia, Slovenia, Spain, Switzerland, Turkey, Ukraine, United Kingdom, Southern parts of Norway, Sweden, Russian Federation
W14	East Indies & Pacific	Indonesia, American Samoa, Cook Islands, Fiji, French Polynesia, Guam, Kiribati, Marshall Islands, Micronesia (Fed. States of), Nauru, New Caledonia, Niue, Northern Mariana Islands, Palau, Papua New Guinea, Samoa, Solomon Islands, Timor-Leste, Tokelau, Tonga, Tuvalu, Vanuatu
IND	India+	India, Bangladesh, Bhutan, Nepal, Pakistan, Sri Lanka
CHI	Eastern China	Eastern China, Hong Kong SAR
JAP	Japan & Korean peninsula	Japan, North Korea, South Korea
North America	North America	Includes W10
Latin America	Latin America	Includes W7, W8, W9
Europe	Europe	Includes W13
Africa+Middle East	Africa & Middle East	Includes W5 and W6
Central Asia	Central Asia	Includes W1
Southeast Asia	Southeast Asia	Includes W2, W14, IND, CHI and JAP
Northern regions	Northern regions	Includes W12
Oceania	Oceania	Include W3 and W4

Afin de spatialiser l'impact d'une substance dans un milieu, plusieurs paramètres sont utilisés pour différencier les régions. Ces paramètres dépendent également de l'échelle considéré lors de l'analyse (Tableau 5).

<p>Pour l'écotoxicité, la spatialisation permet de préciser le facteur de devenir uniquement (contrairement à la toxicité humaine, où la spatialisation influence le facteur d'exposition également).</p> <p>Dans l'outil excel USEtox, l'onglet « Landscape &amp; indoor data », il est possible de définir sa propre région en remplissant les paramètres ci-dessus. Par ailleurs, les paramètres du « default USEtox continent » notamment utilisés dans les logiciels ACV, sont présentés dans Rosenbaum et al. (2008).</p>	<b>Tableau 5 : Paramètres utilisés pour la spatialisation</b>		
	<b>Echelles considérées</b>		
Continentale	Globale	Urbaine	
Surface des terres*		Surface des terres*	
Surface des mers			
Température			
Vitesse du vent de surface			
Pluviométrie			
Profondeur de l'eau de surface			
% ruissellement			
% d'infiltration			
Erosion du sol			
Irrigation			
<p><small>* A noter que la surface des terres est calculée de manière différente entre les échelles Continentale, globales et l'échelle urbaine. Au niveau global et continental, ce sont le % d'eau douce, de sol naturels, de sols agricoles et d'autres surfaces qui sont pris en compte. En revanche à l'échelle urbaine, ce sont le % de zones pavées vs zones non pavées qui sont pris en considération.</small></p>			

### Robustesse/ Incertitude / Niveau de recommandation

USEtox reflète le niveau de fiabilité des calculs (dans la modélisation et/ou la disponibilité de données sur les substances) d'une manière qualitative en indiquant si le facteur de caractérisation est « provisoire » (indicative) ou « recommandé » (recommended). L'indicateur "provisoire" signifie une plus grande incertitude du facteur de caractérisation par rapport à l'indicateur "recommandé", parce que toutes les exigences minimales ne sont pas remplies pour le calcul. Les facteurs de caractérisation dit « recommandé » pour l'écotoxicité eau douce sont basés pour les données d'effet sur au moins 3 espèces différentes couvrant au moins 3 niveau trophique distincts (taxa), afin d'assurer une variabilité minimale des réponses biologiques nécessaire pour quantifier une fraction d'espèce potentiellement affectée. Le caractère « provisoire » ou « recommandé » d'un facteur de caractérisation doit être pris en compte lors de l'application de ces facteurs et de l'interprétation des résultats.

Sur les 3077 substances organiques, 2499 sont caractérisées pour l'écotoxicité : 1610 sont indicatives, et 889 sont recommandées (version USEtox 2.12). L'ensemble des facteurs de caractérisation des substances inorganiques (c-a-d les ions métalliques) sont provisoires.

Dans l'excel de la méthode USEtox (disponible sur <https://www.usetox.org/>), le caractère « recommandé » ou « provisoire » d'un facteur de caractérisation est indiqué dans l'onglet « Results », colonne IJ pour l'écotoxicité, et dans l'onglet « substance data », colonne AS.

Dans SimaPro, il y a 2 versions de USEtox, une appelée « USEtox 2 (recommended + interim) V1.00 » contenant les 2 types de facteurs de caractérisation, le détail des facteurs classés « recommandés » ou « provisoires » n'est pas visible pour les utilisateurs, cette version contient des CFs pour 2530 substances ; et une version appelée « USEtox 2 (recommended only) V1.00 » contenant uniquement les facteurs de caractérisation recommandés, cette version contient des CFs pour 1047 substances.

Ainsi, les facteurs de caractérisation USEtox "provisoires" doivent toujours être utilisés conjointement avec les facteurs "recommandés", car sinon les substances concernées seraient caractérisées avec un impact nul puisqu'aucun facteur de caractérisation n'est appliqué à leurs émissions. Par conséquent, lorsqu'une émission caractérisée par des facteurs de caractérisation « provisoires » domine l'impact global, cela implique que les résultats associés doivent être interprétés comme ayant un niveau de confiance plus faible. Une étude de sensibilité pourrait être réalisée en appliquant uniquement les facteurs de caractérisation recommandés pour voir si et comment les résultats (et les conclusions) changent.

Incertitude des facteurs de caractérisation (Fantke et al. 2017) :

« Les recommandations suivantes ont été publiées (Rosenbaum et al. 2008) et sont réitérées ici avec quelques mises à jour et modifications mineures. Les potentiels de toxicité, c'est-à-dire les facteurs de caractérisation, doivent être utilisés de manière à refléter la grande variation de plus de 15 ordres de grandeur (c'est-à-dire un facteur de  $10^{15}$  entre le facteur de caractérisation le plus bas - le moins toxique - et le plus élevé - le plus toxique) entre les facteurs de caractérisation chimique de toutes les substances actuellement couvertes dans USEtox ainsi que l'incertitude de 3 ordres de grandeur (voir Rosenbaum et al. 2008) sur les facteurs individuels. Cela signifie que les contributions de 1 %, 5 % ou 90 % au score total de toxicité peuvent être interprétées comme essentiellement égales, mais significativement plus importantes que celles d'une substance chimique contribuant à moins de 1 pour mille ou moins de 1 pour million du score total. Le fait de ne pas tenir compte du fait que les ordres de grandeur des impacts prédits dépassent de loin les ordres de grandeur de l'analyse d'incertitude a été une cause majeure de plaintes concernant la variabilité de ces facteurs entre les méthodes d'évaluation d'impact, alors que les produits chimiques les plus importants étaient souvent les mêmes dans un facteur 1000 entre ces méthodes.

En pratique, cela signifie que pour les praticiens de l'ACV, ces potentiels de toxicité sont très utiles pour identifier les 10 ou 20 substances chimiques les plus importantes pour leurs applications comparatives, tout en impliquant une motivation pour ignorer des centaines d'autres émissions de substances dont les impacts sont de loin moins importants (et probablement d'une importance négligeable pour la prise de décision comparative) pour les produits considérés. Les scores d'impact de toxicité permettent donc d'identifier toutes les substances chimiques contribuant pour plus de  $1/1000^{\text{ème}}$  au score total, par exemple. Dans ce contexte, il est généralement plus significatif et donc recommandé de tracer et de comparer les scores d'impact de toxicité sur des échelles logarithmiques, en évitant la surinterprétation de petites différences d'un facteur  $<10$  qui peuvent sembler importantes sur une échelle linéaire. »

Quelques exemples d'incertitudes spécifiques au calcul des facteurs de caractérisation de l'écotoxicité :

1. Les modèles actuels de bio-transfert pour la viande et le lait utilisés dans l'impact pathway pour la toxicité humaine et l'écotoxicité sont très incertains et fournissent des résultats peu fiables pour les produits chimiques hautement hydrophobes.
2. Les métaux, pour lesquels on obtient des facteurs de caractérisation relativement élevés en raison des longs temps de résidence dans les compartiments d'eau marine.
3. L'hypothèse de compartiments mélangés de manière homogène pour les sols agricoles et pour les sols naturels, alors que les sols sont des milieux complexes composés de plusieurs sous-compartiments multicouches ayant des propriétés distinctes en matière de devenir.
4. Conditions temporelles considérées comme stables (par rapport à des calculs quasi dynamiques allant jusqu'à 100 ans pour un niveau plus élevé de facteurs de robustesse), étant donné que pour des classes de substances et des voies d'exposition spécifiques, la dynamique au fil du temps détermine la distribution des substances dans l'environnement et l'exposition qui en résulte.
5. L'extrapolation des espèces et des compartiments pour le devenir des écosystèmes et les facteurs d'effet de la toxicité en tant que différences entre les espèces exposées (composition) et les compartiments environnementaux (caractéristiques) pourrait être pertinente pour les évaluations des effets écotoxicologiques des substances chimiques organiques.
6. L'extrapolation des données d'écotoxicité aiguë pour prédire les effets chroniques, étant donné que les différences entre les paramètres d'effets spécifiques à une espèce et les paramètres d'effets inter-espèces peuvent être pertinentes pour l'évaluation des effets écotoxicologiques.
7. L'accessibilité n'a pas été prise en compte pour tous les métaux, ce qui a entraîné une surestimation des facteurs de caractérisation de l'écotoxicité des sols terrestres correspondants, et la biodisponibilité n'a pas été prise en compte pour tous les métaux pertinents.

### **Archétypes**

#### **Substances**

Pas d'archétypes de substances.

### **Milieus, compartiments**

Pas d'archétypes de milieux dans USEtox (!\ dans SimaPro, 3 archétypes de compartiments (non-spécifiés) pour l'air, l'eau et le sol, cf paragraphe sur adaptation dans SimaPro).

### **Intégration dans la méthode globale (avec d'autres chaînes d'impact)**

USEtox est une méthode « single issue » pour l'écotoxicité eau douce et la toxicité humaine cancer et non-cancer uniquement, les résultats en midpoint et endpoint sont en unité comparative, « CTU : comparative toxic unit » en midpoint et « CDU : comparative damage unit » en endpoint, permettant de compiler ces résultats avec d'autres méthodes globales comme la méthode PEF, en substituant ceux initialement calculés par la méthode globale.

### **Possibilité de conversion midpoint ↔ endpoint**

Un facteur de conversion pour l'écotoxicité est proposé par la méthode : facteur de 0,5 (PDF.m<sup>3</sup>.day / PAF.m<sup>3</sup>.day).

### **Utilisation de la méthode dans certains secteurs spécifiques (bâtiments, ...) via les EPD notamment**

Aucune précision n'est apportée sur ce sujet par les créateurs de la méthodologie.

Néanmoins, USEtox est officiellement recommandée comme méthode d'évaluation par la Commission Européenne dans les recommandations communes d'usages des méthodes pour mesurer et communiquer les performances environnementales du cycle de vie des produits et organisations, par « the European Commission's Joint Research Centre (JRC) in the International Reference Life Cycle Data System Handbook (ILCD) », par « the World Business Council for Sustainable Development in the Life Cycle Metrics for Chemical Products », et par l'agence américaine de protection de l'environnement (US-EPA) dans l'outil de réduction et d'évaluation des impacts environnementaux chimiques et autres.

### **Mise à jour à venir**

Suite aux recommandations de l'initiative de l'UNEP/SETAC Life Cycle Initiative sur les directives mondiales en matière d'Analyse d'Impact du Cycle de Vie, plusieurs mises à jour de USEtox sont prévues pour les années 2020-2023, dont la mise à jour de la modélisation des effets d'écotoxicité basée sur les HC20 dérivés des équivalents EC10 (voir détail : [https://usetox.org/sites/default/files/assets/docs/USEtox\\_Update\\_2020\\_Ecotoxicity.pdf](https://usetox.org/sites/default/files/assets/docs/USEtox_Update_2020_Ecotoxicity.pdf)).

Une version beta de USEtox 3.0 basée sur les recommandations de GLAM est disponible depuis avril 2021 (<https://usetox.org/model/download>), il s'agit d'une version bêta dont les données et les résultats inclus sont uniquement destinés à des fins de démonstration et ne représentent pas les facteurs USEtox officiellement recommandés. Les facteurs USEtox officiellement recommandés, basés sur la mise à jour du modèle champ proche/champ lointain (near-field/far-field), seront disponibles dans la prochaine version stable de USEtox. D'après les concepteurs de la méthode, cette version est prévue pour 2022.

### **Principales mises à jour dans la version 2.12 concernant l'écotoxicité**

- Mise à jour de la base de données des substances inorganiques : correction des avlog50 (facteur d'effet) pour Al, Cd, Co, Cu, Mo, Ni, Pb et Zn.

- Equations mises à jour pour le calcul de devenir incluant le vent de surface.
- Inclusion de la prise en compte du vent de surface.

## Annexe 2 - Fiche méthode IMPACT World+

Nom de la méthode	Date de création
IMPACT World+ (version 1.28 pour midpoint et 1.46 pour dommage)	2019
Résumé	
<p>IMPACT World+ c'est une mise à jour des méthodes IMPACT 2002 +, LUCAS et EDIP. Elle couvre toutes les catégories d'impact en caractérisation midpoint et endpoint ; C'est une méthode notée comme une mondialement régionalisée, néanmoins, les facteurs de caractérisation spatialisés pour l'écotoxicité l'eau douce ne sont pas mis à disposition dans les fichiers accessibles sur le site de consortium<sup>1</sup>.</p> <p>L'impact de l'écotoxicité est basé sur la version paramétrée de USEtox 2.0 (R+I). Les émissions indoor sont prises en compte et les impacts des métaux et polluants organiques persistants sont distingués pour les 100 premières années des impacts long-terme.</p>	
Développé / approuvé par	
CIRAIG, University of Michigan, Quantis International, Technical University of Denmark, Ecole Polytechnique de Lausanne	

### Facteur de caractérisation « de base »

Pour l'écotoxicité eau douce, IMPACT World+ se base sur USEtox. Les CFs midpoint de USEtox sont exprimés en CTUe par unité de masse d'un produit chimique émis, fournissant une estimation de la fraction potentiellement affectée (PAF) des espèces de l'écosystème exposé intégrée dans le temps et le volume d'eau par unité de masse d'un produit chimique émis (PAF.m<sup>3</sup>.jour/kg). Un facteur de sévérité générique de 0,5 est appliqué pour convertir le PAF en PDF, en partant de l'hypothèse que 50 % des espèces affectées disparaîtront de l'écosystème après l'exposition (Jolliet et al. 2003a). Une profondeur moyenne de l'eau de surface de 2,5 m est utilisée pour obtenir un dommage exprimé en PDF.m<sup>2</sup>.jour/kg.

L'écotoxicité eau douce est utilisée comme un proxy au niveau midpoint pour les écotoxicités marine et terrestre selon l'hypothèse que les mêmes substances peuvent apparaître comme toxiques, quel que soit l'écosystème récepteur. Des CFs provisoires sont alors proposés pour l'écotoxicité marine et terrestre sur la base des FF de USEtox pour la zone côtière et pour les compartiments environnementaux du sol naturel. Les EFs marins sont considérés comme égaux à ceux de l'écotoxicité eau douce. Aucune distinction n'est actuellement faite dans la détermination des EFs d'écotoxicité eau douce dans USEtox entre les espèces marines et les espèces d'eau douce, car les deux sont mélangées dans les bases de données d'écotoxicité aquatique utilisées pour déterminer les EFs de USEtox, ce qui signifie que l'hypothèse d'une sensibilité similaire des écosystèmes est déjà implicite. Les EFs des écosystèmes terrestres sont extrapolés à partir des EFs eaux douces en utilisant le coefficient de partage sol-eau proposé par Hauschild et Wenzel (1998), comme cela a déjà été fait dans IMPACT 2002+.

Il s'agit néanmoins d'un indicateur imparfait car le devenir dans les eaux douces, les eaux marines et le sol pour le même flux élémentaire et le même compartiment d'émission peut être très différent.

<sup>1</sup> <https://www.impactworldplus.org/en/writeToFile.php>

### Facteur de devenir et d'effet

Cette partie est similaire à la méthodologie USEtox 2.0 s'y référer pour plus d'informations

Midpoint level impact category (* proxy midpoint)	Midpoint level characterization factor unit	Damage level impact category	Damage level characterization factor unit	Fate Factor FF (or competition scarcity index CSI)	Exposure Factor XF	Exposure Response Factor ERF	Severity Factor SF
Freshwater ecotoxicity	CTUe/kg <sub>emitted</sub>	Freshwater ecotoxicity	PDF·m <sup>2</sup> ·yr/kg <sub>emitted</sub>		$\frac{Mass_{bioavailable}}{\int_{t_1}^{t_2} \Delta Mass \text{ in receiving compartment } dt}$	$\frac{PAF \cdot Volume \cdot Time}{Mass_{bioavailable}}$	$\frac{Damage_{eq}}{PAF \cdot Volume \cdot Time}$
	-	Terrestrial ecotoxicity					
		Marine ecotoxicity					
Human toxicity cancer	CTUh /kg <sub>emitted</sub>	Human toxicity cancer	DALY/kg <sub>emitted</sub>	$\frac{\int_{t_1}^{t_2} \Delta Mass \text{ in receiving compartment } dt}{Mass_{emitted}}$	$\frac{Mass_{intake}}{\int_{t_1}^{t_2} \Delta Mass \text{ in receiving compartment } dt}$	$\frac{Case}{Mass_{intake}}$	$\frac{Damage_{int}}{Case}$
Human toxicity non-cancer	CTUh/kg <sub>emitted</sub>	Human toxicity non-cancer					
Particulate matter formation	kg PM2.5 <sub>eq</sub> /kg <sub>emitted</sub>	Particulate matter formation					
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC <sub>eq</sub> /kg <sub>emitted</sub>	Photochemical oxidant formation					

Figure 3 Description du cadre conceptuel basé sur USEtox 2.0 de calcul de l'émission jusqu'au dommage pour les impacts d'écotoxicités avec IMPACT World+ (Figure issue de Bulle et al. 2019)

### Spatialisation

Impact World+ implémentent des CFs spécifiques aux pays pour les indicateurs suivants :

- Acidification des eaux douces
- Acidification terrestre
- Eutrophisation des eaux douces
- Eutrophisation terrestre
- Transformation des sols, biodiversité
- Occupation des sols, biodiversité

En ce qui concerne l'écotoxicité des eaux douces, une telle granularité n'est pas présente dans la méthode Simapro tout comme dans le fichier natif. Cet indicateur s'appuie sur la version USEtox pour les continents et reprend les mêmes valeurs que USEtox 2.12. Le fichier natif ne permet pas l'utilisation d'autres facteurs de caractérisation par l'utilisateur.

### Robustesse/ Incertitude / Niveau de recommandation

Impact World+ ne couvre pas les indicateurs écotoxicité terrestre et écotoxicité marine que ce soit dans Simapro ou dans le fichier natif. L'article propose l'utilisation de l'écotoxicité des eaux douces comme proxy utilisable pour les deux indicateurs précités. Cette hypothèse est néanmoins jugée comme imparfaite dans l'article car le devenir des substances chimiques varie fortement entre les milieux terrestres, marins et d'eaux douces.

## Archétypes

### Substances

Pas d'archétypes de substances.

### Milieus, compartiments

#### Au niveau midpoint

- Compartiments : 3 compartiments principaux (archétypes de milieux) et 13 sous-compartiments
  - Air : air (non spécifié), air stratosphere + troposphere, air intérieur, air faible densité de population 'air low. pop.', air faible densité de population long terme 'air low. pop. long-term', air forte densité de population 'high. pop.'
  - Sol : sol (non spécifié), sol industriel 'industrial', sol agricole 'agricultural'
  - Eau : eau (non spécifié), eau océan 'ocean', eau rivière 'river', eau souterraine 'groundwater'

Les 3 sous-compartiments suivants : eau rivière 'river', eau souterraine 'groundwater' et sol industriel 'industrial' ne sont disponibles que pour respectivement 122, 42 et 23 substances.

Les autres sous-compartiments couvrent quant à eux 2 530 substances sauf pour sol agricole 'agricultural' qui en couvre 2 531, le fosetyl étant considéré à la fois sous la forme 'fosetyl-aluminium' et 'fosetyl' pour ce sous-compartiment bien que les valeurs de CFs soient toutes les deux de 2,05 kg.

#### Au niveau endpoint

Les compartiments et sous-compartiments midpoint sont également utilisés pour les endpoint. Cependant, le nombre de substances couvert dans chaque compartiment et sous-compartiment varie comme précisé ci-dessous :

- *Freshwater ecotoxicity short-term*

Deux sous-compartiments font leur apparition pour les endpoint short-term : eau rivière, long-terme 'river, long-term' et eau souterraine, long-terme 'groundwater, long-term'. Ces deux sous compartiments couvrent chacun les 2530 substances. Hormis cette différence, aucune autre n'est noté par rapport au midpoint.
- *Freshwater ecotoxicity long-term*

Les 3 sous-compartiments suivants : eau rivière 'river', eau souterraine 'groundwater' et sol industriel 'industrial' ne sont disponibles que pour respectivement 23, 22 et 22 substances.

Les autres sous-compartiments couvrent quant à eux 35 substances sauf pour air faible densité de population long-terme 'low. pop., long-term' pour lequel 2530 substances sont couvertes.

### Intégration dans la méthode globale (avec d'autres chaînes d'impact)

IMPACT World + est une méthode globale permettant d'analyser l'ensemble des catégories d'impacts midpoint et endpoint. Il est également possible de comparer et de coupler les résultats midpoint en CTUe avec d'autres méthodes. En revanche, l'unité des impacts endpoint exprimée en PDF.m<sup>2</sup>.an/kg rend la comparaison difficile avec les autres méthodes telles que USEtox, LC-Impact et EF 3.0 qui utilisent quant à elles une unité en PDF.m<sup>3</sup>.jour/kg.

### **Possibilité de conversion midpoint ↔ endpoint**

La méthode propose des CFs midpoint et endpoint. Il est possible de convertir ces derniers en appliquant un facteur de 0,5 (hypothèse d'une disparition de 50% des espèces affectées) pour obtenir des PDF à partir des PAF puis de diviser par une profondeur moyenne des eaux douces estimée à 2,5 m, comme mentionné dans l'article, pour ainsi obtenir des PDF.m<sup>2</sup>.jour/kg à partir de PAF.m<sup>3</sup>.jour/kg.

### **Utilisation de la méthode dans certains secteurs spécifiques (bâtiments, ...) via les EPD notamment**

Aucune précision n'est apportée sur ce sujet par les créateurs de la méthodologie

### Annexe 3 - Fiche méthode LC-Impact

Nom de la méthode	Date de création
LC – Impact	2020
Résumé	
L'objectif de la méthodologie LC-IMPACT est de fournir une méthodologie globale d'évaluation de l'impact du cycle de vie pour les trois principaux domaines de protection (santé humaine, qualité des écosystèmes, ressources), en incluant des informations spatialement différenciées chaque fois que cela est nécessaire et possible.	
Développé / approuvé par	
Francesca Veronesi <sup>1,2</sup> , Stefanie Hellweg <sup>3</sup> , Mark A.J. Huijbregts <sup>1</sup>	
<sup>1</sup> Department of Environmental Science, Radboud University Nijmegen, The Netherlands	
<sup>2</sup> Industrial Ecology Programme and Department of Energy and Process Engineering, NTNU, Trondheim, Norway	
<sup>3</sup> Institute for Environmental Engineering, ETH Zürich, Zurich, Switzerland	

#### Facteur de caractérisation « de base »

LC-Impact détermine des facteurs de caractérisations pour les 3 domaines de protections couramment couverts par l'ACV, à savoir la santé humaine, la qualité des écosystèmes et les ressources abiotiques. La Figure 4 permet de déterminer le lien qui est fait entre les différentes catégories d'impacts et les 3 domaines de protections.

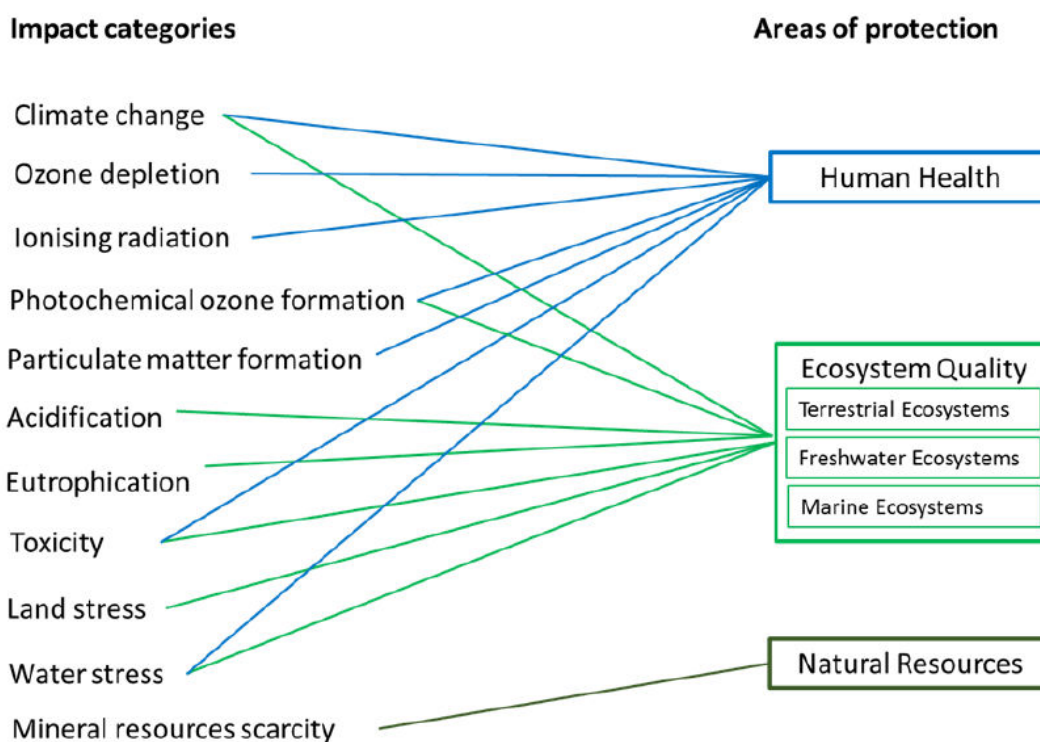


Figure 4 : Vue d'ensemble des mécanismes environnementaux qui sont couverts par la méthodologie LC-IMPACT et leur relation avec les zones de protection. Notez que la "qualité de l'écosystème" couvre les écosystèmes terrestres, d'eau douce et marins, ce qui signifie que de multiples compartiments environnementaux peuvent être touchés (par exemple, l'écotoxicité terrestre et d'eau douce)(Verones et al. 2010).

Deux équations basiques sont utilisées pour calculer les endpoint des facteurs de caractérisation :

$$CF_{human} = iF \times Xd \times EF \times DF \quad (4)$$

$$CF_{ecosystem\ quality} = FF \times XF \times EF \times VS \quad (5)$$

L'équation (5) reflète l'équation du CF de base pour les écosystèmes. La perte globale relative d'espèces par unité d'émission ou d'extraction a été calculée par le produit d'un score de vulnérabilité VS, d'un facteur d'exposition XF, ainsi que d'un facteur de devenir FF et d'un facteur d'effet EF.

La particularité de la méthode LC-Impact par rapport à d'autres méthodes d'analyse ACV est que le CF quantifie la perte globale relative d'espèces en mettant en perspective la perte d'espèces régionales avec le pool global d'espèces. Le VS varie entre 0 et 1. Un VS de 1 signifie que l'espèce est fortement menacée ou probablement endémique, tandis que les scores inférieurs indiquent des espèces moins vulnérables.

### **Facteur de devenir (fate)**

Les compartiments d'émissions sont les mêmes que ceux de la méthode USEtox 2.12. A noter que les processus de transferts entre les compartiments sont également similaires à la méthode USEtox 2.12. Se référer à la partie correspondante dans cette méthode pour plus d'informations.

### **Facteur d'effet (effect)**

Cette partie est similaire à la méthodologie USEtox 2.12, s'y référer pour plus d'informations.

### **Source des données**

Les données utilisées pour déterminer les impacts sur l'écotoxicité sont similaires à celles utilisées pour USEtox 2.12. Concernant les facteurs d'effets pour l'écotoxicité marine et l'écotoxicité terrestre, la méthode se base respectivement sur les travaux de Dong et al. (2016) et de Rosenbaum et al. (2008).

### **Spatialisation**

Les paramètres physico-chimiques utilisées pour déterminer l'impact des substances selon leur région d'émission sont similaires à la méthode USEtox. Les régions spatialisées sont également identiques. Se référer à la fiche méthode USEtox pour plus de détails.

A noter que LC-Impact propose également des facteurs spatialisés pour la toxicité marine et la toxicité terrestre contrairement à la méthode USEtox. Les CFs moyens mondiaux pour l'écotoxicité de l'eau douce et l'écotoxicité de l'eau marine pour les métaux sont basés, respectivement, sur la moyenne des CFs de 7 archétypes d'eau douce européens représentant la variation des chimies de l'eau douce en Europe continentale, sur la base des travaux de Gandhi et al. (2011) et de Dong et al. (2014), et sur la moyenne des CFs de 64 grands écosystèmes marins représentant des mers côtières comparativement indépendantes, couvrant au total les zones côtières mondiales, sur la base des travaux de Dong et al. (2016). Les CFs génériques mondiaux pour l'écotoxicité des métaux dans les sols terrestres sont basés sur la combinaison de compartiments de sols naturels et agricoles. Les propriétés disponibles (pH et teneur en carbone organique) de ces deux compartiments de sol, telles que définies à l'origine par Rosenbaum et al. (2008), ont été mises en correspondance avec d'autres propriétés de sol pertinentes (par exemple, la teneur en argile, les concentrations de cations basiques dissous), égales aux propriétés des sols qui sont les plus proches, en termes de pH et de carbone organique, des propriétés des

compartiments de sol naturel ou agricole. Les détails concernant les propriétés du sol utilisées pour l'appariement sont fournis dans (Owsianiak et al. 2013).

### **Robustesse/ Incertitude / Niveau de recommandation**

LC-Impact se basant majoritairement sur USEtox, les niveaux de robustesse et les incertitudes qui en découlent sont similaires à la méthode USEtox. S'y référer pour plus de détails.

### **Archétypes**

#### **Substances**

Pas d'archétypes de substances.

#### **Milieus, compartiments**

Pas d'archétypes de milieux.

### **Intégration dans méthode globale (avec d'autres chaînes d'impact)**

LC-impact est une méthode globale permettant d'analyser l'ensemble des catégories d'impacts pour les 3 aires de protection. Par ailleurs, les résultats d'impact d'écotoxicité étant en unité comparative (CTUe) peuvent être couplés à d'autres méthodes comme EF 3.0 en y supprimant les résultats d'écotoxicités.

### **Possibilité de conversion midpoint ↔ endpoint**

La conversion endpoint est la même que celle proposée par la méthode USEtox 2.12 : facteur de 0,5 (PDF.m<sup>3</sup>.day / PAF.m<sup>3</sup>.day).

### **Utilisation de la méthode dans certains secteurs spécifiques (bâtiments, ...) via les EPD notamment**

Aucune précision n'est apportée sur ce sujet par les créateurs de la méthodologie.

## Annexe 4 - Fiche méthode EF 3.0

Nom de la méthode	Date de création
EF 3.0	2008
Résumé	
La Commission européenne a proposé les méthodes de l'empreinte environnementale (EF) comme moyen commun pour mesurer la performance environnementale. La méthode est basée sur l'analyse du cycle de vie (ACV) recommandées par l'UE pour quantifier les impacts environnementaux des produits (bien ou services) et des organisations.	
Développé / approuvé par	
JRC	

### Facteur de caractérisation « de base »

La méthode EF 3.0 se base sur la méthode USEtox 2.1 (ref) (Rosenbaum et al. 2008) par conséquent la formule permettant de calculer les facteurs de caractérisation est similaire à celle utilisée par USEtox 2.1 et décrite dans la section correspondante de ce rapport. S'y référer pour plus d'informations.

### Facteur de devenir (fate)

Les processus de transfert entre les différents compartiments sont similaires à la méthode USEtox. S'y référer pour plus d'informations.

Les compartiments d'émissions caractérisés par la méthode EF 3.0 sont présentés dans le Tableau 6.

**Tableau 6 : Sous-compartiments d'émissions pour l'écotoxicité dans la méthode EF 3.0**

Compartiments d'émissions	Air	Eau	Sol
Sous-compartiments associés	Air intérieur Air stratosphérique Air, densité de population élevée Air, densité de population faible	Eaux, rivières Eaux, souterraines Eaux, océan	Sol industriel Sol agricole

### Facteur d'effet (effect)

La méthodologie EF 3.0 recommande d'utiliser un minimum de 5 espèces et 3 niveaux trophiques différents pour calculer les courbes HC20 nécessaires pour déterminer le facteur d'effet. La méthode ne fixe toutefois pas de minimum à l'obtention de ce facteur. Ainsi une seule espèce peut être utilisée, ce qui engendre des incertitudes très importantes le cas échéant.

Pour compenser cet aspect, EF 3.0 détermine un score de qualité des données qui se base entre autres sur le nombre d'espèces et de niveaux trophiques pour aider le praticien à déterminer la fiabilité de son analyse. A noter encore que tous les détails sur le nombre d'espèces et les taxons retenus pour caractériser chaque substance sont disponibles dans le « supplementary material » de la méthodologie.

### Source des données

Comme nous l'avons vu, la méthodologie EF 3.0 se base sur USEtox 2.1. Certaines adaptations ont toutefois été effectuées par les développeurs de la méthode. C'est le cas des données d'inventaires. En effet, la liste des substances chimiques a été élargie : les CFs des nouvelles substances chimiques ajoutées ont été calculées sur la base des données recueillies dans la base de données REACH-IUCLID, la base de données OpenFoodTox de l'EFSA et la base de données PPDB. Enfin, pour combler le manque de données, EPISuite et la boîte à outils QSAR de l'OCDE ont été étudiés.

### Spatialisation

La méthode EF 3.0 ne permet pas d'obtenir des résultats spatialisés comme le font USEtox et LC-Impact. Toutefois, certains flux spatialisés dans ILCD ont été implémentés dans la méthode EF 3.0 (Tableau 7).

Tableau 7 : Flux régionalisés dans EF 3.0 basés sur ceux existants dans ILCD

ILCD UUID	ILCD name	EF UUID	EF name	EF attribute	location
0bf7c70b-4a1d-4848-a78a-5c31a220f148	fresh water, regionalized, AR	6e70f994-480b-4836-a605-5f958a3d7ea4	freshwater	AR	
6313ed6b-0091-433e-ba18-87092afa9346	fresh water, regionalized, AT	6e70f994-480b-4836-a605-5f958a3d7ea4	freshwater	AT	
62835e9a-263f-48ff-a703-e6efa3dfcd7e	fresh water, regionalized, AU	6e70f994-480b-4836-a605-5f958a3d7ea4	freshwater	AU	

La méthode ILCD proposait également des flux de substances spatialisés pour les catégories d'impacts Eutrophisation et Acidification. Ces flux ont été repris dans EF 3.0 et adaptés à toutes les catégories d'impacts

A noter que les substances mentionnées sont caractérisées pour 36 pays, plus une substance non spatialisée qui correspond à un équivalent mondial.

#### Pays spatialisés pour le facteur de devenir dans EF 3.0

36 pays : Albanie, Autriche, Bosnie-Herzégovine, Belgique, Bulgarie, Biélorussie, Suisse, Serbie et Monténégro, République-Tchèque, Allemagne, Danemark, Estonie, Espagne, Finlande, France, Angleterre, Grèce, Croatie, Hongrie, Irlande, Italie, Lituanie, Luxembourg, Lettonie, Moldavie, Macédoine, Pays-Bas, Norvège, Pologne, Portugal, Roumanie, Russie, Suède, Slovénie, Slovaquie, Etats-Unis.

### Robustesse/ Incertitude / Niveau de recommandation

La méthode EF 3.0 a mis en place un score de qualité des données pour aider les praticiens à déterminer le niveau de fiabilité de leur analyse. Ce score est ainsi calculé pour chaque donnée obtenue à partir d'une HC20. La méthode distingue trois niveaux de qualité : 1. LOW, 2. AVERAGE et 3. HIGH. Celles-ci sont déterminées à partir de 3 paramètres :

- Le nombre d'espèces utilisées pour réaliser la courbe
- Le nombre de niveaux trophiques (avec un bonus attribué si les taxons des algues, des crustacés et des poissons sont présents)
- Le nombre de données extrapolées.

Une base logarithmique 3 est utilisée pour calculer le score. Une fonction logarithmique a été utilisée pour réduire les valeurs afin de donner beaucoup plus d'importance à l'avantage qu'il y a à ajouter un résultat en présence de peu de valeurs de concentration effective plutôt que de l'ajouter en présence

de plusieurs valeurs. La base 3 est retenu car, d'un point de vue mathématique, il est nécessaire d'avoir un minimum de 3 points pour dessiner une courbe. Les détails du calcul peuvent être retrouvés p57 du rapport de Saouter et al., (2018).

## Archétypes

### Substances

Les archétypes de substances sont définis comme des regroupements permettant de caractériser l'impact de substances dont seule la classe (ex. fongicide) ou la famille chimique (ex. organochlorés) est connue, mais aussi pour des groupes de substances pour lequel l'émission globale des substances individuelles n'est pas disponible comme les PAH ou les COV.

Les archétypes de substances caractérisées par la méthode EF 3.0 sont présentés dans le Tableau 8.

**Tableau 8 : Archétypes de substances disponibles dans la méthodologie EF 3.0**

Méthodes	Famille Chimique	Classe
EF 3.0	Actinides, radioactive, unspecified ; Aldehydes, unspecified ; Carboxylic acids, unspecified ; Chlorides, unspecified ; Chlorinated solvents, unspecified ; Hydrocarbons, unspecified ; Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unpspecified ; Inorganic salts and acides, unspecified ; Nitrogenous mater unspecified as N ; Noble gases, radiative, unpspecified ; Oils, unspecified ; Radiative species, nuclides, unspecified	Fundigicides unspécifides ; Herbicides unspécifié ; Aerosols, radioactive, unspecified ; Insecticides, unspecified ; Pesticides, unspecified ; Suspended solids, unspecified

### Milieus, compartiments

Pas d'archétypes de milieux dans EF 3.0 (!\ dans SimaPro, 3 archétypes de compartiments (non-spécifiés) pour l'air, l'eau et le sol, cf paragraphe sur adaptation dans SimaPro).

### Intégration dans la méthode globale (avec d'autres chaînes d'impact)

La méthode EF 3.0 inclut des impacts sur la toxicité mais également sur 16 catégories d'impacts telles que le changement climatique, l'eutrophisation.... Les résultats sur la toxicité peuvent ainsi être mis au regard d'autres catégories d'impacts.

### Possibilité de conversion midpoint ↔ endpoint

La méthode EF 3.0 ne propose pas de facteur de conversion pour passer des impacts midpoints aux impacts endpoints.

### Utilisation de la méthode dans certains secteurs spécifiques (bâtiments, ...) via les EPD notamment

Aucune précision n'est apportée sur ce sujet par les créateurs de la méthodologie.

## Annexe 5 - Fiche méthode ReCiPe

Nom de la méthode	Date de création
ReCiPe	2017
Résumé	
ReCiPe est une méthode d'évaluation de l'impact (LCIA) en ACV. L'évaluation de l'impact du cycle de vie (LCIA) traduit les émissions et les extractions de ressources en un nombre limité de scores d'impact environnemental au moyen de facteurs dits de caractérisation (Huijbregts et al. 2017).	
Développé / approuvé par	
RIVM, National Institute for Public Health and the Environment, M.A.J. Huijbregts, Z.J.N. Steinmann, P.M.F. Elshout, G. Stam, F. Verones, M.D.M Viera, A. Hollander, M. Zijp, R. van Zelm	

### Compléments d'information

ReCiPe 2016 propose 18 indicateurs midpoint et 3 indicateurs endpoint. L'architecture de ReCiPe est présentée dans la Figure 5.

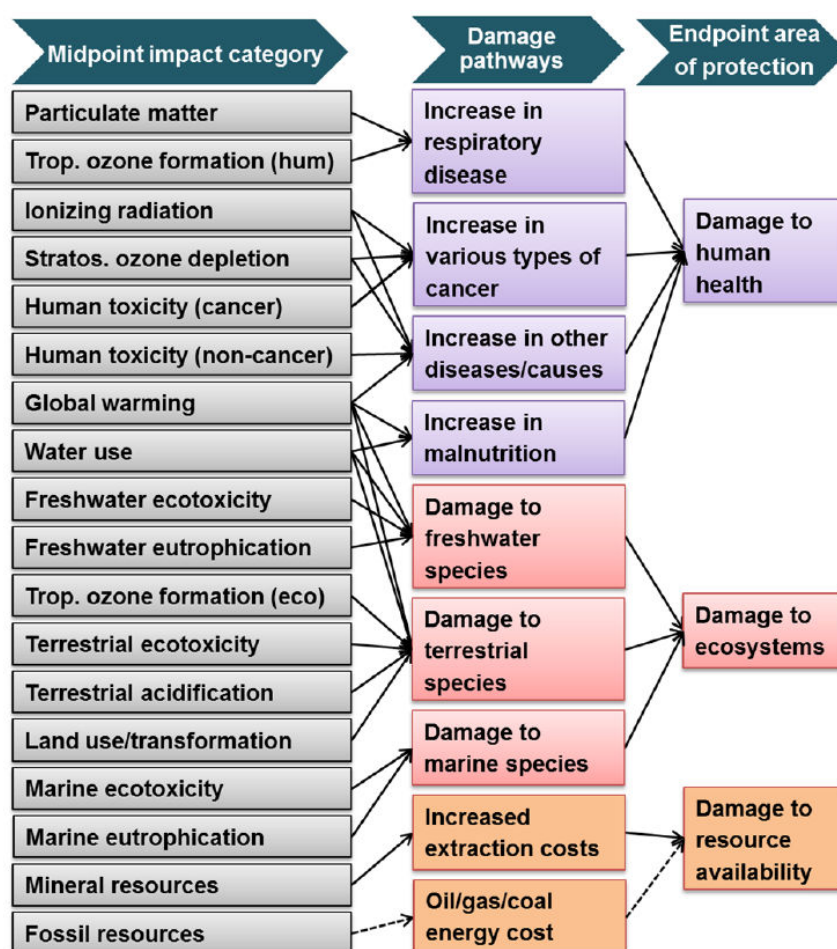


Figure 5 : Synthèse des catégories d'impact « midpoint » figurant dans ReCiPe 2016 ainsi que leurs relations avec les impacts « endpoint ».

ReCiPe a la particularité de proposer trois méthodes de caractérisations des impacts midpoint sur l'environnement, appelées "perspectives culturelles" :

- ReCiPe Individualist (20 ans) : vision court terme et qui estime que la technologie permettra d'éviter de nombreux problèmes dans le futur ;
- ReCiPe Hierarchist (100 ans) : modèle consensuel, il est considéré comme le modèle par défaut. C'est celui qui se rapproche le plus des autres méthodes ;
- ReCiPe Egalitarian (infini) : version long-terme basée sur les principes de précautions.

ReCiPe 2016 est une amélioration de ReCiPe 2008, et de ses prédécesseurs CML 2000 et Eco-indicator 99.

ReCiPe 2016 a été développé en collaboration entre l'Institut national néerlandais pour la santé publique et l'environnement (RIVM), l'Université Radboud de Nimègue, l'Université norvégienne des sciences et de la technologie (NTNU) et PRé.

Les catégories midpoint présentes dans ReCiPe 2016 ainsi que leurs unités sont présentées dans le Tableau 9. L'écotoxicité est caractérisée pour les systèmes terrestre, d'eau douce et marins.

**Tableau 9 : Catégories midpoint de ReCiPe, facteurs de caractérisations et unité**

Impact category		Characterisation factor	
Abbreviation	Unit*	Name	Abbreviation
CC	kg (CO <sub>2</sub> to air)	global warming potential	GWP
OD	kg (CFC-11 <sup>5</sup> to air)	ozone depletion potential	ODP
TA	kg (SO <sub>2</sub> to air)	terrestrial acidification potential	TAP
FE	kg (P to freshwater)	freshwater eutrophication potential	FEP
ME	kg (N to freshwater)	marine eutrophication potential	MEP
HT	kg (14DCB to urban air)	human toxicity potential	HTP
POF	kg (NMVOC <sup>6</sup> to air)	photochemical oxidant formation potential	POFP
PMF	kg (PM <sub>10</sub> to air)	particulate matter formation potential	PMFP
TET	kg (14DCB to industrial soil)	terrestrial ecotoxicity potential	TETP
FET	kg (14DCB to freshwater)	freshwater ecotoxicity potential	FETP
MET	kg (14-DCB <sup>7</sup> to marine water)	marine ecotoxicity potential	METP
IR	kg (U <sup>235</sup> to air)	ionising radiation potential	IRP
ALO	m <sup>2</sup> ×yr (agricultural land)	agricultural land occupation potential	ALOP
ULO	m <sup>2</sup> ×yr (urban land)	urban land occupation potential	ULOP
NLT	m <sup>2</sup> (natural land)	natural land transformation potential	NLTP
WD	m <sup>3</sup> (water)	water depletion potential	WDP
MRD	kg (Fe)	mineral depletion potential	MDP
FD	kg (oil <sup>†</sup> )	fossil depletion potential	FDP

\* The unit of the impact category here is the unit of the indicator result, thus expressed relative to a reference intervention in a concrete LCA study.

† The precise reference extraction is "oil, crude, feedstock, 42 MJ per kg, in ground".

Les catégories endpoint ainsi que leurs unités sont présentées dans le Tableau 10.

**Tableau 10 : Catégories endpoint de ReCiPe, et nom de l'indicateur correspondant.**

Impact category	Indicator	
Name	abbr.	name
damage to human health	HH	disability-adjusted loss of life years
damage to ecosystem diversity	ED	Loss of species during a year
damage to resource availability	RA	increased cost

### Source des données

Pour calculer le devenir en eau douce et les facteurs d'exposition, la base de données des substances du modèle USEtox (Rosenbaum et al. 2008) est incluse dans USES-LCA 3.0, qui est la méthode utilisée dans ReCiPe. La base de données des substances USEtox contient 3 073 produits chimiques organiques et 20 métaux (essentiels). Les propriétés physico-chimiques de la base de données USEtox sont recueillies à partir du progiciel EPISuite 4.0 (USEPA 2009). EPISuite fournit des données expérimentales lorsqu'elles sont disponibles et, en outre, EPISuite peut être utilisé pour estimer les paramètres chimiques lorsque les données expérimentales ne sont pas disponibles. La base de données USEtox remplace l'original USES-LCA 2.0.

### Facteur de caractérisation « de base »

#### Voie d'impact et domaines de protection

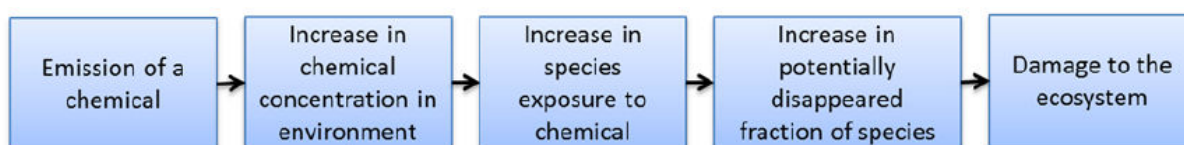


Figure 6 : chaîne de cause à effet de l'écotoxicité dans ReCiPe 2016

Le facteur de caractérisation de l'écotoxicité rend compte de la persistance dans l'environnement (devenir), de l'exposition des espèces, et de la toxicité (effet) d'un produit chimique. La Figure 6 présente la chaîne de cause à effet, depuis l'émission dans l'environnement, en passant par le devenir et l'exposition, jusqu'aux espèces affectées, pour aboutir finalement à la dégradation des écosystèmes.

L'ensemble de l'évaluation des facteurs de caractérisation est marginal, avec une situation de référence courante.

Tableau 11 : Traitement de l'écotoxicité dans les 3 perspectives

	Individualist	Hierarchist	Egalitarian
Time horizon <sup>1</sup>	20 years	100 years	Infinite
Environmental compartments for marine ecotoxicity <sup>1</sup>	Sea + ocean for organics and non-essential metals. For essential metals, the sea compartment is included only, excluding the oceanic compartments.	Sea + ocean for all chemicals	Sea + ocean for all chemicals
Minimum number of tested species for ecotoxicity <sup>1</sup>	4	1	1

Le 1,4-dichlorobenzène (1,4-DCB) est utilisé comme substance de référence dans les calculs en divisant l'impact potentiel calculé du produit chimique par l'impact potentiel du 1,4-DCB émis dans l'eau douce (« freshwater ») pour l'écotoxicité en eau douce, dans l'eau de mer (« seawater ») pour l'écotoxicité marine et dans les sols industriels (« industrial soil ») pour l'écotoxicité terrestre.

Pour chacune des écotoxicités considérées (terrestre, marine, eau douce), le facteur de caractérisation d'une substance x, également dénommé **ETP (Ecological Toxicity Potential**, « potentiel de toxicité écologique »), est défini comme la somme, sur les échelles géographiques considérées, de la

combinaison de facteurs de devenir (FF ou Fate Factor) dans les différents compartiments, combinés à des facteurs d'effets (EF ou Effect Factor), ramené à la combinaison des facteurs de devenir (FF) et d'effet (EF) de la substance de référence (1,4-DCB).

L'équation du calcul du facteur de caractérisation midpoint est donc :

$$ETP_{x,i,j,c} = \sum_g \frac{FF_{x,i,j,g,c} \times EF_{x,j,c}}{FF_{DCB,ref,j,g,c} \times EF_{DCB,j,c}} \quad (6)$$

$ETP_{x,i,j,c}$  est le potentiel de toxicité écologique pour le compartiment récepteur j (eau douce, marine ou terrestre) de la substance x émis vers le compartiment i, transporté vers le compartiment récepteur j, lié à la perspective culturelle c. Ce facteur est exprimé en « kg<sub>1,4DCB équivalent</sub> / kg<sub>substance</sub> ». Les masses de 1,4 DCB considérées sont émises dans l'eau douce pour l'écotoxicité en eau douce, dans l'eau de mer (et océanique) pour l'écotoxicité marine et dans le sol industriel pour l'écotoxicité terrestre .

$FF_{x,i,j,g,c}$  est le facteur de devenir, défini comme le **changement marginal** de la masse à l'état stationnaire de substance x dans un compartiment environnemental j à l'échelle géographique g<sup>2</sup> en raison d'une **émission marginale** dans le compartiment i pour une perspective culturelle c. Ce facteur est exprimé en années.

$EF_{x,j,c}$  est le facteur d'effet (exprimé en m<sup>3</sup>/kg pour l'écotoxicité marine et d'eau douce, m<sup>2</sup>/kg pour l'écotoxicité terrestre), représentant le changement dans la fraction potentiellement disparue des espèces en raison d'un changement dans la concentration environnementale de la substance x dans le compartiment récepteur j pour une perspective culturelle c.

**NB : Les effets sur les sols agricoles et urbains ont été exclus pour éviter le double comptage avec la catégorie Land use.**

### Facteur de devenir (fate)

La modification marginale de la concentration à l'état d'équilibre dans un compartiment de l'environnement, due à une modification marginale des émissions, est définie comme le facteur de devenir spécifique au compartiment (fate factor) :

$$F_{j,i,x} = \frac{\partial C_{j,x}}{\partial M_{i,x}} \quad (7)$$

Où  $F_{j,i,x}$  représente le facteur de devenir spécifique au compartiment et qui tient compte de l'efficacité du transport de la substance x du compartiment i vers le compartiment j et de sa persistance dans ce même compartiment j (year.m<sup>-3</sup>),  $C_{j,x}$  est la variation marginale de la concentration dissoute à l'état d'équilibre de la substance x dans le compartiment j (kg.m<sup>-3</sup>) et  $M_{i,x}$  est la variation marginale de l'émission de la substance x dans le compartiment i (kg.year<sup>-1</sup>).

---

<sup>2</sup> D'après ReCiPe 2008, « dans la plupart des ICV, les émissions par polluant sont additionnées sans précision de la zone géographique d'émission. Les résultats d'impact ne sont donc pas liés à la zone géographique d'émission. Ainsi, les échelles régionale et locale de USES-LCA n'ont pas été retenues dans le calcul des facteurs de devenir. »

Concernant la profondeur du sol, une couche superficielle de 20 cm a été incluse dans le calcul des facteurs de devenir terrestre ; l'hypothèse est que les espèces terrestres sont exposées aux contaminants sur ces 20 premiers centimètres seulement.

### Facteur d'effet (effect)

**NB : Les effets sur les sols agricoles et urbains ont été exclus pour éviter le double comptage avec la catégorie Land use.**

#### Ecotoxicité aquatique :

Pour l'écotoxicité, le calcul des effets éco-toxicologiques combinés de mélanges de substances chimiques toxiques sur des ensembles d'espèces, suppose l'indépendance de différents modes d'action toxiques décrits dans la méthode, et appelés TMOA (Toxic Mode of Action) :

$$PDF_{tox} = 1 - \prod_k (1 - PDF_k) \quad (8)$$

Où la disparition des espèces par mode d'action toxique (TMOA) spécifique,  $PDF_k$ , peut être approximée par une distribution de sensibilité des espèces par mode d'action k basée sur la distribution L(E)C50 de la sensibilité des espèces par mode d'action k.

$$PDF_k \approx PAF_k^{L(E)C50} \quad (9)$$

Le facteur d'effet éco-toxicologique pour la substance x est obtenu par différenciation partielle de l'équation msPAF (Huijbregts et al., 2002) pour une perte d'espèces liées à tous les modes d'actions identifiés (msPAF signifiant « PAF multi substance »). La dérivée partielle  $\partial msPAF / \partial C_x$  pour les polluants écotoxiques est le produit de trois facteurs : i)  $\partial msPAF / \partial PAF_j$  décrivant le changement de la pression écotoxique totale sur un écosystème lié à un changement de pression toxique créé par un mode d'action (TMOA), j ; ii)  $\partial PAF_j / \partial TU_j$ , décrivant le changement de pression toxique lié à un mode d'action spécifique (TMOA) dû à un changement de toxicité effective d'un mode d'action toxique (TMOA) j ; iii)  $\partial TU_j / \partial C_x$ , décrivant le changement de toxicité effective du à un changement de concentration d'un produit chimique x.

$$\frac{\partial msPAF}{\partial C_x} = \frac{\partial msPAF}{\partial PAF_j} \cdot \frac{\partial PAF_j}{\partial TU_j} \cdot \frac{\partial TU_j}{\partial C_x} \quad (10)$$

$$\frac{\partial msPAF}{\partial TU_j} \text{ est fixé à une valeur constante } = 0,55$$

La valeur  $\partial msPAF / \partial TU_k$  est fixée à une valeur typique de 0,55 unité d'effet par unité toxique ajoutée, sans autre spécification par mode d'action ou type d'écosystème en raison du manque de données. Cela implique qu'il n'y a pas de différences spécifiques aux produits chimiques et aux écosystèmes introduites par ce facteur.

La valeur  $\partial TU_j / \partial C_x$  est égale à  $1/HC50_x$ . On suppose qu'une fonction linéaire de concentration-réponse est prise en compte pour une toxicité moyenne, basée sur des données aiguës (EC50).

Le nombre minimum de taxa et d'espèces couvertes est défini à partir de la perspective culturelle (individualiste, hiérarchiste ou égalitaire) choisie (voir plus bas).

Nombre d'espèces minimums pour prendre en compte les effets de l'écotoxicité

L'incertitude est considérée par les auteurs comme relativement élevée pour les facteurs d'effets de l'écotoxicité si un faible nombre d'espèces (<4) est pris en considération lors du calcul de ce facteur. Un minimum de 4 espèces est nécessaire pour établir un facteur d'effet pour la perspective « individualist » alors que pour les autres scénarios (« hierarchic » et « egalitarian »), une seule espèce suffit.

Midpoint to endpoint

Le endpoint est exprimé en nombre d'espèces disparues sur une année (**species.yr**). Le passage du midpoint au endpoint est réalisé avec un facteur constant, dépendant de la perspective choisie (Individualist, Hierarchist, Egalitarian) et de la catégorie d'impact (écotoxicité terrestre, marine ou eau douce).

$$CF_{eco_{x,i,j,c}} = ETP_{x,i,j,c} \times F_{M \rightarrow E, ETOX, j, c} \tag{11}$$

Où  $CF_{eco_{x,i,j,c}}$  est le facteur de caractérisation endpoint pour la substance x émise dans le compartiment i, la catégorie d'impact midpoint j (terrestre, eau douce, marine), la perspective choisie c ;

$ETP_{x,i,j,c}$  est le facteur de caractérisation midpoint pour la substance x émise dans le compartiment i, la catégorie d'impact midpoint j (terrestre, eau douce, marine), la perspective choisie c ;

$F_{M \rightarrow E, ETOX, j, c}$  est le facteur de conversion pour la perspective choisie c et la catégorie d'impact midpoint j (terrestre, eau douce, marine).

Le Tableau 12 donne les facteurs de conversions pour les 3 types d'écotoxicité. Notons que les facteurs ont la même valeur pour les 3 perspectives culturelles.

**Tableau 12 : Synthèse des facteurs de conversions pour les différentes perspectives c (I pour Individualist, H pour Hierarchist, et E pour Egalitarian) et les 3 types d'écotoxicité terrestre, eau douce et marine).**

	Unit <sup>1,2</sup>	I	H	E
<b>Ecosystem quality: terrestrial</b>				
toxicity	species.yr/kg 1,4-DCB to industrial soil	5.4E-08	5.4E-08	5.4E-08
<b>Ecosystem quality: fresh water</b>				
toxicity	species.yr/kg 1,4-DCB to fresh water	7.0E-10	7.0E-10	7.0E-10
<b>Ecosystem quality: marine</b>				
toxicity	species.yr/kg 1,4-DCB	1.1E-10	1.1E-10	1.1E-10

Ecotoxicité terrestre

Pour l'environnement terrestre, le facteur d'effet a été extrapolé à partir des données de toxicité aquatique à l'aide de la méthode de répartition à l'équilibre (Golsteijn et al. 2013). Avec cette méthode, on suppose que les concentrations chimiques dans l'eau interstitielle sont la principale voie d'exposition pour les organismes vivant dans le sol. Lors de l'application de cette méthode, on suppose que la sensibilité des espèces aquatiques et terrestres est similaire.

## Spatialisation

La spatialisation dans le modèle USES-LCA est réalisée à partir du modèle « SimpleBox » (Den Hollander et al. 2004). Celui-ci est représenté ci-dessous dans la Figure 7.

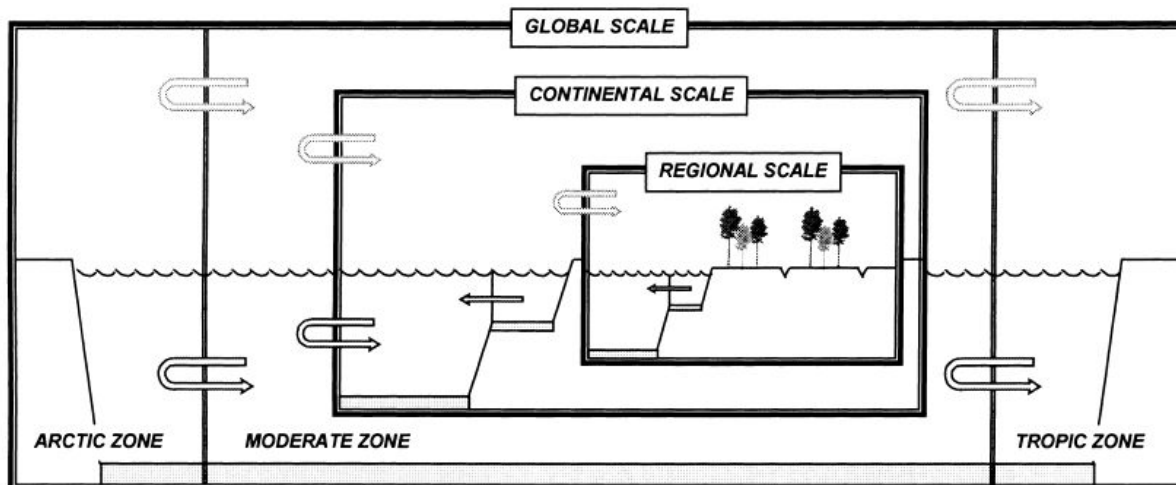


Figure 7 : Représentation schématique du modèle Simplebox d'après (Huijbregts et al. 2000).<sup>3</sup>

Simplebox a trois échelles spatiales (régionale<sup>4</sup>, continentale et globale) et trois zones climatiques (arctique, climat tempéré et climat tropical).

Les échelles régionale et continentale de la zone climatique tempérée consistent en six compartiments : air, eau douce, eau de mer, sol naturel, sol agricole et sol industriel. L'échelle globale comprend l'arctique, les zones climatiques tempérée et tropicale, qui consistent chacune en trois compartiments : air, eau de mer, et sol. Le système est fermé, il y a un équilibre massique dans l'ensemble des compartiments. Ces zones sont celles spécifiées dans ReCiPe 2008.

## Robustesse/ Incertitude / Niveau de recommandation

Aucune précision n'est apportée sur ce sujet par les créateurs de la méthodologie.

## Archétypes

### Substances

ReCiPe propose différents archétypes de substances pour permettre à l'utilisateur de caractériser des impacts dont il ne connaît pas la nature exacte. Les archétypes proposés sont présentés dans le Tableau 13.

<sup>3</sup> Deux compartiments continentaux, pour l'air rural et l'air urbain ont été ajoutés depuis cette version, utilisés pour la toxicité humaine. L'échelle rurale a été ajoutée, qui comprend des compartiments air, eau douce, sédiments d'eau douce, eau de mer, sédiments d'eau de mer, sol naturel, sol agricole et sol industriel. Les émissions vers le sol industriel sont modélisées comme des émissions vers le sol industriel dans l'échelle rurale.

<sup>4</sup> L'échelle régionale est ignorée dans les calculs de ReCiPe

**Tableau 13 : Archétypes de substances disponibles dans la méthodologie ReCiPe 2016.**

Méthodes	Famille Chimique	Classe
ReCiPe 2016	Aldehydes, unspecified ; PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons ; Actinides, unspecified (kBq) ; Carboxylic acids ; Hydrocarbons, chlorinated ; Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, cyclic ; Hydrocarbons, aromatic ; Noble gases, radioactive.	/

### Milieus, compartiments

Pas d'archétypes de milieux dans ReCiPe (!\ dans SimaPro, 3 archétypes de compartiments (non-spécifiés) pour l'air, l'eau et le sol, cf paragraphe sur adaptation dans SimaPro).

### Intégration dans méthode globale (avec d'autres chaînes d'impact)

La méthode ReCiPe est une méthode globale étudiant les effets des substances au travers de différentes catégories d'impacts (acidification, eutrophisation...). Les impacts sur la toxicité peuvent ainsi être mis au regard d'autres catégories.

### Possibilité de conversion

La méthode proposant des impacts midpoint et endpoint aucune conversion particulière n'est proposée.

### Utilisation de la méthode dans certains secteurs spécifiques (bâtiments, ...) via les EPD notamment

Aucune précision n'est apportée sur ce sujet par les créateurs de la méthodologie.

## Annexe 6 - Adaptations des méthodes dans les logiciels

Nous ne mentionnons dans cette annexe que les adaptations concernant l'écotoxicité.

### USEtox

#### SimaPro et OpenLCA

Les adaptations et les versions disponibles sont similaires pour les logiciels SimaPro et OpenLCA.

##### ➤ *Version*

Version USEtox 2.02 ('recommended + interim' CFs recommandés et provisoires) et USEtox 2.02 ('recommended only' CFs recommandés uniquement) (intégré en juillet 2016)

##### ➤ *Spatialisation*

Pas de spatialisation, seul le « default-continental USEtox » disponible

Ne contient pas la partie résidus vers les produits récoltés, issus d'une simplification de dynamiCROP et disponible dans l'outil excel de USEtox.

##### ➤ *Adaptations par PRé Consultants, en accord avec les développeurs de la méthode*

- USEtox fournit des CFs pour 2 types d'émissions intérieure (ménagères et industrielles), alors que SimaPro n'a qu'un seul sous-compartiment air intérieur. La recommandation est l'utilisation du CF de l'air intérieur des ménages. Cette implémentation utilise la Moyenne des pays de l'OCDE.
- Les substances implémentées avec le facteur 0 ont été testées et n'ont montré aucun effet toxique.
- Pour deux sous-compartiments de l'air non inclus dans le modèle (faible densité de population, long terme et stratosphère + troposphère), les facteurs pour l'air rural continental (faible densité de population) ont été utilisés.
- Les facteurs pour les sous-compartiments non-spécifiés ont été calculés de la manière suivante :
  - Emission aérienne, non spécifiée : moyenne des facteurs pour les émissions dans l'air rural (faible densité de population) et urbaine (forte densité de population)
  - Emission dans l'eau, non spécifiée : égale au facteur d'émission eau douce
  - Emission dans le sol, non spécifiée : égal au facteur d'émission dans sol naturel
- Les facteurs pour les éléments dont l'état d'oxydation n'est pas spécifié ont été calculé comme suit :
  - Antimoine : moyenne des facteurs de Sb (III) et Sb (V) ;
  - Arsenic : Moyenne des facteurs de As (III) et As (V) ;
  - Chrome : égal au facteur Cr (III) car le Cr (IV) est uniquement émis dans des processus très spécifique, alors que pour d'autres le Cr (III) est une fraction prédominante ;
  - Fer : égal au facteur du Fe (III) car c'est l'état d'oxydation que l'on retrouve habituellement dans l'environnement.

### Gabi :

La version Usetox 2.12 est disponible dans Gabi, par contre nous n'avons pas des précisions sur l'adaptation de méthode.

### IMPACT World+

#### SimaPro et OpenLCA

La méthode IMPACT World + n'est pas initialement intégrée dans les logiciels mais les versions 1.28 pour midpoint et 1.46 pour dommage peuvent être importées. En conséquence, aucune différence n'est notée entre le fichier natif et la méthode importée dans les logiciels ACV.

## **Gabi**

IMPACT World + n'est pas accessible dans le logiciel Gabi, il ne semble pas possible de l'importer.

## **EF 3.0**

### **SimaPro et OpenLCA**

Les adaptations sont similaires pour les logiciels SimaPro et OpenLCA.

#### ➤ *Version*

Version EF 3.0

#### ➤ *Spatialisation*

La spatialisation des 3 flux disponibles dans la méthode native est disponible dans le logiciel SimaPro. Aucune adaptation n'a été effectuée pour implémenter ces flux spatialisés.

#### ➤ *Adaptations par PRé Consultants*

Aucune adaptation majeure n'a été effectuée pour l'implémentation de l'indicateur écotoxicité de EF 3.0 dans les logiciels.

## **Gabi**

La méthode EF 3.0 est disponible dans le logiciel GaBi

## **ReCiPe**

### **SimaPro et OpenLCA**

Les adaptations sont similaires pour les logiciels SimaPro et OpenLCA.

#### ➤ *Version*

Version ReCiPe 1.1

#### ➤ *Adaptations par PRé Consultants*

Adaptations (juin 2021, version 1.05, SimaPro 9.2) :

- Ajout des eaux usées, des eaux polluées chimiquement et thermiquement avec un facteur de caractérisation moyen mondial pour le prélèvement/émission d'eau.
- Suppression de la caractérisation du prélèvement d'eau fossile
- Adaptation des facteurs de normalisation pour les catégories d'impact de toxicité à la demande des développeurs de la méthode.

Adaptations (septembre 2019, version 1.04) :

- Des facteurs de caractérisation supplémentaires ont été ajoutés pour les flux non inclus dans la documentation de la méthode originale mais couramment utilisés dans les inventaires. Les ajouts ont été approuvés par le développeur de la méthode :
  - Toxicité (toutes catégories) - Chrome ajouté avec un facteur égal au chrome III, Antimoine et Arsenic ajoutés avec la moyenne des facteurs de leurs deux états d'oxydation,

Adaptations (septembre 2018, version 1.03) :

- Des facteurs de normalisation sont ajoutés.

Adaptations (novembre 2017, version 1.01) :

- Écotoxicité terrestre - tous les facteurs ont été modifiés en raison des effets d'exclusion sur le sol urbain.

### **Gabi**

ReCiPe 1.1 est disponible dans le logiciel Gabi.

## Annexe 7 - Chaîne de cause à effet du plastique sur les écosystèmes (PLP)

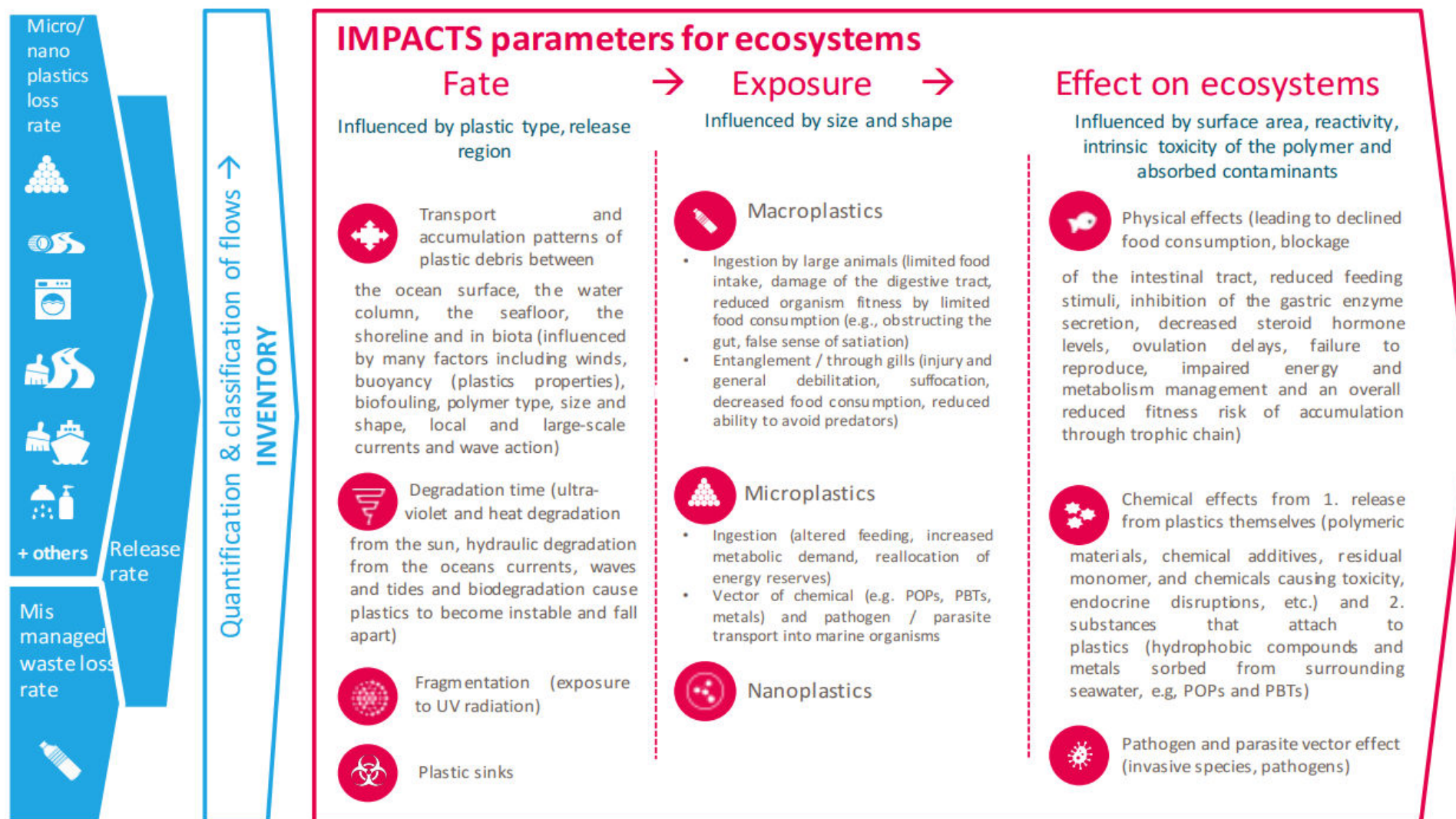


Figure 8 : chaîne de cause à effet du plastique sur les écosystèmes, telle que décrite dans le Plastic Leak project (Dubois & Boucher, 2018)

## Annexe 8 - Description de la base de données ECOTOX de US EPA

Source : <https://cfpub.epa.gov/ecotox/> consultée le 23/12/2021

La base de connaissances ECOTOXicologie (ECOTOX) est une base de connaissances complète et accessible au public fournissant des données de toxicité environnementale sur la vie aquatique, les plantes terrestres et la faune. ECOTOX intègre trois bases de données précédemment indépendantes - ACQUIRE, PHYTOTOX et TERRETOX - dans un système unique qui comprend des données de toxicité dérivées principalement de la littérature évaluée par des pairs, pour la vie aquatique, les plantes terrestres et la faune terrestre, respectivement.

ACQUIRE (AQUATIC Toxicity Information RETrieval) a été initialement développé pour stocker des données de laboratoire aiguës, mais a subi des changements majeurs au début des années 1990, encodant des paramètres supplémentaires pour mieux présenter les données de terrain extérieur et les expositions chroniques.

PHYTOTOX : La base de données PHYTOTOX a été développée au NHEERL, Western Ecology Division à Corvallis, OR (WED-Corvallis) au début des années 1980, et a été maintenue au MED. PHYTOTOX a été développé à l'origine avec le financement de l'Office of Pesticides de l'EPA des États-Unis dans le cadre d'un accord de coopération avec l'Université de l'Oklahoma.

TERRETOX : La base de données TERRETOX a été développée à WED-Corvallis au début des années 1980 et a été maintenue à MED-Duluth. Le financement initial de TERRETOX provenait de l'Office of Toxic Substances de l'EPA des États-Unis.

En 1995, une interface unifiée appelée ECOTOX pour aider à la recherche et à la récupération des données des bases de données ACQUIRE, PHYTOTOX et TERRETOX a été développée.

En 2017, une version interactive d'ECOTOX a été mise en place.

Au 15 décembre 2021, ECOTOX comprend un peu plus **d'un million d'enregistrements pour 12 425 substances, 13 666 espèces et 52 700 références.**

Les critères d'éligibilité des données ECOTOX figurent dans le Tableau 14 ci-dessous (en anglais).

Tableau 14 : Types de données et critères d'éligibilité de la base de USE EPA ECOTOX.

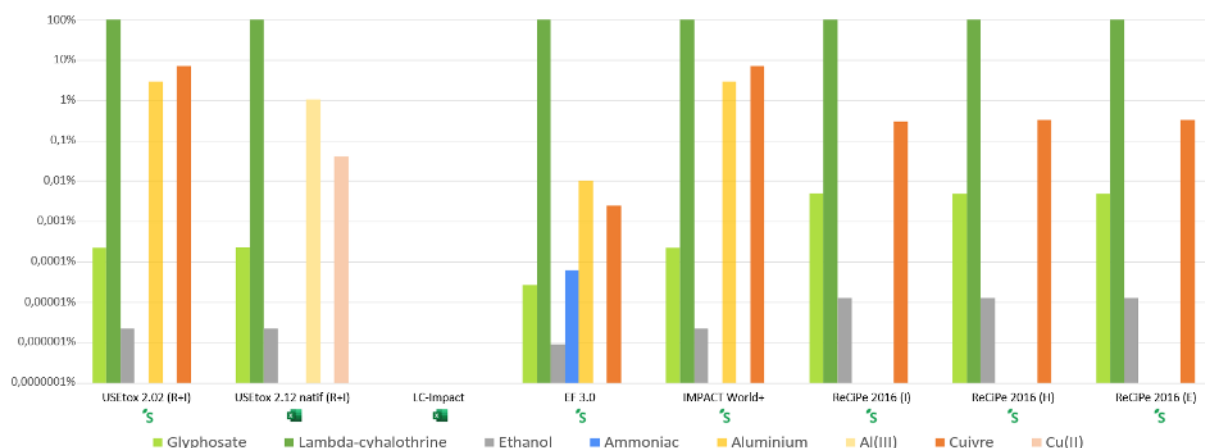
## Data Limitations

The following restrictions are placed on ECOTOX data. Data not satisfying these requirements are excluded from ECOTOX:

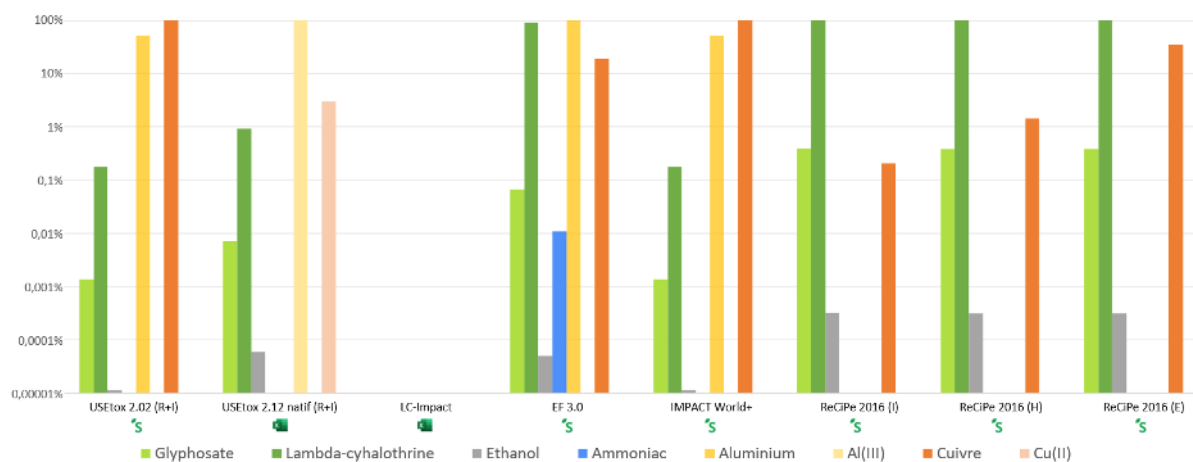
CRITERIA	REQUIREMENT/INCLUSIONS	LIMITATIONS/EXCLUSIONS
Chemical	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Single chemicals relevant to environmental exposure are included.</li> <li>• Verifiable Chemical Abstract Services (CAS) number</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mixtures (petroleum fuels, tank mix, effluent)</li> <li>• Air pollution (CO<sub>2</sub>, ozone)</li> <li>• Plastics and microplastics, Clay and diatomaceous earth products.</li> <li>• Biological toxicants (e.g. algal species with registered CAS numbers).</li> </ul>
Species	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ecologically relevant species</li> <li>• Priority species are wild (test results for terrestrial domestic and laboratory species are used to fill data gaps when needed)</li> <li>• Organism taxonomic information verifiable against standard taxonomic sources</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Human, monkey, bacteria, viral and yeast</li> </ul>
Effect/Response	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biological effect on the test species</li> <li>• Adverse effects are priority (beneficial, nutritional effects are lower priority)</li> </ul>	
Concentration/Dose	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concurrent environmental chemical concentration/dose reported as concentration, dose or application rate</li> <li>• Sediment studies must have a water concentration reported to be included</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inhalation studies route (including intratracheal instillation)</li> <li>• Sediment only concentration</li> <li>• Lead shot</li> <li>• Log values</li> </ul>
Exposure Duration	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Duration reports an associated exposure concurrent with a biological effect</li> </ul>	
Publication/Data Format	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Primary data source</li> <li>• Full text English (some Non-English papers are extracted that have an English abstracts)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reviews</li> <li>• Full text foreign language</li> <li>• Abstract only format</li> </ul>

## Annexe 9 - Pondération relative des substances au niveau midpoint

### Résultats pour l'écotoxicité eau douce



**Figure 9 : Pondération relative des substances pour les impacts sur l'écotoxicité d'eau douce pour 1kg de substances émises dans l'eau (sous compartiment unspecified) en fonction des différentes méthodes ACV. Le niveau d'impact est midpoint. L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est logarithmique. Pour chaque méthode, il normalise l'impact de la substance le plus important à 100% et permet d'illustrer la pondération relative des substances par méthode sur une échelle logarithmique. A noter que la méthode LC-Impact ne propose pas de résultats midpoint. Version SimaPro 9.2.0.2.**



**Figure 10 : Pondération relative des substances pour les impacts sur l'écotoxicité d'eau douce pour 1kg de substances émises dans le sol (sous compartiment unspecified) en fonction des différentes méthodes ACV. Le niveau d'impact est midpoint. L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est logarithmique. Pour chaque méthode, il normalise l'impact de la substance le plus important à 100% et permet d'illustrer la pondération relative des substances par méthode sur une échelle logarithmique. A noter que la méthode LC-Impact ne propose pas de résultats midpoint. Version SimaPro 9.2.0.2.**

Résultats pour l'écotoxicité marine

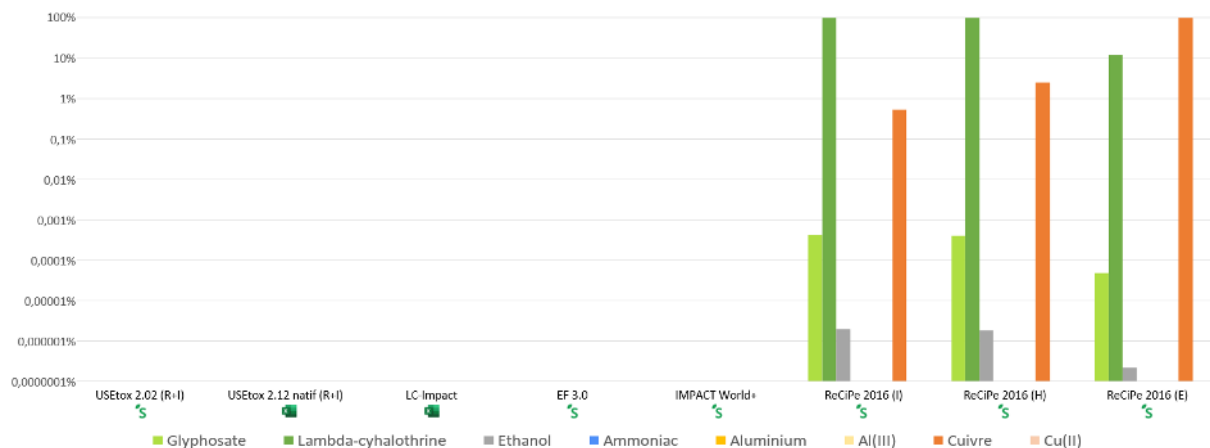


Figure 11 : Pondération relative des substances pour les impacts sur l'écotoxicité marine pour 1kg de substances émises dans l'air (sous compartiment unspecified) en fonction des différentes méthodes ACV. Le niveau d'impact est midpoint. L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est logarithmique. Pour chaque méthode, il normalise l'impact de la substance le plus important à 100% et permet d'illustrer la pondération relative des substances par méthode sur une échelle logarithmique. A noter que les méthodes USEtox, LC-Impact, EF 3.0 et IMPACT World+ ne proposent pas de résultats midpoint pour l'écotoxicité marine. Version SimaPro 9.2.0.2.

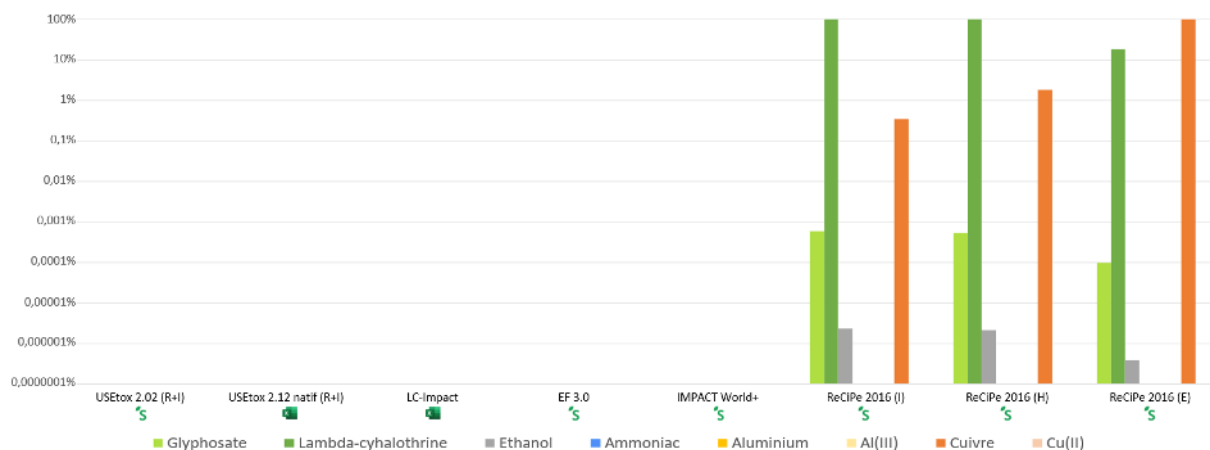
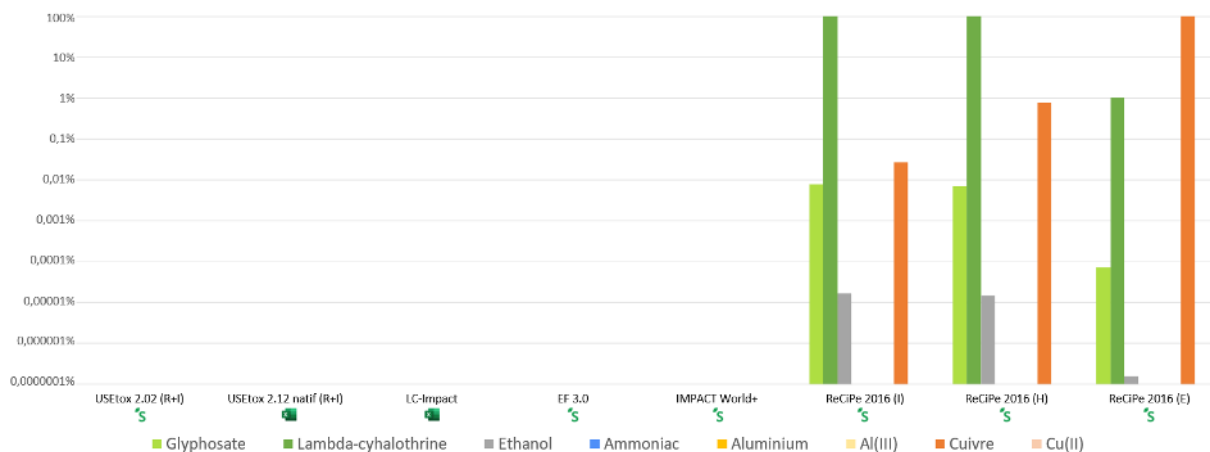
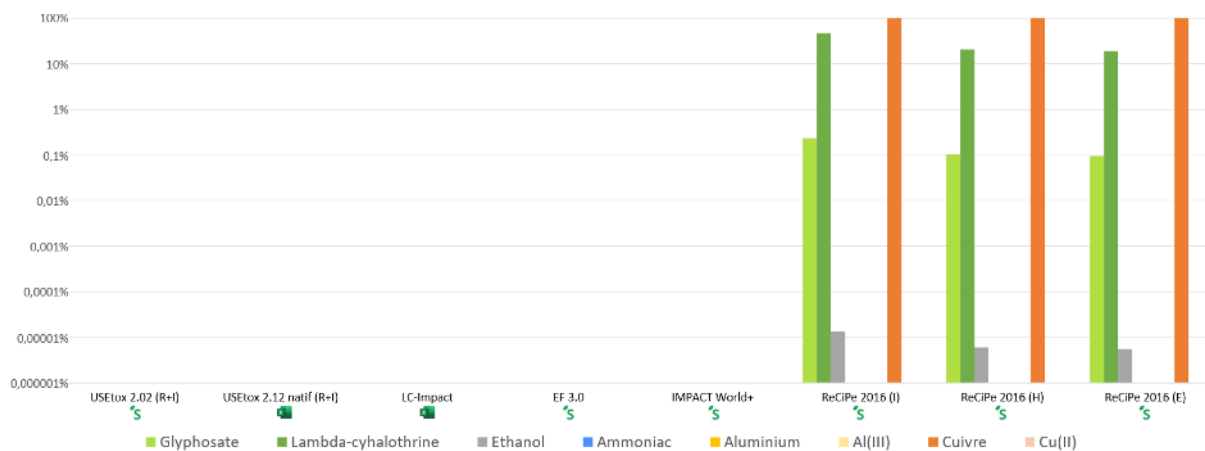


Figure 12 : Pondération relative des substances pour les impacts sur l'écotoxicité marine pour 1kg de substances émises dans l'eau (sous compartiment unspecified) en fonction des différentes méthodes ACV. Le niveau d'impact est midpoint. L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est logarithmique. Pour chaque méthode, il normalise l'impact de la substance le plus important à 100% et permet d'illustrer la pondération relative des substances par méthode sur une échelle logarithmique. A noter que les méthodes USEtox, LC-Impact, EF 3.0 et IMPACT World+ ne proposent pas de résultats midpoint pour l'écotoxicité marine. Version SimaPro 9.2.0.2.

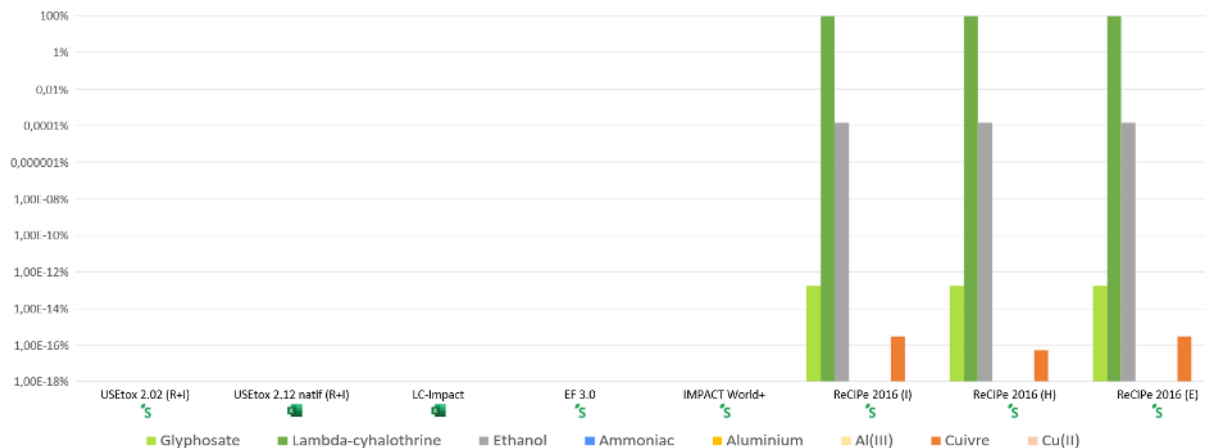


**Figure 13 : Pondération relative des substances pour les impacts sur l'écotoxicité marine pour 1kg de substances émises dans le sol (sous compartiment unspecified) en fonction des différentes méthodes ACV.** Le niveau d'impact est midpoint. L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est logarithmique. Pour chaque méthode, il normalise l'impact de la substance le plus important à 100% et permet d'illustrer la pondération relative des substances par méthode sur une échelle logarithmique. A noter que les méthodes USEtox, LC-Impact, EF 3.0 et IMPACT World+ ne proposent pas de résultats midpoint pour l'écotoxicité marine. Version SimaPro 9.2.0.2.

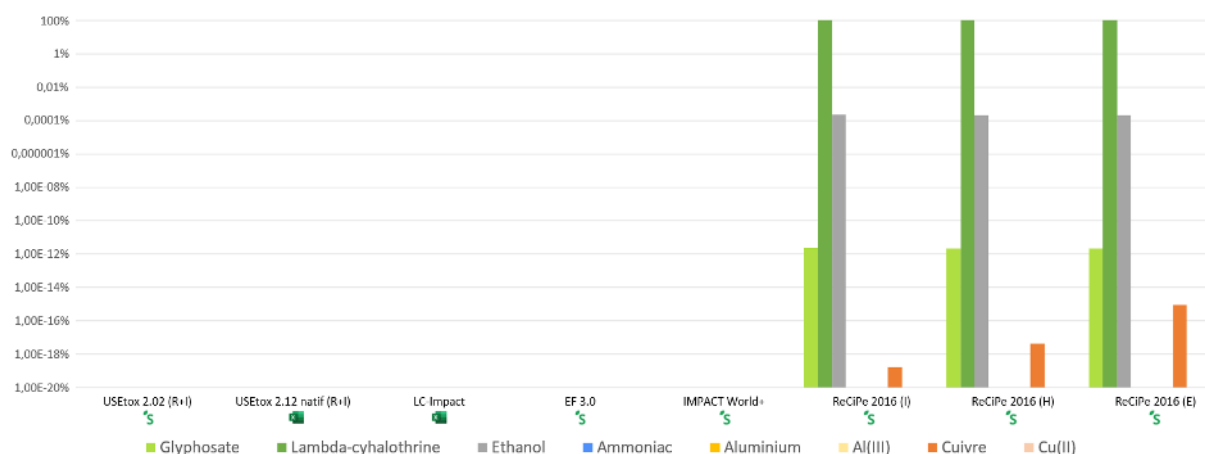
### Résultats pour l'écotoxicité terrestre



**Figure 14 : Pondération relative des substances pour les impacts sur l'écotoxicité terrestre pour 1kg de substances émises dans l'air (sous compartiment unspecified) en fonction des différentes méthodes ACV.** Le niveau d'impact est midpoint. L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est logarithmique. Pour chaque méthode, il normalise l'impact de la substance le plus important à 100% et permet d'illustrer la pondération relative des substances par méthode sur une échelle logarithmique. A noter que les méthodes USEtox, LC-Impact, EF 3.0 et IMPACT World+ ne proposent pas de résultats midpoint pour l'écotoxicité terrestre. Version SimaPro 9.2.0.2.



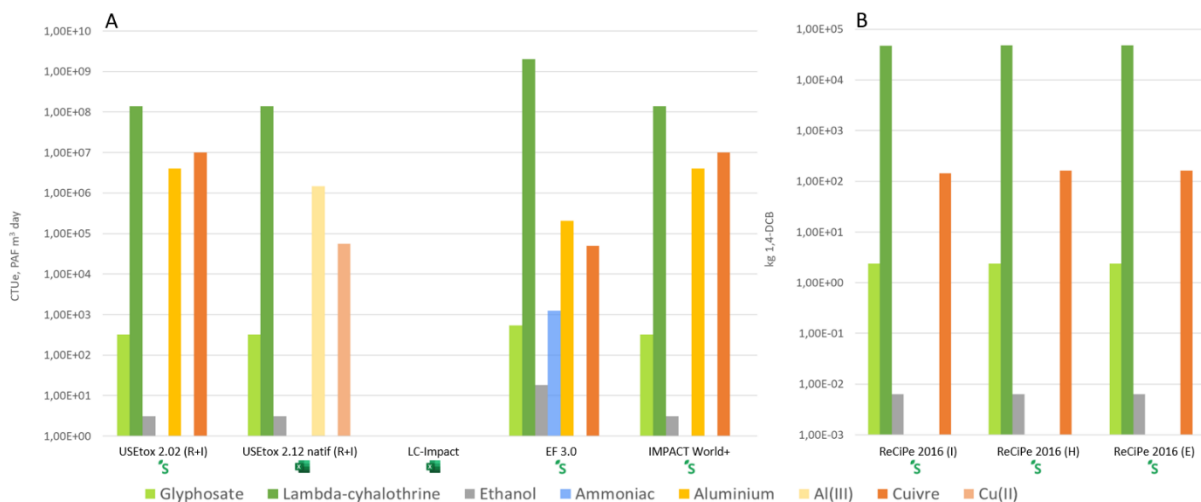
**Figure 15 : Pondération relative des substances pour les impacts sur l'écotoxicité terrestre pour 1kg de substances émises dans l'eau (sous compartiment unspecified) en fonction des différentes méthodes ACV. Le niveau d'impact est midpoint. L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est logarithmique. Pour chaque méthode, il normalise l'impact de la substance le plus important à 100% et permet d'illustrer la pondération relative des substances par méthode sur une échelle logarithmique. A noter que les méthodes USEtox, LC-Impact, EF 3.0 et IMPACT World+ ne proposent pas de résultats midpoint pour l'écotoxicité terrestre. Version SimaPro 9.2.0.2.**



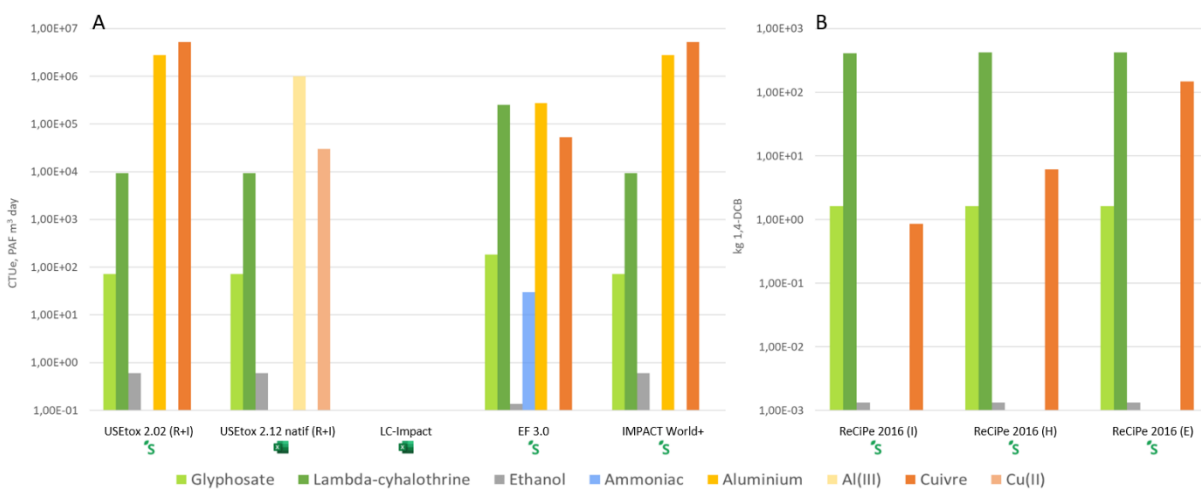
**Figure 16 : Pondération relative des substances pour les impacts sur l'écotoxicité terrestre pour 1kg de substances émises dans le sol (sous compartiment unspecified) en fonction des différentes méthodes ACV. Le niveau d'impact est midpoint. L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est logarithmique. Pour chaque méthode, il normalise l'impact de la substance le plus important à 100% et permet d'illustrer la pondération relative des substances par méthode sur une échelle logarithmique. A noter que les méthodes USEtox, LC-Impact, EF 3.0 et IMPACT World+ ne proposent pas de résultats midpoint pour l'écotoxicité terrestre. Version SimaPro 9.2.0.2.**

## Annexe 10 - Valeurs absolues des substances au niveau midpoint

### Résultats pour l'écotoxicité d'eau douce



**Figure 17 : Facteurs de caractérisations pour 1 kg de différentes substances émises dans l'eau (sous-compartiment unspécifié) pour la catégorie d'impact midpoint écotoxicité des eaux douces selon différentes méthodes ACV. L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est en valeur absolue (CTUe, PAF m3.day (A) ou kg 1,4-DCB(B)). A noter que la méthode LC-Impact ne propose pas de résultats midpoint. Version SimaPro 9.2.0.2**



**Figure 18 : Facteurs de caractérisations pour 1 kg de différentes substances émises dans le sol (sous-compartiment unspécifié) pour la catégorie d'impact midpoint écotoxicité des eaux douces selon différentes méthodes ACV. L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est en valeur absolue (CTUe, PAF m3.day (A) ou kg 1,4-DCB(B)). A noter que la méthode LC-Impact ne propose pas de résultats midpoint. Version SimaPro 9.2.0.2**

Résultats pour l'écotoxicité marine

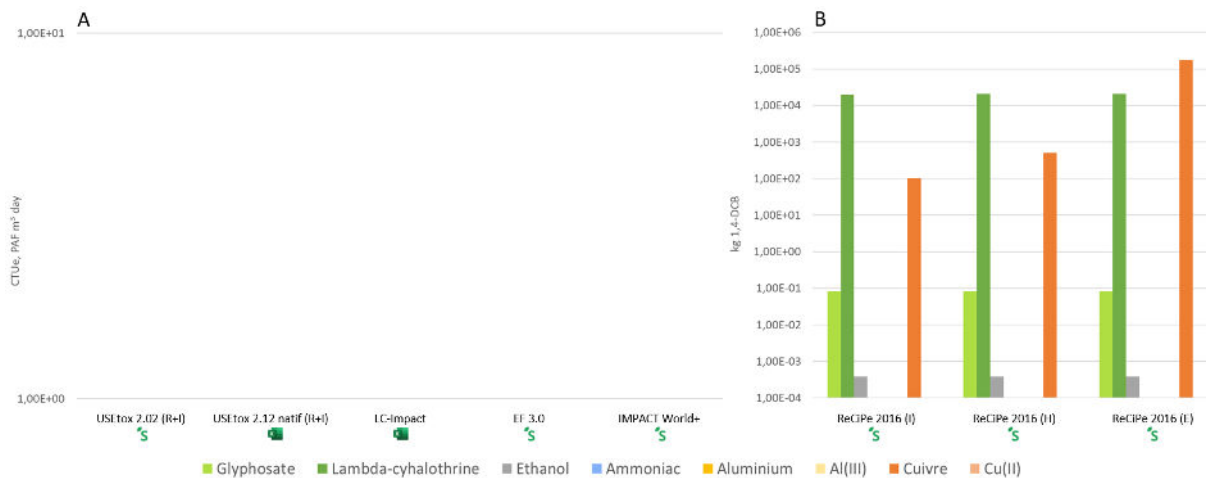


Figure 19 : Facteurs de caractérisations pour 1 kg de différentes substances émises dans l'air (sous-compartiment unspécifié) pour la catégorie d'impact midpoint écotoxicité marine selon différentes méthodes ACV. L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est en valeur absolue (CTUe, PAF m3.day (A) ou kg 1,4-DCB(B)). A noter que les méthodes USEtox, LC-Impact, EF 3.0 et IMPACT World+ ne proposent pas de résultats midpoint pour l'écotoxicité marine. Version SimaPro 9.2.0.2

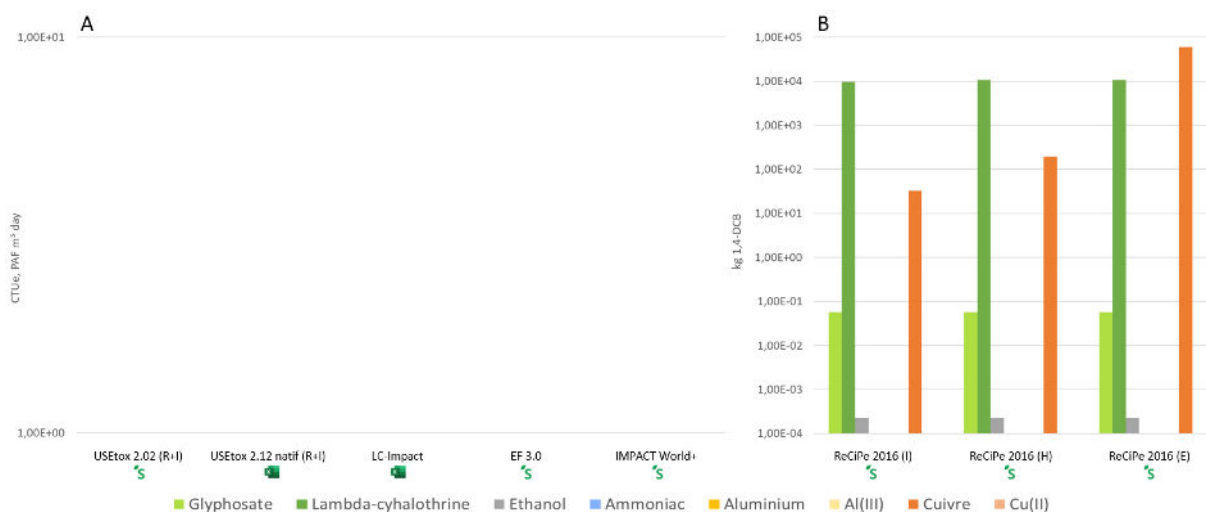
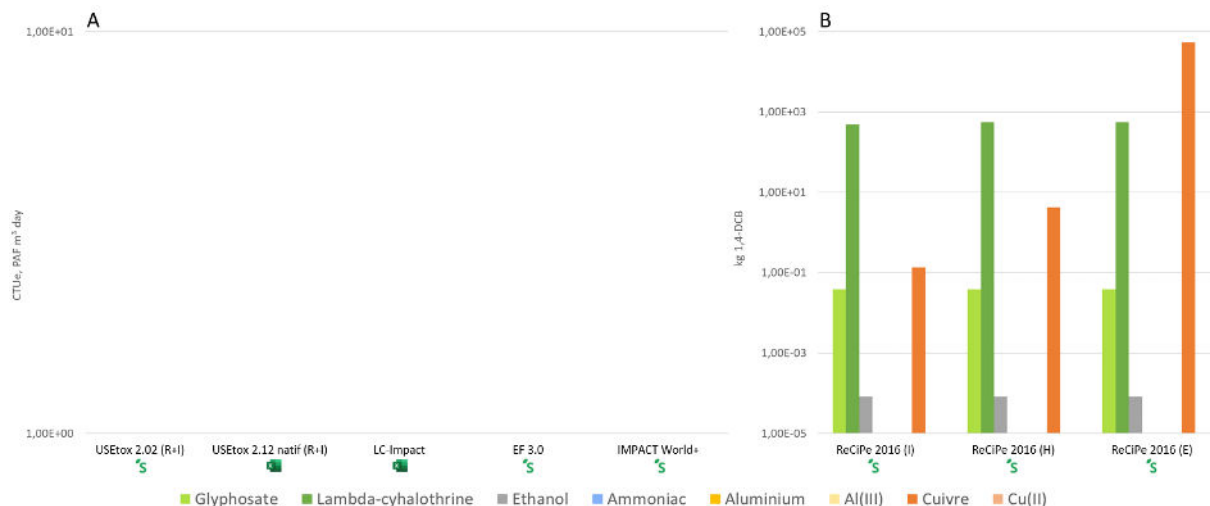
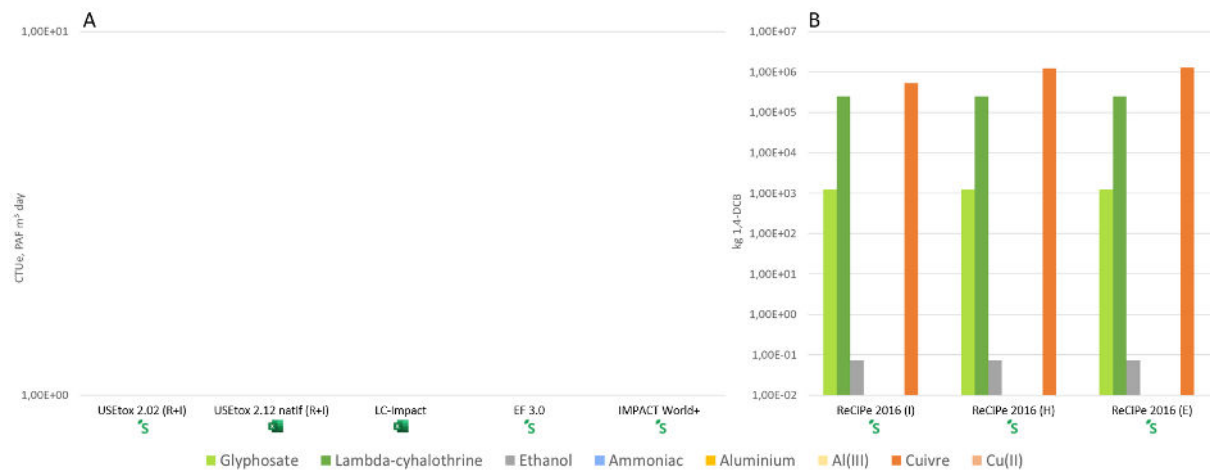


Figure 20 : Facteurs de caractérisations pour 1 kg de différentes substances émises dans l'eau (sous-compartiment unspécifié) pour la catégorie d'impact midpoint écotoxicité marine selon différentes méthodes ACV. L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est en valeur absolue (CTUe, PAF m3.day (A) ou kg 1,4-DCB(B)). A noter que les méthodes USEtox, LC-Impact, EF 3.0 et IMPACT World+ ne proposent pas de résultats midpoint pour l'écotoxicité marine. Version SimaPro 9.2.0.2

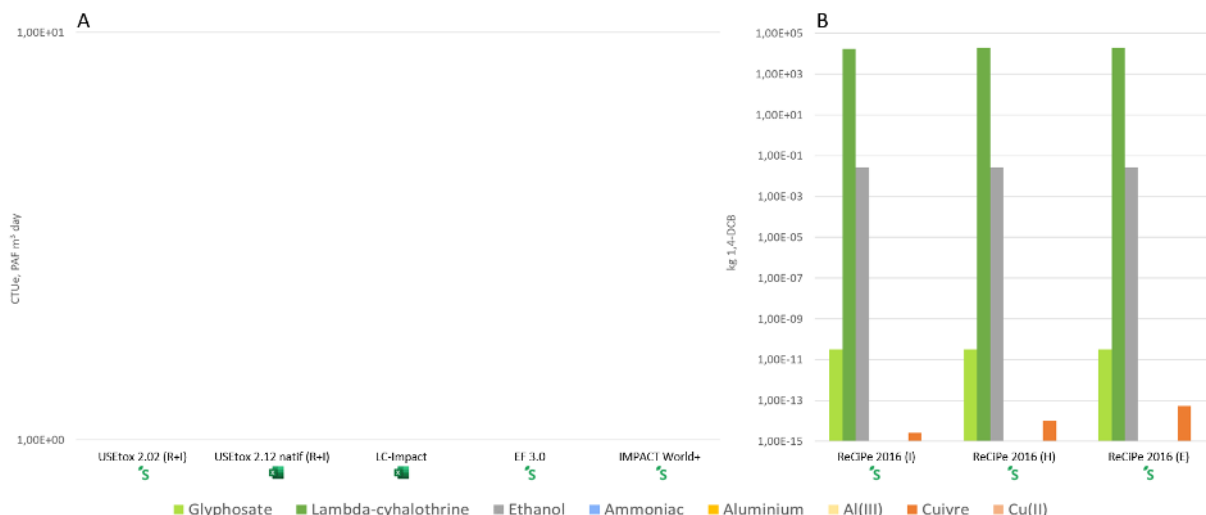


**Figure 21 : Facteurs de caractérisations pour 1 kg de différentes substances émissent dans le sol (sous-compartiment unspécifié) pour la catégorie d'impact midpoint écotoxicité marine selon différentes méthodes ACV.** L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est en valeur absolue (CTUe, PAF m3.day (A) ou kg 1,4-DCB(B)). A noter que les méthodes USEtox, LC-Impact, EF 3.0 et IMPACT World+ ne proposent pas de résultats midpoint pour l'écotoxicité marine. Version SimaPro 9.2.0.2

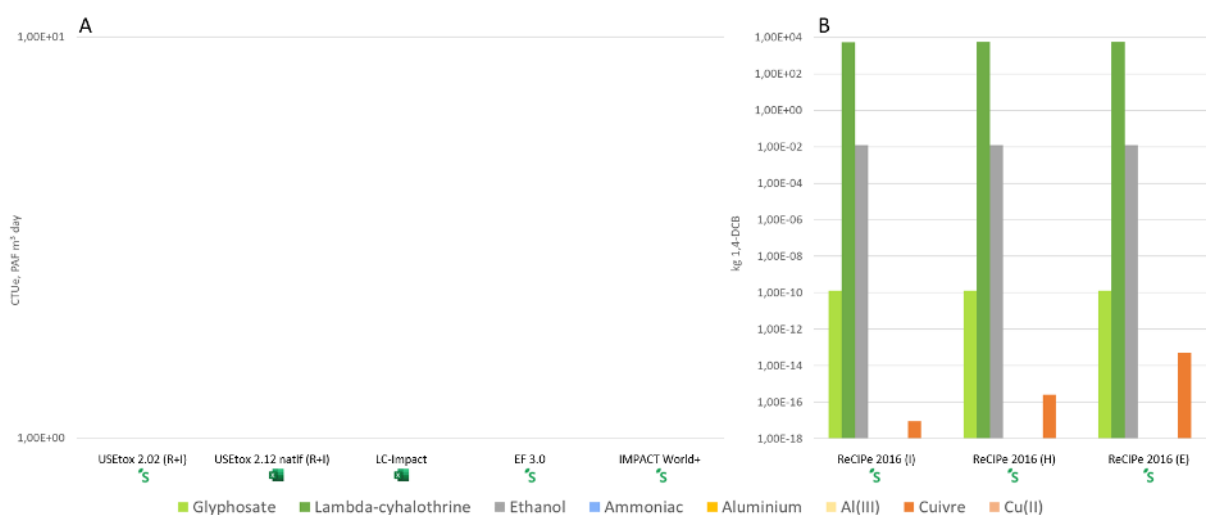
### Résultats pour l'écotoxicité terrestre



**Figure 22 : Facteurs de caractérisations pour 1 kg de différentes substances émissent dans l'air (sous-compartiment unspécifié) pour la catégorie d'impact midpoint écotoxicité terrestre selon différentes méthodes ACV.** L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est en valeur absolue (CTUe, PAF m3.day (A) ou kg 1,4-DCB(B)). A noter que les méthodes USEtox, LC-Impact, EF 3.0 et IMPACT World+ ne proposent pas de résultats midpoint pour l'écotoxicité terrestre. Version SimaPro 9.2.0.2



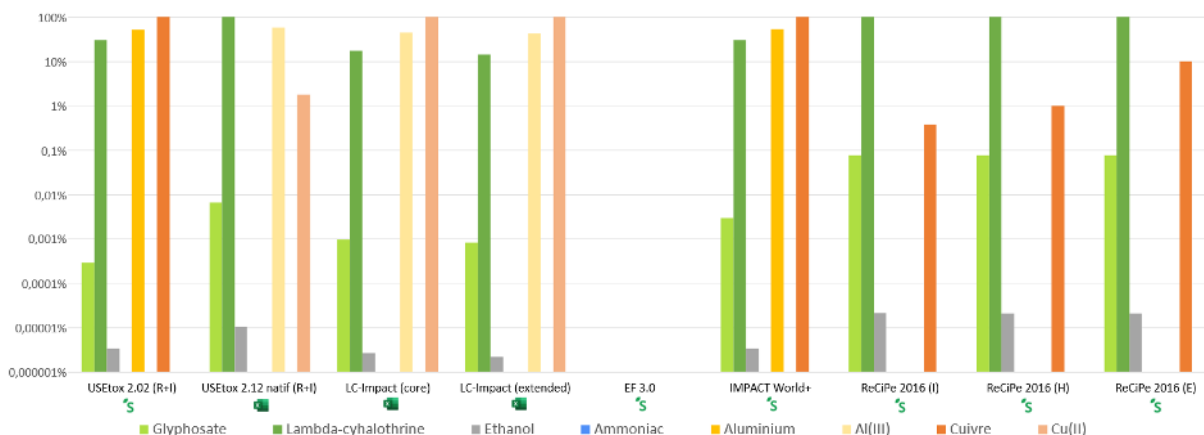
**Figure 23 : Facteurs de caractérisations pour 1 kg de différentes substances émissent dans l'eau (sous-compartiment unspécifié) pour la catégorie d'impact midpoint écotoxicité terrestre selon différentes méthodes ACV. L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est en valeur absolue (CTUe, PAF m3.day (A) ou kg 1,4-DCB(B)). A noter que les méthodes USEtox, LC-Impact, EF 3.0 et IMPACT World+ ne proposent pas de résultats midpoint pour l'écotoxicité terrestre. Version SimaPro 9.2.0.2**



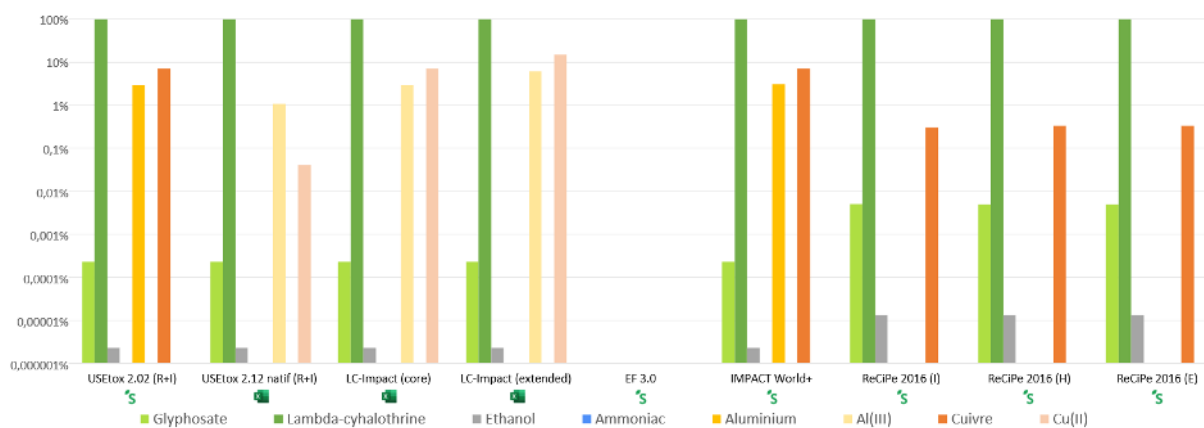
**Figure 24 : Facteurs de caractérisations pour 1 kg de différentes substances émissent dans le sol (sous-compartiment unspécifié) pour la catégorie d'impact midpoint écotoxicité terrestre selon différentes méthodes ACV. L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est en valeur absolue (CTUe, PAF m3.day (A) ou kg 1,4-DCB(B)). A noter que les méthodes USEtox, LC-Impact, EF 3.0 et IMPACT World+ ne proposent pas de résultats midpoint pour l'écotoxicité terrestre. Version SimaPro 9.2.0.2**

## Annexe 11 - Pondération relative des substances au niveau endpoint

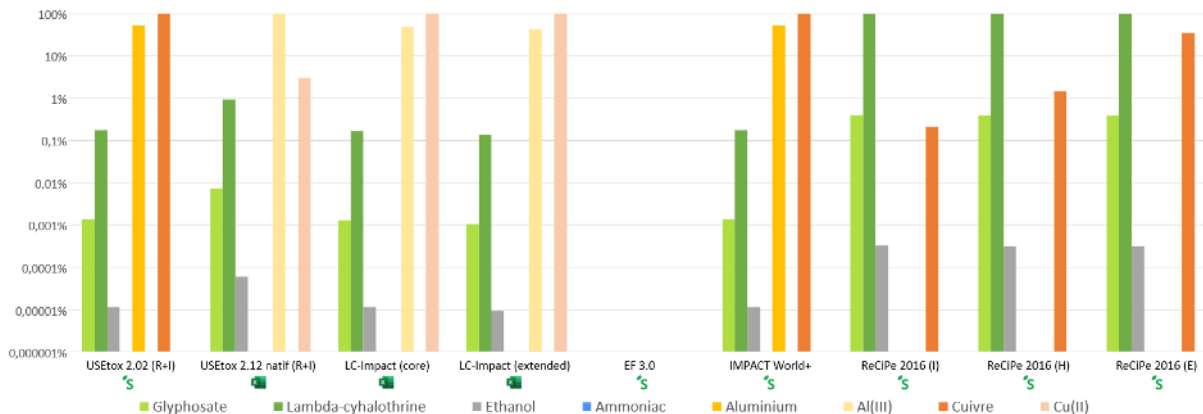
### Résultats pour l'écotoxicité d'eau douce



**Figure 25 : Pondération relative des substances pour les impacts sur l'écotoxicité d'eau douce pour 1kg de substances émises dans l'air (sous compartiment unspecified) en fonction des différentes méthodes ACV. Le niveau d'impact est endpoint. L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est logarithmique. Pour chaque méthode, il normalise l'impact de la substance le plus important à 100% et permet d'illustrer la pondération relative des substances par méthode sur une échelle logarithmique. A noter que la méthode EF 3.0 ne propose pas de résultats endpoint. Version SimaPro 9.2.0.2.**

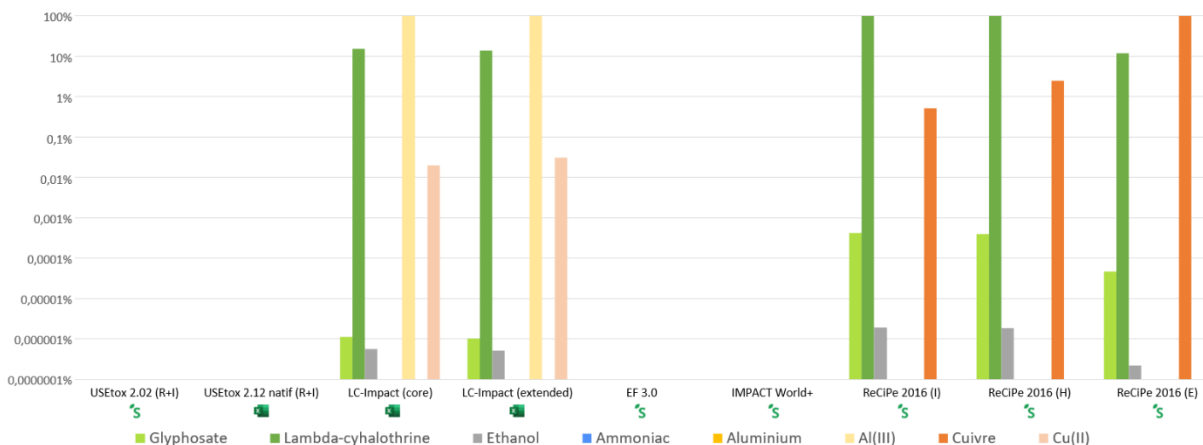


**Figure 26 : Pondération relative des substances pour les impacts sur l'écotoxicité d'eau douce pour 1kg de substances émises dans l'eau (sous compartiment unspecified) en fonction des différentes méthodes ACV. Le niveau d'impact est endpoint. L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est logarithmique. Pour chaque méthode, il normalise l'impact de la substance le plus important à 100% et permet d'illustrer la pondération relative des substances par méthode sur une échelle logarithmique. A noter que la méthode EF 3.0 ne propose pas de résultats endpoint. Version SimaPro 9.2.0.2.**

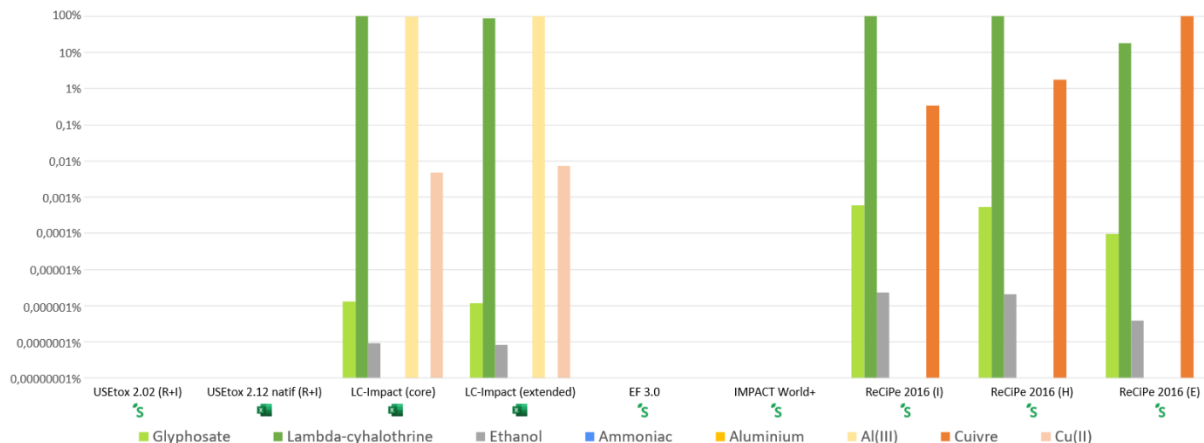


**Figure 27 : Pondération relative des substances pour les impacts sur l'écotoxicité d'eau douce pour 1kg de substances émises dans le sol (sous compartiment unspecified) en fonction des différentes méthodes ACV. Le niveau d'impact est endpoint. L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est logarithmique. Pour chaque méthode, il normalise l'impact de la substance le plus important à 100% et permet d'illustrer la pondération relative des substances par méthode sur une échelle logarithmique. A noter que la méthode EF 3.0 ne propose pas de résultats endpoint. Version SimaPro 9.2.0.2.**

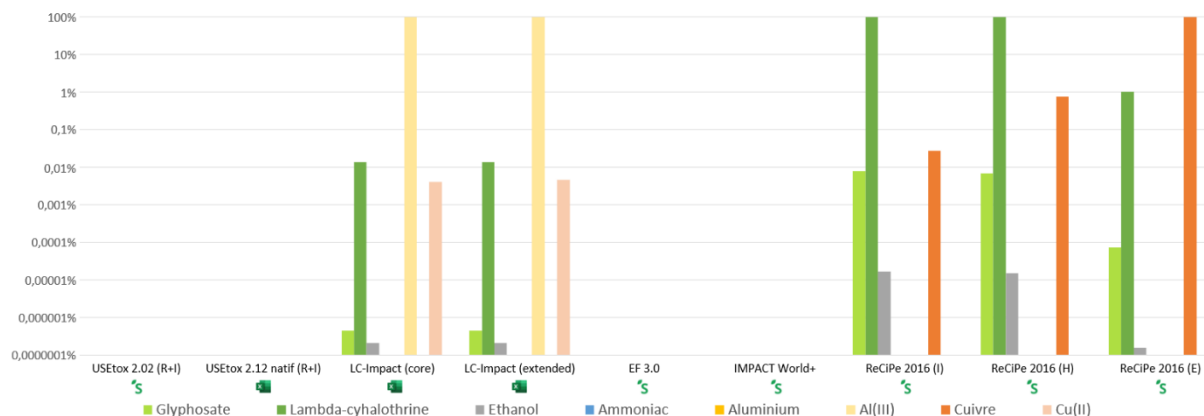
### Résultats pour l'écotoxicité marine



**Figure 28 : Pondération relative des substances pour les impacts sur l'écotoxicité marine pour 1kg de substances émises dans l'air (sous compartiment unspecified) en fonction des différentes méthodes ACV. Le niveau d'impact est endpoint. L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est logarithmique. Pour chaque méthode, il normalise l'impact de la substance le plus important à 100% et permet d'illustrer la pondération relative des substances par méthode sur une échelle logarithmique. A noter que les méthodes USEtox, EF 3.0 et IMPACT World+ ne proposent pas de résultats endpoint pour l'écotoxicité marine. Version SimaPro 9.2.0.2.**



**Figure 29 : Pondération relative des substances pour les impacts sur l'écotoxicité marine pour 1kg de substances émises dans l'eau (sous compartiment unspecified) en fonction des différentes méthodes ACV. Le niveau d'impact est endpoint. L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est logarithmique. Pour chaque méthode, il normalise l'impact de la substance le plus important à 100% et permet d'illustrer la pondération relative des substances par méthode sur une échelle logarithmique. A noter que les méthodes USEtox, EF 3.0 et IMPACT World+ ne proposent pas de résultats endpoint pour l'écotoxicité marine. Version SimaPro 9.2.0.2.**



**Figure 30 : Pondération relative des substances pour les impacts sur l'écotoxicité marine pour 1kg de substances émises dans le sol (sous compartiment unspecified) en fonction des différentes méthodes ACV. Le niveau d'impact est endpoint. L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est logarithmique. Pour chaque méthode, il normalise l'impact de la substance le plus important à 100% et permet d'illustrer la pondération relative des substances par méthode sur une échelle logarithmique. A noter que les méthodes USEtox, EF 3.0 et IMPACT World+ ne proposent pas de résultats endpoint pour l'écotoxicité marine. Version SimaPro 9.2.0.2.**

Résultats pour l'écotoxicité terrestre

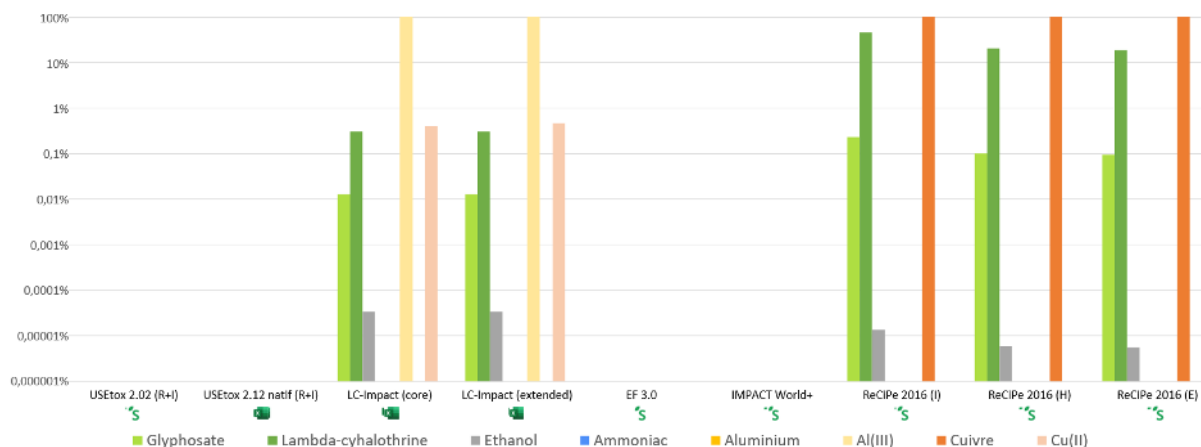


Figure 31 : Pondération relative des substances pour les impacts sur l'écotoxicité terrestre pour 1kg de substances émises dans l'air (sous compartiment unspecified) en fonction des différentes méthodes ACV. Le niveau d'impact est endpoint. L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est logarithmique. Pour chaque méthode, il normalise l'impact de la substance le plus important à 100% et permet d'illustrer la pondération relative des substances par méthode sur une échelle logarithmique. A noter que les méthodes USEtox, EF 3.0 et IMPACT World+ ne proposent pas de résultats endpoint pour l'écotoxicité terrestre. Version SimaPro 9.2.0.2.

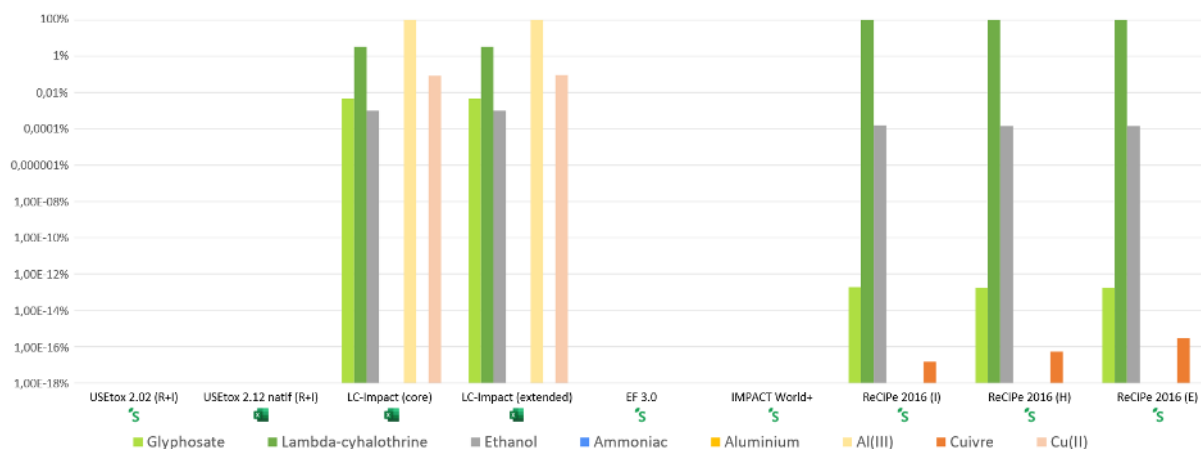
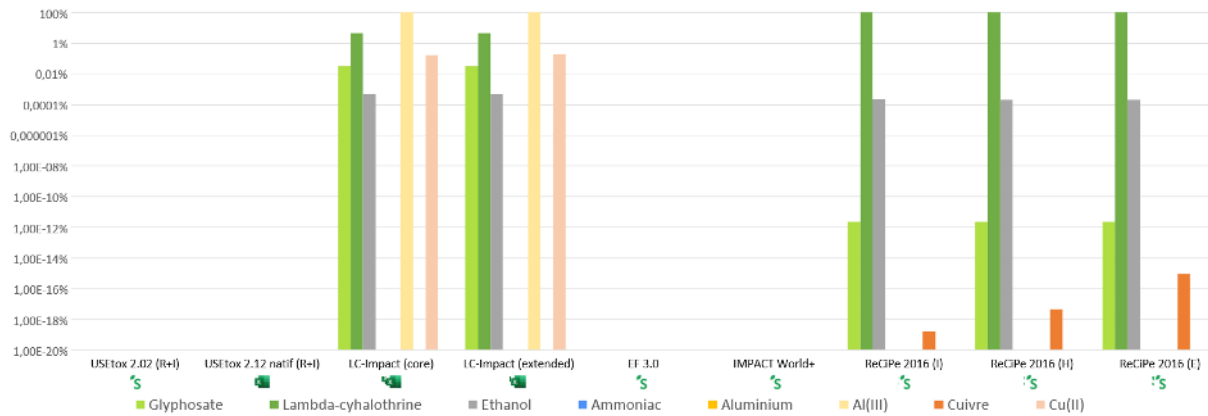


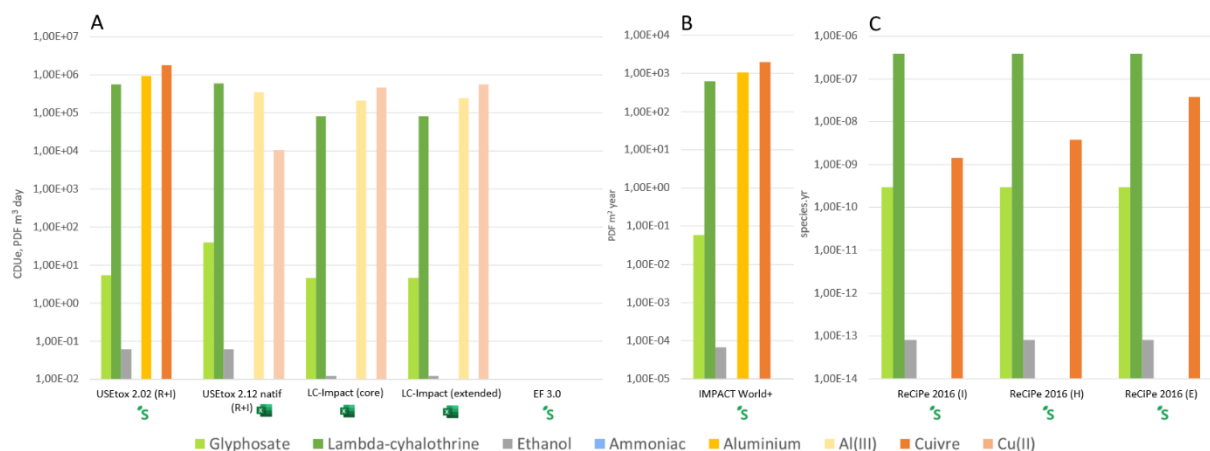
Figure 32 : Pondération relative des substances pour les impacts sur l'écotoxicité terrestre pour 1kg de substances émises dans l'eau (sous compartiment unspecified) en fonction des différentes méthodes ACV. Le niveau d'impact est endpoint. L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est logarithmique. Pour chaque méthode, il normalise l'impact de la substance le plus important à 100% et permet d'illustrer la pondération relative des substances par méthode sur une échelle logarithmique. A noter que les méthodes USEtox, EF 3.0 et IMPACT World+ ne proposent pas de résultats endpoint pour l'écotoxicité terrestre. Version SimaPro 9.2.0.2.



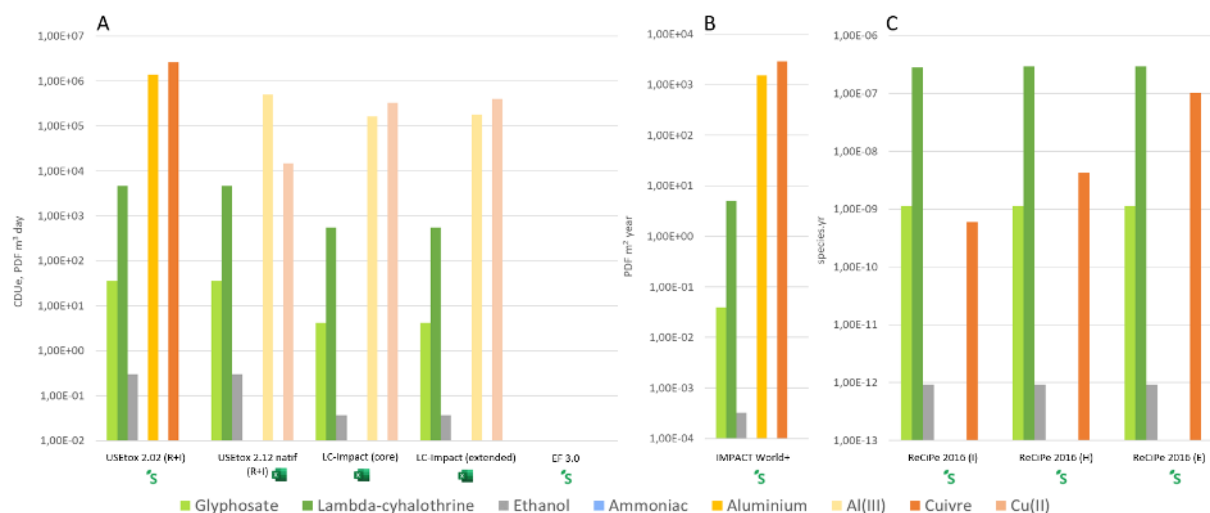
**Figure 33 : Pondération relative des substances pour les impacts sur l'écotoxicité terrestre pour 1kg de substances émises dans le sol (sous compartiment unspecified) en fonction des différentes méthodes ACV. Le niveau d'impact est endpoint. L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est logarithmique. Pour chaque méthode, il normalise l'impact de la substance le plus important à 100% et permet d'illustrer la pondération relative des substances par méthode sur une échelle logarithmique. A noter que les méthodes USEtox, EF 3.0 et IMPACT World+ ne proposent pas de résultats endpoint pour l'écotoxicité terrestre. Version SimaPro 9.2.0.2.**

## Annexe 12 - Valeurs absolues des substances au niveau endpoint

### Résultats pour l'écotoxicité d'eau douce



**Figure 34 : Facteurs de caractérisations pour 1 kg de différentes substances émises dans l'air (sous-compartiment unspécifié) pour la catégorie d'impact intermédiaire endpoint écotoxicité des eaux douces selon différentes méthodes ACV.** L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est en valeur absolue (CDUe, PDF m<sup>3</sup>.day (A), PDF m<sup>2</sup>.year (B) ou kg 1,4-DCB (C)). A noter que la méthode EF 3.0 ne propose pas de résultats endpoint. Version SimaPro 9.2.0.2



**Figure 35 : Facteurs de caractérisations pour 1 kg de différentes substances émises dans le sol (sous-compartiment unspécifié) pour la catégorie d'impact intermédiaire endpoint écotoxicité des eaux douces selon différentes méthodes ACV.** L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est en valeur absolue (CDUe, PDF m<sup>3</sup>.day (A), PDF m<sup>2</sup>.year (B) ou kg 1,4-DCB (C)). A noter que la méthode EF 3.0 ne propose pas de résultats endpoint. Version SimaPro 9.2.0.2

Résultats pour l'écotoxicité marine

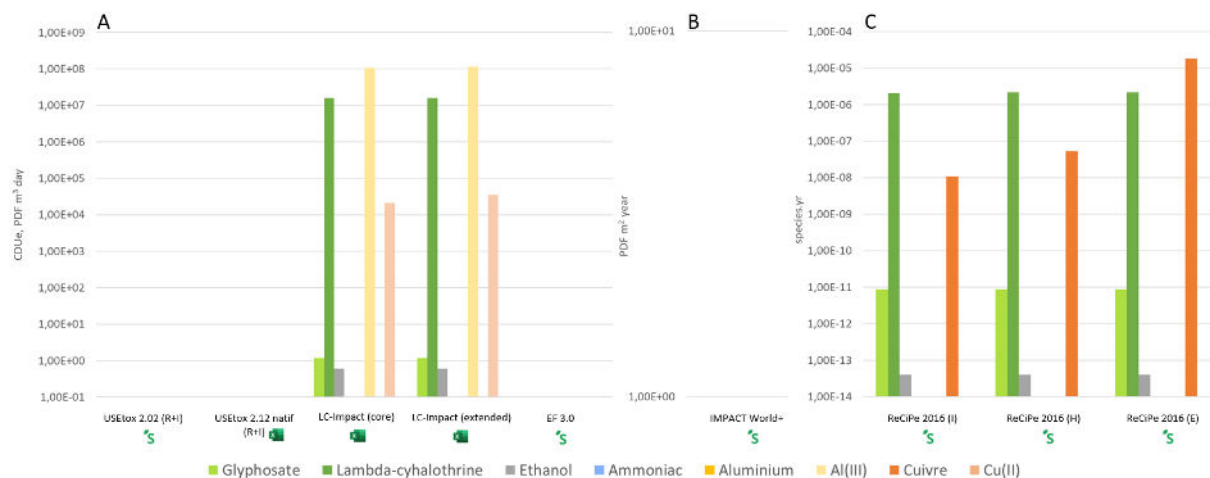


Figure 36 : Facteurs de caractérisations pour 1 kg de différentes substances émises dans l'air (sous-compartiment unspécifié) pour la catégorie d'impact intermédiaire endpoint écotoxicité marine selon différentes méthodes ACV. L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est en valeur absolue (CDUe, PDF m3.day (A), PDF m2.year (B) ou kg 1,4-DCB (C)). A noter que les méthodes USEtox, EF 3.0 et IMPACT World+ ne proposent pas de résultats endpoint pour l'écotoxicité marine. Version SimaPro 9.2.0.2

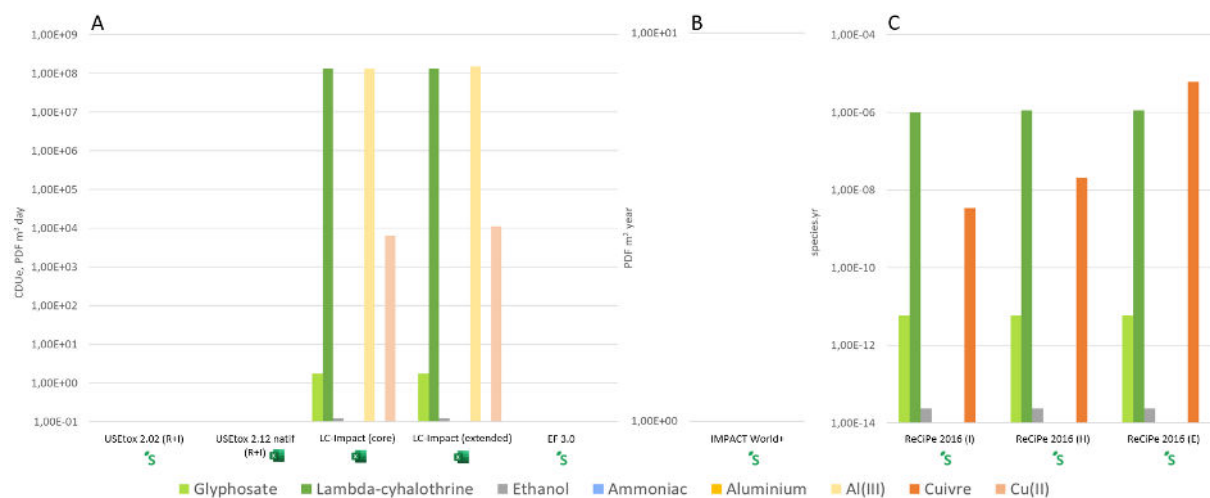


Figure 37 : Facteurs de caractérisations pour 1 kg de différentes substances émises dans l'eau (sous-compartiment unspécifié) pour la catégorie d'impact intermédiaire endpoint écotoxicité marine selon différentes méthodes ACV. L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est en valeur absolue (CDUe, PDF m3.day (A), PDF m2.year (B) ou kg 1,4-DCB (C)). A noter que les méthodes USEtox, EF 3.0 et IMPACT World+ ne proposent pas de résultats endpoint pour l'écotoxicité marine. Version SimaPro 9.2.0.2

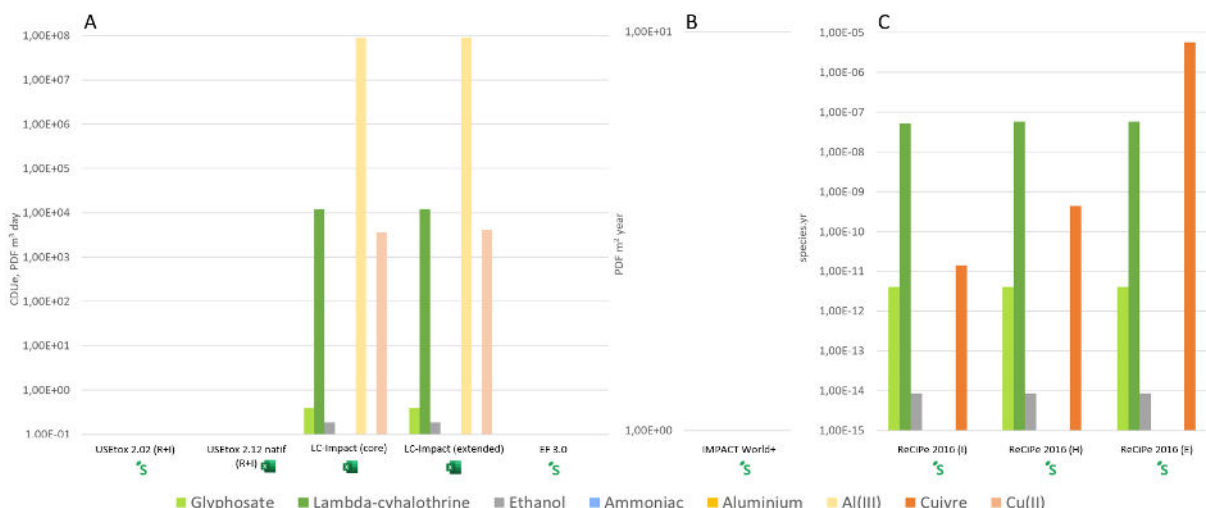


Figure 38 : Facteurs de caractérisations pour 1 kg de différentes substances émises dans le sol (sous-compartiment unspécifié) pour la catégorie d'impact intermédiaire endpoint écotoxicité marine selon différentes méthodes ACV. L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est en valeur absolue (CDUe, PDF m3.day (A), PDF m2.year (B) ou kg 1,4-DCB (C)). A noter que les méthodes USEtox, EF 3.0 et IMPACT World+ ne proposent pas de résultats endpoint pour l'écotoxicité marine. Version SimaPro 9.2.0.2

Résultats pour l'écotoxicité terrestre

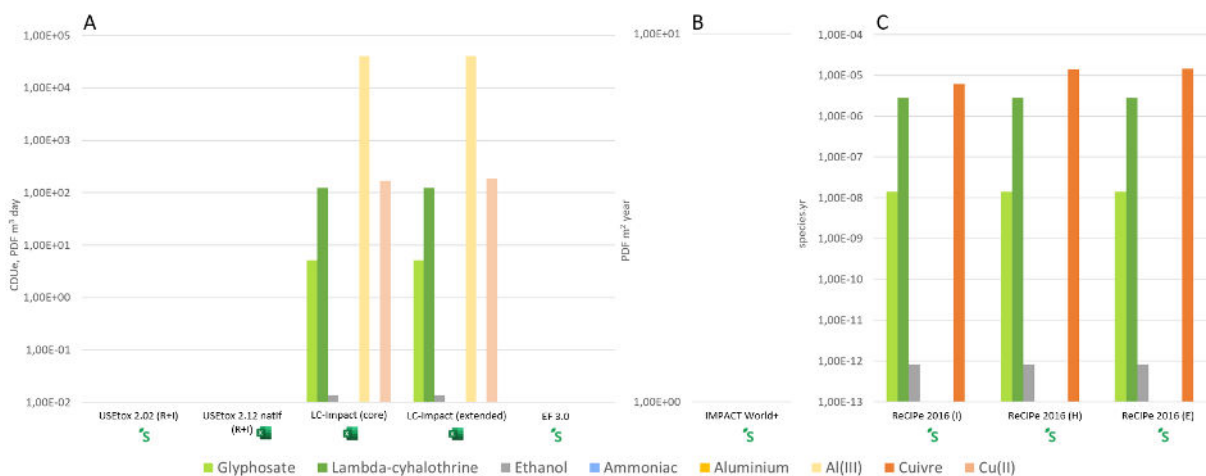
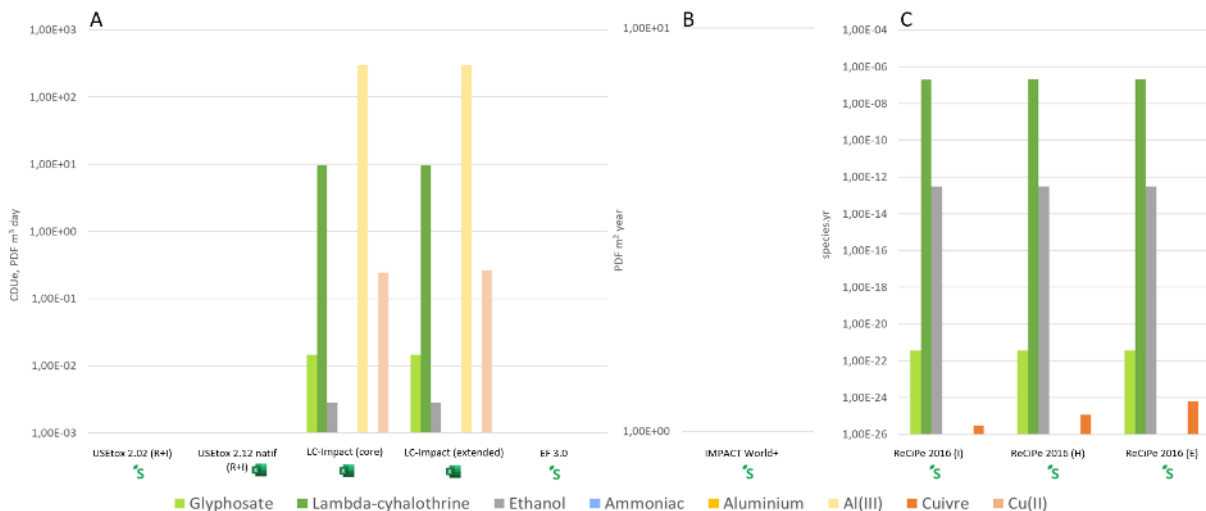
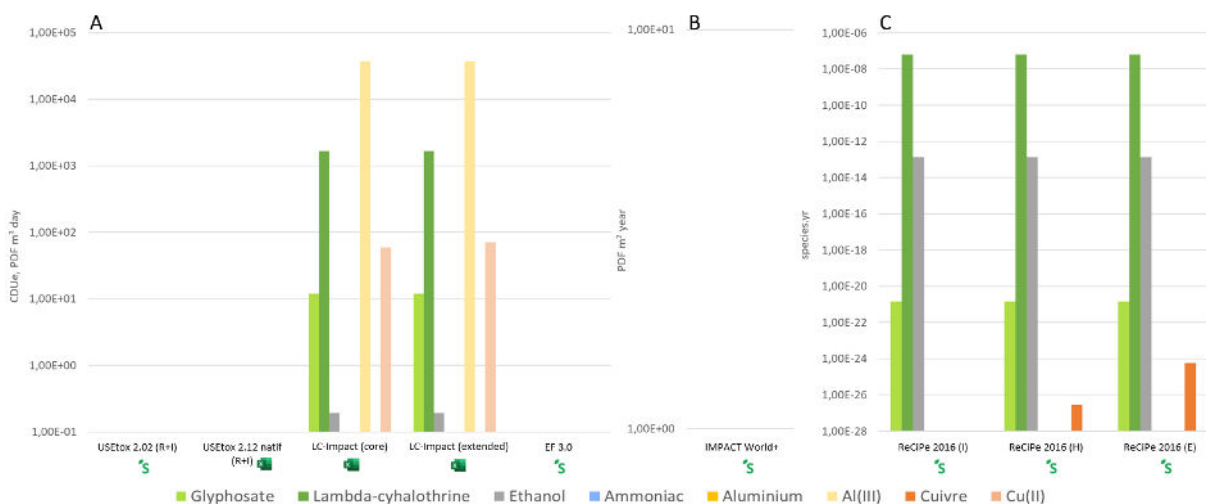


Figure 39 : Facteurs de caractérisations pour 1 kg de différentes substances émises dans l'air (sous-compartiment unspécifié) pour la catégorie d'impact intermédiaire endpoint écotoxicité terrestre selon différentes méthodes ACV. L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est en valeur absolue (CDUe, PDF m3.day (A), PDF m2.year (B) ou kg 1,4-DCB (C)). A noter que les méthodes USEtox, EF 3.0 et IMPACT World+ ne proposent pas de résultats endpoint pour l'écotoxicité terrestre. Version SimaPro 9.2.0.2

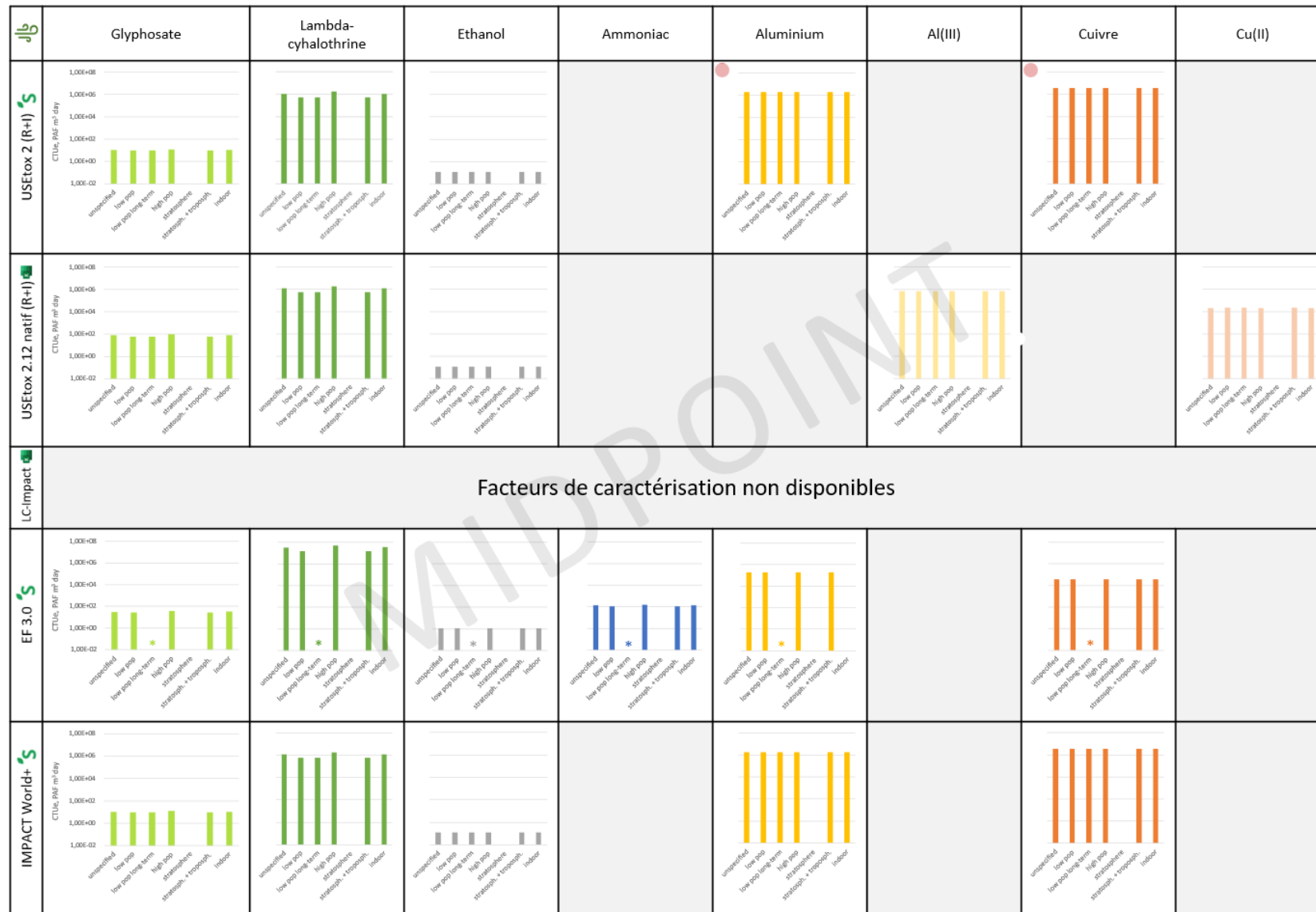


**Figure 40 : Facteurs de caractérisations pour 1 kg de différentes substances émises dans l'eau (sous-compartiment unspécifié) pour la catégorie d'impact intermédiaire endpoint écotoxicité terrestre selon différentes méthodes ACV.** L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est en valeur absolue ( $CDU_e$ ,  $PDF\ m^3\cdot day$  (A),  $PDF\ m^2\cdot year$  (B) ou  $kg\ 1,4-DCB$  (C)). A noter que les méthodes USEtox, EF 3.0 et IMPACT World+ ne proposent pas de résultats endpoint pour l'écotoxicité terrestre. Version SimaPro 9.2.0.2

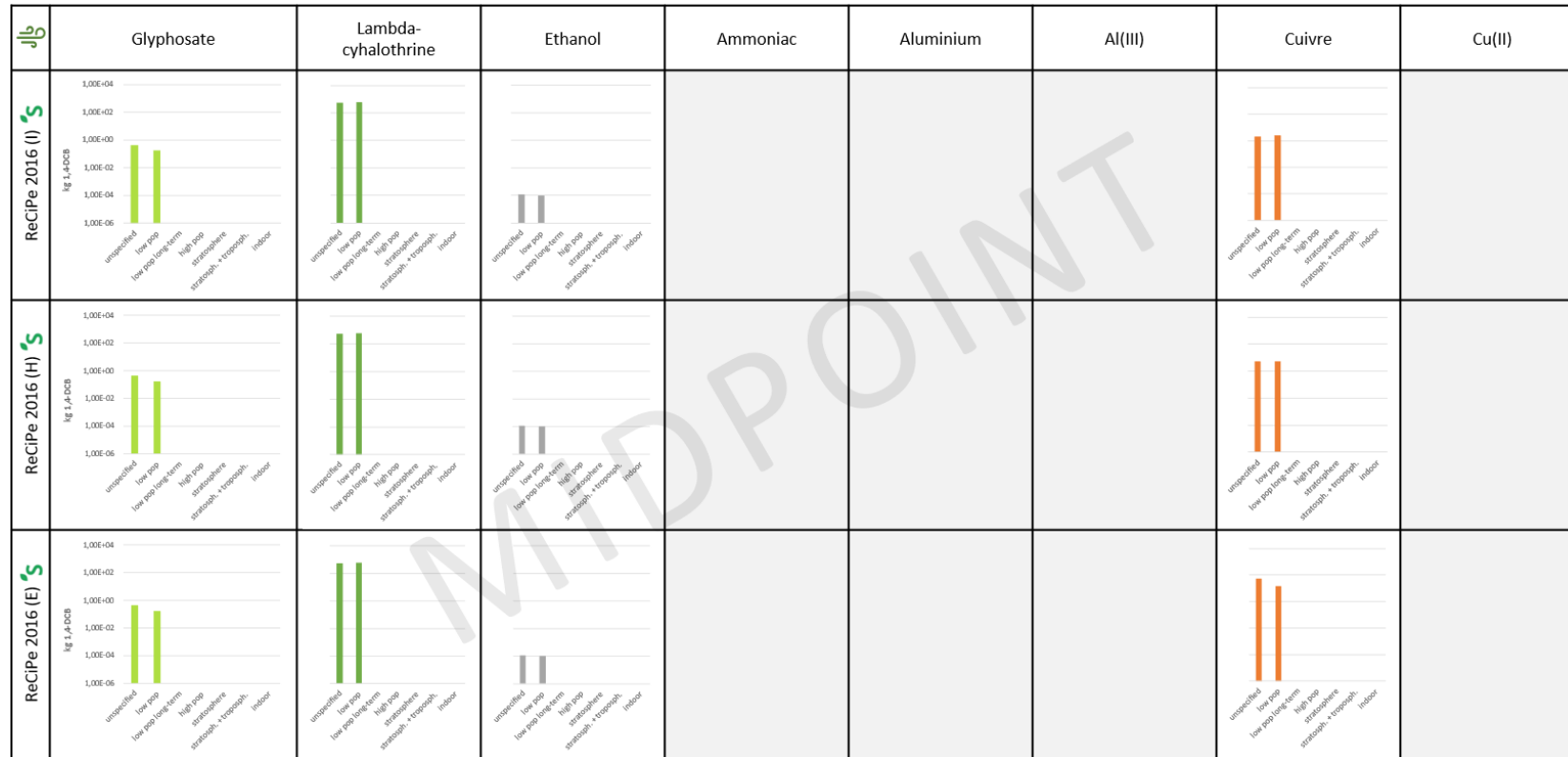


**Figure 41 : Facteurs de caractérisations pour 1 kg de différentes substances émises dans le sol (sous-compartiment unspécifié) pour la catégorie d'impact intermédiaire endpoint écotoxicité terrestre selon différentes méthodes ACV.** L'axe des abscisses représente les 8 substances étudiées en fonction des méthodes. L'origine des données (SimaPro vs fichier Excel de la méthode native) est précisée sous le nom de chaque méthode. L'axe des ordonnées est en valeur absolue ( $CDU_e$ ,  $PDF\ m^3\cdot day$  (A),  $PDF\ m^2\cdot year$  (B) ou  $kg\ 1,4-DCB$  (C)). A noter que les méthodes USEtox, EF 3.0 et IMPACT World+ ne proposent pas de résultats endpoint pour l'écotoxicité terrestre. Version SimaPro 9.2.0.2

**Annexe 13 - CFs des substances par sous-compartiment et par méthode au niveau midpoint**

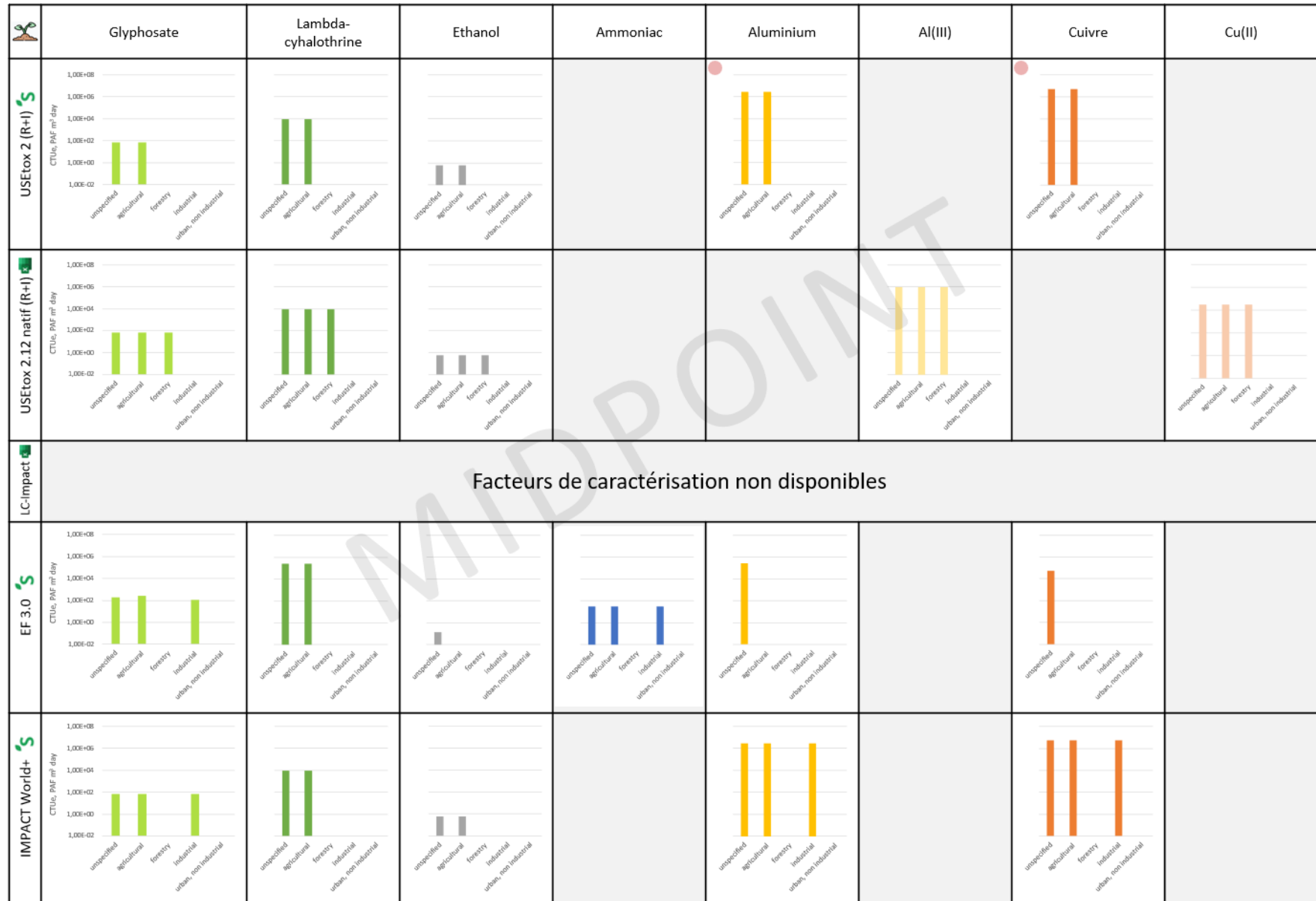


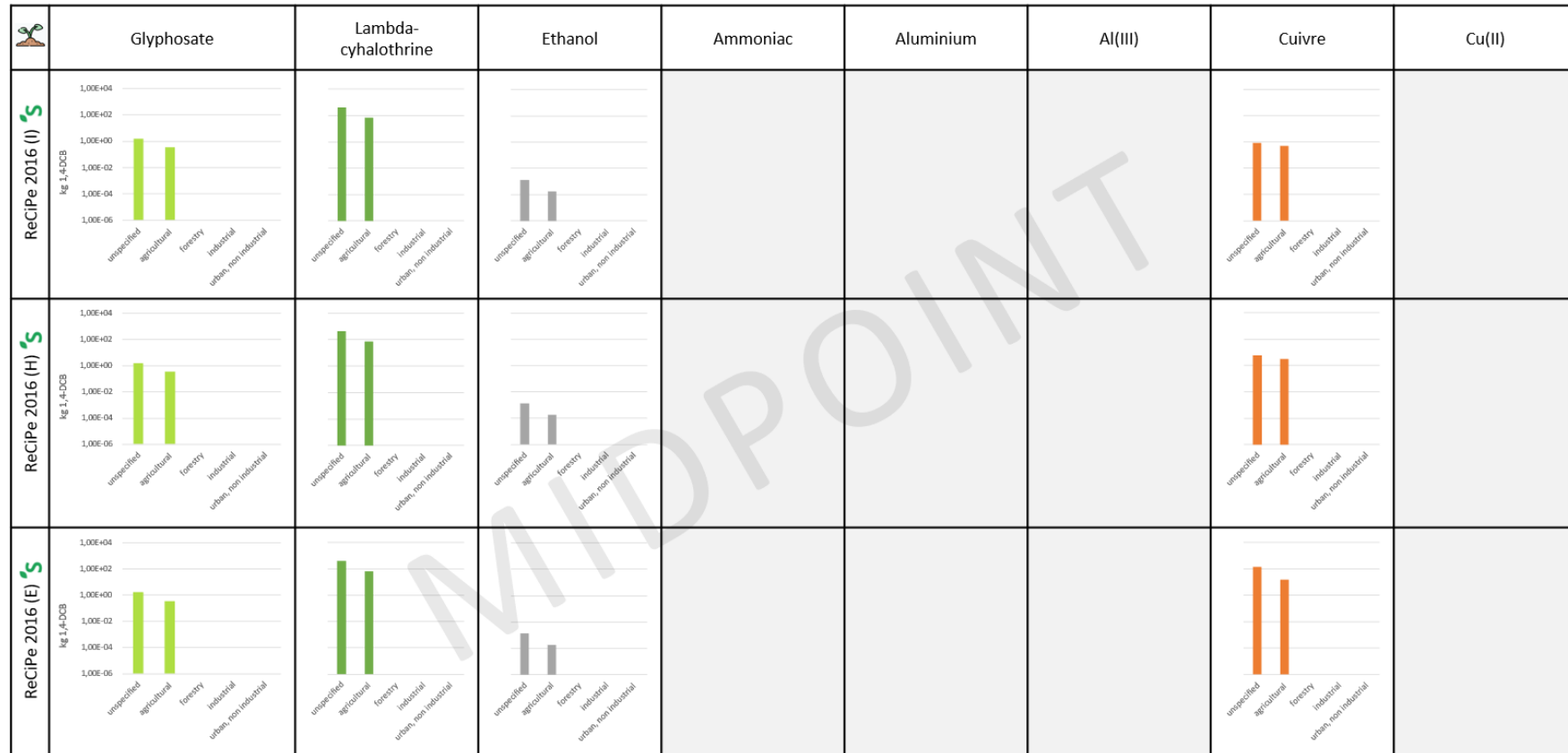
ECOTOXICITE : INDICATEURS, METHODOLOGIE, DEVELOPPEMENTS RECENTS ET A VENIR



**Figure 42 : Présentation des CFs par sous-compartiments (compartiment air) par méthodes et pour les différentes substances afin de caractériser les impacts midpoint sur l'écotoxicité d'eau douce.** Les pastilles rose présentes pour la méthode USEtox indiquent les substances « provisoires » et donc caractérisées uniquement dans la méthode USEtox 2.02 (R+I). Les logos SimaPro et Excel permettent également de déterminer si les CFs ont été obtenus à partir de la version disponible dans SimaPro (version 9.2.0.2) ou à partir du fichier natif (logo Excel). L'ordre des sous-compartiments liés aux émissions dans l'air et utilisé pour chaque graphique est le suivant : unspecified, low pop., low pop. long-term, high pop., stratosphere, stratosphere + troposphere, indoor. (\*) désigne une substance dont le CF est caractérisé avec une valeur nulle.

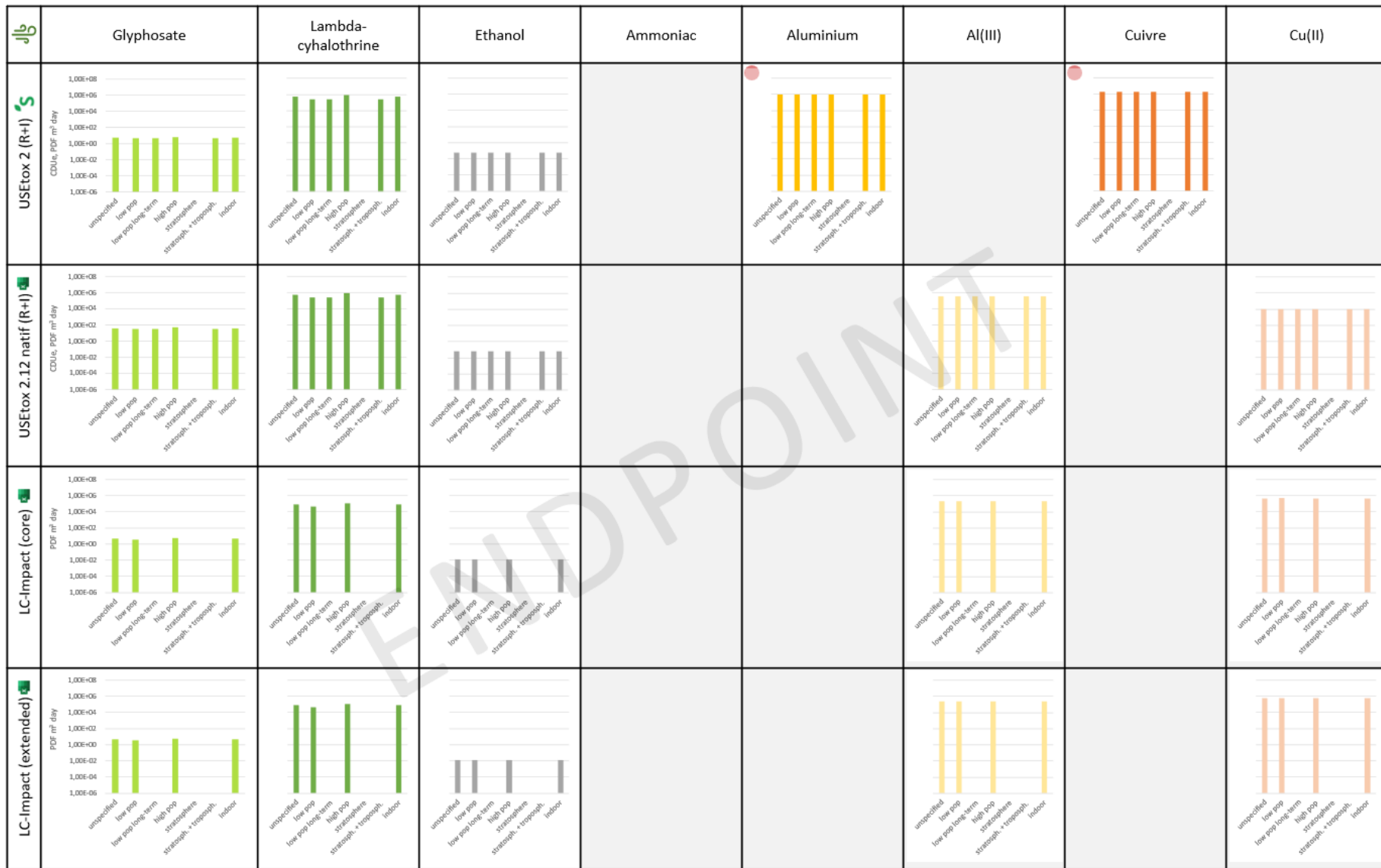
ECOTOXICITE : INDICATEURS, METHODOLOGIE, DEVELOPPEMENTS RECENTS ET A VENIR




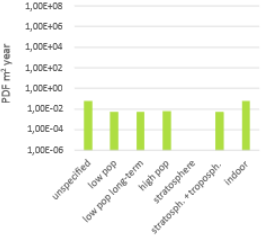
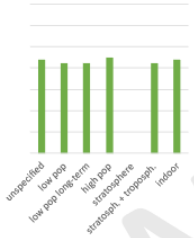
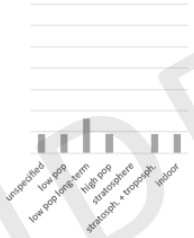

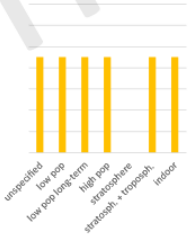
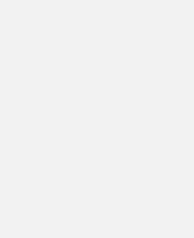
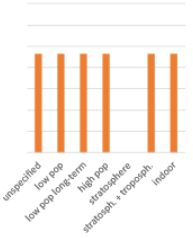
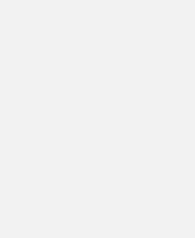


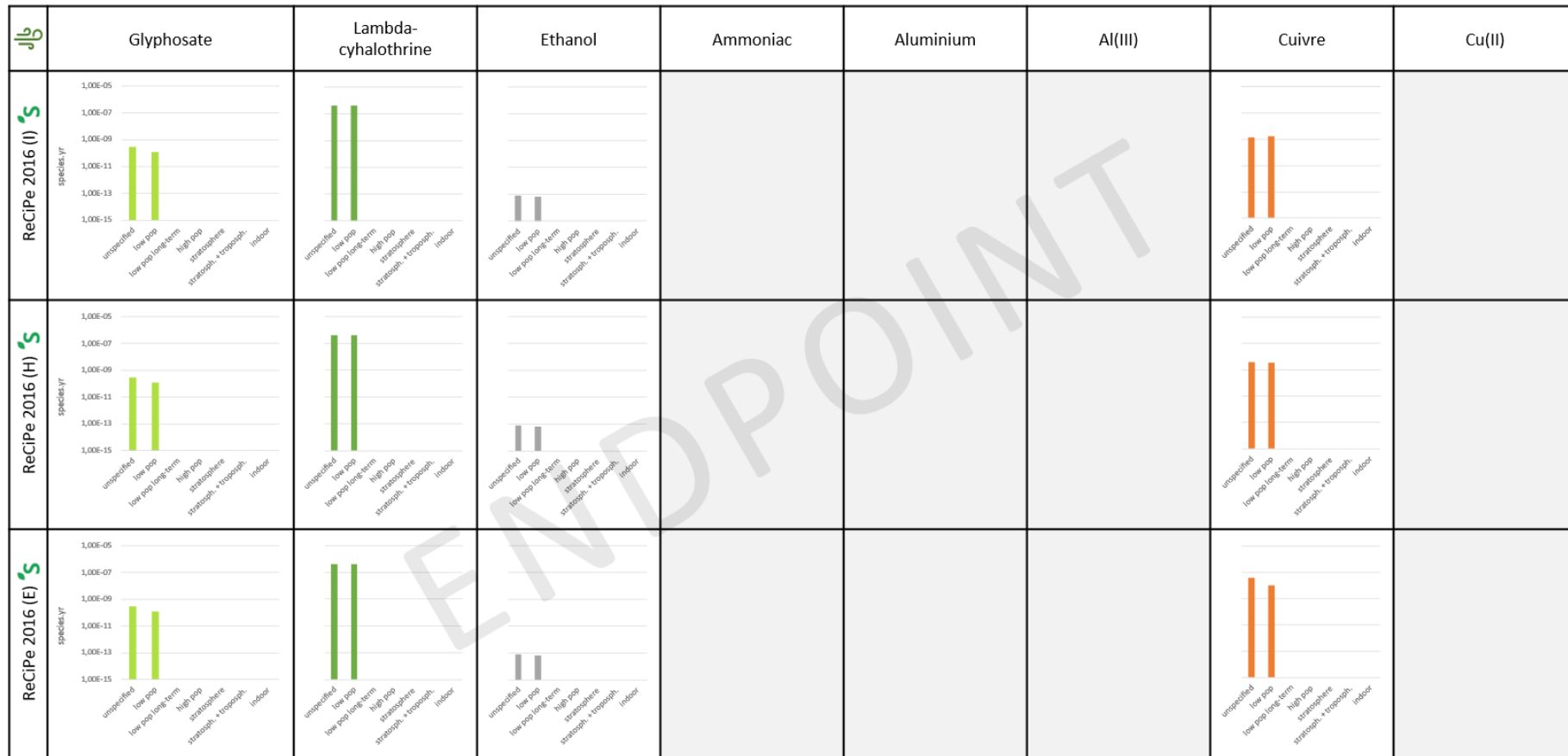
**Figure 43 : Présentation des CFs par sous-compartiments (compartiment sol) par méthodes et pour les différentes substances afin de caractériser les impacts midpoint sur l'écotoxicité d'eau douce.** Les pastilles rose présentes pour la méthode USEtox indiquent les substances « provisoires » et donc caractérisées uniquement dans la méthode USEtox 2.02 (R+I). Les logos SimaPro et Excel permettent également de déterminer si les CFs ont été obtenus à partir de la version disponible dans SimaPro (version 9.2.0.2) ou à partir du fichier natif (logo Excel). L'ordre des sous-compartiments liés aux émissions dans le sol et utilisés pour chaque graphique est le suivant : unspecified, agricultural, forestry, industrial, urban, non-industrial.

**Annexe 14 - CFs des substances par sous-compartiment et par méthode au niveau endpoint**



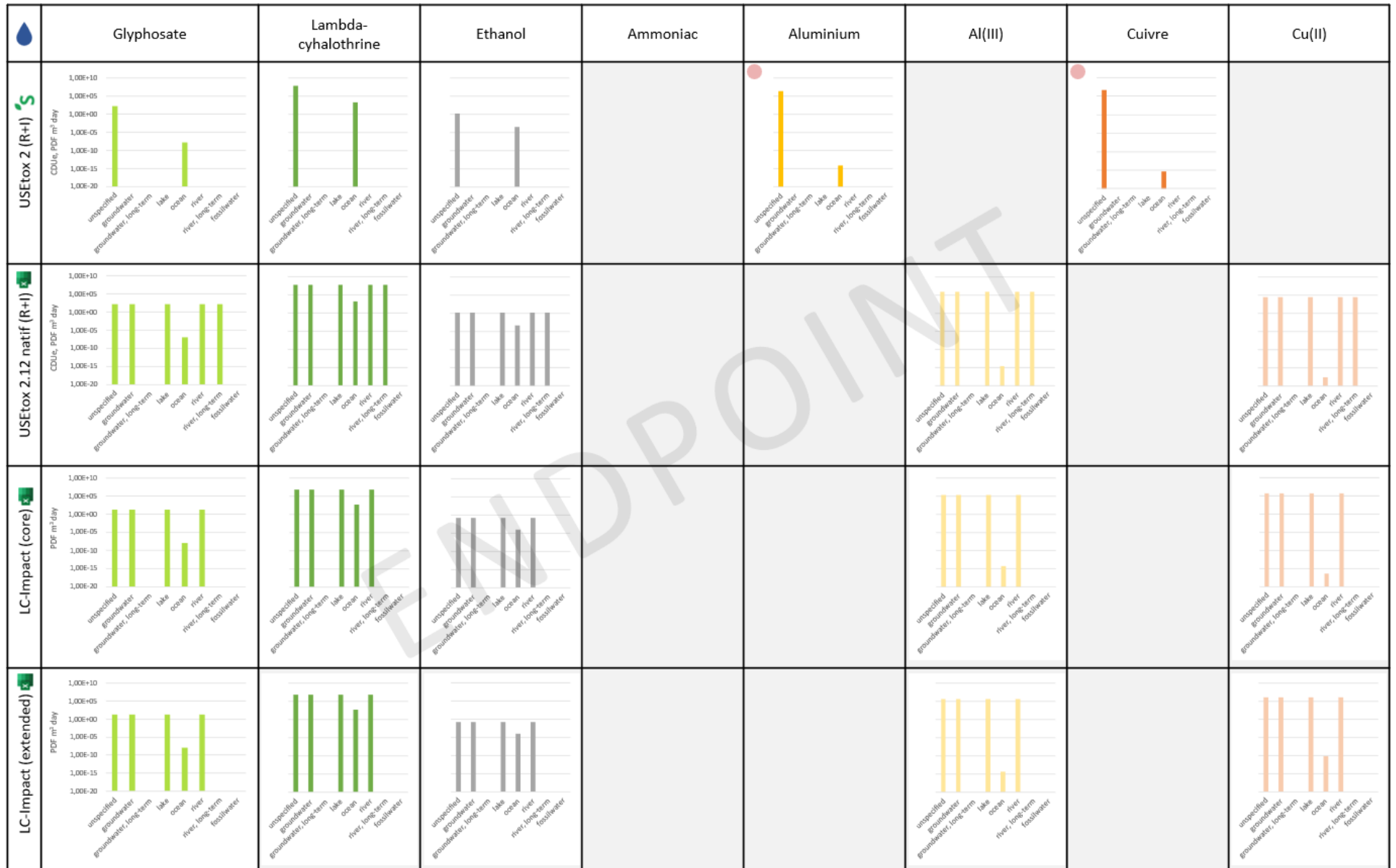
ECOTOXICITE : INDICATEURS, METHODOLOGIE, DEVELOPPEMENTS RECENTS ET A VENIR




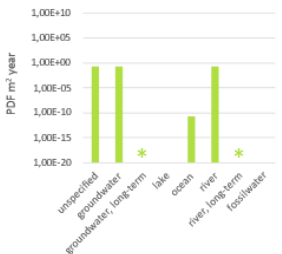
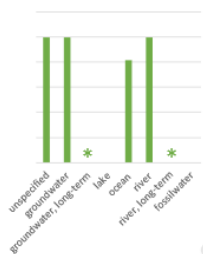
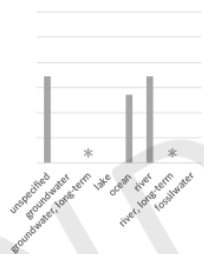
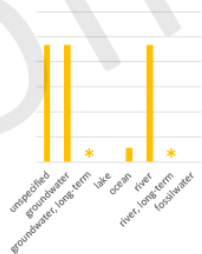
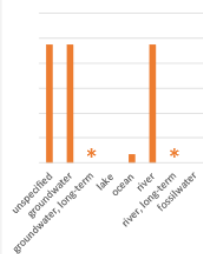
	Glyphosate	Lambda-cyhalothrine	Ethanol	Ammoniac	Aluminium	Al(III)	Cuivre	Cu(II)
EF 3.0's	Facteurs de caractérisation non disponibles							
IMPACT World+ PDF m <sup>3</sup> year								



**Figure 44 : Présentation des CFs par sous-compartiments (compartiment air) par méthodes et pour les différentes substances afin de caractériser les impacts endpoint sur l'écotoxicité d'eau douce.** Les pastilles rose présentes pour la méthode USEtox indiquent les substances « provisoires » et donc caractérisées uniquement dans la méthode USEtox 2.02 (R+I). Les logos SimaPro et Excel permettent également de déterminer si les CFs ont été obtenus à partir de la version disponible dans SimaPro (version 9.2.0.2) ou à partir du fichier natif (logo Excel). L'ordre des sous-compartiments liés aux émissions dans l'air et utilisé pour chaque graphique est le suivant : unspecified, low pop., low pop. long-term, high pop., stratosphere, stratosphere + troposphere, indoor.

ECOTOXICITE : INDICATEURS, METHODOLOGIE, DEVELOPPEMENTS RECENTS ET A VENIR



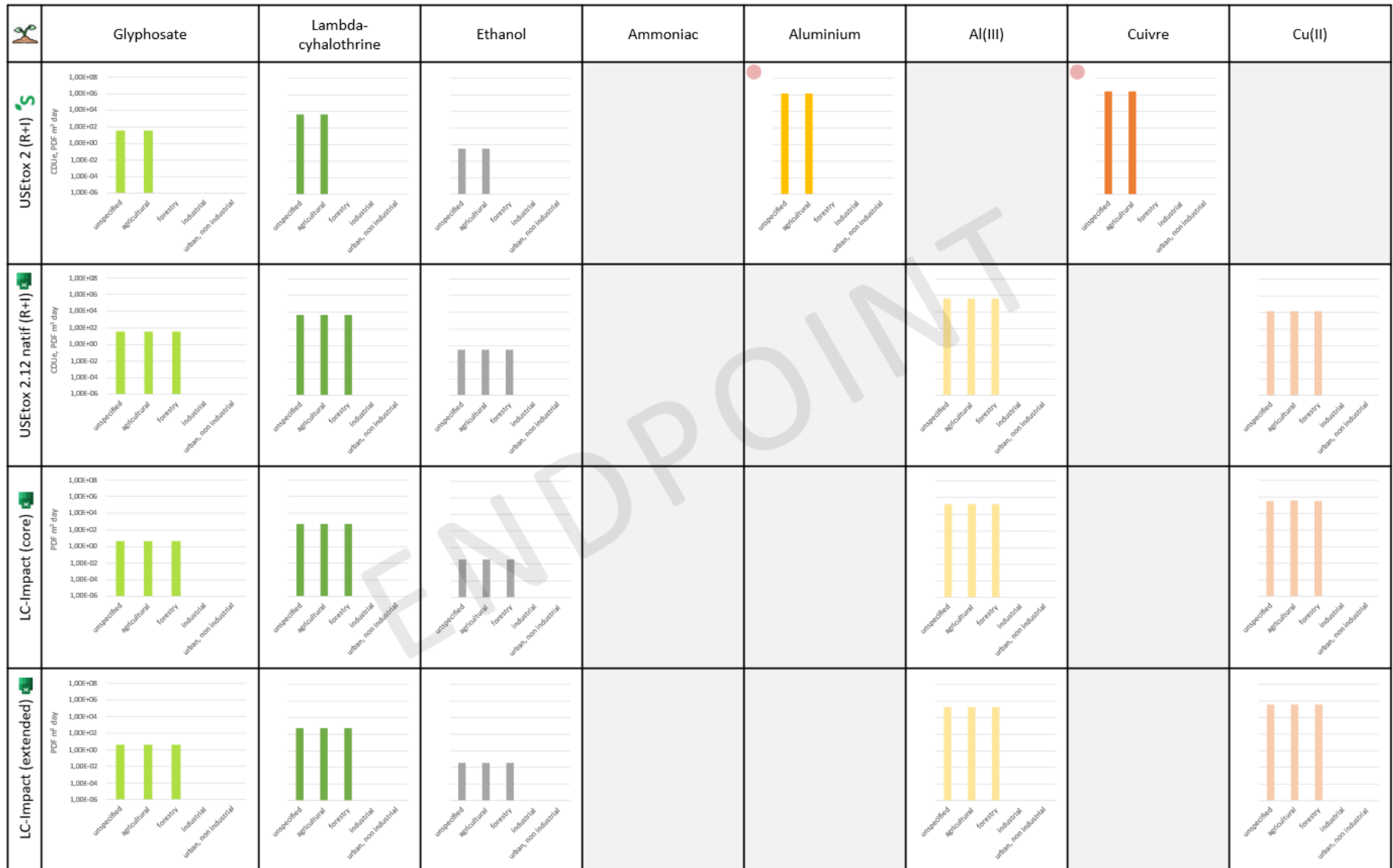
	Glyphosate	Lambda-cyhalothrine	Ethanol	Ammoniac	Aluminium	Al(III)	Cuivre	Cu(II)
EF 3.0 	Facteurs de caractérisation non disponibles							
IMPACT World+ 								

ECOTOXICITE : INDICATEURS, METHODOLOGIE, DEVELOPPEMENTS RECENTS ET A VENIR


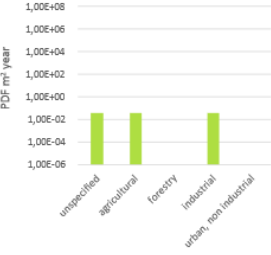
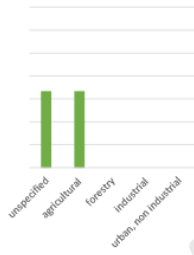
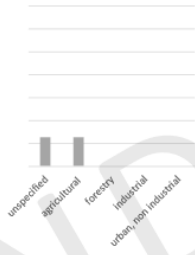

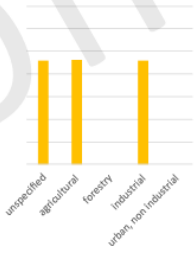
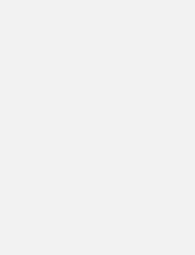
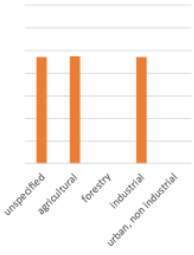
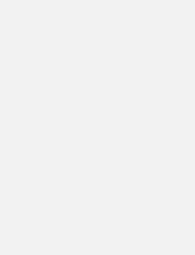


**Figure 45 : Présentation des CFs par sous-compartiments (compartiment eau) par méthodes et pour les différentes substances afin de caractériser les impacts endpoint sur l'écotoxicité d'eau douce.** Les pastilles rose présentes pour la méthode USEtox indiquent les substances « provisoires » et donc caractérisées uniquement dans la méthode USEtox 2.02 (R+I). Les logos SimaPro et Excel permettent également de déterminer si les CFs ont été obtenus à partir de la version disponible dans SimaPro (version 9.2.0.2) ou à partir du fichier natif (logo Excel). L'ordre des sous-compartiments liés aux émissions dans l'eau et utilisé pour chaque graphique est le suivant : unspecified, groundwater, groundwater long-term, lake, ocean, river, river long-term, fossilwater. (\*) désigne une substance dont le CF est caractérisé avec une valeur nulle.

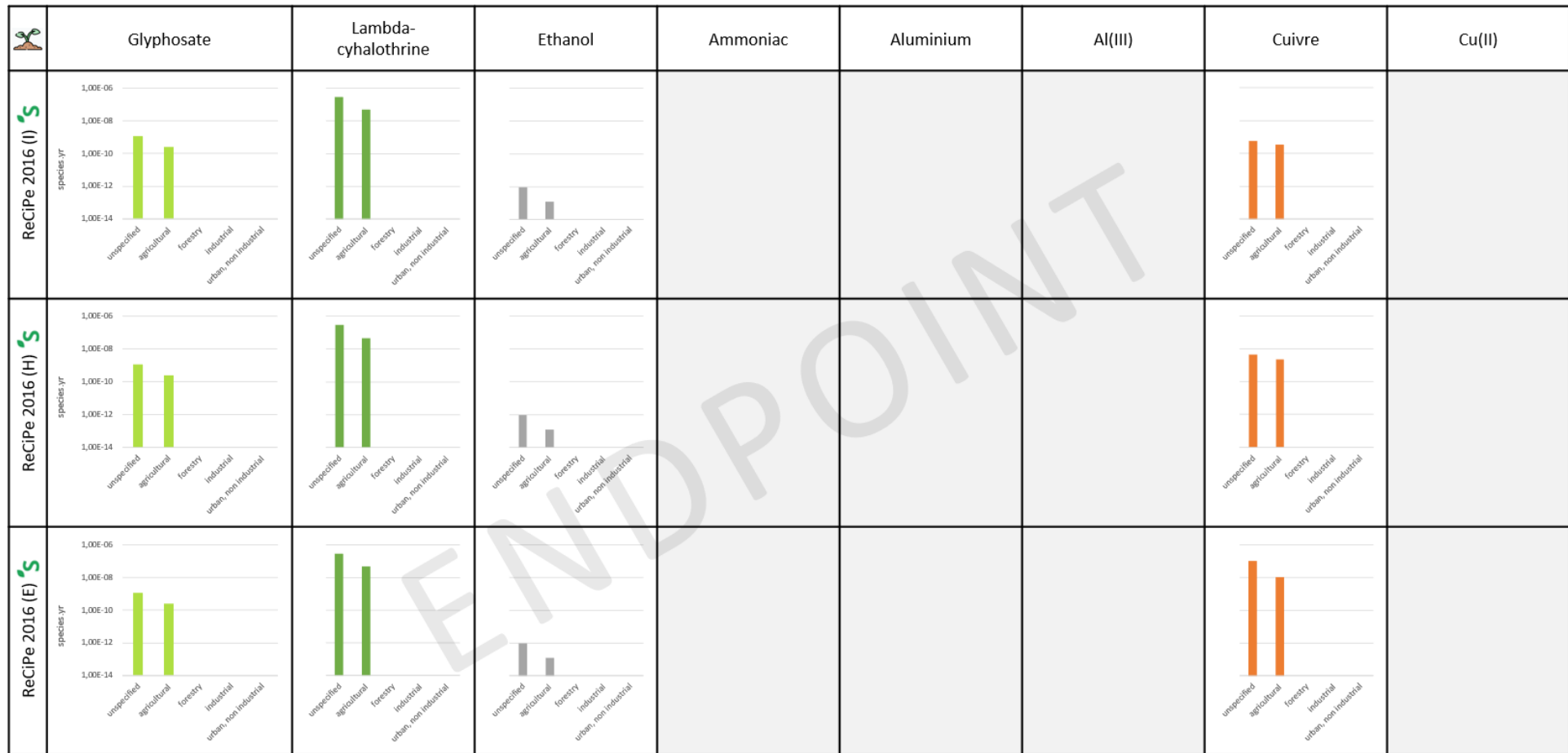
ECOTOXICITE : INDICATEURS, METHODOLOGIE, DEVELOPPEMENTS RECENTS ET A VENIR



ECOTOXICITE : INDICATEURS, METHODOLOGIE, DEVELOPPEMENTS RECENTS ET A VENIR

	Glyphosate	Lambda-cyhalothrine	Ethanol	Ammoniac	Aluminium	Al(III)	Cuivre	Cu(II)
EF 3.0 'S	Facteurs de caractérisation non disponibles							
IMPACT World+ 'S PDF m <sup>2</sup> year								

ECOTOXICITE : INDICATEURS, METHODOLOGIE, DEVELOPPEMENTS RECENTS ET A VENIR



**Figure 46 : Présentation des CFs par sous-compartiments (compartiment sol) par méthodes et pour les différentes substances afin de caractériser les impacts endpoint sur l'écotoxicité d'eau douce.** Les pastilles rose présentes pour la méthode USEtox indiquent les substances « provisoires » et donc caractérisées uniquement dans la méthode USEtox 2.02 (R+I). Les logos SimaPro et Excel permettent également de déterminer si les CFs ont été obtenus à partir de la version disponible dans SimaPro (version 9.2.0.2) ou à partir du fichier natif (logo Excel). L'ordre des sous-compartiments liés aux émissions dans le sol et utilisé pour chaque graphique est le suivant : unspecified, agricultural, forestry, industrial, urban, non-industrial.

### Annexe 15 - Résultats des cas d'études processus au niveau midpoint

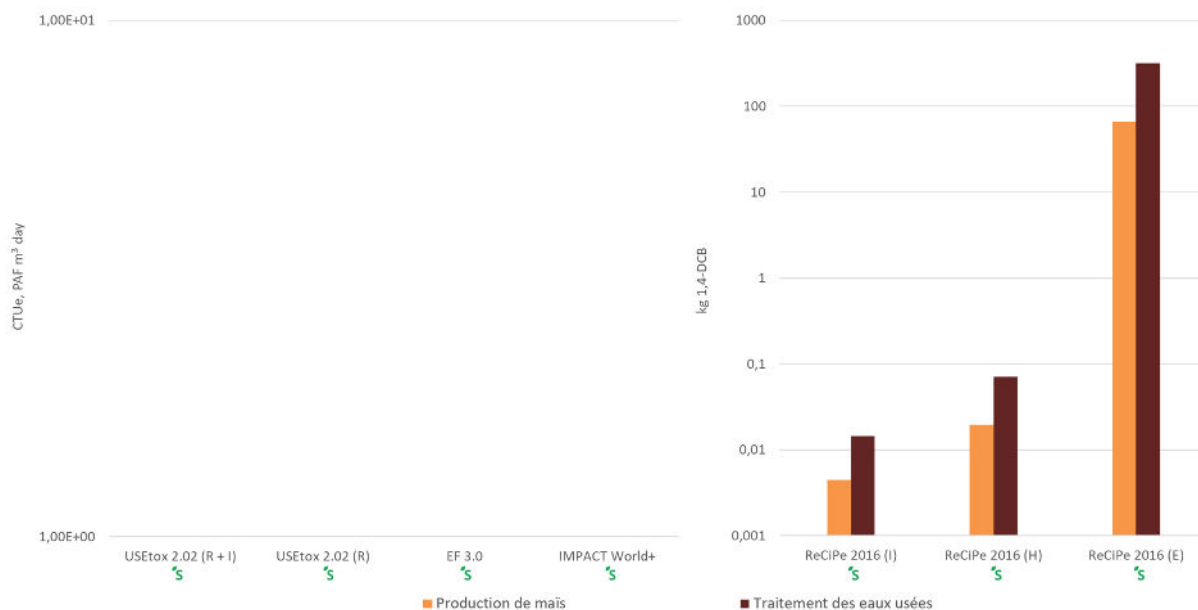


Figure 47 : Analyse des impacts de la production de maïs et du traitement des eaux usées au niveau midpoint et pour l'écotoxicité marine. A noter que les méthodes USEtox, EF 3.0 et IMPACT World+ ne proposent pas de résultats.

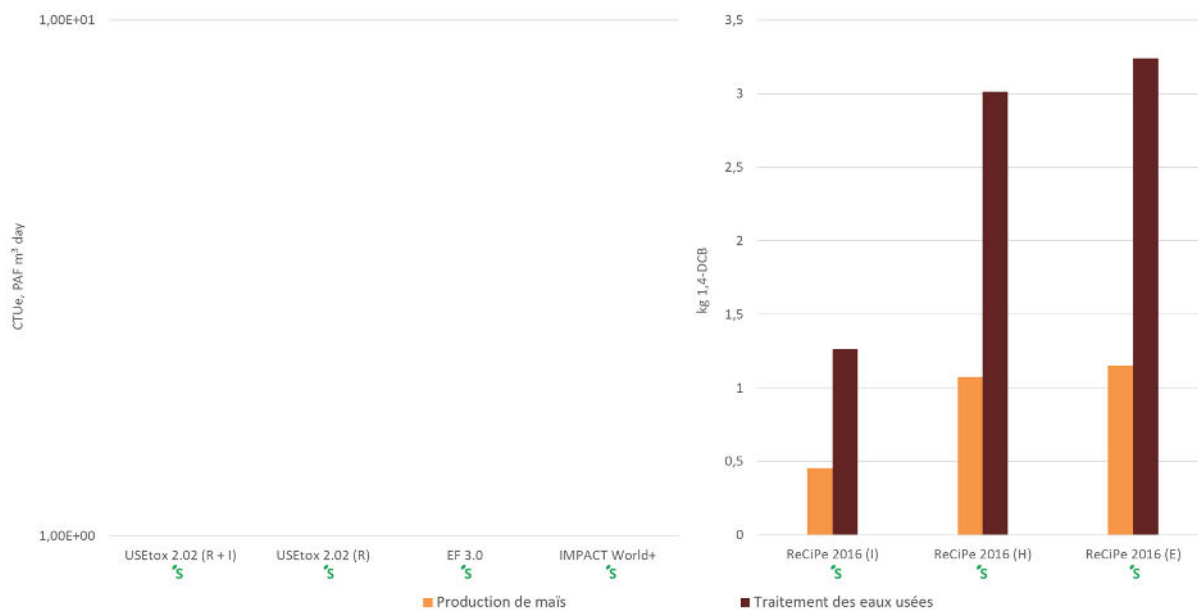


Figure 48 : Analyse des impacts de la production de maïs et du traitement des eaux usées au niveau midpoint et pour l'écotoxicité terrestre. A noter que les méthodes USEtox, EF 3.0 et IMPACT World+ ne proposent pas de résultats.

### Annexe 16 - Résultats des cas d'études processus au niveau endpoint

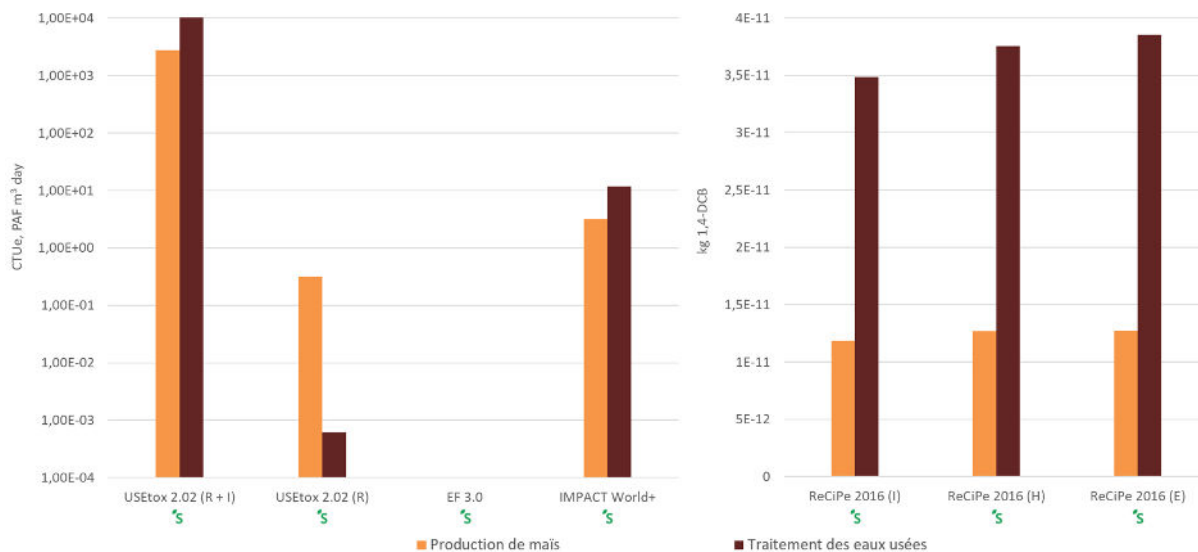


Figure 49 : Analyse des impacts de la production de maïs et du traitement des eaux usées au niveau endpoint et pour l'écotoxicité d'eau douce. A noter que la méthode EF 3.0 ne propose pas de résultats.

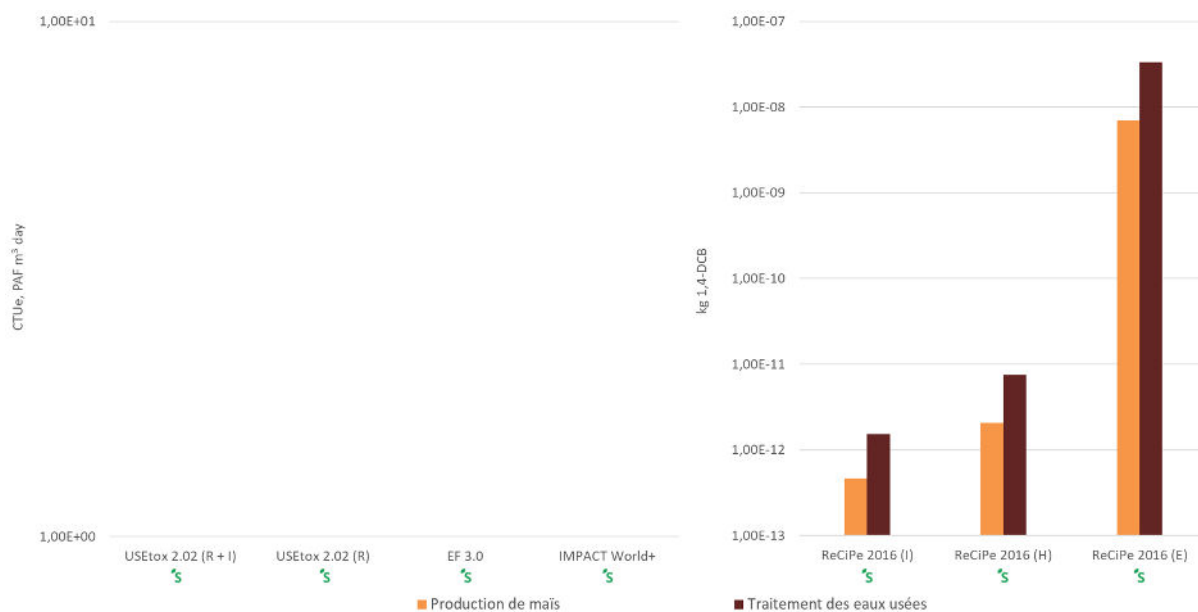
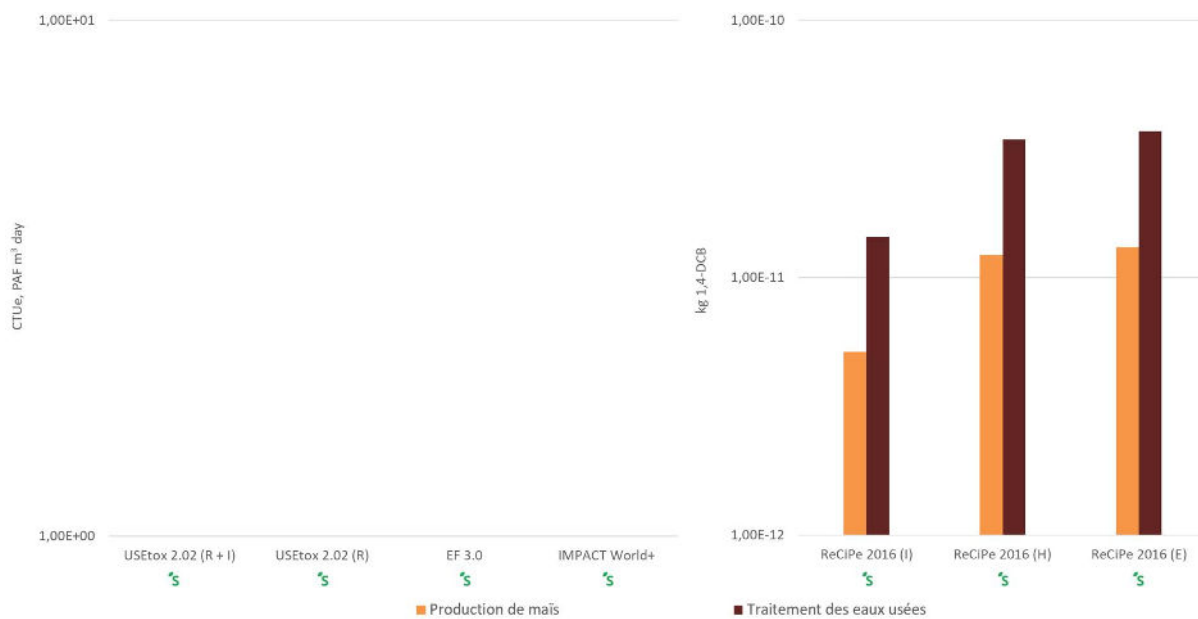


Figure 50 : Analyse des impacts de la production de maïs et du traitement des eaux usées au niveau endpoint et pour l'écotoxicité marine. A noter que les méthodes USEtox, EF 3.0 et IMPACT World+ ne proposent pas de résultats.



**Figure 51 : Analyse des impacts de la production de maïs et du traitement des eaux usées au niveau endpoint et pour l'écotoxicité terrestre. A noter que les méthodes USEtox, EF 3.0 et IMPACT World+ ne proposent pas de résultats.**

## Annexe 17 - Contributions par substances au niveau midpoint

**Tableau 15 : Contribution des substances pour la production de maïs et le traitement des eaux usées au niveau midpoint et pour l'écotoxicité marine.**

Eco-toxicité marine																					
Jeux de données	Résultats midpoint : contribution des substances par kg de maïs produit ou m <sup>3</sup> d'eaux usées émises																				
	USEtox 2.02 (R + I)			USEtox 2.02 (R)			EF 3.0			IMPACT World+			ReCiPe 2016 (I)			ReCiPe 2016 (H)			ReCiPe 2016 (E)		
	Substances	%	N/A	Substances	%	N/A	Substances	%	N/A	Substances	%	N/A	Substances	% *	kg 1,4-DCB	Substances	% *	kg 1,4-DCB	Substances	% *	kg 1,4-DCB
Maize grain (RoW) production   Cut-off, U	N/A			N/A			N/A			N/A			Cuivre	43	0,00189169	Cuivre	57	0,01123019	Zinc	89	59,4662232
	N/A			N/A			N/A			N/A			Zinc	31	0,00136609	Zinc	29	0,00573644	Cuivre	5	3,43283807
	N/A			N/A			N/A			N/A			Chlorpyrifos	11	0,00049575	Nickel	3	0,00051441	Vanadium	2	1,1533432
Wastewater, average (Europe without Switzerland) treatment of wastewater, average, capacity 1E9/year   Cut-off, U	N/A			N/A			N/A			N/A			Zinc	43	0,00623846	Cuivre	49	0,03482541	Zinc	85	271,60403
	N/A			N/A			N/A			N/A			Copper	40	0,0058652	Zinc	37	0,02619762	Zinc	4	12,970927
	N/A			N/A			N/A			N/A			Vanadium	5	0,00079623	Vanadium	4	0,00264361	Cuivre	3	10,6458021
Compartiments d'émission : Air Eau Sol * Le % représente le pourcentage d'impact de la substance considérée																					

i - Les résultats sont obtenus pour 1 kg de maïs produit et 1 m<sup>3</sup> d'eaux usées émises. N/A (Not available) signifie que la caractérisation de l'écotoxicité marine n'est pas disponible dans la méthode. En fonction de leur compartiment d'émission, les noms des substances ont été coloriés ; vert pour l'air, bleu pour l'eau et rouge pour le sol.

**Tableau 16 : Contribution des substances pour la production de maïs et le traitement des eaux usées au niveau midpoint et pour l'écotoxicité terrestre.**

Eco-toxicité terrestre																					
Jeux de données	Résultats midpoint : contribution des substances par kg de maïs produit ou m <sup>3</sup> d'eau usées émises																				
	USEtox 2.02 (R + I)			USEtox 2.02 (R)			EF 3.0			IMPACT World+			ReCiPe 2016 (I)			ReCiPe 2016 (H)			ReCiPe 2016 (E)		
	Substances	%	N/A	Substances	%	N/A	Substances	%	N/A	Substances	%	N/A	Substances	% *	kg 1,4-DCB	Substances	% *	kg 1,4-DCB	Substances	% *	kg 1,4-DCB
Maize grain (RoW) production   Cut-off, U	N/A			N/A			N/A			N/A			Cuivre	57	0,25952982	Cuivre	55	0,59276157	Cuivre	55	0,63681704
	N/A			N/A			N/A			N/A			Vanadium	16	0,07368326	Vanadium	16	0,16803087	Vanadium	16	0,18150363
	N/A			N/A			N/A			N/A			Nickel	9	0,04091392	Nickel	9	0,09318291	Nickel	9	0,10054681
Wastewater, average (Europe without Switzerland) treatment of wastewater, average, capacity 1E9/year   Cut-off, U	N/A			N/A			N/A			N/A			Cuivre	62	0,78159284	Cuivre	59	1,78531799	Cuivre	59	1,91798338
	N/A			N/A			N/A			N/A			Chrome	13	0,16634291	Chrome	14	0,38038163	Chrome	13	0,40988604
	N/A			N/A			N/A			N/A			Zinc	8	0,1062654	Zinc	8	0,24241312	Zinc	8	0,26073093
Compartiments d'émission : Air Eau Sol * Le % représente le pourcentage d'impact de la substance considérée																					

ii - Les résultats sont obtenus pour 1 kg de maïs produit et 1 m<sup>3</sup> d'eaux usées émises. N/A (Not available) signifie que la caractérisation de l'écotoxicité terrestre n'est pas disponible dans la méthode. En fonction de leur compartiment d'émission, les noms des substances ont été coloriés ; vert pour l'air, bleu pour l'eau et rouge pour le sol.

## Annexe 18 - Contributions par substances au niveau endpoint

**Tableau 17 : Contribution des substances pour la production de maïs et le traitement des eaux usées au niveau endpoint et pour l'écotoxicité d'eau douce.**

Eco-toxicité d'eau douce																							
Jeux de données	Résultats endpoint : contribution des substances par kg de maïs produit ou m <sup>3</sup> d'eaux usées émises																						
	USEtox 2.02 (R + I)			USEtox 2.02 (R)			EF 3.0			IMPACT World+			ReCiPe 2016 (I)			ReCiPe 2016 (H)			ReCiPe 2016 (E)				
	Substances	%	CDUe, PDF m <sup>3</sup> day	Substances	%	CDUe, PDF m <sup>3</sup> day	Substances	%	N/A	Substances	%	PDF m <sup>2</sup> year	Substances	%	species.yr	Substances	%	species.yr	Substances	%	species.yr		
Maize grain [RoW] production   Cut-off, U	Aluminium	84	2320,22169	Atrazine	51	0,15979039	N/A	N/A	Aluminium	84	2,69	Cuivre	49	5,81E-12	Cuivre	51	6,5108E-12	Cuivre	51	6,5108E-12	Cuivre	51	6,5108E-12
	Cuivre	10	288,335186	Acetochlor	9	0,02897798			Cuivre	10	0,318	Zinc	23	2,7613E-12	Zinc	22	2,7613E-12	Zinc	22	2,7613E-12	Zinc	22	2,7613E-12
	Fer	5	127,855967	Metolachlor	8	0,02654819			Fer	5	0,144	Chlorpyrifos	9	1,1022E-12	Chlorpyrifos	9	1,1022E-12	Chlorpyrifos	9	1,1022E-12	Chlorpyrifos	9	1,1022E-12
Wastewater, average [Europe without Switzerland] treatment of wastewater, average, capacity 1E9/year   Cut-off, U	Aluminium	55	5587,15822	Pyrene	34	0,0002101	N/A	N/A	Aluminium	55	6,47	Cuivre	52	1,8037E-11	Cuivre	54	2,0201E-11	Cuivre	52	2,0201E-11	Cuivre	52	2,0201E-11
	Aluminium	14	1460,19969	Cumene	17	0,00010587			Aluminium	15	1,75	Zinc	37	1,2745E-11	Zinc	34	1,2745E-11	Zinc	33	1,2745E-11	Zinc	33	1,2745E-11
	Fer	12	1257,91766	Phenol pentachloro-	13	7,7253E-05			Fer	12	1,42	Nickel	4	1,3393E-12	Nickel	4	1,4779E-12	Nickel	4	1,4779E-12	Nickel	4	1,4779E-12
Compartiments d'émission :		Air			Eau			Sol			* Le % représente le pourcentage d'impact de la substance considérée												

iii - Les résultats sont obtenus pour 1 kg de maïs produit et 1 m<sup>3</sup> d'eaux usées émises. N/A (Not available) signifie que la caractérisation de l'écotoxicité d'eau douce n'est pas disponible dans la méthode. En fonction de leur compartiment d'émission, les noms des substances ont été coloriés ; vert pour l'air, bleu pour l'eau et rouge pour le sol.

**Tableau 18 : Contribution des substances pour la production de maïs et le traitement des eaux usées au niveau endpoint et pour l'écotoxicité marine.**

Eco-toxicité marine																					
Jeux de données	Résultats endpoint : contribution des substances par kg de maïs produit ou m <sup>3</sup> d'eaux usées émises																				
	USEtox 2.02 (R + I)			USEtox 2.02 (R)			EF 3.0			IMPACT World+			ReCiPe 2016 (I)			ReCiPe 2016 (H)			ReCiPe 2016 (E)		
	Substances	%	N/A	Substances	%	N/A	Substances	%	N/A	Substances	%	N/A	Substances	%	species.yr	Substances	%	species.yr	Substances	%	species.yr
Maize grain [RoW] production   Cut-off, U	N/A			N/A			N/A			N/A			Cuivre	43	1,9906E-13	Cuivre	57	1,1812E-12	Zinc	89	6,2533E-09
	N/A			N/A			N/A			N/A			Zinc	31	1,4333E-13	Zinc	29	6,0242E-13	Cuivre	5	3,6016E-10
	N/A			N/A			N/A			N/A			Chlorpyrifos	11	5,1982E-14	Nickel	3	5,4054E-14	Vanadium	2	1,2106E-10
Wastewater, average [Europe without Switzerland] treatment of wastewater, average, capacity 1E9/year   Cut-off, U	N/A			N/A			N/A			N/A			Zinc	43	6,5452E-13	Cuivre	49	3,663E-12	Zinc	85	2,8562E-08
	N/A			N/A			N/A			N/A			Cuivre	40	6,172E-13	Zinc	37	2,7512E-12	Zinc	4	1,3629E-09
	N/A			N/A			N/A			N/A			Vanadium	5	8,3504E-14	Vanadium	4	2,78E-13	Cuivre	3	1,1169E-09
Compartiments d'émission :		Air			Eau			Sol			* Le % représente le pourcentage d'impact de la substance considérée										

iv - Les résultats sont obtenus pour 1 kg de maïs produit et 1 m<sup>3</sup> d'eaux usées émises. N/A (Not available) signifie que la caractérisation de l'écotoxicité marine n'est pas disponible dans la méthode. En fonction de leur compartiment d'émission, les noms des substances ont été coloriés ; vert pour l'air, bleu pour l'eau et rouge pour le sol.

**Tableau 19 : Contribution des substances pour la production de maïs et le traitement des eaux usées au niveau endpoint et pour l'écotoxicité terrestre.**

Eco-toxicité terrestre																					
Jeux de données	Résultats endpoint : contribution des substances par kg de maïs produit ou m <sup>3</sup> d'eaux usées émises																				
	USEtox 2.02 (R + I)			USEtox 2.02 (R)			EF 3.0			IMPACT World+			ReCiPe 2016 (I)			ReCiPe 2016 (H)			ReCiPe 2016 (E)		
	Substances	%	N/A	Substances	%	N/A	Substances	%	N/A	Substances	%	N/A	Substances	%	species.yr	Substances	%	species.yr	Substances	%	species.yr
Maize grain [RoW] production   Cut-off, U	N/A			N/A			N/A			N/A			Cuivre	57	2,9578E-12	Cuivre	55	6,769E-12	Cuivre	55	7,2493E-12
	N/A			N/A			N/A			N/A			Vanadium	16	8,4019E-13	Vanadium	16	1,914E-12	Vanadium	16	2,0667E-12
	N/A			N/A			N/A			N/A			Nickel	9	4,6695E-13	Nickel	9	1,0619E-12	Nickel	9	1,1456E-12
Wastewater, average [Europe without Switzerland] treatment of wastewater, average, capacity 1E9/year   Cut-off, U	N/A			N/A			N/A			N/A			Cuivre	62	8,9076E-12	Cuivre	59	2,0393E-11	Cuivre	59	2,1833E-11
	N/A			N/A			N/A			N/A			Chrome	14	2,0623E-12	Chrome	13	4,3374E-12	Chrome	13	4,6701E-12
	N/A			N/A			N/A			N/A			Zinc	8	1,2109E-12	Zinc	8	2,7596E-12	Zinc	8	2,9737E-12
Compartiments d'émission :		Air			Eau			Sol			* Le % représente le pourcentage d'impact de la substance considérée										

v - Les résultats sont obtenus pour 1 kg de maïs produit et 1 m<sup>3</sup> d'eaux usées émises. N/A (Not available) signifie que la caractérisation de l'écotoxicité terrestre n'est pas disponible dans la méthode. En fonction de leur compartiment d'émission, les noms des substances ont été coloriés ; vert pour l'air, bleu pour l'eau et rouge pour le sol.

## Annexe 19 - Facteurs de caractérisation par substance et par méthode au niveau midpoint

Tableau 20 : Valeurs des facteurs de caractérisation par substance et par méthodes au niveau midpoint et pour la catégorie d'impacts écotoxicité d'eau douce.

Eco-toxicité d'eau douce												
Substances	CAS number	Compartiment d'émission	Sous compartiments Simapro	Résultats midpoint : toxicity freshwater pour 1kg de substance émise par compartiment d'émission								
				USEtox 2.02 (R+I)	USEtox 2.02 (R)	USEtox 2.12 natif (R+I)	EF 3.0	IMPACT World+	ReCiPe 2016 (I)	ReCiPe 2016 (H)	ReCiPe 2016 (E)	LC-Impact
				CTUe PAF m <sup>3</sup> day	CTUe PAF m <sup>3</sup> day	CTUe PAF m <sup>3</sup> day	CTUe PAF m <sup>3</sup> day	CTUe PAF m <sup>3</sup> day	kg 1,4-DCB	kg 1,4-DCB	kg 1,4-DCB	N/A
Glyphosate	1071-83-6	Air	unspecified	10,70	10,70	78,50	30,40	10,70	0,43	0,43	0,43	N/A
			low pop	9,59	9,59	61,66	25,69	9,59	0,17	0,17	0,17	N/A
			low pop long-term	9,59	9,59	61,66	0,00	9,59	N/C	N/C	N/C	N/A
			high pop	11,90	11,90	95,34	35,11	11,90	N/C	N/C	N/C	N/A
			stratosphere	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
			stratosphere + troposphere	9,59	9,59	61,66	25,69	9,59	N/C	N/C	N/C	N/A
			indoor	10,70	10,70	78,50	31,81	10,70	N/C	N/C	N/C	N/A
		Eau	unspecified	321,00	321,00	320,79	542,27	321,00	2,39	2,39	2,39	N/A
			groundwater	N/C	N/C	320,79	0,00	321,00	N/C	N/C	N/C	N/A
			groundwater, long-term	N/C	N/C	N/C	0,00	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
			lake	N/C	N/C	320,79	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
			ocean	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	N/A
			river	N/C	N/C	320,79	1084,50	321,00	N/C	N/C	N/C	N/A
			river, long-term	N/C	N/C	320,79	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
		Sol	fossilwater	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
			unspecified	71,70	71,70	71,72	182,93	71,70	1,62	1,62	1,62	N/A
			agricultural	71,80	71,80	71,83	257,31	71,80	0,35	0,35	0,35	N/A
			forestry	N/C	N/C	71,72	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
			industrial	N/C	N/C	N/C	108,54	71,70	N/C	N/C	N/C	N/A
			urban, non industrial	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
			unspecified	1120000,00	1120000,00	1188545,52	32639000,00	1120000,00	552,00	559,00	559,00	N/A
Lambda-cyhalothrine	91465-08-6	Air	low pop	546000,00	546000,00	555638,15	15837000,00	546000,00	591,00	598,00	598,00	N/A
			low pop long-term	546000,00	546000,00	555638,15	0,00	546000,00	N/C	N/C	N/C	N/A
			high pop	1700000,00	1700000,00	1821452,89	49441000,00	1700000,00	N/C	N/C	N/C	N/A
			stratosphere	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
			stratosphere + troposphere	546000,00	546000,00	555638,15	15837000,00	546000,00	N/C	N/C	N/C	N/A
			indoor	1120000,00	1120000,00	1188545,52	37680000,00	1120000,00	N/C	N/C	N/C	N/A
			unspecified	139000000,00	139000000,00	138627256,98	2012700000,00	139000000,00	47700,00	48100,00	48100,00	N/A
		Eau	groundwater	N/C	N/C	138627256,98	N/C	139000000,00	N/C	N/C	N/C	N/A
			groundwater, long-term	N/C	N/C	N/C	0,00	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
			lake	N/C	N/C	138627256,98	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
			ocean	3630,00	3630,00	3682,90	105500,00	3630,00	17,30	18,80	18,80	N/A
			river	N/C	N/C	138627256,98	4025200000,00	139000000,00	N/C	N/C	N/C	N/A
			river, long-term	N/C	N/C	138627256,98	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
			fossilwater	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
		Sol	unspecified	9290,00	9290,00	9289,57	250940,00	9290,00	410,00	423,00	423,00	N/A
			agricultural	9290,00	9290,00	9289,52	250950,00	9290,00	66,70	68,90	68,90	N/A
			forestry	N/C	N/C	9289,57	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
			industrial	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
			urban, non industrial	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
			unspecified	0,12	0,12	0,12	1,13	0,12	0,00	0,00	0,00	N/A
			Ethanol	64-17-5	Air	low pop	0,12	0,12	0,12	1,07	0,12	0,00
low pop long-term	0,12	0,12				0,12	0,00	0,12	N/C	N/C	N/C	N/A
high pop	0,12	0,12				0,12	1,18	0,12	N/C	N/C	N/C	N/A
stratosphere	N/C	N/C				N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
stratosphere + troposphere	0,12	0,12				0,12	1,07	0,12	N/C	N/C	N/C	N/A
indoor	0,12	0,12				0,12	1,14	0,12	N/C	N/C	N/C	N/A
unspecified	3,12	3,12				3,12	18,45	3,12	0,01	0,01	0,01	N/A
Eau	groundwater	N/C			N/C	3,12	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
	groundwater, long-term	N/C			N/C	N/C	0,00	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
	lake	N/C			N/C	3,12	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
	ocean	0,00			0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	N/A
	river	N/C			N/C	3,12	36,88	3,12	N/C	N/C	N/C	N/A
	river, long-term	N/C			N/C	3,12	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
	fossilwater	N/C			N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
Sol	unspecified	0,60			0,60	0,60	0,14	0,60	0,00	0,00	0,00	N/A
	agricultural	0,60			0,60	0,60	N/C	0,60	0,00	0,00	0,00	N/A
	forestry	N/C			N/C	0,60	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
	industrial	N/C			N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
	urban, non industrial	N/C			N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
	unspecified	N/C			N/C	N/C	134,42	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
	low pop	N/C			N/C	N/C	116,25	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
Ammoniac	7664-41-7	Air	low pop long-term	N/C	N/C	N/C	0,00	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
			high pop	N/C	N/C	N/C	152,59	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
			stratosphere	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
			stratosphere + troposphere	N/C	N/C	N/C	116,25	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
			indoor	N/C	N/C	N/C	139,87	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
			unspecified	N/C	N/C	N/C	1246,70	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
			groundwater	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
		Eau	groundwater, long-term	N/C	N/C	N/C	0,00	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
			lake	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
			ocean	N/C	N/C	N/C	0,07	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
			river	N/C	N/C	N/C	2493,20	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
			river, long-term	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
			fossilwater	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
			unspecified	N/C	N/C	N/C	30,17	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
		Sol	agricultural	N/C	N/C	N/C	30,23	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
			forestry	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
			industrial	N/C	N/C	N/C	30,11	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
			urban, non industrial	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A

ECOTOXICITE : INDICATEURS, METHODOLOGIE, DEVELOPPEMENTS RECENTS ET A VENIR

Eco-toxicité d'eau douce														
Substances	CAS number	Compartment d'émission	Sous compartiments Simapro	Résultats midpoint : toxicity freshwater pour 1kg de substance émise par compartiment d'émission										
				USEtox 2.02 (R+I)	USEtox 2.02 (R)	USEtox 2.12 natif (R+I)	EF 3.0	IMPACT World+	ReCiPe 2016 (I)	ReCiPe 2016 (H)	ReCiPe 2016 (E)	LC-Impact		
				CTUe PAF m <sup>3</sup> day	CTUe PAF m <sup>3</sup> day	CTUe PAF m <sup>3</sup> day	CTUe PAF m <sup>3</sup> day	CTUe PAF m <sup>3</sup> day	kg 1,4-DCB	kg 1,4-DCB	kg 1,4-DCB	N/A		
Aluminium	7429-90-5	Air	unspecified	1880000,00	N/C	N/C	188000,00	1880000,00	N/C	N/C	N/C	N/A		
			low pop	1890000,00	N/C	N/C	189000,00	1890000,00	N/C	N/C	N/C	N/A		
			low pop long-term	1890000,00	N/C	N/C	0,00	1890000,00	N/C	N/C	N/C	N/A		
			high pop	1870000,00	N/C	N/C	187000,00	1870000,00	N/C	N/C	N/C	N/A		
			stratosphere	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
			stratosphere + troposphere	1890000,00	N/C	N/C	189000,00	1890000,00	N/C	N/C	N/C	N/A		
			indoor	1880000,00	N/C	N/C	N/C	1880000,00	N/C	N/C	N/C	N/A		
			unspecified	4090000,00	N/C	N/C	204500,00	4090000,00	N/C	N/C	N/C	N/A		
			groundwater	N/C	N/C	N/C	N/C	4090000,00	N/C	N/C	N/C	N/A		
		groundwater, long-term	N/C	N/C	N/C	0,00	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
		lake	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
		ocean	0,00	N/C	N/C	0,00	0,00	N/C	N/C	N/C	N/A			
		river	N/C	N/C	N/C	409000,00	4090000,00	N/C	N/C	N/C	N/A			
		river, long-term	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
		fossilwater	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
		unspecified	2760000,00	N/C	N/C	276000,00	2760000,00	N/C	N/C	N/C	N/A			
		agricultural	2760000,00	N/C	N/C	N/C	2760000,00	N/C	N/C	N/C	N/A			
		forestry	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
		industrial	N/C	N/C	N/C	N/C	2760000,00	N/C	N/C	N/C	N/A			
		urban, non industrial	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
		Al(III)	22537-23-1	Air	unspecified	N/C	N/C	692392,49	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
					low pop	N/C	N/C	699091,09	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
					low pop long-term	N/C	N/C	699091,09	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
					high pop	N/C	N/C	685693,88	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
stratosphere	N/C				N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
stratosphere + troposphere	N/C				N/C	699091,09	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
indoor	N/C				N/C	692392,49	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
unspecified	N/C				N/C	1478183,85	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
groundwater	N/C				N/C	1478183,85	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
groundwater, long-term	N/C			N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
lake	N/C			N/C	1478183,85	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
ocean	N/C			N/C	0,00	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
river	N/C			N/C	1478183,85	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
river, long-term	N/C			N/C	1478183,85	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
fossilwater	N/C			N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
unspecified	N/C			N/C	996972,22	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
agricultural	N/C			N/C	996972,22	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
forestry	N/C			N/C	996972,22	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
industrial	N/C			N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
urban, non industrial	N/C			N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
Cuivre	7440-50-8			Air	unspecified	3640000,00	N/C	N/C	36400,00	3640000,00	2,04	5,48	55,20	N/A
					low pop	3650000,00	N/C	N/C	36500,00	3650000,00	2,57	5,17	14,50	N/A
					low pop long-term	3650000,00	N/C	N/C	0,00	3650000,00	N/C	N/C	N/C	N/A
					high pop	3630000,00	N/C	N/C	36300,00	3630000,00	N/C	N/C	N/C	N/A
		stratosphere	N/C		N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
		stratosphere + troposphere	3650000,00		N/C	N/C	36500,00	3650000,00	N/C	N/C	N/C	N/A		
		indoor	3640000,00		N/C	N/C	36350,00	3640000,00	N/C	N/C	N/C	N/A		
		unspecified	9920000,00		N/C	N/C	49600,00	9920000,00	144,00	162,00	162,00	N/A		
		groundwater	N/C		N/C	N/C	N/C	9920000,00	N/C	N/C	N/C	N/A		
		groundwater, long-term	N/C	N/C	N/C	0,00	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
		lake	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
		ocean	0,00	N/C	N/C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	N/A			
		river	N/C	N/C	N/C	99200,00	9920000,00	N/C	N/C	N/C	N/A			
		river, long-term	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
		fossilwater	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
		unspecified	5240000,00	N/C	N/C	52400,00	5240000,00	0,85	6,17	147,00	N/A			
		agricultural	5240000,00	N/C	N/C	N/C	5240000,00	0,49	3,28	15,30	N/A			
		forestry	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
		industrial	N/C	N/C	N/C	N/C	5240000,00	N/C	N/C	N/C	N/A			
		urban, non industrial	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
		Cu(II)	15158-11-9	Air	unspecified	N/C	N/C	21056,27	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
					low pop	N/C	N/C	21132,95	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
					low pop long-term	N/C	N/C	21132,95	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
					high pop	N/C	N/C	20979,59	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
stratosphere	N/C				N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
stratosphere + troposphere	N/C				N/C	21132,95	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
indoor	N/C				N/C	21056,27	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
unspecified	N/C				N/C	56311,86	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
groundwater	N/C				N/C	56311,86	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
groundwater, long-term	N/C			N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
lake	N/C			N/C	56311,86	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
ocean	N/C			N/C	0,00	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
river	N/C			N/C	56311,86	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
river, long-term	N/C			N/C	56311,86	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
fossilwater	N/C			N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
unspecified	N/C			N/C	29726,19	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
agricultural	N/C			N/C	29726,19	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
forestry	N/C			N/C	29726,19	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
industrial	N/C			N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			
urban, non industrial	N/C			N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A			

vi - N/C (Not characterized) signifie que la substance n'est pas caractérisée par la méthode pour le sous-compartiment concerné. N/A (Not available) signifie que la caractérisation de l'écotoxicité d'eau douce n'est pas disponible dans la méthode. Les CFs de la méthode USEtox 2.12 natif (R+I) ont été obtenus à partir du fichier natif (Excel). Les autres CFs ont été obtenus à partir de la version disponible dans Simapro (version 9.2.0.2).

**Tableau 21 : Valeurs des facteurs de caractérisation par substance et par méthodes au niveau midpoint et pour la catégorie d'impacts écotoxicité marine.**

Eco-toxicité marine														
Substances	CAS number	Compartment d'émission	Sous compartiments Simapro	Résultats midpoint : toxicité marine pour 1kg de substance émise										
				USEtox 2 (R+I)	USEtox 2 (R)	USEtox 2.12 natif (R+I)	EF 3.0	IMPACT World+	ReCiPe 2016 (I)	ReCiPe 2016 (H)	ReCiPe 2016 (E)	LC-Impact		
				N/A	N/A	N/A	N/A	CTUe, PAF m <sup>3</sup> day	kg 1,4-DCB	kg 1,4-DCB	kg 1,4-DCB	N/A		
Glyphosate	1071-83-6	Air	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	8,30E-02	8,28E-02	8,28E-02	N/A		
			low pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	9,24E-02	9,23E-02	9,23E-02	N/A		
			low pop long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			high pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			stratosphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			stratosphere + troposphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
		Eau	indoor	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5,69E-02	5,69E-02	5,69E-02	N/A		
			groundwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			groundwater, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			lake	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			ocean	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,56E-01	2,56E-01	2,56E-01	N/A		
		Sol	river	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			river, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			fossilwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3,86E-02	3,86E-02	3,86E-02	N/A		
			agricultural	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	8,38E-03	8,35E-03	8,35E-03	N/A		
			forestry	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
		Lambda-cyhalothrine	91465-08-6	Air	industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A
					urban, non industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A
					unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,97E+04	2,08E+04	2,08E+04	N/A
					low pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,49E+04	2,63E+04	2,63E+04	N/A
					low pop long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A
					high pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A
Eau	stratosphere			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	stratosphere + troposphere			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	indoor			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	unspecified			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	9,58E+03	1,07E+04	1,07E+04	N/A		
	groundwater			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	groundwater, long-term			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
Sol	lake			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	ocean			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	6,10E+04	6,39E+04	6,39E+04	N/A		
	river			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	river, long-term			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	fossilwater			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	unspecified			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4,95E+02	5,53E+02	5,53E+02	N/A		
Ethanol	64-17-5			Air	agricultural	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4,31E+02	4,74E+02	4,74E+02	N/A
					forestry	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A
					industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A
					urban, non industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A
					unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3,81E-04	3,81E-04	3,81E-04	N/A
					low pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4,34E-04	4,35E-04	4,35E-04	N/A
		Eau	low pop long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			high pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			stratosphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			stratosphere + troposphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			indoor	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,24E-04	2,25E-04	2,25E-04	N/A		
		Sol	groundwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			groundwater, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			lake	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			ocean	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	9,00E-04	9,01E-04	9,01E-04	N/A		
			river	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			river, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
		Ammoniac	7664-41-7	Air	fossilwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A
					unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	8,20E-05	8,21E-05	8,21E-05	N/A
					agricultural	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4,88E-05	4,89E-05	4,89E-05	N/A
					forestry	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A
					industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A
					urban, non industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A
Eau	unspecified			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	low pop			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	low pop long-term			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	high pop			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	stratosphere			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	stratosphere + troposphere			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
Sol	indoor			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	unspecified			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	groundwater			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	groundwater, long-term			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	lake			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	ocean			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
Eau	river			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	river, long-term			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	fossilwater			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	unspecified			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	agricultural			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	forestry			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A				
	urban, non industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A				

ECOTOXICITE : INDICATEURS, METHODOLOGIE, DEVELOPPEMENTS RECENTS ET A VENIR

Eco-toxicité marine															
Substances	CAS number	Compartment d'émission	Sous compartiments Simapro	Résultats midpoint : toxicity freshwater pour 1kg de substance émise par compartiment d'émission											
				USEtox 2.02 (R+I)	USEtox 2.02 (R)	USEtox 2.12 natif (R+I)	EF 3.0	IMPACT World+	ReCiPe 2016 (I)	ReCiPe 2016 (H)	ReCiPe 2016 (E)	LC-Impact			
				CTUe PAF m <sup>3</sup> day	CTUe PAF m <sup>3</sup> day	CTUe PAF m <sup>3</sup> day	CTUe PAF m <sup>3</sup> day	CTUe PAF m <sup>3</sup> day	kg 1,4-DCB	kg 1,4-DCB	kg 1,4-DCB	N/A			
Aluminium	7429-90-5	Air	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
			low pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
			low pop long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
			high pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
			stratosphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
			stratosphere + troposphere indoor	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
		Eau	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
			groundwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
			groundwater, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
			lake	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
			ocean	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
			river	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
			river, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
			fossilwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
			Sol	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
				agricultural	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
		forestry		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
		industrial		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
		urban, non industrial		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
		Al(III)		22537-23-1	Air	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A
						low pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A
						low pop long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A
			high pop			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A	
			stratosphere			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A	
stratosphere + troposphere indoor	N/A		N/A			N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
Eau	unspecified		N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
	groundwater		N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
	groundwater, long-term		N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
	lake		N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
	ocean		N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
	river		N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
	river, long-term		N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
	fossilwater		N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
	Sol		unspecified		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			agricultural		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
forestry			N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
industrial			N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
urban, non industrial			N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
Cuivre			7440-50-8		Air	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,03E+02	5,08E+02	1,75E+05	N/A
						low pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,48E+02	7,32E+02	2,29E+05	N/A
						low pop long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A
	high pop					N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A	
	stratosphere					N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A	
	stratosphere + troposphere indoor	N/A		N/A		N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
	Eau	unspecified		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3,25E+01	1,93E+02	5,90E+04	N/A			
		groundwater		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
		groundwater, long-term		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
		lake		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
		ocean		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3,52E+02	1,57E+03	4,47E+05	N/A			
		river		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
		river, long-term		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
		fossilwater		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
		Sol		unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,34E-01	4,19E+00	5,35E+04	N/A		
				agricultural	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	7,74E-02	2,29E+00	5,56E+03	N/A		
	forestry			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
	industrial			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
	urban, non industrial			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
	Cu(II)			15158-11-9	Air	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A
						low pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A
						low pop long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A
		high pop				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A	
		stratosphere				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A	
stratosphere + troposphere indoor		N/A	N/A			N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
Eau		unspecified	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
		groundwater	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
		groundwater, long-term	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
		lake	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
		ocean	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
		river	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
		river, long-term	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
		fossilwater	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
		Sol	unspecified		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			agricultural		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
forestry			N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
industrial			N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			
urban, non industrial			N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A			

vii - N/C (Not characterized) signifie que la substance n'est pas caractérisée par la méthode pour le sous-compartiment concerné. N/A (Not available) signifie que la caractérisation de l'écotoxicité marine n'est pas disponible dans la méthode. Les CFs de la méthode USEtox 2.12 natif (R+I) ont été obtenus à partir du fichier natif (Excel). Les autres CFs ont été obtenus à partir de la version disponible dans SimaPro (version 9.2.0.2).

**Tableau 22 : Valeurs des facteurs de caractérisation par substance et par méthodes au niveau midpoint et pour la catégorie d'impacts écotoxicité terrestre.**

Eco-toxicité terrestre														
Substances	CAS number	Compartment d'émission	Sous compartiments Simapro	Résultats midpoint : toxicity terrestrial pour 1kg de substance émise										
				USEtox 2 (R+I)	USEtox 2 (R)	USEtox 2.12 natif (R+I)	EF 3.0	IMPACT World+	ReCiPe 2016 (I)	ReCiPe 2016 (H)	ReCiPe 2016 (E)	LC-Impact		
				N/A	N/A	N/A	N/A	CTUe, PAF m <sup>3</sup> day	kg 1,4-DCB	kg 1,4-DCB	kg 1,4-DCB	N/A		
Glyphosate	1071-83-6	Air	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,24E+03	1,24E+03	1,24E+03	N/A		
			low pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,51E+03	1,51E+03	1,51E+03	N/A		
			low pop long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			high pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			stratosphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			stratosphere + troposphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
		Eau	indoor	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3,27E-11	3,27E-11	3,27E-11	N/A		
			groundwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			groundwater, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			lake	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			ocean	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,77E-13	1,77E-13	1,77E-13	N/A		
		Sol	river	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			river, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			fossilwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,27E-10	1,27E-10	1,27E-10	N/A		
			agricultural	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	6,13E-05	6,13E-05	6,13E-05	N/A		
			forestry	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
		Lambda-cyhalothrine	91465-08-6	Air	industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A
					urban, non industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A
					unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,47E+05	2,48E+05	2,48E+05	N/A
low pop	N/A				N/A	N/A	N/A	N/A	3,11E+05	3,12E+05	3,12E+05	N/A		
low pop long-term	N/A				N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
high pop	N/A				N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
Eau	stratosphere			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	stratosphere + troposphere			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	indoor			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	unspecified			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,76E+04	1,87E+04	1,87E+04	N/A		
	groundwater			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	groundwater, long-term			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
Sol	lake			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	ocean			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	9,25E+03	9,83E+03	9,83E+03	N/A		
	river			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	river, long-term			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	fossilwater			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	unspecified			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5,51E+03	5,64E+03	5,64E+03	N/A		
Ethanol	64-17-5			Air	agricultural	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5,39E+03	5,51E+03	5,51E+03	N/A
					forestry	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A
					industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A
		urban, non industrial	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
		unspecified	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	7,20E-02	7,20E-02	7,20E-02	N/A		
		low pop	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	8,22E-02	8,22E-02	8,22E-02	N/A		
		Eau	low pop long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			high pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			stratosphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			stratosphere + troposphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			indoor	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,62E-02	2,62E-02	2,62E-02	N/A		
		Sol	groundwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			groundwater, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			lake	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			ocean	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,88E-03	1,88E-03	1,88E-03	N/A		
			river	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			river, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
		Ammoniac	7664-41-7	Air	fossilwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A
					unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,21E-02	1,21E-02	1,21E-02	N/A
					agricultural	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	8,82E-03	8,82E-03	8,82E-03	N/A
forestry	N/A				N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
industrial	N/A				N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
urban, non industrial	N/A				N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
Eau	unspecified			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	low pop			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	low pop long-term			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	high pop			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	stratosphere			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	stratosphere + troposphere			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
Sol	indoor			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	unspecified			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	groundwater			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	groundwater, long-term			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	lake			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	ocean			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
Eau	river			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	river, long-term			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	fossilwater			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A				
	agricultural	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A				
	forestry	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A				
	industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A				
	urban, non industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A				
	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A				

ECOTOXICITE : INDICATEURS, METHODOLOGIE, DEVELOPPEMENTS RECENTS ET A VENIR

Eco-toxicité terrestre														
Substances	CAS number	Compartment d'émission	Sous compartiments Simapro	Résultats midpoint : toxicity terrestrial pour 1kg de substance émise										
				USEtox 2 (R+I)	USEtox 2 (R)	USEtox 2.12 natif (R+I)	EF 3.0	IMPACT World+	ReCiPe 2016 (I)	ReCiPe 2016 (H)	ReCiPe 2016 (E)	LC-Impact		
				N/A	N/A	N/A	N/A	CTUe, PAF m <sup>3</sup> day	kg 1,4-DCB	kg 1,4-DCB	kg 1,4-DCB	N/A		
Aluminium	7429-90-5	Air	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			low pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			low pop long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			high pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			stratosphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			stratosphere + troposphere indoor	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
		Eau	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			groundwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			groundwater, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			lake	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			ocean	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			river	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
		Sol	river, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			fossilwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			agricultural	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			forestry	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
		Al(III)	22537-23-1	Air	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
					low pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
					low pop long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
					high pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
					stratosphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
					stratosphere + troposphere indoor	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
Eau	unspecified			N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
	groundwater			N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
	groundwater, long-term			N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
	lake			N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
	ocean			N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
	river			N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
Sol	river, long-term			N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
	fossilwater			N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
	unspecified			N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
	agricultural			N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
	forestry			N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
	industrial			N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
Cuivre	7440-50-8			Air	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5,30E+05	1,21E+06	1,30E+06	N/A
					low pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	7,66E+05	1,75E+06	1,88E+06	N/A
					low pop long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A
					high pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A
					stratosphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A
					stratosphere + troposphere indoor	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A
		Eau	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,61E-15	1,01E-14	5,54E-14	N/A		
			groundwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			groundwater, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			lake	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			ocean	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,72E-15	1,47E-14	3,51E-13	N/A		
			river	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
		Sol	river, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			fossilwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	9,23E-18	2,54E-16	5,02E-14	N/A		
			agricultural	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5,35E-18	1,38E-16	5,23E-15	N/A		
			forestry	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
			industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/A		
		Cu(II)	15158-11-9	Air	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
					low pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
					low pop long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
					high pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
					stratosphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
					stratosphere + troposphere indoor	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A
Eau	unspecified			N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
	groundwater			N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
	groundwater, long-term			N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
	lake			N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
	ocean			N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
	river			N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
Sol	river, long-term			N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
	fossilwater			N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
	unspecified			N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
	agricultural			N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
	forestry			N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
	industrial			N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		
Sol	urban, non industrial			N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/A		

viii - N/C (Not characterized) signifie que la substance n'est pas caractérisée par la méthode pour le sous-compartiment concerné. N/A (Not available) signifie que la caractérisation de l'écotoxicité terrestre n'est pas disponible dans la méthode. Les CFs de la méthode USEtox 2.12 natif (R+I) ont été obtenus à partir du fichier natif (Excel). Les autres CFs ont été obtenus à partir de la version disponible dans SimaPro (version 9.2.0.2).

## Annexe 20 - Facteurs de caractérisation par substance et par méthode au niveau endpoint

Tableau 23 : Valeurs des facteurs de caractérisation par substance et par méthodes au niveau endpoint et pour la catégorie d'impacts écotoxicité d'eau douce.

Eco-toxicité d'eau douce															
Substances	CAS number	Compartment d'émission	Sous compartiments Sinapro	Résultats endpoint : toxicity freshwater pour 1 kg de substance émise par compartiment d'émission											
				USEtox 2.02 (R+I)	USEtox 2.02 (R)	USEtox 2.12 natif (R+I)	EF 3.0	IMPACT World+	ReCiPe 2016 (I)	ReCiPe 2016 (H)	ReCiPe 2016 (E)	LC-Impact (core)	LC-Impact (extended)		
				CDUe PDF m³ day	CDUe PDF m³ day	CDUe PDF m³ day	N/A	PDF m² year	species.yr	species.yr	species.yr	species.yr	CDUe PDF m³ day	CDUe PDF m³ day	
Glyphosate	1071-83-6	Air	unspecified	5,35	5,35	39,24988097	N/A	0,05863014	2,96E-10	2,96E-10	2,96E-10	4,61E+00	4,61E+00		
			low pop	4,795	4,795	30,83109913	N/A	0,005254795	1,18E-10	1,18E-10	1,18E-10	3,62E+00	3,62E+00		
			low pop long-term	4,795	4,795	30,83109913	N/A	0,005254795	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
			high pop	5,95	5,95	47,66866281	N/A	0,00652548	N/C	N/C	N/C	5,59E+00	5,59E+00		
			stratosphere	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
			stratosphere + troposphere	4,795	4,795	30,83109913	N/A	0,005254795	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
			indoor	5,35	5,35	39,24988097	N/A	0,05863014	N/C	N/C	N/C	4,61E+00	4,61E+00		
			unspecified	160,5	160,5	160,3926048	N/A	0,175890411	1,66E-09	1,66E-09	1,66E-09	1,88E+01	1,88E+01		
			groundwater	N/C	N/C*	160,3926048	N/A	0,175890411	N/C	N/C	N/C	1,88E+01	1,88E+01		
			groundwater, long-term	N/C	N/C	N/C	N/A	0	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
			lake	N/C	N/C	160,3926048	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	1,88E+01	1,88E+01		
			ocean	1,555E-08	1,555E-08	9,9172E-08	N/A	1,70E-11	1,39E-26	1,38E-26	1,38E-26	1,88E+01	1,88E+01		
		river	N/C	N/C	160,3926048	N/A	0,175890411	N/C	N/C	N/C	1,88E+01	1,88E+01			
		river, long-term	N/C	N/C	160,3926048	N/A	0	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C			
		fossilwater	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C			
		unspecified	35,85	35,85	35,8621852	N/A	0,039287671	1,13E-09	1,13E-09	1,13E-09	4,21E+00	4,21E+00			
		agricultural	35,9	35,9	35,91674145	N/A	0,039342466	2,43E-10	2,44E-10	2,44E-10	4,21E+00	4,21E+00			
		forestry	N/C	N/C	35,8621852	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	4,21E+00	4,21E+00			
		industrial	N/C	N/C	N/C	N/A	0,039287671	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C			
		urban, non industrial	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C			
		Lambda-cyhalothrine	91465-08-6	Air	unspecified	560000	560000	594272,7588	N/A	613,6986301	3,84E-07	3,89E-07	3,89E-07	8,23E+04	8,23E+04
					low pop	273000	273000	277819,0733	N/A	299,1780822	4,11E-07	4,16E-07	4,16E-07	4,60E+04	4,60E+04
					low pop long-term	273000	273000	277819,0733	N/A	299,1780822	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
					high pop	850000	850000	910726,4444	N/A	931,5068493	N/C	N/C	N/C	1,19E+05	1,19E+05
stratosphere	N/C				N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
stratosphere + troposphere	273000				273000	277819,0733	N/A	299,1780822	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
indoor	560000				560000	594272,7588	N/A	613,6986301	N/C	N/C	N/C	8,23E+04	8,23E+04		
unspecified	69500000				69500000	69313628,49	N/A	76164,38356	3,32E-05	3,35E-05	3,35E-05	8,13E+06	8,13E+06		
groundwater	N/C				N/C	69313628,49	N/A	76164,38356	N/C	N/C	N/C	8,13E+06	8,13E+06		
groundwater, long-term	N/C				N/C	N/C	N/A	0	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
lake	N/C				N/C	69313628,49	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	8,13E+06	8,13E+06		
ocean	1815				1815	1841,451636	N/A	1,989041096	1,20E-08	1,31E-08	1,31E-08	5,57E+02	5,57E+02		
river	N/C			N/C	69313628,49	N/A	76164,38356	N/C	N/C	N/C	8,13E+06	8,13E+06			
river, long-term	N/C			N/C	69313628,49	N/A	0	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C			
fossilwater	N/C			N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C			
unspecified	4645			4645	4644,786545	N/A	5,090410959	2,85E-07	2,94E-07	2,94E-07	5,48E+02	5,48E+02			
agricultural	4645			4645	4644,761767	N/A	5,090410959	4,64E-08	4,79E-08	4,79E-08	5,48E+02	5,48E+02			
forestry	N/C			N/C	4644,786545	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	5,48E+02	5,48E+02			
industrial	N/C			N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C			
urban, non industrial	N/C			N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C			
Ethanol	64-17-5			Air	unspecified	0,0615	0,0615	0,06162324	N/A	6,74E-05	8,14E-14	8,14E-14	8,14E-14	1,24E-02	1,24E-02
					low pop	0,061	0,061	0,060970102	N/A	6,68E-05	6,80E-14	6,80E-14	6,80E-14	1,24E-02	1,24E-02
					low pop long-term	0,061	0,061	0,060970102	N/A	0,001835616	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
					high pop	0,062	0,062	0,062276378	N/A	6,79E-05	N/C	N/C	N/C	1,25E-02	1,25E-02
		stratosphere	N/C		N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
		stratosphere + troposphere	0,061		0,061	0,060970102	N/A	6,68E-05	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
		indoor	0,0615		0,0615	0,06162324	N/A	6,74E-05	N/C	N/C	N/C	1,24E-02	1,24E-02		
		unspecified	1,56		1,56	1,559155173	N/A	0,001709589	4,37E-12	4,37E-12	4,37E-12	1,84E-01	1,84E-01		
		groundwater	N/C		N/C	1,559155173	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	1,84E-01	1,84E-01		
		groundwater, long-term	N/C		N/C	N/C	N/A	0	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
		lake	N/C		N/C	1,559155173	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	1,84E-01	1,84E-01		
		ocean	0,0003885		0,0003885	0,000388581	N/A	4,26E-07	1,55E-15	1,56E-15	1,56E-15	8,01E-05	8,01E-05		
		river	N/C	N/C	1,559155173	N/A	0,001709589	N/C	N/C	N/C	1,84E-01	1,84E-01			
		river, long-term	N/C	N/C	1,559155173	N/A	0	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C			
		fossilwater	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C			
		unspecified	0,2985	0,2985	0,298642042	N/A	0,000327123	9,26E-13	9,27E-13	9,27E-13	3,66E-02	3,66E-02			
		agricultural	0,2985	0,2985	0,298641835	N/A	0,000327123	1,25E-13	1,25E-13	1,25E-13	3,66E-02	3,66E-02			
		forestry	N/C	N/C	0,298642042	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	3,66E-02	3,66E-02			
		industrial	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C			
		urban, non industrial	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C			
		Ammoniac	7664-41-7	Air	unspecified	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
					low pop	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
					low pop long-term	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
					high pop	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
stratosphere	N/C				N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
stratosphere + troposphere	N/C				N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
indoor	N/C				N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
unspecified	N/C				N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
groundwater	N/C				N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
groundwater, long-term	N/C				N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
lake	N/C				N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
ocean	N/C				N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
river	N/C			N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C			
river, long-term	N/C			N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C			
fossilwater	N/C			N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C			
unspecified	N/C			N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C			
agricultural	N/C			N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C			
forestry	N/C			N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C			
industrial	N/C			N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C			
urban, non industrial	N/C			N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C			

ECOTOXICITE : INDICATEURS, METHODOLOGIE, DEVELOPPEMENTS RECENTS ET A VENIR

Eco-toxicité d'eau douce														
Substances	CAS number	Compartiment d'émission	Sous compartiments Simapro	Résultats endpoint : toxicity freshwater pour 1 kg de substance émise par compartiment d'émission										
				USEtox 2.02 (R+I) CDUE PDF m <sup>3</sup> day	USEtox 2.02 (R) CDUE PDF m <sup>3</sup> day	USEtox 2.12 natif (R+I) CDUE PDF m <sup>3</sup> day	EF 3.0	IMPACT World+	ReCiPe 2016 (I)	ReCiPe 2016 (H)	ReCiPe 2016 (E)	LC-Impact (core) CDUE PDF m <sup>3</sup> day	LC-Impact (extended) CDUE PDF m <sup>3</sup> day	
Aluminium	7429-90-5	Air	unspecified	N/C	N/C	N/A	N/A	1049,810815	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			low pop	945000	N/C	N/C	N/A	1054,212646	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			low pop long-term	945000	N/C	N/C	N/A	1035,616438	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			high pop	935000	N/C	N/C	N/A	1045,408984	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			stratosphere	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			stratosphere + troposphere	945000	N/C	N/C	N/A	1054,212646	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
		Eau	indoor	940000	N/C	N/C	N/A	994,6024815	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			unspecified	2045000	N/C	N/C	N/A	2366,745232	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			groundwater	N/C	N/C	N/C	N/A	2366,745232	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			groundwater, long-term	N/C	N/C	N/C	N/A	0	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			lake	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			ocean	7,15E-15	N/C	N/C	N/A	7,84E-18	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
		Sol	river	N/C	N/C	N/C	N/A	2366,745232	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			river, long-term	N/C	N/C	N/C	N/A	0	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			fossilwater	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			unspecified	1380000	N/C	N/C	N/A	1512,328767	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			agricultural	1380000	N/C	N/C	N/A	1653,361577	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			forestry	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			industrial	N/C	N/C	N/C	N/A	1512,328767	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			urban, non industrial	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			unspecified	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
Al(III)	22537-23-1	Air	unspecified	N/C	N/C	346196,2438	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	2,12E+05	2,43E+05	
			low pop	N/C	N/C	349545,5467	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	216540,0823	245896,7212	
			low pop long-term	N/C	N/C	349545,5467	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			high pop	N/C	N/C	342846,9409	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	207677,27	240776,6661	
			stratosphere	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			stratosphere + troposphere	N/C	N/C	349545,5467	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
		Eau	indoor	N/C	N/C	346196,2438	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	212108,6762	243336,6666
			unspecified	N/C	N/C	739091,9263	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	240066,8645	501091,5864
			groundwater	N/C	N/C	739091,9263	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	240066,8645	501091,5864
			groundwater, long-term	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			lake	N/C	N/C	739091,9263	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	240066,8645	501091,5864
			ocean	N/C	N/C	2,61026E-15	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	4,63874E-15	4,63874E-15
		Sol	river	N/C	N/C	739091,9263	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	240066,8645	501091,5864
			river, long-term	N/C	N/C	739091,9263	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			fossilwater	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			unspecified	N/C	N/C	498486,108	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	161914,9022	176374,6685
			agricultural	N/C	N/C	498486,108	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	161914,9022	176374,6685
			forestry	N/C	N/C	498486,108	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	161914,9022	176374,6685
			industrial	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			urban, non industrial	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			unspecified	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
Cuivre	7440-50-8	Air	unspecified	1820000	N/C	N/C	N/A	1994,520548	1,42E-09	3,81E-09	3,84E-08	N/C	N/C	
			low pop	1825000	N/C	N/C	N/A	2000	1,79E-09	3,59E-09	1,01E-08	N/C	N/C	
			low pop long-term	1825000	N/C	N/C	N/A	2000	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			high pop	1815000	N/C	N/C	N/A	1989,041096	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			stratosphere	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			stratosphere + troposphere	1825000	N/C	N/C	N/A	2000	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
		Eau	indoor	1820000	N/C	N/C	N/A	1994,520548	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			unspecified	4960000	N/C	N/C	N/A	5475,323235	1,00E-07	1,12E-07	1,12E-07	N/C	N/C	
			groundwater	N/C	N/C	N/C	N/A	5475,323235	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			groundwater, long-term	N/C	N/C	N/C	N/A	0	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			lake	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			ocean	4,625E-16	N/C	N/C	N/A	5,07E-19	6,88E-30	3,01E-29	1,88E-27	N/C	N/C	
		Sol	river	N/C	N/C	N/C	N/A	5475,323235	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			river, long-term	N/C	N/C	N/C	N/A	0	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			fossilwater	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			unspecified	2620000	N/C	N/C	N/A	2871,232877	5,93E-10	4,29E-09	1,02E-07	N/C	N/C	
			agricultural	2620000	N/C	N/C	N/A	3163,873151	3,42E-10	2,28E-09	1,06E-08	N/C	N/C	
			forestry	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			industrial	N/C	N/C	N/C	N/A	2871,232877	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			urban, non industrial	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			unspecified	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
Cu(II)	15158-11-9	Air	unspecified	N/C	N/C	10528,13525	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	4,70E+05	5,69E+05	
			low pop	N/C	N/C	10566,47623	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	4,80E+05	5,74E+05	
			low pop long-term	N/C	N/C	10566,47623	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			high pop	N/C	N/C	10489,79426	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	4,61E+05	5,63E+05	
			stratosphere	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			stratosphere + troposphere	N/C	N/C	10566,47623	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
		Eau	indoor	N/C	N/C	10528,13525	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	4,70E+05	5,69E+05
			unspecified	N/C	N/C	28155,93043	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	5,82E+05	1,22E+06
			groundwater	N/C	N/C	28155,93043	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	5,82E+05	1,22E+06
			groundwater, long-term	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			lake	N/C	N/C	28155,93043	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	5,82E+05	1,22E+06
			ocean	N/C	N/C	2,67337E-18	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	4,08E-17	6,47E-11
		Sol	river	N/C	N/C	28155,93043	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	5,82E+05	1,22E+06
			river, long-term	N/C	N/C	28155,93043	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			fossilwater	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			unspecified	N/C	N/C	14863,097	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	3,30E+05	4,03E+05
			agricultural	N/C	N/C	14863,097	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	3,79E+05	4,18E+05
			forestry	N/C	N/C	14863,097	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	3,30E+05	4,03E+05
			industrial	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			urban, non industrial	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			unspecified	N/C	N/C	N/C	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	

ix - N/C (Not characterized) signifie que la substance n'est pas caractérisée par la méthode pour le sous-compartiment concerné. N/A (Not available) signifie que la caractérisation de l'écotoxicité d'eau douce n'est pas disponible dans la méthode. Les CFs des méthodes USEtox 2.12 natif (R+I), LC-Impact (core) et LC-Impact (extended) ont été obtenus à partir des fichiers natifs (Excel). Les autres CFs ont été obtenus à partir de la version disponible dans Simapro (version 9.2.0.2).

**Tableau 24 : Valeurs des facteurs de caractérisation par substance et par méthodes au niveau endpoint et pour la catégorie d'impacts écotoxicité marine.**

Eco-toxicité marine																	
Substances	CAS number	Compartment d'émission	Sous compartiments Simapro	Résultats endpoint : toxicité marine pour 1 kg de substance émise													
				USEtox 2 (R+I)	USEtox 2 (R)	USEtox 2.12 natif (R+I)	EF 3.0	IMPACT World+	ReCiPe 2016 (I)	ReCiPe 2016 (H)	ReCiPe 2016 (E)	LC-Impact (core)	LC-Impact (extended)				
				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	species.yr	species.yr	species.yr	CDUe, PDF m3 day	CDUe, PDF m3 day				
Glyphosate	1071-83-6	Air	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	8,72E-12	8,70E-12	8,70E-12	1,18E+00	1,18E+00			
			low pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	9,70E-12	9,69E-12	9,69E-12	1,64E+00	1,64E+00		
			low pop long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
			high pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	7,26E-01	7,26E-01		
			stratosphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
			stratosphere + troposphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
		Eau	indoor	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1,18E+00	1,18E+00		
			unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5,98E-12	5,97E-12	5,97E-12	1,77E+00	1,77E+00		
			groundwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1,77E+00	1,77E+00		
			groundwater, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
			lake	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1,77E+00	1,77E+00		
			ocean	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,69E-11	2,69E-11	2,69E-11	1,35E+01	1,35E+01		
		Sol	river	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1,77E+00	1,77E+00		
			river, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
			fossilwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
			unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4,05E-12	4,05E-12	4,05E-12	3,95E-01	3,95E-01		
			agricultural	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	8,80E-13	8,77E-13	8,77E-13	3,95E-01	3,95E-01		
			forestry	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	3,95E-01	3,95E-01		
		Lambda-cyhalothrine	91465-08-6	Air	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,07E-06	2,19E-06	2,19E-06	1,60E+07	1,60E+07	
					low pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,62E-06	2,76E-06	2,76E-06	1,63E+07	1,63E+07
					low pop long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
					high pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1,56E+07	1,56E+07
					stratosphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
					stratosphere + troposphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
Eau	indoor			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1,60E+07	1,60E+07		
	unspecified			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,01E-06	1,13E-06	1,13E-06	1,34E+08	1,34E+08		
	groundwater			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1,34E+08	1,34E+08		
	groundwater, long-term			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
	lake			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1,34E+08	1,34E+08		
	ocean			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	6,40E-06	6,70E-06	6,71E-06	3,81E+08	3,81E+08		
Sol	river			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1,34E+08	1,34E+08		
	river, long-term			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
	fossilwater			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
	unspecified			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5,20E-08	5,81E-08	5,81E-08	1,22E+04	1,22E+04		
	agricultural			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4,53E-08	4,98E-08	4,98E-08	1,22E+04	1,22E+04		
	forestry			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1,22E+04	1,22E+04		
Ethanol	64-17-5			Air	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4,00E-14	4,00E-14	4,00E-14	5,94E-01	5,94E-01	
					low pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4,56E-14	4,56E-14	4,56E-14	5,98E-01	5,98E-01
					low pop long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
					high pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	5,89E-01	5,89E-01
					stratosphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
					stratosphere + troposphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
		Eau	indoor	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	5,94E-01	5,94E-01		
			unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,35E-14	2,36E-14	2,36E-14	1,24E-01	1,24E-01		
			groundwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1,24E-01	1,24E-01		
			groundwater, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
			lake	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1,24E-01	1,24E-01		
			ocean	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	9,45E-14	9,46E-14	9,46E-14	1,10E-01	1,10E-01		
		Sol	river	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1,24E-01	1,24E-01		
			river, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
			fossilwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
			unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	8,61E-15	8,62E-15	8,62E-15	1,87E-01	1,87E-01		
			agricultural	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5,13E-15	5,14E-15	5,14E-15	1,87E-01	1,87E-01		
			forestry	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1,87E-01	1,87E-01		
		Ammoniac	7664-41-7	Air	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
					low pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
					low pop long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
					high pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
					stratosphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
					stratosphere + troposphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
Eau	indoor			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
	unspecified			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
	groundwater			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
	groundwater, long-term			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
	lake			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
	ocean			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
Sol	river			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
	river, long-term			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
	fossilwater			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
	unspecified			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
	agricultural			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
	forestry			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
Sol	industrial			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
	urban, non industrial			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
	unspecified			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
	low pop			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
	low pop long-term			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
	high pop			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		

ECOTOXICITE : INDICATEURS, METHODOLOGIE, DEVELOPPEMENTS RECENTS ET A VENIR

Eco-toxicité marine															
Substances	CAS number	Compartment d'émission	Sous compartiments Simapro	Résultats endpoint : toxicity marine pour 1 kg de substance émise									LC-Impact (core) CDUe, PDF m3 day	LC-Impact (extended) CDUe, PDF m3 day	
				USEtox 2 (R+I)	USEtox 2 (R)	USEtox 2.12 natif (R+I)	EF 3.0	IMPACT World+	ReCiPe 2016 (I)	ReCiPe 2016 (H)	ReCiPe 2016 (E)				
				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	species.yr	species.yr	species.yr				
Aluminium	7429-90-5	Air	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			low pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			low pop long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			high pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			stratosphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
		Eau	stratosphere + troposphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			indoor	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			groundwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			groundwater, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			lake	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			ocean	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			river	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			river, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			fossilwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
		Sol	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			agricultural	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			forestry	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			urban, non industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
Al(III)	22537-23-1	Air	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1.07E+08	1.14E+08	
			low pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	108794289.3	1.17E+08	
			low pop long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			high pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	104569544.4	1.12E+08
			stratosphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
		Eau	stratosphere + troposphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			indoor	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	106681916.8	1.14E+08
			unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	131156060.4	1.50E+08
			groundwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	131156060.4	1.50E+08
			groundwater, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			lake	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	131156060.4	1.50E+08
			ocean	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	152439273.6	1.74E+08
			river	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	131156060.4	1.50E+08
			river, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			fossilwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
		Sol	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	88459191.28	8.94E+07
			agricultural	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	88459191.28	8.94E+07
			forestry	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	88459191.28	8.94E+07
			industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			urban, non industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.08E-08	5.33E-08	1.84E-05	N/C	N/C
Cuivre	7440-50-8	Air	low pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.56E-08	7.69E-08	2.41E-05	N/C	N/C	
			low pop long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			high pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			stratosphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			stratosphere + troposphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
		Eau	indoor	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3.42E-09	2.03E-08	6.19E-06	N/C	N/C
			groundwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			groundwater, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			lake	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			ocean	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3.70E-08	1.65E-07	4.69E-05	N/C	N/C
			river	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			river, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			fossilwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.41E-11	4.40E-10	5.61E-06	N/C	N/C
		Sol	agricultural	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	8.13E-12	2.41E-10	5.84E-07	N/C	N/C
			forestry	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			urban, non industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			low pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	2.09E+04	3.54E+04
Cu(II)	15158-11-9	Air	low pop long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	2.16E+04	3.65E+04	
			high pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	2.03E+04	3.43E+04	
			stratosphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			stratosphere + troposphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			indoor	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	2.09E+04	3.54E+04
		Eau	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	6.30E+03	1.12E+04
			groundwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	6.30E+03	1.12E+04
			groundwater, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			lake	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	6.30E+03	1.12E+04
			ocean	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	6.09E+04	1.08E+05
			river	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	6.30E+03	1.12E+04
			river, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			fossilwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	3.57E+03	4.12E+03
			agricultural	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	4.10E+03	4.40E+03
		Sol	forestry	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	3.57E+03	4.12E+03
			industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			urban, non industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C

x - N/C (Not characterized) signifie que la substance n'est pas caractérisée par la méthode pour le sous-compartiment concerné. N/A (Not available) signifie que la caractérisation de l'écotoxicité marine n'est pas disponible dans la méthode. Les CFs des méthodes USEtox 2.12 natif (R+I), LC-Impact (core) et LC-Impact (extended) ont été obtenus à partir des fichiers natifs (Excel). Les autres CFs ont été obtenus à partir de la version disponible dans SimaPro (version 9.2.0.2).

**Tableau 25 : Valeurs des facteurs de caractérisation par substance et par méthodes au niveau endpoint et pour la catégorie d'impacts écotoxicité terrestre.**

Eco-toxicité terrestre															
Substances	CAS number	Compartment d'émission	Sous compartiments Simapro	Résultats endpoint : toxicité terrestre pour 1 kg de substance émise											
				USEtox 2 (R+I)	USEtox 2 (R)	USEtox 2.12 natif (R+I)	EF 3.0	IMPACT World+	ReCiPe 2016 (I)	ReCiPe 2016 (H)	ReCiPe 2016 (E)	LC-Impact (core)	LC-Impact (extended)		
				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	species.yr	species.yr	species.yr	CDUe, PDF m3 day	CDUe, PDF m3 day		
Glyphosate	1071-83-6	Air	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,41E-08	1,41E-08	1,41E-08	5,18E+00	5,18E+00	
			low pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,72E-08	1,72E-08	1,72E-08	8,97E+00	8,97E+00
			low pop long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			high pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1,40E+00	1,40E+00
			stratosphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			stratosphere + troposphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
		Eau	indoor	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	5,18E+00	5,18E+00
			unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3,73E-22	3,73E-22	3,73E-22	1,46E-02	1,46E-02
			groundwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1,46E-02	1,46E-02
			groundwater, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			lake	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1,46E-02	1,46E-02
			ocean	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,02E-24	2,02E-24	2,02E-24	2,90E-08	2,90E-08
			river	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1,46E-02	1,46E-02
			river, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			fossilwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			Sol	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,45E-21	1,45E-21	1,45E-21	1,19E+01
		agricultural		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	6,99E-16	6,99E-16	6,99E-16	1,19E+01	1,19E+01
		forestry		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1,19E+01	1,19E+01
		industrial		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
		urban, non industrial		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
		Lambda-cyhalothrine	91465-08-6	Air	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,82E-06	2,82E-06	2,82E-06	1,24E+02
low pop	N/A				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3,55E-06	3,55E-06	3,55E-06	1,32E+02	1,32E+02
low pop long-term	N/A				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
high pop	N/A				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1,16E+02	1,16E+02
stratosphere	N/A				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
stratosphere + troposphere	N/A				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
Eau	indoor			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1,24E+02	1,24E+02
	unspecified			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,01E-07	2,13E-07	2,13E-07	9,76E+00	9,76E+00
	groundwater			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	9,76E+00	9,76E+00
	groundwater, long-term			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
	lake			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	9,76E+00	9,76E+00
	ocean			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,05E-07	1,12E-07	1,12E-07	1,21E+00	1,21E+00
	river			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	9,76E+00	9,76E+00
	river, long-term			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
	fossilwater			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
	Sol			unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	6,28E-08	6,43E-08	6,43E-08	1,66E+03
agricultural				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	6,14E-08	6,28E-08	6,28E-08	1,66E+03	1,66E+03
forestry				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1,66E+03	1,66E+03
industrial				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
urban, non industrial				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
Ethanol	64-17-5			Air	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	8,21E-13	8,21E-13	8,21E-13	1,37E-02
		low pop	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	9,37E-13	9,37E-13	9,37E-13	1,38E-02	1,38E-02
		low pop long-term	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
		high pop	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1,36E-02	1,36E-02
		stratosphere	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
		stratosphere + troposphere	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
		Eau	indoor	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1,37E-02	1,37E-02
			unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,99E-13	2,99E-13	2,99E-13	2,82E-03	2,82E-03
			groundwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	2,82E-03	2,82E-03
			groundwater, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			lake	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	2,82E-03	2,82E-03
			ocean	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,14E-14	2,14E-14	2,14E-14	8,90E-05	8,90E-05
			river	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	2,82E-03	2,82E-03
			river, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			fossilwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			Sol	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,38E-13	1,38E-13	1,38E-13	1,92E-01
		agricultural		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,01E-13	1,01E-13	1,01E-13	1,92E-01	1,92E-01
		forestry		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1,92E-01	1,92E-01
		industrial		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
		urban, non industrial		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
		Ammoniac	7664-41-7	Air	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C
low pop	N/A				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
low pop long-term	N/A				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
high pop	N/A				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
stratosphere	N/A				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
stratosphere + troposphere	N/A				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
Eau	indoor			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
	unspecified			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
	groundwater			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
	groundwater, long-term			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
	lake			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
	ocean			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
	river			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
	river, long-term			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
	fossilwater			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
	Sol			unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C
agricultural				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
forestry				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
industrial				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
urban, non industrial				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C

# ECOTOXICITE : INDICATEURS, METHODOLOGIE, DEVELOPPEMENTS RECENTS ET A VENIR

Eco-toxicité terrestre																
Substances	CAS number	Compartment d'émission	Sous compartiments Simapro	Résultats endpoint : toxicité terrestre pour 1 kg de substance émise									LC-Impact (core) CDUe, PDF m3 day	LC-Impact (extended) CDUe, PDF m3 day		
				USEtox 2 (R+I)	USEtox 2 (R)	USEtox 2.12 natif (R+I)	EF 3.0	IMPACT World+	ReCiPe 2016 (I)	ReCiPe 2016 (H)	ReCiPe 2016 (E)					
				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	species.yr	species.yr	species.yr					
Aluminium	7429-90-5	Air	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C		
			low pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	
			low pop long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			high pop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			stratosphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
		Eau	stratosphere + troposphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			indoor	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			groundwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			groundwater, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			lake	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			ocean	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			river	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			river, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			fossilwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
			Sol	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C
		agricultural		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
		forestry		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
		industrial		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
		urban, non industrial		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
		Al(III)	22537-23-1	Air	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	4,07E+04	4,07E+04
low pop	N/A				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	42022,01264	42027,88462	
low pop long-term	N/A				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	
high pop	N/A				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	39300,36385	39305,85552
stratosphere	N/A				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
Eau	stratosphere + troposphere			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
	indoor			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	40661,88824	40666,87006
	unspecified			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	297,7790232	297,8208994
	groundwater			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	297,7790232	297,8208994
	groundwater, long-term			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
	lake			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	297,7790232	297,8208994
	ocean			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	8,17864E-16	1,15919E-14
	river			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	297,7790232	297,8208994
	river, long-term			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
	fossilwater			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
	Sol			unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	37039,41516
agricultural				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	37039,41516	37044,67706
forestry				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	37039,41516	37044,67706
industrial				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
urban, non industrial				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
Cuivre	7440-50-8			Air	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	6,04E-06	1,38E-05	1,48E-05	N/C	N/C
		low pop	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	8,73E-06	2,00E-05	2,14E-05	N/C	N/C	
		low pop long-term	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	
		high pop	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	
		stratosphere	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	
		Eau	stratosphere + troposphere	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	
			indoor	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	
			unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,98E-26	1,15E-25	6,32E-25	N/C	N/C
			groundwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	
			groundwater, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	
			lake	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	
			ocean	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3,10E-26	1,68E-25	4,00E-24	N/C	N/C
			river	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	
			river, long-term	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	
			fossilwater	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	
			Sol	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,05E-28	2,90E-27	5,72E-25	N/C
		agricultural		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	6,10E-29	1,57E-27	5,96E-26	N/C	N/C
		forestry		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	
		industrial		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	
		urban, non industrial		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	
		Cu(II)	15158-11-9	Air	unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1,67E+02	1,87E+02
low pop	N/A				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1,72E+02	1,94E+02	
low pop long-term	N/A				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	
high pop	N/A				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1,61E+02	1,81E+02
stratosphere	N/A				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	
Eau	stratosphere + troposphere			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	
	indoor			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1,67E+02	1,87E+02
	unspecified			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	2,42E-01	2,65E-01
	groundwater			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	2,42E-01	2,65E-01
	groundwater, long-term			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	
	lake			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	2,42E-01	2,65E-01
	ocean			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	1,41E-20	1,90E-16
	river			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	2,42E-01	2,65E-01
	river, long-term			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	
	fossilwater			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	
	Sol			unspecified	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	5,88E+01
agricultural				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	2,49E+02	2,73E+02
forestry				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	5,88E+01	7,06E+01
industrial				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	
urban, non industrial				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/C	N/C	N/C	

xi - N/C (Not characterized) signifie que la substance n'est pas caractérisée par la méthode pour le sous-compartiment concerné. N/A (Not available) signifie que la caractérisation de l'écotoxicité terrestre n'est pas disponible dans la méthode. Les CFs des méthodes USEtox 2.12 natif (R+I), LC-Impact (core) et LC-Impact (extended) ont été obtenus à partir des fichiers natifs (Excel). Les autres CFs ont été obtenus à partir de la version disponible dans Simapro (version 9.2.0.2).

## Annexe 21 - Comptes-rendus des entretiens avec les experts

### Entretien avec Erwan Saouter du 21/02/2022

21/02/2022	14h00	Video interview
Interview conducted by		
<ul style="list-style-type: none"> <li>🕒 Anne-Claire Asselin</li> <li>🕒 Aurore Wermeille</li> <li>🕒 Céline Gentil-Sergent</li> <li>🕒 Célia Chamillard</li> </ul>		
Erwan Saouter		<a href="mailto:saouter@net-zero-impact.eu">saouter@net-zero-impact.eu</a>

#### Objectives of the interview

I Care and Sayari are carrying out a mission for Score LCA with the following four objectives: i) make an inventory of existing ecotoxicity methods and impact categories in LCIA; ii) analyze the foundations of these methods, understand the methodological choices and calculation; iii) test methods on case studies; iv) Set up recommendations for practitioners.

The first three objectives have resulted in the drafting of a first interim report and the project team is now in the process of conducting expert interviews to:

- 1) Collect concrete elements to provide **operational recommendations to the practitioners**.
- 2) Provide outlook on the development of ecotoxicity methodologies and their integration in LCA multi-impact-pathways methods

#### Who are you?

- Presentation of the interviewee
- Current position and past experiences
- Global approach to ecotoxicity in LCA:
  - If it is the case, method represented and role in its development
  - What is your current use of ecotoxicity methods?

Erwan Saouter dirige aujourd'hui une société de consulting sur le sujet « Net Zero Carbon » mais réalise encore quelques interventions en tant qu'expert écotoxicité. Il a travaillé au JRC pour adapter USEtox au PEF et renforcer sa robustesse. Erwan est arrivé par le risk assessment dans l'ACV, avec une formation de toxicologue.

Il existe encore une séparation assez importante entre ACV et Risk Assessment: les toxicologues ont du mal à comprendre comment on peut évaluer la toxicité humaine et l'écotoxicité par l'ACV.

#### Recommendations to practitioners

De manière générale, Erwan recommande de s'approcher le plus possible des recommandations GLAM pour lesquelles des décisions importantes ont été prises (prendre la HC20 vs HC50, utiliser des données chroniques vs données aiguës, ou encore utiliser des bases de données reconnues) et de ne pas chercher à proposer de nouvelles choses pour l'instant.

En termes de bases de données, REACH (base réglementaire) est aujourd'hui la référence mondiale. Elle a été construite à partir de bases de données existantes après 10-15 ans de discussion avec des parties prenantes. REACH se base sur toutes les données disponibles à sa création, y compris les données de la base US Aquateox, plus ancienne.

Un objectif serait de regrouper l'ensemble des bases de données actuelles et d'y adjoindre les données du [projet Solutions](#) (Pays-Bas). Ce projet dispose en effet de données additionnelles, essentiellement sur l'écotoxicité, qui permettraient d'augmenter le nombre de substances avec un facteur de caractérisation. Plutôt orienté Risk Assessment, ce projet couvre plus de 12 000 substances. Pour ce projet, l'équipe a utilisé toutes les données à disposition, là où le JRC avait effectué un travail d'élimination pour ne garder que les données les plus robustes (environ 20%). Les résultats entre EF et le projet Solutions sont proches (concernant les EF). Néanmoins, enrichir avec les travaux du projet Solutions impliquerait un nouveau changement des CFs.

- On ecotoxicity methods in general (*and if applicable, the one represented in particular*) According to you, what are the strengths, weaknesses, and limitations of the method(s)? And what could be improved?

EF3.0 est la méthode de la Commission Européenne et devrait l'être pour les 5 à 10 prochaines années, de la même manière que le PEF devrait être la seule méthode utilisée pour l'affichage environnemental. Erwan recommande d'utiliser EF3.0 développé par l'Europe.

Il existe plusieurs points de désaccord entre USEtox et EF3 les deux méthodes :

- **La base de données** : la base de données ecotox est différente. EF3 a utilisé la base de données réglementaire REACH utilisée pour la classification toxicologique et l'étiquetage des produits, les données EFSA et la PPDB (pesticide properties database). Ces données sont celles utilisées par déterminer le niveau de sécurité acceptable pour l'homme et l'environnement. Bien que REACH contient des données de mauvaise qualité (l'objectif de REACH était de collecter toutes les données en un seul et même lieu), celles-ci ont été exclues par le JRC en utilisant les mêmes critères d'exclusion utilisés dans le cadre réglementaire. Seules 20% ont été gardées pour calculer les facteurs de toxicité 'EF' (celles considérées comme les plus robustes);
- **Une interprétation séparée des 'Impact Scores' pour les** métaux essentiels ou non, les substances inorganiques non métalliques et les substances organiques;
- **Facteurs de robustesse par catégorie de substance** : Définis de manière arbitraire par le JRC avec pour objectif de pouvoir redonner du poids aux substances organiques et donner plus d'éléments aux praticiens pour aller plus loin qu'un seul et unique score.

**Le facteur d'exposition**, peut éliminer certaines substances bioaccumulables mais au Kow très élevé. Cette approche est recevable dans le cadre du risk assessment, mais en ACV ces substances vont dans les sédiments qu'il faut alors ajouter. Toutes les substances PBT sont éliminées ; or, en toxicologie, ce qui est absorbé ne disparaît pas ; Une des conclusions du GLAM était de retirer le facteur de bioaccumulation de l'équation des facteurs de caractérisation. Ce retrait n'a toutefois pas été fait dans le cadre de la méthode EF3, puisqu'il devait être mis en place par l'équipe USEtox. JRC n'a pas changé le modèle, juste les données utilisées pour faire tourner le modèle.

**USEtox est steady state** (i.e., à l'équilibre), on regarde ce qui reste comme toxicité après intégrations spatiale et temporelle des substances. C'est l'argument de « l'aire sous la courbe de concentration de la substance » dans l'environnement, qui peut poser un problème car on peut avoir une aire équivalente pour plusieurs substances mais une réalité toxicologique bien différente dans le temps, avec des pics de toxicité/relargage dans l'environnement qui ne sont pas considérés.

Plus spécifiquement sur la séparation en trois catégories de substances par le JRC :

- Sur 120 ACV, en utilisant USEtox, dans la quasi totalité des études la toxicité est uniquement due aux métaux (à l'exception des produits alimentaires où l'on retrouve des produits phytosanitaires). Les résultats avec EF3 sont un peu plus « équilibrés » puisque l'on peut analyser les scores séparément. .
- On pourrait conclure de USEtox que les substances organiques sur le marché ne posent pas de problème d'écotoxicité, ce qui est questionnable :

- les métaux sont-ils correctement évalués ou surévalués ?
- USEtox indique que le zinc est problématique pour la santé humaine, alors que la population européenne est carencée en zinc
- De manière générale, on observe des différences entre l'ACV et la réalité toxicologique, et des conclusions contradictoires entre ACV et Risk Assessment.
- Comment l'expliquer ?
  - Remonter à la base de données ACV et les fiches d'inventaire : longtemps les métaux étaient suivis et reportés en priorité (métaux reportés par type alors que les substances organiques sont agrégées en DOC / VOC ...).
  - Contrairement aux substances organiques, les métaux sont persistants dans les milieux.

Autre problème de la méthode USEtox :

- Le nombre de substances caractérisées
  
- How are GLAM recommendations considered in the current version of the methods and in the future developments? More especially, what do you think about the consideration (current and future) of the following GLAM recommendations:
  - Use data that has a traceable origin
  - Disregard bioaccumulation as removal mechanisms in all compartments when calculating exposure factors
  - Develop methods to address pollinator exposure and related impacts in LCIA due to the importance of this impact pathway
  
- *In case you are representing one:* Could you tell us about the upcoming developments of your method?

#### **On your recommendations for practitioners:**

- Do you recommend the use of a particular ecotoxicity method for practitioners? If yes, why?
- In what context would you recommend spatialization of ecotoxicity?
- How would you recommend dealing with substances that are not characterized? In your opinion, is it useful to have CF for archetypes? Would you recommend a specific approach to those?

A la fin, l'objectif d'une ACV n'est pas de prendre une décision toxicologique. On ne devrait pas parler d' « impact ». L'ACV donne un « indicateur de pression environnementale ». Si cette pression a lieu au milieu du désert, c'est moins grave que de dire que c'est au milieu de Paris..

Il y a nécessité de retourner aux fiches d'inventaire et d'utiliser des algorithmes pour prendre le maximum de données évolutives (ref. publication Poore et Nemecek 2018, <https://doi.org/10.1126/science.aag0216>). On peut avoir plusieurs facteurs 10 en comparant des ACV d'un même produit avec différentes sources de données. Aujourd'hui seul 50% des substances sont caractérisés.

- What would be recommendations for practitioners using a multi-impact pathway method (e.g., EF3, Impact World+, LC Impact)? Should they account for ecotoxicity? If

yes, would you recommend precautions to be taken? Should they favor an endpoint rather than a midpoint approach?

Ne pas prendre en compte l'écotoxicité rendrait l'ACV incomplète. Erwan propose plutôt de la prendre en compte en connaissance de cause car elle permet tout de même une comparaison entre les substances par catégorie et déterminer si une option est plus 'toxique', mais ce n'est en aucun cas une mesure de l'impact environnemental.

- There seems to be a contradiction between recommendation for toxicity assessment (analyze separately metals, organics, and other substances) and aggregation of multi-impact pathway methods? What would be your recommendation for practitioners?

Privilégier la simplicité : il serait intéressant de comptabiliser la totalité des substances classées PBT / VPVD / CMR et de les quantifier dans les produits et/ou de comparer leur présence dans différents produits. Un PBT ou un CMR peut être non problématique d'un point de vue risk assessment, par contre leur utilisation devrait être réduite au minimum, voire éliminée. .

Par exemple la méthode CDV (Critical Division Volume : CDV : volume d'eau nécessaire pour diluer la substance afin qu'elle ne soit pas toxique pour l'environnement), qui se retrouve dans les écolabels, donne une indication facile à comprendre et à utiliser. Or le CDV et USEtox amènent à des résultats contradictoires (ref : Saouter et al 2018, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.05.022>).

Pour l'éco-conception, le CDV est plus robuste. L'ensemble des substances présentes dans un produit est pris en compte).

Sur l'intégration de l'aspect temporel dans les méthodes :

- Influence du time horizon sur les résultats, et notamment l'impact des métaux comparé à celui des substances organiques.
- Piste de l'approche en dynamique d'un groupe de travail de Toulouse (Ligia BARNA : Department of sustainable chemical engineering).
- What do you think of the inclusion of the methods in LCA software? What about your method in particular?
  - What would you recommend to practitioners using ecotoxicity methods via an LCA software?

## Outlook

More generally, on the future of the methods:

- How do you see the future of ecotoxicity methods? Particularly on the following points:
  - Inclusion of indicators for terrestrial ecotoxicity
  - Inclusion of indicators for sediments
  - Inclusion of indicators for marine ecotoxicity

Pour compléter l'écotoxicité aquatique, il faudrait ajouter celle des sédiments.

Il y a une différence entre les substances qui contribuent à l'écotoxicité terrestre et celles qui contribuent à l'écotoxicité aquatique. En l'absence de données de toxicité terrestre, on utilise les données aquatiques avec des facteurs d'extrapolation. C'est d'ailleurs ce que fait ReCiPe (écotoxicité marine et terrestre, introduction de plusieurs time horizons).

- Dealing with metal speciation

Mission impossible de par le caractère essentiel des métaux. En ACV, l'hypothèse est que même une petite masse de métaux a un impact défavorable. Il est impossible de différencier les quantités essentielles, optimales et toxiques..

Sinon, il faudrait beaucoup de données et une spatialité très locale pour pallier ce problème. A terme des solutions existeront avec l'intelligence artificielle et le big data, qui permettront d'obtenir des données réelles de concentration et de rejets dans l'environnement, une cartographie des métaux lourds, etc.. La CE a un projet de recherche sur 10 à 20 ans pour modéliser la planète.

- Within R&D teams, how to coordinate the work between risk assessment and LCA people for robust and consistent decision making during an analysis/development on the ecotoxicity of a product?

Ce sont deux choses complètement différentes :

- L'ACV donne un index de pression environnementale global de toutes les substances émises sur l'ensemble du cycle de vie du produit.
- L'évaluation du risque est locale et permet de déterminer le % de la population qui serait affecté. Ou dit autrement, l'évaluation du risque permet de déterminer les doses sûres pour une population.

Les décisions de sécurité sanitaire et environnementale ne se basent jamais sur des ACV.

### Entretien avec Tomas Rydberg du 22/02/2022

22/02/2022	09h00	Video interview
Interview conducted by		
<ul style="list-style-type: none"> <li>🕒 Anne-Claire Asselin</li> <li>🕒 Aurore Wermeille</li> <li>🕒 Célia Chamillard</li> </ul>		
Tomas Rydberg		<a href="mailto:tomas.rydberg@ivl.se">tomas.rydberg@ivl.se</a>

### Objectives of the interview

I Care and Sayari are carrying out a mission for Score LCA with the following four objectives: i) make an inventory of existing ecotoxicity methods and impact categories in LCIA; ii) analyze the foundations of these methods, understand the methodological choices and calculation; iii) test methods on case studies; iv) Set up recommendations for practitioners.

The first three objectives have resulted in the drafting of a first interim report and the project team is now in the process of conducting expert interviews to:

- 1) Collect concrete elements to provide **operational recommendations to the practitioners.**
- 2) Provide outlook on the development of ecotoxicity methodologies and their integration in LCA multi-impact-pathways methods

### Who are you?

- Presentation of the interviewee
- Current position and past experiences
- Global approach to ecotoxicity in LCA:
  - If it is the case, method represented and role in its development
  - What is your current use of ecotoxicity methods?

Tomas has been working at the Swedish environmental research institute (IVS) since 2005. He works regularly but not solely with ecotoxicity aspects in LCA, for which he has had long interest.

He was involved in OMNITOX, an EU project (2000 – 2004) preceding USEtox and with common team members (including Ralph Rosenbaum). After that, Tomas engaged occasionally in USEtox, including a few publications (e.g.<sup>5</sup>) on the topic including used TOX / ECOTOX methods in LCA with clients<sup>6,7</sup>.

IVL was part of the ProScale project a few years ago; the aim was to develop an approach for health impact assessment of chemicals<sup>8</sup>. They developed a simple approach, EcoScale<sup>9</sup>, looking at the hazard classification system (from REACH) and organizing hazard classes in scoring classes. The objective behind the approach was to overcome the lack of data.

They are currently working with BASF to analyse differences between ProScale and EcoScale. The idea is to have a simpler method that will indicate relevant ecotoxicity results for a product. Many chemicals are still not classified in the system (ex. PFAS, a group of substance which is poorly covered), which is a problem, but also a common challenge with other methods.

Tomas' is part of a current research program called "Mistra SafeChem" (<https://mistrasafechem.se/>)

## Recommendations to practitioners

- On ecotoxicity methods in general (*and if applicable, the one represented in particular*) According to you, what are the strengths, weaknesses, and limitations of the method(s)? And what could be improved?

USEtox cannot be avoided but using it may lead to difficulties. Tomas recommends to also work with another method in parallel (e.g. CML 2002) to compare results. Indeed, by using a second method, one can have access to different time horizons and CFs that are not already available in USEtox.

Some companies have been working with a modified version of USEtox, using a Critical Dilution Volume (CDV) approach for EFs. It is an interesting approach to address the most sensitive organisms (EFs in native USEtox are considering a fraction of species numbers rather than the most sensitive ones). The critical volume method is another way to establish the severeness of a chemical.

For Tomas, the choice between midpoint and endpoint is not the main issue, given the fact that LCA is used to compare impacts anyways. But using CDV eliminates one key element in the variability of EF: the slope of the dose-response curve. Indeed, slopes are different for each substance. Using an HC50 or HC 20 implies accounting for the slope, whereas accounting for CDV is independent from slope.

---

<sup>5</sup> Holmquist H, Lexén J, Rahmberg M, Sahlin U, Grönholdt Palm J, Rydberg T (2018), The potential to use QSAR to populate eco-toxicity characterisation factors for simplified LCIA and chemicals prioritisation, *Int J Life Cycle Assess* (2018) 23: 2208-2216. <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1452-X>.

<sup>6</sup> Corrado, S., Rydberg, T., Oliveira, F., Cerutti, A., Sala, S. (2020). Out of sight out of mind? A life cycle-based environmental assessment of goods traded by the European Union. *Journal of Cleaner Production*, 246, 118954. 10.1016/j.jclepro.2019.118954

<sup>7</sup> Palm Cousins A, Brorström Lundén E, Lexén J, Rydberg T (2018), *Emissions from Articles. Synthesis report of the ChEmiTecs Research Program*. IVL Report C301 & Swedish Environmental Protection Agency REPORT 6802, ISBN 978-91-620-6802-8, Stockholm, Sweden.

<sup>8</sup> Lexén J, et al, ProScale – A life cycle oriented method to assess toxicological potentials of product systems, Guidance document, version 1.5, on behalf of the ProScale consortium, UetlibergPartners, Oetlikon, Switzerland, and IVL Swedish Environmental Research Institute, Stockholm Sweden, IVL report B2433, ISBN 978-91-7883-335-1. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1614736/FULLTEXT01.pdf>

<sup>9</sup> Lindström M, Rydberg T, Development of a H-Phrase scoring method for ecotoxicity characterization, Abstract to SETAC Europe 29<sup>th</sup> Annual Meeting, Helsinki 27-30 May, 2019. (Platform presentation)

Tomas also questions the time horizon used in ecotox (infinite).

- How are GLAM recommendations considered in the current version of the methods and in the future developments? More especially, what do you think about the consideration (current and future) of the following GLAM recommendations:
  - Use data that has a traceable origin
  - Disregard bioaccumulation as removal mechanisms in all compartments when calculating exposure factors
  - Develop methods to address pollinator exposure and related impacts in LCIA due to the importance of this impact pathway
- *In case you are representing one:* Could you tell us about the upcoming developments of your method?

### **On your recommendations for practitioners:**

- Do you recommend the use of a particular ecotoxicity method for practitioners? If yes, why?

If you are only using one method, use USEtox. JRC developed their own version because it was recommended to align with data from other EU databases (EFSA, REACH). The JRC version is more likely to be closer to what will be mandatory in the future. The EU Commission has established recommendation for Environmental footprint, it would be interesting to test it and give them feedback. Regarding geography, the JRC method claims to be able to be adapted to global conditions and not only to European geography.

- In what context would you recommend spatialization of ecotoxicity?

Spatialization is interesting as a research question, but for common practice it's not really possible at this point as it requires too much work.

- How would you recommend dealing with substances that are not characterized? In your opinion, is it useful to have CF for archetypes? Would you recommend a specific approach to those?

IVL has conducted trials to use some worst-case approaches, to see how it influences the system. In the EcoScale approach with substance classes, the user can always choose the highest score for non-documented substances. Such an approach could be used in other methods.

- What would be recommendations for practitioners using a multi-impact pathway method (e.g., EF3, Impact World+, LC Impact)? Should they account for ecotoxicity? If yes, would you recommend precautions to be taken? Should they favor an endpoint rather than a midpoint approach?

The main concern for ecotoxicity and toxicity is about data: is it accurate to what you want to do? Do datasets contain the data required to do the assessment correctly?

If the underlying data are reliable, then it makes sense to include them in a multi-impact pathway method. It has always been a desire of the LCA community to capture the three key issues of material consumption, energy, and chemicals (i.e., the MET approach: Material, Energy, Toxicity).

Finally, Tomas recommends applying ecotoxicity method and using them in multi-impact pathways, but to first make sure to have the correct inventory data.

- There seems to be a contradiction between recommendation for toxicity assessment (analyze separately metals, organics, and other substances) and aggregation of multi-impact pathway methods? What would be your recommendation for practitioners?

- What do you think of the inclusion of the methods in LCA software? What about your method in particular?
  - What would you recommend to practitioners using ecotoxicity methods via an LCA software?

## Outlook

More generally, on the future of the methods:

JRC should consider rebranding their method with a complete distinction from USEtox to avoid confusion. USEtox teams are keen on maintaining the concept of a consensus method. It's not good to have a consensus version of USEtox versus another version.

- How do you see the future of ecotoxicity methods? Particularly on the following points:
  - Inclusion of indicators for terrestrial ecotoxicity
  - Inclusion of indicators for marine ecotoxicity

It is a necessity to include marine and terrestrial ecotoxicity ; for now, it is incomplete to only have freshwater ecotoxicity. However, it may be difficult for practitioners to have so many ecotoxicities. An idea would be to compute (freshwater, marine, and terrestrial) ecotoxicity indicators at midpoint and select the most impactful substances before going to endpoint.

- Dealing with metal speciation
- Within R&D teams, how to coordinate the work between risk assessment and LCA people for robust and consistent decision making during an analysis/development on the ecotoxicity of a product?

The key is to establish communication between risk and LCA assessments and make sure they are looking at the same object. Risk assessment has a specific meaning regarding legislation, whereas LCA has more of a "business" meaning. In risk assessment, they are looking at reaching thresholds, which is not the case in LCA. In LCA, substances are added (even in infinitesimal concentrations) and aggregated in a score. Both approaches work with the same information but have different perspectives.

**Entretien avec Peter Fantke du 25/03/2022**

<b>25/03/2022</b>	<b>16h30</b>	<b>Video interview</b>
<b>Interview conducted by</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>🕒 Céline Gentil-Sergent</li> <li>🕒 Anne-Claire Asselin</li> <li>🕒 Aurore Wermeille</li> <li>🕒 Célia Chamillard</li> <li>🕒 Eugène Pipraud</li> </ul>		
<b>Peter Fantke</b>		<a href="mailto:pefan@dtu.dk">pefan@dtu.dk</a>

**Objectives of the interview**

I Care and Sayari are carrying out a mission for Score LCA with the following four objectives: i) make an inventory of existing ecotoxicity methods and impact categories in LCIA; ii) analyze the foundations of these methods, understand the methodological choices and calculation; iii) test methods on case studies; iv) Set up recommendations for practitioners.

The first three objectives have resulted in the drafting of a first interim report and the project team is now in the process of conducting expert interviews to:

- 1) Collect concrete elements to provide **operational recommendations to the practitioners**.
- 2) Provide outlook on the development of ecotoxicity methodologies and their integration in LCA multi-impact-pathways methods

**Recommendations to practitioners**

- According to you, what are the main strengths, weaknesses, and limitations of USEtox?

Terms that are more appropriate are ‘applicability’ and ‘limitations’. The question is about applying the right tool to the right question.

Applicability: USEtox is a model that has been developed for comparing situations where emission locations are not known (e.g. in background systems of an LCA study).

- For example, if you don’t know the soil, the situation, the emission location, and time, etc.... USEtox will still give you a relative comparison.
- If you have regular, continuous emissions, and you look for long term impact, USEtox is the right tool.
- It’s a consensus and parsimony model (includes aspects that discriminate differences in the result). With that, USEtox is as simple as possible but not simpler.

Limitations:

- If you want to compare two fields that are close (two agricultural fields, in which you know soil characteristics, climate etc...), USEtox is not the right tool, but e.g. highly spatialized and field-level models might be applied.
- The model is generic and not site specific. Huge variability in results, often driven by local phenomena. For metals, this is for example a limitation: Copper is not equally toxic depending on where it is emitted, variability according to water chemistry (several order magnitudes).
- Very “data-hungry” (several chemical input parameters), which is normal for these kinds of models.

- The user interface can be further improved (high complexity due to being a multimedia, multi-exposure and multi-impact pathway model).
- What do you think of EF3.0 in comparison to USEtox 2.12?

Peter is not very familiar with EF3.0, however according to him:

- EF3.0 relies on USEtox but has adapted some aspects. They addressed some questions/limitations of USEtox by some assumptions (e.g., data pre-processing, how HC50 should be corrected before being fed into USEtox). They have not changed the model structure according to my knowledge.
- **Inputs:**
  - USEtox has a global applicability and tries to seek the most scientifically robust and consensus global data.
  - EF3.0 has a European focus and tries to be as much compliant with European Regulatory processes as possible. For pesticides they might use perhaps data from EFSA, which has a process of harmonizing pesticides data. However, REACH has not enough data checks for the dossiers, and companies usually submit the data they are aware of (even possible to submit data for another chemical if they are “similar”). This is not very applicable for comparative processes. REACH is not made for comparative purposes, but for compliance reporting and hazard assessment.

UNEP GLAM aims at producing factors within the next 6-12 months. As discussed at the last GLAM Pellston workshop in 2019, EF3.0 will be adapted and aligned with what will be the outcome of GLAM. More than 10 000 substances will likely be characterized.

- **Interpretation:**
  - EF seems to try to help users to better understanding USEtox results. They introduced for example assumptions such as the factor 10 reduction for metal results, which is based on no scientific background. With that the choice was made to bring them closer to organic compounds results, which is not scientifically justified according to Peter. If such factor relates to possible higher uncertainty in metals, it should go in both directions as it is not stated anywhere that metal impacts are strictly overestimated.
  - Metals may truly be more impactful on the long-term because they don't degrade and accumulate. It may be more useful to compare metals and organic compounds separately, each one within their categories, as per GLAM recommendations.

- Do you recommend the use of a particular ecotoxicity method for practitioners? If yes, why?

Generic recommendation to ensure a better linkage between method developers and software providers to keep LCA software updated with the latest “state of the art” method updates.

Recommendations for conducting an LCA with all impact categories:

- Peter would not recommend to re-calculate questioning results, but to choose wisely which LCIA method you want to use at first and really identify one method that is most suited for the case at hand.
  - If the geographic domain is e.g. Europe: choose one which is based on ILCD with a European consensus character.
  - If the geographic domain is e.g. Japan: use Lime 3.
  - If it's a global LCA, choose one of the state-of-the-art global LCIA methods.
  - If regionalization is very important, choose a method where regionalization is included.
  - If biodiversity is a big pillar: use a method where this aspect is more detailed: e.g. in LC-Impact, they use species richness to scale effect factors for ecotoxicity.

- Then, refine some of these indicators only if they turn out to dominate LCA impact scores. If needed, investigate the underlying models.
- If flows are missing in the ecotoxicity characterization factors, use USEtox to add new substances and calculate related characterization factors.

The reason for this recommendation is that most of the LCA methods are internally consistent. It is much more important for multi-impact LCAs than using some updates (especially minor updates) for some of the impact categories models for flows that are not significant in their contribution to overall impact scores.

In the case where the ecotoxicity impact is so low that we can't see it in the global LCA result (because of aggregation):

- If toxicity results are not relevant in their magnitudes, no need to investigate them further.
- To see if it is relevant, look at endpoint; if at endpoint, on the same unit across impact categories, they are not contributing, no need to look further. Either they are not relevant, or all substances have not been characterized.
- If some "robustness factors" are applied, be very careful.

Question of the uncertainty: how to interpret a contribution of ecotoxicity being 1% of the overall impact while knowing the uncertainty of the indicator is a factor 100?

- It doesn't mean ecotoxicity can have a contribution of 100%. A sensitivity analysis is needed. It can have significant impact on the result, but it can't propagate like that, since also results of other impact categories would change according to their intrinsic uncertainty.

Generally speaking, the uncertainty associated with the ecotoxicity indicator is weighted by the high variability of the results. If you use for illustrative purposes only the ratio of uncertainty over variability:

- Climate change: might e.g. be a factor 3 of uncertainty for characterization factors. And a factor 10 for variability between greenhouse gases (all very similar). Ratio of 1/3.
- Toxicity: for some scenarios, up to a factor 1000 of uncertainty (depends on emission compartments, transfers, ways of exposure, etc...). Variability: up to 9 orders of magnitude between very toxic / very persistent and nontoxic / non persistent in an LCA study. Factor 1000/9 orders of magnitude (3 orders over 9) = ratio of 1/3
- This is in the same order as climate change. Toxicity results are very uncertain, but they can still discriminate results that spread over a huge range of variability.

The main drivers of uncertainty for toxicity and ecotoxicity are the effect factors (minimum factor 10 uncertainty, because of the many extrapolations and species to be considered).

There are currently no operational ways to combine the uncertainties associated to the different impact categories (tox, climate change...) making it impossible to give a global uncertainty score for a multi-impact study.

- How would you recommend dealing with substances that are not characterized? In your opinion, is it useful to have CF for archetypes? Would you recommend a specific approach to those? Is it expected in the future version of USEtox?

This requires typically a case-by-case answer.

- You can take in some cases a proxy, but only using molecules with similar mode of action types and remaining careful:
  - o For the example of pesticides: some take molecular weight and/or other properties, but you cannot e.g. use available data from an insecticide and use them for a herbicide as they might differ a lot e.g. in terms of toxic potency towards humans.
- An alternative is to take the worst chemical possible in the analysis and see how it affects results. Use of a sensitivity analysis

- Some practitioners seem to favor a CDV (critical dilution volume) approach for assessing ecotoxicity. What is your opinion on this?

CDV combines some substance parameters (hazard data) into a metric that does not cover any mechanistic understanding in the fate, exposure and effects of chemicals on an ecosystem (see e.g. eq. 1 in [van Hoof et al. 2011](#)). In contrast, USEtox follows and quantifies for each chemical the entire impact pathway from an emission to an environmental compartment via its multimedia fate, eco-exposure and multispecies-based effects (see e.g., eq. 1 in [Henderson et al. 2011](#)). With that, both approaches serve very different purposes, with USEtox being fully aligned with the boundary conditions of characterizing ecotoxicity impacts in LCA (see Textbox 1 in [Fantke et al. 2018](#)), which is not the case for CDV. I strongly recommend that practitioners do not «favor» any method but chose the method that is most applicable for their study at hand, be it LCA or something else.

## Outlook

More generally, on the future of the methods:

- Could you tell us about the upcoming developments of USEtox (3.0) for ecotoxicity?
  - The use of HC20?

New features in the next major version (USEtox 3.0, to be delivered within 6-12 months from now):

- GLAM recommendations incorporated.
  - Ecotoxicity based on non-linear multi-species sensitivity distributions and EC10-based HC20 to use more chronic data and be in more environmentally relevant concentration ranges.
  - Human toxicity: there will be non-linear dose-response based on WHO consensus method; near- and far-field exposure, and combination of characterizing chemical emissions and chemicals in consumer products
  - Major coverage of more than 10 000 chemicals for both ecotoxicity and human toxicity.
  - New indicator for human tox: developmental/reproductive toxicity due to much higher severity as compared to other non-cancer effects.
- 
- Within R&D teams, how to coordinate the work between risk assessment and LCA people for robust and consistent decision making during an analysis/development on the ecotoxicity of a product?

GLAM will not solve all questions in LCA. It will really depend on the focus of the study (for instance, USEtox doesn't include groundwater modeling).

Think of the scope first and use the most suited method.

However, while risk assessment and LCA answer very different questions, they can also be combined at various levels of integration, as outlined e.g. in Hauschild et al. 2022<sup>10</sup> in support of a more robust overall decision-making process.

## Specific questions on USEtox

- Does Impact World+ use the full USEtox 2.02 method without modification?

---

<sup>10</sup> <http://doi.org/10.1186/s12302-021-00587-8>

Yes, the original full USEtox 2.02 is used in ImpactWorld+. They used factors for indoor and outdoor emissions, applied continental scale regionalization as implemented in USEtox and for metals and very persistent organics also provided 100-years factors based on a dynamic version of USEtox.

- What are the main updates of USEtox between the version 2.02 (currently used in EF3.0) and 2.12? (e.g., correction of metal characterizations)

Version 2.12 (as compared to version 2.02) contains new metal ecotoxicity input data from ICMM, BAF adapted for ionizing substances, and contains minor updates in gas partitioning in outdoor air, considering rain in deposition and linking to substance input data.

- We understand that the only data used in USEtox from ECHA-REACH is the “concentration suspended matter in freshwater”? Does USEtox use any other data from the European regulation?

The entire fate model and eco-exposure modules in USEtox are based on SimpleBox including all its parameters for environmental data and processes with only very minor modifications (e.g., translating flows into rates), which is implemented in EUSES, the model for regulating chemicals in Europe. With that, USEtox is very much aligned with how chemicals are assessed in Europe in a regulatory context. Main differences between USEtox and regulatory approaches for chemicals assessment are currently (in version 2.x) the way human toxicity and ecotoxicity effect factors are derived due to requiring conservative assumptions in regulatory approaches vs. requiring strictly comparative assumptions in LCA, for which USEtox is designed. However, in USEtox 3, both ecotoxicity and human toxicity effect data are much more consistent with regulatory approaches (e.g. for human toxicity non-cancer, we use regulatory points of departure as reference for deriving effect factors, and moving closer to using chronic effect data in environmentally relevant concentration ranges, compiled in species sensitivity distributions for deriving ecotoxicity effect factors).

- What is USEtox's policy for updating the data used? Annually? On what basis?

Rules for updates:

- Corrective update: small sub version
- Major update: big version (every couple of years, e.g. version 2 vs. version 3)
- See details at <https://www.usetox.org/model/submit-update-proposal>

**Entretien avec Ralph Rosenbaum du 01/04/2022**

<b>01/04/2022</b>	<b>14h00</b>	<b>Video interview</b>
<b>Interview conducted by</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>🕒 Céline Gentil-Sergent</li> <li>🕒 Anne-Claire Asselin</li> <li>🕒 Aurore Wermeille</li> <li>🕒 Eugène Pipraud</li> <li>🕒 Célia Chamillard</li> </ul>		
<b>Ralph Rosenbaum</b>		<a href="mailto:ralph.rosenbaum@irta.cat">ralph.rosenbaum@irta.cat</a>

**Objectives of the interview**

I Care and Sayari (together with Céline) are carrying out a mission for Score LCA with the following four objectives: i) make an inventory of existing ecotoxicity methods and impact categories in LCIA; ii) analyze the foundations of these methods, understand the methodological choices and calculation; iii) test methods on case studies; iv) Set up recommendations for practitioners.

The first three objectives have resulted in the drafting of a first interim report and the project team is now in the process of conducting expert interviews to:

- 1) Collect concrete elements to provide **operational recommendations to the practitioners**.
- 2) Provide outlook on the development of ecotoxicity methodologies and their integration in LCA multi-impact-pathways methods

**Who are you?**

- Presentation of the interviewee
  - Current position and past experiences
  - Global approach to ecotoxicity in LCA:
    - If it is the case, method represented and role in its development

Ralph Rosenbaum est chercheur à l'IRTA où il est responsable du programme de recherche “durabilité en biosystèmes”, programme interdisciplinaire travaillant sur deux aspects : évaluation de la durabilité, indicateurs ACV et développement de techniques biotechnologiques (notamment sur le stockage carbone dans le sol ou le traitement des effluents animaux).

Ralph a une formation d'ingénieur environnemental et travaille sur le développement de méthodologies ACV depuis 20 ans. Il a participé activement au développement de la méthode USEtox (il est l'auteur de la publication décrivant la méthode USEtox (Rosenbaum et al. 2008) et a été amené à travailler pour plusieurs organisations de recherche (en Suisse, Canada, Danemark, France...)

**Recommendations to practitioners**

- According to you, what are the main limitations and applicability of USEtox?

Domaine d'applicabilité : USEtox est fait pour comparer des émissions environnementales, la version actuelle de la méthode n'est pas conçue pour évaluer la toxicité d'un produit ingéré ou touché par un consommateur/travailleur, mais la prochaine version 3.0 aura cette capacité.

L'objectif est d'évaluer et de comparer, tout au long de la chaîne d'approvisionnement, les quantités de substances émises et leur impact global sur un écosystème « générique » modélisé. Il n'y a pas de possibilité de tracer une substance depuis un point d'émission géographique vers un point d'arrivée.

USEtox n'a originellement pas été conçu pour tous les types de substances (par exemple, il n'était à l'origine pas prévu pour les métaux), mais des améliorations apportées d'une version à l'autre améliorent la capacité du modèle.

Le rôle de USEtox n'est pas de prédire ce qui se passe précisément dans l'environnement à un endroit donné (pour cela, il faut des modèles spécifiques par type de substance et lieu géographique). En ACV, on veut comparer les substances, donc il faut éviter des résultats biaisés et tout doit être mis exactement dans les mêmes conditions et avec des hypothèses cohérentes et équitables. Le but n'est pas de donner un chiffre dans le sens absolu, mais plutôt des résultats relatifs qui permettent d'établir un ranking des substances selon leur importance en tox pour un produit/service (unité fonctionnelle). Tous les modèles Tox en ACV ont les mêmes limites.

Une limite (et une force) de USEtox est le fait que l'impact soit calculé sans limite dans le temps (infini), ce qui est tout à fait questionnable. On peut avoir des substances organiques qui ont beaucoup d'impact pendant plusieurs années/décennies, puis qui se dégradent ensuite. Une substance inorganique peut causer moins d'impact pendant les mêmes années/décennies, mais comme elle ne se dégrade pas elle peut continuer à causer des impacts pendant des milliers d'années. Donc, la notion de « pic » d'effet est perdue en comparant uniquement les aires sous la courbe pour un temps infini. Ainsi, une même valeur d'effet n'a pas du tout la même signification pour une dioxine ou un métal.

Une substance organique toxique peut affecter fortement la même génération d'écosystème, alors qu'une substance métallique peut affecter moins fortement plusieurs générations d'écosystèmes. Aujourd'hui les scientifiques discutent pour évaluer les impacts plutôt sur une durée de 100 ans au lieu d'infini. Néanmoins, une recommandation serait de faire une première analyse des impacts à 100 ans, puis en suite de regarder de 100 ans à l'infini en particulier pour les métaux pour tester l'importance du temps d'horizon pour le résultat ; pour voir comment les conclusions sont affectées, et adapter l'interprétation des résultats en fonction de la durée de l'impact choisi (100 ans vs infini), c-a-d en fonction du poids que l'on donne à la vie dans un futur lointain et incertain.

- What do you think of EF3.0.0 in comparison to USEtox 2.12?

Les motivations derrière EF3.0 étaient :

- Aligner la source de données de substances du modèle USEtox avec les données au niveau législatif européen (REACH, fournies par l'industrie), motivation politique.
- Profiter de la masse de données REACH pour augmenter la quantité de substances qu'on peut caractériser, voire actualiser des données (en effet, certaines données de la base de données originale de USEtox ont 20-30 ans).

Si ces objectifs sont louables, nombreux sont les scientifiques à être critiques envers la façon de faire : il y a de nombreux manques de données dans la base de données REACH, comblé par le PEF grâce à du « cross-referencing » (utilisation de proxys pour estimer les données) pour de nombreuses substances, posant un problème ensuite pour comparer les substances entre-elles. REACH n'est pas fait pour comparer des substances, mais établir si une substance est sûre ou non, d'un point de vue risque. En simplifiant trop ou en utilisant des proxys, on peut introduire des erreurs très importantes. Il y aurait des manières plus habiles de sortir des données de REACH pour servir d'input dans EF3.0 (mais plus long et coûteux), en intégrant des mises à jour des données/forme de synchronisation.

Aujourd'hui, en l'absence de convergence entre USEtox et EF3.0 sur la base de données (éco)toxicologique utilisée, des problèmes d'interprétabilité et de comparaisons des études continueront.

- Do you recommend the use of a particular ecotoxicity method for practitioners? If yes, why?

La recommandation de Ralph serait de ne pas utiliser EF3.0, et pour le groupe d'expert de PEF, il recommande d'intégrer une mise à jour des données, mais aussi de la méthode d'extraction des données de REACH. Cette mise à jour pourrait être aussi intégrée dans USEtox pour rapprocher les deux bases de données.

D'après lui, EF3.0 et USEtox vont à terme converger. En effet, USEtox reste le modèle consensus. Le PEF a dû voir les effets négatifs des divergences entre EF3.0 et USEtox sur leurs résultats, souvent difficilement explicables/interprétables. EF3.0 ne devrait pas rester comme ça très longtemps.

Ralph n'a pas connaissance d'une mise à jour de la base de données USEtox dans le cadre de l'application des recommandations GLAM, mais c'est possible qu'il y en ait. La mise à jour apporte de nouvelles approches comme l'exposition des consommateurs. Au niveau écotoxicité, il ne sait pas s'il y aura de grands changements. GLAM a fait des recommandations (sur la réalisation des calculs statistiques derrière les données TOX notamment), qui devront également être implémentées.

- In what context would you recommend spatialization of ecotoxicity?

Le modèle USEtox ne permet pas de réaliser de vraie « spatialisation » au sens d'une modélisation du point d'émission, des transferts et de la distribution du contaminant d'une cellule spatiale à l'autre, p.ex. de l'eau du lac Lemman à l'eau du Bas de la Rhône. Il s'agit plutôt d'un re-paramétrage du modèle pour différents archétypes de situations géographiques à l'échelle subcontinentale : une régionalisation.

La véritable spatialisation est plutôt utilisée en analyse de risque, qui est beaucoup plus site-spécifique et local sans considérer la totalité de la planète comme c'est obligatoire en ACV. En ACV, une telle spatialisation pour les catégories de toxicité est difficilement réalisable, car l'impact est calculé à l'échelle planétaire et il faudrait un modèle global et spatialisé. La quantité des flux élémentaires à caractériser avec un facteur de caractérisation spécifique serait ingérable pour un logiciel ACV comme SimaPro, GaBi, ou openLCA.

Ralph recommande de bien savoir ce qu'on fait pour utiliser la version régionalisée de USEtox avec valeur ajoutée par cette régionalisation. Beaucoup d'erreurs d'interprétation sont possibles, sans que cela apporte beaucoup de précisions : dans les résultats, les paramètres physico-chimiques sont habituellement bien plus influents que les paramètres « landscape » de régionalisation.

- How would you recommend dealing with substances that are not characterized? In your opinion, is it useful to have CF for archetypes? Would you recommend a specific approach to those? Is it expected in the future version of USEtox?

La meilleure recommandation consiste à calculer soi-même (ou à faire calculer) le facteur de caractérisation manquant, surtout si la substance est très présente dans le produit/process évalué.

Le calcul d'un CF qui n'est pas présent dans les bases de données est aujourd'hui possible. Cela peut même être assez rapide si la donnée est trouvable dans la littérature, ou si la substance est propre à l'entreprise (dans ce cas, elle connaît ses caractéristiques).

Pour des grandes entreprises du type de l'Oréal, il serait préférable de toujours calculer le CF plutôt que d'utiliser des facteurs génériques pour un groupe de substances. Même si les substances utilisées le sont à des niveaux sûrs (grâce au risk assessment), cela permettrait de choisir la moins toxique de deux options « safe » (en-dessous des seuils de risques).

Pour les entreprises qui n'en ont pas les moyens, utiliser un CF moyennisé (« unspecified ») pourrait être une première approche (ex. moyenne des substances de la même famille chimique). Cependant, cela représente un risque : que la substance en question soit beaucoup plus/moins toxique que la moyenne des substances du même type. Une autre option serait de caractériser la substance avec un facteur de caractérisation très conservateur (le plus élevé par exemple), mais cela demande une interprétation des résultats en adéquation et requière de l'expérience. Les facteurs génériques sont à double tranchant : ils permettent de caractériser une substance plutôt que considérer son impact comme

nul (par simple absence de facteur de caractérisation), mais en même temps, cela peut cacher des substances plus toxiques que ce qui est calculé.

- What would be recommendations for practitioners using a multi-impact pathway method (e.g., EF3.0, Impact World+, LC-Impact)? Should they account for ecotoxicity? If yes, would you recommend precautions to be taken? Should they favor an endpoint rather than a midpoint approach?

Le choix de la méthode dépend de l'objectif de l'étude.

Si l'objectif est d'obtenir une étude conforme aux normes de PEF, il faut appliquer EF3.0 (ou bien la version en vigueur).

Dans tous les autres cas, en ACV, selon lui il faudrait toujours appliquer 2 méthodes, pour confirmer ou pas si on obtient les mêmes conclusions. C'est rapide dans les logiciels, et permet de confirmer ou non des conclusions (ex. des mêmes ordres de grandeurs, ou classement des substances similaires), même si les chiffres sont différents. Une rapide étude de sensibilités des méthodes peut être intéressante pour discuter de l'interprétabilité des méthodes utilisées.

Le mieux serait d'utiliser une méthode de la famille USEtox (IMPACT World+ par exemple), et une de la famille USES LCA (ReCiPe par exemple).

De manière générale, il vaut mieux utiliser les méthodes, qui sont intrinsèquement cohérentes (ex. les caractéristiques des compartiments sont identiques dans les différentes catégories d'impact), avec tous les paramètres synchronisés (dont ReCiPe, Impact World+). Sinon, on se retrouve avec un patchwork de méthodes qui ne sont pas faites pour travailler ensemble, cas de EF3.0 utilisant des approches non-synchronisées pour chacune des catégories d'impacts.

Par contre, si certaines substances ne sont pas caractérisées dans une des méthodes, cela doit être pris en compte dans l'interprétation des résultats (par exemple, l'absence de caractérisation de l'Aluminium dans ReCiPe).

Pour la question midpoint vs. endpoint, selon lui c'est simple. Les deux approches sont complémentaires et ne représentent pas des alternatives excluant l'un de l'autre. L'utilisation intelligente de leurs synergies et complémentarités consiste à combiner les deux et appliquer/interpréter toujours des résultats ACV au niveau midpoint ET au niveau endpoint respectivement (en utilisant la même méthode LCIA qui doit donc permettre le calcul des deux niveaux). Cela est une valeur ajoutée car on profite de leurs avantages et forces respectives de manière combinée. Il n'y a pas de raison, même pas économique ou de ressources en général, de se limiter à choisir une seule des deux options.