HAL open science

# Points de vigilances et bonnes pratiques pour bien prendre en compte les ressources minérales abiotiques dans les ACV - Illustrations par des cas d'études

Marilys Pradel, J. Garcia, M.S. Vaija

▶ **To cite this version:**

Marilys Pradel, J. Garcia, M.S. Vaija. Points de vigilances et bonnes pratiques pour bien prendre en compte les ressources minérales abiotiques dans les ACV - Illustrations par des cas d'études. Congrès [avniR] 2019, Nov 2019, Lille, France. pp.21. hal-02609813

**HAL Id: hal-02609813**

**https://hal.inrae.fr/hal-02609813v1**

Submitted on 16 May 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# POINTS DE VIGILANCE ET BONNES PRATIQUES POUR BIEN PRENDRE EN COMPTE LES RESSOURCES MINERALES ABIOTIQUES DANS LES ACV – ILLUSTRATIONS PAR DES CAS D'ETUDES

**Marilys Pradel (1), Julien Garcia (2) and Samuli Vaija (3)**

(1) Université Clermont Auvergne, Irstea, UR TSCF, France

(2) Groupe PSA, France

(3) Orange, France

**Mots-clés**
Ressources minérales, Epuisement, Criticité, Analyse du Cycle de Vie, Bonnes pratiques

**Biographie de l'intervenant**

Marilys Pradel, Ingénieure de recherche, Irstea (UR TCSF)

Marilys Pradel est ingénieure de recherche à Irstea au sein de l'UR « Technologies des Systèmes d'Information pour les agrosystèmes ». Elle est spécialiste de l'évaluation environnementale par la méthode d'Analyse de Cycle de Vie des solutions technologiques agricoles et des nouveaux produits fertilisants déchet-sourcés. Elle a soutenu une thèse en 2017 portant sur la proposition d'une méthode d'allocation pour évaluer les impacts environnementaux des produits déchet-sourcés avec une application aux fertilisants phosphatés boue-sourcés. Depuis 2018, elle travaille plus particulièrement sur la criticité des ressources minérales et plus spécifiquement sur celle du phosphore utilisé en agriculture.

## INTRODUCTION

Les ressources minérales sont utilisées par l'Homme pour la production de biens depuis l'Antiquité. La diversité des ressources minérales exploitées n'a cessé de croitre depuis le début de l'ère industrielle en corrélation étroite avec la quantité de produits contenant des éléments à haute technologie mis sur le marché.

Le développement de solutions technologiques, notamment pour satisfaire la transition énergétique et numérique, entraine également une exploitation accrue des ressources minérales nécessaires au fonctionnement de ces produits. Certaines de ces ressources ont été classifiés comme « critiques » par l'Union Européenne, c'est-à-dire qu'elles présentent un risque d'approvisionnement élevé par rapport à l'importance économique qu'elles revêtent. La prise de conscience de l'intérêt stratégique de certains métaux pour l'économie, associée au caractère fini des ressources, a conduit l'Union Européenne à mettre en place des méthodes pour évaluer la criticité des matériaux. Par ailleurs, la question de l'évaluation des ressources minérales comme indicateur d'impact en ACV a été abordée par la communauté scientifique au cours des vingt dernières années sans vraiment aboutir à un consensus scientifique.

Dans le cadre d'un projet de recherche collaboratif financé par le réseau EcoSD (Ecoconception de Systèmes Durables), un guide de bonnes pratiques a été produit avec pour objectif d'aider les praticiens ACV du réseau à mieux prendre en compte le critère « ressources » dans leurs ACV et à mieux appréhender la notion de criticité des ressources [1]. Sans revenir sur l'intégralité du contenu de ce guide, la présente contribution vise à montrer les principaux points de vigilances identifiés ainsi que les bonnes pratiques à mettre en place dans la réalisation d'ACV s'intéressant spécifiquement aux ressources minérales abiotiques. Elle est illustrée avec un cas d'études sur le germanium. D'autres cas d'études sont disponibles dans le guide sur les ressources phosphore, cobalt et indium.

## QUELS SONT LES POINTS DE VIGILANCES AUXQUELS DOIVENT FAIRE FACE LES PRATICIENS ACV LORSQUE DES RESSOURCES MINERALES SONT MISES EN OEUVRES DANS LES ACV?

Différents points de vigilance ont été identifiés comme pouvant impacter la réalisation et les résultats des ACV. Le praticien qui réalise une ACV mettant en œuvre des ressources minérales doit être vigilant sur le choix de la méthode de caractérisation, sur le choix du logiciel de modélisation et de l'implémentation des méthodes de caractérisation dans les logiciels ACV, vis-à-vis de la sensibilité des résultats et de l'incertitude associées à l'usage des méthodes de caractérisation.

### Vigilance au regard de la méthode de caractérisation

La différence de modélisation inhérente à chaque méthode peut rendre difficile l'interprétation que l'on peut faire des résultats car les méthodes n'évaluent pas la même chose :

- Perte de propriété utile des ressources minérales par l'approche thermodynamique : CEENE, CExD.
- Utilisation des ressources selon leur disponibilité (use-to-availability ratio) : CML-IA (reserve base, economic reserve), AADP (version 2011), EDIP 2003, Eco-scarcity.
- Utilisation des ressources selon leur stock (use-to-stock ratio) : CML-IA (ultimate reserves), AADP (version 2015).
- Conséquences futures associées à l'extraction des ressources minérales : Eco Indicator 99, EPS 2000, IMPACT2002+, LIME (1 et 2), TRACI (1 et 2), ReCiPe (2008, 2016).

Par ailleurs, on observe une grande variabilité dans le nombre de ressources minérales couvertes par les facteurs de caractérisation des différentes méthodes. Certaines méthodes comme IMPACT2002+ ou Eco Indicator 99 n'évaluent qu'une dizaine de ressources alors que d'autres peuvent en évaluer plus d'une cinquantaine (ReCiPe2016, CEENE, CExD, EPS 2000). Le praticien devra donc être vigilant à ce que le choix de la méthode d'évaluation soit en adéquation avec les ressources répertoriées dans l'inventaire du cycle de vie. La méthode choisie devra en effet disposer de facteurs de caractérisation suffisamment exhaustifs pour permettre une évaluation du plus grand nombre possible de ressources présentes dans l'inventaire.

Le type de réserves utilisées (économiques, base de réserve ou ultimes) et la source utilisée pour le taux d'extraction (USGS ou autre) peuvent également impacter fortement le calcul des facteurs de caractérisation, y compris au sein d'un même type de modélisation (use-to-stock/use-to-availability ratio par exemple). Un cas illustratif présentant les différences constatées dans le calcul des facteurs de caractérisation du germanium est présenté ci-après.

La temporalité des données utilisées pour le calcul des facteurs de caractérisation peut également être un point portant atteinte à la robustesse des méthodes. Les données actuelles pour les méthodes de type use-to-stock/use-to-availability ratio sont relativement anciennes. Les réserves ultimes sont issues de la thèse de Guinée (1995) et n'ont pas été recalculées depuis. Les bases de réserves ont été collectées par l'USGS jusqu'en 2007 et ne sont plus mises à jour. Les réserves économiques sont actualisées tous les ans par l'USGS, or cas particulier où les ressources sont des coproduits de l'exploitation minière et pour lesquelles l'USGS n'est pas en mesure de calculer les quantités produites (cas de l'indium).

## Illustration avec le cas du germanium dans les câbles de télécommunication optique sous-marine

En 2017, une Analyse du Cycle de Vie de service sur la maintenance d'un câble de télécommunications optique sous-marin était lancée par Orange Labs Networks avec le câblier Orange Marine. Afin d'effectuer l'opération de réparation, la production de plusieurs kilomètres de câble de rechange était nécessaire et a donc amené à sa modélisation. La Figure 1 présente un exemple de section de câble avec ces matériaux constitutifs et les impacts environnementaux associés.

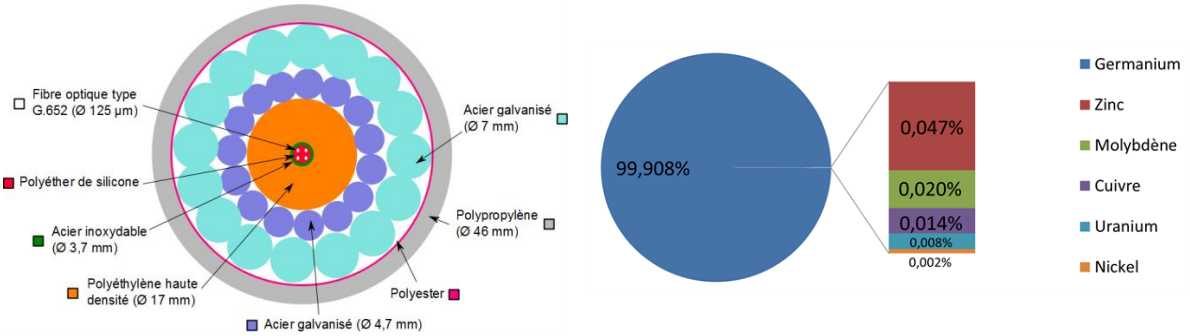


Figure 1. Exemple de section de câble de télécommunication optique sous-marin et principales ressources contribuant à l'impact Abiotic Resources Depletion (ARD) pour la fabrication du câble (source : Orange)

Alors que le germanium ne représente que quelques ppm de la composition du câble, il est le contributeur quasi-exclusif à l'indicateur CML-IA ARD. Dans la version reserve base (RB) de CML-IA ARD, le germanium est l'élément avec le facteur de caractérisation le plus élevé (19472,8 contre 555,4 pour l'indium ou 35,9 pour l'or). Dans l'analyse sur les matériaux critiques pour l'industrie Européenne de 2018, le germanium est bien noté comme un métal critique [2]. Cependant, ceci est surtout lié à sa non-substituabilité avec des indices « Economic Importance » et « Supply Risk » à 1.0 soit le pire score possible, mais également au fait que 64 % soit importé hors d'Europe et que seul 2 % soit recyclé en fin de vie.

Le facteur de caractérisation très élevé du germanium dans CML-IA ARD en version RB s'explique par la source de la donnée. Depuis 2008, l'USGS ne met plus à jour les estimations de réserves de base pour ce métal et entre 1995 et 2007 la valeur communiquée correspond uniquement à la quantité disponible aux Etats-Unis. En reprenant cette valeur (500 000 kg), la production annuelle de germanium (58 000 kg /an), les données pour l'antimoine et en appliquant la formule de calcul de l'indicateur CML-IA, il est possible de recalculer le facteur de caractérisation noté dans le paragraphe avec l'équation 1.

$$ARD_{ge} = \frac{\frac{DR_{ge}}{(R_{ge})^2}}{\frac{DR_{sb}}{(R_{sb})^2}} = \frac{\frac{58\,000}{(500\,000)^2}}{\frac{122\,000\,000}{(3\,200\,000\,000)^2}} = 19\,472{,}78 \text{ kg equivalent Sb} \quad (1)$$

La valeur utilisée pour les réserves (500 000 kg) pose deux problèmes. Tout d'abord, elle est calculée uniquement sur le périmètre des Etats-Unis. En 1999, ce raisonnement pouvait se justifier par le fait que la majorité de la production provenait de ce pays. Mais, en 2018, le fait de ne pas considérer les réserves de pays comme la Chine, qui fournit plus de 65 % de la production, est plus difficile à justifier. Le rapport de l'EU sur les profils des matériaux critiques indique par exemple que les réserves prouvées dans ce pays se chiffrent à 3 500 tonnes [3]. De plus, comme pour l'indium, seule une partie des sources d'approvisionnement sont considérées, à savoir ici l'extraction à partir de minerai de zinc. A titre d'exemple, en incluant le charbon et ses cendres comme sources de germanium, les ressources disponibles passent au niveau mondial de 11 000 à 24 600 tonnes [3].

Afin de vérifier l'évolution du facteur de caractérisation, les valeurs 2008 de l'USGS pour les réserves de base de l'antimoine (R'sb), sa production annuelle (DR'sb) et la production annuelle de germanium (DR'ge) ont été combinées avec les valeurs de réserves de base de germanium (R'ge) pour la Chine en 2008 d'après [4]. L'équation 2 donne le résultat de ce calcul.

$$ARD'_{ge} = \frac{\frac{DR'_{ge}}{(R'_{ge})^2}}{\frac{DR'_{sb}}{(R'_{sb})^2}} = \frac{\frac{105\,000}{(3\,055\,000)^2}}{\frac{165\,000\,000}{(4\,300\,000\,000)^2}} = 1\,260{,}72 \text{ kg equivalent Sb} \quad (2)$$

En considérant le périmètre monde pour les réserves de base de germanium (R''ge), toujours d'après [4], le facteur de caractérisation se calcule selon l'équation 3.

$$ARD''_{ge} = \frac{\frac{DR''_{ge}}{(R''_{ge})^2}}{\frac{DR''_{sb}}{(R''_{sb})^2}} = \frac{\frac{105\,000}{(38\,000\,000)^2}}{\frac{165\,000\,000}{(4\,300\,000\,000)^2}} = 8{,}15 \text{ kg equivalent Sb} \quad (3)$$

Comme le montrent les équations 1, 2 et 3, le facteur de caractérisation du germanium dans la version RB de CML-IA ARD est très fortement lié à l'estimation des réserves. Entre l'équation 1 et l'équation 2, l'actualisation de 1999 vers 2008 en considérant uniquement dans

les deux cas les réserves du plus grand pays producteur (respectivement Etats-Unis et Chine) a fait divisé la valeur du facteur de caractérisation par 15. Entre l'équation 1 et l'équation 3, en plus de l'actualisation des données, les réserves sont aussi considérées au niveau monde. Ceci divise la valeur du facteur de caractérisation du germanium par plus de 2 000, le ramenant sur une valeur comparable à celle de l'argent (8,42).

En utilisant le facteur de caractérisation de l'équation 3, l'impact CML-IA ARD pour la fabrication du câble a été recalculé. Les résultats sont visibles dans la Figure 2.

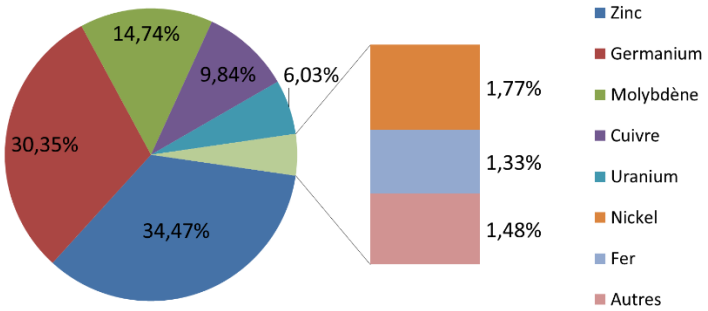


Figure 2. Principales ressources contribuant à l'impact ARD pour la fabrication du câble après révision de la valeur du facteur de caractérisation du germanium à 8,15 (source : Orange)

Le cas illustratif sur le germanium démontre la problématique posée par l'évaluation des bases de réserves, d'autant plus lorsqu'il s'agit d'un matériau comme le germanium qui dans la méthode initiale possède la valeur de facteur de caractérisation la plus élevée. La valeur proposée dans l'équation 3 n'est cependant pas exploitable toute seule. Il faudrait en effet recalculer les valeurs pour l'ensemble des matériaux afin de conserver l'homogénéité de la méthode.

## Vigilance au regard du logiciel de modélisation et de l'implémentation des méthodes de caractérisation dans ces logiciels

Lors de la phase d'inventaire, les flux élémentaires qui seront utilisés ensuite pour calculer les impacts « épuisement des ressources » sont modélisés de manière différente et de façon plus ou moins exhaustive. C'est le cas des principaux logiciels ACV GaBi® et Simapro®. En effet, le logiciel Simapro® propose des flux « éléments » qui sont issus du tableau de classification périodique pour lesquels un facteur de caractérisation spécifique est proposé selon la méthode de caractérisation choisie. Le logiciel GaBi® propose à la fois des flux « élements » et des flux « ressources », ces derniers ayant des facteurs de caractérisation dérivés des facteurs de caractérisation des éléments qui les composent.

Si on regarde de plus près les facteurs de caractérisation associés aux flux « éléments » implémentés dans les logiciels ACV GaBi® (version 8.7.1.30) et Simapro® (version 9.0.0.31) pour quatre méthodes de caractérisation, on observe un certain nombre de différences répertoriées dans le Tableau 1.

Tableau 1. Facteurs de caractérisation des principales méthodes de caractérisation pour les flux « éléments » tels qu'implémentés dans les logiciels Gabi® et Simapro®

| Méthode | CML-IA - UR | CML-IA RB | CML-IA - ER | AADP (2011) | Impact2002+ | ReCiPe 2016 H/E | ReCiPe 2016 I |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Unité | kg Sb eq | kg Sb eq | kg Sb eq | kg Sb eq | MJ surplus | kg Cu eq | kg Cu eq |
| Aluminium | | | | G | | | |
| Antimony | | | | G | | | |
| Arsenic | | | | G | | | |
| Barium | | | | G | | G | G |
| Beryllium | | | | G | | | |
| Bismuth | | | | G | | | |
| Boron | | | | G | | | |
| Bromine | | | | G | | | |
| Cadmium | | | | G | | | |
| Cerium | G | G | G | G | | G | G |
| Cesium | | | | G | | | |
| Chlorine | | | | G | | | |
| Chromium | | | | G | | | |
| Cobalt | | | | G | | | |
| Copper | | | | G | | | |
| Dysprosium | G | G | G | G | G | G | G |
| Erbium | G | G | G | G | G | G | G |
| Europium | G | G | G | G | G | G | G |
| Gadolinium | G | G | G | G | G | G | G |
| Gallium | | | | G | | | |
| Germanium | | | | G | | | |
| Gold | | | | G | | | |
| Hafnium | | | | G | | | |
| Helium | | | | G | | | |
| Holmium | G | G | G | G | G | G | G |
| Indium | | | | G | | | |
| Iodine | | | | G | | | |
| Iridium | G | G | G | G | G | G | G |
| Iron | | | | G | | | |
| Lanthanum | G | G | G | G | G | G | G |
| Lead | | | | G | | | |
| Lithium | | | | G | | | |
| Lutetium | G | G | G | G | G | G | G |
| Magnesium | | | | G | | | |
| Manganese | | | | G | | | |

Tableau 1 (suite)

| Méthode | CML-IA - UR | CML-IA RB | CML-IA - ER | AADP (2011) | Impact2002+ | ReCiPe 2016 H/E | ReCiPe 2016 I |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Unité | kg Sb eq | kg Sb eq | kg Sb eq | kg Sb eq | MJ surplus | kg Cu eq | kg Cu eq |
| Mercury | | | | G | | | |
| Molybdenum | | | | G | | | |
| Neodymium | G | G | G | G | G | G | G |
| Nickel | | | | G | | | |
| Niobium | | | | G | | | |
| Osmium | G | G | G | G | G | G | G |
| Palladium | | | | G | | | |
| Phosphorus | | | | G | | | |
| Platinum | | | | G | | | |
| Potassium | | | | G | | | |
| Praseodymium | G | G | G | G | G | G | G |
| Rare-earth metals | G | G | G | G | G | G | G |
| Rhenium | | | | G | | | |
| Rhodium | ? | ? | ? | G | | | |
| Ruthenium | G | G | G | G | G | G | G |
| Samarium | G | G | G | G | G | G | G |
| Scandium | G | G | G | G | G | G | G |
| Selenium | | | | G | | | |
| Silicon | | | | G | | | |
| Silver | | | | G | | | |
| Sodium | | | | G | | | |
| Strontium | | | | G | | | |
| Sulfur | | | | G | | | |
| Tantalum | | | | G | | | |
| Tellurium | | | | G | | | |
| Terbium | G | G | G | G | G | G | G |
| Thallium | | | | G | | | |
| Tin | | | | G | | | |
| Titanium | | | | G | | | |
| Tungsten | | | | G | G | | |
| Uranium | S | S | S | | S | S | S |
| Vanadium | | | | G | | | |
| Ytterbium | G | G | G | G | G | G | G |
| Yttrium | | | | G | | G | G |
| Zinc | | | | G | | | |
| Zirconium | | | | G | | G | G |

La légende est la suivante :

- les cases en vert indiquent que les facteurs de caractérisation sont présents et identiques entre les deux logiciels GaBi® et Simapro®. Les cases vertes présentant un G indiquent que les facteurs de caractérisation ne sont présents que dans GaBi®.
- les cases en orange indiquent que les flux existent dans les logiciels Gabi® et Simapro® mais que la méthode de caractérisation ne présente pas de facteurs de caractérisation correspondant. Les cases oranges présentant un G ou un S indiquent respectivement que les flux existent soit dans le logiciel Gabi®, soit dans le logiciel Simapro® mais que la méthode de caractérisation ne présente pas de facteurs de caractérisation correspondant.
- Les cases en bleu présentant un G indiquent que les flux existent dans les logiciels Gabi® et Simapro® mais que la méthode de caractérisation ne présente de facteurs de caractérisation que dans le logiciel GaBi®.
- Les cases en rouge indiquent que les facteurs de caractérisation sont différents entre GaBi et Simapro pour une même méthode de caractérisation.

Ainsi, la méthode AADP (dans sa version de 2011) est uniquement implémentée dans le logiciel GaBi®. De même, des éléments tels que Cerium, Dysprosium, Erbium, Europium, Gadolinium, Holmium, Iridium, Lanthanum, Lutetium, Neodymium, Osmium, Praseodymium, Rare-earth metals, Ruthenium, Samarium, Scandium, Terbium, Ytterbium ne sont implémentés que dans GaBi® alors que l'Uranium n'est implémenté comme ressource minérale que dans Simapro®. La méthode Impact2002+ présente des facteurs de caractérisation différents pour le Nickel et le Zinc entre les deux logiciels. Le choix du logiciel présente donc également une importance dans le choix de la méthode de caractérisation.

## Vigilance au regard de la sensibilité des résultats et de l'incertitude associées à l'usage des méthodes de caractérisation

La réalisation d'une analyse de sensibilité est fortement recommandée en ACV car elle permet d'identifier les modifications apportées aux résultats d'impact en fonction de la variabilité des données mobilisées dans l'étude. Elle permet ainsi d'identifier les données critiques pour lesquelles une analyse plus poussée est nécessaire (ex : distance de transport, quantité de réactif utilisé dans un procédé…) et d'orienter les recommandations ou préconisations qui découleront de l'étude.

En ce qui concerne les ressources minérales, les incertitudes associées aux facteurs de caractérisation des méthodes sont généralement qualifiées par les concepteurs des méthodes comme étant très fortes, mais ne sont que très peu quantifiées ou bien explicitées. Ces incertitudes proviennent entre autres de la difficulté d'estimer la taille des réserves minérales disponibles, des méthodes de calcul propres aux facteurs de caractérisation et des sources de données utilisées.

Les fortes incertitudes dans les méthodes de caractérisation ont contraint certains concepteurs de méthode à proposer un jeu varié de facteurs de caractérisation afin de pouvoir conduire des analyses de sensibilité, c'est le cas de la méthode CML-IA qui propose trois types de facteurs de caractérisation basés sur des types de réserves différentes (ultimes, bases de

réserve et économiques) et de la méthode ReCiPe2016 qui propose trois classifications des impacts selon une perspective hiérarchique, égalitaire ou individualiste.

Ces fortes incertitudes questionnent la robustesse des méthodes et l'utilisation de l'ACV dans un but d'aide à la décision. Elles ne permettent pas à l'heure actuelle de fournir des éléments suffisamment robustes pour savoir si les choix technologiques mis en œuvre ont vraiment un impact sur la réduction de l'épuisement des ressources. Afin d'améliorer la robustesse de ces méthodes, il est donc nécessaire de connaître l'incertitude associée à chaque facteur de caractérisation. En attendant, de fortes précautions doivent être prises dans l'interprétation des résultats ACV.

## QUELS SONT LES BONNES PRATIQUES À ADOPTER POUR UNE MEILLEURE PRISE EN COMPTE DU CRITÈRE RESSOURCES DANS LES ACV ?

Afin d'aider les praticiens ACV vers une meilleure prise en compte du critère « ressources minérales » dans les ACV qu'ils sont amenés à réaliser, la démarche méthodologique proposée dans le guide est présentée sous la forme d'un arbre de décision.

L'arbre de décision est basé sur deux questions que doivent se poser les praticiens au moment de la réalisation de leur ACV :

- le praticien a-t'il une bonne connaissance de la problématique associée aux ressources minérales et à leur criticité en ACV ?
- le praticien dispose-t-il d'une méthodologie propre pour la prise en compte des ressources et de leur criticité en ACV ?

Si le praticien n'a pas une bonne connaissance de la problématique associée aux ressources minérales, une première recommandation consiste à lui faire prendre connaissance du contenu du guide. Si le praticien dispose d'une connaissance suffisante de la problématique associée aux ressources minérales, il lui est ensuite demandé s'il dispose ou non de sa propre démarche méthodologique. S'il n'a pas de démarche propre, il lui est proposé de suivre la démarche proposée en Figure 3. Par contre, s'il a sa propre démarche, la bonne pratique consistera à comparer sa démarche avec celle proposée par le guide afin d'identifier et discuter les points de divergence et de convergence entre les deux méthodes.

La méthode proposée dans le guide nécessite trois prérequis qui sont implémentés dans une étape 0 :

- Prérequis 1 : le praticien doit nécessairement vérifier que l'ensemble des procédés ayant potentiellement un impact sur les ressources soit pris en compte,
- Prérequis 2 : le praticien doit choisir les méthodes de caractérisation qu'il va utiliser par rapport aux objectifs de l'étude, à la durée de vie du système et au regard de l'inventaire des ressources minérales en fonction des méthodes de caractérisation et des objectifs de l'étude,
- Prérequis 3 : le praticien ne doit pas mettre en place de règles de cut-off.

Ces prérequis en tête, le praticien peut ensuite suivre la méthode en 5 étapes proposée dans le guide en Figure 3, chaque étape pouvant être approfondie avec des éléments de connaissances présents dans le guide.

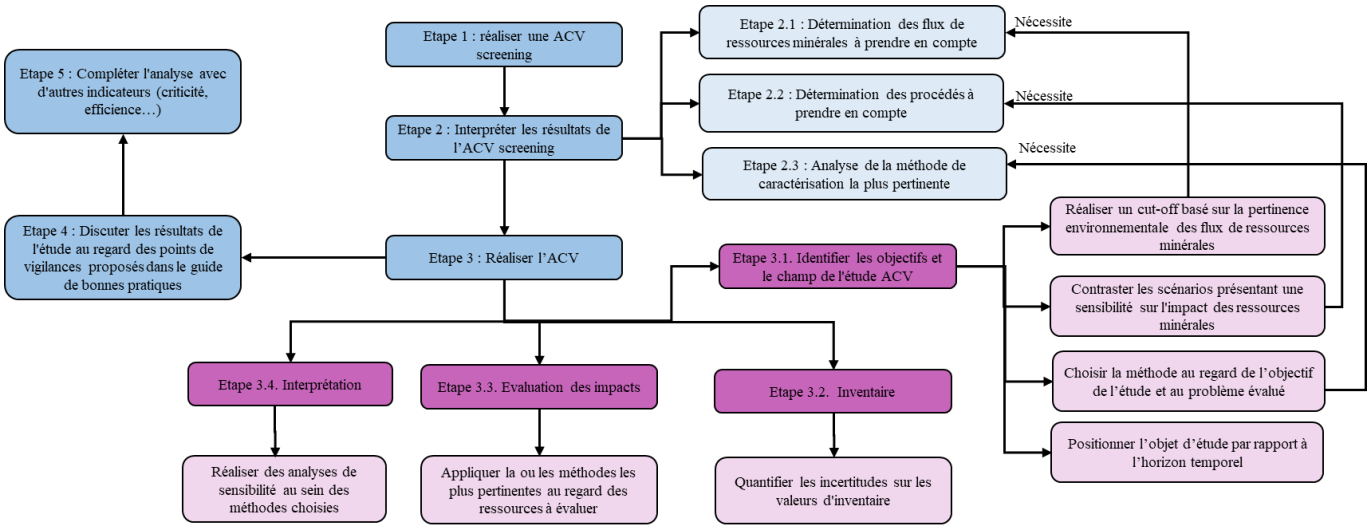


Figure 3. Démarche méthodologique proposée pour la prise en compte du critère « ressources minérales » dans les ACV

## CONCLUSION

L'ambition du guide de bonnes pratiques est de fournir à la fois une démarche méthodologique structurée et une synthèse des connaissances disponibles à ce jour pour mieux prendre en compte le critère « ressources minérales » dans les ACV.

Le guide met en avant une démarche méthodologie structurée représentée sous la forme d'un arbre décisionnel en six étapes en relation avec les points de vigilances évoqués dans cette contribution. Chacune des étapes reprend le déroulé classique d'une ACV en focalisant sur le critère « ressources ». Il met également à disposition des praticiens l'ensemble des connaissances actuelles relatives à l'épuisement des ressources minérales dans les méthodes ACV et à l'évaluation de leur criticité. Ces connaissances sont récapitulées dans le Tableau 2.

Tableau 2. Synthèse des éléments disponibles dans l'état des connaissances relatives aux méthodes ACV et à la criticité dans le guide de bonnes pratiques

| Méthodes ACV | Méthode d'évaluation de la criticité |
|---|---|
| • Problème fondamental de l'épuisement des ressources<br>• Difficultés associées à la terminologie utilisée par les différents acteurs œuvrant dans ce domaine<br>• Classification des familles de méthodes disponibles en fonction de ce qu'elles permettent d'évaluer<br>• Derniers développements méthodologiques disponibles<br>• Différentes préconisations apportées à la fois par les institutionnels et par le monde industriel | • Définition de la criticité<br>• Synthèse des méthode d'évaluation de la criticité<br>• Lien entre méthodes ACV et criticité<br>• Derniers développements méthodologiques disponibles |

Enfin, ce guide a identifié certains manques notamment sur le couplage entre les méthodes d'évaluation de la criticité et les méthodes ACV bien que des développements méthodologiques ait permis d'amorcer ce couplage (méthode GRI par exemple). De nouveaux développements sont également nécessaires pour mieux prendre en compte la substitution et le recyclage des matériaux afin de réduire la criticité des ressources dans un indicateur utilisable en ACV. Enfin, l'épuisement des ressources est pour l'instant abordé uniquement selon une approche statique. Or, la détermination même du fait qu'une ressource s'épuise ou non dépend de nombreux facteurs tels que la découverte de nouveaux gisements, le marché des matières premières, la volatilité des prix qui va conditionner l'offre et la demande en ressources, la disponibilité de ressources issues de la technosphère (via le recyclage) ou les potentialités de substitution. Cette question de l'épuisement des ressources se doit donc maintenant de franchir une étape supplémentaire en proposant des méthodes d'évaluation basées sur des approches dynamiques.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les membres du réseau EcoSD qui ont participé à la relecture de ce guide et au réseau EcoSD pour avoir financé cette étude.

## REFERENCES

[1] Pradel, M., Garcia, J. and Vaija, S., 'Guide de bonnes pratiques pour la prise en compte des ressources minérales et de leur criticité en Analyse du Cycle de Vie' – PRC17.6 réseau EcoSD, 84 pages.

[2] EU Critical Raw Materials list 2018 (https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52017DC0490)

[3] Report on critical raw materials for the EU - Critical raw materials profiles (http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/11911/attachments/1/translations)

[4] Melcher, F. and Buchholz, P. (2012). 'Current and future Germanium availability from primary sources', Minor Metals Conference, Cologne, April 24, 2012 (https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/vortrag_germanium.pdf?__blob=publicationFile&v=2)

# CRUCIAL STEPS AND GOOD PRACTICES WHEN CONSIDERING ABIOTIC MINERAL RESOURCES IN LCA – ILLUSTRATIONS WITH CASE STUDIES

**Marilys Pradel (1), Julien Garcia (2) and Samuli Vaija (3)**

(4) Université Clermont Auvergne, Irstea, UR TSCF, France

(5) Groupe PSA, France

(6) Orange, France

**Keywords**
Mineral resources, Depletion, Criticality, Life Cycle Assessment, Good practices

**Biography of the speaker**

Marilys Pradel, Research engineer, Irstea (UR TCSF)

Marilys Pradel is a research engineer at Irstea within the "Technologies of Information Systems for Agrosystems" research unit. She is specialized in environmental assessment of agricultural technology solutions and new waste-based fertilizers using the Life Cycle Analysis method. She defended a thesis in 2017 on the proposal of an allocation method to evaluate the environmental impacts of waste-based products with an application to sludge-based phosphate fertilizers. Since 2018, she works on mineral resource criticality, especially phosphorus used in agriculture.

## INTRODUCTION

Mineral resources have been used by humans for the production of goods since antiquity. The diversity of mineral resources extracted has grown steadily since the beginning of the industrial era, closely correlated with the quantity of products containing high-tech elements on the market.

The development of technological solutions, especially to satisfy the energy and digital transition, also leads to increased exploitation of the mineral resources necessary for the manufacturing of these products. Some of these resources have been classified as "critical" by the European Union, i.e. they present a high supply risk in relation to their economic importance. The awareness of the strategic interest of certain metals for the economy, combined with finite resources, led the European Union to put in place methods to evaluate the criticality of materials. In addition, the question of the evaluation of mineral resources as an impact category in LCA has been addressed by the scientific community over the last twenty years without really reaching a scientific consensus.

As part of a collaborative research project funded by the EcoSD network (Ecodesign of Sustainable Systems), a guide of good practices has been produced which aims at helping LCA practitioners to better take into account the criterion "resources" in their LCAs and to better understand the notion of resource criticality [1]. Without going back on the entirety of the contents of this guide, the present contribution aims at presenting the main points of vigilance identified as well as the good practices to be put in place when LCAs specifically focused on abiotic mineral resources. It will be illustrated with a case study focused on germanium. Other case studies can be found in the guide of good practices for phosphorus, cobalt and indium.

## WHAT ARE THE CRUCIAL POINTS TO CONSIDER WHEN RESOURCES ARE USED IN LCAs?

Several crucial points have been identified that can affect the achievement and results of LCAs. The practitioner who performs a LCA implementing mineral resources must be vigilant about the choice of the characterization method, the choice of LCA software and the implementation of characterization methods in LCA software, the sensitivity of results and uncertainty associated with the use of characterization methods.

### Vigilance needed considering the characterization method

The difference in modeling within each method can make it difficult to interpret the results, as the methods do not evaluate the same thing:

- Loss of useful property of the mineral resources by the thermodynamic approach: CEENE, CExD.
- Resource use according to their availability (Use-to-availability ratio): CML-IA (reserve base, economic reserve), AADP (2011 version), EDIP 2003, Eco-scarcity.
- Resource use according to their reserve (Use-to-stock ratio): CML-IA (ultimate reserves), AADP (2015 version).
- Future impacts associated with mineral resource extraction: Eco Indicator 99, EPS 2000, IMPACT2002 +, LIME (1 and 2), TRACI (1 and 2), ReCiPe (2008, 2016).

Moreover, there is a great variability in the number of mineral resources covered by the characterization factors of the different methods. Some methods such as IMPACT2002 + or Eco Indicator 99 estimate a dozen resources while others can evaluate more than fifty (ReCiPe2016, CEENE, CExD, EPS 2000). The practitioner must therefore be vigilant so that the choice of the evaluation method is in adequacy with the resources listed in the life cycle

inventory. The chosen method should have sufficiently comprehensive characterization factors to allow an evaluation of as many resources as possible in the inventory.

The type of reserves used (economic, reserve base or ultimate) and the source used for the extraction rate (USGS or other) can also strongly impact the calculation of characterization factors, including within the same type of modeling (use-to-stock / use-to-availability ratio for example). A case study presenting the differences found in the calculation of the germanium characterization factors in CML-IA method is presented hereunder.

The temporality of the data used to calculate the characterization factors might also be a point that undermines the robustness of the methods. The current data for use-to-stock / use-to-availability ratio methods are relatively old. The ultimate reserve data come from Guinée's thesis and have not been recalculated since 1995. The reserve bases were collected by the USGS until 2007 and are no longer updated. The economic reserves are updated every year by the USGS, except when the resources are recovered from ore processing and for which the USGS is not able to calculate the quantities produced (case of indium).

## Case study of germanium used in underwater optical telecommunication cables

In 2017, a Life Cycle Analysis was conducted by Orange Labs Networks with the cable company Orange Marine to assess the environmental impact of the maintenance of an underwater optical telecommunications cable. In order to carry out the repair operation, the production of several kilometers of spare cable was necessary and therefore led to its modeling. Figure 1 shows an example of a section of cable with these constituent materials and associated environmental impacts.

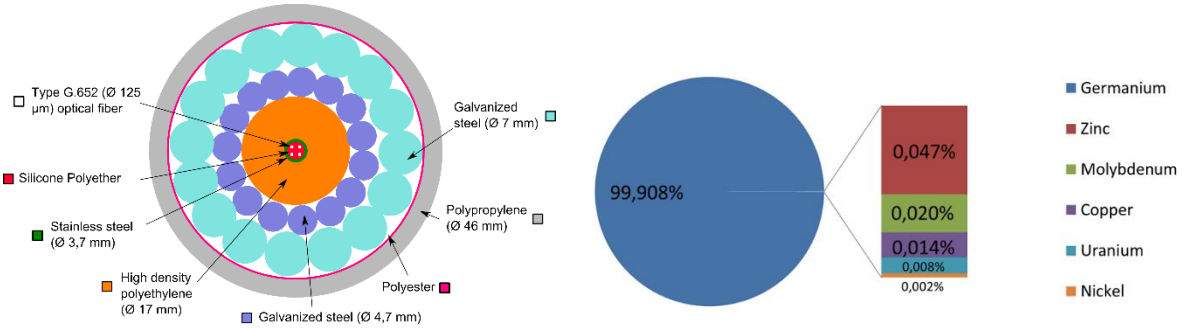


Figure 1. Example of materials used in an underwater optical telecommunication cable and environmental contribution of resources to Abiotic Resources Depletion (ARD) impact category for the cable manufacturing (from Orange Group)

While germanium represents only a few ppm of cable composition, it is the almost exclusive contributor to the CML-IA ARD impact category. In the reserve base (RB) version of CML-IA ARD, germanium is the element with the highest characterization factor (19,472.8 versus 555.4 for indium or 35.9 for gold). In the materials analysis, germanium is well noted as a critical metal according to the European Union [2]. However, this is mainly due to its non-substitutability with "Economic Importance" and "Supply Risk" indices at 1.0 being the worst possible score, but also that 64% is imported outside Europe and that only 2% is recycled at the end of life.

The very high characterization factor of germanium in CML-IA ARD in RB version is explained by data origin. Since 2008, the USGS has no longer updated reserve base estimates for this metal, and between 1995 and 2007, the reported value only corresponds to the quantity available in the United States. By taking this value (500,000 kg), the annual production of germanium (58,000 kg / year), the data for antimony and by applying the calculation formula of the CML-IA impact category, it is possible to recalculate the characterization factor noted in the paragraph with equation 1.

$$ARD_{ge} = \frac{\frac{DR_{ge}}{(R_{ge})^2}}{\frac{DR_{sb}}{(R_{sb})^2}} = \frac{\frac{58\,000}{(500\,000)^2}}{\frac{122\,000\,000}{(3\,200\,000\,000)^2}} = 19\,472{,}78 \text{ kg equivalent Sb} \qquad (1)$$

The value used for reserve (500,000 kg) poses two problems. First, it is calculated only on the perimeter of the United States. In 1999, this reasoning could be justified by the fact that the majority of the production came from this country. In 2018, however, not considering the reserves of countries like China, which provides more than 65% of production, is harder to justify. For example, the EU report on critical material profiles indicates that proven reserves in this country are 3,500 tons [3]. Moreover, as for indium, only part of supply sources are considered, namely here extraction from zinc ore. For example, by including coal and its ashes as sources of germanium, available resources are increasing globally from 11,000 to 24,600 tons [3].

In order to verify the evolution of the characterization factor, the 2008 USGS values for the antimony reserve base (R'sb), its annual production (DRsb) and the annual production of germanium (DR ' ge) were combined with germanium reserve base (Rge) values for China in 2008 according to [4]. Equation 2 gives the result of this calculation.

$$ARD'_{ge} = \frac{\frac{DR'_{ge}}{(R'_{ge})^2}}{\frac{DR'_{sb}}{(R'_{sb})^2}} = \frac{\frac{105\,000}{(3\,055\,000)^2}}{\frac{165\,000\,000}{(4\,300\,000\,000)^2}} = 1\,260{,}72 \text{ kg equivalent Sb} \qquad (2)$$

Considering the world perimeter for germanium reserve base (R''ge), again according to [4], the characterization factor is calculated according to equation 3.

$$ARD''_{ge} = \frac{\frac{DR''_{ge}}{(R''_{ge})^2}}{\frac{DR''_{sb}}{(R''_{sb})^2}} = \frac{\frac{105\,000}{(38\,000\,000)^2}}{\frac{165\,000\,000}{(4\,300\,000\,000)^2}} = 8{,}15 \text{ kg equivalent Sb} \qquad (3)$$

As shown in equations 1, 2 and 3, the characterization factor of germanium in the RB version of CML-IA ARD is very strongly related to the estimation of reserves. Between equation 1 and equation 2, the 1999 update to 2008, considering in both cases only the reserves of the largest producing country (respectively United States and China), divided the value of the characterization factor by 15. Between equation 1 and equation 3, in addition to updating the data, reserves are also considered at the world level. This divides the value of the germanium characterization factor by more than 2,000, bringing it back to a value comparable to that of silver (8.42).

Using the characterization factor of equation 3, the CML-IA ARD environmental impact for cable manufacturing was recalculated. The results are shown in Figure 2.

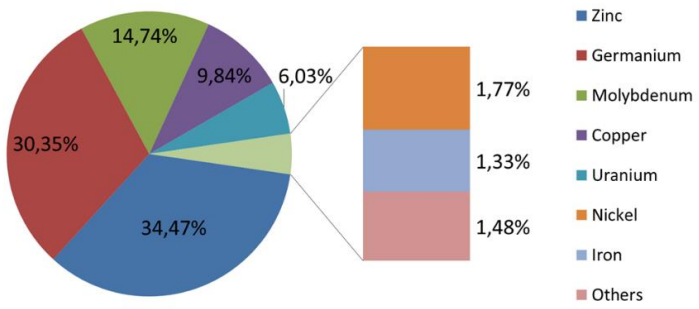


Figure 2. Environmental contribution of resources to Abiotic Resources Depletion (ARD) impact category for the cable manufacturing (from Orange Group) after revision of the germanium characterization factor to 8.15

The germanium case study demonstrates the problem raised by the evaluation of reserve base in CML-IA method, especially when a resource has a high characterization factor value. The value proposed in equation 3 is not exploitable by itself. It would indeed be necessary to recalculate the values for all the resources in order to maintain the homogeneity of the method.

## Vigilance needed considering the LCA software and the implementation of characterization methods in LCA software

During the life cycle inventory, the elementary flows that will be used to calculate the "resource depletion" impact categories are modeled differently and more or less exhaustively. This is the case for the main LCA software GaBi® and Simapro®. Indeed, the Simapro® software proposes "element" flows that come from the periodic table for which a specific characterization factor is proposed according to the chosen characterization method. The GaBi® software offers both "element" and "resource" flows, the latter having characterization factors derived from the characterization factors of the elements that compose them.

If we look more closely at the characterization factors associated with the "element" flows implemented in GaBi® (version 8.7.1.30) and Simapro® (version 9.0.0.31) for four characterization methods, we observe a number of differences listed in Table 1.

The legend is:

- the green boxes indicate that the characterization factors are implemented with identical values between the two software. Green boxes with G indicate that characterization factors are only present in GaBi®.
- the orange boxes indicate that the flows exist in GaBi® and Simapro® but that the characterization method does not have corresponding characterization factors. The orange boxes with G or S respectively indicate that either the flows exist in GaBi® or in Simapro® but that the characterization method does not have corresponding characterization factors.
- The blue boxes with a G indicate that the flows exist in Gabi® and Simapro® but that the characterization method only has characterization factors in GaBi®.
- The red boxes indicate that the characterization factors are different between GaBi and Simapro for the same characterization method.

Table 1. Characterization factors for four methods for « elements » flows in Gabi® and Simapro® LCA software

| Method | CML-IA - UR | CML-IA RB | CML-IA - ER | AADP (2011) | Impact2002+ | ReCiPe 2016 H/E | ReCiPe 2016 I |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Unit | kg Sb eq | kg Sb eq | kg Sb eq | kg Sb eq | MJ surplus | kg Cu eq | kg Cu eq |
| Aluminium | | | | G | | | |
| Antimony | | | | G | | | |
| Arsenic | | | | G | | | |
| Barium | | | | G | | G | G |
| Beryllium | | | | G | | | |
| Bismuth | | | | G | | | |
| Boron | | | | G | | | |
| Bromine | | | | G | | | |
| Cadmium | | | | G | | | |
| Cerium | G | G | G | G | | G | G |
| Cesium | | | | G | | | |
| Chlorine | | | | G | | | |
| Chromium | | | | G | | | |
| Cobalt | | | | G | | | |
| Copper | | | | G | | | |
| Dysprosium | G | G | G | G | G | G | G |
| Erbium | G | G | G | G | G | G | G |
| Europium | G | G | G | G | G | G | G |
| Gadolinium | G | G | G | G | G | G | G |
| Gallium | | | | G | | | |
| Germanium | | | | G | | | |
| Gold | | | | G | | | |
| Hafnium | | | | G | | | |
| Helium | | | | G | | | |
| Holmium | G | G | G | G | G | G | G |
| Indium | | | | G | | | |
| Iodine | | | | G | | | |
| Iridium | G | G | G | G | G | G | G |
| Iron | | | | G | | | |
| Lanthanum | G | G | G | G | G | G | G |
| Lead | | | | G | | | |
| Lithium | | | | G | | | |
| Lutetium | G | G | G | G | G | G | G |
| Magnesium | | | | G | | | |
| Manganese | | | | G | | | |

Table 1 (next)

| Method | CML-IA - UR | CML-IA RB | CML-IA - ER | AADP (2011) | Impact2002+ | ReCiPe 2016 H/E | ReCiPe 2016 I |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Unit | kg Sb eq | kg Sb eq | kg Sb eq | kg Sb eq | MJ surplus | kg Cu eq | kg Cu eq |
| Mercury | | | | G | | | |
| Molybdenum | | | | G | | | |
| Neodymium | G | G | G | G | G | G | G |
| Nickel | | | | G | | | |
| Niobium | | | | G | | | |
| Osmium | G | G | G | G | G | G | G |
| Palladium | | | | G | | | |
| Phosphorus | | | | G | | | |
| Platinum | | | | G | | | |
| Potassium | | | | G | | | |
| Praseodymium | G | G | G | G | G | G | G |
| Rare-earth metals | G | G | G | G | G | G | G |
| Rhenium | | | | G | | | |
| Rhodium | ? | ? | ? | G | | | |
| Ruthenium | G | G | G | G | G | G | G |
| Samarium | G | G | G | G | G | G | G |
| Scandium | G | G | G | G | G | G | G |
| Selenium | | | | G | | | |
| Silicon | | | | G | | | |
| Silver | | | | G | | | |
| Sodium | | | | G | | | |
| Strontium | | | | G | | | |
| Sulfur | | | | G | | | |
| Tantalum | | | | G | | | |
| Tellurium | | | | G | | | |
| Terbium | G | G | G | G | G | G | G |
| Thallium | | | | G | | | |
| Tin | | | | G | | | |
| Titanium | | | | G | | | |
| Tungsten | | | | G | G | | |
| Uranium | S | S | S | | S | S | S |
| Vanadium | | | | G | | | |
| Ytterbium | G | G | G | G | G | G | G |
| Yttrium | | | | G | | G | G |
| Zinc | | | | G | | | |
| Zirconium | | | | G | | G | G |

Thus, the AADP method (in its version of 2011) is only implemented in GaBi®. Likewise, elements such as Cerium, Dysprosium, Erbium, Europium, Gadolinium, Holmium, Iridium, Lanthanum, Lutetium, Neodymium, Osmium, Praseodymium, Rare-earth metals, Ruthenium, Samarium, Scandium, Terbium, Ytterbium are only implemented in GaBi® whereas Uranium is only implemented as a mineral resource in Simapro®. The Impact2002+ method has different characterization factors for Nickel and Zinc between the two software. The choice of the software therefore also has an importance in the choice of the characterization method.

### Vigilance considering result sensitivity and uncertainties

Performing a sensitivity analysis is strongly recommended in LCA as it makes it possible to identify the modifications made to the impact results as a function of the variability of the data used in the study. It thus makes it possible to identify the critical data for which further analysis is necessary (transport distance, quantity of reagent used in a process, etc.) and to guide the recommendations that will result from the study.

As far as mineral resources are concerned, the uncertainties associated with the characterization factors of the methods are generally described by their authors as very strong, but are only very little quantified or explained. These uncertainties originate from the difficulty of estimating the size of the available mineral reserves, the specific calculation methods used to obtain the characterization factors and the origin of data used.

The strong uncertainties associated with characterization methods have forced some authors to propose a set of characterization factors in order to be able to conduct sensitivity analyzes. This is the case of the CML-IA method, which proposes three types of characterization based on different types of reserves (ultimate, reserve and economic bases) and the ReCiPe2016 method, which proposes three classifications of impacts from a hierarchical, egalitarian or individualistic perspective.

These strong uncertainties question the robustness of methods and the use of LCA for the purpose of decision support. At present, they do not provide enough robust evidence to know whether the technological choices made have a real impact on reducing resource depletion. In order to improve the robustness of these methods, it is therefore necessary to know the uncertainty associated with each characterization factor. In the meantime, strong precautions must be taken in interpreting LCA results.

## WHAT ARE THE GOOD PRATICES TO ADOPT TO BETTER ACCOUNT FOR RESSOURCES IN LCAs?

In order to help LCA practitioners better considering mineral resources in the LCAs, the methodological approach proposed in the guide is presented in the form of a decision tree.

The decision tree is based on two questions that practitioners must ask themselves when performing their LCA:

- Does the practitioner have a good knowledge of the problem associated with mineral resources and their criticality in LCA?
- Does the practitioner have a specific methodology for taking resources and their criticality into account in LCA?

If the practitioner does not have a good knowledge of the problem associated with mineral resources, a first recommendation is to make him aware of the content of the guide. If the practitioner has sufficient knowledge of the problem associated with mineral resources, he is then asked if he has his own methodological approach or not. If not, it is proposed to follow the approach proposed in Figure 3. On the other hand, if it has its own approach, a good practice will be to compare its approach with that proposed by the guide in order to identify and discuss the area of divergence and convergence between the two methods.

The method proposed in the guide requires three prerequisites that are implemented in a zero step:

- Prerequisite 1: the practitioner must necessarily verify that all the processes potentially having an impact on the resources are taken into account,
- Prerequisite 2: the practitioner must choose the characterization methods he will use in relation to the objectives of the study, the lifetime of the system and the mineral resources inventory according to the methods of characterization and objectives of the study,
- Prerequisite 3: the practitioner must not put in place cut-off rules.

These prerequisites in mind, the practitioner can then follow the 5-step method proposed in the guide in Figure 3, each step can be deepened with knowledge elements present in the guide.

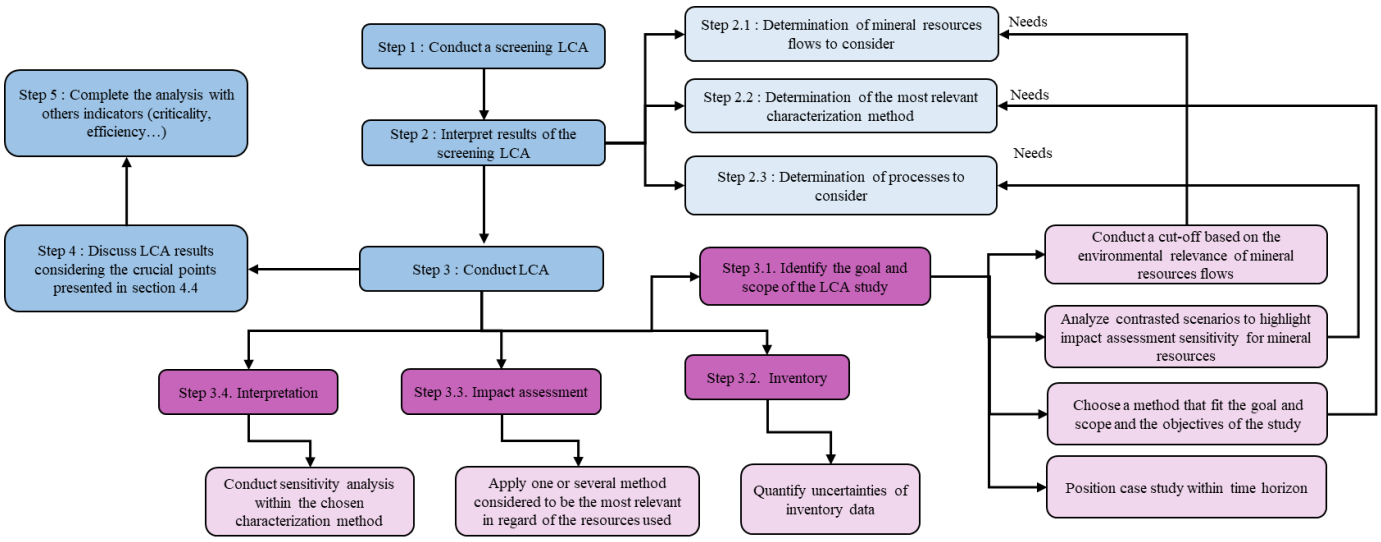


Figure 3. Methodological approach used to better take into account mineral resources in LCA

## CONCLUSION

The ambition of the guide of good practices is to provide both a structured methodological approach and a synthesis of the knowledge available to date to better take into account the mineral resources in LCA.

The guide puts forward a structured methodology approach represented in the form of a six-step decision tree in relation to the crucial points in this contribution. Each step is based on a classic LCA, focusing on the "resource" criterion. It also provides practitioners with current knowledge on the depletion of mineral resources in LCA methods and the assessment of their criticality. This knowledge is summarized in Table 2.

Table 2. Synthesis of available knowledge on resource depletion in LCA and resource criticality within the guide of good practices

| LCA | Criticality |
|---|---|
| • Difficulties associated with terminology either used by LCA practitioners and geologists<br>• Classification of available methods<br>• Last available methodological developments<br>• Recommendations provided by researchers and manufacturers | • Definition of criticality<br>• Synthesis of criticality assessment methods<br>• Link between LCA and criticality<br>• Last available methodological developments |

Finally, this guide has identified some gaps in coupling criticality evaluation methods and LCA methods, although methodological developments have made it possible to initiate this coupling (GRI method for example). New developments are also needed to better take into account the substitution and recycling of materials in order to reduce the criticality of resources in an indicator that can be used in LCA. Resource depletion is approached for the moment only according to a static approach. However, the very determination of whether or not a resource is depleted depends on many factors, regardless of the discovery of new deposits, the commodity market, and the price volatility that will condition supply and demand for resources, the availability of resources from the technosphere (via recycling) or the potential for substitution. This issue of resource depletion must now take a step further by proposing evaluation methods based on dynamic approaches.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the members of the EcoSD network who participated in the review of this guide and the EcoSD network for funding this study.

## REFERENCES

[1] Pradel, M., Garcia, J. and Vaija, S., 'Guide de bonnes pratiques pour la prise en compte des ressources minérales et de leur criticité en Analyse du Cycle de Vie' – PRC17.6 réseau EcoSD, 84 pages.

[2] EU Critical Raw Materials list 2018 (https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52017DC0490)

[3] Report on critical raw materials for the EU - Critical raw materials profiles (http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/11911/attachments/1/translations)

[4] Melcher, F. and Buchholz, P. (2012). 'Current and future Germanium availability from primary sources', Minor Metals Conference, Cologne, April 24, 2012 (https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/vortrag_germanium.pdf?__blob=publicationFile&v=2)