

Annexe D: Description de la méthodologie ACV

L'analyse du cycle de vie (ACV), ou écobilan, est une méthode scientifique permettant l'évaluation des impacts environnementaux potentiels de produits, de procédés, de services ou d'entreprises sur l'ensemble de leur cycle de vie (extraction des matières premières, production, transports, utilisation, fin de vie). Cette approche bénéficie du soutien du Programme des Nations Unies pour la Protection de l'Environnement (PNUE) et repose sur une méthodologie encadrée par l'Organisation internationale de normalisation (ISO), en particulier les normes ISO 14040 (2006) (conditions et guidances) et ISO 14044 (2006) (principes et structure).

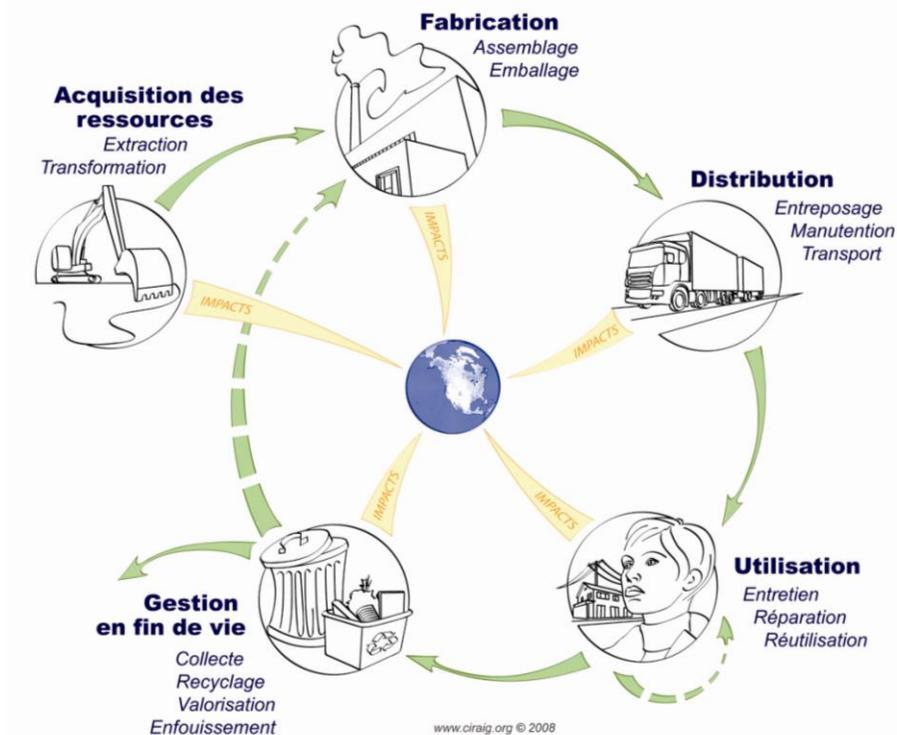


Figure D-1 : Étapes du cycle de vie d'un produit.

L'ACV aide à identifier les opportunités pour améliorer les performances environnementales des produits, services ou entreprises à différentes étapes de leur cycle de vie, informer les décideurs industriels, les organisations gouvernementales ou non-gouvernementales (par exemple pour la planification stratégique, pour déterminer des priorités ou pour optimiser le design des produits), permettre la sélection des indicateurs de performance environnementale pertinents, l'incorporation de techniques de mesures, et le marketing (par exemple pour la mise en place de schéma d'écolabel, faire ou produire une déclaration environnementale). La méthodologie de l'ACV est donc particulièrement adéquate pour étudier les produits et les services de façon holistique. Elle permet d'identifier les priorités d'action et d'éviter un déplacement des impacts lors de l'introduction d'un nouveau produit ou d'une nouvelle technologie.

L'ACV se déroule en quatre phases :

- 1) la définition des objectifs et du champ de l'étude ;
- 2) l'analyse de l'inventaire ;
- 3) l'évaluation des impacts ;
- 4) l'interprétation.

Les principaux aspects méthodologiques de chacune de ces phases sont décrits ci-dessous.

Définition des objectifs et du champ de l'étude

La première phase de l'ACV, appelée définition des objectifs et du champ de l'étude, présente la raison de l'étude et la façon dont celle-ci sera conduite afin d'atteindre cette fin. Le système de produits, défini par l'ISO comme un ensemble de processus élémentaires liés par des flux de matière et d'énergie qui remplissent une ou plusieurs fonctions, y est décrit et détaillé.

Dans ce sens, l'objet d'une ACV est caractérisé par ses fonctions et non seulement en termes de ses produits finaux. Ceci permet la comparaison de produits qui n'ont pas la même performance fonctionnelle par unité de produit (p. ex. une tasse de polystyrène à usage unique et une tasse en céramique qui est réutilisée plusieurs fois), puisque la quantification de la performance fonctionnelle, au moyen de l'unité fonctionnelle, fournit une référence à partir de laquelle sont mathématiquement normalisés les entrants et les sortants des systèmes comparés (p. ex. boire deux tasses de café par jour durant un an). La spécification de l'unité fonctionnelle est le point de départ de la définition des frontières du système de produits puisqu'elle indique quels sont les processus élémentaires qui doivent être inclus pour remplir cette fonction.

La nature des données utilisées et les principales hypothèses sont également décrites dans cette première phase de l'ACV.

Analyse de l'inventaire

La seconde phase de l'ACV, appelée l'analyse de l'inventaire du cycle de vie (ICV), est la quantification des flux élémentaires impliqués durant le cycle de vie complet des produits, services, procédés ou entreprises évalués, c'est-à-dire de l'ensemble des extractions de ressources de la biosphère et des émissions dans l'air, l'eau et le sol.

Pour ce faire, une collecte de données primaires (spécifiques au cas à l'étude) et secondaires (issues de publications ou de banques de données reconnues) est nécessaire. Les données sont rapportées à l'unité fonctionnelle, puis compilées au sein d'un logiciel spécialisé. Le logiciel employé dans le cadre de cette étude est SimaPro 7.2, commercialisé par la firme néerlandaise Pré Consultants.

Évaluation des impacts

La troisième phase de l'ACV consiste en l'évaluation des impacts du cycle de vie (EICV). Elle a pour but de traduire les flux élémentaires quantifiés dans l'inventaire du cycle de vie dans différentes catégories d'impact sur l'environnement et la santé humaine, selon des modèles de devenir, d'exposition et de toxicité des polluants, ou de raréfaction des ressources. C'est ainsi qu'à chaque substance de l'inventaire est associé un facteur de caractérisation spécifique, permettant de calculer son score d'impact. La somme des scores d'impact des différentes substances détermine l'impact total du système pour un indicateur donné. Dans un second temps, ces catégories d'impact sont regroupées au sein d'un nombre réduit d'indicateurs de dommages environnementaux, ce qui facilite la communication des résultats et la prise de décision.

Dans le cadre de cette étude la méthode EICV employée est la méthode européenne internationalement reconnue et revue par les pairs IMPACT 2002+ (v2.1) (Jolliet *et al.*, 2003; Humbert *et al.* 2005). Celle-ci propose une approche orientée à la fois vers les impacts intermédiaires et les dommages permettant d'associer tous les résultats de l'ICV à quatorze catégories intermédiaires et à quatre indicateurs de dommage. La Figure D-2 montre la structure globale d'IMPACT 2002+, faisant le lien entre l'ICV et les différents indicateurs. Une flèche pleine symbolise une relation connue et modélisée quantitativement basée sur les sciences naturelles. Les relations entre les catégories intermédiaires et de dommages qui sont suspectées mais pas modélisées de manière quantitative sont indiquées par des flèches en traits-tillés.

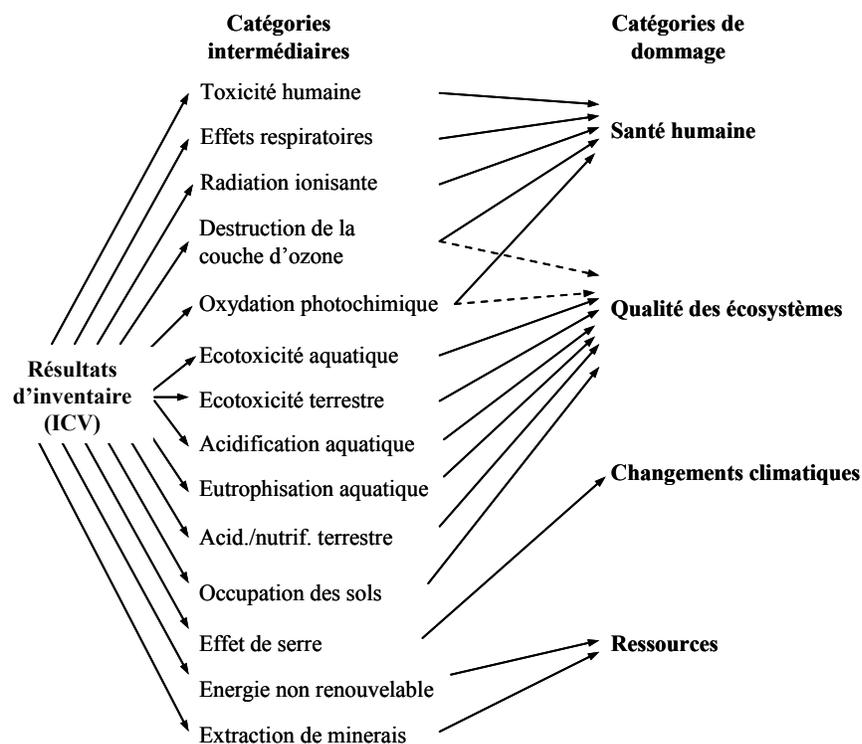


Figure D-2 : Schéma global de la méthode IMPACT 2002+ (Jolliet *et al.* 2003).

La liste suivante décrit de manière succincte les différentes catégories intermédiaires de la méthode IMPACT 2002+.

1. **Toxicité humaine** : la toxicité humaine mesure les impacts sur la santé humaine associés aux impacts cancérigènes et non-cancérigènes causés par des polluants émis dans l'environnement et entrant en contact avec l'humain par la respiration, par la nourriture ou par la boisson. Les impacts cancérigènes et non-cancérigènes, peuvent dans certains cas, être représentés comme deux indicateurs séparés.
2. **Effets respiratoires** (aussi appelé le smog d'hiver ou le "smog de Londres") : les effets respiratoires sont causés par des polluants comme les particules fines primaires (PM_{2.5}) et secondaires (PM_{2.5} provenant des NO_x, NH₃ et SO₂ notamment). Ces polluants sont principalement émis par les industries, la production de chaleur et électricité à partir de combustibles liquides et solides et les transports (gaz d'échappement et freins). L'agriculture est aussi une source importante de NH₃ (ammoniac).
3. **Radiations ionisantes** : cette catégorie mesure les impacts sur la santé humaine causés par des substances émettant des radiations. Ces substances sont principalement émises par l'industrie nucléaire, mais certaines peuvent aussi être présentes de manière naturelle à des concentrations élevées (p.ex. radon).
4. **Destruction de la couche d'ozone** : cette catégorie mesure le potentiel de réduction de la couche d'ozone stratosphérique (O₃) et de l'augmentation des UV (rayonnement ultraviolet) atteignant la surface de la Terre. Ces UV peuvent engendrer des impacts sur la santé humaine comme les cancers de la peau et les cataractes. Des dommages sur les écosystèmes terrestres et aquatiques ont aussi lieu. Les polluants détruisant la couche d'ozone, comme les CFC (chlorofluorocarbones) sont émis par certains processus spécifiques, et notamment par les processus nécessitant de puissants systèmes de refroidissements.
5. **Oxydation photochimique** : cette catégorie mesure les effets sur la santé humaine (et éventuellement sur la croissance des plantes) provenant de la formation d'ozone troposphérique (O₃) (aussi appelé le smog d'été ou le "smog de Los Angeles"). Les polluants responsables de la formation d'ozone troposphérique tels les NO_x et les composés organiques volatils (COV) sont principalement émis par le trafic routier et les activités industrielles, ainsi que par l'industrie agricole et sylvicole.
6. **Ecotoxicité aquatique** : cette catégorie mesure les effets sur les écosystèmes aquatiques (eaux fraîches) en termes de réduction de biodiversité causée par les émissions écotoxiques (notamment les métaux lourds) dans l'environnement.
7. **Ecotoxicité terrestre** : cette catégorie mesure les effets sur les écosystèmes terrestres en termes de réduction de biodiversité causée par les émissions écotoxiques (notamment les métaux lourds) dans l'environnement.
8. **Acidification aquatique** : se réfère à la réduction des populations de poisson et autres espèces aquatiques causée par une acidification des eaux. Les substances responsables de l'acidification, comme les NO_x, le NH₃, et le SO_x, peuvent être émises par l'industrie lourde, la production de chaleur et d'électricité avec des combustibles liquides et solides, ainsi que par le trafic et l'agriculture.
9. **Eutrophisation aquatique** : se réfère à l'augmentation graduelle en nutriments des eaux, permettant une augmentation de la biomasse notamment algale, qui lorsqu'elle se dégrade consomme l'oxygène dissout dans l'eau et amène à une réduction des espèces les plus sensibles à la concentration en oxygène dissout. Ces nutriments sont principalement associés au phosphore et aux nitrates contenus dans les détergents et les engrais.

10. **Acidification et nitrification terrestre:** cette catégorie mesure le changement en nutriments et le niveau d'acidité dans le sol. Ceci change les conditions naturelles pour la croissance des plantes et leur compétition. Une réduction d'espèces est observée avec un excès de nutriments et une réduction dans la santé de l'écosystème terrestre. Les substances responsables de cet effet, comme les NO_x , le NH_3 , et le SO_x , peuvent être émises par l'industrie lourde, la production de chaleur et d'électricité avec des combustibles liquides et solides, ainsi que par le trafic et l'agriculture.
11. **Occupation des sols:** cette catégorie mesure la réduction de biodiversité causée par l'utilisation du sol. Cette catégorie est dominée par l'agriculture et la déforestation.
12. **Effet de serre:** cette catégorie correspond aux impacts résultant des changements du climat. Elle mesure le potentiel du réchauffement climatique des gaz à effet de serre (GES) émis dans l'atmosphère. Les principaux GES sont le CO_2 émis par la combustion des énergies fossiles ainsi que les feux de forêts, le méthane (CH_4) et le protoxyde d'azote (N_2O), tous deux émis principalement par l'agriculture.
13. **Energie primaire non-renouvelable:** la consommation des ressources énergétiques fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel), ainsi que de l'uranium, extraits de la terre se mesure en énergie primaire non-renouvelable (en MJ primaire). Ces ressources sont sujettes à disparition. La production électrique, de chaleur, et de combustible sont les principaux consommateurs d'énergie fossile et d'uranium.
14. **Extraction de minerais:** cette catégorie mesure le surplus d'énergie (en MJ) liés à l'effort additionnel nécessaire pour extraire les minéraux à partir de mines de moindre concentration. Le concept de surplus d'énergie est basé sur l'hypothèse que lorsque l'on extrait une ressource, une énergie additionnelle sera nécessaire pour extraire cette même ressource dans le futur à cause de la réduction de concentration moyenne dans les mines.

Ces quatorze catégories intermédiaires d'impact sont ensuite traduites au sein des quatre indicateurs de dommages suivants :

1. Changement climatique (kg CO_2 -eq)

Cet indicateur est calculé sur la base du potentiel de réchauffement global (GWP) sur 100 ans de divers gaz à effet de serre tel que prescrit par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2007). Les substances connues pour contribuer au réchauffement planétaire sont ajustées selon leur GWP, exprimé en kilogrammes de dioxyde de carbone (CO_2) équivalents. Parce que l'absorption et l'émission de CO_2 à partir de sources biologiques peut souvent conduire à des interprétations erronées des résultats, il n'est pas rare d'exclure ce CO_2 biogénique lors de l'évaluation des GWP. Conformément à la recommandation du *Publicly Available Standard* (PAS) 2050 pour le calcul de l'empreinte carbone, l'absorption et l'émission de CO_2 biogénique ne sont pas comptabilisées. Afin de tenir compte de l'effet de sa dégradation en CO_2 , le GWP du méthane (CH_4) d'origine fossile est fixé à 27.75 kg CO_2 -eq/kg CH_4 , et celui du méthane d'origines biogénique ou non-spécifiée est fixé à 25 kg CO_2 -eq/kg CH_4 .

2. Santé humaine (DALY)

Cette catégorie prend en compte les substances qui affectent les êtres humains de par leurs effets toxiques (cancérogènes et non cancérogènes) ou respiratoires, ou qui induisent une augmentation des radiations UV par la destruction de la couche d'ozone. L'évaluation de l'impact global des systèmes sur la santé humaine est réalisée suivant l'indicateur de dommages « *Human health* » de la méthode IMPACT 2002+, dans lequel la mortalité et la

morbidité induites sont combinées dans un score exprimé en DALY (*Disability-adjusted Life Years*).

3. Qualité des écosystèmes (PDF*m²*an)

La qualité des écosystèmes peut être compromise par le rejet de substances qui causent l'acidification ou l'eutrophisation des sols et des eaux, dont la toxicité affecte la faune, ou par l'occupation des terres. L'évaluation de l'impact global des systèmes sur la qualité des écosystèmes a été réalisés suivant l'indicateur de dommages « *Ecosystems quality* » de la méthode IMPACT 2002+, quantifié en fraction d'habitats potentiellement disparus, sur une surface donnée et durant une certaine période de temps, (PDF*m²*an).

4. Ressources (MJ)

Cet indicateur traduit l'utilisation de ressources non renouvelables ou l'utilisation de ressources renouvelables à un rythme supérieur à celui de leur renouvellement. Plus d'importance peut être accordée à certains matériaux en fonction de leur abondance et de leur difficulté d'acquisition. L'évaluation de l'impact global des systèmes sur l'épuisement des ressources a été réalisée suivant l'indicateur de dommages « *Resources* » la méthode IMPACT 2002+, qui combine l'utilisation d'énergie primaire de sources non-renouvelables et l'extraction de minerai. L'utilisation d'énergie primaire non renouvelable inclut la consommation de ressources fossiles et nucléaires mais exclut les sources d'énergie renouvelables à tous les étapes du cycle de vie des systèmes de collecte et dans l'ensemble des processus impliqués en amont. L'utilisation d'énergies non renouvelables pour la production d'énergie renouvelable est cependant prise en compte. L'extraction de minerai est une estimation de la quantité additionnelle d'énergie qui serait nécessaire pour en extraire une quantité donnée supplémentaire, du fait d'une accessibilité rendue plus difficile (basé sur la méthode Eco-indicateur 99). Cet indicateur est exprimé en mégajoules (MJ).

Interprétation

L'interprétation, quatrième phase de l'ACV, a pour objectif d'analyser les résultats, d'établir des conclusions, d'expliquer les limites et de fournir des recommandations en se basant sur les résultats des phases précédentes de l'étude. L'interprétation doit respecter les exigences décrites dans la définition des objectifs et du champ de l'étude et tenir compte des contraintes relatives aux hypothèses posées, ainsi qu'à l'incertitude des données employées et du modèle d'évaluation des impacts.