



1. 1. Historique de l'ACV

Jusqu'à la fin des années 1950, la protection de l'environnement n'était pas une question de priorité dans le milieu industriel (San José, 2005). Au début des années 1960, les inquiétudes sur la consommation excessive des ressources naturelles, la pollution et la surexploitation des systèmes naturels sont devenues un souci public qui nécessite une étude pour projeter l'approvisionnement et l'utilisation future **de ces** ressources (Belem et al., 2005)

À la Conférence mondiale de l'Énergie en 1963, Harold Smith a rapporté son calcul des besoins cumulatifs d'énergie pour la production de produits et des intermédiaires chimiques (SAIC, 2006). Jusqu'à la fin des années 1960, d'autres études ont étudié l'aspect de cycle de vie des matériaux et des produits, bien qu'elles soient basées sur le même principe de l'ACV, ces études se sont concentrées sur l'efficacité énergétique, la consommation des matières premières et la gestion des déchets (SAIC, 2006 ; EEA, 1997). En 1969, Coca-Cola a financé une étude dont le but était de comparer la consommation des ressources naturelles et la génération des déchets associés à la production de deux types de contenants de boisson (Rober and William, 1996). Aux États-Unis, ce type d'étude est dénommé Analyse des Ressources et du Profil Environnemental (ARPE) (Rober and William, 1996). En Europe, il a été appelé « *Ecobilan* » (Belem et al., 2005). L'ACV dans sa vision moderne a été développé à partir de ce concept. Cependant, le champ d'analyse de l'ACV a été étendu pour qu'il prenne en compte en plus des ressources énergétiques, les autres ressources naturelles ainsi que l'émission des polluants et la génération des déchets (SAIC, 2006).

Les années 80 marquent l'apparition des premiers bilans écologiques, malgré que les préoccupations environnementales décalées aux problèmes de gestion des déchets dangereux et des ménages (Dale et al., 2011), mais l'analyse de l'inventaire du cycle de vie a continué d'être menée et la méthodologie améliorée (Rober and William, 1996 ; SAIC, 2006). En Europe, la Commission européenne a créé la Direction de l'Environnement (DG X1) dans le but de travailler à uniformiser la réglementation de la pollution à travers l'Europe, cette direction, a publié « *Liquid Food Container Directive* » en 1985. Cette dernière va charger les entreprises membres de surveiller la consommation d'énergie, les matières premières, et la production de déchets solides de contenants alimentaires liquides (SAIC, 2006).

Le début du troisième millénaire a marqué l'histoire de l'ACV. Le lancement de l'Initiative pour le Cycle de Vie en collaboration entre le SETAC et le PNUE en 2002 (Jeanneret et al., 2014), la création de la base de données d'inventaire « *Ecoinvent* » (Frischknecht and Rebitzer, 2005), l'élaboration de « *CML V2* » la deuxième version de CML en 2000 (Lighthart et al., 2010), et la création de la nouvelle méthode « *IMPACT 2002+* » en 2003 (Jolliet et al., 2003). En 2009, l'ACV a marqué son entrée aux pays du Sud par l'organisation d'une conférence sur le « *Life Cycle Management* » en Afrique du Sud (UNEP, 2012).

2. Définition et applications de l'ACV

2.1. Définition

L'Analyse de Cycle de Vie (ACV) est l'outil d'évaluation des performances environnementales d'un produit tout au long de son cycle de vie (SAIC, 2006). Le cycle de vie s'étend de l'extraction des matières premières nécessaires à la fabrication de produit, passant aux étapes de transformation de la matière première, de transport, de production, de distribution et d'utilisation de produit, et jusqu'à la gestion de ce produit en fin de vie soit par le réutilisation, le recyclage, ou l'élimination finale de produit (Guinée et al, 2002 ; Benoist, 2009). C'est une vision générale, donc « du berceau à la tombe » (Belem et al., 2005 ; Ligthart et al., 2010). L'ACV est aussi utilisée comme outil d'identification et d'évaluation des aspects environnementaux dans les systèmes du management environnemental (SME)

L'International Standard Organisation (ISO) définit l'ACV comme étant : « Une compilation des intrants, des extrants et des impacts environnementaux potentiels d'un système de produits au cours de son cycle de vie » (ISO, 2006a). Dans l'ACV, l'ensemble du système de fonction unitaire intervenant dans le cycle de vie d'un produit est appelé « système de produit », le terme « produit » est pris dans son sens le plus large, y compris les biens et les services (ISO, 1998). Il est important de noter que, dans une étude d'ACV, ce n'est pas le système de produit qui est l'objet d'étude, mais sa fonction (Hajjaji, 2011). La fonction de système de produit détermine le service rendu par le système étudié (ISO, 2006b). La fonction unitaire de système est appelée « unité fonctionnelle », elle caractérise les performances qualitatives de système (Leroy, 2009). Dans les études comparatives d'ACV, l'unité fonctionnelle est une donnée primordiale, c'est l'unité de référence nécessaire pour la comparaison des systèmes concurrents.

2.2. Utilisation de l'ACV

L'ACV est utilisée principalement pour l'évaluation de la performance environnementale du système de produit et l'identification des sources d'impacts environnementaux liés à ce système tout au long de son cycle de vie (Brentrupet al., 2004). Utilisée dans plusieurs domaines, l'ACV est un outil d'aide à la décision dont le but est la quantification des flux physiques de matière et d'énergie entrants dans le système, et l'évaluation des émissions sortantes et des impacts potentiels liés à ces dernières (EEA, 1997). Elle présente un outil indispensable pour la prise des décisions stratégiques, pour le choix entre des procédés industriels délivrant le même produit, ou deux produits fournissant la même fonction (Belem et al., 2005). L'ACV, est aussi utilisée en éco conception pour le développement et l'amélioration du produit par les industriels ou même pour déterminer une politique environnementale par le secteur public.

2.3. Avantages de l'ACV

Grâce à sa vision globale (du berceau à la tombe), l'ACV permet la quantification des impacts environnementaux liés à tout le cycle de vie de produit ainsi qu'à tous les processus amont qui contribuent directement ou indirectement à la fabrication du produit. Cette vision, permet aussi de prendre en compte le transfert des polluants (Matthew et al., 2011). L'ACV permet



de quantifier les impacts potentiels vis-à-vis de l'environnement grâce à sa prise en compte de plusieurs facteurs d'impact. Le regroupement de ces facteurs d'impacts dans des catégories d'impact permet de fixer des objectifs précis en termes de qualité de l'environnement (Poncet, 2006).

2.4. Limites de l'ACV

Bien que l'ACV soit un outil d'évaluation des impacts d'un produit sur l'environnement régi par un ensemble de normes, cette méthode possède des limites à prendre en compte. Les limites de l'ACV peuvent être regroupées en deux catégories.

2.4.1. Limites méthodologiques

L'ACV est une méthode qui ne vise qu'à évaluer les impacts potentiels et non réels, les résultats obtenus dépendent fortement des hypothèses fixées au début de l'étude, de la définition de l'unité fonctionnelle et du risque d'une mauvaise interprétation des résultats obtenus de l'étude. C'est pourquoi, la définition des objectifs et du champ de l'étude et une étape primordiale (Rogers et al., 2008).

2.4.2. Limites liées aux données

L'inventaire des données d'entrée présente la plus importante limite à la réalisation d'une ACV. L'absence de données primaires fiables pour diverses raisons (confidentialité des données, difficulté d'accès aux données) implique le recours à des simplifications dans l'inventaire ou à des données génériques et bibliographiques simples (Benoît-Norris et al., 2011).

3. Méthodologie de l'ACV

La première norme d'ACV a été publiée par l'International Standard Organisation en 1998, aujourd'hui, les exigences liées à la pratique de l'ACV sont répertoriées dans la série des normes ISO 14040.

3.1. Typologie d'ACV

Malgré la grande variation des objectifs, des champs d'études, produits étudiés dans les études d'ACV, et la différence entre les méthodologies de réalisation, ces études peuvent être classées en deux grandes catégories principales : Prospective et Rétrospective. L'ACV prospective donne les informations des conséquences environnementales des activités humaines. L'ACV rétrospective fournit les informations sur les propriétés environnementales du cycle de vie étudié et ses sous-systèmes. Les deux types d'ACV ont des limites méthodologiques. Les décisions basées sur l'ACV rétrospective peuvent avoir des conséquences environnementales indésirables. De l'autre côté, l'ACV prospective peut apparaître injuste et résulte dans des systèmes sous optimisés du point de vue environnemental (Ekvall et al., 2005). L'ACV rétrospective est défini par son accent sur la description de la pertinence environnementale des flux physiques d'un ou vers un cycle de vie ainsi que de ses sous-systèmes. L'ACV Prospective est caractérisée par son objectif de décrire comment la pertinence environnementale des flux va changer en réponse aux décisions possibles (Tillman, 2000).



4. La réalisation d'une ACV

La réalisation d'une ACV est soumise à une démarche spécifique de quatre phases : la définition des objectifs et du champ de l'étude, l'inventaire du cycle de vie, l'évaluation de l'impact du cycle de vie, et l'interprétation du cycle de vie. Les différentes phases d'ACV ne sont pas obligatoirement consécutives, au-delà de l'approche classique donnée habituellement, il existe de multiples liaisons entre les différentes phases. Les étapes qui constituent le processus de l'ACV peuvent être graphiquement schématisées comme suit :

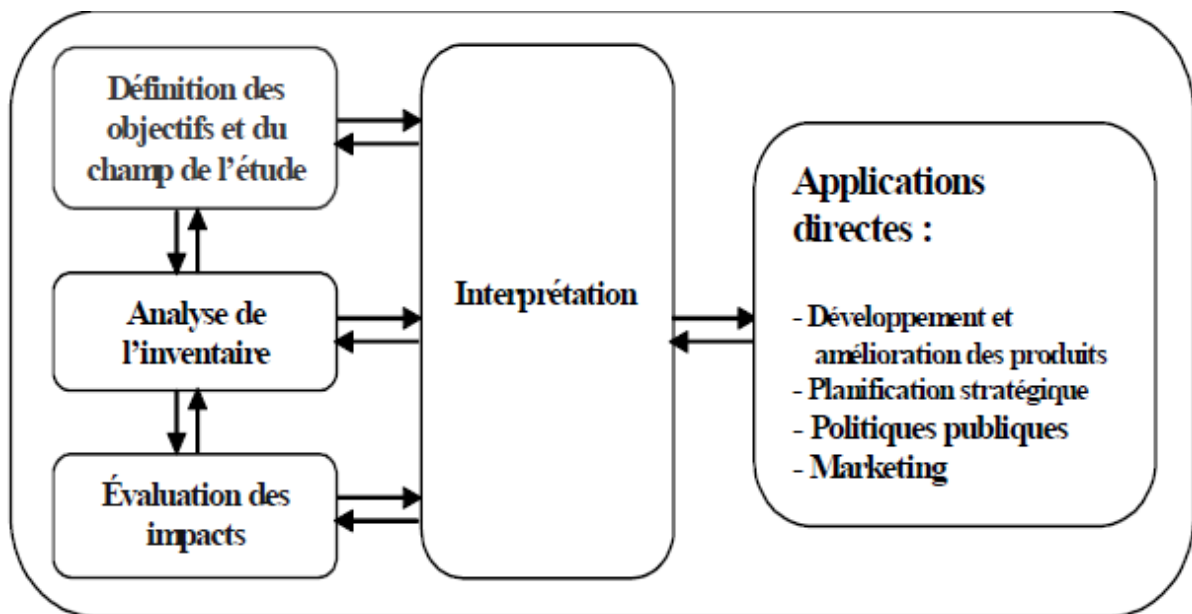


Fig.1 . Principales phases de l'Analyse de cycle de Vie (ISO, 2000b)

4.1. Définition des objectifs et du champ d'étude

En premier lieu, cette phase consiste à décrire le contexte de l'étude, ses objectifs et son cadre d'application. Ensuite, elle définit la fonction étudiée dans l'étude et définit l'unité fonctionnelle qui représente cette fonction. Enfin, elle détermine le champ d'étude et délimite ses frontières. Les éléments définis au cours de cette étape peuvent être revus au cours des étapes suivantes en cas de difficultés ou d'inadéquations. Dans les lignes directrices scandinaves sur l'ACV, les décisions minimales suivantes et les définitions qui doivent être prises sont (Lindfors et al, 1995) :

- le but et l'application prévue
- la fonction du système étudié et l'unité fonctionnelle définie
- le groupe de produit étudié et les alternatives choisies, le cas échéant
- les limites du système appliqué
- la qualité des données nécessaires
- le processus de validation ou d'examen critique nécessaire

4.1.1. Objectifs de l'étude

L'objectif d'une étude ACV doit indiquer clairement la définition et description du produit, du procédé ou d'activité. La définition des objectifs doit indiquer aussi le contexte dans lequel est faite l'étude, et identifier les limites et les effets sur l'environnement qui seront pris en



considération dans l'étude. La définition de l'objectif est également faite dans le but de définir la destination et les utilisateurs des résultats (SAIC, 2006). Les objectifs d'une ACV peuvent être :

- la comparaison de deux ou plusieurs produits qui remplissent la même fonction, pour que les résultats soient utilisés dans la commercialisation ou la réglementation de l'utilisation des produits.
- l'identification des possibilités d'amélioration dans le développement ultérieur des produits existants ou dans la conception de nouveaux produits.

4.1.2. Le champ d'étude

La définition du champ de l'ACV détermine les frontières de l'étude, les éléments inclus dans le système et les méthodes d'analyse qui doivent être utilisées. Pour définir le champ d'étude, plusieurs éléments doivent être pris en compte, le système étudié, la fonction de ce système, l'unité fonctionnelle, et les limites du système. Le champ d'étude doit être suffisamment clair et bien défini pour s'assurer que tous les détails de l'étude sont suffisants pour satisfaire les objectifs de l'étude. S'il est nécessaire, le champ d'étude peut être modifié selon l'évolution de l'étude et la disponibilité des données (EEA, 1997). La présentation graphique sous forme de diagramme des différents processus qui composent le système d'étude est recommandée. Ce diagramme doit présenter les processus et les flux alimentaires du cycle de vie. L'intérêt de cette présentation est de pouvoir identifier les intrants et les extrants du système objet d'étude (ISO, 2006b). L'ensemble des flux entrants ou sortants du système tel que défini par ces frontières doit être pris en compte pour l'établissement du bilan environnemental réel du cycle de vie étudié. Cependant, dans un souci de simplification du travail à effectuer pour le praticien de l'ACV, l'ISO autorise l'exclusion de certains flux sous certains critères, dits critères de coupure (ISO, 2006a).



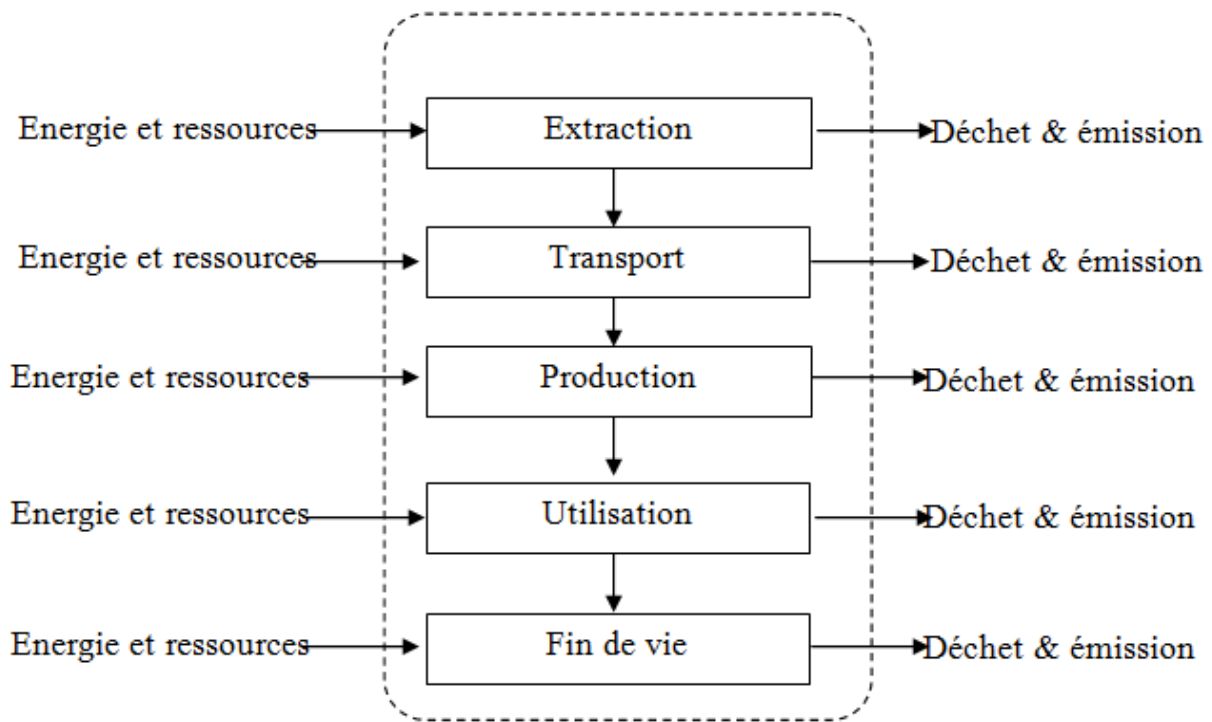


Fig.2 . Exemple simplifié de cycle de vie classique d'un produit (Basset-Mens, 2005)

Un flux peut être exclu de l'étude s'il répond à chacun des critères de coupure (la masse, l'énergie et la portée environnementale), mais ce principe peut nous conduire à négliger un élément potentiellement significatif pour le système étudié (ISO, 2006a). L'ISO a défini les trois critères de coupure minimaux :

- La masse : peut être exclu de l'étude un intrant dont la masse est en dessous d'un pourcentage défini de la masse totale des intrants ; (ISO, 2006b, Hajjaji, 2011)
- L'énergie : de façon similaire, peut être exclue de l'étude un intrant dont la contribution énergétique est en deçà d'un pourcentage défini des contributions énergétiques des intrants ; (ISO, 2006b, Hajjaji, 2011)
- La portée environnementale : par extension, peut être exclue de l'étude, un flux ou procédé dont les impacts environnementaux totaux n'excèdent pas un certain pourcentage des impacts environnementaux du produit étudié (selon Crettaz (2010), si une phase ou un procédé unitaire provoque une variation sur le résultat en dessous de 5%, ce procédé unitaire peut être négligé) (Crettaz et al., 2010).

4.1.3. L'unité fonctionnelle

L'unité fonctionnelle (UF) quantifie la fonction du système étudié (Cooper, 2003). L'unité fonctionnelle joue un rôle indispensable dans le cas d'une étude de comparaison entre deux ou plusieurs produits, ou l'étude en vue d'améliorer les performances environnementales d'un produit ou d'un processus. Les données qui seront recueillies lors de la phase d'inventaire seront associées à l'unité fonctionnelle. Une des raisons pour laquelle l'unité fonctionnelle doit être déterminée est de fournir une référence (physique) à laquelle les données d'entrée et



de sortie du système seront attribuées. La comparaison entre les systèmes doit être effectuée sur la base de la même fonction, mesurée par la même unité fonctionnelle et sous forme des flux de références équivalents (Cooper, 2003 ; ISO, 2004b).

4.2. Inventaire de cycle de vie (ICV)

La phase de l'ICV comprend la collecte et le traitement des données nécessaires pour la réalisation de l'ACV. La réalisation de l'ICV consiste à quantifier les différents flux intrants et sortants dans le système, les flux de matières premières, d'énergies et des polluants émis. L'ensemble de ces flux est identifié et caractérisé par sa nature, par la qualité des données collectées pour le bilan et leur mode d'acquisition ou leur degré de représentativité (Basset-Mens, 2005). Ce bilan « énergie-matière » est normalisé par rapport à l'unité fonctionnelle définie au préalable. Il existe deux méthodes de calcul de l'inventaire de cycle de vie, l'approche « *Processus* » et l'approche « *input Output* ». Le calcul d'inventaire selon l'approche « *Processus* » se fait en multipliant la masse des divers flux répertoriés par des facteurs d'émission ou d'extraction. L'inventaire récapitule les flux de référence ainsi que les différents flux intermédiaires correspondant au processus unitaire du système objet d'étude. Dans l'approche « *input-output* », l'inventaire se calcule en multipliant les dépenses par unité fonctionnelle avec les facteurs d'émission par unité monétaire dépensée (Suh et Huppes, 2002). Les facteurs d'émissions et d'extractions expriment la masse des substances entrantes ou émises par unité fonctionnelle utilisée (Guinée et al., 2002). Les facteurs d'extractions sont calculés directement à partir du bilan annuel de production, mais l'évaluation de la quantité et la nature chimique des rejets gazeux est incertaine.

4.2.1. Qualité des données

La fiabilité des résultats de l'étude d'ACV dépend fortement de la qualité des données employées dans l'étude. La qualité des données a été toujours une limite pour la réalisation d'une ACV. Le niveau de confiance apporté à la qualité des données d'entrée dans l'inventaire détermine l'acceptation des résultats finaux de l'étude (Kennedy et al., 1996 ; Coulon et al., 1997). L'analyse de la qualité des données peut être à partir de trois sources principales, l'International Standard Organisation (ISO), le Centre des Sciences Environnementales (CML), et la Société de Toxicologie Environnementale et de Chimie (SETAC). Le guide de l'ISO explique que les exigences de la qualité des données y compris : l'ancienneté des informations, les limites géographique et technologique, la précision, l'exhaustivité, et la représentativité des données ; la cohérence et la reproductibilité du modèle d'ACV, les sources de données et leur représentativité, et l'incertitude de l'information, doivent être fixées pendant l'élaboration de la phase de définition des objectifs de l'étude (ISO, 2006b). Le guide CML recommande que les exigences de l'ISO soient suivies par l'utilisation éventuelle de l'un des cadres d'incertitude qu'il propose. Le groupe de travail européen en « *qualité des données* » le SETAC, a fourni un cadre pour l'incertitude, et les méthodes possibles pour calculer l'incertitude des données. Le cadre classe l'incertitude des données en « *inexactitude des données* » et « *absence de données spécifiques* » (c'est-à-dire des lacunes de données et les données non représentatives). Lacunes dans les données sont à



pourvoir en utilisant soit la modélisation des entrées-sorties, les données sur des produits similaires ou des bilans de masse (Udo De Haes et al., 1999 ; Guinée et al., 2002).

4.3. L'évaluation des impacts environnementaux

Cette troisième phase consiste à traduire les quantités consommées d'énergie et de matières et les émissions de substances en termes d'impacts sur l'environnement et la santé humaine (Guinée et al., 2002). En effet, lors de l'émission d'une substance dans l'environnement, cette dernière évolue d'un milieu à l'autre, et change d'état ainsi que de concentration. L'objectif de cette phase est de réduire le nombre illimité de résultats pour faciliter leurs l'interprétation (Guinée et al., 2002).

Le court d'évolution de la substance est appelé « *la voie d'impact* » (ISO, 2006b). La détermination et la modélisation des ces voies sont la base sur laquelle les différentes méthodes d'évaluation d'impact reposent en reliant les données de l'inventaire avec les catégories d'impacts sur l'environnement présent on considération dans l'étude. Le choix des catégories d'impacts se fait en fonction des objectifs de l'étude (Guinée et al., 2002). Les indicateurs de catégorie d'impact et du modèle de caractérisation sont définis selon la méthode d'évaluation des impacts (Toffoletto, 2007). L'expression des bilans d'énergie et de masse passant par le système en termes d'impacts ou de dommages sur l'environnement et la santé humaine se déroule en trois principales étapes ; choix des catégories d'impacts, classification, et caractérisation (Sangely, 2010).



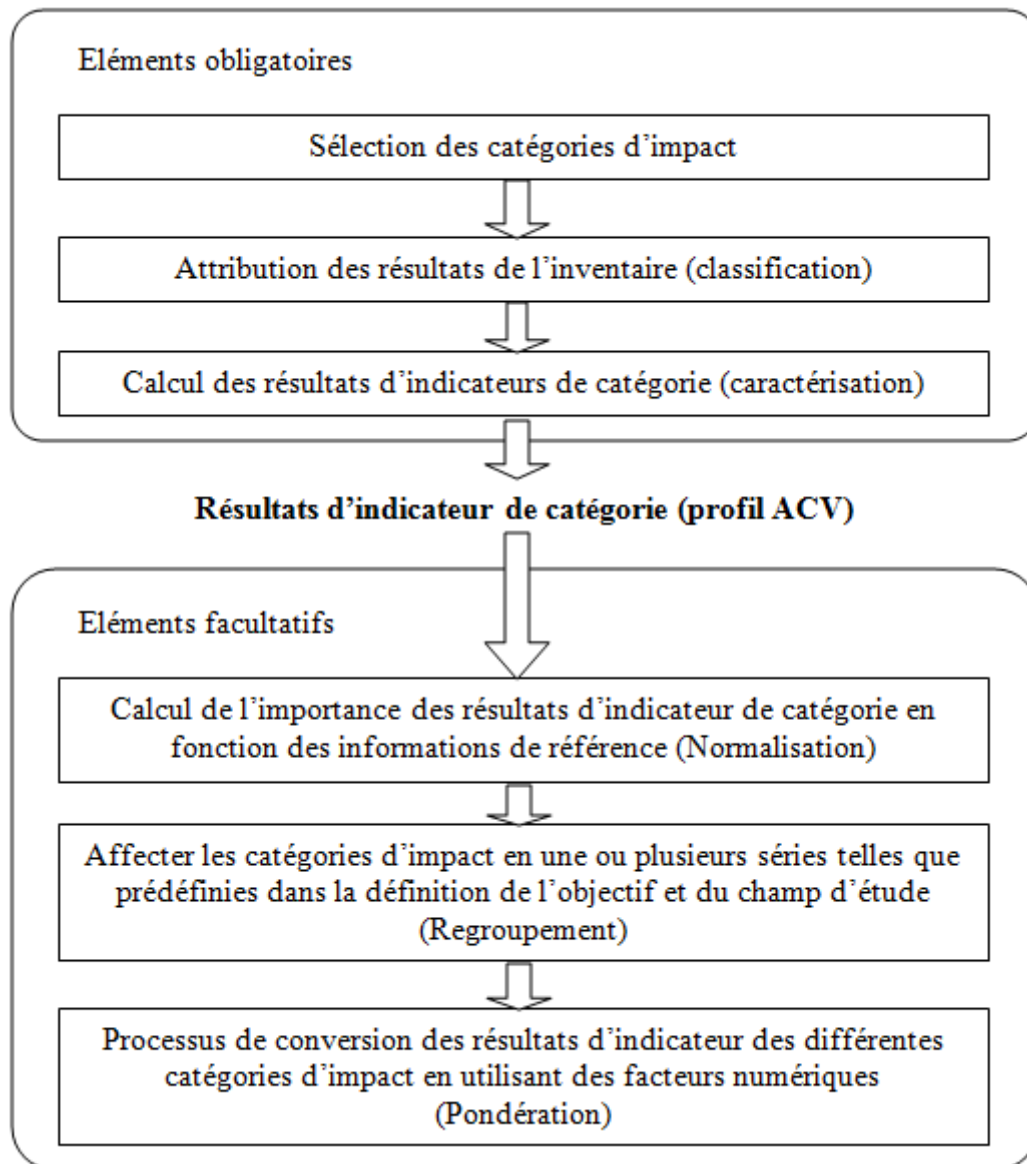


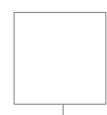
Fig. 3. Les différents éléments de la phase d'évaluation des impacts environnementaux

4.3.1. Choix des catégories d'impact

Cette première étape consiste à déterminer les catégories d'impact à prendre en compte dans l'étude ainsi que les modèles de caractérisation associés.

4.3.2. Classification

Chaque substance, identifiée lors de l'inventaire de cycle de vie contribue à une ou plusieurs catégories d'impact de façon particulière. Chaque catégorie d'impact est exprimée par un « *Indicateur de Catégorie* », celle-ci sert comme référence et caractérise l'impact en question. À chaque substance ciblée par une classe d'impact est attribué un coefficient traduisant sa contribution potentielle à l'impact. Ce facteur est appelé « Facteur de Caractérisation ».



L'impact unitaire étant une fonction de la quantité émise ou consommée et du FC, il peut être exprimé sous la forme suivante (Leroy, 2009) :

$$I_{s,i} = Q_s \times FC_{s,i} \dots\dots\dots (1)$$

Avec : $I_{s,i}$: l'impact environnemental de la substance s dans la catégorie d'impact considérée i ; Q_s : la quantité de la substance s émise ou consommée ; $FC_{s,i}$: le facteur de caractérisation correspondant à la substance s dans la catégorie i .

4.3.3. Caractérisation

Une fois la classification effectuée, la contribution potentielle totale de chaque catégorie est calculée en termes d'impact. L'impact total pour une catégorie d'impact est mesuré par la somme des impacts unitaires des substances contribuant à la catégorie d'impact. Cette étape est appelée « caractérisation ». La caractérisation peut-être effectuée en deux étapes, la caractérisation intermédiaire, et finale.

- La caractérisation intermédiaire (problème) : permet de pondérer chaque substance émise à la catégorie intermédiaire à laquelle elle contribue. Pour cela, on utilise les facteurs de caractérisation intermédiaires. Elle peut être exprimée sous la forme suivante (Laribi., 2012) :

$$S I_i = \sum_s I_{s,i} \dots\dots\dots (2) \text{ Avec:}$$

SI_i : Score d'impact intermédiaire de la catégorie i exprimé en kg équivalent d'un indicateur de catégorie ;

$\sum_s I_s$: la somme des impacts de chaque substance s contribuant à la catégorie d'impact considérée i .



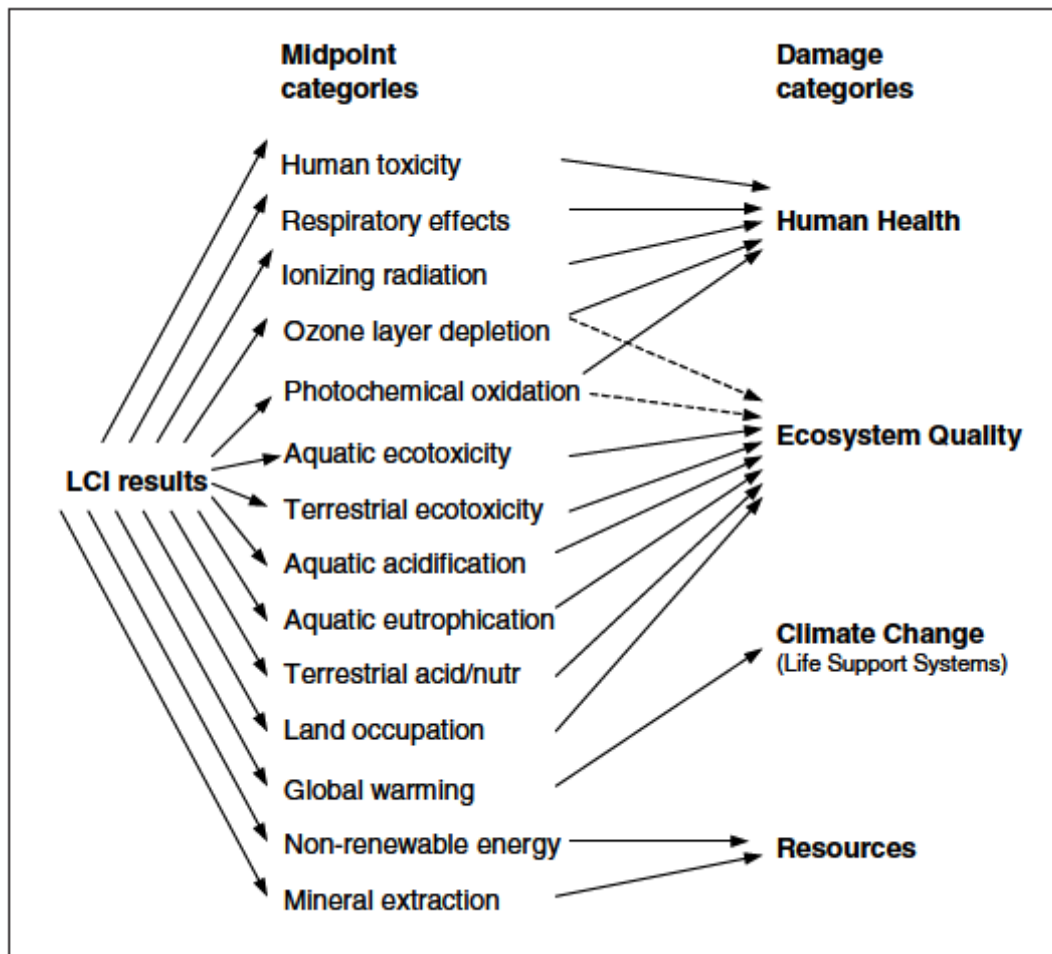


Fig. 4. Liste des catégories intermédiaires (problème) et catégories finales (dommage) (Jolliet et al., 2003)

- La caractérisation finale (dommage) : cette étape consiste à évaluer la contribution des impacts intermédiaires dans les catégories d'impact finales. Pour procéder à cette opération, on fait une pondération de tous les impacts intermédiaires à la catégorie de dommage correspondante (Jolliet et al., 2003) : (3)

SD_d : Score d'impact environnemental de la catégorie de Dommage d exprimé en kg équivalent d'un indicateur de catégorie ; Q_s : Quantité de la substance s émise. $FC_{i,d}$: Facteur de caractérisation de dommage reliant la catégorie intermédiaire i à la catégorie de dommage d ;

4.4. Interprétation des résultats

La phase d'interprétation consiste à évaluer la fiabilité des résultats de l'étude, et les hypothèses telles que l'unité fonctionnelle, les objectifs, et le champ de l'étude. Cette phase ne se base pas uniquement sur la phase précédente (évaluation des impacts), elle intervient à chacune des trois phases précédentes. Elle permet de valider les différentes phases et d'identifier les éventuels problèmes rencontrés au court de l'étude. Cette phase a aussi pour but de montrer les limites et les vulnérabilités de l'étude. Les données manquantes, incomplètes, ou de ressources ou qualité incertaine doivent être identifiées et justifiées. On se



basant sur les conclusions de l'étude, dans cette phase, nous procédons à la mise en oeuvre de recommandations, chercher des moyens d'amélioration, et déterminer les perspectives du future. Le but principal de cette phase reste d'offrir les moyens et les informations nécessaires pour la prise de décision environnementale, qui est le but ultime de l'ACV.

5. Les catégories d'impact

Dans l'ACV, il existe plusieurs catégories d'impact sur lesquelles les praticiens peuvent travailler. Dans la présente cours, et pour des raisons techniques, il ne sera pris en considération que trois catégories.

5.1. Utilisation des ressources

L'utilisation des ressources est divisée en deux catégories ; la demande de matériau cumulée et la demande d'énergie cumulée. Cette dernière est divisée à son tour en deux : la consommation d'énergie, qui exprime la quantité d'énergie primaire fossile (gaz, pétrole et charbon) utilisée dans le processus pour produire de la chaleur ; et la demande d'énergie, qui exprime la quantité d'énergie utilisée comme matière première (comme le cas du gaz naturel qui est utilisé pour produire l'ammoniac).

5.1.1. Demande d'Énergie Cumulée (DEC)

C'est une mesure de la quantité totale des ressources énergétiques (énergies primaires) nécessaires pour livrer un produit ou un service ; la DEC peut être divisée entre la partie des énergies primaires renouvelables et non renouvelables (GEMIS 47, 2011).

5.1.2. Demande des Matériaux Cumulé (DMC)

Une mesure de la quantité totale de matières premières nécessaires pour livrer un produit ou un service. Dans GEMIS, la DMC est le complément important à la DEC (GEMIS 47, 2011).

5.2. Le Potentiel de Réchauffement Global (PRC)

En équivalent dioxyde de carbone, c'est la contribution à l'absorption atmosphérique du rayonnement infrarouge par les gaz de provenance anthropique, tels que CH₄, CO₂ et N₂O, conduisant à une augmentation de la température mondiale. Habituellement, les données PRG se réfèrent à un horizon temporel de 100 ans (GEMIS 47, 2011 ; Hauschild, Potting, 2005 ; Sporyshev, Kattsov, 2006).

5.3. Le Potentiel d'Acidification (PA)

En équivalent de dioxyde de soufre, l'acidification couvre le problème des «pluies acides» qui réduit la productivité des écosystèmes naturels (forêts) ou artificiels (cultures). Les infrastructures humaines (bâtiments, véhicules) sont également affaiblies par ce phénomène (Harrison R.M, 2001 ; Guinée et al., 2002).

5.4. Le Potentiel Précurseur d'Ozone Troposphérique (PPOT)

En équivalent de Composés Organiques Volatils Non Méthane (COVNM), est l'équivalent basé sur la vitesse de formation de l'ozone à partir des précurseurs, mesuré par l'équivalent de précurseurs d'ozone. Le PPOT représente potentiellement la formation d'O₃ près du sol



(troposphérique) qui peut causer le phénomène du «*Smog Summer* » (GEMIS. 47, 2011 ; Osman et Ries, 2007 ; EEA, 2001). Chaque catégorie d'impact, ou sous-catégorie le cas échéant, possède sa propre méthode de caractérisation. Cette dénomination désigne le lien existant entre l'indicateur de catégorie, le modèle de caractérisation et les facteurs de caractérisation (Guinée et al., 2002 ; Pennington et al., 2004).

6. Les méthodes d'évaluation d'impact dans l'ACV

Les méthodes d'évaluation des impacts de cycle de vie visent à relier, autant que possible chaque résultat d'inventaire de cycle de vie aux impacts environnementaux correspondants (Leroy, 2009 ; Guinée et al., 2002). Les résultats de l'inventaire sont classés en catégories d'impact. L'indicateur de catégorie peut être situé à n'importe quel point entre les résultats de l'ICV et la catégorie de dommage dans la chaîne de cause à effet (Guinée et al., 2002). Dans ce cadre, deux grandes écoles de méthodes sont développées :

a) méthodes orientées problèmes « midpoint » : qui limitent la modélisation quantitative à un stade relativement précoce de la chaîne de cause à effet pour limiter les incertitudes et grouper les résultats selon les thèmes comme le changement climatique ou l'écotoxicité (Bidder-Sin et al., 2007).

b) Méthodes orientées dommages « endpoint » : qui essaient de ramener la modélisation de la chaîne de cause à effet jusqu'aux dommages, souvent avec une haute incertitude (Bidder-Sin et al., 2007).

6.1. La méthode : Impact 2002+

La méthode Impact 2002+ est développée par l'Institut Fédéral suisse de Technologie de Lausanne (EPFL). Cette méthode propose une mise en oeuvre possible d'une approche problème/ dommage combinée. Le schéma global de la méthode lie tous les types de résultats de l'ACV via 14 catégories de problèmes (toxicité humaine, effets respiratoires, rayonnements ionisants, déplétion de la couche d'ozone, oxydation photochimique, écotoxicité aquatique, écotoxicité terrestre, acidification terrestre/nitrification, acidification aquatique, eutrophisation aquatique, occupation des sols, réchauffement global, énergie non renouvelable, l'extraction minière), à quatre catégories de dommages : Santé humaine ; Qualité de l'écosystème ; Changements climatiques ; et Ressources) (Impact 2002+, 2014).

6.2. La méthode : CML

Une méthode d'ACV orientée problèmes est développée par l'Institut des sciences environnementales de l'Université de Leiden (CML). Elle se concentre sur une série de catégories d'impact environnemental exprimé en termes d'émissions dans l'environnement ou l'utilisation des ressources. Elle permet d'établir une valeur monétaire artificielle (prix fictif) pour chaque unité d'impact environnemental et de comparer les résultats pour les différentes catégories d'impact environnemental avec l'autre. Les catégories d'impacts utilisées dans CML sont : la diminution des ressources abiotiques, les impacts de l'utilisation des sols, le changement climatique, la destruction d'ozone stratosphérique, la toxicité humaine, l'écotoxicité (écotoxicité aquatique d'eau douce, marine, écotoxicité terrestre), la formation des photooxydants, l'acidification et l'eutrophisation (CML, 2007 ; Crettaz et al., 2010).

6.3. La méthode : Eco-Indicator 95 et 99



Eco-Indicator 99 est une méthode d'évaluation des impacts de cycle de vie orientée dommage, elle se concentre sur trois catégories : dommages sur la santé humaine ; la qualité des écosystèmes ; et ressources naturelles. Les résultats de ces trois catégories peuvent être combinés en une seule partition en utilisant des facteurs de pondération par défaut, sinon, les résultats peuvent être présentés sous forme graphique en utilisant l'outil triangle (Eco-Indicator 99, 2000).

Les données d'impact dans Eco-Indicator sont pondérées selon un processus d'évaluation sociale. Par exemple, la méthode Eco-Indicator 95 définit qu'une mort sur 1 000 000 d'habitants équivaut à 5 % de perte de surface dans un écosystème intact. Cette pondération permet de comparer différents types d'effets environnementaux. Les résultats peuvent ensuite être présentés sous la forme d'un score unique, le score Eco-Indicator. Les facteurs d'impact pour l'Eco-Indicator 99 sont collectés et publiés dans un tableur par l'Institut des sciences environnementales, Université de Leiden, Pays-Bas, et sont fournis par Pré Consultants, éditeur du logiciel SimaPro (Solidworks, 2014).

7. Les bases de données

7.1. EcoInvent

La base de données d'ICV Ecoinvent est élaborée par le centre suisse pour l'inventaire de cycle de vie « SCLCI », elle constitue la base de projets d'ACV, d'écoconception, et les informations environnementales. Avec plusieurs milliers d'ensemble de données d'ACV dans les domaines de l'agriculture, l'approvisionnement en énergie, les transports, les biocarburants et les biomatériaux, produits chimiques spéciaux, les matériaux de construction, les matériaux d'emballage, métaux de base et précieux, la transformation des métaux, TIC et l'électronique ainsi que le traitement des déchets, « ecoinvent » demeure la base de données internationale d'ACV la plus complète (ESU-Service, 2014). En Mai 2013, le Centre a publié la dernière version de sa base de données d'ICV « Ecoinvent V3 ». Fidèle à ses valeurs fondamentales, le Centre a créé une base cohérente et transparente. Cette version de la base de données ecoinvent ne contient pas uniquement des données de haute qualité, mais en plus elle contient des modèles et des ensembles de données entièrement nouveaux (Ecoinvent, 2014).

7.2. BUWAL 250

Spécialisé dans les matériaux d'emballage (plastique, carton, verre, acier, aluminium, et autres) et les processus qui leur sont liés (consommation d'énergie, transport, traitement des déchets). Réalisé par le Bureau Fédéral Suisse pour l'Environnement, l'inventaire inclut les émissions de production de matière première, de production énergétique, de production de coproduit et de matériaux auxiliaires, de transports et de procédé de production de matériaux (BUWAL 250 Library, 2014).

7.3. US-IE

Cette base de données a été créée pour combler l'écart actuel dans la base de données US LCI, et pour appliquer les conditions électriques des États-Unis à la base de données ecoinvent. L'ensemble des données comprend des processus modifiés pour les 423 processus contenus dans la base de données US LCI et pour les 3974 unités et procédés contenues dans la base de données ecoinvent (EarthShift, 2014).

7.4. US LCI



US LCI a été créé par NREL et ses partenaires pour aider les experts d'ACV à trouver les réponses à leurs questions en termes d'impacts environnementaux. Cette base de données fournit une comptabilité de "berceau à la tombe" des flux d'énergie et de matériaux entrants et sortant de l'environnement qui sont associés à la production d'un matériau, un composant ou assemblage. Il s'agit d'une chambre de stockage on line des données recueillies sur les matériaux couramment utilisés, les produits et les processus (USLCI, 2014).

8. Les logiciels d'ACV

Plusieurs compagnies et instituts de recherche ont développé des logiciels pour les utiliser en ACV. Le but principal pour cela est la grande quantité de données qu'il faut enregistrer et traiter pour la réalisation d'une étude ACV. Plusieurs logiciels ont été développés pour réaliser une ACV complète, par exemple : réaliser des inventaires, l'évaluation d'impact et quelques types d'interprétations sont accomplis, tandis que d'autres sont seulement capables de réaliser la phase d'inventaire de l'ACV. Plusieurs des logiciels développés sont commercialisés sur le marché avec des prix qui varient entre 800 et 4000 dollars, et dont les versions de démonstration sont disponibles pour évaluation, mais avec des limites. Comme les logiciels présentent un investissement, les acheteurs potentiels sont conseillés de collecter un maximum de données sur les différents systèmes afin de les comparer avec leurs besoins.

8.1. GEMIS

Le logiciel GEMIS 4.7 (2010) est un logiciel libre, qui permet d'évaluer les impacts des produits sur l'environnement. Il contient d'une part une méthodologie d'évaluation des impacts et d'autre part une base de données de matériaux, procédés de fabrication, moyens de transport, énergies, permettant de modéliser le produit. La base de données comprend une liste de produits, de processus et de scénarios. Nous pouvons introduire nos propres produits, processus et scénarios. La base de données intégrée est basée sur les références Suisses BUWAL et ETH et Allemandes GTZ. Dans une ACV, la méthode d'analyse des impacts environnementaux du système étudié se décompose en deux étapes. L'étape d'affectation des flux issus de l'Inventaire du Cycle de Vie (ICV) à des impacts environnementaux, tandis que la méthode de caractérisation pondère ces mêmes flux à l'intérieur de chacune des classes d'effet (GEMIS 4.7, 2011).

8.2. SimaPro

SimaPro est un logiciel commercial, développé par la société Hollandaise « Pré Consulting » en 2000, il contient 7000 modules dans sa base de données. L'avantage de ce logiciel est qu'il contient plusieurs bases de données environnementales, dont la plus riche et la plus complète « *Ecoinvent* » (SimaPro, 2014). Plusieurs méthodes d'évaluation d'impact sont disponibles dans SimaPro, des méthodes monocritère, multicritères, des méthodes d'indicateurs de flux, ou d'indicateurs d'impacts, des méthodes destinées à vulgariser les résultats pour les rendre compréhensibles et accessibles au grand public, d'autres plus complexes destinées à un public d'experts. En plus de son évaluation d'impact selon la méthode « *Impact 2002+* », SimaPro utilise différentes méthodes de calculs tels que « *CML1992* » et « *Eco-indicateur 99* » (Jolliet et al., 2003). SimaPro est le logiciel le plus utilisé et le mieux adapté à une présentation simple des résultats d'inventaire et d'analyse d'impacts, permettant d'examiner rapidement les conditions détaillées de chaque processus unitaire (Hajjaji, 2011).

8.7. ECOPRO



EcoPro est un logiciel allemand développé par « *L'Institut de conception et d'ingénierie logistique* » et qui fonctionne avec Windows, cet outil s'adresse aux architectes et ingénieurs. Il aide à la prise de décisions concernant les solutions fonctionnelles et constructives et le choix des matériaux. ECOPRO utilise les mêmes données que pour la planification des coûts. Un élément est composé de plusieurs couches ayant des caractéristiques matérielles. Par conséquent liés à l'énergie des valeurs telles que la conductivité, la masse, la durée de vie de la couche, les catégories de déchets et l'impact environnemental et des critères de coûts sont associés à chaque couche et ensuite ajoutés pour chaque élément et pour trois phases du cycle de vie (construction, rénovation, élimination). Le logiciel contient plus de 1000 modules dans sa base de données (EcoPro, 2014).

