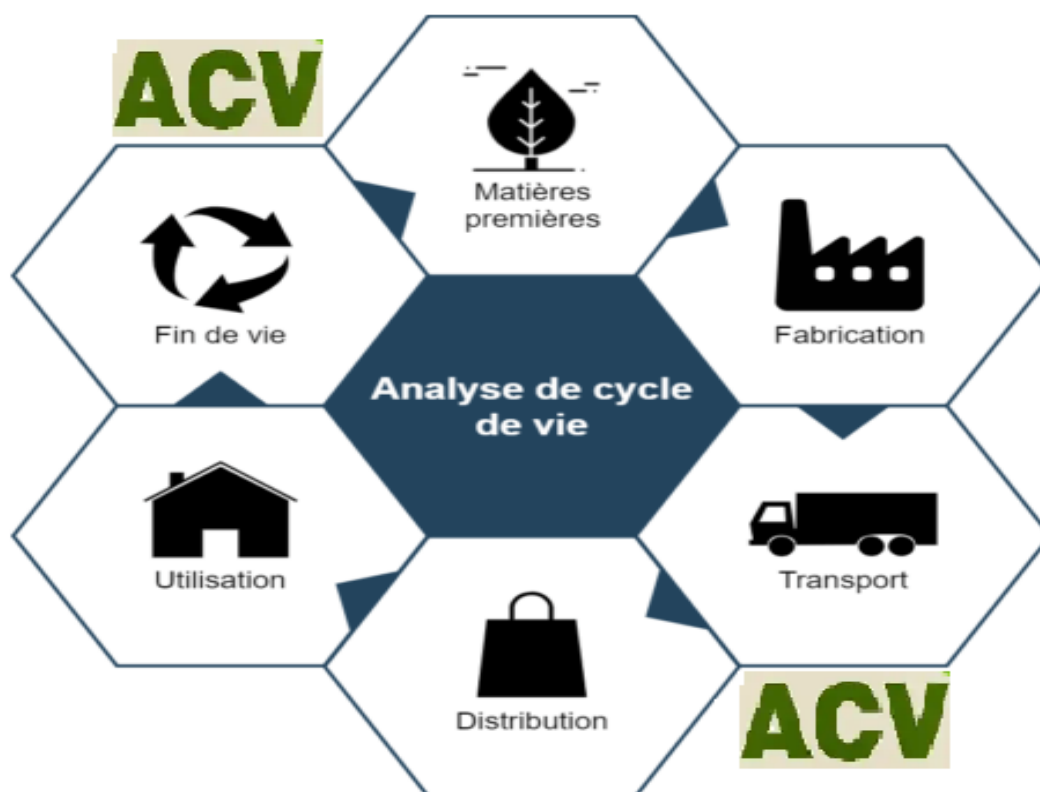


Réseau Algérien d'Économie Circulaire

Guide Pratique de la Mise en Place de la Démarche Analyse du Cycle de Vie

Selon la Norme ISO 14040 et ISO 14044



EDITION

CALEC, Réseau Algérien d'Économie Circulaire

Guide Pratique de la Mise en Place de la Démarche d'Analyse du Cycle de Vie

Selon la Norme ISO 14040 et ISO 14044

**M. Belkhir, K. Louhab, S. Bougherara, H. Baloul,
L. Samar, N. Dellala**

EDITION

CALEC, Réseau Algérien d'Economie Circulaire

www.calec-dz.org

Faculté de Technologie - Université M'Hamed BOUGARA
Cité Frantz Fanon-Boumer dès- 35000 – Boumerdes - Algerie

calec@univ-boumerdes

calec.boumerdes@gmail.com

Avant - propos

L'Analyse du Cycle de Vie est un outil de quantification de l'impact d'un produit ou d'un procédé depuis l'extraction des matières premières qui le composent jusqu'à son élimination en fin de vie en tenant compte des phases de distribution et d'utilisation. Ces différentes étapes sont plus communément désignées par l'expression « *du berceau à la tombe* ». Au cours de chacune de ces étapes, produits et procédés interagissent avec l'environnement.

Ce livre intitulé « **Guide Pratique de la Mise en Place de la Démarche d'Analyse du Cycle de Vie Selon la Norme ISO 14040 et ISO 14044** », se veut un outil pratique pour les acteurs de développement et les experts en évaluation environnementale, pour mieux comprendre la démarche Analyse du Cycle de Vie (ACV).

Cette démarche, est l'une des méthodes d'évaluation environnementale et des approches d'aide à la décision pour les industries ayant des politiques de gestion environnementale. Cette démarche prend en considération les différentes étapes de cycle de vie de produit depuis l'extraction des matières premières jusqu'à l'obtention du produit fini et sa fin de vie dans l'environnement.

Le guide est composé de trois chapitres, dont le premier présente la méthode d'analyse du cycle de vie, quelques définitions selon la série des normes ISO 140 40, historique et domaines d'application.

Le deuxième chapitre explique les principes de la démarche ACV, et le troisième chapitre détaille la méthodologie de l'ACV étape par étape.

Le guide est destiné aux experts dans le domaine de l'environnement industriels, aux enseignants universitaires, aux étudiants et aux industriels désirant s'engager dans l'écoconception et la préservation de l'environnement qui leur servira comme outil d'aide à la décision.

Table des matières

Avant propos	3
Introduction	5
Chapitre1 : La démarche Analyse du cycle de vie : termes et définitions	6
1. Définition de l'Analyse du Cycle de Vie.....	7
2. Étapes de l'analyse du cycle de vie.....	7
3. Objectifs de l'ACV	8
4. Approche de l'ACV.....	8
- Historique et cadre institutionnel.....	9
- Terminologie.....	10
Chapitre 2 : Objectifs et principes de la démarche Analyse du cycle de vie	11
1. Les objectifs de l'application l'ACV.....	12
1.1. Comparer.....	12
1.2. Éviter le risque de transfert d'impact.....	12
2. Les limites de l'ACV.....	13
Chapitre 3 : Les étapes de la démarche Analyse du cycle de vie.	14
1- Première étape : définition des objectifs et champ d'étude.....	15
2. Deuxième étape : Analyse de l'inventaire	18
3- Troisième étape : Évaluation des impacts.....	19
4- Quatrième étape : l'Interprétation	21
- Les méthodes d'évaluations du logiciel Simapro7.1.....	25
Conclusion.....	26
Références bibliographiques	27
Annexes.....	28

Introduction

L'analyse du cycle de vie est un outil de développement durable qui a le double avantage d'être quantitatif et multicritère. Elle s'est imposée comme la méthode de référence en matière d'évaluation des impacts environnementaux d'un produit pendant tout cycle de vie. Ce livre résume brièvement l'histoire de l'ACV, sa méthodologie, son application et sa normalisation.

L'idée de l'ACV a été conçue dans les années 1960 lorsque la dégradation de l'environnement et en particulier l'accès limité aux ressources a commencé à devenir une préoccupation. Les études de l'ACV ont été principalement réalisées pour des entreprises qui les utilisaient en interne.

Les premières études de l'ACV ont été réalisées dans les années 60 aux États Unis dans le domaine de l'emballage. Ces études sont justifiées par les préoccupations environnementales. Elles visaient les réductions des consommations des matières premières, de l'énergie et de quelques émissions.

Les bases de la méthodologie ACV telle qu'elle est structurée actuellement, ont été posées par l'étude ACV réalisée par la compagnie COCA-COLA dans les années 1970. Cette dernière a été reconnue comme étant une référence en raison de son caractère multicritère et elle a pris en compte plusieurs impacts environnementaux.

Par la suite, la réalisation de plusieurs études similaires aux États Unis et en Europe ont permis d'améliorer la méthodologie initialement proposée et de la développer en continu.

De nombreuses publications ont été réalisées, qui ont suscité de nombreuses discussions et débats en raison des hypothèses faites et de la validité des comparaisons proposées.

De ce fait, la communauté des utilisateurs et les chercheurs mettant en œuvre la démarche ont initié le processus de normalisation de la méthodologie d'Analyse de Cycle de Vie (ACV).

Actuellement, cette démarche est mondialement utilisée grâce à l'implication des organismes gouvernementales et aux efforts de diverses institutions.

Les Normes dédiées à l'ACV sont regroupées dans la famille des Normes ISO 14040.

CHAPITRE 1

La démarche Analyse du cycle de vie : termes et définitions

1 Définition de l'Analyse du Cycle de Vie

L'analyse du cycle de vie (ACV) ou **écobilan** est l'un des outils d'aide à la décision qui répond à un besoin d'autant plus crucial lorsque les disponibilités financières sont limitées. Elle est particulièrement intéressante dans la perspective de durabilité puisqu'elle couvre l'ensemble du cycle de vie d'un produit et permet d'éviter que les améliorations environnementales locales soient la résultante d'un simple déplacement des charges polluantes par rapport à d'autres méthodes.

Elle présente l'avantage d'engendrer une forte interaction entre ; performance environnementale et fonctionnalité puisque les émissions polluantes et l'utilisation de matière première sont rapportées à la fonction du produit ou système étudié.

L'expression Analyse du Cycle du Vie (ACV) correspond en anglais **Life Cycle Assessment** (LCA) et souligne bien l'approche large, couvrant les impacts de la conception du produit à son élimination. Le synonyme français **Ecobilan** correspond en Allemand **Ökobilanz**, insiste plus sur la notion quantifiée du bilan d'inventaire des émissions polluantes et des extractions des ressources par soucis de clarté et de cohérence avec les normes internationales (ISO), seule l'expression « *Analyse du Cycle de Vie* » (ACV).

L'Analyse du Cycle de Vie est un outil de quantification de l'impact d'un produit, d'un procédé ou d'un service, depuis l'extraction des matières premières qui le composent jusqu'à son élimination en fin de vie en tenant compte des phases de distribution et d'utilisation. Ces différentes étapes sont plus communément désignées par l'expression « du berceau à la tombe ». Au cours de chacune de ces étapes, produits et procédés interagissent avec l'environnement.

L'Organisation Internationale de l'Environnement et dans La norme ISO 14040 définit la méthodologie d'analyse du cycle de vie (ACV) de la manière suivante :

« *Compilation et évaluation des entrants et des sortants, ainsi que des impacts potentiels environnementaux d'un système de produits au cours de son cycle de vie.* »

2. Étapes de l'ACV

Selon les normes ISO (*Organisation Internationale de l'Environnement*) et SETAC (*La Société de Toxicologie et Chimie Environnementale*), l'analyse du cycle de vie s'effectue en quatre phases : la définition des objectifs, l'inventaire des émissions et des extractions, l'analyse de l'impact et interprétation.

Ces phases se définissent comme suit :

- **Définition des objectifs et limites du système**
Permet de poser le problème, de définir les objectifs et le champ de l'étude. Cette phase détermine une série d'éléments cruciaux (la fonction du système, l'unité fonctionnelle, à laquelle les émissions et les extractions seront ensuite rapportées). Elle définit également les limites du système considéré, les scénarios de base et les alternatives à étudier sont définis en détail lors de cette phase.
- **Inventaire des entrants et des sortants**
Quantifie les émissions polluantes dans l'air, l'eau et le sol ainsi que l'extraction de matière première renouvelable ou non renouvelable. Elle détermine également l'utilisation des sols nécessaires pour la réalisation de la fonction du système.
- **Analyse des impacts environnementaux**
Évalue l'impact sur l'environnement des émissions et des extractions inventoriées dans la phase précédente. Elle peut se décomposer en trois étapes (1).
- **Interprétation des résultats**
A pour objectif d'interpréter les résultats de l'analyse de l'inventaire et de l'évaluation de l'impact, d'établir des conclusions, d'expliquer les limites et de fournir des recommandations, tout cela au regard des objectifs et du champ de l'étude, d'après la norme ISO 14043.

3. Objectifs de L'ACV

L'ACV est une méthode d'analyse environnementale qui permet d'identifier les principales sources d'impacts environnementaux et d'éviter en outre le transfert des pollutions d'une phase du cycle de vie à une autre. Il est donc indispensable de couvrir l'ensemble du cycle de vie afin que l'amélioration du rendu global ne se répercute pas à une autre échelle.

Les principales applications de l'ACV sont ;

- Analyser l'origine des problèmes relatifs à un produit spécifique.
- Améliorer le process d'un produit donné par observation des points faibles durant son cycle de vie.
- Concevoir de nouveaux produits en tenant compte de l'environnement dès leur conception.
- Comparer des procédés ou des produits entre eux en sélectionnant le plus respectueux de l'environnement par comparaison des cycles de vie.
- Valorisation de filières.

4. Approche de l'ACV

- Historique et cadre institutionnel

Voici quelques éléments historiques, retraçant les grandes étapes de développement de l'analyse du cycle de vie avec la fondation du groupe de Rome en 1972, le concept d'une limite au développement s'est imposé, limite basée sur les prédictions de disponibilité restreinte des ressources. Vingt temps plus tard, l'idée d'une limite se confirme mais se manifeste d'abord par l'incapacité de l'environnement à absorber les émissions polluantes.

Au cours de vingt dernières années, l'ISO a publiée plus de 350 normes traitant au système de management environnementale. Cette série permet aux entreprises de bien ou de service de digérer l'impact de leurs activités sur l'environnement et de mesurer leurs performances environnementales.

Les normes ISO 14000 sont développées dans six secteurs, dont celui de l'analyse du cycle de vie ; une première norme ISO 14040 établie les lignes directrices pour la pratique des ACV, les normes complémentaires (ISO 14041, ISO 14042, ISO 14043) détaillent les étapes d'inventaires, d'évaluation de l'impact de l'interprétation. Les normes ISO 14047 et ISO 14049 fournissent des exemples d'application tandis que la norme ISO 14048 documente le format de transfert des données.

Sur le plan scientifique la SETAC offre dès le début des années 1990 une plateforme d'échange scientifique dans le domaine de l'ACV. Elle préside aux principaux développements méthodologiques par le biais de différents groupes de travail.

Récemment, une initiative pour le cycle de vie (life cycle initiative) a été lancée sous l'égide de la SETAC et du PNEU. Elle a pour objectif de développer et de diffuser des outils pratiques permettant d'évaluer les solutions. Les risques, les avantages et l'inconvénient associé aux produits et services tout au long de leur cycle de vie. Elle est basée sur la série des normes ISO 14040.

L'initiative pour le cycle de vie sert actuellement de cadre institutionnel pour le développement de méthode ACV et leur utilisation dans l'industrie.

Tableau 1: Normes ISO14000 dans le domaine de l’environnement et de l’analyse cycle de vie (2).

Principales normes ISO relatives au management environnemental	
ISO14001	Système de management environnemental – spécification et lignes directrices pour son utilisation (1996).
ISO14004	Système de management environnemental – lignes directrices générales concernant les principes, les systèmes et les techniques de mise en œuvre(1996).
ISO14021	Marquages et déclarations environnementales – auto déclarations environnementales(1996).
ISO14040	Management environnemental – analyse cycle de vie –principes et cadre (1997).
ISO14050	Management environnemental – vocabulaire(2002).
Normes ISO relatives à l’analyse du cycle de vie	
ISO14041	Management environnemental – Analyse du cycle de vie –Analyse de l’inventaire(1998).
ISO14042	Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Evaluation de l’impact du cycle de vie (2000).
ISO14043	Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Interprétation du cycle de vie (2000).
ISO14048	Management environnemental - Analyse du cycle de vie- Format de documentation de données (2002).
ISO14049	Management environnemental - Analyse du cycle de vie - exemples d’application d’ISO14041(2000).

- **La terminologie**

La description de la méthodologie de l’ACV fait appel à des termes spécifiques :

- Système de produit : Ensemble de processus élémentaires liés par des flux de matière et d’énergie qui remplissent une ou plusieurs fonctions.
- Scénario : Variantes étudiées et comparées les unes aux autres lors d’une ACV.

- Unité Fonctionnelle (UF) : Grandeur quantifiant la fonction du système sur la base de laquelle les scénarios sont comparés.
- Processus élémentaire : Ensemble des phases qui sont impliquées dans la réalisation de la fonction considérée. Un processus élémentaire est caractérisé par ses flux élémentaires entrants et sortants.
- Flux élémentaires : Ressources entrant dans la constitution du système (entrants ou inputs) et substances émises dans l'air, le sol ou l'eau (sortants ou outputs). Les flux élémentaires relient les processus élémentaires à l'environnement.

La figure 1 résume par un schéma simplifié les relations entre les processus élémentaires et les différents flux entrants et sortants du système.

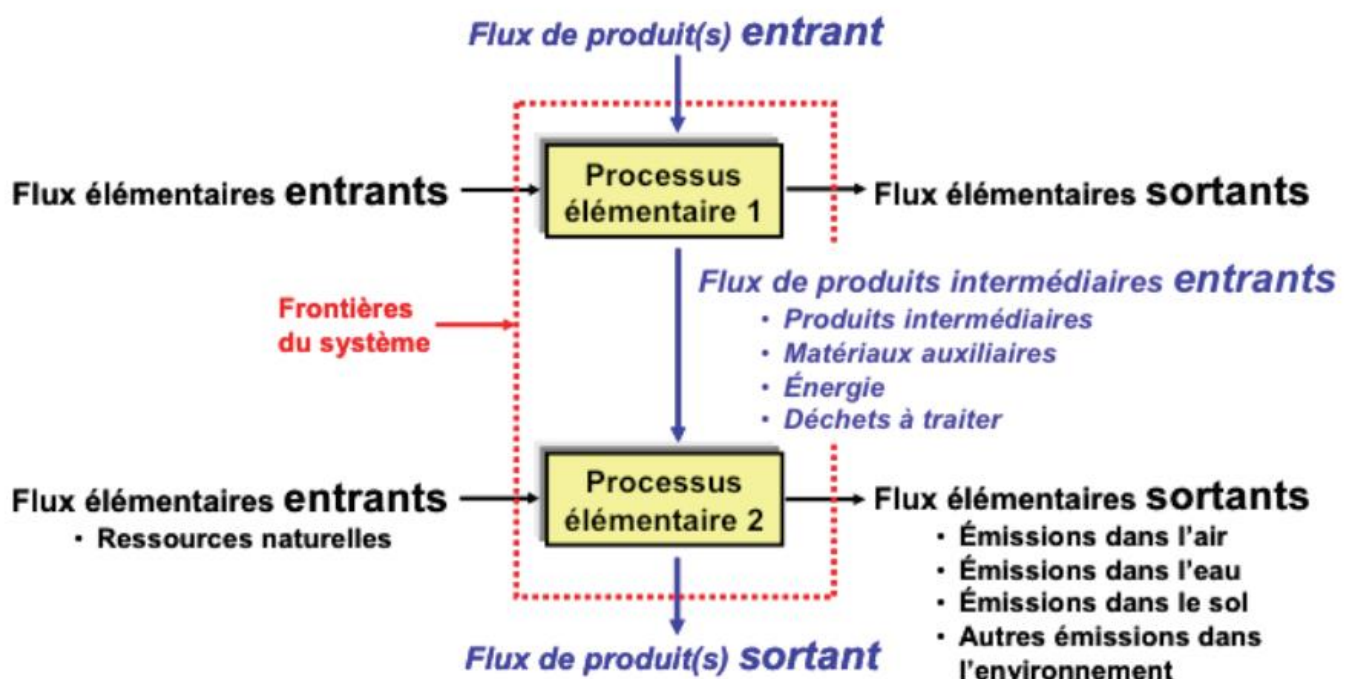


Figure 1. Frontières et processus élémentaires d'un système de produit (3)

CHAPITRE 2

Les objectifs et les principes de la démarche Analyse du cycle de vie

1. Les objectifs de l'application de la démarche ACV

L'analyse du cycle de vie est un outil d'aide à la décision. Les résultats d'une ACV, peuvent être utilisés pour des besoins d'éco-conception, d'affichage environnemental ou encore d'orientation des politiques publiques.

1.1. Comparer

L'évaluation environnementale est fréquemment utilisée de manière comparative : comparer deux options techniques pour un concepteur, comparer deux produits pour un acheteur, comparer deux orientations politiques pour un décideur. La force de l'ACV est de restituer la complexité de l'environnement et d'éviter des choix qui auraient pour conséquence de dégrader des milieux qui n'avaient pas été considérés, ou de déplacer les impacts d'une étape du cycle de vie à une autre.

L'objectif de l'ACV est de présenter une vision globale des impacts générés par les produits (biens, services ou procédés), déclinée selon différentes simulations. Pour les politiques industrielles : choix de conception et d'amélioration de produits, choix de procédés, etc. Pour les politiques publiques : choix de filières de valorisation, critères d'éco labellisation des produits...

L'ACV prend compte du transfert des pollutions potentielles dans la comparaison des deux scénarios alternatifs. Ainsi, avec l'ACV, on pourra comparer deux produits ayant la même fonction.

Par exemple un rasoir classique et un jetable ; deux produits différents ayant la même fonction, une voiture et un bus ou encore un bien et un service « dématérialisé », un courrier postal et un e-mail

1.2. Éviter le risque de transfert d'impact

L'intérêt de l'ACV est d'évaluer plusieurs catégories d'impacts environnementaux à chaque étape du cycle de vie. Lors d'une comparaison, elle pourra montrer qu'un produit a moins d'impact qu'un autre (émissions de gaz à effet de serre), l'ACV peut aussi souligner qu'un gain à une étape de cycle de vie peut avoir des conséquences dégradant une autre étape.

2. Les limites de l'Analyse du Cycle de Vie

L'analyse du cycle de vie rencontre des obstacles d'ordre pratique et méthodologique :

- Des moyens importants : une étude de l'ACV nécessite beaucoup de temps, de donnée et de moyen humains, ce type d'étude est donc limité à des décideurs qui

ont les moyens ou une forte motivation. Pour généraliser de cet utile d'évaluation le développement d'un outil simplifié mais fiable est conseillé.

- ACV est une méthode à la quelle « *on fait dire ce qu'on l'on veut* » : cette critique parue dans un magazine spécialisé (4). Elle reflète bien une critique récurrent de la part des industriels sur l'ACV en tant qu'outil d'aide à la décision. En effet, comme tous autres outils, l'ACV peut être influencée par la personne qui la réalise, au niveau du choix des hypothèses, de la méthode de calculs d'impacts. Une vigilance particulière doit donc être maintenue en termes de validation et de publication des résultats, de contrôle de la neutralité du personnel de l'étude vis-à-vis des autres acteurs et de leurs intérêts. Ces limites doivent être clairement pesées avant d'utiliser l'ACV pour une étude environnementale.
- ACV n'aborde pas les impacts et les aspects sociaux et économiques, ce qui constitue un obstacle à l'essor de l'ACV, dans la mesure où les décideurs attendent de plus en plus des réponses communes aux trois enjeux du développement durable : environnement, économie et social. L'ACV intervient donc en complément d'analyse d'autres indicateurs. Toutes fois on peut penser que la recherche permettra d'intégrer ces impacts dans la méthodologie ACV.
- ACV évalue des impacts potentiels, mais pas les impacts réels qui nécessitent l'étude des conditions locales et des phénomènes de transfert des émissions.
- L'ACV n'évalue pas les nuisances : par le principe mené de la méthode, l'évaluation des nuisances paraît difficile, du moins aucune méthode ne permet actuellement d'évaluer le bruit ou les odeurs.

CHAPITRE 3

Les étapes de la démarche Analyse du cycle de vie

L'Analyse du cycle de vie (ACV) est une approche de quantification des impacts environnementaux d'un produit, d'un processus ou d'un service sur l'ensemble de son cycle de vie. Elle modélise donc un système de l'extraction des matières premières, l'énergie et le transport nécessaires à sa fabrication, jusqu'à son traitement de fin de vie (ISO 14040-2006).

Selon les normes en vigueur, l'Analyse du Cycle de Vie est un processus itératif constitué de 4 étapes principales, respectivement :

- La définition des objectifs et du champ de l'étude,
- L'analyse de l'inventaire,
- L'évaluation des impacts,
- L'interprétation des résultats.

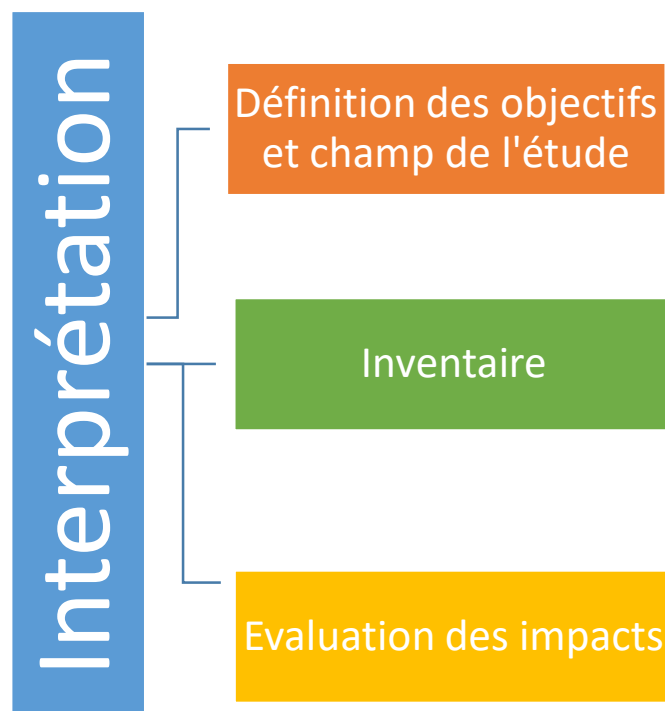


Figure 2. Étapes d'analyse du cycle de vie (5).

L'ACV est une méthode dite itérative. Cela signifie qu'elle se déroule en plusieurs étapes et qu'il est possible de revenir en arrière pour ajouter des données supplémentaires ou modifier les données initiales. Cela permet, entre autres, d'affiner l'analyse en continu.

Il y a peu de données à estimer, il est possible de réaliser les premiers calculs à la main. Toutefois, les ACV sont le plus souvent réalisés à partir de logiciels spécifiques.

1. Première étape : Définition des objectifs et du champ d'étude

a) La définition des objectifs : Les objectifs de l'étude doivent être cernés en terme :

- D'application envisagée.
- De justification de l'étude.
- De destinataire de l'étude (à qui va –t-on communiquer les résultats).
- La définition de l'objective étape succincte mais fondamentale, conditionne la définition du champ de l'étude.

b) Champ de l'étude : D'après la norme ISO 14040, les principaux éléments à définir dans le champ de l'étude sont :

- Les systèmes.
- Les fonctions de ses systèmes.
- L'unité fonctionnelle.
- Les frontières de chaque système étudié.
- Les hypothèses et les données.
- Les exigences sur les données.
- Les limitations.
- Les catégories d'impact prises en compte.
- Les méthodes d'évaluations d'impacts.
- Le type de revue critique.

L'ACV étant une méthode itérative, la description de champ de l'étude est évolutive en fonction des avancées et des contraintes de l'étude (nouvelles données, problème en cours d'étude, introduction de nouveaux acteurs.), le champ de l'étude doit satisfaire les exigences imposées par les objectifs.

Le champ de l'étude présente d'abord le nombre de systèmes à étudier et/ou à comparer, puis la description de chacun.

Unité fonctionnelle (UF) est un élément fondamental de l'ACV. La comparabilité de plusieurs systèmes impose que ceux-ci remplissent exactement les mêmes fonctions. La fonction d'un

système est ramenée à un flux fonctionnel, qui est le flux qui conditionne l'existence du système.

Dans le traitement des données d'inventaire, l'UF fournit une référence à laquelle les flux entrants et sortants sont liés, constituant ainsi une base comme aux différents systèmes. Ainsi, l'identification des fonctions des systèmes et le choix de l'UF garantissent la validité de la comparaison de plusieurs systèmes.

Les frontières du système déterminent les éléments qui doivent être inclus dans le système étudié. « Dans l'idéal, il convient de modéliser le système du produit de telle sorte que les entrants et les sortants à ses frontières soient des flux élémentaires » (1).

Par flux élémentaire, on entend des flux de matière ou d'énergie qui ont été puisés ou rejetés dans l'environnement sans transformation humaine préalable.

Dans la pratique le réalisateur de l'étude ACV n'a ni le temps ni les moyens, ni les données pour effectuer une étude aussi complète.

La modélisation du système répond à des choix basés sur des règles de coupure, la prise en compte des objectifs et des contraintes des coûts ou de temps. Une règle commune est d'exclure la quantification des entrants et sortants qui ne changeront pas d'une manière significative les résultats de l'étude.

Afin de garantir la transparence de l'étude, la définition des frontières et l'émission de certaines étapes ou de certains flux doivent être clairement explicitées.

Les données et les hypothèses doivent être présentées. Les études de l'ACV nécessitent une grande quantité de données. Par conséquent, la fiabilité des résultats dépendra fortement de la qualité des données, leur origine et leur qualité doivent donc être précisées. En termes de qualité, la norme distingue par exemple les données mesurées, calculées ou estimées, et demande de vérifier la validité géographique, temporelle ou technologique de ces données.

L'analyse critique de contenu du champ de l'étude doit permettre d'identifier les limitations de l'étude. En fonction des informations disponibles, l'auteur de l'étude doit préciser en quoi l'ACV pourra reprendre aux objectifs fixés initialement et quels sont les points pour lesquels le manque, qualitatif ou quantitatif, de données interdit de fournir des conclusions.

Les catégories d'impacts (effet de serre...) sont présentées ainsi les méthodes d'évaluations d'impact nécessaires pour leurs évaluations. Ces méthodes ont été développées par des universités ou des bureaux.

La revue critique est une contre-expertise de l'étude réalisée par des experts ACV indépendants. Elle est obligatoire pour une étude comparative diffusée au grand public. La rédaction d'un rapport précis vérifie la cohérence scientifique et méthodologique de l'étude et conclut sur la validité de celle-ci ou demande d'approfondir certains points.

L'ensemble des informations du champ de l'étude permet à tous lecteur d'avoir un avis critique sur l'analyse réalisée, sur la validité des résultats et peut ouvrir d'éventuelles discussions (complément d'étude, demande de recherches de nouvelles données ...).

Le champ de l'étude garantit ainsi la transparence et la crédibilité de l'étude.

2. La deuxième étape : L'analyse de l'inventaire

L'inventaire est la compilation et la quantification des flux entrants et sortants du système pour tout son cycle de vie tel qu'il a été défini dans le champ de l'étude. Tous les flux sont quantifiés par rapport à l'unité fonctionnelle.

La réalisation et l'analyse de l'inventaire se déroulent en plusieurs étapes :

- **Préparation de la collecte des données** ; le cycle de vie est schématisé en diagramme des processus élémentaires qui sont liés par des flux. Chacun des procédés est décrit et les données associées sont listées. Les méthodes de collecte de données et les calculs sont explicités.
- **Collecte des données** ; la recherche des données se fait par mesure, par calcul, par estimation, par avis d'expert, par recherche bibliographique ou encore en utilisant les bases de données spécialisées pour les ACV.
- **Validation des données** ; le contrôle de la qualité des données est réalisé dès la collecte. La vérification se fait à travers le contrôle de l'équipe des bilans de matières ou d'énergies, par une analyse comparative des facteurs d'émissions du processus proches...
- **Mise en rapport des données avec l'unité fonctionnelle** ; les flux recalculés par rapport aux flux de références pour chaque étape de cycle de vie du système.
- **Agrégation des données au niveau du cycle de vie** ; l'inventaire matière-énergie est établi par agrégation des flux de chaque étape de cycle de vie.

3. La troisième étape : L'évaluation des impacts

Les données collectées sont traitées selon la méthodologie propre de l'ACV qui se déroule en 5 étapes, les 2 dernières étant facultatives.

➤ **Classification**

Les flux sont regroupés en impacts (effet de serre, toxicité...), suivant leurs effets sur l'environnement.

Dans un premier temps, on définit une liste de « *catégories intermédiaires* » associées aux types des problèmes environnementaux retenus. On classe ensuite les émissions et extractions de substances au sein de ces catégories d'impact (une émission pouvant contribuer aux plusieurs catégories).

➤ **La caractérisation intermédiaire**

Cette étape permet de pondérer les émissions et les extractions au sein de chaque catégorie intermédiaire auxquelles elles contribuent. On utilise pour cela des facteurs de caractérisation intermédiaires : ils expriment l'importance relative de l'émission (ou de l'extraction) de chaque substance dans le contexte propre à une catégorie d'impact environnemental.

Ainsi, en multipliant la masse émise ou extraite par ces facteurs et en la sommant dans chaque catégorie intermédiaire, on obtient un *score d'impact intermédiaire* :

$$SI_i = \sum_s m_s \cdot FI_{s,i} \quad \text{Équation (1) (5).}$$

Avec :

SI_i : score d'impact intermédiaire de la catégorie i exprimé en kg équivalents d'une substance de référence (le plus souvent ramené à une émission équivalente de CO₂).

FI_{s,i} : facteur de caractérisation intermédiaire de la substance dans la catégorie intermédiaire.

m_s : masse de la substance s émise (ou extraite).

➤ **La caractérisation des dommages :**

Cette étape revient à évaluer la contribution des catégories intermédiaires sur les impacts tels que la santé humaine ou encore l'environnement naturel. Pour cela, on quantifie les dommages engendrés (*score de caractérisation de dommages*) de la même façon que précédemment.

$$SD_d = \sum_i m_s \cdot FD_{s,d} \quad \text{Équation (2). (2)}$$

Avec :

SD_{id} : score de caractérisation des dommages pour la catégorie d exprimé en kg équivalents d'une substance de référence (le plus souvent ramené à une émission équivalente de CO₂).

FD_{i,d} : facteur de caractérisation de dommages reliant la catégorie intermédiaire i à la catégorie de dommages d.

m_s : masse de la substance émise (ou extraite).

Le score des dommages sur la santé humaine peut s'exprimer comme la somme des dommages générés par les polluants impactant de la santé par quelque manière que ce soit : effets respiratoires, substances cancérigènes...etc.

➤ **La normalisation :**

C'est la normalisation entre la part relative de l'impact d'un système étudié par rapport à l'impact total d'une zone géographique. On calcule le ratio de l'impact du système étudié par rapport à l'impact total d'une zone géographique (pays, continent, monde) selon la formule suivante :

$$N = \frac{I_{\text{système}}}{I_{\text{normalisation}}} \quad \text{Équation (3) (6).}$$

Avec :

N : facteur de normalisation (sans unité).

I_{système} : Impact du système étudié (calculé dans l'étape de caractérisation).

I_{normalisations} : Impact total de la zone géographique choisie (constante calculé par la méthode d'ACV sélectionnée).

➤ **La pondération :**

La pondération est une étape complémentaire de la normalisation, cette dernière donne en effet une information limitée : un impact peut avoir une proportion négligeable vis-à-vis de l'impact total d'un territoire mais être très nuisible à l'environnement.

Un autre critère de jugement peut s'avérer nécessaire ; la pondération attribue un coefficient, de pondération, à chacun des impacts pour donner une valeur de l'impact en points :

$$Ip = Cp \cdot I \quad \text{Équation (4) (5).}$$

Avec :

I_p : Impact pondéré (en point).

I : Impact calculé dans l'étape de caractérisation.

C_p : Coefficient de pondération (fourni par une méthode d'ACV ou fixé par les responsables de l'étude).

Le coefficient de pondération peut être fixé par le comité de pilotage de l'étude ou par des experts. L'erreur humaine et la subjectivité sont alors possibles. Pour cette raison, les normes ISO interdisent les résultats de pondération dans les présentations de l'ACV. Il existe des règles de pondération mais aucune n'est universellement reconnue (7).

➤ **Le score**

C'est l'agrégation des impacts en un seul appelé score. Pour cela on somme les valeurs des impacts pondérés :

$$S = \sum_n I_{p,n} \quad \text{Equation (5) (5).}$$

Avec :

S : Score de la méthode (en point)

$I_{p,n}$: Impact pondéré (en point)

N : Nombre d'impacts dans la méthode sélectionnée.

Le score est une étape pour l'aide à la décision ; au lieu d'avoir plusieurs impacts à comparer entre eux, le système étudié ne possède qu'une seule note : son score. L'aide à la décision multicritère devient monocritère. L'inconvénient de la méthode à score est triple :

- Elle introduit de la subjectivité dans l'analyse.
- Elle ne permet pas de réaliser une analyse de sensibilité.
- Il suffit d'un impact faussement évalué pour fausser le score.

La figure 3 résume les étapes de traitement des données suivant la méthodologie ACV

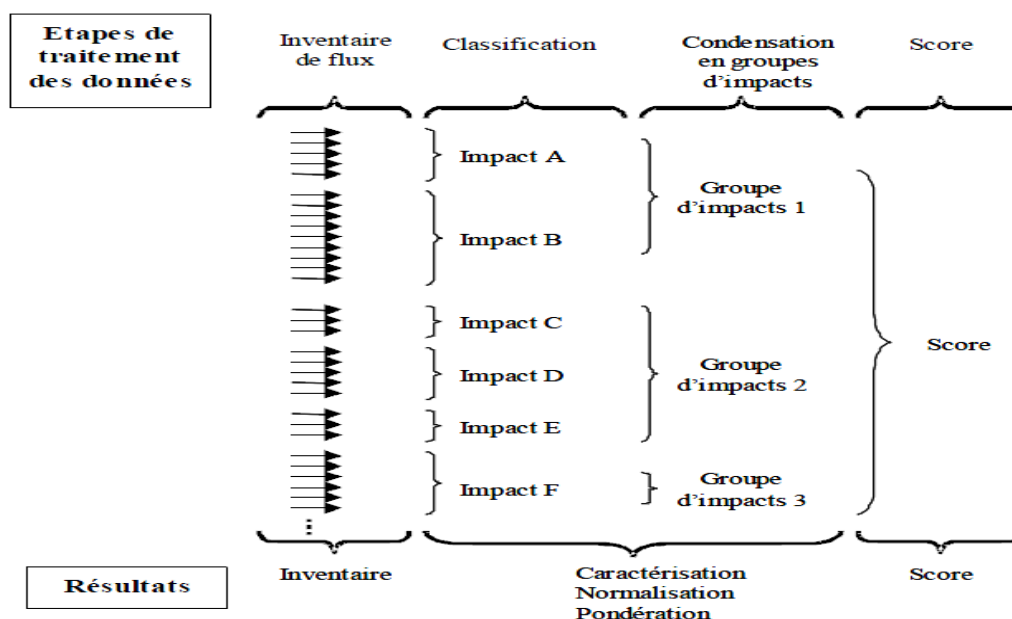


Figure 3. Les étapes de calculs des impacts (8).

4. **La quatrième étape : l'interprétation**

L'interprétation a pour objectif d'interpréter les résultats de l'analyse de l'inventaire et de l'évaluation de l'impact, d'établir des conclusions, d'expliquer les limites et de fournir des recommandations, tout cela au regard des objectifs et du champ de l'étude, d'après la norme ISO 14043, la phase d'interprétation comporte trois éléments.

1. L'identification des points significatifs des phases de l'analyse de l'inventaire et de l'évaluation de l'impact du cycle de vie du système (résultats et implications des méthodes utilisées).
2. La vérification des points significatifs qui intègre les contrôles :
 - De cohérence : vérifier que les méthodes, les hypothèses et les données utilisées sont en adéquation avec les objectifs de l'étude.
 - De complétude : vérifier que toutes les données et information nécessaires on était réunies.
 - De sensibilité : mettre en place les analyses de sensibilité et /ou d'incertitude pour valider la robustesse de certains résultats significatifs.
3. Les conclusions et les recommandations découlant de l'étude.

- **Les méthodes d'évaluation des impacts du logiciel SIMAPRO 7.1**

Les méthodes de calculs d'impacts ont été élaborées par différents experts (universités, bureaux d'études). Le développement de ces méthodes est l'objet d'un secteur spécifique de la recherche en ACV, appelé LCIA (*life cycle impact Assessment*). Elles sont constituées d'un ensemble d'impacts complémentaires, chacun de ces impacts traitant un effet particulier et l'ensemble des impacts devant illustrer la totalité des effets d'un système sur l'environnement. La SETAC propose la liste suivante **(9)**.

➤ Catégories d'impacts relatives aux flux entrants :

- Épuisement des ressources non renouvelables.
- Épuisement des ressources renouvelables.
- Occupation de l'espace

➤ Catégories d'impacts relatives aux flux sortants :

- Effet de serre.
- Destruction de la couche d'ozone stratosphérique.
- Toxicité.
- Écotoxicité.
- Formation de photo-oxydants.
- Acidification.
- Eutrophisation.
- Nuisances.
- Radiations radioactives.

Dans la pratique, les impacts ne sont pas intégrés dans les méthodes développées car certains sont difficiles telles que les nuisances. Parmi les méthodes fournies par le logiciel **SIMAPRO 7.1**, on illustre :

CML : Méthode développée par l'université de Leiden (Pays-Bas). Deux versions sont proposées : CML 1992 et 2000, les nombres correspondent à l'année de la mise en service de la méthode **(10)**.

Eco-indicator : Méthode conçue par le bureau d'études Néerlandais pré consultants. Deux versions sont disponibles : Eco-indicator 95 et 99. Dans la dernière version 3 variantes existent : Egalitarian, Hierarchist Et Individualist. Les concepteurs ont calculé les coefficients en fonction de la psychologie des décideurs. Par exemple, le cas individualiste tend à diminuer voir annuler l'importance des impacts touchant la planète entière ou ceux dans l'effet est dans un avenir lointain **(11)**.

Eco-points : Méthode développée par le ministère de l'environnement Suisse (BUWAL) la version utilisée est celle de 1997.

EDIP : (Environmental design of industrial products) : Méthode Danoise conçue en 1996.

EPS : (Environmental priority strategies in products design) : Méthode développée par l'université Suédoise Chalmers University of Technology en 2000 **(12)**.

Pour chaque impact, ces méthodes modélisent les effets polluants afin de calculer les facteurs d'impacts, le coefficient attribué à chacune des substances contribuant à l'impact.

Les phénomènes de pollution étant complexes à simuler, les modèles peuvent varier, bien qu'il soit basé sur des bases scientifiques communes. Après modélisations une méthode de calcul d'impacts est donc une base de données constituée d'une liste de flux caractérisé par un coefficient **(13)**.

Les méthodes proposent un jeu plus au moins complet de résultats d'évaluation des impacts du cycle de vie comme le montre le tableau 2.

Tableau 2. Type de résultat d'évaluation proposé dans les méthodes ACV **(11)**.

	<i>Caractérisation</i>	<i>Normalisation</i>	<i>Pondération</i>	<i>Score</i>
<i>CML</i>	X	X		
<i>Eco-indicator</i>	X	X	X	X
<i>Ecopoints</i>	X	X	X	X
<i>EDIP/UMIP</i>	X	X	X	X
<i>EPS</i>	X	X	X	X

Enfin, le nombre et le type d'impacts ne sont pas identiques (voir tableau 3). Par exemple les impacts des méthodes Eco-points sont des catégories de flux (gaz à effet de serre, molécules azotées, métaux lourds, molécules soufrés...) tandis que les impacts des autres méthodes regroupent les substances qui ont le même effet sur l'environnement (toxicité ...)

Tableau 3. La liste des méthodes ACV proposée dans **SIMAPRO 7.1**

Méthodes	CML1992	CML2000	Eco-indicator 95	Eco-indicator 99	Ecopoints97	EDIP96	EPS2000
Nombre d'impacts	9	10	11	11	30	16	13
	Acidification Ecotoxicity Energy resources Eutrophication Greenhouse Human toxicity Ozone layer Solid waste Summer smog	Abiotic depletion Acidification Aquatic ecotoxicity (fresh water) aquatic ecotoxicity (marine) Eutrophication Global warming human toxicity ozone layer depletion photochemical oxidation terrestrial ecotoxicity	Acidification Carcinogens Energy resources Eutrophication Green house Heavy metal Ozone layer Pesticides Solid waste Summer smog Winter smog	Acidification/ Eutrophication Carcinogens Climate change Ecotoxicity Fossil fuels Land use Minerals Ozone layer Respiratory inorganics Respiratory organics	Cd (air) Cd (water) CO ₂ COD Cr(water) Cu (water) Dust Energy Hg (air) Hg (water) High radiations Low/medium radiations Metals (soil) N NH ₃ Ni (water) Nitrate(soil) NMVOC NOX Ozone layer P Pb(air) Pb (water) Pesticides(soil) Sox Waste Waste special Zn (air) Zn (water)	Acidification Bulk waste Ecotoxicity Water acute Ecotoxicity Soil chronic Ecotoxicity Water chronic Eutrophication Global warming human toxicity air human toxicity soil human toxicity water ozone depletion Photochemical smog radioactive waste resources slags/ashes	Crop growth capacity Depletion of reserves Fish and metal production Life expectancy Morbidity Nuisance Production capacity of drinking water Severe morbidity Severe nuisance Soil acidification Species extinction Wood growth capacity

Conclusion

Il est à noter que de nombreuses sources fournissent un grand nombre de données nécessaires à un inventaire d'une ACV, dont il faut s'assurer que la couverture est cohérente et ce en recueillant des données supplémentaires et en examinant soigneusement les raisons de variations potentielles et les utiliser avec prudence, sachant que le problème majeur de cette application est la difficulté d'accès aux données.

Enfin dans le cadre de la mise en place d'une méthode exhaustive d'évaluation environnementale de nombreux compléments sont toutefois nécessaires sur le plan d'analyse environnementale, d'autres indicateurs et /ou impacts doivent être ajouté.

Parmi les nouvelles pistes de recherche, travailler sur le couplage entre l'ACV et d'autres méthodologies d'évaluation des impacts locaux qui représente une voie intéressante. Parmi ces outils d'évaluation des impacts locaux nous pouvons citer les études d'impacts et l'analyse des risques.

Par ailleurs le problème des nuisances particulièrement sonores et olfactives est également des impacts sensibles qui conviendraient d'être intégrés dans un outil d'évaluation des impacts environnementaux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. GIEC, Bilan 2001 de l'évolution du climat : les éléments scientifiques, rapport du groupe de travail I du GIEC, 2001, 90 p.
2. IFEN, L'environnement en France – Edition 1999, Institut Français de l'Environnement, Ed. la Découverte, ISBN 2-70071-2894-5, 1998, 480p.
3. GOEDKOOOP, M., SPRIENSMA, R. The Eco-indicator 99 : a damage oriented method for Life cycle Impact Assessment- Methodology report, PRé Consultants, Pays Bas, 2000, 111 p.
4. BLIEFERT, C., PERRAUD, R. Chimie de l'environnement – air, eau, sols, déchets, Edition De Boeck, ISBN 2-7445-0086-0, 2001, 477 p.
5. Directive du Parlement européen et du Conseil n° 1999/45/CE du 31 mai 1999 concernant le rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des États membres relatives à la classification, à l'emballage et à l'étiquetage des préparations dangereuses, Journal Officiel de la Communauté Européenne n° L 200 du 30 juillet 1999.
6. BONNARD, R. Le risque biologique et la méthode d'évaluation du risque, rapport INERIS, 2001, 70 p.
7. RYDING, S.O., RAST, W. Le contrôle de l'eutrophisation des lacs et des réservoirs, Edition Masson, ISBN 2-225-84393-7, 1993, 294 p.
8. GAUJOUS, D. La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire, Ed. ch&Doc Lavoisier, ISBN 2-7430-0021-X, 1995, 220 p.
9. Communication personnelle avec C. Renner, expert Odeurs, Anjou Recherche, Centre de R&D de Veolia Environnement, Maisons Laffitte, 2003.
10. Directive du Parlement européen et du Conseil n° 2002/49/CE du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement, Journal officiel de la Communauté Européenne du 18 juillet 2002.
11. Dewaele, J., Pant, R., & Schowanek, D. (2006). Comparative Life Cycle Assessment (LCA) of Ariel "Actif à froid"(2006), a laundry detergent that allows to wash at colder wash temperatures, with previous Ariel laundry detergents (1998, 2001). *Brussels Innovation Center, Central Product Safety-Environmental, Brussels*.
12. Thinkstep: A brief history of Life Cycle Assessment (LCA). <http://www.gabi-software.com/news/news-detail/article/a-brief-history-of-life-cycle-assessment-lca/>. (2016). Accessed 16 June 2016
13. UN WCED: Our Common Future. Oxford University Press, Oxford(1987).UN: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/> (2017). Accessed 4 March 2017

Annexes

(Formulaire relatifs à l'application de la démarche ACV)

A 8.1. DEFINITIONS DES OBJECTIFS ET DU SYSTEME

Tableau 1. Description de l'étude

Objectif général Information ou développement de produits, stratégie, politique générale, réglementation)	
Public cible (Interne, consommateur/ gouvernement, organisation, non gouvernementale)	
Acteurs (Mandataire, exécutant de l'ACV, direction, réviseurs, groupes de pression...)	

Tableau 2. Fonction du produit/ système et description des scénarios

Produit ou système	Fonction principale	Fonctions secondaires
Scénario 1		
Scénario 2		
Scénario 3		

Tableau 3. Production et unité fonctionnelle

Produit ou système	Unité fonctionnelle (Service offert)	Flux de référence (Ce qui est acheté)	Paramètres environnementaux clés
Scénario 1			
Scénario 2			
Scénario 3			

A8.2. INVENTAIRE

Tableau 1. Bilan énergétique à la main.

Étape du cycle de vie	Quantité par unité fonctionnelle (U F)	Énergie primaire non renouvelable par unité (MJ / unité)	Énergie primaire non renouvelable par unité (MJ / UF)
Matériaux			
Production			
Utilisation			
Transport			
Emballage			
Déchet			
Total			

Tableau 2 . Bilan de CO₂ à la main

Etape du cycle de vie	Quantité par unité fonctionnelle (UF)	CO₂ émis par unité F (g CO₂ / unité)	CO₂ émis par UF (g CO₂ / UF)	Vérification rapports [g CO₂ / MJpr nr
Matériaux				
Production				
Utilisation				
Transport				
Emballage				
Déchet				
Total				

Tableau 3. Fiche de recueil de données d'inventaire du cycle de vie

Identification du processus élémentaire :			Site objet du compte rendu. -Description des méthodes d'échantillonnage
Émissions dans l'air ^a	Unité	Quantité	(Joindre des fiches supplémentaires, si nécessaire)
Émissions dans l'eau ^b	Unité	Quantité	Description des méthodes d'échantillonnage (Joindre des fiches supplémentaires, si nécessaire)
Émissions dans le sol ^c	Unité	Quantité	Description des méthodes d'échantillonnage (Joindre des fiches supplémentaires, si nécessaire)
Autres émissions	Unité	Quantité	Description des méthodes d'échantillonnage (Joindre des fiches supplémentaires, si nécessaire)

a Par exemple matières inorganiques : Cl₂, CO, CO₂, poussière/particule, Fe, H₂S, H₂SO₄, HCl, HF, N₂O, NH₃, NO_x, SO_x; et matières organiques : hydrocarbures, PCB, dioxines, phénols ; métaux: Hg, Pb, Cr, Fe, Zn, Ni.
b Par exemple : DBO, DCO, acides, Cl₂, C₂N₂
 – huiles, détergents, matières organiques dissoutes, F⁻, ions Fe, ions Hg, Hydrocarbures, Na⁺, NH₄⁺, NO₃⁻
 –composés organochlorés, autres métaux, autres composés d'azote, phénols, phosphate, SO₄²⁻, matières en suspension.
c Par exemple : déchets minéraux, déchets industriels mixtes, déchets ménagers, déchets toxiques (dresser la liste des composés inclus dans cette catégorie de données).
d Par exemple : bruit, rayonnement, vibration, odeurs, rejets thermiques.

A.8.3.ANALYSE DU CYCLE DES COÛT (HORS ECOBILAN)

Tableau 4. Calcul des couts sur le cycle de vie

Produit ou système	Unité fonctionnelle (Service offert)	Flux de référence (Ce qui est acheté)	Coûts Hors écobilan
Scénario 1			
Scénario 2			
Scénario 3			

Présentation du Réseau Algérien d'Économie circulaire « CALEC »

Fondé en 2020 par l'université de Boumerdès, l'Association Nationale d'Écoconception, Analyse de cycle de vie et Développement durable ANEADD, le groupement d'industriels, les experts universitaires et le laboratoire de recherche en technologies alimentaires (LRTA), afin de créer un forum d'échanges et de transfert de connaissances dans le domaine de l'économie

Visé à promouvoir et à organiser une collaboration entre les acteurs industriels, institutionnels et scientifiques afin de favoriser la mise en place de l'économie circulaire comme un concept économique qui s'inscrit dans le cadre du développement durable et dont l'objectif est de produire des biens et des services tout en limitant la consommation et le gaspillage des matières premières, de l'eau et des sources d'énergie. Il s'agit de déployer, une nouvelle économie, circulaire, et non plus linéaire, fondée sur le principe de « refermer le cycle de vie » des produits, des services, des déchets, des matériaux, de l'eau et de l'énergie.” **Réseau Algérien d'Economie circulaire CALEC** est une structure de recherche coopérative dont la gouvernance est assurée par ses membres actifs et orientée grâce à l'appui d'un Directoire Scientifique (Conseil Scientifique).

Le Réseau Algérien d'Économie circulaire CALEC est plateforme E-learning pour la sensibilisation, formation et expertise en économie circulaire à l'échelle nationale pour ses travaux et initiatives bâtis sur de solides assises scientifiques et plus de plusieurs années d'expérience appliquée. Le CALEC accompagne les industries, les organisations et les consommateurs dans leur démarche vers un développement durable Le CALEC s'est donné pour mission de « Développer, interpréter, intégrer et transférer les connaissances nécessaires à l'opérationnalisation du concept de l'économie circulaire et à sa mise en œuvre au service d'un développement durable ». Pour remplir sa mission, le **CALEC** cible ses actions sur quatre axes d'intervention

- Définir des programmes de recherche relatifs à l'Économie circulaire (ces programmes étant confiés à des équipes de recherche universitaires et/ou à des prestataires publics ou privés) ;
- Favoriser l'échange entre les différents acteurs s'impliquant dans l'utilisation de l'Économie circulaire (qu'il s'agisse de commanditaires ou de praticiens) de manière à construire collectivement les meilleures pratiques du domaine ;
- Assurer une large diffusion des avancées réalisées en matière de données, de méthodes et de retours d'expériences, ainsi que des meilleures pratiques du domaine ;
- Intervenir, dans le cadre des échanges scientifiques algériennes, européens et internationaux, afin d'assurer une veille technologique sur l'Économie circulaire et de porter à la connaissance de la communauté scientifique nationale les avancées scientifiques réalisées dans le domaine de l'économie circulaire.