

L'analyse du cycle de vie (ACV) au service de l'optimisation environnementale des processus industriels : fondements théoriques et implications managériales

Life Cycle Assessment (LCA) in the service of environmental optimization of industrial processes : theoretical foundations and managerial implications

BOUNID Samira

Enseignante chercheuse

Faculté des Sciences Juridique, Économiques et Sociales de Fès

Université Sidi Mohamed Ben Abdellah

Laboratoire : Étude Recherche en Management et Organisation des Territoires (ERMOT)
Maroc

ACHELHI Hicham

Enseignant chercheur

Faculté Polydisciplinaire de Larache

Université Abdelmalek Essaâdi

Equipe de recherche : Expressions culturelles, Intertextualité et Management
Maroc

EL HAMMOUTI Mourad

Doctorant

Faculté Polydisciplinaire de Larache

Université Abdelmalek Essaâdi

Equipe de recherche : Expressions culturelles, Intertextualité et Management
Maroc

Date de soumission : 13/08/2025

Date d'acceptation : 21/10/2025

Pour citer cet article :

BOUNID S. & al. (2025) «L'analyse du cycle de vie (ACV) au service de l'optimisation environnementale des processus industriels : fondements théoriques et implications managériales», Revue Internationale des Sciences de Gestion « Volume 8 : Numéro 4 » pp : 245 - 271

Résumé

Face à l'urgence environnementale et aux nouvelles exigences réglementaires et sociétales, les entreprises industrielles sont appelées à repenser leurs modèles de production et de gestion. Dans ce contexte, l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) constitue un cadre méthodologique rigoureux pour évaluer et optimiser les impacts environnementaux des processus industriels de manière systémique. Cet article explore les fondements théoriques de l'ACV en tant qu'outil d'aide à la décision et d'orientation stratégique, en soulignant son potentiel à favoriser une meilleure allocation des ressources, une réduction des externalités négatives et une transition vers une performance durable. L'intégration de l'ACV dans les pratiques managériales suppose cependant une reconfiguration des logiques organisationnelles, des compétences et des systèmes d'information. L'article propose ainsi une lecture croisée entre approches environnementales, théorie des systèmes et management des opérations, afin d'identifier les conditions d'un déploiement effectif et structurant de l'ACV dans l'industrie.

Mots clés : Analyse de cycle de vie (ACV) ; Optimisation environnementale ; Processus industriel ; Management durable.

Abstract

In response to environmental urgency and new regulatory and societal expectations, industrial companies are increasingly required to rethink their production and management models. In this context, Life Cycle Assessment (LCA) provides a rigorous methodological framework for systematically evaluating and optimizing the environmental impacts of industrial processes. This article explores the theoretical foundations of LCA as a decision-support and strategic guidance tool, highlighting its potential to foster better resource allocation, reduce negative externalities, and facilitate the transition toward sustainable performance. However, integrating LCA into managerial practices requires a reconfiguration of organizational logics, competencies, and information systems. The article offers a cross-analysis of environmental approaches, systems theory, and operations management to identify the conditions for the effective and structuring deployment of LCA within industry.

Keywords : Life Cycle Assessment (LCA) ; Environmental optimization ; Industrial processes ; Sustainable management.

Introduction

Face aux bouleversements écologiques contemporains, les entreprises industrielles sont appelées à réduire significativement l’empreinte environnementale de leurs activités. La prise en compte des impacts environnementaux ne peut plus se limiter à des actions ponctuelles ou symboliques ; elle exige une transformation en profondeur des modes de production, de consommation et de gestion. Dans ce contexte, il devient impératif de disposer d’outils d’évaluation rigoureux et intégrés, capables d’éclairer les décisions managériales tout au long du cycle de vie des produits et services.

L’analyse du cycle de vie (ACV) s’impose ainsi comme une méthode incontournable pour appréhender les effets environnementaux globaux d’un système, depuis l’extraction des matières premières jusqu’à la fin de vie. Contrairement aux approches traditionnelles souvent centrées sur un seul maillon du processus, l’ACV adopte une vision systémique et comparative, fournissant des indicateurs objectifs utiles pour l’écoconception, l’optimisation des procédés industriels ou encore l’orientation stratégique. Pourtant, malgré ses avantages théoriques bien établis, son appropriation par les entreprises reste encore partielle, confrontée à des défis techniques, organisationnels et culturels.

Dès lors, une question centrale se pose : ***Comment l’ACV peut-elle être mobilisée comme levier d’optimisation environnementale dans les processus industriels ?*** Cette problématique soulève plusieurs enjeux : la compatibilité entre les exigences méthodologiques de l’ACV et les contraintes industrielles, le rôle des parties prenantes dans l’appropriation de cette démarche, ou encore la capacité des entreprises à transformer les résultats de l’ACV en leviers d’action.

Sur le plan méthodologique, ce travail repose sur une revue de littérature structurée, menée de façon systématique afin d’analyser les principales contributions académiques et professionnelles sur l’ACV, ses fondements, ses limites et ses implications managériales pour les entreprises industrielles. Cette approche rejoint les recommandations formulées par Dupont (2022), qui souligne l’importance d’un cadrage rigoureux de la méthode ACV pour soutenir la transformation des pratiques industrielles vers la durabilité.

Ce travail vise à explorer les fondements théoriques de l’ACV tout en mettant en lumière les conditions de son intégration effective dans les pratiques industrielles. Il s’articule autour de trois axes : une clarification des principes méthodologiques et conceptuels de l’ACV ; une analyse des freins et opportunités liés à son application dans les milieux industriels ; et enfin, une réflexion sur les implications managériales de l’usage stratégique de l’ACV dans une perspective de performance durable.

1. Fondements théoriques, conceptuels et méthodologiques de l'Analyse de cycle de vie

1.1. Genèse et évolution historique de l'Analyse de Cycle de Vie

L'Analyse du Cycle de Vie trouve ses racines dans les préoccupations environnementales et économiques qui ont émergé au cours de la seconde moitié du XXe siècle. Dès le début des années 1960, le chercheur Jay Forrester a modélisé les dynamiques économiques mondiales, anticipant l'épuisement des ressources non renouvelables dans un horizon d'un siècle, si les tendances de croissance restaient inchangées. Ce constat, relayé ensuite par le célèbre rapport du Club de Rome *The Limits to Growth* (Meadows et al., 1972), a mis en évidence la nécessité de repenser les modes de production et de consommation dans un contexte de ressources limitées.

Face à ces enjeux, plusieurs approches d'évaluation environnementale ont été expérimentées. Une première approche, centrée sur l'unité de production (par exemple, l'usine), a permis de réduire les risques environnementaux à l'intérieur même du site industriel. Toutefois, cette méthode négligeait les impacts en amont et en aval du processus, notamment ceux liés au transport ou à la chaîne d'approvisionnement.

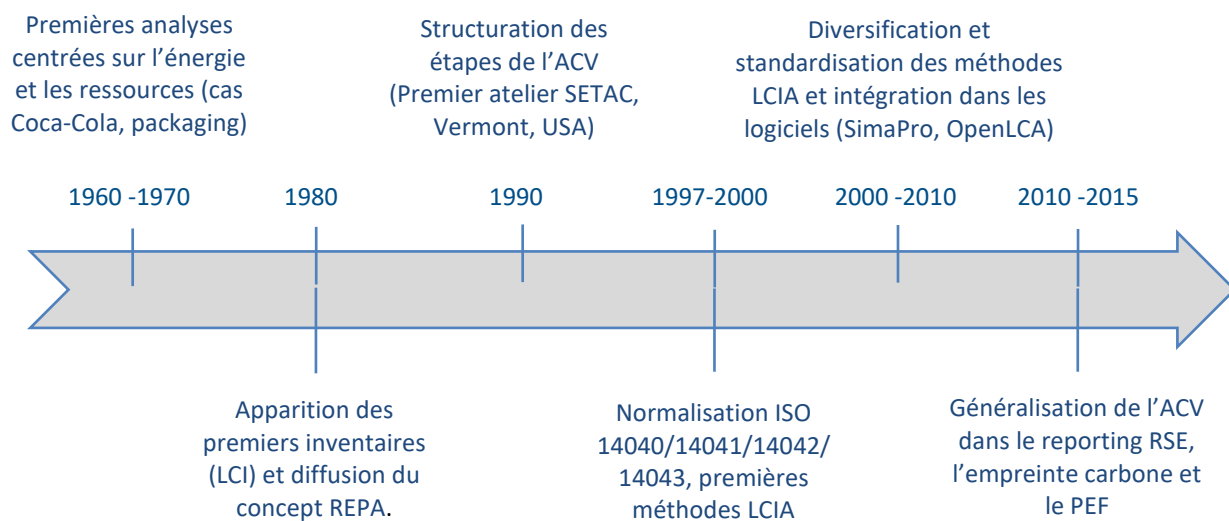
C'est dans ce contexte que l'approche orientée produit a vu le jour, marquant les prémices de l'ACV. À la fin des années 1960, des chercheurs américains, suisses et suédois ont développé les premières méthodes liant l'utilisation des ressources (matières premières et énergie) au cycle de vie des produits (Hunt et al., 1992). L'une des premières applications concrètes de cette approche fut menée par la société Coca-Cola en 1969, qui cherchait à comparer l'impact environnemental de différentes options d'emballage (canette métallique versus autres contenants).

En 1972, Ian Boustead a introduit le concept d'éco-bilan, en évaluant la consommation énergétique totale liée à la production de contenants pour boissons en plastique, aluminium ou matériaux recyclés. Son travail s'est progressivement étendu à d'autres types de matériaux et produits, notamment à partir de 1979. Parallèlement, Thalmann (1973) a proposé une méthode d'évaluation des émissions industrielles dans l'air, l'eau et le sol, amorçant ainsi une prise en compte plus systémique des flux environnementaux.

Dans les années 1980, l'ACV s'est élargie à l'analyse des déchets solides, bien que des difficultés de coordination entre les différentes étapes du cycle et d'interprétation des résultats persistaient. Ce n'est qu'en 1991 que la Society of Environmental Toxicology and Chemistry

(SETAC)¹ a proposé une formalisation de l’approche avec un premier cadre méthodologique structuré. Ce document a jeté les bases d’une standardisation internationale, qui sera consolidée par les normes ISO 14040 et suivantes, développées en collaboration avec les Nations Unies. La figure ci-après illustre l’évolution historique de l’Analyse du Cycle de Vie (ACV) depuis les années 1960 jusqu’à 2010.

Figure N°1 : Genèse et historique de l’ACV



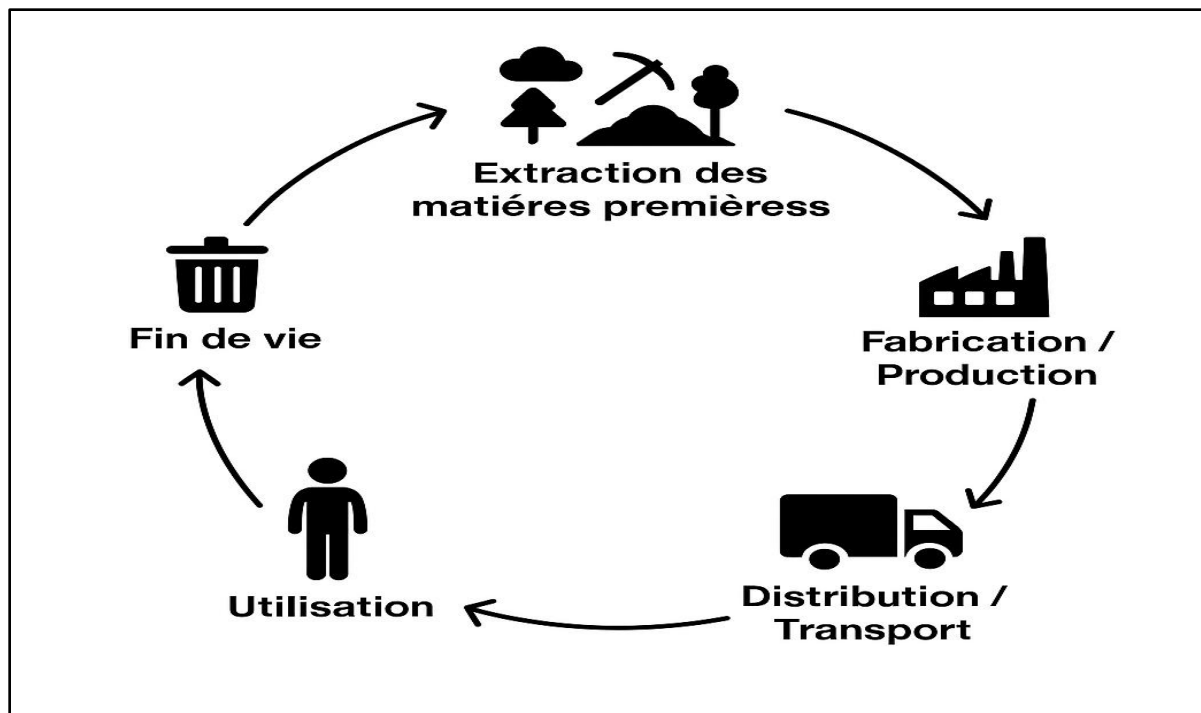
Source : Adapté de Baumann et al., (2004).

1.2. Analyse de Cycle de Vie : Essai de définition

L’Analyse du Cycle de Vie (ACV) est une méthode normalisée permettant de quantifier les impacts environnementaux potentiels d’un produit, d’un service ou d’un procédé, de l’extraction des matières premières jusqu’à la gestion de sa fin de vie (ISO 14040, 2006). Cette évaluation s’inscrit dans une approche dite *"du berceau à la tombe"*, englobant toutes les phases du cycle de vie : production, distribution, utilisation, réutilisation, réparation, recyclage et élimination finale (Guinée et al., 2011). La figure ci-dessous met en évidence les principales phases de l’ACV.

¹ La SETAC, organisation internationale de sciences environnementales, fondée en 1979, avec son siège à Pensacola (USA) et un bureau régional à Bruxelles (Belgique). Dédiée à l'avancement des sciences environnementales appliquées, notamment la toxicologie et la chimie environnementale, et à la diffusion des connaissances pour protéger l'environnement et la santé humaine.

Figure N° 2 : Les différentes phases d'Analyse de Cycle de Vie (ACV)



Source : Adapté de (Léonard et al., 2020)

Avant d'aborder les différentes définitions proposées dans la littérature, il convient de rappeler que l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) s'impose comme une méthode rigoureuse et normalisée d'évaluation des impacts environnementaux associés à un produit, un service ou un procédé, tout au long de son cycle de vie. Le tableau ci-dessous présente un aperçu des principales définitions de l'ACV issues de la littérature scientifique et normative.

Tableau N° 1 : Synthèse des définitions de l'Analyse de Cycle de Vie

Auteurs/ Organisations	Définitions
ISO 14040 (1997)	« Une méthode qui étudie les aspects environnementaux et les impacts potentiels tout au long de la vie d'un produit c-à-d du berceau à la tombe, de l'acquisition des matières premières à la production, à l'utilisation et jusqu'à son traitement en fin de vie »
Baumann et Tillman (2004)	« Une compilation et une évaluation des intrants, des extrants et des impacts environnementaux potentiels d'un système de produits tout au long de son cycle de vie ».

<p>Rebitzer et al. (2004)</p>	<p>Ils insistent sur le caractère comparatif, multicritère et normé de l'ACV, qui en fait un outil de référence dans les démarches d'écoconception, d'amélioration environnementale continue et d'aide à la décision stratégique.</p>
<p>Environmental Protection Agency (EPA) 2006</p>	<p>« Une technique qui permet d'évaluer les effets environnementaux associés à un produit, un procédé ou une activité, en identifiant et quantifiant les flux d'énergie et de matières, ainsi que les rejets dans l'environnement ».</p>
<p>Renaud (2015)</p>	<p>L'ACV doit nécessairement intégrer toutes les étapes du cycle de vie pour éviter des transferts de pollution d'une phase à une autre ou entre différents milieux (air, eau, sol), assurant ainsi une évaluation cohérente et systémique.</p>
<p>Moazzem, Daver, & Crossin, (2018)</p>	<p>« Une technique qui permet d'identifier de l'impact d'un produit sur l'environnement ».</p>

Source : Elaboré par les auteurs

1.3. Démarche méthodologique d'une Analyse de Cycle de Vie

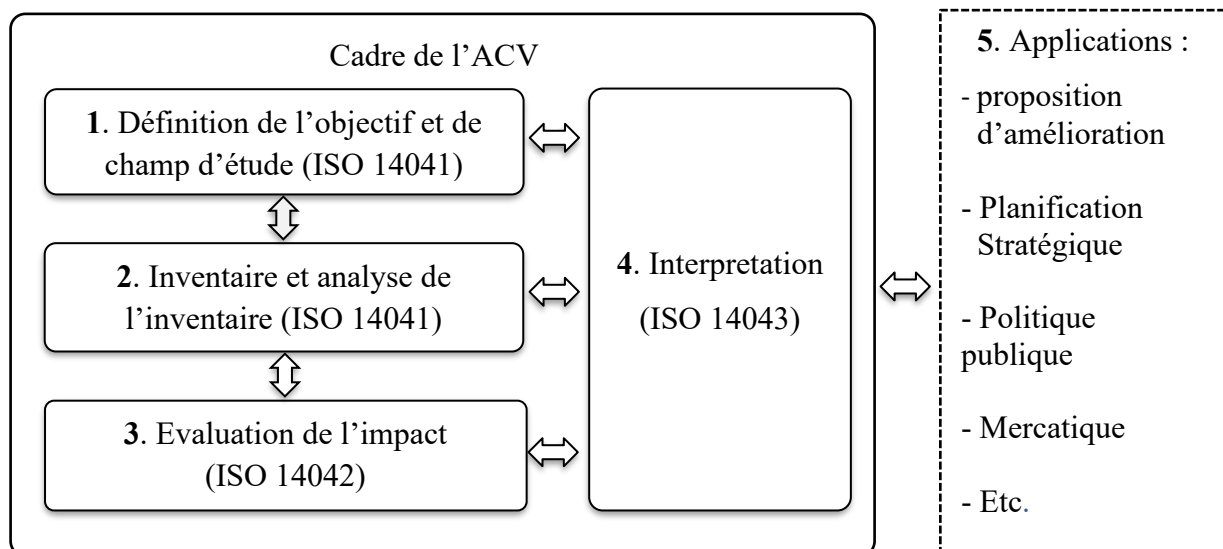
L'analyse du cycle de vie se décline principalement en deux approches méthodologiques : l'ACV attributionnelle et l'ACV conséquente, qui répondent à des finalités distinctes. L'ACV attributionnelle vise à quantifier les impacts environnementaux moyens associés à un produit, un service ou un procédé tel qu'il est produit dans le système existant, sans chercher à modéliser les effets de changements externes. Elle repose généralement sur des données moyennes issues d'inventaires standards (mix énergétique national, rendements moyens, etc.) et utilise un cadre statique avec des frontières de système bien définies (ISO 14044, 2006). Cette approche est largement utilisée dans les bilans environnementaux, les rapports de durabilité ou l'écoconception, car elle permet d'attribuer une part des impacts environnementaux à un produit donné dans un contexte donné (Curran, 2015). À l'inverse, l'ACV conséquente cherche à évaluer les impacts environnementaux induits par une décision ou un changement structurel dans le système, en modélisant les effets indirects ou marginaux (Weidema et al., 1999). Elle repose sur une logique causale et dynamique, mobilisant souvent des données marginales et des hypothèses économiques (Ex : effets de substitution, variation de la demande). Cette approche permet de comprendre les conséquences environnementales potentielles de scénarios alternatifs (changement de technologie, relocalisation, augmentation de la production) et est donc privilégiée dans les études prospectives, les évaluations de politiques publiques ou les analyses stratégiques (Schmidt, 2008).

L'analyse de cycle de vie, selon ISO 14040 (2006) est articulée en quatre phases principales :

- **La phase de définition des objectifs et du champ de l'étude** : S'appuie sur la description de l'étude projetée et la définition de l'unité fonctionnelle et les limites du système (Moazzem et al., 2018) ;
- **La phase d'inventaire** : Repose sur l'inventaire des flux matières et énergies associées aux étapes de cycle de vie rapportée à l'unité fonctionnelle retenue. (Renaud, 2015) ;
- **La phase d'évaluation de l'impact** : Consiste à évaluer l'impact environnemental potentiel du produit via des indicateurs ;
- **La phase d'interprétation** : Permet d'interpréter les résultats obtenus en fonction des objectifs retenus.

La figure n° 3 présente les principale phases d'une analyse de cycle de vie

Figure N° 3 : Les phases d'une analyse de cycle de vie



Source : ISO 14040 (2006)

1.4. Les méthodes de caractérisation des impacts via l'ACP

L'ACV recourt à des méthodes qui traduisent les flux en indicateurs d'impact, selon des classifications et facteurs spécifiques, le tableau 2 présentant les principales variantes et leurs différences.

Tableau N° 2 : Principales méthodes de caractérisation des impacts

Méthode	Origine / Auteurs	Caractéristiques principales	Type d'approche	Sources
Le Guide Hollandais sur l'ACV (CML)	Institute of Environmental Sciences, Leiden University (Pays-Bas)	Pas d'agrégation finale ; catégories d'impact de référence (acidification, eutrophisation, toxicité, etc.) ; approche largement utilisée en recherche.	Midpoint	Guinée et al., 2002
TRACI	US EPA (États-Unis)	Méthode adaptée au contexte nord-américain ; inclut réchauffement climatique, smog, acidification, eutrophisation, toxicité, etc.	Midpoint	Bare et al., 2003
Eco-indicateur 99(EI99)	PRé Consultants (Pays-Bas)	Trois catégories de dommages (santé humaine, qualité des écosystèmes, ressources) ; agrégation en un score unique possible.)	Endpoint	Goedkoop et al., 1999
IMPACT 2002+	Jolliet et al., EPFL (Suisse)	Relie 14 catégories de midpoint à 4 catégories de dommages (santé, écosystèmes, climat, ressources) ; vise à unifier les approches précédentes.	Mixte (Midpoint → Endpoint)	Jolliet et al., 2003.
ReCiPe	Consortium PRé + CML + RIVM + Radboud University (Pays-Bas)	18 catégories midpoint reliées à 3 endpoints (santé, écosystèmes, ressources) ; deux versions principales (2008 et 2016).	Midpoint + Endpoint	Goedkoop et al., 2008.
EU-LCA	Les initiatives de la Commission européenne (2013)	Approche harmonisée de l'ACV développée par la Commission européenne pour garantir des évaluations environnementales comparables et robustes.	Midpoint + Endpoint	Hauschild et al., 2009.

Source : Adapté de Jolliet et al., (2010)

Les différentes méthodes associent à chaque substance de l'inventaire un facteur de caractérisation, exprimant quantitativement sa contribution aux divers types d'impacts.

1.5. Apports de l'Analyse de Cycle de Vie

Dans un contexte où les entreprises sont confrontées à des exigences croissantes en matière de durabilité, l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) s'impose comme un instrument d'aide à la décision stratégique et opérationnelle. Fondée sur une approche systémique, l'ACV permet d'évaluer de manière rigoureuse et comparative les impacts environnementaux associés à un produit, un service ou un processus, tout au long de son existence, « *du berceau à la tombe* » (ISO 14040, 2006). Cette évaluation repose sur quatre étapes principales : la définition des objectifs et du champ de l'étude, l'inventaire des flux entrants et sortants, l'évaluation des impacts environnementaux, et l'interprétation des résultats.

1.5.1. Un outil d'objectivation pour les décisions environnementales

L'ACV constitue d'abord une base factuelle solide permettant de dépasser les intuitions ou les perceptions partielles. Elle offre une mesure quantitative des impacts sur diverses catégories telles que le changement climatique, l'épuisement des ressources, la pollution de l'eau ou de l'air. En cela, elle aide les décideurs à identifier les points critiques d'un cycle de vie et à hiérarchiser les actions d'amélioration. Par exemple, un produit présentant une empreinte carbone faible en phase d'usage peut avoir un impact élevé en phase de fabrication, ce que seule une analyse complète peut révéler (Hauschild et al., 2018).

1.5.2. Un soutien à l'écoconception et à l'innovation durable

L'ACV est particulièrement utile en amont, dans les phases de conception de nouveaux produits, en soutenant des choix techniques plus durables : sélection de matériaux à faible impact, réduction des distances de transport, optimisation de l'efficacité énergétique, etc. Elle favorise une logique d'innovation responsable (Bocken et al., 2014), en orientant les efforts de R&D vers des solutions à moindre impact global. Ainsi, elle alimente concrètement les démarches d'écoconception, d'économie circulaire ou de substitution de technologies.

1.5.3. Un levier de dialogue et de communication

Au-delà des aspects techniques, l'ACV joue un rôle clé dans la communication environnementale. En interne, elle facilite la coordination entre services (conception, production, marketing) autour d'objectifs environnementaux partagés. En externe, elle permet de justifier les choix auprès des parties prenantes (clients, régulateurs, ONG), notamment dans

le cadre des allégations environnementales ou de l'étiquetage écologique. L'ACV est d'ailleurs souvent exigée dans les normes de responsabilité sociétale (Ex. ISO 14067 pour le carbone, PEF/OEF au niveau européen).

1.5.4. Une aide à la décision stratégique dans un contexte incertain

Enfin, l'ACV soutient la prise de décision stratégique dans un contexte d'incertitude réglementaire et sociétale. Elle peut orienter des arbitrages complexes, comme le choix entre deux chaînes d'approvisionnement, deux procédés industriels ou deux modèles économiques (produit vs service). Certaines entreprises l'utilisent pour anticiper les risques liés à la réglementation (Ex. taxes carbone, interdictions de substances), ou pour intégrer les coûts environnementaux dans leur comptabilité managériale (Jasch, 2009).

Pour traduire concrètement les apports de l'ACV en actions opérationnelles, il est utile de relier chaque catégorie d'impact identifiée à des indicateurs quantifiables, à des seuils ou benchmarks de performance, ainsi qu'à des leviers d'action managériale. Un tel tableau de mapping permet aux décideurs industriels de prioriser les interventions, d'intégrer les résultats de l'ACV dans les processus de conception, de production et de pilotage environnemental, et de suivre l'efficacité des mesures mises en œuvre.

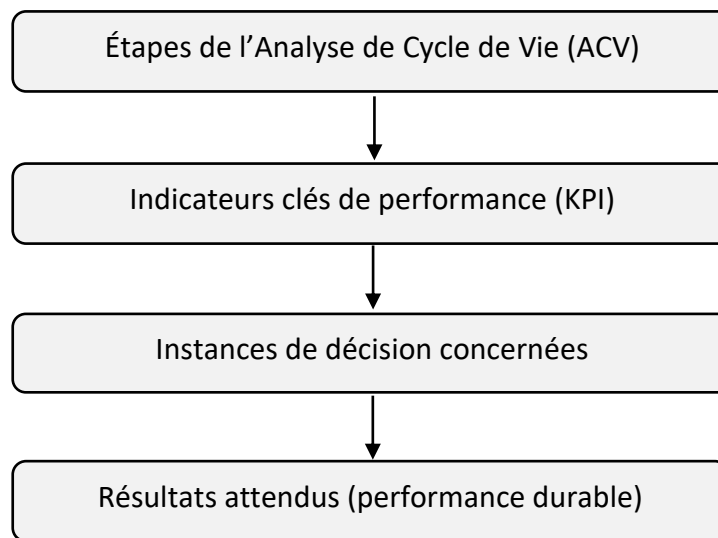
Tableau N° 3 : Mapping des impacts environnementaux vers indicateurs et actions managériales

Catégorie d'impact	Indicateur ACV	Seuil / Benchmark	Action managériale
Changement climatique	kg CO ₂ -eq / produit	≤ 5 kg CO ₂ -eq	Optimiser le mix énergétique, favoriser les énergies renouvelables
Épuisement des ressources	kg matière / produit	≤ 2 kg matière	Substituer matériaux, réduire consommation, promouvoir le recyclage
Pollution de l'eau	m ³ eau / produit	≤ 0.5 m ³	Traiter effluents, améliorer procédés industriels, limiter rejets
Acidification	kg SO ₂ -eq / produit	≤ 0.1 kg	Adapter procédés chimiques, réduire émissions atmosphériques
Éutrophisation	kg PO ₄ -eq / produit	≤ 0.05 kg	Limiter rejets nutritifs, optimiser traitement des effluents
Toxicité humaine	kg 1,4-DB-eq / produit	≤ 0.01 kg	Substituer substances toxiques, renforcer contrôle qualité
Biodiversité / Écosystèmes	m ² ·an perturbé / produit	≤ 1 m ² ·an	Plan de compensation écologique, réduire occupation sol et fragmentation habitats

Source : ISO 14040 (2006), Baumann et al. (2004) et Hauschild et al. (2018).

Pour faciliter la compréhension et la mise en œuvre opérationnelle des résultats de l'ACV, il est utile de représenter la chaîne logique complète reliant les étapes du cycle de vie aux indicateurs de performance, aux instances de décision et aux résultats attendus. La figure ci-dessous illustre cette logique, montrant comment les données issues de l'ACV peuvent être traduites en KPI pertinents, mobilisées par les services concernés et conduisant à des actions concrètes visant la performance durable de l'entreprise.

Figure N° 4 : Chaîne logique de l'ACV vers KPI, décisions et résultats attendus



Source : ISO 14040 (2006), Baumann et al. (2004) et Hauschild et al. (2018).

- **Étape 1 : Extraction / Approvisionnement**
 - KPI : % de matières recyclées, empreinte carbone par tonne.
 - Décision : Direction achats, supply chain.
 - Résultat : Réduction empreinte en amont, sélection de fournisseurs verts.
- **Étape 2 : Production / Fabrication**
 - KPI : Consommation d'énergie (kWh/unité), intensité eau, taux de déchets valorisés.
 - Décision : Direction industrielle, qualité.
 - Résultat : Optimisation procédés, réduction coûts-énergie.
- **Étape 3 : Distribution / Logistique**
 - KPI : tCO₂/km, % remplissage camions.
 - Décision : Logistique / transport.
 - Résultat : Moins d'émissions transport, rationalisation flux.

▪ **Étape 4 : Utilisation**

- KPI : durée de vie produit, consommation énergétique en usage.
- Décision : R&D, marketing.
- Résultat : Produits éco-efficaces, image verte.

▪ **Étape 5 : Fin de vie / Recyclage**

- KPI : taux de recyclabilité, % valorisation.
- Décision : RSE, direction technique.
- Résultat : Économie circulaire, conformité réglementaire.

Pour illustrer concrètement l'application des principes de l'ACV et du lien avec les KPI et décisions managériales, le mini-cas ci-dessous présente un exemple dans le secteur agroalimentaire inspirée de Baumann et al., (2004) et Hauschild et al. (2018). Il met en évidence comment l'analyse des impacts environnementaux peut guider des actions opérationnelles ciblées et générer des résultats mesurables en termes de performance durable

Une entreprise de l'agroalimentaire a réalisé une ACV sur son produit phare (boisson conditionnée en bouteille plastique 1 L). L'inventaire a montré que 60 % des émissions de CO₂ provenaient de la production des emballages, et 25 % de la logistique. Sur cette base, deux KPI prioritaires ont été retenus : kg CO₂e par litre produit et % plastique recyclé dans les emballages.

En 2023, l'indicateur carbone s'élevait à 2,4 kg CO₂e/L, avec seulement 15 % de plastique recyclé. Un plan d'action a été décidé par la direction : intégration de 50 % de PET recyclé d'ici deux ans, et optimisation des tournées de livraison (objectif : réduire de 30 % les kilomètres parcourus à vide). Après mise en œuvre pilote, l'entreprise a atteint 1,6 kg CO₂e/L en 2024 et un taux de recyclé de 40 %, améliorant simultanément sa performance environnementale et réduisant ses coûts logistiques de 12 %.

1.6. Limites méthodologiques et critiques de l'ACV

Malgré sa reconnaissance croissante comme outil d'évaluation environnementale rigoureux, l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) présente plusieurs limites méthodologiques qui interrogent sa robustesse, son applicabilité et son rôle dans les décisions stratégiques. Ces limites tiennent

autant à la complexité technique de sa mise en œuvre qu'à ses contraintes économiques et interprétatives.

1.6.1. Complexité des données et incertitudes

L'une des critiques majeures adressées à l'ACV concerne la complexité et la disponibilité des données nécessaires à l'analyse. La constitution d'un inventaire du cycle de vie (ICV) fiable requiert une collecte exhaustive des flux de matières, d'énergie, d'émissions et de déchets à chaque étape du cycle. Or, ces données sont souvent incomplètes, hétérogènes ou confidentielles, en particulier lorsqu'elles proviennent de chaînes d'approvisionnement mondialisées (Hauschild et al., 2018).

De plus, les incertitudes associées aux modèles d'évaluation des impacts environnementaux (notamment dans les phases de caractérisation et de normalisation) peuvent affecter la robustesse des résultats. Ces incertitudes sont à la fois méthodologiques (choix des indicateurs, limites du système, allocation des impacts) et statistiques (variabilité des données, extrapolations). Certains auteurs soulignent qu'en l'absence d'analyse de sensibilité rigoureuse, les résultats de l'ACV peuvent conduire à des conclusions erronées ou instables (Finnveden et al., 2009).

1.6.2. Coût, accessibilité, limites sectorielles

L'ACV demeure également coûteuse et chronophage à mettre en œuvre, surtout pour les petites et moyennes entreprises qui ne disposent ni des compétences internes ni des ressources financières suffisantes pour mener des études complètes. Bien que des bases de données (Ecoinvent, Gabi, etc.) et des logiciels spécialisés (SimaPro, OpenLCA, etc.) existent, leur accès reste onéreux, et leur utilisation nécessite une formation technique spécifique.

Par ailleurs, l'applicabilité sectorielle de l'ACV est parfois limitée : certains secteurs (services, numérique, etc.) peinent à modéliser précisément leurs processus du fait de leur intangibilité ou de l'évolution rapide des technologies. De plus, l'ACV standard ne prend pas en compte certains aspects contextuels comme les impacts sociaux ou économiques, ce qui a conduit au développement d'approches complémentaires (ACV sociale, ACV économique) encore en phase d'expérimentation (Jørgensen et al., 2008).

1.6.3. Enjeux d'interprétation des résultats

Enfin, l'interprétation des résultats de l'ACV pose des défis importants. Les résultats quantitatifs multifacteurs (émissions de GES, acidification, eutrophisation, etc.) peuvent être

difficiles à comparer et à hiérarchiser sans introduire des jugements de valeur ou des pondérations arbitraires. Cette pluralité d'indicateurs complique l'appropriation des résultats par les non-spécialistes et peut freiner leur intégration dans la prise de décision managériale.

De plus, les résultats de l'ACV sont fortement dépendants des hypothèses initiales (Ex : périmètre, durée de vie, scénario de fin de vie), ce qui peut affecter leur crédibilité s'ils ne sont pas transparents. La possibilité de manipuler certains paramètres pour obtenir des résultats favorables (greenwashing méthodologique) est aussi un point régulièrement soulevé par la littérature critique (Heijungs et al., 2002).

Pour réduire ces risques, il est recommandé de définir un protocole minimal de rigueur adapté aux entreprises industrielles, notamment aux PME.

Protocole minimal de rigueur (ACV)

1. Analyse de sensibilité systématique

- Tester au moins 2 scénarios alternatifs (ex. source d'énergie, taux de recyclage).
- Identifier les paramètres les plus influents (hotspots).

2. Transparence des hypothèses

- Documenter les choix de périmètre (cradle-to-gate vs cradle-to-grave).
- Justifier les hypothèses clés (durée de vie, facteurs d'émission, taux de pertes).

3. Gouvernance des données

- Tracer les sources de données (internes vs bases externes).
- Vérifier la cohérence (année de référence, unité fonctionnelle, couverture géographique).
- Privilégier les données primaires pour les étapes critiques.

4. Interprétation partagée

- Communiquer les résultats avec niveaux d'incertitude.
- Associer les parties prenantes internes (production, R&D, achats) pour valider les conclusions.

Afin de faciliter son application en contexte PME, ce protocole a été décliné sous forme d'une grille de vérification (Tableau n° 5). Celle-ci ne prétend pas remplacer les standards existants (ISO, UNEP), mais vise à constituer une base minimale d'assurance qualité et un outil d'aide à la décision. »

Tableau N° 5 : Grille de vérification simplifiée pour l'ACV en PME

Étape	Questions clés	Validation
Objectif	L'ACV répond-elle à une question précise (eco-design, reporting, communication) ?	<input type="checkbox"/> Oui / <input type="checkbox"/> Non
Périmètre	Les frontières du système et l'unité fonctionnelle sont-elles clairement définies ?	<input type="checkbox"/> Oui / <input type="checkbox"/> Non
Données	Les données critiques sont-elles primaires et tracées (année, source) ?	<input type="checkbox"/> Oui / <input type="checkbox"/> Non
Incertitudes	Au moins une analyse de sensibilité a-t-elle été réalisée ?	<input type="checkbox"/> Oui / <input type="checkbox"/> Non
Hypothèses	Les hypothèses structurantes sont-elles explicites et validées par la direction ?	<input type="checkbox"/> Oui / <input type="checkbox"/> Non
Résultats	Les résultats sont-ils présentés avec une interprétation claire (points forts/faibles, limites) ?	<input type="checkbox"/> Oui / <input type="checkbox"/> Non
Amélioration	Des actions concrètes ont-elles été identifiées (ex. réduire emballage, substituer matière) ?	<input type="checkbox"/> Oui / <input type="checkbox"/> Non

Source : adapté de ISO 14044 (2006).

2. L'ACV comme levier d'optimisation environnementale des processus industriels

2.1. L'ACV au service de l'écoconception et de l'innovation verte

L'Analyse du Cycle de Vie ne se limite pas à un simple outil d'évaluation ex post des impacts environnementaux : elle constitue également un véritable levier stratégique d'optimisation, en particulier lorsqu'elle est intégrée dès les phases amont du développement produit. Dans cette perspective, l'ACV s'inscrit pleinement dans les démarches d'écoconception, qui visent à intégrer l'environnement dès la conception des biens ou services, sans compromettre leur performance fonctionnelle (Baumann et al., 2004).

2.1.1. Réduction des impacts en amont (choix matières, procédés)

L'intégration de l'ACV dans la phase de conception permet d'anticiper et de réduire les impacts environnementaux dès le choix des matières premières, des procédés de fabrication ou des modes de distribution. À ce stade, les leviers d'action sont particulièrement efficaces, car 80 % des impacts environnementaux d'un produit sont déterminés à la conception (European Commission, 2010)². L'ACV permet ainsi de comparer plusieurs scénarios de conception,

² Document de référence de la Commission européenne établissant des lignes directrices pour l'application cohérente et fiable de l'ACV dans l'évaluation des impacts environnementaux.

d'identifier les "points chauds" environnementaux et d'orienter les choix vers des solutions à moindre empreinte écologique.

Par exemple, le choix entre des matériaux recyclés, biosourcés ou conventionnels peut être éclairé par une analyse multicritère prenant en compte les émissions de CO₂, la consommation d'eau, l'acidification ou encore la toxicité. De même, l'évaluation comparative de procédés de fabrication (injection plastique vs. Impression 3D, traitements thermiques, etc.) peut révéler des marges d'optimisation souvent insoupçonnées. Ces choix orientent non seulement la performance environnementale, mais également les coûts de cycle de vie et la robustesse de la chaîne d'approvisionnement.

2.1.2. Exemples d'intégration dans le design industriel

Dans la pratique, de nombreux secteurs industriels intègrent désormais l'ACV comme outil décisionnel pour le design produit. L'industrie automobile, par exemple, utilise l'ACV pour optimiser la conception des véhicules en matière de légèreté (allègement par matériaux composites ou aluminium), de recyclabilité ou de choix des motorisations (thermique, hybride, électrique) (Rebitzer et al., 2004).

Dans le secteur de l'électronique, des entreprises comme HP ou Dell ont recours à l'ACV pour concevoir des équipements informatiques modulaires, faciles à démonter et à recycler. L'ACV permet également de guider le développement d'emballages écoresponsables dans l'agroalimentaire, en comparant par exemple les performances environnementales du plastique recyclé, du carton ou des bioplastiques.

L'intégration de l'ACV dans l'innovation verte favorise ainsi une conception systémique, alignée sur les objectifs de durabilité, et stimule le développement de produits à faible impact tout au long de leur cycle de vie. Elle s'inscrit dans une logique de différenciation concurrentielle fondée sur la responsabilité environnementale et l'anticipation réglementaire (Bocken et al., 2016).

2.2. ACV et amélioration continue des processus

L'intégration de l'ACV dans la gestion industrielle ne se limite pas à la phase de conception : elle constitue également un outil stratégique pour l'amélioration continue des processus. En apportant une vision globale, multicritère et systémique, l'ACV permet d'identifier les inefficiences environnementales tout au long du cycle de production, et d'orienter les efforts d'optimisation dans une logique de durabilité opérationnelle.

2.2.1. Aide à la priorisation des actions environnementales

Dans un contexte où les entreprises doivent composer avec des ressources limitées et des objectifs multiples, l'ACV fournit une base factuelle pour hiérarchiser les actions environnementales. Grâce à son approche quantitative, elle permet de repérer les étapes du cycle de vie générant les plus forts impacts (hotspots), qu'il s'agisse de la consommation énergétique, des rejets polluants ou de l'empreinte matière.

Plutôt que de déployer des efforts dispersés, les entreprises peuvent ainsi concentrer leurs initiatives sur les maillons les plus critiques, en fonction des objectifs fixés (réduction des émissions de GES, économie circulaire, gestion de l'eau). Cette capacité de ciblage renforce la pertinence des stratégies environnementales et favorise une allocation optimale des ressources (Hauschild et al., 2018).

2.2.2. ACV et lean manufacturing vert / performance globale

L'ACV peut également être articulée avec les démarches de lean manufacturing, dans une perspective d'efficacité environnementale et économique. Ce croisement donne naissance au « *lean and green manufacturing* », une approche qui vise à éliminer simultanément les gaspillages de ressources et les impacts environnementaux, tout en améliorant la productivité globale.

En intégrant les résultats d'ACV aux outils classiques du lean (value stream mapping, kaizen, 5S...), les entreprises peuvent élargir leur analyse au-delà des seuls critères de coût ou de temps, pour inclure des indicateurs environnementaux. Cela permet d'identifier des synergies entre performance industrielle et durabilité, comme la réduction de la consommation énergétique, l'optimisation des flux logistiques, ou encore la limitation des déchets en amont du processus (Dües et al., 2013).

2.2.3. Cas d'applications sectorielles (Ex : agroalimentaire, chimie, textile)

De nombreuses expérimentations sectorielles confirment l'apport de l'ACV dans l'amélioration continue. Dans l'agroalimentaire, par exemple, l'ACV permet de réduire les pertes agricoles, de revaloriser les coproduits (coquilles, pulpes, etc.) et d'optimiser l'usage de l'eau et des intrants (Notarnicola et al., 2017). Elle est ainsi utilisée pour redéfinir des chaînes d'approvisionnement plus durables ou concevoir des emballages écoresponsables.

Dans l'industrie chimique, l'ACV est utilisée pour évaluer des alternatives de procédés moins polluants ou moins énergivores, et pour orienter le choix de solvants ou de catalyseurs en fonction de leurs impacts environnementaux globaux (Kralisch et al., 2015).

Quant au secteur textile, il recourt de plus en plus à l'ACV pour piloter des stratégies de réduction de l'empreinte hydrique et carbone, en particulier à travers des choix de matières premières (coton bio, polyester recyclé, etc.), de traitements moins intensifs (teinture, blanchiment), et de modèles circulaires (seconde main, location, etc.).

2.3. Enjeux de pilotage et de transformation organisationnelle

L'intégration de l'ACV au cœur des processus industriels ne constitue pas seulement une démarche technique ; elle soulève des enjeux profonds de pilotage stratégique, de reconfiguration des systèmes de gestion et de transformation organisationnelle. L'ACV, en tant qu'outil transversal, impose un changement de paradigme dans la manière dont les entreprises conçoivent la performance, les responsabilités et les prises de décision.

2.3.1. Articulation avec les systèmes de management environnemental (ISO 14001)

L'un des leviers d'intégration de l'ACV au sein des organisations réside dans son articulation avec les systèmes de management environnemental (SME), en particulier ceux fondés sur la norme ISO 14001. Cette norme internationale encourage les entreprises à adopter une approche systémique de la gestion environnementale, fondée sur la planification, la mise en œuvre, la vérification et l'amélioration continue.

Dans ce cadre, l'ACV peut venir enrichir l'analyse environnementale initiale, fournir des données robustes pour définir les objectifs et indicateurs, et appuyer les revues de performance. Elle renforce ainsi la logique préventive des SME et contribue à une meilleure cohérence entre stratégie, opérations et exigences réglementaires (ISO, 2015). En intégrant l'ACV dans les processus de certification, les entreprises montrent une capacité à dépasser les obligations minimales pour adopter une démarche proactive fondée sur des preuves.

2.3.2. Intégration dans les outils de contrôle de gestion environnemental

L'analyse du cycle de vie constitue également un réservoir d'informations pour les dispositifs de contrôle de gestion environnemental. En fournissant des indicateurs multicritères (émissions, énergie, matières, etc.) à l'échelle produit, procédé ou organisation, elle permet d'alimenter des tableaux de bord environnementaux, des outils de costing vert (ex. : éco-calculs de marges) ou encore des systèmes d'alerte et de suivi.

Plus encore, l'ACV peut contribuer à renouveler les logiques de pilotage, en réorientant les objectifs de performance vers des finalités intégrant la durabilité. Elle alimente les arbitrages entre coûts économiques, impacts environnementaux et risques réglementaires ou

réputationnels. Ainsi, l'ACV n'est pas seulement un outil de mesure, mais aussi un support stratégique pour les décisions managériales, notamment lorsqu'elle est couplée aux approches budgétaires, au pilotage par activités (ABC/ABM) ou aux dispositifs d'incitation à la performance environnementale (Epstein et al., 2005).

2.3.3. Besoin de nouvelles compétences et de gouvernance de données

L'intégration de l'ACV dans les entreprises industrielles nécessite un important investissement en compétences et en organisation. La complexité des données à collecter, à modéliser et à interpréter requiert des expertises spécifiques (écotoxicologie, matériaux, énergie, etc.), rarement maîtrisées par les services traditionnels. Cela rend indispensable une collaboration transversale entre les départements (qualité, production, RSE, finance), ainsi que l'émergence de nouveaux rôles professionnels, comme les analystes ACV ou les responsables de la performance environnementale (Clift et al., 2016).

En parallèle, le déploiement efficace de l'ACV repose sur une gouvernance rigoureuse des données environnementales. Il s'agit d'assurer la fiabilité des sources, la compatibilité entre les bases (comme Ecoinvent ou Agribalyse) et leur interopérabilité avec les systèmes d'information internes (ERP, etc.). Sans une infrastructure numérique adaptée et une politique claire de gestion de la donnée, l'ACV risque de perdre en crédibilité et en efficacité. Comme le souligne Finkbeiner (2014), l'absence d'harmonisation méthodologique peut compromettre l'utilité des résultats à des fins décisionnelles.

3. Implications managériales et conditions d'appropriation stratégique de l'ACV

3.1. Analyse de cycle de vie : De l'outil technique à l'instrument stratégique

3.1.1. L'ACV comme support de dialogue avec les parties prenantes

L'ACV dépasse sa fonction initiale d'outil d'évaluation technique pour devenir un vecteur de dialogue et de transparence auprès des parties prenantes internes et externes. Elle offre un cadre scientifique et rigoureux pour communiquer sur les impacts environnementaux des produits et services, renforçant ainsi la crédibilité des engagements environnementaux des entreprises (Benoît et al., 2010). Ce dialogue, qu'il s'agisse d'échanges avec les clients, les fournisseurs, les régulateurs ou la société civile, favorise la co-construction de stratégies plus durables et la prise en compte des attentes sociales et environnementales. En fournissant des données chiffrées et comparables, l'ACV facilite également la gestion des risques réputationnels liés à la durabilité.

3.1.2. Reporting RSE, marketing vert et communication environnementale

Par ailleurs, l'ACV alimente les démarches de reporting extra-financier et s'intègre dans les stratégies de communication environnementale et de marketing vert. Les indicateurs issus de l'ACV enrichissent les rapports RSE (Responsabilité Sociétale des Entreprises) en apportant une dimension quantitative aux engagements environnementaux. Cette valorisation contribue à différencier les entreprises sur des marchés sensibles aux enjeux de durabilité, et à répondre aux exigences réglementaires et normatives en matière de transparence (Parguel et al., 2017). Cependant, cette utilisation stratégique nécessite une attention particulière afin d'éviter le risque de "greenwashing", où les données environnementales sont instrumentalisées sans réelle amélioration.

3.2. Facteurs de succès et obstacles à l'appropriation managériale

3.2.1. Leadership, culture organisationnelle, digitalisation des données

La réussite de l'intégration de l'ACV dans la gouvernance d'entreprise repose largement sur un leadership fort, capable de porter la vision environnementale et de mobiliser les ressources nécessaires (Epstein et al., 2014). La culture organisationnelle joue également un rôle crucial : une culture ouverte à l'innovation et sensible aux enjeux de durabilité facilite l'adoption de l'ACV comme levier de transformation. Par ailleurs, la digitalisation des données environnementales est un facteur clé, permettant d'automatiser la collecte, d'assurer la fiabilité et la traçabilité des informations, et de diffuser rapidement les résultats au sein de l'organisation.

3.2.2. Collaboration interfonctionnelle et chaîne de valeur étendue

Un autre facteur déterminant est la capacité à instaurer une collaboration efficace entre fonctions internes (R&D, production, achats, qualité, finances, RSE) et à étendre cette coopération à l'ensemble de la chaîne de valeur (fournisseurs, distributeurs, clients). La fragmentation des responsabilités et les silos organisationnels représentent des obstacles majeurs à l'appropriation de l'ACV. La coordination et le partage d'informations sont indispensables pour garantir la cohérence des données et la pertinence des analyses, ainsi que pour déployer des actions environnementales intégrées (Boons et al., 2013).

3.3. Perspectives d'évolution et complémentarités

3.3.1. Couplage ACV et technologies numériques (IoT, Big Data, IA)

Les avancées technologiques offrent des opportunités majeures pour renforcer l'efficacité et la pertinence de l'ACV. Le couplage avec l'Internet des objets (IoT), le Big Data et l'intelligence

artificielle (IA) permet d'enrichir les bases de données, d'améliorer la granularité et la temporalité des mesures, et d'automatiser la modélisation des impacts (Koponen et al., 2020). Ces technologies favorisent également des analyses prédictives et adaptatives, capables de prendre en compte des contextes changeants, contribuant ainsi à un pilotage environnemental plus réactif et précis.

3.3.2. Vers des outils simplifiés pour les PME (ACV screening, ACV sectorielle)

Reconnaissant les contraintes des petites et moyennes entreprises (PME) en termes de ressources et d'expertises, des outils simplifiés d'ACV se développent, tels que l'ACV screening ou l'ACV sectorielle. Ces approches allégées offrent une première estimation rapide et économique des impacts environnementaux, facilitant la prise de décision et l'intégration progressive de l'ACV dans les pratiques managériales (Sala et al., 2013). Elles représentent une étape essentielle pour démocratiser l'usage de l'ACV au-delà des grandes entreprises.

3.3.3. Vers une gouvernance intégrée de la durabilité

Enfin, l'intégration stratégique de l'ACV passe par la mise en place d'une gouvernance intégrée de la durabilité, articulant de manière cohérente les dimensions environnementales, sociale et économique. Cela implique de coupler l'ACV avec d'autres outils et démarches, comme l'analyse sociale du cycle de vie, le reporting extra-financier, la gestion des risques ou encore la stratégie d'entreprise. Cette gouvernance intégrée favorise une vision holistique et permet de piloter efficacement les transitions vers des modèles plus durables (Searcy, 2016).

Conclusion

L'Analyse du Cycle de Vie s'impose aujourd'hui comme un outil incontournable pour évaluer et améliorer la performance environnementale des produits, des processus et des organisations. En fournissant une vision systémique et multicritère des impacts environnementaux sur l'ensemble du cycle de vie, l'ACV permet d'identifier les leviers d'optimisation les plus pertinents, d'éviter les transferts de pollution et de soutenir des choix éclairés en matière d'écoconception, d'approvisionnement ou de fin de vie. Elle contribue ainsi à ancrer les décisions managériales dans une logique de durabilité mesurable et vérifiable.

Toutefois, pour que l'ACV dépasse sa vocation technico-scientifique et devienne un véritable outil de pilotage stratégique, certaines conditions doivent être réunies. Il est indispensable d'assurer un soutien fort de la direction, une intégration transversale des données et des compétences au sein de l'organisation, ainsi qu'un dialogue structuré avec les parties prenantes.

La digitalisation des données, le recours à des outils simplifiés adaptés aux PME et l'articulation avec les dispositifs de reporting extra-financier sont autant de leviers pour renforcer son appropriation managériale.

Enfin, cette réflexion ouvre plusieurs pistes de recherche futures. Les évolutions technologiques et les attentes sociétales appellent à développer des formes innovantes d'ACV : l'ACV dynamique, capable de prendre en compte les évolutions temporelles ; l'ACV sociale, intégrant les dimensions humaines et éthiques ; l'ACV territoriale, adaptée aux contextes locaux ; ou encore l'ACV numérique, mobilisant l'IA, l'IoT et le big data pour automatiser et enrichir les analyses. Ces prolongements méthodologiques représentent des opportunités majeures pour faire de l'ACV un socle opérationnel de la transition écologique des entreprises.

BIBLIOGRAPHIE

1. BAUMANN, H., & TILLMAN, A. M. (2004). *The Hitch Hiker's Guide to LCA : An Orientation in Life Cycle Assessment Methodology and Application*. Studentlitteratur.
2. BENOIT, C., MAZIEN, B., & al. (2010). *The Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products*. United Nations Environment Programme (UNEP).
3. BOCKEN, N. M. P., SHORT, S. W., RANA, P., & EVANS, S. (2014). *A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes*. Journal of Cleaner Production, 65, 42–56.
4. BOCKEN, N. M. P., DE PAUW, I., BAKKER, C., & VAN DER GRINTEN, B. (2016). *Product design and business model strategies for a circular economy*. Journal of Industrial and Production Engineering, 33(5), 308–320.
5. BOONS, F., MONTALVO, C., QUIST, J., & WAGNER, M. (2013). *Sustainable innovation, business models and economic performance : An overview*. Journal of Cleaner Production, 45, 1–8.
6. CLIFT, R., SIM, S., & KING, J. (2016). *Taking Stock of Industrial Ecology*. Springer.
7. CURRAN, M. A. (2015). *Life Cycle Assessment Student Handbook*. John Wiley & Sons.
8. DÜES, C. M., TAN, K. H., & LIM, M. (2013). *Green as the new Lean : How to use Lean practices as a catalyst to greening your supply chain*. Journal of Cleaner Production, 40, 93–100.
9. DUPONT, A. (2022). *L'analyse du cycle de vie industriel : enjeux méthodologiques et managériaux*. Revue Française d'Économie et de Gestion, 15(3), 45–62.
10. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2006). *Life Cycle Assessment : Principles and Practice*. National Risk Management Research Laboratory.
11. EPSTEIN, M. J., & ROY, M.-J. (2005). *Managing and controlling environmental performance : Evidence from the field*. Journal of Corporate Citizenship, 17, 61–74.
12. EPSTEIN, M. J., & BUHOVAC, A. R. (2014). *Making Sustainability Work : Best Practices in Managing and Measuring Corporate Social, Environmental, and Economic Impacts*. Greenleaf Publishing.
13. European Commission. (2010). *Preparatory Study for Eco-Design Requirements of Energy Using Products – Methodology Study*.

14. FINKBEINER, M. (2014). *Product Environmental Footprint – Breakthrough or breakdown for policy implementation of life cycle assessment?* The International Journal of Life Cycle Assessment, 19(2), 266–271.
15. FINNVEDEN, G., HAUSCHILD, M. Z., EKVALL, T., GUINEE, J., HEIJUNGS, R., HELLWEG, S., ... & SUH, S. (2009). *Recent developments in Life Cycle Assessment.* Journal of Environmental Management, 91(1), 1–21.
16. FORRESTER, J. W. (1961). *World Dynamics.* Wright-Allen Press.
17. GUINEE, J. B., Heijungs, R., Huppés, G., Zamagni, A., Masoni, P., Buonamici, R., ... & Rydberg, T. (2002). *Handbook on Life Cycle Assessment : Operational Guide to the ISO Standards.* Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.
18. GUINEE, J. B., Gorrée, M., Heijungs, R., Huppés, G., Kleijn, R., de Koning, A., ... & van Oers, L. (2011). *Life Cycle Assessment : Past, Present and Future.* Environmental Science & Technology, 45(1), 90–96.
19. HAUSCHILD, M. Z., ROSENBAUM, R. K., & OLSEN, S. I. (2018). *Life Cycle Assessment : Theory and Practice.* Springer.
20. HAUSCHILD, M. Z., GOEDKOOP, M., GUINEE, J., HEIJUNGS, R., HUIJBREGTS, M., JOLLIET, O., ... & MARGNI, M. (2008). *Building a model based on scientific consensus for life cycle impact assessment of chemicals: The search for harmony and parsimony.* Environmental Science & Technology, 42(19), 7032–7037.
21. HEIJUNGS, R., HUPPES, G., & GUINEE, J. B. (2002). *The computational structure of life cycle assessment.* Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.
22. HUNT, R. G., FRANKLIN, W. E., & CAHILL, T. A. (1992). *Resource and environmental profile analysis : A life cycle environmental assessment for products and procedures.* Environmental Impact Assessment Review.
23. ISO (1997). *ISO 14040 : Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework.* International Organization for Standardization.
24. ISO (2006). *Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines (ISO 14044).* International Organization for Standardization, Geneva.
25. ISO (2015). *ISO 14001 :2015 – Environmental Management Systems – Requirements with Guidance for Use.*
26. JASCH, C. (2009). *Environmental and Material Flow Cost Accounting: Principles and Procedures.* Springer.

27. JØRGENSEN, A., LE BOCQ, A., MOUGAARD, K., & HAUSCHILD, M. Z. (2008). *Methodologies for social life cycle assessment*. International Journal of Life Cycle Assessment, 13, 96–103.
28. KOPONEN, K., KUJALA, J., & LINTUKANGAS, K. (2020). *Digitalization and environmental sustainability in industrial companies*. Journal of Cleaner Production, 251, 119638.
29. KRALISCH, D., HEMPEL, F., & GMEHLING, J. (2015). *Evaluating sustainability of organic synthesis – Comparing methods and charting future directions*. Green Chemistry, 17(1), 123–145.
30. LEONARD, J., & DUPONT, A. (2020). *L'analyse du cycle de vie : un outil multicritère et quantitatif pour l'évaluation des impacts environnementaux*.
31. MEADOWS, D. H., MEADOWS, D. L., RANDERS, J., & BEHRENS, W. W. (1972). *The Limits to Growth*. Club of Rome.
32. MOAZZEM, S., RAHMAN, M., & ALAM, M. (2018). *Assessing environmental impact of textile supply chain using life cycle assessment methodology*. The Journal of The Textile Institute, 109(11), 1574–1585.
33. NOTARNICOLA, B., TASSIELLI, G., RENZULLI, P. A., & CASTELLANI, V. (2017). *The role of life cycle assessment in supporting sustainable agri-food systems : A review of the challenges*. Journal of Cleaner Production, 140, 399–409.
34. PARGUEL, B., BENOIT-MOREAU, F., & LARCENEUX, F. (2017). *How sustainability ratings might deter 'greenwashing' : A closer look at ethical corporate communication*. Journal of Business Ethics, 143(2), 381–399.
35. REBITZER, G., EKVALL, T., FRISCHKNECHT, R., HUNKELER, D., NORRIS, G., RYDBERG, T., & Pennington, D. W. (2004). *Life cycle assessment : Part 1 : Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications*. Environment International, 30(5), 701–720.
36. RENAUD, A. (2015). *Management et contrôle de gestion environnemental*. EMS.
37. RENAUD, J. (2015). *Analyse du Cycle de Vie : Outil d'évaluation environnementale*. Presses Universitaires de Rennes.
38. SALA, S., FARIOLI, F., & ZAMAGNI, A. (2013). *progress in sustainability science : lessons learnt from current methodologies for sustainability assessment*. Ecological Indicators, 17, 1–5.

39. SCHMIDT, J. H. (2008). *System delimitation in agricultural consequential LCA : Outline of methodology and illustrative case study of wheat in Denmark*. The International Journal of Life Cycle Assessment, 13(4), 350–364.
40. SEARCY, C. (2016). *Corporate sustainability performance measurement systems : A review and research agenda*. Journal of Business Ethics, 134(2), 227–241.
41. SETAC (1991). *A Technical Framework for Life Cycle Assessment*. Society of Environmental Toxicology and Chemistry.
42. WEIDEMA, B. P., WESNÆS, M., HERMANSEN, J., KRISTENSEN, T., & HALBERG, N. (1999). *Marginal production technologies for life cycle inventories*. The International Journal of Life Cycle Assessment, 4(1), 48–56.