

# Manuel explicatif de l'Analyse de Cycle de Vie appliquée à la construction

**Projet EnerBuiLCA**

Life Cycle Assessment for Energy Efficiency in Buildings



UE/EU - FEDER/ERDF



Programme  
de coopération  
Territorial SUDOE  
Interreg IV B

# Analyse de Cycle de Vie pour l'efficacité Énergétique des bâtiments

Projet EnerBuiLCA

Life Cycle Assessment for Energy Efficiency in Buildings



UE/EU - FEDER/ERDF

## PROJET ENERBUILCA

### Équipe de Travail:

#### Coordinateur:

Ignacio Zabalza  
Alfonso Aranda  
Sabina Scarpellini  
*CIRCE - Centro de Investigación  
de Recursos y Consumos Energéticos*

#### Participants:

Cristina Gazulla  
Marina Isasa  
*Cátedra UNESCO de Ciclo de Vida  
y Cambio Climático (ESCI-UPF)*

Lara Mabe  
Beatriz Sánchez  
*TECNALIA - Corporación tecnológica. Unidad  
de Construcción - División de Sostenibilidad*

Ferran Bermejo  
Gloria Díez  
*iMat - Centro Tecnológico de la Construcción*

Rogelio Zubizarreta  
*IAT - Instituto Andaluz de Tecnología*

António Baio Dias  
*CTCV - Centro Tecnológico da Cerâmica  
e do Vidro Direcção Geral Unidade  
de Ambiente e Sustentabilidade*

Lucie Duclos  
*NOBATEK - Centre de Ressources Technologiques*

Paulo Partidário  
Paulo Martins  
Paula Duarte  
Rui Frazão  
*LNEG - Laboratório Nacional de Energia  
e Geologia, IP*



## Sommaire

1. Introduction .....	5
2. Définition de la notion d'Analyse de Cycle de Vie .....	7
3. Historique de la méthodologie ACV .....	11
4. Méthodologie de l'ACV .....	13
4.1. Définition des objectifs et du cadre de l'étude .....	14
4.2. Analyse de l'inventaire .....	18
4.3. Évaluation de l'impact .....	19
4.4. Interprétation des résultats .....	24
5. Les potentialités de l'ACV dans le secteur de la construction .....	25
6. Les principaux outils ACV pour le secteur de la construction .....	31
7. L'outil EnerBuiLCA .....	35
8. Un exemple pratique d'application de l'ACV dans le secteur de la construction: ACV de dalles céramiques .....	39
8.1. Motivation/objectifs de l'application de la méthodologie ACV .....	40
8.2. Description du produit .....	41

8.3. Utilisation de l'ACV dans un cas de succès .....	41
8.4. Résultats .....	45
8.5. Conclusions .....	47
9. Etat de l'art de l'ACV dans le secteur de la construction et pistes d'amélioration .....	49
Références .....	53



## Introduction

L'Analyse de Cycle de Vie (ACV), et son application aux bâtiments, est perçue par beaucoup comme une méthode qui nécessite beaucoup de temps pour son apprentissage et sa compréhension. En outre, d'autres obstacles à une plus large application de l'ACV ont été identifiés, tels que le manque de bases de données gratuites, d'exigences réglementaires ou d'autres mesures incitatives, ainsi que la séparation des procédures actuelles de certification énergétique et d'ACV. Certaines des mesures proposées pour surmonter ces obstacles comprennent la formation et la sensibilisation à l'importance de l'ACV, l'offre d'information synthétique et de guides simples et la mise en place d'exigences réglementaires relatives à la prise en compte des impacts environnementaux sur le tout le cycle de vie des bâtiments, et non uniquement dans la phase d'usage, comme cela se fait actuellement. La formation et la sensibilisation se reflètent dans le projet EnerbuiLCA à travers ce manuel explicatif de l'ACV, le manuel d'utilisation de l'outil EnerbuiLCA et les ateliers de formation.





## Definition de la notion d'analyse de cycle de vie

Les bâtiments génèrent des impacts sur l'environnement au cours de toutes les étapes de leur cycle de vie (l'extraction des matières premières et leur transport, la consommation d'énergie nécessaire à la fabrication de matériaux de construction et leur transport à partir des sites de production, le terrassement, la consommation d'énergie et les déchets produits pendant la construction des bâtiments, la consommation d'énergie lors de l'utilisation des bâtiments, l'entretien, la démolition et l'élimination de tous les éléments de construction à la fin de sa vie). Par ailleurs, toutes les étapes du cycle de vie des bâtiments sont étroitement liées, ainsi, les impacts d'une étape conditionnent les impacts des étapes suivantes.

Malgré des impacts énergétiques et environnementaux importants des bâtiments en phase usage, il est indispensable d'analyser les autres phases du cycle de vie afin de dégager des opportunités d'améliorations, autant actuelles que futures. A cet égard, la réglementation actuelle ne s'intéresse qu'à la diminution des impacts de la phase usage des bâtiments et omet le poids relatif des étapes restantes, en particulier les impacts liés à la fabrication des matériaux de construction.

Par conséquent, la réduction des impacts environnementaux des bâtiments nécessite une application de la méthodologie de l'évaluation des impacts de manière globale et en incluant toutes les étapes du cycle de vie.

Actuellement, la Commission européenne (COM (2003) 302, COM (2005) 666, COM (2005) 670 et COM (2008) 397) considère que la méthodologie de l'analyse



de cycle de vie (ACV) est le meilleur moyen disponible pour évaluer les impacts potentiels sur l'environnement de toute activité, produit ou service sans limite géographique, fonctionnelle ou temporaire, puisqu'elle examine tous les processus suivis par les matières premières (de l'extraction à l'élimination des déchets). Par conséquent, l'ACV a un avantage évident par rapport à d'autres méthodes car dans toutes les situations elle permet de détecter le produit le moins impactant parmi un ensemble de solutions sans faire de transfert de pollution.

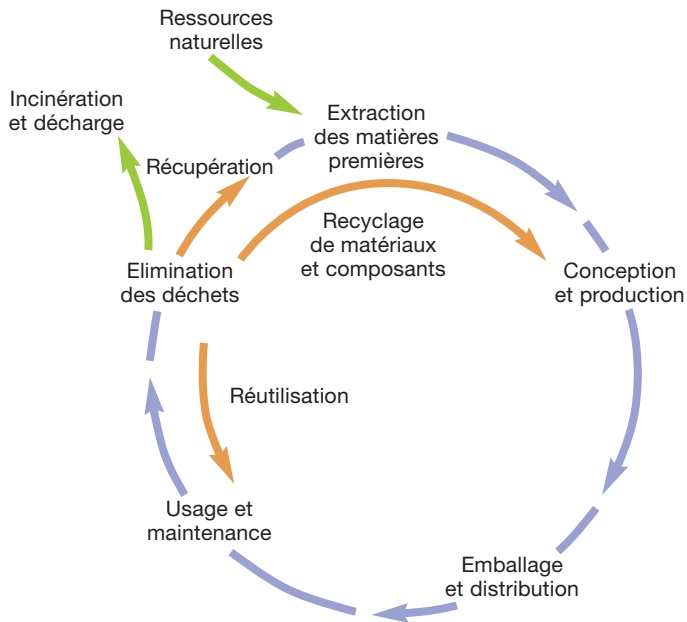


FIGURE 1. Cycle de vie d'un produit.

Bien qu'il existe depuis plus de 40 ans des études ACV de produits industriels, son utilisation dans le secteur du bâtiment est relativement récente et nécessite des efforts de recherches afin d'adapter la méthode et garantir ainsi son utilisation par les

différents acteurs de la construction. En général, l'application de la méthodologie ACV dans le domaine de la construction est plus complexe que pour la fabrication de produits et de composants qui ont lieu dans des environnements contrôlés et où les informations nécessaires sont facilement disponibles. Il est évident que les bâtiments sont des «produits» très spéciaux car ils ont une longue durée de vie (en général supérieure à 50 ans) et peuvent changer de fonction au cours de leur durée de vie (surtout en ce qui concerne les bâtiments du secteur tertiaire tels que les bureaux ou les commerces), ce qui affecte l'unité fonctionnelle utilisée dans l'étude. D'autre part, les fonctions et les usages d'un bâtiment sont souvent multiples (un même bâtiment peut réunir logements, garages, bureaux, etc.). Enfin, les matériaux mis en œuvre, leur quantité et leur provenance varient énormément d'un bâtiment à l'autre (deux bâtiments sont rarement identiques même si les matériaux mis en œuvre sont identiques) et ils sont intégrés dans des environnements qui leur sont propre, ce qui complexifie la définition des frontières de l'étude.



L'ACV est cependant un outil polyvalent et utile pour réduire les consommations énergétiques et les émissions de gaz à effet de serre (GES) dans la construction et établir des stratégies d'amélioration intégrées dans une optique de développement durable (Thormark C., 2002; Yohanis YG, Norton B., 2002; Adalberth K. et al, 2001; Peuportier B., 2001, I. Sartori, Hestnes AG, 2007).

L'ACV permet d'apporter une réponse claire adaptée aux particularités de tout type de bâtiment et à différentes questions telles que: Quelle est la meilleure combinaison de matériaux de construction pour la façade ? Quelle est la structure la plus respectueuse de l'environnement ? Quelles sont les sources d'énergie sont les plus appropriées ? Quel est l'épaisseur d'isolant optimale ? Quelle est la réduction de l'impact environnemental lors de l'installation de systèmes énergétiques renouvelables tels que le solaire thermique, les panneaux photovoltaïques, les chaudières biomasse ou de petites éoliennes ? Comment connaître l'impact de la recyclabilité d'une solution constructive particulière? Quel est l'impact de la mobilité des occupants de l'immeuble et de l'infrastructure et de l'approvisionnement en eau et en énergie ? Quels sont les objectifs environnementaux que peut atteindre le bâtiment ? Quel est le degré de conformité avec les objectifs environnementaux ?



## Historique de la méthodologie ACV

Les premières études ACV datent de la fin des années 60 et du début des années 70 (Boustead I, 1972, Boustead I, Hancock GF, 1979). La première étude consacrée au secteur du bâtiment a été publiée en 1982 en utilisant la méthode des flux d'entrée/sortie (PCF Bekker, 1982) avec une approche de cycle de vie et en soulignant l'épuisement des ressources naturelles causé par cette activité.

Toutefois, son usage a été très limité jusqu'à ce que la méthodologie ait été suffisamment développée dans les années 90 (I. Boustead, 1996). C'est précisément la SETAC —Society of Environmental Toxicology and Chemistry— qui en 1993 a établi la première définition officielle de la méthode, selon laquelle l'ACV est «un processus objectif pour l'évaluation des impacts environnementaux associés à un produit, un procédé ou une activité grâce à l'identification et la quantification de la matière, de l'énergie et des rejets dans l'environnement, afin de déterminer leur impact sur l'environnement et d'évaluer et de mettre en œuvre des stratégies d'amélioration pour l'environnement».

Contrairement à d'autres approches qui mettent l'accent sur l'amélioration des impacts environnementaux des procédés, l'ACV étudie les aspects environnementaux et les impacts potentiels tout au long de la vie des produits et/ou des services «du berceau à la tombe», c'est-à-dire de l'extraction des matières premières et de l'énergie nécessaire à la fabrication jusqu'à l'utilisation et l'élimination des produits dans une perspective globale, sans frontières géographique, fonctionnelle et temporaire.

En 1996, la SETAC a publié le rapport «Vers une méthodologie pour l'analyse des impacts du cycle de vie», qui devint la base pour le développement des premières normes sur l'ACV (ISO 14040-14043) publiées entre 1997 et 1998.





## Méthodologie de l'ACV

La méthodologie générale de l'ACV est actuellement définie par les normes internationales UNE-EN ISO 14040:2006 et EN ISO 14044:2006.

Dans le domaine de la construction, un ensemble de normes méthodologiques est en cours d'élaboration par le Comité technique 350 «Durabilité des travaux de construction» du Comité Européen de Normalisation en vertu du mandat de l'Union Européenne de normalisation dans le domaine de la prise en compte globale de la performance environnementale des bâtiments (CEN / TC 350, prEN 15643-1, -2, -3 et -4). Ces normes fournissent une méthode de calcul basée sur l'ACV pour évaluer la performance environnementale des bâtiments et une méthodologie pour la communication des résultats de l'évaluation.

La méthodologie générale de l'ACV est divisée en quatre phases distinctes. Il est néanmoins possible de réaliser des études simplifiées en supprimant certaines de ces étapes :

- Définition des objectifs et du cadre de l'étude : objectifs de l'étude, limites du système, données nécessaires et autres hypothèses,...
- Inventaire du cycle de vie : quantification des flux de matière et d'énergie traversant le système pour tout le cycle de vie.
- Evaluation des impacts : classification et évaluation des résultats de l'inventaire de cycle de vie à travers un ensemble de catégories d'impact.
- Interprétation des résultats : les résultats des étapes précédentes sont analysés en lien avec les objectifs de l'étude afin d'établir des conclusions et des recommandations.

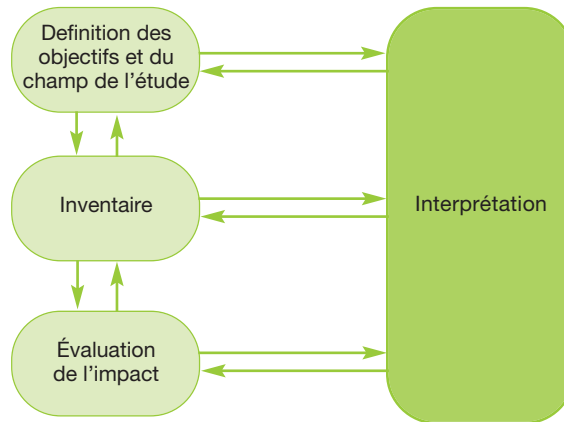


FIGURE 2. Méthodologie générale de l'ACV.

La méthode ACV revêt un caractère dynamique et itératif ; cela signifie que, bien que les étapes soient indépendantes les unes des autres, elles sont liées et il est possible de revenir en arrière dans la méthode à tout moment. Par conséquent, les résultats obtenus permettent de reconsidérer les hypothèses ou d'affiner les données utilisées à n'importe quelle phase (Aranda A., et al, 2006).

## 4.1. Définition des objectifs et du cadre de l'étude

D'après la norme ISO 14044, l'objectif et le cadre de l'étude ACV doivent être clairement définis et en accord avec l'application qui en est faite. La définition des objectifs d'une étude ACV doit indiquer clairement son application, les raisons d'une telle étude, le public ciblé et si les résultats seront utilisés à des fins comparatives (EN ISO 14040:2006).

De toute évidence, dans le cas des études ACV dans le domaine de la construction, l'objectif et le cadre de l'étude peuvent varier considérablement selon le type et l'utilisation du bâtiment, sa situation géographique, sa durée de vie et la phase à laquelle se situe le projet de construction (phase conception préliminaire, construction, utilisation, réhabilitation ou démolition). Cependant, si l'on veut comparer les résultats de

différentes études ACV de bâtiments, ces études doivent avoir les mêmes unités fonctionnelles, méthodes, limites du système, qualité des données, évaluation d'impacts, etc.

Selon les normes ISO, la définition des objectifs et du cadre de l'étude doit tenir compte, entre autre, de :

- *La fonction du système étudié* définit les caractéristiques de fonctionnement du système étudié. Notez qu'un système peut avoir plus d'une fonction. Par conséquent, si l'on veut comparer deux systèmes différents, il est nécessaire de développer une même fonction pour les deux systèmes étudiés. Par exemple, vous ne pouvez pas comparer une étude ACV d'un bâtiment de bureaux avec un logement à seule fonction d'habitation, car les fonctions de ces deux bâtiments sont différentes. De même, il n'est pas possible de comparer l'impact de solutions constructives mise en œuvre dans des bâtiments situés dans des pays différents car ils sont soumis à des normes et des climats différents.
- *L'unité fonctionnelle* est le centre de référence pour toutes les entrées et sorties du système présentes dans l'inventaire de cycle de vie. La «taille» de l'unité fonctionnelle dépend du type d'étude envisagée. Une unité fonctionnelle typique qui pourrait être appliquée aux bâtiments est la suivante : un bâtiment conçu pour un certain nombre de résidents ou de travailleurs en supposant un taux d'occupation de 100%, à un endroit particulier, répondant à certaines normes relatives au confort thermique, à la santé, à la consommation énergétique, pour une durée de vie utile estimée à 50 ans..., qui est souvent utilisée comme valeur par défaut (Malmqvist T., et al, 2010) car pour de nombreuses raisons, il est très difficile de prévoir la durée de vie réelle d'un bâtiment.

Dans le cadre d'études ACV comparatives, en raison de la multiplicité fonctionnelle des bâtiments et des différentes exigences réglementaires existantes en termes de localisation, le concept d'«équivalent fonctionnel» est très souvent utilisé. Il s'agit d'une unité de référence répondant à la législation en vigueur ainsi qu'aux exigences de propriété et qui considère la quantité analysée (1 m<sup>2</sup>, 1 m<sup>3</sup>, 1 bâtiment, etc.), de la/les fonction/s (fournir un espace à vivre et /ou travailler, etc.),

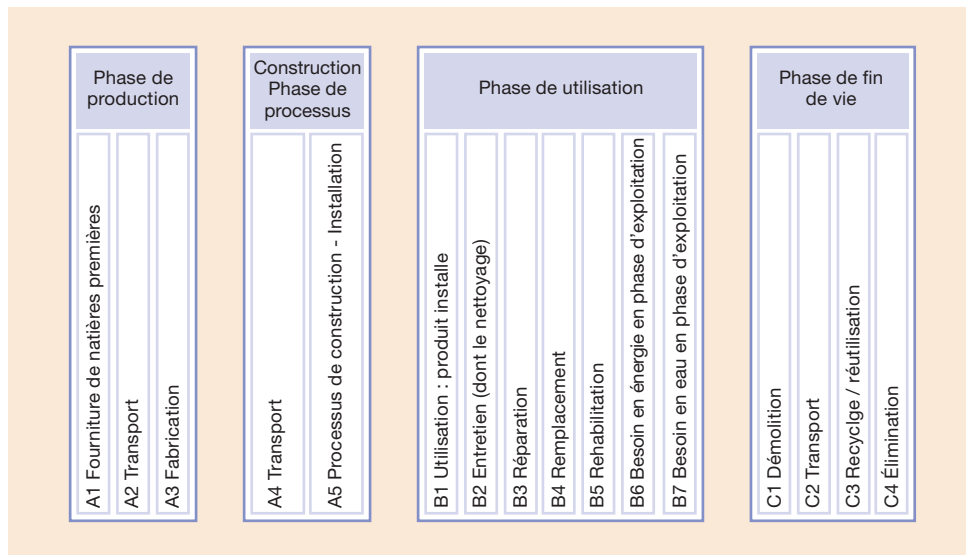


des exigences réglementaires (exigences de confort thermique, qualité de vie, etc.), du mode d'utilisation (taux d'occupation), de son emplacement (conditions environnementales de rayonnement, d'humidité et de température, des exigences réglementaires, etc. ) et de sa durée de vie (50 ans, 80 ans....).

- *Le système* est défini comme l'ensemble des processus élémentaires ou sous-systèmes qui connectent l'énergie et la matière nécessaires à la réalisation du produit étudié.
- *Les limites du système* sont définies comme étant les processus élémentaires à inclure dans le système étudié. Il faut considérer qu'il n'est pas nécessaire de considérer des ressources pour la quantification des entrées et sorties qui ne changent pas significativement les conclusions de l'étude. Il est donc nécessaire d'établir des limites compatibles avec les objectifs de l'étude et qui peuvent également ensuite être affinée à partir des premiers résultats. Dans tous les cas, les décisions d'omettre certaines étapes du cycle de vie, des processus ou des entrées/sorties doivent être dûment justifiées. Les règles de coupure utilisées pour définir les limites du système doivent également être justifiées afin de garantir l'exactitude et la représentativité des résultats obtenus.

Dans le cas des bâtiments, le CEN recommande, pour l'analyse du système, de diviser le système en quatre étapes ou sous-systèmes du bâtiment : la production, la construction, l'utilisation et l'élimination, comme indiqué dans le tableau suivant.





TABEAU 1. Etapes du cycle de vie d'un bâtiment selon la norme Pr EN 15643-2 du CEN/TC350.

- Dans le cadre de l'étude, il faut également définir les *catégories et les méthodologies d'évaluation d'impacts* qui seront utilisées dans l'étude. Car chaque étude ACV est libre d'utiliser les catégories d'impacts qui semble les plus pertinentes et appropriées à l'étude. Le tableau suivant, validé par la majeure partie du consensus scientifique, présente les catégories d'impacts recommandées par le Comité européen de normalisation pour les études ACV des bâtiments.

Catégories d'impacts	Unités
Réchauffement climatique global	kg CO <sub>2</sub> -équivalents
Destruction de la couche d'ozone stratosphérique	kg CFC-11-équivalents
Acidification des sols et de l'eau	kg SO <sub>2</sub> -équivalents
Eutrophisation	kg PO <sub>4</sub> -équivalents
Formation de l'ozone troposphérique	kg C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> -équivalents
Epuisement des ressources abiotiques	Kg Sb équivalents

TABEAU 2. Catégories d'impacts suggérées pour l'ACV des bâtiments par le CEN/TC 350.



- Enfin, les derniers renseignements à fournir pour le cadre de l'étude sont les exigences en termes de qualité des données afin de pouvoir atteindre les objectifs de l'étude. Ainsi, il faut pouvoir préciser pour chacune des données : la couverture temporelle (âge des données utilisées) ; la couverture géographique (locale, régionale, nationale, continentale, mondiale) ; la technologie (meilleures technologies disponibles, moyenne pondérée des technologies, etc.) ; l'exactitude, l'étendue et la représentativité des données ; la cohérence et la reproductibilité des méthodes utilisées dans l'ACV ; les sources de données bibliographiques, leur représentativité et l'incertitude de l'information.

## 4.2. Analyse de l'inventaire

L'analyse de l'inventaire comprend l'obtention des données et les méthodes de calcul utilisées pour quantifier les entrées et les sorties de chaque processus unitaire du système analysé. En définitive, il dresse le bilan des flux élémentaires qui entrent et sortent du système tout au long du cycle de vie de l'unité fonctionnelle. Les flux élémentaires sont des flux d'énergie et de matériaux qui proviennent de la nature (comme le pétrole, le charbon, l'eau, le sable naturel, etc.) sans aucun traitement préalable par l'homme ou allant directement dans la nature (par exemple, les émissions atmosphériques, les rejets de CO<sub>2</sub> de nitrates dans l'eau, etc.). Pour chaque processus, les entrées quantifiées comprennent l'utilisation de l'énergie et des matières premières, tandis que les sorties quantifiées correspondent aux émissions dans l'air, l'eau et le sol, et aux déchets, comme le montre la figure 3 ci-dessous.

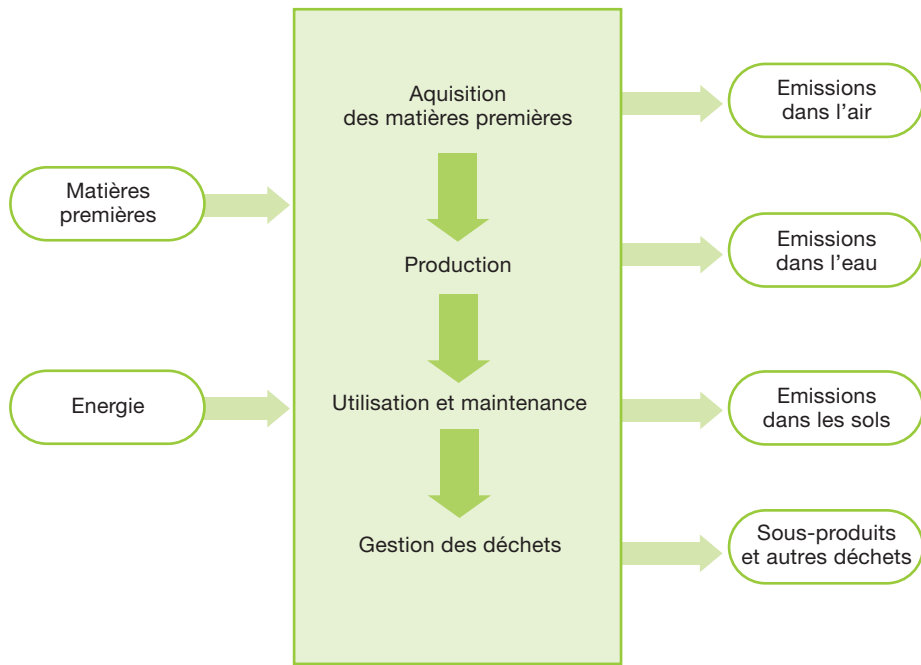


FIGURE 3. Inventaire du cycle de vie appliqué à un processus unitaire du système.

Dans le cas où un processus aboutit à plus d'un produit ou produit des déchets qui sont recyclés ou réutilisés pour créer un nouveau produit, les critères d'allocation doivent être appliqués pour permettre une bonne répartition des impacts entre les ces différents produits.

### 4.3. Evaluation de l'impact

Dans cette troisième étape du cycle de vie, il s'agit de sélectionner un ensemble d'indicateurs environnementaux appelés catégories d'impact (par exemple, le potentiel de réchauffement climatique, l'acidification des sols et de l'eau, etc.) ainsi

que les indicateurs numériques utilisés pour chaque catégorie (par exemple, kg de CO<sub>2</sub> équivalent selon le modèle du GIEC) afin de regrouper et évaluer les impacts de l'inventaire du cycle de vie réalisé dans l'étape précédente.

L'évaluation de l'impact doit obligatoirement inclure les étapes suivantes:

- *Classification* : Affectation des données d'inventaire aux différentes catégories d'impact préalablement sélectionnées. Il s'agit de sélectionner les catégories d'impact à évaluer et de leur assigner les résultats de l'inventaire de cycle de vie. Chaque étude ACV sélectionne les catégories d'impacts les plus pertinentes pour l'étude. Le résultat final est un inventaire regroupé et simplifié où seuls les flux de matière et d'énergie affectent les catégories sélectionnées.
- *Caractérisation* : Calcul des indicateurs numériques de catégorie pour chaque catégorie d'impact. Ce calcul se base sur la conversion des résultats de l'inventaire de cycle de vie en unités courantes en utilisant des facteurs de caractérisation. Ceci permet finalement d'obtenir un indicateur numérique pour chaque catégorie d'impact. En définitive, il s'agit, dans cette phase, de quantifier les impacts en multipliant les résultats de l'inventaire de cycle de vie par les facteurs de caractérisation des substances incluses à l'intérieur de chaque catégorie d'impact. Le résultat obtenu de la caractérisation est le profil environnemental du système qui se compose alors des indicateurs de catégories d'impacts environnementaux sélectionnés.

Le résultat final de la caractérisation est un inventaire regroupé par catégories d'impact où chaque catégorie d'impact est quantifiée par un indicateur numérique.

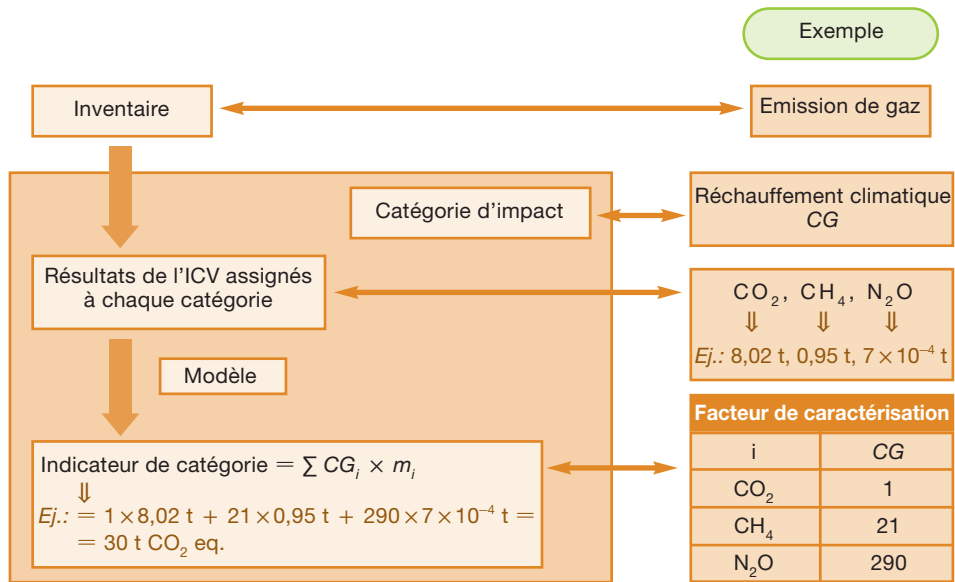


FIGURE 4. Phases de classification et de caractérisation de l'inventaire de cycle de vie.  
Catégorie de réchauffement climatique global.

Les résultats numériques de la caractérisation peuvent également être normalisés, agrégés et pondérés dans les étapes suivantes :

- **Normalisation** : Calcul de la grandeur des résultats des indicateurs de catégorie par rapport aux grandeurs réelles ou prévues aux niveaux national, continental ou mondial pour ces indicateurs. Il s'agit d'une étape facultative de la phase d'évaluation d'impact qui montre le degré de contribution de chaque catégorie d'impact considérée sur le problème global. Cela permet de mieux comprendre l'importance relative des indicateurs numériques obtenus dans la caractérisation. Dans la normalisation, on divise les résultats de caractérisation par des facteurs normalisés. Les facteurs de la normalisation correspondent à la grandeur réelle ou prévue de la catégorie d'impact correspondant à la zone géographique et au moment donné. La compilation des résultats d'indicateurs de catégorie normalisés représente un profil normalisé d'EICV.

- *Valorisation ou pondération* : Calcul subjectif de résultats pondérés pour chaque catégorie d'impact et possible agrégation de ces derniers. A cette étape sont convertis les résultats des indicateurs normalisés des différentes catégories d'impact, en utilisant des facteurs numériques basés sur des évaluations subjectives ou des jugements de valeur. Par exemple dans un pays avec peu de ressources en eau, la consommation de ces ressources sera une catégorie de grande importance. La pondération consiste à multiplier les facteurs de pondération par le résultat de la normalisation pour chaque catégorie d'impact et les additionner à posteriori pour pouvoir obtenir une note totale du système analysé. Dans une étude d'ACV il peut être judicieux d'utiliser des facteurs de pondération différents et réaliser une analyse de sensibilité pour évaluer les conséquences sur les résultats de l'EICV des différents facteurs de pondération employés. Les facteurs de valorisation sont obtenus avec des critères socioéconomiques, et non scientifiques, et la somme de chacun d'eux doit être l'unité. Elles peuvent être basées sur des valeurs monétaires, des normes fixées par les autorités ou des critères établis par un panel d'experts.

On peut souligner que dans une étude donnée peuvent être utilisées diverses méthodologies d'évaluation d'impact afin de comparer les résultats obtenus pour les différentes catégories d'impact. Les méthodologies d'évaluation comprennent généralement plusieurs des indicateurs environnementaux présentés précédemment. Parmi les plus couramment utilisés dans les études ACV, on distingue celles de CML 2001 [Guinée JB, et al., 2002], Ecoindicator [Goedkoop M, Spriensma R., 2001] ou de Recipe [Sleeswijk AW, et al., 2008].

## Exemple de classification, de caractérisation et de normalisation des impacts

Afin de mieux comprendre l'étape d'évaluation des impacts, nous proposons l'exemple suivant:

La catégorie d'impact «réchauffement climatique global» comprend principalement du CO<sub>2</sub>, du CH<sub>4</sub> et du N<sub>2</sub>O, gaz émis par l'activité humaine et contribuant au réchauffement climatique global. Cependant, chacun de ces gaz contribue plus ou moins fortement au réchauffement climatique. La caractérisation de la catégorie d'impact « Réchauffement climatique global » se fait en prenant comme indicateur de référence le kg de CO<sub>2</sub> émis, de sorte que son facteur de caractérisation est l'unité. Dès lors, d'après des études scientifiques (les études du groupe d'experts intergouvernemental sur les changements climatiques peuvent servir de référence), le CH<sub>4</sub> contribue au réchauffement climatique 21 fois plus que le CO<sub>2</sub> en émettant la même quantité en masse. Le N<sub>2</sub>O contribue quant à lui 290 fois plus que le CO<sub>2</sub>. Par conséquent, les facteurs de caractérisation du N<sub>2</sub>O et du CH<sub>4</sub> pour la catégorie d'impact « Réchauffement climatique global » sont respectivement 290 et 21.

L'indicateur numérique de la catégorie d'impact « Réchauffement climatique global » est obtenu à partir de la somme pondérée de la masse de chaque polluant émis multiplié par le facteur de caractérisation, d'après la formule suivante:

Réchauffement climatique global (kg CO<sub>2</sub> équivalente) =  $\sum_i CG_i \times m_i$ , où:

- CG<sub>i</sub>: Facteur de caractérisation de la substance réchauffement planétaire i (kg CO<sub>2</sub>/kg<sub>i</sub>).
- m<sub>i</sub>: Masse de substance i émise (kg<sub>i</sub>).

Supposons que dans la phase de caractérisation nous obtenons une émission de 30 tonnes de CO<sub>2</sub> par an au sein de la catégorie d'impact « Réchauffement climatique global ». La normalisation permet de déterminer l'importance de cette émission par rapport à une valeur de référence. Il est reconnu scientifiquement que la quantité annuelle de CO<sub>2</sub> émis au niveau mondial et contribuant au réchauffement climatique est de 38\*10<sup>9</sup> tonnes de CO<sub>2</sub>. Ce chiffre est le facteur de normalisation pour le « Réchauffement climatique global ». Ainsi, en divisant ces deux chiffres : (30/38\*10<sup>9</sup>), nous obtenons 89,47\*10<sup>-12</sup>, un chiffre sans dimension qui donne un ordre de grandeur de l'impact environnemental du produit étudié par rapport à l'impact global.



## 4.4. Interprétation des résultats

La phase d'interprétation combine les résultats des phases précédentes de l'ACV pour dégager des conclusions et des recommandations utiles pour les prises de décision.

L'interprétation des résultats comprend 3 étapes :

- *L'identification des variables significatives* : quels processus conduisent à des impacts importants et quels sont ceux qui sont négligeables en termes d'impact.
- *Vérification des résultats* : cette vérification vise à établir et à renforcer la confiance et la fiabilité des résultats de l'étude par l'analyse de l'intégrité, de la sensibilité et de la cohérence. L'analyse d'intégrité vise à garantir que toutes les informations pertinentes et toutes les données nécessaires pour l'interprétation sont complètes et disponibles. L'analyse de sensibilité évalue la fiabilité des résultats finaux et conclusions en déterminant s'ils sont affectés par des incertitudes dans les données ou dans les méthodes d'évaluation sélectionnées. L'analyse de cohérence évalue si les hypothèses, les méthodes et les données sont compatibles avec l'objectif et le cadre de l'étude.
- *Conclusions et recommandations.*



## Les potentialités de l'ACV dans le secteur de la construction

L'application de la méthodologie ACV dans le bâtiment permet d'innombrables opportunités pour le secteur de la construction :

- elle facilite la prise de décision par les entreprises de construction,
- les organisations gouvernementales et non gouvernementales en vue de la planification des stratégies d'éco construction,
- l'identification d'opportunités d'amélioration possibles en termes d'impacts sur l'environnement dans le secteur de la construction compte tenu du cycle de vie des bâtiments,
- l'établissement de priorités pour la conception écologique ou l'éco-réhabilitation des bâtiments,
- la sélection de fournisseurs de matériaux de construction et d'équipements énergétiques,
- l'établissement de stratégies et des politiques fiscales pour la gestion des déchets de la construction et le transport des matériaux de construction,
- la définition de nouveaux programmes de R & D + i,
- la définition de règles de l'éco-efficacité et la politique d'aide à la construction et à la réhabilitation, etc.

Les utilisateurs potentiels de l'ACV dans le secteur de la construction sont les fabricants de produits de construction, les consultants, les architectes, les ingénieurs, les gestionnaires de l'énergie de l'administration locale et régionale, les urbanistes et les promoteurs.

Type d'utilisateur	Phase du processus de construction	Objectifs de l'ACV
Urbanistes et conseillers municipaux	Phases préliminaires	Etablissement des objectifs au niveau municipal, régional ou national
Promoteurs immobiliers et clients		Etablissement des objectifs au niveau municipal, régional ou national Information sur la politique de construction/réhabilitation Le recrutement et les marchés publics verts Etablir des objectifs pour les zones à développer Choix de l'emplacement de la construction Dimensionnement du projet Définition des objectifs environnementaux de la construction pour une intégration dans un Programme déterminé.
Fabricants de produits de construction	Premiers dessins et plans détaillés	Evaluation des impacts des produits de la construction
Architectes	Premières esquisses et plans détaillés des bâtiments neufs en collaboration avec les ingénieurs Conception de projets de réhabilitation	Comparaison des options de conception (géométrie/orientation, options techniques)
Ingénieurs/consultants	Premières esquisses et plans détaillés des bâtiments neufs en partenariat avec les architectes Conception de projets de réhabilitation	

TABEAU 3. Usages de l'ACV dans le secteur de la construction.

Les études ACV analysent l'influence des variables qui interviennent tout au long du cycle de vie du bâtiment et comparent les impacts environnementaux de différents choix de conception. Ces études peuvent également aider à atteindre l'étiquetage environnemental des bâtiments, qui en fonction des politiques nationales ou régionales, permette d'obtenir des aides et des subventions et éventuellement de réduire les taxes et les frais, comme conséquence directe de la réduction de l'impact environnemental.

Une étude ACV permet d'évaluer l'influence des principales décisions adoptées lors de la phase de conception du bâtiment pour l'entretien, les coûts d'exploitation et les impacts réels de la construction sur l'environnement. Il est ainsi possible d'évaluer les économies d'énergies et la réduction des émissions associées à la mise en œuvre de différentes solutions constructives et architecturales à faible impact au niveau local, régional et mondial.

Ainsi l'ACV permet la prise de décision au regard de la globalité des impacts environnementaux du cycle de vie des bâtiments. Cela permet d'éviter les évaluations partielles qui oublient certaines étapes du cycle de vie ou certains impacts environnementaux (par exemple, la certification énergétique évalue un seul aspect de l'environnement : la consommation d'énergie, et une seule étape du cycle de vie du bâtiment : l'usage du bâtiment).



En combinant l'ACV avec l'analyse des coûts du cycle de vie (ACCV) (Gluch P., H. Baumann, 2004; D. Langdon, 2007) on obtient une meilleure rentabilité économique des investissements liés à la construction ou à la réhabilitation, en contribuant à une meilleure gestion énergétique des bâtiments. Cette combinaison peut, par exemple, être utilisée pour sélectionner des solutions constructives alternatives, pour identifier la solution technique répondant à un ensemble d'objectifs environnementaux et à moindre coût ou pour la prise en compte de l'impact environnemental.

L'utilisation de l'ACV aide également à promouvoir la construction de bâtiments Zéro Emission (P. Hernandez, P. Kenny, 2010), avec un impact très faible sur l'environnement, intégrant des techniques d'éco-conception architecturales de pointe, de bio construction, à économies d'énergie, d'eau et de matériaux et les énergies renouvelables, afin d'obtenir un maximum d'efficacité des ressources disponibles et un maximum de confort thermique.



L'ACV permet une évaluation quantitative des impacts des matériaux et produits de construction, favorisant son étiquetage environnemental. L'étiquetage environnemental des produits est une démarche volontaire qui permet de différencier les produits qui ont été fabriqués de manière durable et ayant un impact moindre sur l'environnement. L'étiquetage environnemental fournit aux consommateurs des informations sur l'impact environnemental des produits et une méthode normalisée pour comparer les produits. De cette manière, un produit possédant un étiquetage environnemental peut acquérir la conformité aux spécifications environnementales requises par certains organismes subventionnaires. De plus, les entreprises développant des produits respectueux de l'environnement acquièrent un avantage concurrentiel grâce à l'affichage du label sur le produit ce qui permet de fidéliser et d'attirer plus de clients.

Il faut souligner que pour réaliser une analyse de l'inventaire d'un bâtiment, les EPD permettent de disposer d'informations plus précises que des données de matériaux de construction obtenues à partir des bases de données publiques et commerciales existantes qui généralement contiennent des valeurs approchées ne permettant pas une évaluation précise. Cependant, en raison du caractère volontaire de cette démarche, les EPD sont présentes en nombre réduit.

Enfin, il faut signaler que l'ACV permet de réaliser une définition objective des critères les plus appropriés à la prestation de service et l'achat public vert. Aujourd'hui, bien que 40% de la demande de construction provienne du secteur public, le potentiel des marchés publics est souvent inexploité, alors qu'il pourrait faciliter la demande de solutions durables orientées vers l'innovation considérant les évaluations du cycle de vie et de l'approche coût-bénéfice.

Le tableau suivant présente les principaux systèmes ou programmes d'étiquetage environnemental de type III (norme UNE-ISO 14025:2007, ISO 21930:2007 et PrEN 15804:2010) ou les déclarations environnementales de produits (EPD) du secteur de la construction actuellement disponibles au niveau mondial.

Système/Programme EPD	Administrateur	Pays	Logo et site web
Déclaration sur les caractéristiques écologiques de produits utilisés dans la construction	SIA (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein)	Suisse	 <a href="http://www.sia.ch">http://www.sia.ch</a>
BRE	BRE Environmental Profiles Certification	Royaume-Uni	 <a href="http://www.bre.co.uk">http://www.bre.co.uk</a>
MRPI® (Milieu Relevante Product Informatie)	NVTB (Nederlands Verbond Toelevering Bouw)	Pays-Bas	 <a href="http://www.mrpi.nl">http://www.mrpi.nl</a>
Umwelt-Deklarationen (EPD)	IBU (Institut Bauen und Umwelt e.V.)	Allemagne	 <a href="http://bau-umwelt.de">http://bau-umwelt.de</a>
Programme de Déclaration Environnementale et Sanitaire pour les produits de construction (FDE&S)	AFNOR Groupe	France	 <a href="http://www.inies.fr">http://www.inies.fr</a>
RT Environmental Declaration	The Building Information Foundation RTS	Finlande	 <a href="http://www.rts.fi">http://www.rts.fi</a>
EPD - Norge	Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner	Norvège	 <a href="http://www.epd-norge.no">http://www.epd-norge.no</a>
EPD® system	International EPD Consortium	International	 <a href="http://www.environdec.com">http://www.environdec.com</a>
The Green Standard EPD System	The Green Standard	Etats Unis	 <a href="http://www.thegreenstandard.org">http://www.thegreenstandard.org</a>
DAPc - Declaración Ambiental de Productos en el sector de la Construcción	CAATEEB (Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'Edificació de Barcelona)	Espagne	 <a href="http://es.csostenible.net">http://es.csostenible.net</a>

TABEAU 4. Principales EPD dans le secteur de la construction au niveau mondial.



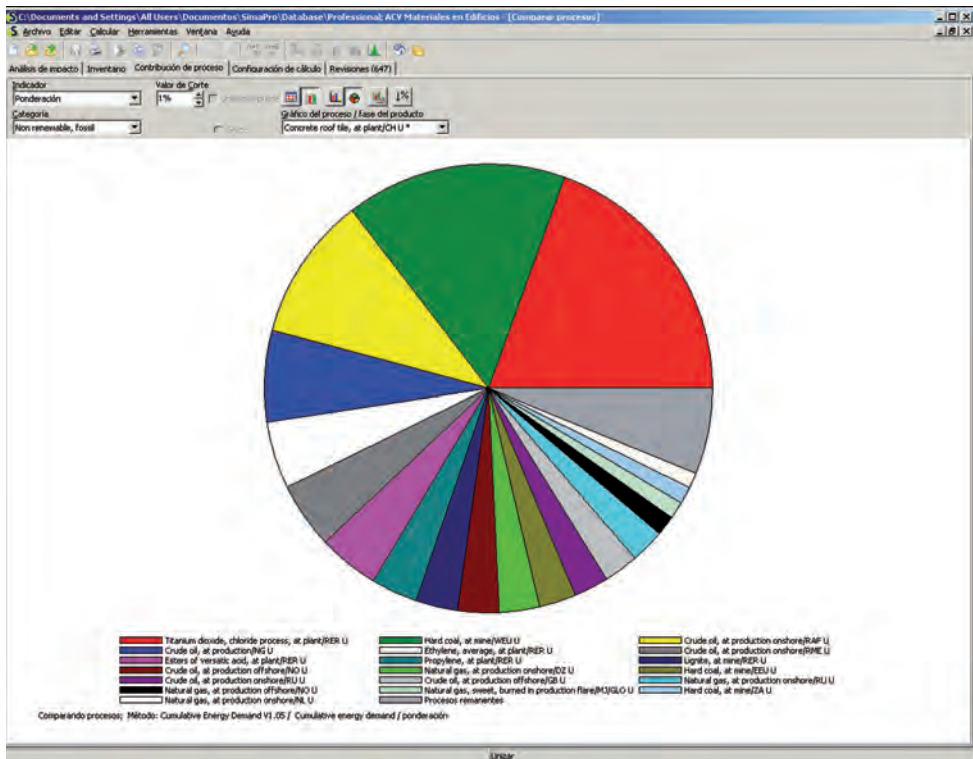
## Les principaux outils ACV pour le secteur de la construction

Afin de faciliter l'application de l'ACV, dans les dernières décennies ont été développés des logiciels pour aider l'analyste à faire l'inventaire du cycle de vie, calculer les résultats de l'évaluation d'impact et interpréter les résultats.

Certains de ces outils sont d'ordre général, comme GaBi (PE International, Allemagne) ou SimaPro (Pré Consultants, Pays-Bas), c'est-à-dire qu'ils peuvent être utilisés pour évaluer tout type de produit. D'autres ont été développés spécifiquement pour une utilisation dans le secteur du bâtiment, de sorte que, par exemple, soient inclus des modules pré-déterminés pour décrire les principaux composants du bâtiment, permettant ainsi à des utilisateurs non spécialistes de la méthodologie de l'ACV de l'appliquer. Des exemples de ces outils sont BEES (NIST, Etats-Unis), SBS (Fraunhofer, Allemagne) ou Elodie (CSTB, France) et Equer (Armines-Izuba, France).

Dans le cas d'applications informatiques d'ACV d'usage général l'utilisateur a plus de liberté dans le choix des hypothèses de départ. Cependant, ces outils nécessitent généralement une très bonne connaissance de la méthodologie de l'ACV et plus de temps d'utilisation, sachant qu'il faut également utiliser d'autres outils pour mesurer les masses des différents matériaux de construction utilisés, les consommations d'énergie du bâtiment, etc. dans le cas d'outils adaptés, les interfaces sont mieux adaptées à l'analyse des bâtiments, simplifiant et en accélérant l'entrée des données et l'interprétation des résultats obtenus, et en intégrant les différents calculs nécessaires dans la même application.





Au-delà de sa facilité d'utilisation, un autre aspect important lorsqu'on utilise un de ces outils est de savoir s'ils disposent de bases de données environnementales pour aider la réalisation de l'Inventaire du Cycle de Vie. Les données peuvent provenir d'une ou plusieurs bases de données, en fonction des exigences de qualité définies. Le tableau 5 montre les principales bases de données d'inventaire de cycle de vie qui peuvent être utilisées dans les études ACV.

Ces dernières années, avec la publication de plus en plus d'EPD, se développent des bases de données contenant des informations sur les impacts environnementaux des produits de construction. Ainsi, les outils comme Elodie sont alimentés par la base de données d'EPD française (base de données INIES - FDES), de même que Sustainable Building Specifier (SBS) avec les EPD allemandes (base de données Ökobau).

Base de données (année)	Contenu	Entité ayant développé la base de données	N° de processus (2010)
ELCD core database v.II (2009)	Matières premières, transformation de l'énergie, le transport et la gestion des déchets	Diverses entités, organisations et associations européennes < <a href="http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/datasetCategories.vm">http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/datasetCategories.vm</a> >	316
U.S. Life-Cycle Inventory database v.1.6.0 (2008)	Flux énergétiques et de matière pour les processus élémentaires les plus courants	National Renewable Energy Laboratory (Etats Unis) < <a href="http://www.nrel.gov/lci/database">www.nrel.gov/lci/database</a> >	355
Ecoinvent v1.2 (2005)	Grand variété des processus incluant l'énergie, le transport, les matériaux de construction, les produits chimiques, l'agriculture, la gestion des déchets, etc. pour la Suisse et l'Allemagne	Ecoinvent centre (Suisse) < <a href="http://www.ecoinvent.ch">www.ecoinvent.ch</a> >	2.700
Ecoinvent v2.0 (2007)			4.000
IVAM LCA Data v.4.06 (2004)	Données néerlandaises pour les matériaux, le transport, l'énergie et la gestion des déchets	IVAM Environmental Research (Pays-Bas) < <a href="http://www.ivam.uva.nl/index.php?id=164&amp;L=1">www.ivam.uva.nl/index.php?id=164&amp;L=1</a> >	1.350
Boustead Model v.5.0.12 (2006)	Grande base de données de matériaux, production de combustibles et d'énergie	Boustead Consulting Limited (Royaume-Uni) < <a href="http://www.boustead-consulting.co.uk">www.boustead-consulting.co.uk</a> >	-
Athena database v.4 (2009)	Consommation énergétique et émissions des produits de la construction tout au long de leur cycle de vie	Athena Institute (Canada) < <a href="http://www.athenasmi.org/tools/database/index.html">www.athenasmi.org/tools/database/index.html</a> >	1.200
Idemat (2001)	Base de données néerlandaise compilée à partir de diverses sources	Delft Technical University (Pays-Bas) < <a href="http://www.io.tudelft.nl">www.io.tudelft.nl</a> >	508
Gabi database	Base de données, qui comprend des processus des secteurs de l'agriculture, la construction, la chimie, l'électronique et des TIC, de l'énergie, de l'alimentation, des métaux, des mines, des produits industriels, les plastiques, etc.	PE International < <a href="http://www.gabi-software.com">www.gabi-software.com</a> >	4.500
ETH-ESU (1996)	Grande base de données suisse centrée sur l'énergie, le transport et les déchets	ETH-ESU (Suisse) < <a href="http://www.uns.ethz.ch">www.uns.ethz.ch</a> >	1.200
GEMIS 4.5 (2009)	Base de données gratuite qui englobe les processus énergétiques et le transport, les matériaux, les processus de recyclage et de traitement des déchets	Öko-Institut (Allemagne) < <a href="http://www.gemis.de">www.gemis.de</a> >	-

TABLEAU 5. Base de données pour les études ACV.





## L'outil EnerBuiLCA

Dans le contexte des outils adaptés à l'application de l'ACV au secteur du bâtiment, dans le cadre du projet EnerBuiLCA a été développé un logiciel qui permet, en introduisant des informations de base d'un bâtiment ou d'une solution constructive, l'évaluation des impacts environnementaux étapes de la production, de la construction et de l'utilisation.

L'outil EnerBuiLCA outil est accessible à partir de la plate-forme en ligne du Réseau Thématique du projet ([www.enerbuiLCA-sudoe.eu](http://www.enerbuiLCA-sudoe.eu)), et est basé sur la méthodologie de l'ACV, tel que décrite dans les normes ISO 14040:2006 et ISO 14044:2006. Les spécifications techniques et les méthodes de calcul énoncées dans les normes EN 15643-1, EN 15643-2, EN15804 et EN 15978 ont également été considérées en compte dans l'élaboration de l'outil.

En ce qui concerne la définition des **objectifs et la portée de l'étude**, l'outil EnerbuiLCA permet l'évaluation des étapes de production, de construction et d'utilisation d'un bâtiment ou d'une solution constructive. L'étape de fin de vie n'est pas incluse dans les limites du système à évaluer en raison des difficultés à trouver des informations sur cette étape préalable dans des projets similaires développés précédemment comme Cyclope (un projet singulier stratégique financé par le ministère espagnol de la Science et de l'Innovation).

Dans l'étape de production sont intégrés les processus liés à l'approvisionnement en matières premières, le transport à la porte d'usine et les procédés de fabrication de produits de construction, y compris le traitement des déchets dérivés de ces processus (voir le Tableau 1).

L'étape de construction comprend l'étape de transport des produits de la construction porte d'usine au chantier, la demande en énergie des machines utilisées dans cette phase et le transport des déchets générés sur le site de construction (voir le Tableau 1).

Dans la phase d'utilisation on considèrera la demande finale d'énergie pour le chauffage, le refroidissement, l'eau chaude sanitaire et l'éclairage, ainsi que la contribution des systèmes d'énergie renouvelable. La demande d'énergie finale est calculée selon les normes de calcul de la performance énergétique des bâtiments. Le fonctionnement de l'équipement (par exemple, d'un escalateur) et les services liés au bâtiment (tels que les besoins en eau, le traitement des eaux usées dans les installations de traitement des eaux usées municipales, la mobilité des utilisateurs, les produits de consommation et les déchets solides) ont été exclus de l'analyse et donc la portée de l'outil. Les processus d'entretien des bâtiments, qui comprennent en général le remplacement des différents composants de l'enveloppe, comme les fenêtres, portes et autres éléments sont inclus dans la phase d'utilisation. Ceux-ci incluent notamment la production de nouveaux produits ou systèmes, le transport de l'usine au chantier et l'élimination des produits / systèmes remplacés. L'information sur la durée de vie de ces éléments est obtenue dans les différentes EPD de produits.

En ce qui concerne les **catégories d'impacts** à considérer, en première approximation, l'outil fournit seulement une catégorie d'impact sur l'environnement (réchauffement climatique) et un indicateur d'impact (consommation d'énergie primaire). C'est parce que cet outil est destiné à être une étape préliminaire ou d'une formation pour un utilisateur novice en ACV, avant de passer à la méthodologie complète. Actuellement, la plupart des impacts environnementaux causés bâtiments sont dues à la consommation d'énergie, alors que le changement climatique peut permettre de faire la différence entre les effets des différentes sources d'énergie (renouvelables ou non renouvelables et, parmi ces dernières, entre le charbon, le nucléaire, le pétrole, etc.)



Suivant les exemples d'Elodie en France ou de SBS en Allemagne, le logiciel EnerBuiLCA est alimenté par une base de données qui a été créée spécialement pour le projet. La stratégie pour le développement de cette base de données est la collecte de données environnementales disponibles à partir de déclarations environnementales de produit (EPD) de produits de construction à partir de différents systèmes d'éco-étiquetage que le DAPc, Deklaration Umwelt, le système international EPD etc (CAATEEB 2012; IBU 2012; Environdec, 2012), ce qui simplifie grandement la phase d'analyse de **l'inventaire du cycle de vie**. Nous avons développé trois bases de données différentes: (1) l'un des produits de construction, dont 26 produits différents, (2) les autres solutions constructives, y compris des informations environnement et techniques des solutions techniques représentatives pour l'Espagne, la France et le Portugal, et (3) une dernière avec une information générique qui inclut des informations sur les sources d'énergie et de transport.

**Calcul des résultats:** L'outil est présenté à travers une interface par laquelle l'utilisateur peut créer un projet de construction pour l'évaluation. À cette fin, le concepteur introduit des informations de base sur le bâtiment qui fait l'objet de l'étude (que

ce soit une construction ou une réhabilitation) dans l'outil, tels que: type de bâtiment, exigences techniques et fonctionnelles, type d'utilisation et de durée de vie. Une fois cela fait, le concepteur peut rechercher les solutions constructives qui constituent le bâtiment et dans la base de données, après l'introduction de l'information sur la consommation d'énergie en phase d'usage (calculé avec un outil de simulation), obtenir des informations en temps réel sur la consommation d'énergie et les émissions de GES associées..

Le concepteur est en mesure d'évaluer tant des bâtiments comme des solutions constructives. Puisqu'à l'heure actuelle la base de données des produits de construction et des systèmes constructifs contient une quantité limitée d'informations, le concepteur peut également modifier les informations existantes sur les produits et / ou des solutions constructives et / ou créer de nouveaux produits ou systèmes constructifs adaptés aux informations du scénario réel à l'étude. Cette information pourra faire partie de la base de données publiable des produits de construction que si elle a subi un processus de validation par les administrateurs de l'outil. Ainsi, la base de données environnementale des produits pourra s'agrandir au fur et à mesure.

L'outil a été validé sur 20 cas différents pilotes dans différentes régions de la zone SUDOE de l'Espagne, la France et le Portugal. En utilisant l'outil, on obtient, en temps réel, les résultats d'impact permettant aux différents utilisateurs de considérer des variantes pour la conception des bâtiments et d'interpréter facilement les résultats.



## Un exemple pratique d'application de l'ACV dans le secteur de la construction : ACV de dalles céramiques

L'information présentée dans ce chapitre a été extraite par iMat (maintenant intégré dans le centre technologique ASCAMM), principalement de Benveniste G., et al, 2011, cité dans le chapitre *Références*, où sont également disponibles et d'autres articles et communications techniques sur les dalles de céramique et l'usage de la méthodologie ACV. Le texte final a été examiné par ASCER - Association Espagnole des Fabricants des Dalles et Revêtements Céramiques.

Nous rappelons que le but de ce document est de fournir un exercice d'entraînement sur l'utilité de la méthodologie de l'ACV, pour obtenir des renseignements supplémentaires ou des précisions sur l'impact environnemental des dalles céramique il est recommandé de consulter la documentation pertinente ou de contacter directement ASCER.



FIGURE 5. Image qui montre certaines applications de dalles céramiques. Source: [www.ascer.es](http://www.ascer.es).



## 8.1. Motivation / Objectifs de l'application de la méthodologie ACV

Connaître l'ampleur et la nature des impacts sur l'environnement au cours du cycle de vie des dalles céramiques (production, distribution, utilisation et gestion de la fin de vie), afin de concentrer les efforts sur la réduction et l'amélioration de la durabilité du produit face à d'autres produits émergents et matériaux concurrents.

L'ACV est considérée comme un outil précieux au moment d'affronter les difficultés résultant de la crise économique mondiale et d'identifier les possibilités d'amélioration en vue d'élaborer des plans stratégiques de différenciation des produits et d'innovation fondées sur les variables environnementales.

Un autre objectif de l'étude ACV de la dalle céramique au niveau sectoriel est de disposer de l'information de base pour la rédaction des Règles de Catégorie de Produit (ci-après RCP) pour ce type de revêtement. Le RCP est un ensemble de lignes directrices qui guident l'élaboration de déclarations environnementales de Produits III (eco-étiquette de type III selon la classification ISO) et l'écriture de l'ACV qui les alimente. Entre autres choses, le RCP permet de déterminer quelle doit être l'unité fonctionnelle à appliquer, les catégories d'impacts évalués, les limites du système étudié ou des exigences en matière de qualité des données.

Client: ASCER (Association espagnole des Fabricants de Dalles et de Revêtements Céramiques) / Soutien financier: IMPIVA (Institut pour la Petite et Moyenne Industrie de la Generalitat Valenciana, et les fonds FEDER par le biais des plans sectoriels de compétitivité.

- Les sociétés collaboratrices fabricants de produits ou systèmes: Plus de 50 entreprises dans le secteur de la fabrication des dalles céramiques adhèrent à ASCER (représentant environ 50% de la production espagnole).
- Équipe qui applique de la méthodologie ACV: Giga (ESCI-UPF) et l'ITC (Institut de Technologie Céramique à l'Université Jaume I).

## 8.2. Description du produit

Les dalles céramiques sont des morceaux plats d'argile de faible épaisseur fabriqués avec de la silice, des additifs, des colorants et d'autres matières premières. Généralement ils sont utilisés comme pavés pour les sols, et revêtements de murs et de façades.

L'argile utilisée dans la composition du support peut être de cuisson rouge ou de cuisson blanche. Les dalles céramiques, tant de pavage du sol comme de revêtement de mur, sont des pièces de céramique imperméables qui sont normalement constitués d'un support d'argile et d'un revêtement vitreux: l'émail céramique.

La large gamme de produits en céramique sur le marché aujourd'hui est conditionnée par les différentes utilisations de ce matériau dans l'architecture et la décoration intérieure. En fonction son application, il existe différents types de produits et de caractéristiques [ASCER].

## 8.3. Utilisation de l'ACV dans un cas exemplaire

L'étude du cycle de vie des dalles céramiques au niveau sectoriel est effectuée conformément aux normes ISO sur l'ACV [ISO 14040:2006 UNE EN ISO 14044:2006 et EN].

Ce qui suit résume certains aspects de la méthodologie de l'ACV et les phases dans lesquelles se structure l'analyse de la structure: définition des objectifs et de la portée de l'étude, analyse de l'inventaire, évaluation d'impact, et l'interprétation des résultats [Benveniste G., et al., 2011].

### Objectifs et cadre de l'étude

- Fonction principale: revêtir (sols) ou couvrir (murs).
- L'unité fonctionnelle (UF): couverture 1 m<sup>2</sup> de surface (mur ou sol) d'un bâtiment avec carrelage / faïence pendant 50 ans un usage résidentiel, commercial ou médical.

- Description du produit analysé: L'étude a analysé les comportements environnementaux des trois types de carrelages (faïence, grès cérame porcelaine et grès émaillé) en considérant deux colorations de supports différents. Pour le revêtement de murs, la faïence est considérée de couleur blanche (AB) et rouge (AR), regroupés en Faïence moyenne. Pour le sol, nous avons considéré le Grès Cérame porcelaine moyen (GP), le Grès émaillé de couleur blanche (GEB) et rouge (GER), regroupés en tant que Grès Emaillé moyen.

## Limites du système

- Toutes les phases du cycle de vie sont étudiées, en distinguant 4 phases principales : extraction, transport jusqu'à l'usage et fabrication du carrelage céramique [A], transport jusqu'au bâtiment et coloration [B], usage et maintenance [C], déconstruction et fin de vie [D]. (Voir la Figure 6).

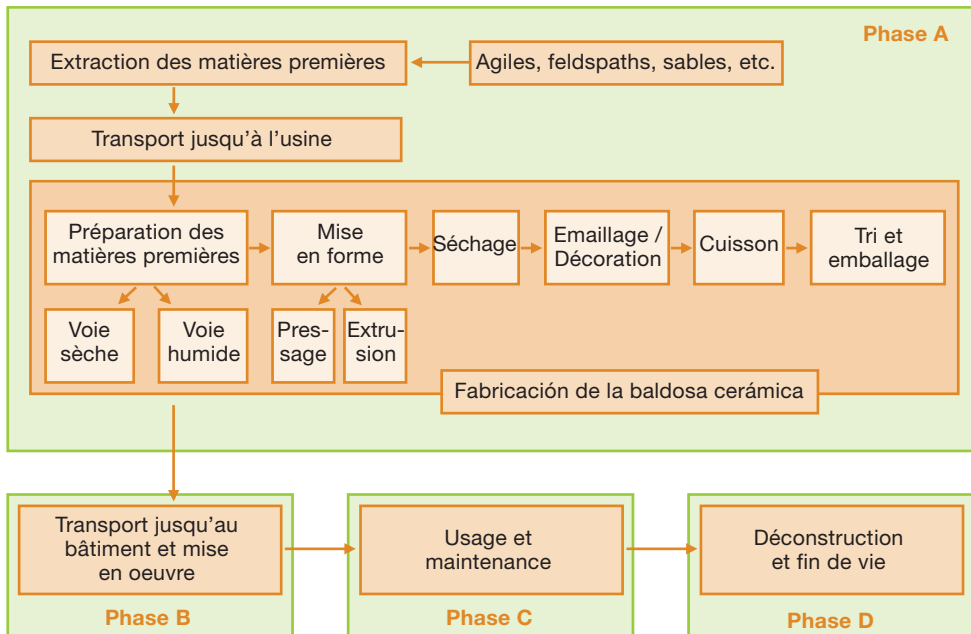


FIGURE 6. Phases considérées dans le Cycle de Vie. Source : ITC y ASCER, 2008.

- Sont exclues des limites du système la production de machinerie et d'équipement industriel (par son importance faible vis à vis du procédé de production), ainsi que les opérations de recyclage des déchets (sachant qu'elles font partie du cycle de vie du produit recyclé). Les impacts générés par les matières premières qui composent le carrelage et dont le poids est inférieur à 1% du poids total de la dalle ont été considérés négligeables.

## Analyse de l'inventaire

L'information a été obtenue à partir de données agrégées de process dans certains cas et de données de process unitaires dans d'autres, selon la disponibilité de données des entreprises. S'agissant d'une analyse au niveau sectoriel, les données utilisées sont des moyennes pondérées en fonction de la production, établies parmi un nombre représentatifs de fabricants du secteur, ne pouvant pas attribuer, cependant, les données et les résultats à un unique fabricant.

- *Phase A* : On compile les données moyennes des matières premières qui composent chaque type de dalle, ainsi que le type de transport utilisés jusqu'à l'usine et les distances moyennes parcourues. Pour chaque type de dalle on a déterminé les consommations d'eau, d'énergie, les émissions atmosphériques et les déchets générés tout au long du processus de fabrication. La majeure partie des déchets générés dans le procédé de fabrication, à l'exception des déchets d'emballage, sont réintroduits dans la phase de production de la dalle et sont exclus pour faire partie des opérations de maintenance des installations (en dehors des limites du système).
- *Phase B* : Les dalles céramiques sont commercialisées dans le monde entier. Les distances moyennes et le type de transport utilisé par rapport à la production totale de dalles céramiques sont établis à partir de données statistiques. La mise en œuvre est réalisée de manière manuelle et on a considéré l'utilisation de mortier adhésif 1:4 pour la fixation, avec des rendements par m<sup>2</sup> adaptés à chaque type de dalle. Pour la définition des scénarios possibles de gestion

des déchets des matériaux d'emballage on utilise des données moyennes de collecte sélective des différents types de déchets.

- *Phase C* : On considère le nettoyage hygiénique, en supposant une fréquence déterminée de nettoyage au long de la vide utile et en estimant des consommations d'eau et de détergent à partir de références bibliographiques. Pour le cadre temporel établi de 50 ans, aucune autre activité de maintenance ni de remplacement n'est nécessaire.
- *Phase D* : On considère que 87% des déchets sont mis en décharge et les 17% restants sont revalorisés afin d'être réutilisés en matériel de remplissage, en estimant une distance moyenne de 50 km entre le bâtiment et la décharge.

## Evaluation d'impacts

On choisit les catégories d'impact environnemental recommandées par la norme la EN 15804 sur les Déclarations Environnementales de Produits de la construction:

- Epuisement de ressources abiotiques.
- Potentiel d'acidification.
- Potentiel d'eutrophisation.
- Potentiel de réchauffement climatique.
- Potentiel de destruction de la couche d'ozone stratosphérique.
- Potentiel de formation d'ozone photochimique

On a utilisé la méthodologie CML 2002 pour la classification et la caractérisation des impacts environnementaux. [Guinée J.B., et al., 2002].

De plus, une série d'indicateurs de flux a été intégrée pour aider la prise de décisions et l'interprétation des résultats. Ces indicateurs sont les suivants : consommation d'énergie primaire (MJ) et consommation d'eau (kg).

## 8.4. Résultats

La Tableau 6 montre le profil environnemental pour chaque type de carrelage.

Typologie	Unités	Grès porcelaine moyen	Gres émaillé moyen	Faïence moyenne
Epuisement des Ressources Abiotiques	kg de Sb eq.	1,1 E-01	1,1 E-01	1,0 E-01
Potentiel d'Acidification	kg de SO <sub>2</sub> eq.	7,9 E-02	7,0 E-02	6,8 E-02
Potentiel d'Eutrophisation	kg de PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq.	9,6 E-03	9,1 E-03	8,9 E-03
Changement climatique	kg de CO <sub>2</sub> eq.	1,8 E+01	1,7 E+01	1,9 E+01
Potentiel de destruction de l'Ozone Stratosphérique	kg de R11 eq.	2,1 E-07	1,7 E-07	1,8 E-07
Potentiel de Formation de l'Ozone photochimique	kg de C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	2,0 E-02	2,0 E-02	1,9 E-02
Consommation d'énergie primaire	MJ	3,0 E+02	2,9 E+02	3,0 E+02
Consommation d'Eau	kg	3,4 +02	3,3 E+02	3,4 E+02

TABLEAU 6. Profil environnemental de chaque type de dalles (unités/m<sup>2</sup>) [Benveniste G. et al., 2011].

Dans la Figure 7, Figure 8 et la Figure 9 on peut observer, respectivement, la contribution de chaque étape du cycle de vie pour la valeur totale de chacune des catégories d'impacts évalués pour le Grès cérame porcelaine, le Grès émaillé et la Faïence moyenne.

Les phases qui influent les plus, tant sur indicateurs environnementaux (eau, énergie), comme dans les catégories d'impacts étudiés, sont la fabrication et l'utilisation. Même s'il faut garder à l'esprit que l'étape d'usage est sujette aux habitudes qui dépendent de l'utilisateur et du scénario dans lequel il se trouve et par conséquent, peut être un élément subjectif.

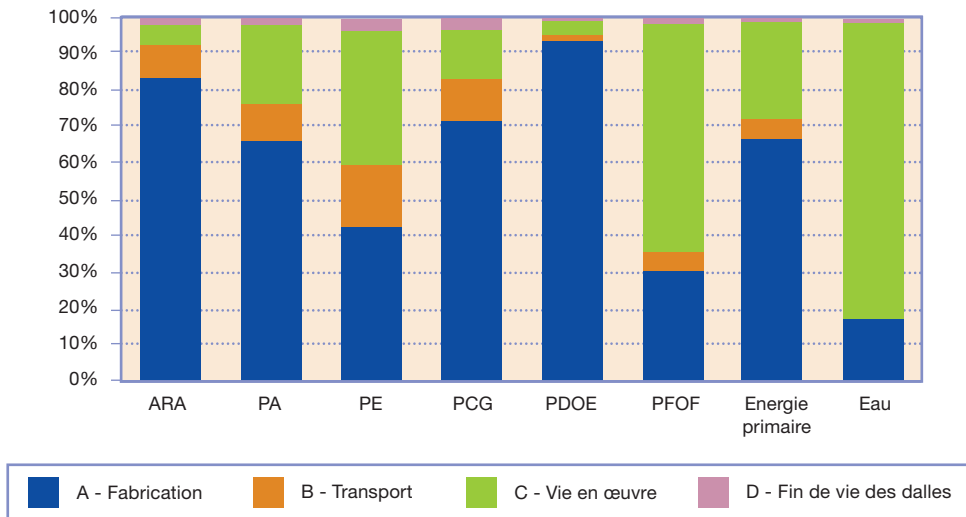


FIGURE 7. Contribution des phases de cycle de vie aux catégories d'impacts pour le Grès Cérame porcelaine moyen [Benveniste G. et al., 2011].

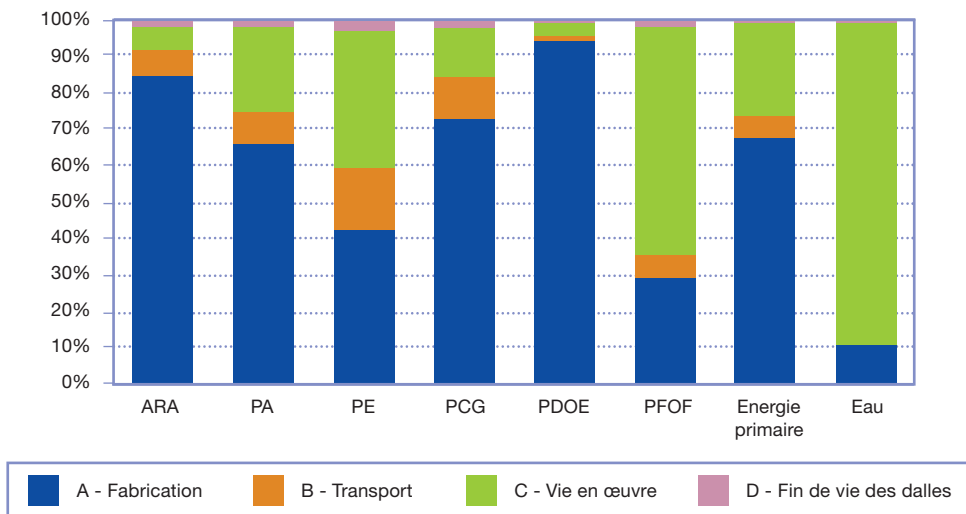


FIGURE 8. Contribution des phases de cycle de vie aux catégories d'impacts pour le Grès Emailé moyen [Benveniste G. et al., 2011].

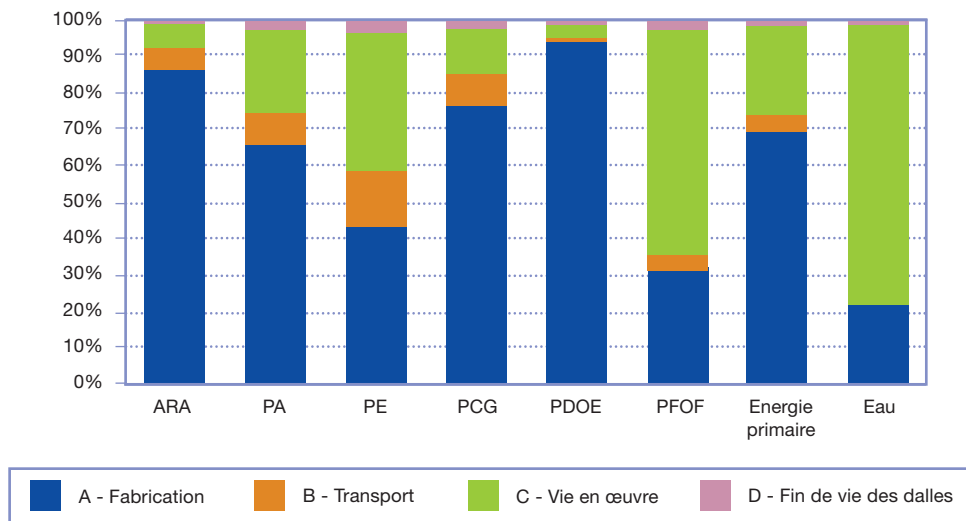


FIGURE 9. Contribution des phases de cycle de vie aux catégories d'impacts pour la Faïence moyenne [Benveniste G. et al., 2011].

## 8.5. Conclusions

L'étude a permis d'identifier les réelles possibilités de réduction de la consommation d'énergie pour le secteur des dalles céramiques, en tenant compte de la mise en œuvre élevée de Meilleures Techniques Disponibles dans ce secteur [Benveniste G. et al., 2011].

L'étude ACV des dalles en céramique au niveau sectoriel a permis la rédaction de Règles de Catégorie de Produit, qui sont un ensemble de lignes directrices qui guident l'élaboration de déclarations environnementales de type III (étiquette environnementale de Type III selon la classification de la norme ISO) [Règles de Catégorie de produit pour les produits de revêtement céramique, 2010].

Jusqu'à ce jour, 9 EPD de dalles céramiques appliquant ces RCP ont été obtenues [Agenda de la construcció sostenible].



La méthodologie de l'ACV s'avère un outil précieux pour affronter difficultés résultant de la crise économique mondiale et identifier les possibilités d'amélioration en vue d'élaborer des plans stratégiques pour la différenciation des produits et l'innovation fondées sur l'aspect environnemental. Un exemple est le DAPCER projet: «Développement d'un outil simplifié pour l'obtention d'indicateurs environnementaux», qui vise à renforcer la compétitivité des entreprises à travers le développement de l'évaluation du cycle de vie et l'élaboration de Déclarations Environnementales de Produits pour les dalles céramiques, de manière plus rapide et économique. DAPCER est développé par l'ITC avec la Chaire UNESCO en Cycle de Vie et les Changements Climatiques, à la demande d'ASCER et financé par IMPIVA à travers les fonds Européens FEDER [RUVID].



## Etat de l'art de l'ACV dans le secteur de la construction et pistes d'amélioration

L'application de l'approche du cycle de vie («life cycle thinking») est actuellement faible dans le secteur de la construction, elle reste confinée à des bâtiments très spécifiques, tels que les bâtiments de démonstration ou pilotes dans le cadre de projets dans R & D+i, les écoquartiers et les ecocités, les bâtiments représentatifs tels que les sièges sociaux de grandes entreprises, etc. On peut citer comme exemples les cas suivants : l'analyse environnementale comparative réalisés pour VISESA sur la promotions de deux logements de protection officielle situés à Vitoria-Gasteiz ayant pour objectif d'évaluer les effets de l'industrialisation de la construction, l'ACV simplifiée réalisée pour Consortium Playa de Palma sur la rédaction du projet de réhabilitation d'un bloc de logements collectifs ou l'ACV réalisée pour 60 maisons à Tossa de Mar (Girona) promus par Incasol. On peut également citer les évaluations menées dans le cadre de l'opération Testez vos bâtiments neufs (HQE Performance). Dans le projet EnerBuiLCA projet, 20 nouveaux exemples d'application de la perspective de cycle de vie des bâtiments ont été apportés.

Actuellement dans les régions de la zone SUDOE les études ACV au niveau des bâtiments sont élaborées de manière croissante mais dans des cas très ponctuels, principalement par des centres R&D et des universités ainsi que des consultants spécialisés. Par ailleurs, au niveau des produits, l'ACV est utilisée très occasionnellement (bien que de manière croissante), par les fabricants de matériaux de construction dans l'élaboration de ses déclarations environnementales de produits et d'autres informations (ex : FDES).

Cependant, et en dépit des opportunités significatives que supposeraient une démocratisation de l'ACV, il existe actuellement un certain nombre de barrières et d'obstacles à surmonter pour parvenir à une application généralisée dans les bâtiments. Les principaux obstacles sont d'ordre technique —associée à la disponibilité des outils et des bases de données appropriées pour le secteur— formative —associée à la disponibilité d'un corps technique suffisamment formé, qualifié et répandu sur le territoire— et économiques —liées au coût élevé de la mise en œuvre de l'ACV dans le bâtiment, que ce soit par manque d'outils et d'information, le manque de personnel qualifié, ou le temps nécessaire pour effectuer de telles études—. Par conséquent, l'ACV est généralement perçue comme une méthode compliquée par les acteurs du secteur de la construction, les difficultés existant dans la compréhension de ses résultats. La raison en est, en grande partie, le manque de connaissance de cette méthode, comme indiquent, par exemple, les résultats d'enquêtes menées auprès des professionnels.

Mais sans doute le plus important obstacle à l'utilisation généralisée de l'ACV dans le bâtiment, est le manque de mesures d'incitation et d'exigences réglementaires, ce qui conduit à une faible demande pour la réalisation de telles études. Par exemple, à l'heure actuelle il n'y a pratiquement pas de lien entre l'ACV et les procédures de certification énergétique qui ont été développées ces dernières années. Par conséquent, dans certains cas, il peut y avoir une contradiction d'obtenir une meilleure performance énergétique, malgré l'entraînement d'une plus grande consommation d'énergie primaire à l'échelle globale, sachant que l'énergie grise des matériaux de construction n'est pas pris en compte dans la certification énergétique. L'intégration de l'ACV dans les procédures actuelles de certification énergétique des bâtiments permettrait d'améliorer les procédures d'évaluation de l'énergie grise des matériaux de construction, l'impact du transport associés et l'élimination finale des matériaux, en obtenant une meilleure approximation de l'impact environnemental réel du bâtiment, et en promouvant la construction durable et l'innovation dans le secteur de la construction, ainsi que la promotion de la réhabilitation des bâtiments en augmentant la durabilité tout en réduisant les impacts environnementaux dus à la construction neuve évitée.



Par conséquent, les principales actions qui doivent être mises en œuvre pour surmonter les obstacles cités ci-dessus sont: la formation et la sensibilisation à l'importance de la LCA s'adressant à tous les acteurs du secteur, un soutien financier pour la réalisation des études et des projets, l'offre d'une synthèse des informations et de guides simples pour l'aide à la conception des bâtiments en construction neuve et en réhabilitation, et l'établissement d'exigences réglementaires relatives à la prise en compte des impacts environnementaux sur tout le cycle de vie des bâtiments, et non seulement dans la phase d'utilisation, comme actuellement. Dans le cadre du développement du projet EnerBuiLCA, ce manuel explicatif conjointement avec le manuel de l'outil et les ateliers de formation, etc., prétend contribuer à la formation et à la sensibilisation afin de surmonter les barrières de l'ACV.

Le développement intense d'une nouvelle réglementation sur l'efficacité énergétique ces dernières années ont impliqué le fait que les différents acteurs se plaignent du manque de temps pour s'adapter à la nouvelle législation et la mise en œuvre des nouvelles exigences réglementaires. En ce sens, les outils simplifiés d'ACV comme

EnerbuiLCA, pourraient être un excellent complément aux procédures existantes de certification énergétique des bâtiments pour obtenir une comptabilité de l'énergie réelle et des émissions de CO<sub>2</sub> associées au bâtiment, en intégrant les étapes de production de matériaux, le transport et l'élimination finale. Cette utilisation accrue de l'approche du cycle de vie conduira à une amélioration de l'efficacité énergétique du secteur de la construction de manière générale et, en outre, du profil environnemental des matériaux utilisés en promouvant sa réutilisation et / ou recyclage.



## Références

- Adalberth K, Almgren A, Holleris E., 2001. Life cycle assessment of four multi-family buildings. *International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings* 2:1-21.
- Agenda de la construcció sostenible. <[www.csostenible.net](http://www.csostenible.net)>.
- Andrews E.S., et al., 2009. Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products. UNEP/SETAC Life Cycle Initiative. ISBN: 978-92-807-3021-0.  
<[http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx1164xPA-guidelines\\_sLCA.pdf](http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx1164xPA-guidelines_sLCA.pdf)>.
- Aranda A., Zabalza I., Martínez A., Valero A., Scarpellini S., 2006. El análisis de ciclo de vida como herramienta de gestión empresarial». ISBN: 84-96169-74-X. Fundación Confemetal, Madrid.
- ASCER - Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos. <[www.ascer.es](http://www.ascer.es)>.
- Bekker P.C.F., 1982. A life-cycle approach in building. *Building and Environment*, 17(1):55–61.
- Benveniste G., Gazulla C., Fullana P., Celades I., Ros T., Zaera V., Godes B., 2011. Análisis de ciclo de vida y reglas de categoría de producto en la construcción. El caso de las baldosas cerámicas. *Informes de la Construcción* 63(522):71-81.
- Boustead I., 1972. *The milk bottle*. Open University Press. Milton Keynes.
- Boustead I., Hancock G.F., 1979. *Handbook of Industrial Energy Analysis*. Ellis Horwood Ltd.
- Boustead I., 1996. LCA - How it came about. The beginning in the U.K. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 1(3):147–150.
- CEN/TC 350. EN 15643-1:2010, Sustainability of Construction Works – Assessment of Buildings – Part 1: General Framework.
- CEN/TC 350. EN 15643-2:2011, Sustainability of Construction Works – Assessment of Buildings – Part 2: Framework for the Assessment of Environmental Performance.
- CEN/TC 350. EN 15643-3:2012, Sustainability of Construction Works – Assessment of Buildings – Part 3: Framework for the Assessment of social Performance.
- CEN/TC 350. EN 15643-4: 2012, Sustainability of Construction Works – Assessment of Buildings – Part 4: Framework for the Assessment of economic Performance.
- CEN/TC 350. EN 15804:2012. Sustainability of Construction Works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products.

- CEN/TC 350. EN 15978:2011 Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method.
- Comisión Europea. Communication from the Commission to the Council and the European Parliament on Integrated Product Policy. Building on Environmental Life-Cycle Thinking». Bruselas, (COM (2003) 302).
- Comisión Europea. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Taking sustainable use of resources forward: A Thematic Strategy on the prevention and recycling of waste. Bruselas, (COM (2005) 666).
- Comisión Europea. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Thematic Strategy on the sustainable use of natural resources. Bruselas, (COM (2005) 670).
- Comisión Europea. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the Sustainable Consumption and Production and Sustainable Industrial Policy Action Plan. Bruselas, (COM (2008) 397).
- Gluch P., Baumann H., 2004. The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision-making. *Building and Environment*, 39(5):571-580.
- Goedkoop M. and Spriensma R. (2000) «The Eco-indicator 99 : A damage oriented method for life cycle impact assessment», PRé Consultants, Amersfoort, The Netherlands, 142 p.
- Guinée J.B., Gorrée M., Heijungs R., Huppes G., Kleijn R., de Koning A., van Oers L., Wegener Sleeswijk A., Suh S., Udo de Haes H.A., de Bruijn H., van Duin R., Huijbregts, M.A.J. Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, 2002.
- Heijungs R., Huppes G., Guinée J.B., 2010. Life cycle assessment and sustainability analysis of products, materials and technologies. Toward a scientific framework for sustainability life cycle analysis. *Polymer Degradation and Stability*, 95(3):422-428.
- Hernandez P., Kenny P., 2010. From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB)». *Energy and Buildings*, 42:815-821.
- ISO 21930:2007 Sustainability in building construction – Environmental declaration of building products.
- Klöpffer W., 2008. Life cycle sustainability assessment of products. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(2):89-94.
- Langdon D., 2007. Life cycle costing (LCC) as a contribution to sustainable construction – Guidance on the use of the LCC Methodology and its application in public procurement. David Langdon, Management Consulting.
- Malmqvist T., Glaumann M., Scarpellini S., Zabalza I., Aranda A., Llera E., Díaz S., 2010. LCA in buildings: The ENSLIC simplified method and guidelines. *Energy*, 36(4):1900-07.
- Peuportier B., 2001. Life cycle assessment applied to the comparative evaluation of single family houses in the French context. *Energy and Buildings* 33:443-50.

- Proyecto singular estratégico CICLOPE - Análisis del impacto ambiental de los edificios a lo largo de su ciclo de vida en términos cuantificables de consumo energético y emisiones GEI asociadas. Subproyecto 2: Metodología de evaluación del impacto ambiental y económico de los edificios. Entregable E2.4.1.
- Sartori I, Hestnes AG., 2007. Energy use in the life cycle of conventional and low energy buildings: a review article. *Energy and Buildings* 39:249-57.
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural (EHE-08).
- Red de Universidades Valencianas para el fomento de la Investigación, el Desarrollo y la Innovación (RUVI). <<http://ruvid.webs.upv.es>>.
- Reglas de Categoría de Producto (RCP) para productos de recubrimiento cerámico RCP 002 Versión 1, 2010.
- Ros T., Celades I., Monfort E., Zaera V., Benveniste G., Cerdán C., Fullana i Palmer P., 2010. Impactos ambientales de ciclo de vida de las baldosas cerámicas. Análisis sectorial, identificación de estrategias de mejora y comunicación. Conama10 - Congreso Nacional del Medio Ambiente.
- Sleeswijk A.W., Van Oers L.F.C.M., Guinée J.B., Struijs J., Huijbregts M.A.J., 2008. Normalisation in product life cycle assessment: An LCA of the global and European economic systems in the year 2000. *Science of the Total Environment* 390 (1):227-240.
- Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). 1993. Guidelines for Life Cycle Assessment: A «Code of Practice».
- Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). 1996. Towards a Methodology for Life Cycle Impact Assessment.
- Thormark C., 2002. A low energy building in a life cycle-its embodied energy, energy need for operation and recycling potential. *Building and Environment* 37:429-35.
- Unión Europea, 2010. Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios /refundición).
- UNE-EN ISO 14040:2006. Gestión Ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia.
- UNE-EN ISO 14044:2006. Gestión Ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices.
- UNE-ISO 14025:2007. Etiquetas y declaraciones ambientales. Declaraciones ambientales tipo III. Principios y procedimientos.
- Weidema B.P., 2006. The Integration of Economic and Social Aspects in Life Cycle Impact Assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 11 (Special 1):89-96.
- Yohanis YG, Norton B., 2002. Life-cycle operational and embodied energy for a generic single-storey office building in the UK. *Energy* 27:77-92.
- Zabalza I., Aranda A., Scarpellini S., 2009. LCA in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. *Building and Environment*, 44:2510-20.





Imprimé sur papier recyclé à 100%.

## Projet EnerBuiLCA

### Analyse de Cycle de Vie pour l'Efficacité Energétique des bâtiments

#### Coordinateur:

- CIRCE -  
Centro de Investigación  
de Recursos y Consumos  
Energéticos



#### Participants:

- Cátedra UNESCO  
de Ciclo de Vida y  
Cambio Climático  
(ESCI-UPF)



- TECNALIA -  
Corporación tecnológica.  
Unidad de Construcción -  
División de Sostenibilidad



- iMat -  
Centro Tecnológico  
de la Construcción



- IAT -  
Instituto Andaluz  
de Tecnología



- CTCV - Centro Tecnológico  
da Cerâmica e do Vidro  
Direcção Geral Unidade  
de Ambiente e  
Sustentabilidade



- NOBATEK -  
Centre de Ressources  
Technologiques



- LNEG - Laboratório  
Nacional de Energia  
e Geologia, IP

