



CONNAISSANCE
DE L'**IMPACT**
ENVIRONNEMENTAL
DES **BÂTIMENTS** //
COIMBA 2011

**DÉVELOPPEMENT DES OUTILS D'ÉVALUATION
DE LA QUALITÉ ENVIRONNEMENTALE DES
BÂTIMENTS PAR ANALYSE DE CYCLE DE VIE**

S Y N T H È S E

AUTEURS : Nicolas Salmon, Lucie Duclos et Fabien Fillit : **NOBATEK** / Bruno Peuportier et Grégory Herfray : **ARMINES, CEP** / Jacques Chevalier, Nicoleta Schiopu, Sébastien Lasvaux et Alexandra Lebert : **CSTB** / Jean-Louis Sénégas et Renaud Mikolase : **IZUBA ÉNERGIES** / Olivier Sidler et Thierry Riesler : **ENERTECH**.

nobatek

ARMINES

CSTB

IZUBA
Énergies

ENERTECH

Le projet **COIMBA** est un projet de recherche collaborative ayant pour objectif le développement des outils d'évaluation quantitative de la qualité environnementale des bâtiments à travers l'analyse de cycle de vie, utilisables à différentes phases d'un projet de conception d'un bâtiment.

Les travaux réalisés dans **COIMBA** ont permis d'aboutir à une véritable maîtrise de la méthodologie ACV appliquée au bâtiment, par l'optimisation tant du contenu de l'analyse, que de sa précision et son adéquation aux besoins des concepteurs des bâtiments. Ces propositions ont été en partie intégrées dans les deux outils spécifiques Elodie et Equer (devenu növaEquer), offrant par conséquent la possibilité d'utiliser l'ACV pour évaluer plus précisément et plus facilement les impacts des bâtiments en phase conception. Les versions améliorées de ces outils ont également été évaluées par des analyses comparatives réalisées sur des bâtiments à faible consommation d'énergie.

COIMBA a ainsi validé la possibilité d'utiliser désormais l'ACV pour l'évaluation environnementale de bâtiments, pour une approche quantitative maîtrisée et complète.



Nobatek

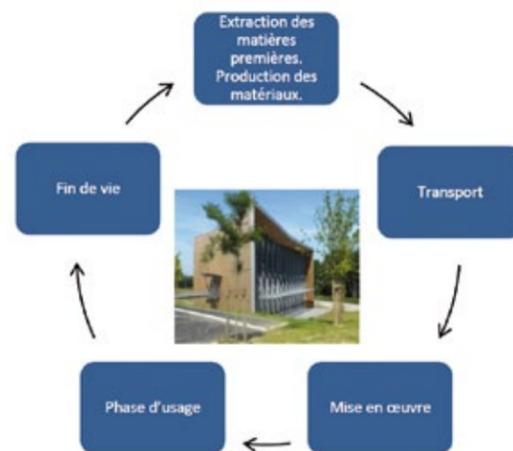
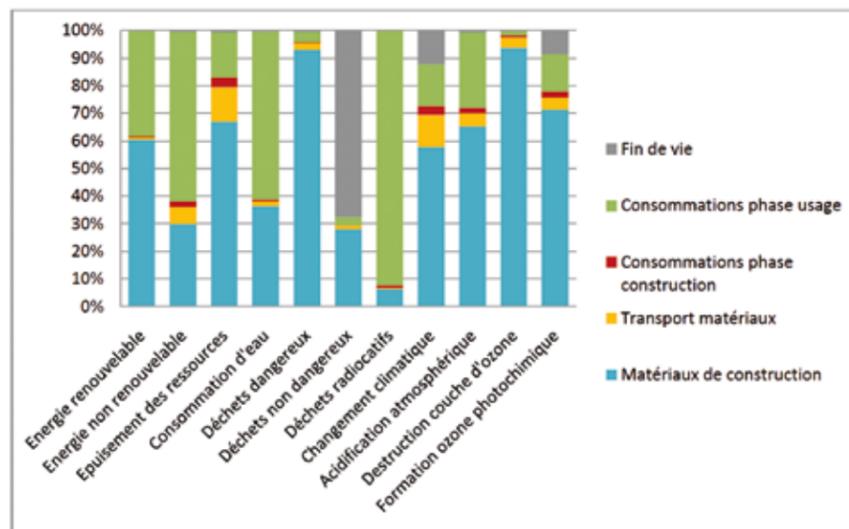
COORDINATION EXPERTISE ACV, APPLICATIONS PILOTES



Développements méthodologiques de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) de bâtiments : résultats du projet COIMBA

Le secteur de la construction évolue vers une prise en compte accrue des impacts environnementaux, ce qui implique la création d'outils d'aide à la décision permettant de répondre à ces enjeux. Les méthodes d'Analyse de Cycle de Vie, approches multicritères et globales, ne sont que difficilement applicables directement dans le secteur de la construction puisque les bâtiments sont des « produits » particuliers. D'une part leur complexité impose l'analyse de nombreux éléments différents pour lesquels les données ne sont pas souvent disponibles. D'autre part plusieurs aspects environnementaux ne peuvent être pris en compte dans ces analyses de par la difficulté à les quantifier et de par le manque d'indicateurs permettant de les traduire, c'est le cas aujourd'hui pour l'impact sur le site d'implantation, l'impact sur la qualité de l'air intérieur, ou encore l'impact lié à la satisfaction des usagers. Des outils spécifiques ont alors été développés pour le bâtiment. Face aux systèmes existants pour l'évaluation environnementale de bâtiments, plutôt centrés sur des approches qualitatives, ces derniers offrent l'avantage d'une analyse quantitative, c'est à dire que les résultats sont objectifs et permettent de réaliser des comparaisons. En revanche ils sont limités par les approximations imposées à de multiples étapes de calcul, que ce soit par la qualité des données, par les types de données disponibles, par les aspects environnementaux pris en compte, par la traduction des résultats (de l'inventaire) en impacts environnementaux, et éventuellement par des étapes supplémentaires, comme la normalisation. Cette synthèse reprend les principaux résultats du projet COIMBA, un rapport détaillé étant également disponible.

« Des outils spécifiques ont été développés pour le bâtiment. Ils offrent l'avantage d'une analyse quantitative ... »



1//INTRODUCTION

L'Analyse de Cycle de Vie (ACV), est un outil scientifique permettant de mesurer les impacts environnementaux liés au cycle de vie d'un produit ou d'un service. C'est une **méthode multicritère et multiétapes** pouvant servir à des démarches d'écoconception. Dans une ACV, **le cycle de vie complet du produit est analysé**, de l'extraction des matières premières jusqu'à la fin de vie (déchet ou recyclage), en passant par la fabrication des matériaux, leur assemblage, l'utilisation du produit, son entretien, etc. La procédure de réalisation d'une ACV est définie par les normes de la série ISO 14040 « Management environnemental - Analyse du cycle de vie ».

Depuis plusieurs années, le secteur de la construction fait l'objet d'une prise en compte croissante des aspects environnementaux. En effet, le parc immobilier résidentiel et tertiaire consomme 44% de l'énergie en France et constitue la 3^e source d'émissions de CO2 (23%). La prise en compte de la dimension environnementale est maintenant au cœur de l'actualité du secteur du bâtiment. En France, comme ailleurs en Europe, plusieurs démarches ont été mises en place pour répondre à cette problématique : Haute Qualité Environnementale (HQE®), Réglementation Thermique (RT 2005, RT 2012), Bâtiment Basse Consommation (label BBC-effinergie®), etc.

Les méthodes d'ACV ne sont toutefois que difficilement applicables directement dans le secteur de la construction puisque les bâtiments sont des « produits » particuliers. D'une part leur complexité impose l'analyse de nombreux éléments différents pour lesquels les données ne sont pas souvent disponibles. D'autre part plusieurs aspects environnementaux ne peuvent être pris en compte dans ces analyses de par la difficulté à les quantifier et de par le manque d'indicateurs permettant de les traduire, c'est le cas aujourd'hui pour l'impact sur le site d'implantation, l'impact sur la qualité de l'air intérieur, ou encore l'impact lié à la satisfaction des usagers. Des outils spécifiques ont alors été développés pour le bâtiment. Face aux systèmes existants pour l'évaluation environnementale de bâtiments, plutôt centrés sur des approches qualitatives, ces derniers offrent

« Parmi les outils étudiés, toutes les tendances, depuis "la boîte noire" jusqu'à l'outil le plus transparent, sont représentées. »

l'avantage d'une analyse quantitative, c'est à dire que les résultats sont objectifs et permettent de réaliser des comparaisons. En revanche ils sont limités par les approximations imposées à de multiples étapes de calcul, que ce soit par la qualité des données, par les types de données disponibles, par les aspects environnementaux pris en compte, par la traduction des résultats (de l'inventaire) en impacts environnementaux, et éventuellement par des étapes supplémentaires, comme la normalisation.

2//DÉVELOPPEMENTS MÉTHODOLOGIQUES

16 outils ont été étudiés lors de l'état de l'art du projet COIMBA. Les outils peuvent être gratuits, à licence payante, ou à accès et usage différenciés. Parmi les outils, on distingue **différents niveaux et différents types de chaînage**: des chaînages peuvent être établis entre des modules juxtaposés (dont le module "produits de construction" par exemple), ou des chaînages peuvent être établis entre plusieurs outils différents (ex: Equer qui est chaîné à l'outil Pléiades-Comfie).

« La description d'un bâtiment peut se faire à différentes échelles et avec différentes approches. »

La description d'un bâtiment peut se faire à différentes échelles et avec différentes approches. Un bâtiment peut être décrit comme une somme de matériaux, une somme de produits de construction ou une somme d'assemblages.

Les outils fonctionnent avec des bases de données internes, externes chaînées à l'interface, ou sans base de données. Certains outils, qui n'ont qu'un seul module produits de construction, ne délivrent qu'un facteur d'impact du bâtiment : la contribution des matériaux et produits de construction aux impacts à l'échelle de l'ouvrage. Certains outils sont plus avancés et intègrent des modules pour calculer les impacts lors de la vie en œuvre du bâtiment.

En revanche peu d'entre eux semblent traiter de façon approfondie la fin de vie des bâtiments. Parmi les outils étudiés, il semblerait que toutes les tendances, depuis « la boîte noire » jusqu'à l'outil le plus transparent, soient représentées.

→ Les outils expriment des résultats en s'appuyant sur les méthodologies normalisées : c'est le cas par exemple d'ELODIE qui se base sur des indicateurs issus des normes françaises (cf. tableau 1). Les critères évalués et les indicateurs calculés sont souvent issus de consensus, qu'ils soient normalisés ou scientifiques (ex : changement climatique).

D'autres indicateurs affichent, au contraire, une présence plus anecdotique (ex : qualité de l'air).

→ **Les indicateurs sont bien souvent le résultat de l'agrégation de données issues de l'ICV (Inventaire de Cycle de Vie).** Certains outils proposent pourtant un niveau d'agrégation des indicateurs plus élevé allant parfois jusqu'à un indicateur unique (avec pour objectif de fournir à l'utilisateur des résultats plus maniables avec le risque d'une perte d'information).

→ **Les résultats, exprimés sous forme de tableaux de résultats ou de graphiques** peuvent être donnés pour le cycle de vie complet d'un bâtiment ou pour chaque étape du cycle de vie ou encore pour l'ensemble du bâtiment ou pour des sections diverses de ce même bâtiment. Ils peuvent être exprimés avec différentes unités.

« ... Certains outils proposent un niveau d'agrégation des indicateurs plus élevé allant parfois jusqu'à un indicateur unique ... »

Tableau 1 : Les normes relatives à l'analyse de cycle de vie des matériaux de construction et des bâtiments

Echelle	France	Europe	International
Cadre méthodologique et principes généraux		NF EN 15643-1 (2011) Evaluation de la contribution au développement durable des bâtiments NF EN 15643-2, 3 et 4 pour évaluer les performances env., sociales, et économiques.	ISO 15392 (2008) Principes généraux du développement durable dans la construction ISO TS 21929-1 (2006) Indicateurs
Normes à l'échelle produit (Déclaration environnementale des produits de construction)	NF P01-010 (2004) Qualité env. des produits de construction	Pr EN 15804 (2011) Déclaration environnementale des produits de construction et règles communes d'élaboration	ISO 21930 (2007) Déclaration environnementale des produits de construction
Normes à l'échelle de l'ouvrage (évaluation de la performance du bâtiment)	NF P01-020-1 (2005) Qualité env. des bâtiments XP P01-020-3 (2009) Qualité env. des produits de construction et des bâtiments	WI 00350011 (2010) Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculation methods FprEN 15978	ISO 21931-1 (2010) Cadre méthodologique de l'évaluation de la performance environnementale des ouvrages de construction - Partie 1: Bâtiments

→ Parmi les 16 outils étudiés dans COIMBA tous ne s'adressent pas aux mêmes acteurs (architectes, BET, consultants, collectivités locales), ne répondent donc pas aux mêmes besoins et n'affichent pas tous la même transparence. Pour une majorité des outils observés, une documentation complète et détaillée est rarement disponible. Les outils proposent -pour l'essentiel- un cœur commun qui est l'agrégation des données environnementales (matériaux, produits, assemblages) pour obtenir des données à l'échelle de l'ouvrage. Les outils divergent en revanche sur le format et la méthode d'acquisition des données environnementales : acquisition automatique ou manuelle ; données à l'échelle matériaux, produit, ou assemblage ; données « from cradle to gate » ou « cradle to grave » ; adaptabilité des données. Ils divergent également sur l'expression des résultats, tant sur le fond (indicateurs renseignés) que sur la forme (présentation graphique).

Les outils semblent pouvoir se classer selon deux alternatives, en termes de méthodologie :

- l'outil se base sur des données d'ACV produits complètes (« from cradle to grave ») et l'utilisateur peut modifier les données s'il souhaite les personnaliser.
- l'outil se base sur des données d'ACV partielles (« from cradle to gate ») et l'utilisateur apportent les compléments nécessaires pour son cas d'étude (outil type EQUER)

Parallèlement au développement des outils, **les bases de données se sont étoffées**, que ce soit à l'échelle nationale ou Européenne.

Les bases de données ACV (Ecoinvent, Idemat, Buwal..), correspondant souvent au contexte européen, sont actualisées et complétées régulièrement. Il existe aujourd'hui des données sur un grand nombre de matériaux et produits de base, y compris pour la construction. Ces données ne sont en revanche pas toujours intégrables dans les outils spécifiquement consacrés au bâtiment et ne correspondent pas systématiquement aux produits français.

Dans le contexte français, **la base de données INIES regroupe un ensemble de Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES)** qui délivrent une information précise et complète sur les produits qu'elles concernent. Ces fiches sont réalisées selon la norme NF P 01-010 qui précise le cadre d'évaluation

« ... le projet COIMBA avait pour objectif de développer les outils d'évaluation quantitative de la qualité environnementale des bâtiments, utilisables dans une démarche de type HQE. »

de ces données et leur mode de représentation. La complexité des résultats ainsi déclarés (inventaire d'ACV) bloque cependant aujourd'hui leur utilisation, et le travail d'intégration de ces données dans des outils ergonomiques (tel qu'Elodie) est particulièrement profitable aux utilisateurs. Et puis à l'échelle européenne des déclarations environnementales existent également dans la plupart des autres pays et des travaux d'harmonisation de l'ensemble de ces données sont en cours.

Dans ce contexte, le projet COIMBA avait pour objectif de développer les outils d'évaluation quantitative de la qualité environnementale des bâtiments, utilisables dans une démarche de type HQE.

La principale innovation relève des réflexions menées autour d'un outil consensuel s'appuyant sur une mise en commun des connaissances scientifiques actuelles et alimenté par des données fiables, vérifiées et reconnues.

Cette démarche a abouti à une méthodologie globale capable de promouvoir l'approche française en matière de qualité environnementale des bâtiments.

Le projet COIMBA a permis d'améliorer deux outils d'ACV de bâtiments disponibles en France, Equer et Elodie, notamment en travaillant sur les approches méthodologiques.

3.1// PRISE EN COMPTE DES ASPECTS « EAU »

L'objectif des travaux menés était le **développement d'un modèle d'estimation des consommations d'eau domestique et d'un modèle de gestion des eaux pluviales**. En effet ces aspects n'étaient peu ou pas considérés dans l'ACV de bâtiments jusqu'alors.

Eau potable. Le modèle d'estimation de la consommation d'eau des bâtiments a été développé pour le secteur résidentiel et en se basant notamment sur les données disponibles auprès de différents organismes français chargés de la gestion d'eau et / ou de recherches (Centre d'Information sur l'Eau, l'Office International de l'Eau, etc.), les données statistiques de consommation d'eau en France disponible auprès de l'INSEE, et les textes réglementaires. Le développement du modèle a été réalisé en plusieurs étapes :
→ recensement détaillé des besoins en eau d'un bâtiment.

→ identification des équipements utilisateurs d'eau et leur caractéristiques de consommation.

→ identification et définition de la fréquence d'utilisation par type d'équipement et de la durée d'utilisation

→ en fonction de données statistiques sur l'utilisation et la consommation d'eau en France.

→ identification de tous les autres paramètres qui ont un impact sur la consommation d'eau d'un bâtiment (nombre d'occupants, la surface intérieure, la surface de l'espace vert, etc.).

→ définition des formules de calcul des consommations d'eau, avec prise en compte de coefficients spécifiques pour les équipements de réduction de débit. Pour les postes pour lesquels l'eau chaude sanitaire (ECS) est utilisée une distinction entre la consommation d'ECS et la consommation d'EFS est faite.

→ validation du modèle développé par la simulation et la comparaison avec des valeurs de mesures de la littérature. Pour une consommation « moyenne » on obtient par simulation à l'aide du modèle développé une valeur d'environ 44 m³ / an / personne, ce qui correspond à la consommation moyenne en France, d'après les données CIEau.

Au final les résultats de calcul sont exprimés sous forme de consommation d'eau en m³ par an et par personne; m³ par an et par bâtiment; m³ par personne, pendant toute la durée de vie du bâtiment; m³ par bâtiment, pendant toute sa durée de vie.

Eau pluviale. Les enjeux principaux de la gestion des eaux pluviales sur la parcelle sont la limitation du surdimensionnement des infrastructures d'assainissement, la réalimentation de la nappe (qui conditionne la préservation des ressources futures en eau), et la limitation des inondations et des pollutions liées au ruissellement.

Il s'agit de privilégier, dans l'outil, les dispositifs qui limitent les surfaces imperméabilisées pour assurer une infiltration directe à l'endroit où la pluie rencontre le sol, récoltent l'eau de pluie collectée sur les surfaces imperméabilisées pour l'utiliser ou la restituer, ou encore ceux qui retiennent l'eau et l'évacuent lentement. Il est difficile cependant de manifester par un seul indicateur l'ensemble des impacts relevant de ces problématiques. Le débit de fuite à l'exutoire de la parcelle constitue un indicateur pertinent de la gestion quantitative des eaux pluviales à la parcelle. Un module a été élaboré afin de déterminer le débit de fuite en sortie de parcelle. C'est un indicateur pertinent car sa réduction entraîne la limitation du surdimensionnement des réseaux et des ouvrages annexes. En revanche cet indicateur n'intègre pas les problématiques d'infiltration et de pollutions.

La récupération d'eau de pluie est également une technique qu'il convient d'intégrer dans les analyses. Cela a été considéré dans l'élaboration du module « consommation d'eau domestique », sur la base des données d'entrées suivantes :

- pluviométrie locale exprimé en mm/an
- surface de récupération exprimé en m²
- type de surface de récupération de l'eau de pluie,

« La récupération d'eau de pluie est également une technique qu'il convient d'intégrer dans les analyses. »

Les données d'entrées permettent d'afficher les informations suivantes :

- Mois
- Jour
- Précipitations (mm)
- Volume généré (m³)
- Besoin espace vert (m³/m²)
- Besoins autres (m³)
- Besoins
- Globaux (m³)

Les valeurs intermédiaires de sortie sont alors les suivantes :

- V - B
- (Volume généré - Besoins) (m³)
- Pertes (m³)
- Niveau cuve
- Apport réseau (m³)
- Consommations en eau pluviale récupérée (m³)

Les indicateurs principaux résultants et à retenir sont :

- l'apport par le réseau (m³/an),
- l'eau de pluie consommée (m³/an).

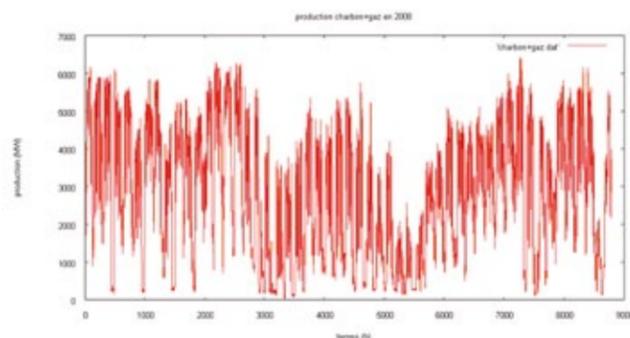
3.2// AMÉLIORATION DES ASPECTS "ÉNERGIE"

La prise en compte des aspects énergétiques est au coeur des approches environnementales de la construction. A l'échelle du cycle de vie, cela se traduit cependant par des simplifications importantes. Le projet COIMBA s'est employé à introduire de nouveaux facteurs de précision dans cette considération.

Les premiers travaux concernent l'**homogénéisation entre outil ACV et simulation thermique dynamique**. Afin de permettre l'évaluation des performances thermiques d'un bâtiment, il est nécessaire de préciser dans les unités fonctionnelles les propriétés physiques des matériaux (masse volumique, conductivité thermique, chaleur massique...). Il convient de s'assurer que les matériaux et produits utilisés dans l'ACV disposent de ces mêmes propriétés physiques. De même pour bien modéliser le fonctionnement de certains équipements, tels qu'une pompe à chaleur, il est important de bien connaître leurs caractéristiques de fonctionnement. **Il sera donc intéressant, lors de l'intégration de ce type de dispositifs dans un bâtiment, d'introduire dans l'analyse ACV les courbes de fonctionnement appropriées** (puissance calorifique en fonction de la température extérieure, COP en fonction du taux de charge), qui peuvent être obtenues par corrélation à partir de différents points de fonctionnement pour lesquels les différentes grandeurs sont connues.

Les PEP (Profils Environnementaux Produits) permettent, à l'échelle de l'ouvrage, cette estimation de la part d'énergie grise liée aux équipements énergétiques. Une autre approche menée partiellement dans le cadre du projet est celle de l'**ACV dynamique**. Le terme « ACV dynamique » fait référence d'une part à une ACV prenant en compte la variation de certains paramètres au cours du temps, d'autre part à des effets consécutifs. Cela peut s'appliquer en particulier au **mix énergétique** utilisé dans les calculs. En France RTE fournit depuis 2007 les données horaires de production d'électricité sur une année, en différenciant les modes de production (nucléaire, hydraulique, charbon+gaz, fioul+pointe).

Figure 1 : Production d'électricité au charbon et au gaz en France en 2008



Les pics de demande d'électricité, liés par exemple à l'usage de chauffage électrique, nécessitent la mise en route de moyens de production de pointe, en particulier des centrales thermiques engendrant de fortes émissions de CO₂.

Le mix dépend de la saison (et surtout de la température), du jour de la semaine et de l'heure. L'objectif était d'élaborer un modèle en exploitant les données disponibles pour l'année 2008. Cette démarche a été appliquée pour chaque mode de production, ainsi que pour la production totale, afin de déterminer des tendances d'évolution du mix énergétique. La prise en compte de la saisonnalité du mix peut permettre un calcul plus précis des indicateurs de changement climatique.

« La prise en compte de la saisonnalité du mix peut permettre un calcul plus précis des indicateurs de changement climatique. »

Trois morphologies spécifiques correspondant à une unité temporelle ont été déterminées :

Une tendance annuelle caractérisée par l'existence d'un minimum global au cours de la période chaude de l'année, par rapport auquel, au cours de cette même période, apparaissent un maximal local et une hausse globale de la production, qui correspond à l'utilisation de climatisation.

On observe aussi **une tendance hebdomadaire**, où la production d'électricité est maximale sur les cinq premiers jours (avec des maximums locaux dont la valeur reste quasiment constante), et une production dont l'importance est atténuée au cours du week-end. Cette tendance peut être considérée comme illustrant l'influence des usages professionnels de l'électricité, qui se superposent aux usages domestiques, qui eux apparaissent seuls (ou presque) pour les deux derniers jours de la semaine.

On observe enfin **une tendance journalière**, qui met en avant deux pics de production, l'un atteignant son maximum dans la journée à 13 heures, l'autre à 21 heures. Ces pics correspondent vraisemblablement à un usage domestique d'électricité, et devront donc être traités comme tels.

Ces observations appellent des travaux à venir sur la détermination de fonctions décrivant les différents types de production d'électricité, puis la formalisation mathématique de la relation entre usage et mode de production, qui servira de base à l'évaluation des impacts pour chaque type d'utilisation de l'électricité intervenant dans le bâtiment.

3.3// INDICATEURS

Une analyse a été menée sur l'utilisation des indicateurs « end-points », tels que l'usage du sol ou l'éco-toxicité, dans l'ACV de bâtiments.

Usage du sol. Ce type d'indicateur est encore peu utilisé aujourd'hui dans l'ACV de produits de construction et l'ACV de bâtiments de par sa complexité, sa dépendance aux spécificités locales et ses nombreuses hypothèses de calcul. Néanmoins une approche expérimentale avec ce type d'indicateur peut se révéler intéressante dans le but d'observer l'importance relative de l'impact de la parcelle et celle des matériaux. En effet la transformation et l'occupation d'un territoire (la parcelle) sont souvent imputées à la construction qui l'occupe, mais les matériaux de cette même construction sont aussi source de transformation et d'occupation du territoire.

L'indicateur « usage du sol » a été développé initialement par le ministère des transports, travaux publics et gestion de l'eau des Pays-Bas en 1998. Cette méthode a été intégrée pour l'ACV dans l'indicateur Eco Indicator. On le retrouve également intégré dans des versions particulières dans les indicateurs Impact 2002+ et CML 2001. Tous les processus inclus dans Ecoinvent intègrent dans leur inventaire la notion de transformation et occupation du sol.

Nous avons modélisé **deux types de bâtiments** avec, pour chacun d'eux, **trois systèmes constructifs : structure en béton, structure en acier et structure en bois**. Les deux bâtiments répondent au même cahier des charges, mais ont différentes formes qui leur procurent une occupation différente de la parcelle : l'un est vertical avec une emprise au sol faible et six niveaux, l'autre est horizontal avec une emprise au sol plus importante sur deux niveaux. Ces différences structurelles impliquent également des différences dans les quantités de matériaux utilisés pour chaque type de système constructif.

Les résultats montrent que **l'impact sur l'usage du sol est très dépendant des matériaux utilisés**. Ceux-ci sont à l'origine de plus de 50% des impacts hormis dans le cas du bâtiment horizontal en structure béton.

Les différences de matériaux dans les systèmes constructifs ont d'importantes consé-

« ... les matériaux de construction sont aussi source de transformation et d'occupation du territoire ... »

« ... il est important d'intégrer la dimension matériaux et produits dans une analyse d'impact sur la biodiversité et non seulement celle de la parcelle ... »

quences. Le béton est peu impactant alors que le bois est à l'inverse très impactant. Ceci s'explique par les larges surfaces de forêt occupées pendant de longues périodes de temps pour l'exploitation forestière. Le choix privilégié de la verticalité reste pertinent dans les trois cas.

L'impact des matériaux est prédominant sur celui généré par la transformation et l'utilisation de la parcelle : cet indicateur tend à montrer qu'il est important d'intégrer la dimension matériaux et produits dans une analyse d'impact sur la biodiversité et non seulement celle de la parcelle. En revanche il semble particulièrement pénalisant pour le bois : il serait alors opportun sur ce point de réaliser des analyses d'incertitude complémentaires et d'intégrer des facteurs de différenciation plus marqués selon le type de gestion utilisé pour la forêt à l'origine du bois.

Santé humaine / Ecotoxicité.

Les indicateurs caractérisant les impacts sur la santé et ceux liés à l'écotoxicité sont des indicateurs relativement élaborés, dont le calcul dépend de nombreuses données, hypothèses et modèles. Une attention toute particulière doit être apportée à tous ces facteurs d'incertitudes et à la rigueur des méthodes employées. Plusieurs analyses critiques et études des méthodologies existantes ont déjà été menées, notamment dans le cadre du projet ILCD (International Life Cycle Database), pour lequel certaines recommandations ont été émises.

La collecte des données représente un facteur d'incertitude assez important, la transparence et la représentativité de celles-ci doivent être la plus élevée possible.

Le but d'un indicateur sur la santé humaine est de quantifier les modifications concernant la mortalité et la morbidité générées par les émissions de substances intervenant dans le cycle de vie d'un produit ou un procédé.

L'indicateur DALY, issu de la méthode Eco-Indicator 99, permet ce type d'évaluation. C'est un indicateur orienté dommages, basé sur une modélisation de l'évolution et des effets des substances émises dans l'environnement.

Le groupe de travail du projet ILCD recommande d'utiliser l'indicateur DALY, qui permet de combiner des informations qualitatives et quantitatives sur la santé, lorsque les dommages sont causés par plusieurs facteurs de stress liés à l'environnement, agrégés en un unique indicateur d'impact. Le calcul

du DALY devrait préférentiellement être mené sans pondération d'âge, ni d'actualisation.

Si l'état des services de santé actuels entre en compte dans l'évaluation d'un DALY spécifique à une maladie, il sera important de prendre en compte les éventuels effets rebonds et de spécifier la méthodologie correspondante utilisée dans l'ACV. On notera de plus que le point de départ de l'analyse portant sur la santé humaine, la valeur intrinsèque d'une vie humaine, est soumis à débat.

Il est de plus recommandé d'effectuer certaines analyses de sensibilité de l'indicateur DALY afin de déterminer l'influence de différents paramètres :

→ Donner les valeurs des YLL1 et YLD2 séparément permettra ainsi d'évaluer l'influence de la pondération des différentes pathologies dans le calcul du DALY

→ L'application optionnelle d'une pondération suivant l'âge et une actualisation selon un taux standard de 3 % fournira des informations sur l'importance de ces paramètres.

L'éco toxicité concerne les écosystèmes naturels, leurs fonctions et leurs structures. Sont considérés comme des dommages tous les changements intervenants de façon incontrôlée dans l'écosystème suite à la mise en œuvre du système (ainsi dans le cas d'une station d'épuration, les impacts positifs sur l'environnement de la structure interviennent dans la phase d'inventaire, et pas dans l'évaluation des dommages), consécutivement à une exposition à des produits chimiques ou à une transformation physique. Parmi plusieurs méthodes, seule une approche cherchant à déterminer les effets sur la diversité en termes de population semble suffisamment développée pour être appliquée à une ACV bâtiment. La **méthode du PDF³** semble la plus adaptée à ce type d'analyse.

Cette méthode, en caractérisant la disparition ou le stress ressenti par une espèce, de façon réversible ou irréversible, sur une certaine zone et durant une période donnée, permet une bonne cohérence avec les conditions aux limites d'une ACV, qui peut concerner une petite unité fonctionnelle, avec peu d'information sur les conditions de stress ressenties par l'écosystème considéré découlant des effets d'un autre système. Néanmoins cet aspect peut constituer une des lacunes de la méthode, et les facteurs utilisés pour l'obtention des autres indicateurs nécessitent des études plus poussées.

Pour pallier ces difficultés et lacunes, **une solution pourrait être le couplage des approches ACV avec les approches d'évaluation des risques sanitaires (HRA – Health Risk Assessment) et les approches d'évaluation des risques écologiques (EDR ou ERA – Ecological Risk Assessment).**

1 : Years of Life Lost / 2 : Years Lived with Disability
3 : Potentially Damage Fraction of species

« ... l'avenir est peut être à l'utilisation dans l'ACV d'une approche simplifiée utilisant des indicateurs environnementaux dits « midpoint » et au couplage de l'ACV avec des évaluations de risques sanitaires et environnementaux ... »

Une autre option consiste à utiliser des **flux localisés** (selon la densité de population du site d'émission), ce qui permettrait de comparer sur la base d'indicateurs communs un projet induisant davantage d'émissions locales à une variante induisant des émissions ailleurs.

3.4// DONNÉES ET SIMPLIFICATION DES INVENTAIRES

Bases de données. Il existe différents types de bases de données d'ACV : bases de données d'inventaire, et bases de données d'écoprofiles (EPD, FDES...).

Au final pour faire l'ACV d'un bâtiment ou d'un produit de construction, il faut souvent utiliser différentes sources de données. Que ces bases stockent des inventaires ou des écoprofiles, elles utilisent comme référence dans le meilleur des cas uniquement la norme ISO14040 ce qui est insuffisant pour assurer leur cohérence.

Deux approches se confrontent : des données de matériaux et de process (par exemple Ecoinvent), ou des données sur des produits de construction (par exemple la base INIES).

La première catégorie s'adresse à des praticiens plus expérimentés de l'ACV, qui vont pouvoir construire le cycle de vie du bâtiment en assemblant des matériaux et process génériques. Les données utilisées sont le plus souvent des données génériques et il est indispensable de bien maîtriser le contenu des données afin de faire les assemblages opportuns entre matériaux et processus.

La seconde catégorie de données est basée le plus souvent sur les systèmes de déclaration environnementale de produit (ISO 14025, EPD), tel que les FDES en France, mis en place dans chaque pays (ainsi qu'à l'échelle européenne depuis peu). Les données correspondent à des produits spécifiques disponibles sur le marché et les déclarations sont le plus souvent

Ainsi l'avenir est peut être à l'utilisation dans l'ACV d'une approche simplifiée utilisant des indicateurs environnementaux dits « midpoint » et au couplage de l'ACV avec des évaluations de risques sanitaires et environnementaux pour évaluer correctement les systèmes sur les aspects santé et écotoxicité.

réalisées suivant un cadre normalisé (et renvoyant aux normes de l'ACV de la série ISO 14040). Ces données permettent une lecture plus aisée aux praticiens de l'ACV pour identifier le produit correspondant à leur besoin. Cependant **le peu de données encore disponibles, comparativement à la multitude de produits sur le marché, et les champs d'application très précis peuvent imposer des extrapolations hasardeuses.**

Ces bases de données ont des origines diverses :
→ travaux de production de données réalisés par des instituts de recherche ou des centres spécialisés dans l'ACV,
→ déclarations d'industriels ou de groupements d'industriels,
→ compilation d'ACV réalisées de façon dispersée.

Parmi l'ensemble des bases de données identifiées, nous en avons retenues 13 qui proposent des données pertinentes et actualisées pour le secteur de la construction : INIES, Ecoinvent, DEAM, IVAM, GEMIS, IBU, ELCD, Athena, US LCI Datatbase, IBO, GaBi, CPM LCI Database, EIME. Ces bases de données mettent à disposition des informations sur près de 650 types de matériaux ou produits et 250 données sur des systèmes actifs. Même s'il convient de ne pas mélanger ces données pour une même analyse, cette grande quantité de données démontre le potentiel croissant de réalisation d'ACV de bâtiment aujourd'hui.

« Parmi l'ensemble des bases de données identifiées, nous en avons retenues 13 qui proposent des données pertinentes et actualisées pour le secteur de la construction... »

Simplification des inventaires. A l'heure actuelle, les bases de données d'ACV les plus complètes (souvent des bases de données génériques) considèrent **plusieurs milliers de flux élémentaires potentiels pour chaque donnée.** A l'opposé, les bases de données les plus synthétiques (correspondant souvent à des données spécifiques à une catégorie de produit) réduisent le nombre de flux de l'inventaire à **quelques dizaines.** Ces formats ou modèles d'inventaires différents entraînent bien souvent une propagation de ces hétérogénéités jusqu'à la phase de caractérisation des impacts. Or, **ces hétérogénéités peuvent entraîner des erreurs à plus large échelle** notamment pour la comparaison de variantes de systèmes constructifs ou de bâtiments.

Au cours du projet COIMBA, nous avons considéré trois modèles d'Inventaire de Cycle de Vie (ICV) respectivement repris par les bases de données Ecoinvent, DEAM et INIES se basant sur la norme NFP01-010.

La figure 2 représente les étapes de la simplification des flux élémentaires entre chacun des trois modèles d'ICV. Ces étapes sont illustrées en prenant quelques flux élémentaires d'émission dans l'air. Dans un souci d'alléger la figure, seul le flux « styrène » est représenté pour la partie Ecoinvent.

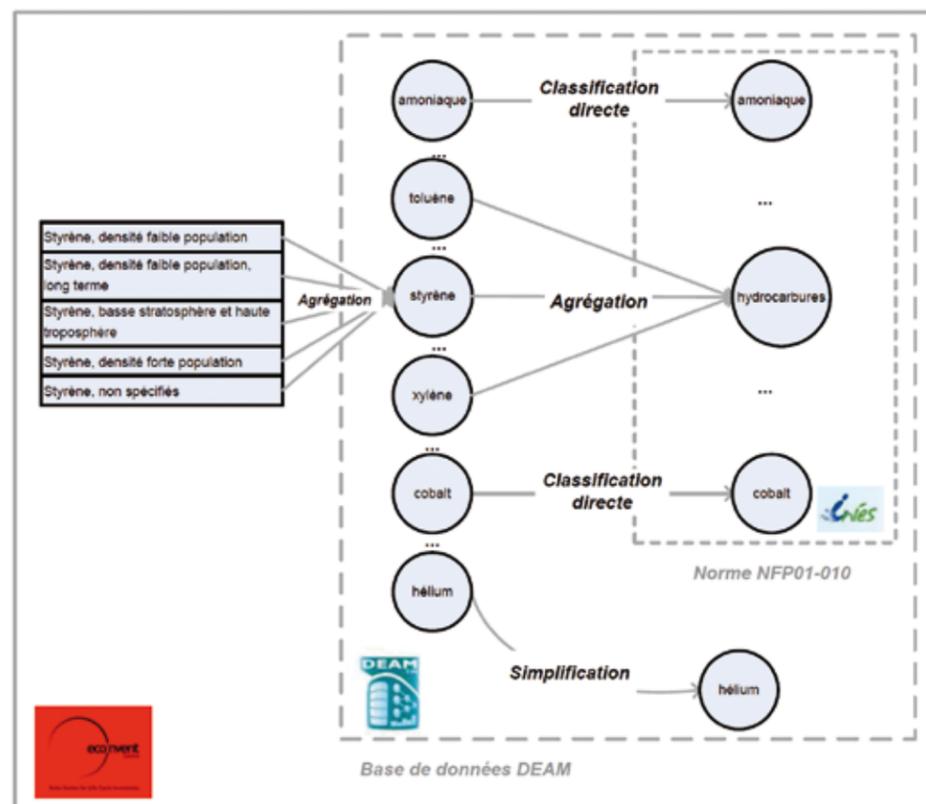


Figure 2 : Exemple de la démarche de simplification des inventaires sur quelques flux

« Nous avons pu ainsi mettre en avant l'une des limites de l'inventaire simplifié tel que présenté dans la norme NF P01 010 ».

particulièrement élevé, ici les dioxines, sont classées dans une catégorie ne tenant pas compte de cette particularité. Ce mode de classement conduira donc nécessairement soit à une sous-évaluation du caractère toxique de ces substances, soit à la surévaluation de l'impact sur la santé de l'ensemble de la catégorie considérée, ce en fonction de la méthode choisie pour calculer le facteur de caractérisation de la catégorie. Dans l'optique d'intégrer des aspects santé à une évaluation des impacts d'un système, il pourrait donc être judicieux de mieux intégrer les aspects sanitaires lors de la simplification des inventaires, en établissant les catégories en tenant compte des caractéristiques toxicologiques des substances.

Au total, cette démarche de simplification de la norme NFP01-010 permet de considérer non plus 4000 lignes de flux d'inventaire (Ecoinvent) ni même 600-1000 lignes (DEAM) mais « seulement » 171 lignes.

Un travail d'analyse comparative des inventaires Ecoinvent et NFP01-010 a été mené. Ce travail a été restreint aux indicateurs de toxicité. En effet, ce type d'indicateur est généralement sensible aux nombres et types de flux d'inventaire sélectionnés. Nous nous sommes basés pour cela sur les indicateurs « dommages sur la santé (DALY) » et « pollution de l'air (PA) », calculés pour deux types de revêtements de sols (bois et PVC) en construisant un nouvel inventaire à partir de données Ecoinvent agrégées suivant la méthodologie des FDES.

Nous avons pu ainsi mettre en avant l'une des limites de l'inventaire simplifié tel que présenté dans la norme NF P01 010. En effet la catégorisation des substances ne permet pas de calculer l'indicateur DALY de façon pertinente et cohérente, puisque certaines substances, qui présentent un caractère toxicologique

3.5// PÉRIMÈTRE

Une analyse a été menée sur le périmètre d'étude à utiliser pour une ACV de bâtiment. Nous présentons ici les observations réalisées sur le traitement de la fin de vie. La modélisation du recyclage fait aujourd'hui

appel à de nombreuses méthodes hétérogènes tant sur leurs philosophies que sur les résultats auxquels elles conduisent. En fonction de l'objectif de l'outil d'ACV de promouvoir la recyclabilité et/ou d'évaluer un recyclage effectif, les résultats ne seront pas identiques.

« La modélisation du recyclage fait aujourd'hui appel à de nombreuses méthodes hétérogènes tant sur leurs philosophies que sur les résultats auxquels elles conduisent. »

Les méthodes existantes peuvent être classées par rapport à un ensemble de critères de modélisation du recyclage. Dix critères ont été définis dans le cadre de ce travail :

- C1 : Définition des frontières du système (quelles sont les règles d'allocation au niveau du recyclage)
- C2 : Choix retenu pour l'évaluation environnementale (attributionnelle, différentielle ou conséquentielle ?)
- C3 : Forme de « recyclage » évaluée (recyclage effectif et/ou recyclabilité)
- C4 : Type de recyclage pris en compte (boucle ouverte et/ou fermée)
- C5 : Partage de la responsabilité environnementale entre deux produits (allocation ?)
- C6 : Statut du déchet valorisé en fin de vie du système bâtiment
- C7 : Complétude du cycle de vie et autoportance du modèle de recyclage (dépendance au niveau des cycles de vie amont et aval ?)
- C8 : Gestion des incertitudes associées aux procédés en fin de vie (scénarios de prudence ou scénario probabiliste)
- C9 : Implication de l'évaluation du recyclage sur l'inventaire de cycle de vie
- C10 : Implication de l'évaluation du recyclage sur les indicateurs d'impacts
- C11 : Implication sur le processus d'aide à la décision

Les approches de recyclage existantes peuvent être regroupées en trois familles conceptuellement bien distinctes : soit **A1 les approches par règles de coupures temporelles dites « cut-off »** qui considèrent uniquement un mix moyen de production avec un certain taux d'incorporation ; **A2 les approches par impacts évités « avoided burden »** qui considèrent la boucle de recyclage entre la fin de vie et la production d'un matériau comme un bonus qu'il convient ensuite d'affecter ; et enfin **A3 les approches en stocks « stock flow »** qui partent du principe de l'existence de stocks de matières premières secondaires (MPS).

A ce jour, l'outil EQUER se base sur une méthode de prise en compte du recyclage de la famille A2 tandis qu'ELODIE, qui utilise les FDES pour prendre en compte le recyclage, s'appuie sur une approche de la famille A3.

Devant la complexité et les incertitudes associées à la fin de vie, une approche de scénarios contemporains semble être bien adaptée bien que probablement conservatrice. Sur la base des statistiques actuelles de fin de vie de matériaux et produits de construction, des taux peuvent être définis et appliqués. Il peut être également intéressant lors de ce travail d'adapter les scénarios de fin de vie non pas relativement au type de matériau mais au type d'usage.

Il est également intéressant d'étudier à côté des scénarios conventionnels, des scénarios dits probabilistes. Ceci en faisant l'hypothèse que lorsque le bâtiment arrivera en fin de vie les technologies et procédés de fin de vie se seront améliorés notamment pour ce qui concerne le recyclage. Le test de ces scénarios probabilistes peut par exemple se faire dans le cadre d'une étude de sensibilité des résultats pour tester leur robustesse.

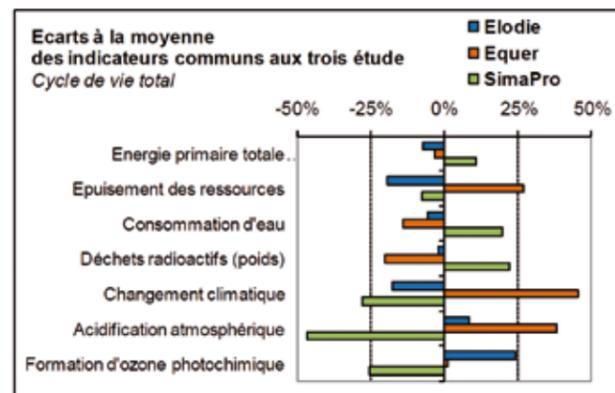
3.6// ÉVALUATION DE CAS PILOTES

Certains éléments méthodologiques cités ou proposés précédemment ont conduit à une évolution de deux logiciels d'ACV français : EQUER (Izuba Energies - Armines) et ELODIE (CSTB).

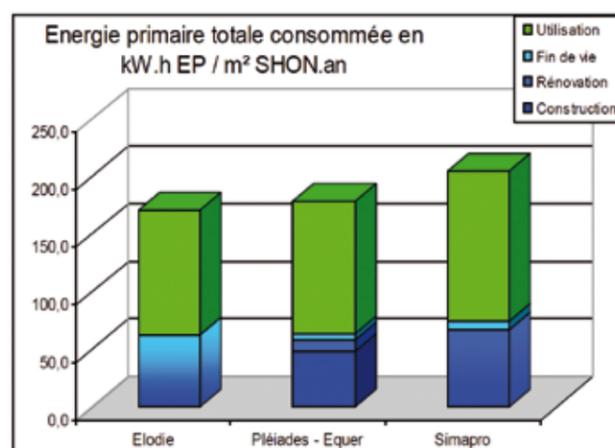
Ces deux outils, ainsi que le logiciel SimaPro ont ensuite été testés et comparés à travers l'étude d'un cas pratique : la construction d'un logement neuf individuel (dans la ZAC des Hauts de Feuilley, à St Priest (Fr)) d'un niveau de performance équivalent au PassivHaus allemand. Cette maison, d'une surface habitable de 149 m², a été construite en ossature bois. Sa toiture accueille 6 m² de capteurs solaires thermiques et 12 m² de capteurs photovoltaïques.

L'objectif de cette analyse était d'observer l'utilisation en situation réelle de ces solutions d'ACV bâtiment, avec tous les facteurs de complexité et d'imprécision inhérent à la réalité des pratiques : trois outils utilisés par trois praticiens ACV.

L'ensemble des données « matériaux » a été fourni par Enertech, ce qui a permis d'établir une base commune. Ces données provenaient de la description du projet en phase chantier. Concernant les consommations énergétiques durant la vie en œuvre, le CSTB a utilisé sur ELODIE un calcul réalisé par Enertech, Nobatek a fait de même sur SimaPro, et Armines a réalisé une simulation sur Comfie-Pléiade (prenant en compte surfaces vitrées et ponts thermiques).



Figures 3 et 4 : Résultats comparatif de l'ACV d'un bâtiment réalisés par trois couples outils/praticiens



Cette analyse montre des décalages qui peuvent être importants entre les résultats délivrés par chaque couple outil/praticien. Les écarts restent faibles pour les indicateurs les plus simples tels que la consommation d'énergie ou la consommation d'eau, mais s'amplifient pour les indicateurs mettant en jeu de nombreux flux et/ou de nombreuses agrégations tout au long du cycle de vie. **Les différents écarts de résultats observés entre les outils, peuvent être liés à plusieurs sources d'incertitude** (qui peuvent s'accumuler) :

- 1^{re} couche d'incertitude induite par **les inventaires** (simplifications, précision...)
- 2^e couche d'incertitude induite par **le logiciel** (mode de calcul, indicateurs)
- 3^e couche d'incertitude induite par **la pratique/l'utilisateur** (élaboration du métré, hypothèses sur le cycle de vie, base de données utilisées...)

Mais la comparaison des résultats d'outils logiciels comme SimaPro, EQUER ou ELODIE sur un bâtiment réel reste complexe en raison de la diversité des matériaux pris en compte, des hypothèses de modélisation à tous les niveaux et de l'effet boîte noire.

CONCLUSION

L'ACV se développe dans le secteur de la construction, notamment en France avec des outils spécifiques tels qu'EQUER ET ELODIE qui permettent depuis peu de prendre en compte le cycle de vie complet d'un bâtiment. De nouvelles normes, réglementations et référentiels intégrant l'ACV de bâtiments supportent ce développement. Par ailleurs, les bases de données de produits de construction, telles qu'INIES, proposent un panel de produits toujours plus larges et en croissance.

Le projet COIMBA a permis de mettre en évidence de nombreux points méthodologiques à harmoniser pour une approche consensuelle utilisable par tout utilisateur. Ces propositions ont en partie été intégrées dans les outils Equer et Elodie, offrant désormais la possibilité de d'utiliser l'ACV pour évaluer les impacts de bâtiments en phase conception de façon plus précise et aisée.

En revanche la comparaison de plusieurs outils dans un contexte complexe, mais représentatif de la réalité des pratiques, révèle de nombreux écarts entre résultats. On retrouve au coeur du problème la qualité des données utilisées, mais les aspects pratiques (niveau de maîtrise de l'ACV, source initiale des données, maîtrise réelle du périmètre d'étude, etc.) génèrent également des déphasages majeurs malgré la diffusion des normes cadrant ces pratiques.

Il semble en conséquence essentiel de bien définir un cadre pour la réalisation des inventaires, et de continuer à travailler sur la transparence des bases de données. Il faut par ailleurs éviter de réaliser des comparatifs entre bâtiments sur la base d'outils différents. Enfin ces conclusions appellent de nouvelles recherches centrées sur la pratique ACV afin d'identifier, dans le contexte d'analyses ACV approfondies sur des cas réels, les leviers de maîtrise des incertitudes, qu'ils soient à l'échelle des bases de données, des outils, et surtout des pratiques.

« Les écarts restent faibles pour les indicateurs les plus simples tels que la consommation d'énergie ou la consommation d'eau, mais s'amplifient pour les indicateurs mettant en jeu de nombreux flux et/ou de nombreuses agrégations tout au long du cycle de vie. »

pour tout renseignement :
Iduclos@nobatek.com

