

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mohamed Khider – Biskra  
Faculté des Sciences et de la technologie  
Département d'Architecture  
Ref : /2013



جامعة محمد خيضر بسكرة  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
قسم: الهندسة المعمارية  
المرجع: /2013

Mémoire présenté en vue de l'obtention  
Du diplôme de  
**Magistère**

**Option: Architecture, forme, ambiances et développement durable.**

**Analyse de cycle de vie comme outil pour  
le développement d'une stratégie de  
construction durable.**

Présenté par :

**M<sup>me</sup> DJEFFAL Asma**

Soutenu publiquement le 02 Juillier 2013

**Devant le jury composé de :**

**Pr. ALKAMA Djamel ; Président ; Université de Biskra**

**Pr. ZEMMOURI Noureddine ; Directeur de mémoire; Université de Biskra**

**Pr. MOUMI Abdelhafid ; Examineur; Université de Biskra**

**Dr. BENABBAS Mosaddek ; Examineur; Université de Biskra**

**Mots clés :** Analyse de cycle de vie « ACV, LCA », développement durable, stratégie de construction durable, impacts environnementaux.

### **Résumé :**

L'analyse du cycle de vie constitue l'une des composantes du système global d'évaluation environnementale et fait partie des études et stratégies permettant de dresser un bilan de la situation environnementale d'un projet, d'un pays etc. et de structurer les interventions nécessaires. Conçue en effet comme un outil qui permet de répertorier l'usage des ressources et la production des déchets tout au long du cycle de vie d'un produit, l'analyse du cycle de vie est présentée depuis le début des années 2000 comme un outil de développement durable. Il s'agit d'une analyse multicritères et non pas d'une analyse se basant sur un seul point de vue qui bien sûr serait choisi à l'avantage de celui qui commande l'évaluation. En effet, non seulement différents impacts environnementaux sont envisagés, mais on mesure aussi l'apport de matières premières et la consommation d'énergie. La vision n'est donc pas restreinte à la seule question des pollutions mais s'étend aussi à la gestion des ressources.

Et comme le secteur de bâtiment est responsable d'un plus d'un tiers de la consommation énergétique et de près d'un tiers de la pollution, il est au cœur de la problématique environnementale, ça fait un appel urgent à y intervenir en accentuant sur la notion de durabilité avec ses trois piliers et développer une stratégie de construction durable qui passe impérativement par plusieurs étapes passant par l'avant projet, le bilan énergétique, le choix de systèmes constructifs et le choix des matériaux à utiliser, elle s'aboutit avec une décision finale qui précède l'exécution.

La méthode jouit d'une certaine standardisation grâce aux normes dont on distingue 4 étapes type pour chaque analyse de cycle de vie :

- principes et structure
- but et étendue, analyses d'inventaire
- évaluation d'impact du cycle de vie
- interprétation du cycle de vie

**Keywords:** Life Cycle Assessment, building sustainability, sustainable development, environmental impacts.

## **Abstract:**

Life cycle assessment is a component of global system of environmental evaluation and it is part of studies and strategies that permits taking stock of a project's environmental situation, and programming necessary interventions.

It was put as a device to guide the natural resources and resulting wastes along any product life cycle, since 2000's "LCA" was represented as a tool of sustainable development.

It is concerned with multi-criteria analysis and not a single viewpoint based analysis, which give it a quality of precision. In fact , not only different environmental impacts appear but also through LCA we measure the contribution of raw materials and energy consumption.

Life cycle assessment policy is not restricted to pollutions problem; but it expends to resources managing.

Since the building sector consumes more than a third of energy; and it is responsible of nearly a third of pollution causes , it situated in the core of environmental challenge, and this makes an urgent call for intervention highlighting sustainability notion with its three pillars.

The method enjoys some kind of standardization thanks to certain norms so we distinguish four stages for each life cycle Assessment

- 1- Goal and scope definition
- 2- Inventory analysis
- 3- Impact assessment
- 4- Interpretation

Life cycle assessment is a means of help with decision taking and not a means of decision making; moreover many obstacles prevent LCA from being universal tool.

To conclude with, life cycle assessment has many advantages but its results are hardly used by common people and they are to be studied in detail, and it usually can not be transferred to many cases. That requires many LCAs which is really hard to fulfill because LCA is a long and tiring process.

**الكلمات المفتاحية:** تقييم دورة الحياة، التنمية المستدامة، إستراتيجية بناء مستدام، آثار بيئية.

## ملخص:

تعد طريقة تقييم دورة الحياة إحدى الطرائق الهامة للتقييم البيئي حيث تسمح بقولبة وضعية المنتجات أو المشاريع تجاه البيئة على المدى الاستراتيجي .

أصبحت هذه الطريقة التي تعد حديثة النشأة من أهم وسائل التنمية المستدامة منذ بدايات الألفية الثانية و قد طوّرت لتكون أداة لفهرسة الموارد الطبيعية و النفايات الناتجة طيلة دورة حياة المنتج المدروس.

إن طريقة تقييم دورة الحياة هي طريقة متعددة المعايير ولا تعتمد على وجهة نظر واحدة إذ عادة ما تكون مختارة لفائدة صاحب المنتج موضوع التقييم. ولا تنحصر فوائدها في معرفة الآثار السلبية على البيئة ومدى التلوث و طرح النفايات بل تمتد إلى حساب كمية و إدارة المواد الأولية المستعملة و الطاقة المستهلكة.

نظراً لأن قطاع البناء مسؤول عن استهلاك أكثر من ثلث الموارد الطاقوية والمسبب لما يقارب ثلث التلوث على الصعيد العالمي فهو في صميم الإشكالية البيئية مما يستدعي التدخل من أجل تنمية مستدامة بالاعتماد على ركائزها الثلاث و كذا السعي نحو تطوير إستراتيجية للبناء المستدام الذي يمر بعدة مراحل ابتداء من الدراسة الهندسية مروراً بالتحليل الطاقوي واختيار النظام البنائي و مواده ووصولاً إلى قرار نهائي ينتهي بالتنفيذ

إن طريقة تقييم دورة الحياة تتمتع بنوع من النمطية حيث أنها تمر بأربع مراحل:

- 1- أهداف و مجال الدراسة
- 2- جرد مدخلات و مخرجات دورة الحياة
- 3- تقييم الآثار البيئية
- 4- عرض النتائج

إن طريقة تقييم دورة الحياة هي وسيلة للمساعدة في عملية اتخاذ القرار وليست وسيلة لصنع القرار ، زيادة على هذا هناك العديد من العراقيل التي تمنع هذه الطريقة من ان تكون وسيلة عالمية .

إن لطريقة تقييم دورة الحياة العديد من الفوائد ولكن بالكاد يتم استعمالها من طرف عامة الناس مما يجعلها محل دراسة مفصلة ، وهي عادة لا يمكن تحويلها إلى العديد من الحالات ، وهذا ما يتطلب أنواعاً عدة منها بحيث يصعب حقا الإحاطة بها لان هذه الطريقة عملية طويلة ومعقدة .

## REMERCIEMENTS

*Ce modeste travail a été établi avec la miséricorde du Bon Dieu*

Je tiens à remercier toutes celles et ceux qui ont participé de près ou de loin à me soutenir tout au long de ces travaux du mémoire de magistère. En premier lieu, je remercie mon directeur de recherche, le professeur Nouredine ZEMMOURI qui m'a guidée dans ma recherche et me fait découvrir l'analyse du cycle de vie.

Un remerciement particulier à tous nos enseignants de l'année théorique 2009/2010 de la post-graduation option : Architecture, formes, ambiances et développement durable sans oublier tous les responsables du département d'architecture à l'université de Mohammed KHIDHER de Biskra.

Mes amies venues de tous horizons ont été un soutien central et déterminant qui a grandement contribué à ma réussite. Chacun à sa manière, ils m'ont toutes soutenue en aiguillant ma curiosité, en partageant leurs expériences et en me donnant l'énergie de continuer au quotidien comme dans les moments difficiles. En bref, ils m'ont fait me sentir à l'aise pendant mes études.

Un grand merci à Houcine CHOUGUI qui m'a assuré la disponibilité du plus important ouvrage bibliographique dans ce mémoire.

Je réserve une place particulière dans ces remerciements à mon père, ma mère et ma grand-mère ainsi toute ma famille à qui je dois d'avoir pu réaliser les études que j'ai souhaitées. Enfin, un remerciement spécial à mon mari qui a su me pousser quand il le fallait, et qui a été une vraie source de soutien moral et matériel.

Ce mémoire fut réellement une expérience d'une grande richesse au point de vue humain et intellectuel. Il m'ouvre à présent la porte à de nouveaux horizons.

## *DEDICACES*

*De dédie ce mémoire :*

*A mon père, ma mère et ma grand-mère*

*A mes sœurs Amina, Ouadia et Rahma*

*A mes frères Abdou, Aymène, Yacine et Younes*

*A mon mari Aziz et à toute ma belle famille*

*Sans oublier mon petit enfant Mohammed Oussama El-Farouk*

# Problématique

## Introduction :

Les pays industrialisés cherchent depuis les années 1970 à maîtriser les impacts environnementaux induits par leur croissance industrielle. Les modifications climatiques observées cumulées aux pollutions devenues récurrentes ont amplifié cette démarche au cours de la dernière décennie. Parmi les impacts environnementaux les plus remarquables ; on peut citer l'effet de serre et le réchauffement planétaire ; l'acidification et la détérioration des arbres et de la vie dans les lacs et les rivières, et dégradation accélérée des matières telles que les métaux, le calcaire et le béton, provoquées par les émissions acides ; la disparition de végétaux et d'animaux dans les écosystèmes aquatiques par l'épuisement de l'oxygène suite à la prolifération d'algues, stimulée par les concentrations élevées en nutriments.

En 1972, le Sommet des Nations unies sur l'environnement de Stockholm met en garde la communauté internationale sur l'épuisement des ressources naturelles. C'est alors que naît la notion d'*écodéveloppement*, qui prône un mode de développement intégrant les contraintes environnementales.

A la fin des années 80, une définition du concept de Développement Durable s'est imposée à l'ensemble de la communauté internationale, dont il est un moyen de *satisfaire aux besoins des gens sans compromettre la capacité des prochaines générations de satisfaire aux leurs*. Il ne s'agit pas d'un objectif en soi, mais d'une démarche appliquée à la prise de décisions. On y reconnaît l'interdépendance des enjeux sociaux, économiques et environnementaux, et le fait que les décisions doivent tenir compte de tous ces facteurs pour être de bonnes décisions à long terme. Cette approche permettra d'obtenir un environnement en bon état, une économie prospère, un niveau de vie élevé et une société vigoureuse et juste au bénéfice des générations actuelles et futures.

Au début des années 90, est apparue la nécessité de mettre en œuvre des approches multicritères (consommation de matières et d'énergies, émissions dans l'air et dans l'eau, déchets), prenant en compte l'ensemble des étapes du cycle de vie des produits, de leur fabrication à leur élimination finale en passant par leur phase d'utilisation : les écobilans.

A leurs débuts, ces approches ont pu être qualifiées d'expérimentales voire partiales (écobilans menés à des fins exclusives de marketing ou de lobby). Par la suite, le développement de la normalisation internationale (famille des normes ISO 14040) a fixé des bases méthodologiques et déontologiques et retenu le terme «Analyse de cycle de vie » (ACV) au lieu et place d'« écobilan » (nom d'une société commerciale, française à l'origine). Depuis 1997, les pratiques se sont donc progressivement harmonisées et les résultats sont ainsi devenus plus robustes et fiables tandis que leur communication se faisait de manière plus formalisée que celle des premiers écobilans.

L'analyse du cycle de vie constitue l'une des composantes du système global d'évaluation environnementale et fait partie des études et stratégies permettant de dresser un bilan de la situation environnementale d'un projet, d'un pays etc. et de structurer les interventions nécessaires. Conçue en

effet comme un outil qui permet de répertorier l'usage des ressources et la production des déchets tout au long du cycle de vie d'un produit, l'analyse du cycle de vie est présentée depuis le début des années 2000 comme un outil de développement durable. Il s'agit d'une analyse multicritères et non pas d'une analyse se basant sur un seul point de vue qui bien sûr serait choisi à l'avantage de celui qui commande l'évaluation. En effet, non seulement différents impacts environnementaux sont envisagés, mais on mesure aussi l'apport de matières premières et la consommation d'énergie. La vision n'est donc pas restreinte à la seule question des pollutions mais s'étend aussi à la gestion des ressources.

Et comme le secteur de bâtiment est responsable d'un plus d'un tiers de la consommation énergétique et de près d'un tiers de la pollution, il est au cœur de la problématique environnementale, ça fait un appel urgent à y intervenir en accentuant sur la notion de durabilité avec ses trois piliers et développer une stratégie de construction durable qui passe impérativement par plusieurs étapes passant par l'avant projet, le bilan énergétique, le choix de systèmes constructifs et le choix des matériaux à utiliser, elle s'aboutit avec une décision finale qui précède l'exécution.

### **Problématique :**

Suivant cette démarche la question fondamentale ci-dessous peut être posée :

**Tenant compte que l'analyse de cycle de vie « ACV » est un outil d'aide à la décision, est-elle capable d'orienter une stratégie de construction vers la durabilité ?**

Pour simplifier et répondre à cette question, plusieurs questions secondaires peuvent avoir lieu :

Peut-elle être décisive pour une stratégie de construction durable ?

Dans quel stade de cette stratégie peut-elle y intervenir et être appliquée ?

Supposant que l'ACV peut orienter vraiment la stratégie de construction vers la durabilité, quel sera le moyen de sa mise en œuvre ?

### **Hypothèse :**

Hypothétiquement, il semble que l'analyse de cycle de vie puisse orienter la stratégie de construction vers la durabilité et elle peut être décisive pour une construction durable dès l'étape de conception.

### **Objectifs :**

Les objectifs de cette recherche sont à deux ordres, scientifiques et pédagogiques dont :

Les objectifs scientifiques sont :

- Savoir l'amplitude de l'influence de l'analyse de cycle de vie sur une stratégie de construction durable
- Ajouter à la stratégie de construction durable des certitudes qui aident à la prise de décisions avant l'étape d'exécution.
- Utiliser la méthode d'analyse de cycle de vie dès l'étape de conception afin d'arriver à une vraie construction durable sans impacts environnementaux aigus.

- Intégrer un point d'articulation dans le processus de conception d'une construction par le biais de l'analyse de cycle de vie

Les objectifs pédagogiques sont :

- Elaborer un support pédagogique et technique qui permet d'enrichir les connaissances précédentes par de nouvelles interventions dans le volet du bâtiment et de la durabilité.
- Construire une base de données théoriques et empiriques contenant les informations ayant relation avec le processus de conception
- Donner une nouvelle tendance aux travaux de recherche pour qu'ils s'orientent vers l'internationale et la normalisation
- Enrichir l'ensemble des recherches déjà faites dans la même thématique par une évaluation décisive et non seulement critique.

### **Méthodologie et approches :**

L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) permet de modéliser les flux environnementaux (flux d'énergie, ...) en termes d'impacts environnementaux potentiels à l'aide de modèles mathématiques décrivant les mécanismes qui ont lieu une fois la substance émise.

Face à des enjeux environnementaux qui sont complexes, deux types d'approches sont possibles :

- soit des approches exhaustives intégrant toute la complexité, c'est le cas de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV)

- soit des approches simplifiées, se focalisant sur un aspect environnemental (c'est le cas du Bilan carbone), soit une seule étape du processus, soit des évaluations qualitatives

Dans tous les cas, il ne faut pas oublier que ces méthodes ne sont que des outils qui donnent aux responsables des éléments pour prendre des décisions souvent complexes.

La méthode de l'analyse de cycle de vie jouit d'une certaine standardisation grâce à la série des normes ISO 14040, avec une méthodologie bien définie dont la démarche d'ACV comprend quatre étapes au cours lesquelles une approche itérative doit être adoptée (allers-retours entre les étapes afin d'améliorer au fur et à mesure l'analyse)

Etape 1- Définition des objectifs et du champ de l'étude ; comporte 3 phases :

Phase 1. Objectifs et champs de l'étude

Phase 2. Fonction du produit et unité fonctionnelle

Phase 3. Frontières du système

Etape 2- Inventaire des données sur le cycle de vie ; comporte 5 phases :

Phase 1- construction du cadre de travail de ICV

Phase 2- collecte des données

Phase 3- scénarios

Phase 4- construction du modèle informatique

Phase 5- La vérification et la validation des données

Etape 3- l'évaluation des impacts sur l'environnement en cours de développement ; comporte 4 phases :

Phase 1- sélection

Phase 2- classification des impacts,

Phase 3- caractérisation des impacts

Phase 4- normalisation

Etape 4- Interprétation : En fonction des buts et de l'étendue prédéfinis, on tire une série de conclusions.

Il restera alors à déduire une série de recommandations à partir de ces conclusions.

Certains ajoutent encore une étape de mise à l'épreuve qui consiste à appliquer les recommandations, puis à pratiquer à nouveau une ACV pour voir si les résultats obtenus consistent bien à une amélioration pour l'environnement et si on n'a pas créé de nouveaux effets pervers. Le travail peut donc devenir cyclique. Pour l'observateur critique, ce type de travail est un très bon gage de qualité.

Le système comprend tout le processus de l'extraction à la gestion des déchets (bien qu'il soit possible de mener des analyses partielles, par exemple en commençant l'analyse seulement après le tri d'un matériau pour déterminer la meilleure manière de le recycler).

Le fait qu'un même impact calculé pour chacune des étapes du système soit finalement "additionné" pour tout le système permet d'avoir une vision simple et concise des impacts du système général. Cependant on constate que la tendance actuelle va plutôt vers le détail. Il est entendu que lorsqu'on regroupe différents impacts, cela doit se faire en fonction d'une logique, par exemple, les différents impacts qui concourent au réchauffement de la planète.

Aucune étude comparative entre deux matériaux ou deux services remplissant des fonctions identiques ne peut être publiée si elle n'a pas été soumise à une revue critique par un panel d'experts incluant les représentants des produits concernés.

Bref, l'avantage de l'ACV est de constituer un système de comptabilité générale des intrants et des extrants tout au long du cycle.

Un gros problème est la qualité des données utilisées. Ces données sont soit des données théoriques, soit des données empiriques, mais même dans ce dernier cas les données sont trop souvent le fruit d'une mesure à un moment donné et non pas d'une mesure en continu. Ces mesures peuvent donc être tributaires d'un certain nombre d'aléas. En outre, pour beaucoup d'opérations unitaires, elles n'existent pas et doivent être supputées. Cela peut d'ailleurs conduire à des injustices lorsqu'une entreprise qui prend la peine de mesurer ses impacts aura un bilan plus négatif qu'une autre qui ne les mesure pas et pour qui les impacts auront été sous-estimés. Il faut tenir compte aussi du fait que dans les énergies utilisées, certaines sont déjà le fruit d'une première transformation. L'électricité peut provenir du charbon... Et l'entreprise considérée n'a pas forcément de pouvoir sur cela.

L'analyse du cycle de vie a l'avantage **de proposer une vision globale de l'impact environnemental** d'un produit ou d'une activité, **de prévoir le déplacement de pollution**, et **d'évaluer les impacts environnementaux dominants** grâce à une démarche documentée et aussi exhaustive que possible. Cette méthode permet également **une mise en perspective des différents types d'impacts** plutôt que de se limiter à un type d'impact particulier. Il est important de noter que l'analyse du cycle de vie permet de comparer des produits remplissant la même fonction, comme le camion et le train pour le transport de fret. Cependant les résultats de l'analyse de cycle de vie sont à l'image des systèmes étudiés souvent complexes. Ainsi la finesse de l'outil peut de temps en temps paraître handicapante en terme de conclusions opérationnelles : il décrit les systèmes étudiés, permettant d'identifier leurs points forts et leurs faiblesses, sans pour autant autoriser une hiérarchisation absolue des produits, filières ou procédés. C'est en cela qu'il faut parler d'outil d'aide à la décision et non d'outil de décision. De plus, nombre d'obstacles font que l'analyse du cycle de vie ne sera jamais un outil universel. D'abord **il est quasi-impossible d'obtenir l'intégralité des flux utilisés** pour un produit, il faut donc se contenter de données parfois limitées et faire appel à des données génériques, donc manquant de précision. Se pose également le problème de la représentativité géographique, les impacts étant différents d'une région à une autre. Par conséquent, souvent une ACV n'est pas transportable. Sachant qu'une ACV est un processus long et fastidieux, ceci nécessiterait de multiplier les analyses ce qui est difficilement réalisable. Par ailleurs, plusieurs choix méthodologiques demeurent assez subjectifs comme les choix d'imputation et les méthodes de caractérisation des impacts, de normalisation et de pondération s'ils sont utilisés. Il n'est pas rare, dans le cadre d'une comparaison, de voir le classement entre plusieurs produits être inversé selon la méthode d'évaluation choisie et ce, juste au niveau de la caractérisation.

En conclusion, l'analyse du cycle de vie présente de nombreux intérêts. Toutefois les résultats à eux seuls peuvent toujours être contestables selon les choix méthodologiques réalisés. Par conséquent les valeurs obtenues peuvent difficilement être utilisées par le grand public et nécessitent d'être étudiées en détail.

Le but recherché, suivant la logique de pensée cycle de vie, est de réduire la pression d'un produit tel le bâtiment - dans notre cas - sur les ressources et l'environnement tout au long de son cycle de vie, de l'extraction des matières premières jusqu'à la mise au rebut en fin de vie, cycle souvent qualifié de "berceau à la tombe". L'analyse du cycle de vie est à la fois une procédure, c'est à dire une suite d'étapes standardisées, mais aussi un modèle de transformations permettant de convertir des flux en impacts environnementaux potentiels. Malgré le nom de cette méthode, il est important de comprendre que l'analyse du cycle de vie s'occupe d'étudier la fonction du produit. En effet, en n'étudiant que le produit en lui-même, il ne serait pas possible de comparer des produits remplissant la même fonction mais de manière différente, comme par exemple un moyen de transport et un système de vidéoconférence dont la fonction commune est de réunir des personnes. En outre, les concepts

fondamentaux de la méthode («cycle de vie» et « dématérialisation du système évalué ») ont permis de jeter des ponts méthodologiques entre sciences exactes et sciences humaines et sociales. Les démarches d'évaluation intégrée combinant les aspects économiques, sociologiques et environnementaux s'appuient de plus en plus sur les méthodologies et les modes de pensée liés à l'Analyse du Cycle de Vie.

Les méthodes d'ACV peuvent intégralement être appliquées au bâtiment, à ses parties (équipement, matériaux), mais aussi à des éléments plus vastes (quartiers, villes)

Il existe différents logiciels d'ACV. Ces logiciels permettent de calculer les impacts environnementaux potentiels à partir des données d'inventaire.

Les logiciels aident à construire le modèle de cycle de vie du produit et à y associer les processus élémentaires correspondants, ils intègrent plusieurs méthodes d'évaluation et différentes bases de données. La base de données doit être sélectionnée lors de la construction du modèle, la méthode lors du calcul des impacts.

Enfin cette modeste recherche n'est qu'un petit ajout pour compléter les recherches antérieures dans le domaine de l'analyse de cycle de vie des bâtiments, elle sera basée sur une approche systémique dont on va construire une méthode heuristique suivant ce qui est reconnu à l'échelle internationale et déjà précité en faisant recours aux théories existantes en architecture après avoir les résultats demandés dont l'achèvement du travail se fait par l'intervention humaine dans la prise de décision sans baser totalement sur les résultats empiriques obtenus par les logiciels de simulation qui ne représentent qu'une aide à décision.

Cette recherche va être structurée en deux parties, dans la partie conceptuelle on va éclaircir les différents concepts ; dont elle contient quatre différents chapitres; le premier c'est l'état de l'art de l'Analyse de cycle de vie des bâtiments ; le second va prendre en détail la thématique de l'analyse de cycle de vie, le troisième va accentuer sur la construction durable et sa stratégie et le dernier sera consacré à l'Analyse de cycle de vie des bâtiments.

L'autre analytique contient aussi quatre chapitres dont le premier va s'intéresser à la mise en forme de l'ACV d'une construction, le deuxième à la simulation, le troisième va détailler les résultats obtenus et leur interprétation ainsi les recommandations et finalement un chapitre de conclusions et perspectives de ce travail scientifique.

**Table de matière:**

<b>Résumé.....</b>	<b>I</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>II</b>
<b>ملخص.....</b>	<b>III</b>
<b>Remerciement .....</b>	<b>IV</b>
<b>Dédicace .....</b>	<b>V</b>
<b>Problématique .....</b>	<b>VII</b>
<b>Table de matière .....</b>	<b>XV</b>
<b>Liste des symboles .....</b>	<b>XVI</b>
<b>Liste des figure .....</b>	<b>XVII</b>
<b>Liste des tableaux .....</b>	<b>XXI</b>
<b>Etat de l'art .....</b>	<b>2</b>
<b>Analyse de cycle de vie .....</b>	<b>22</b>
<b>La stratégie de construction durable .....</b>	<b>59</b>
<b>Analyse de cycle de vie des bâtiments .....</b>	<b>98</b>
<b>La mise en forme de l'ACV des écoles primaires.....</b>	<b>132</b>
<b>La simulation.....</b>	<b>160</b>
<b>Interprétation des résultats et recommandations .....</b>	<b>215</b>
<b>Conclusions et perspectives .....</b>	<b>251</b>
<b>Annexe 01 : Fiches de synthèse des logiciels .....</b>	<b>254</b>
<b>Annexe 02 : La qualité environnementale des bâtiments .....</b>	<b>297</b>

**LISTE DES SYMBOLES :**

**ACG : Analyse Du Cout Global**

**ACV : Analyse de Cycle de Vie**

**AIE : L'Agence Internationale de l'Énergie**

**APD : Avant Projet Définitif**

**APS : Avant Projet Sommaire**

**BBC : Bâtiment A Basse Consommation**

**BET : Bureau d'Etudes Techniques**

**CASBEE: Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency**

**CEN : Comité Européen de Normalisation**

**CSTB : Centre scientifique et Technique de bâtiment**

**DD : Développement durable**

**EF: Ecological Footprint**

**EMS: Environmental Management System**

**EPD : Environmental Product Declaration**

**ESQCV : Evaluation Simplifiée et Qualitative du Cycle de Vie**

**FDES : Fiches de Déclarations Environnementales et Sanitaire**

**HQE : Haute Qualité Environnementale**

**ICV : Inventaire de Cycle de Vie**

**IFPEB : Institut Français pour Performance Energétique du Bâtiment**

**ISO: International Standardization Organization.**

**LCA: Life Cycle Assessment**

**LEED: Leadership Energy Environnement Design**

**MET : La matrice « Matériaux – Energie – Toxicité »**

**MFA: Material Flow Accounting**

**MIPS: Material Intensity Per Service**

**PNUE : Le Programme des Nations Unies pour l'environnement**

**POE : La Post Occupancy Evaluation**

**PRG : Réchauffement Climatique Global»**

**QE : La qualité environnementale**

**QFDE: QualityFunctionDeployment for Environment**

**SFA : Substance Flow Analysis**

**SETAC: Society of Eco Toxicology and Chemistry**

**SPOLD: Society for the Promotion of Life Cycle Development**

**UF : l'unité fonctionnelle**

**UICN : Union internationale pour la conservation de la nature**

**WWF : Le Fond mondial pour la nature**

**LISTE DES FIGURES:**

<b>Figure 01 : les 3 piliers du développement durable.....</b>	<b>4</b>
<b>Figure 02 : Types d'évaluations.....</b>	<b>8</b>
<b>Figure 03 : Cycle de vie simulé dans EQUER.....</b>	<b>16</b>
<b>Figure 04: Chaînage des entrées/sorties entre les outils d'évaluation.....</b>	<b>16</b>
<b>Figure 05 : un Modèle du cycle de vie d'un produit industriel.....</b>	<b>26</b>
<b>Figure 06 : Synthèse des principales applications d'une ACV.....</b>	<b>30</b>
<b>Figure 07 : les phases de vie d'un produit.....</b>	<b>31</b>
<b>Figure 08: Etapes et applications d'une ACV « ACV :un processus itératif ».....</b>	<b>32</b>
<b>Figure 09 : Schéma récapitulatif des étapes d'une ACV.....</b>	<b>33</b>
<b>Figure 10 : Schématisation de la méthodologie de l'ACV.....</b>	<b>42</b>
<b>Figure 11 : Typologie de données en ACV.....</b>	<b>44</b>
<b>Figure 12 : Schéma des dimensions d'une construction durable.....</b>	<b>63</b>
<b>Figure 13 : Durées moyennes des différentes phases de vie d'un bâtiment.....</b>	<b>81</b>
<b>Figure 14 : Modèle linéaire d'un processus de conception.....</b>	<b>81</b>
<b>Figure 15 : Modèle transitionnel d'un processus de conception d'un bâtiment durable.....</b>	<b>82</b>
<b>Figure 16 : Etapes de la phase de conception.....</b>	<b>82</b>
<b>Figure 17: Acteurs de la phase d'exploitation.....</b>	<b>83</b>
<b>Figure 18 : Schéma de l'éco-conception.....</b>	<b>85</b>
<b>Figure 19 : Positionnement des outils d'éco-conception selon le degré d'évaluation environnementale et le potentiel d'amélioration de la performance environnementale.....</b>	<b>91</b>
<b>Figure 20: Positionnement des outils d'éco-conception en fonction du type de contribution fournit par chacun et de la chronologie d'implémentation dans le processus de conception.....</b>	<b>92</b>
<b>Figure 21 : Dynamique du processus de conception caractérisée par la connaissance produit et des choix de conception.....</b>	<b>92</b>
<b>Figure 22 : L'échelle de l'impact environnemental.....</b>	<b>100</b>
<b>Figure 23 : Les frontières du système bâtiment.....</b>	<b>101</b>
<b>Figure 24 : Modélisation de l'ACV d'un bâtiment.....</b>	<b>102</b>
<b>Figure 25 : Classification des impacts environnementaux de la méthode d'évaluation.....</b>	<b>105</b>
<b>Figure 26 : Les étapes de cycle de vie d'un bâtiment.....</b>	<b>106</b>
<b>Figure 27 : les phases de vie d'un bâtiment.....</b>	<b>107</b>
<b>Figure 28 : illustration de la relation entre les options de choix de la disponibilité des données sur les produits durant le processus de conception.....</b>	<b>109</b>
<b>Figure 29 : Les frontières du système usagers- école- environnement.....</b>	<b>132</b>
<b>Figure 30: Méthode de construction des référentiels .....</b>	<b>135</b>
<b>Figure31: Définir les données de la construction.....</b>	<b>138</b>
<b>Figure32:Saisie graphique à partir une image.....</b>	<b>138</b>
<b>Figure 33 : Visualisation 3D de la construction.....</b>	<b>138</b>

<b>Figure 34 : Exemple d'une composition d'un mur.....</b>	<b>139</b>
<b>Figure35 : Présentation de l'environnement.....</b>	<b>139</b>
<b>Figure36:Exemple d'un masque intégré.....</b>	<b>139</b>
<b>Figure37:interface de sortie des résultats.....</b>	<b>140</b>
<b>Figure38: Principe de calcul fait par EQUER.....</b>	<b>141</b>
<b>Figure 39 : les performances comparatives du projet EcoLogis.....</b>	<b>141</b>
<b>Figure 40 :Vue axonométrique E1-D1-BH.....</b>	<b>142</b>
<b>Figure 41:Plan de masse E1-D1-BH.....</b>	<b>142</b>
<b>Figure 42 : Plan du rez-de-chaussée de E1-D1-BH.....</b>	<b>143</b>
<b>Figure 43 : Plan du 1<sup>er</sup> étage de E1-D1-BH.....</b>	<b>143</b>
<b>Figure 44 : Vue axonométrique E2-D1-BH.....</b>	<b>144</b>
<b>Figure 45 : Plan de masse E2-D1-BH.....</b>	<b>144</b>
<b>Figure 46: Plan du rez-de-chaussée de E2-D1-BH.....</b>	<b>145</b>
<b>Figure 47 : Plan du 1<sup>er</sup> étage de E2-D1-BH.....</b>	<b>145</b>
<b>Figure 48 :Vue axonométrique E3 -B1- RH.....</b>	<b>146</b>
<b>Figure 49 : Plan de masse E3 -B1- RH.....</b>	<b>146</b>
<b>Figure 50 : Plan du rez-de-chaussée de E3 -B1- RH.....</b>	<b>147</b>
<b>Figure 51 : Plan du 1<sup>er</sup> étage de E3 -B1- RH.....</b>	<b>147</b>
<b>Figure 52 : Vue axonométrique E4 -C1- MM.....</b>	<b>148</b>
<b>Figure 53 : Plan de masse E4 -C1- MM.....</b>	<b>148</b>
<b>Figure 54: Plan du rez-de-chaussée de E4 -C1- MM.....</b>	<b>149</b>
<b>Figure 55 : Plan du 1<sup>er</sup> étage de E4 -C1- MM.....</b>	<b>149</b>
<b>Figure 56 :Vue axonométrique E5-D1-MM.....</b>	<b>150</b>
<b>Figure 57 : Plan de masse E5-D1-MM.....</b>	<b>150</b>
<b>Figure 58: Plan du rez-de-chaussée de E5-D1-MM.....</b>	<b>151</b>
<b>Figure 59: Plan du 1<sup>er</sup> étage de E5-D1-MM.....</b>	<b>151</b>
<b>Figure 60 :Vue axonométrique E6 -D1- RH.....</b>	<b>152</b>
<b>Figure 61 :Plan de masse E6 -D1- RH.....</b>	<b>152</b>
<b>Figure 62 : Plan du rez-de-chaussée de E6 -D1- RH.....</b>	<b>153</b>
<b>Figure 63: Plan du 1<sup>er</sup> étage de E6 -D1- RH.....</b>	<b>153</b>
<b>Figure 64: Exemple de modèle de bâtiment pour l'analyse thermique avec COMFIE.....</b>	<b>156</b>
<b>Figure 65: Scénario d'occupation pour une salle de classe.....</b>	<b>157</b>
<b>Figure 66: Scénario de chauffage pour une salle de classe.....</b>	<b>157</b>
<b>Figure 67: Scénario de la puissance dissipée pour une salle de classe.....</b>	<b>158</b>
<b>Figure 68: L'identification des scénarios pour un projet .....</b>	<b>158</b>
<b>Figure 69: Les valeurs numériques du fichier météorologique Algérie TRY .....</b>	<b>159</b>
<b>Figure 70: Graphique de la température annuelle.....</b>	<b>159</b>
<b>Figure 71: Graphique de l'humidité relative (75%) .....</b>	<b>159</b>

<b>Figure 72: Graphique du global horizontal et du diffus horizontal.....</b>	<b>160</b>
<b>Figure 73: Graphique de la vitesse du vent (32 km/h) .....</b>	<b>160</b>
<b>Figure 74: Caractéristiques météorologiques du site d'El-Eulma sur PLEIADES .....</b>	<b>160</b>
<b>Figure 75: Diagramme de Sankey de l'école E1-D1-BH .....</b>	<b>161</b>
<b>Figure 76: Synthèse des résultats de la simulation de l'école E1-D1-BH.....</b>	<b>162</b>
<b>Figure 77: Valeurs de l'indice d'énergie à fournir.....</b>	<b>162</b>
<b>Figure 78: Graphique de besoins de Chaud-froid.....</b>	<b>163</b>
<b>Figure 79: Taux d'inconfort dans les salles de classe de l'école E1-D1-BH .....</b>	<b>163</b>
<b>Figure 80: Moyenne de surchauffe max. des salles de classe de l'école E1-D1-BH .....</b>	<b>164</b>
<b>Figure 81: Amplification de la température extérieure pour l'école E1-D1-BH .....</b>	<b>164</b>
<b>Figure 82: Choix des salles de classe à simuler au RDC de l'école E1-D1-BH.....</b>	<b>165</b>
<b>Figure 83: Choix des salles de classe à simuler au 1er étage de l'école E1-D1-BH .....</b>	<b>165</b>
<b>Figure 84: Diagramme de Sankey de l'école E2-A1-MM .....</b>	<b>169</b>
<b>Figure 85: Synthèse des résultats de la simulation de l'école E2-A1-MM.....</b>	<b>169</b>
<b>Figure 86: Graphique de besoins de Chaud-froid de l'école E2-A1-MM.....</b>	<b>170</b>
<b>Figure 87: Taux d'inconfort dans les salles de classe de l'école E2-A1-MM.....</b>	<b>170</b>
<b>Figure 88: Moyenne de surchauffe max. des salles de classe de l'école E2-A1-MM .....</b>	<b>171</b>
<b>Figure 89: Amplification de la température extérieure pour l'école E2-A1-MM.....</b>	<b>171</b>
<b>Figure 90: Choix de la salle de classe C1 de l'école E2-A1-MM pour la simulation.....</b>	<b>172</b>
<b>Figure 91: Choix de la salle de classe C3 de l'école E2-A1-MM pour la simulation.....</b>	<b>172</b>
<b>Figure 92: Diagramme de Sankey de l'école E3-B1-RH .....</b>	<b>174</b>
<b>Figure 93: Synthèse des résultats de la simulation de l'école E3-B1-RH .....</b>	<b>174</b>
<b>Figure 94: Graphique de besoins de Chaud-froid de l'école E3-B1-RH.....</b>	<b>175</b>
<b>Figure 95: Taux d'inconfort dans les salles de classe de l'école E3-B1-RH.....</b>	<b>175</b>
<b>Figure 96: Moyenne de surchauffe max. des salles de classe de l'école E3-B1-RH .....</b>	<b>176</b>
<b>Figure 97: Amplification de la température extérieure pour l'école E3-B1-RH.....</b>	<b>176</b>
<b>Figure 98: Choix de la salle de classe C2 de l'école E3-B1-RH pour la simulation .....</b>	<b>177</b>
<b>Figure 99: Choix des salles de classe C4 et C6 de l'école E3-B1-RH pour la simulation.....</b>	<b>177</b>
<b>Figure 100: Diagramme de Sankey de l'école E4-C1-MM .....</b>	<b>180</b>
<b>Figure 101: Synthèse des résultats de la simulation de l'école E4-C1-MM .....</b>	<b>180</b>
<b>Figure 102: Graphique de besoins de Chaud-froid de l'école E4-C1-MM .....</b>	<b>181</b>
<b>Figure 103: Taux d'inconfort dans les salles de classe de l'école E4-C1-MM .....</b>	<b>181</b>
<b>Figure 104: Moyenne de surchauffe max. des salles de classe de l'école E4-C1-MM.....</b>	<b>182</b>
<b>Figure 105: Amplification de la température extérieure pour l'école E4-C1-MM.....</b>	<b>182</b>
<b>Figure 106: Choix de C1 et C3 au RDC de l'école E4-C1-MM pour la simulation.....</b>	<b>183</b>
<b>Figure 107: Choix de C5, C7 et C9 au 1er étage de l'école E4-C1-MM pour la simulation....</b>	<b>183</b>
<b>Figure 108: Effet du masque intégré sur la façade sud-ouest de C1 et C8 de E1-D1-BH.....</b>	<b>187</b>
<b>Figure 109: Effet du masque intégré sur la façade Nord-est de C2 et C10 de E1-D1-BH .....</b>	<b>188</b>

Figure 110: Effet du masque intégré sur la façade Nord-est de C4 et C12 de E1-D1-BH.....	189
Figure 111: Effet du masque intégré sur la façade Nord-est de C1 de l'école E2-A1-MM .....	190
Figure 112: Effet du masque intégré sur la façade Sud-ouest de C1 de l'école E2-A1-MM.....	191
Figure 113: Effet du masque intégré sur la façade Nord-est de C1 de l'école E2-A1-MM .....	192
Figure 114: Effet du masque intégré sur la façade Nord-est de C2 de E3-B1-RH .....	193
Figure 115: Effet du masque intégré sur la façade Nord-est de C4 de E3-B1-RH .....	194
Figure 116: Effet du masque intégré sur la façade Nord-est de C6 de E3-B1-RH .....	195
Figure 117: Effet du masque intégré sur la façade Sud-ouest de C2, C4 et C6 de E3-B1-RH...	196
Figure 118: Effet du masque intégré sur la façade Nord du projet E4-C1-MM.....	197
Figure 119: Effet du masque intégré sur la façade Sud E4-C1-MM.....	198
Figure 120: Valeurs numériques des impacts du projet E1-D1-BH.....	199
Figure 121: graphique des impacts à aspect énergétique du projet E1-D1-BH.....	199
Figure 122: graphique des impacts à aspect environnemental du projet E1-D1-BH.....	199
Figure 123: graphique des impacts à aspect sanitaire du projet E1-D1-BH.....	200
Figure 124: Ecoprofil du projet E1-D1-BH.....	200
Figure 125: Valeurs numériques des impacts du projet E2-A1-MM.....	201
Figure 126: graphique des impacts à aspect énergétique du projet E2-A1-MM.....	201
Figure 127: graphique des impacts à aspect environnemental du projet E2-A1-MM.....	201
Figure 128: graphique des impacts à aspect sanitaire du projet E2-A1-MM.....	202
Figure 129: Ecoprofil du projet E2-A1-MM.....	202
Figure 130: Valeurs numériques des impacts du projet E3-B1-RH .....	203
Figure 131: graphique des impacts à aspect énergétique du projet E3-B1-RH .....	203
Figure 132: graphique des impacts à aspect environnemental du projet E3-B1-RH .....	203
Figure 133: graphique des impacts à aspect sanitaire du projet E3-B1-RH .....	204
Figure 134: Ecoprofil du projet E3-B1-RH .....	204
Figure 135: Valeurs numériques des impacts du projet E4-C1-MM .....	205
Figure 136: graphique des impacts à aspect énergétique du projet E4-C1-MM .....	205
Figure 137: graphique des impacts à aspect environnemental du projet E4-C1-MM.....	205
Figure 138: graphique des impacts à aspect sanitaire du projet E4-C1-MM.....	206
Figure 139: Ecoprofil du projet E4-C1-MM .....	206
Figure 140 : Caractéristiques du sol pour un puits provençal.....	210
Figure 141: Géométrie du puits provençal .....	210
Figure 142: Caractéristiques de l'air de ventilation pour un puits canadien .....	210
Figure 143: Caractéristiques des tubes d'un puits provençal.....	211
Figure 144: L'influence du bâtiment pour la mise en œuvre d'un puits canadien.....	211
Figure 145 : Caractéristiques du panneau photovoltaïque .....	211

**LISTE DE TABLEAUX:**

<b>Tableau 01 : Exemple d'analyse d'impact environnemental .....</b>	<b>40</b>
<b>Tableau 02 : Synthèse des problèmes actuels rencontrés en ACV.....</b>	<b>46</b>
<b>Tableau 03 : différences d'impacts selon les bases pour un mètre carré de moquette .....</b>	<b>51</b>
<b>Tableau 04: Différents critères de développement durable de bâtiments.....</b>	<b>60</b>
<b>Tableau 05 : Exemple de matrice MET.....</b>	<b>88</b>
<b>Tableau 06 : Exemple de matrice ESQCV .....</b>	<b>89</b>
<b>Tableau 07 : Les indicateurs environnementaux évalués .....</b>	<b>103</b>
<b>Tableau 08 :Les étapes du processus de production.....</b>	<b>108</b>
<b>Tableau 09 : Comparaison entre EPD et FDES .....</b>	<b>114</b>
<b>Tableau 10 : Calcul d'impacts environnementaux selon la méthode d'ACV .....</b>	<b>134</b>
<b>Tableau 11 : Exemple de la combustion de 1MJ de carburant .....</b>	<b>134</b>
<b>Tableau 12 : Fiche d'identification du projet E1-D1-BH .....</b>	<b>139</b>
<b>Tableau 13 : Fiche d'identification du projet E2-A1-MM .....</b>	<b>141</b>
<b>Tableau 14 : Fiche d'identification du projet E3-B1-RH .....</b>	<b>143</b>
<b>Tableau 15 : Fiche d'identification du projet E4-C1-MM .....</b>	<b>145</b>
<b>Tableau 16 : Caractéristiques des matériaux de construction utilisés pour les 4 projets .....</b>	<b>147</b>
<b>Tableau 17 : Les caractéristiques des matériaux avec la bibliothèque de PLEIADES.....</b>	<b>148</b>
<b>Tableau 18: Caractéristiques des compositions de la conception BBC .....</b>	<b>210</b>
<b>Tableau 19 : Résultats de la simulation thermique des conceptions BET et BBC du projet E1-D1-BH.....</b>	<b>213</b>
<b>Tableau 20: Résultats de la simulation thermique des conceptions BET-T et BBC-T du projet E1-D1-BH.....</b>	<b>214</b>
<b>Tableau 21: Résultats numériques et écoprofiles de l'ACV des conceptions du projet E1-D1-BH.....</b>	<b>215</b>
<b>Tableau 22: Résultats graphiques de l'ACV des conceptions du projet E1-D1-BH.....</b>	<b>216</b>
<b>Tableau 23: Radars comparatifs des résultats de l'ACV des conceptions du E1-D1-BH.....</b>	<b>218</b>
<b>Tableau 24: Résultats de la simulation thermique des conceptions BET et BBC du projet E2-A1-MM .....</b>	<b>219</b>
<b>Tableau 25: Résultats de la simulation thermique des conceptions BET-T et BBC-T du projet E2-A1-MM .....</b>	<b>220</b>
<b>Tableau 26: Résultats numériques et écoprofiles de l'ACV des conceptions du projet E2-A1-MM.....</b>	<b>221</b>
<b>Tableau 27 : Résultats graphiques de l'ACV des conceptions du projet E2-A1-MM.....</b>	<b>222</b>

<b>Tableau 28: Radars comparatifs des résultats de l'ACV des conceptions du projet A1-MM.....</b>	<b>E2-224</b>
<b>Tableau 29: Résultats de la simulation thermique des conceptions BET et BBC du projet B1-RH.....</b>	<b>E3-225</b>
<b>Tableau 30: Résultats de la simulation thermique des conceptions BET-T et BBC-T du projet B1-RH .....</b>	<b>E3-226</b>
<b>Tableau 31: Résultats numériques et écoprofiles de l'ACV des conceptions du projet E3-B1-RH .....</b>	<b>E3-227</b>
<b>Tableau 32: Résultats graphiques de l'ACV des conceptions du projet E3-B1-RH.....</b>	<b>E3-228</b>
<b>Tableau 33: Radars comparatifs des résultats de l'ACV des conceptions du projet B1-RH.....</b>	<b>E3-230</b>
<b>Tableau 34: Résultats de la simulation thermique des conceptions BET et BBC du projet C1-MM.....</b>	<b>E4-231</b>
<b>Tableau 35: Résultats de la simulation thermique des conceptions BET-T et BBC-T du projet C1-MM .....</b>	<b>E4-232</b>
<b>Tableau 36: Résultats numériques et écoprofiles de l'ACV des conceptions du projet E4-C1-MM .....</b>	<b>E4-233</b>
<b>Tableau 37: Résultats graphiques de l'ACV des conceptions du projet E4-C1-MM.....</b>	<b>E4-234</b>
<b>Tableau 38: Radars comparatifs des résultats de l'ACV des conceptions du projet C1-MM.....</b>	<b>E4-236</b>
<b>Tableau 39 : Tableau récapitulatif des différentes alternatives de projets avec leurs besoins énergétiques .....</b>	<b>E4-237</b>
<b>Tableau 40 : Tableau récapitulatif des différentes alternatives de projets avec leurs impacts .....</b>	<b>E4-238</b>
<b>Tableau 41: Présentation des modifications portées à la conception BBC proposée .....</b>	<b>E4-240</b>
<b>Tableau 42: Présentation des résultats de la simulation thermique et de l'ACV pour la conception BBC modifiée des quatre projets .....</b>	<b>E4-241</b>

# **Analyse du Cycle de Vie comme outil pour le développement d'une stratégie de construction durable**

CHAPITRE 01 :

## Etat de l'art de l'ACV des bâtiments

## **CHAPITRE 01 : ETAT DE L'ART**

<b>1. INTRODUCTION :</b>	<b>3</b>
<b>2. LE DEVELOPPEMENT DURABLE :</b>	<b>4</b>
<b>2.1. Historique :</b>	<b>4</b>
<b>2.2. Le développement durable et ses démarches :</b>	<b>5</b>
<b>2.3. Finalités et critères de développement durable :</b>	<b>6</b>
<b>3. L'EVALUATION DES BATIMENTS :</b>	<b>8</b>
<b>3.1. L'évaluation:</b>	<b>8</b>
<b>3.2. Types d'évaluation :</b>	<b>9</b>
3.2.1. Evaluation d'impacts associée au processus :	9
3.2.2. Evaluation cumulative d'impacts :	9
3.2.3. Evaluation de cycle de vie :	9
<b>3.3. Méthodes d'évaluation :</b>	<b>9</b>
3.3.1. Le benchmarking :	9
3.3.2. Les audits	9
3.3.3. Post Occupancy Evaluation	10
3.3.4. Empreinte écologique :	10
3.3.5. Liste de contrôle:	10
3.3.6. Méthode d'Analyse de Cycle de Vie :	10
<b>4. LES RECHERCHES SUR L'ANALYSE DE CYCLE DE VIE DE BATIMENTS :</b>	<b>11</b>
<b>5. LES OUTILS DE L'ANALYSE DE CYCLE DE VIE DE BATIMENTS :</b>	<b>14</b>
<b>5.1. Des logiciels d'agrégation pour les ouvrages :</b>	<b>14</b>
5.1.1. ELODIE:	14
5.1.2. TEAM™ Bâtiment:	14
5.1.3. EQUER:	15
<b>5.2. Synthèse et analyse des outils existants :</b>	<b>17</b>
<b>6. CONCLUSION :</b>	<b>18</b>
<b>7. REFERENCES:</b>	<b>20</b>

## 1. Introduction :

La thématique du développement durable a connu une remarquable évolution durant les dernières décennies. Toutefois, bien que la maîtrise de ce concept soit relativement consolidée au niveau théorique et méthodologique, la traduction de l'idée en plans d'action concrets et la mise en œuvre de ces derniers peinent encore à se réaliser.

Le développement durable fait référence à une approche transversale et systémique, une coordination du local et du global, et une articulation du court et du long terme. Pour l'ensemble des acteurs, il s'agit alors de prendre des décisions et trouver des pratiques intégrant à parts égales trois objectifs, performances ou responsabilités dans les domaines économique, social et environnemental [DUCROUX, 2002].

Le développement durable et ses concepts se sont traduits dans le domaine du bâtiment par l'émergence des principes de qualité environnementale, ces principes, cristallisés autour de la démarche Haute Qualité Environnementale (HQE), visent à limiter les impacts du bâtiment, tant sur l'environnement extérieur que sur les usagers, et ce dans toutes ses phases de vie.

Cependant, le bâtiment est un objet complexe qui réunit de multiples corps de métiers. Autour de chaque projet architectural et technique, un nouveau groupe d'acteurs doit se constituer pour réaliser une liste de travaux décomposés en différents lots techniques : fondations, gros œuvre, étanchéité, charpente, menuiserie, serrurerie, cloison, plomberie, chauffage, ventilation, électricité, etc. Le bâtiment achevé compte alors un très grand nombre d'éléments qui sont assemblés, liés les uns aux autres, et interdépendants.

Pour le secteur du bâtiment, qui est le secteur le plus consommateur d'énergie, les exigences du développement durable constituent, en raison de leur multiplicité, de leur variété et des hauts niveaux de performances recherchés, de véritables défis pour les professionnels : haute qualité environnementale, réduction drastique des consommations énergétiques, réduction des émissions de gaz à effet de serre, intégration de nouvelles technologies et recours aux énergies renouvelables, réduction des dépenses et amélioration du pouvoir d'achat des ménages, etc.

Les difficultés rencontrées par les professionnels du secteur pour relever ces nouveaux défis montrent comment concevoir et réaliser un bâtiment durable est complexe. Il faut maîtriser simultanément l'impact du bâtiment sur l'environnement extérieur et créer un environnement intérieur sain et confortable [CANTIN, MICHEL, 2010]. Parallèlement, on peut poser que la démarche HQE, ou l'introduction d'une meilleure qualité environnementale des bâtiments, représente un potentiel considérable d'amélioration des impacts environnementaux de ce secteur d'activités anthropiques [CHAUTARD, 2004].

Concevoir et réaliser un bâtiment dans une logique de développement durable, c'est considérer que des changements irréversibles affectent le bâtiment et ses environnements, dans la forme, dans l'espace et dans le temps. Alors le secteur de bâtiment 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 [COIMBA, 2011]. Plusieurs méthodes existent déjà mais il n'y a pas aujourd'hui d'outil consensuel et harmonisé.

Ils existent plusieurs outils d'évaluation quantitative de la qualité environnementale des bâtiments dont l'analyse de cycle de vie en fait partie et on va présenter d'une manière synthétique seize logiciels pour choisir le convenable entre eux pour notre étude concernant la possibilité d'utiliser l'ACV pour évaluer plus précisément et facilement les impacts des bâtiments en leur phase de conception.

## 2. Le développement durable :

### 2.1. Historique :

Depuis les années 1970, la prise de conscience des multiples problèmes liés à la pollution et à l'altération de notre environnement n'a cessé de croître. Elle a, entre autre, abouti à la naissance de la démarche Haute Qualité Environnementale, qui se préoccupe plus spécifiquement des impacts environnementaux liés au secteur du bâtiment. Prise de conscience de la limitation des ressources naturelles.

En 1972, la Déclaration de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement, à Stockholm, regroupe 113 nations, et affirme la nécessité d'un développement harmonieux avec l'environnement. Elle place les questions écologiques au rang des préoccupations internationales. En 1973, le premier choc pétrolier entraîne une prise de conscience décuplée des limites des ressources énergétiques de la planète. Dans les années 80, plusieurs événements marquants entraînent une prise de conscience de l'instabilité économique et sociale liée aux problèmes et aux accidents environnementaux : la catastrophe de Tchernobyl (notion de non limitation de l'environnement, ...), les manifestations de l'effet de serre, la déforestation massive, ... L'apparition de l'expression « Développement Durable », est proposée pour la première fois en 1980 dans la Stratégie mondiale de la conservation publiée par l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), le Fond mondial pour la nature (WWF) et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE). En 1987, le Rapport Brundtland, aboutit à une vulgarisation et une diffusion de plus en plus large du concept de développement durable.

La définition du développement durable dans rapport Brundtland précise que le développement durable "contient deux concepts clés :

**Le concept de besoins**, en particulier les besoins essentiels des plus démunis dans le monde, auxquels une priorité devrait être accordée ; et **l'idée de limites**, imposées par l'état de la technologie et de l'organisation sociale, à la capacité de l'environnement de satisfaire les besoins présents et futurs." [PEUPORTIER, 2008]

Ensuite la Déclaration de Rio, en 1992, sur l'environnement et le développement, dit « Sommet Planète Terre », est adoptée par 178 nations (retenons que la Déclaration de Rio n'est pas juridiquement contraignante, mais les gouvernements sont moralement 'obligés' d'adhérer à ses principes). Enfin en 1997, la symbolique Conférence de Kyoto, traité international, propose un calendrier de réduction des émissions de gaz à effet de serre, qui est signé par uniquement 38 pays, avec un objectif de réduction globale de 5,2 % des émissions de dioxyde de carbone d'ici 2012 par rapport aux émissions de 1990.[MANDALLENA, 2010]

## 2.2. Le développement durable et ses démarches :

Le développement durable étant trop médiatisé, il semble utile de rappeler tout d'abord rapidement la définition du concept de développement durable ainsi que celle des démarches de développement durable mises en œuvre aux différentes échelles territoriales.

La célèbre définition du concept de développement durable donnée en 1987 « *Un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre les capacités des générations futures à répondre aux leurs* » a été illustrée par le non moins célèbre schéma des trois piliers du développement durable ci après.



**Figure 01 : les 3 piliers du développement durable**

### Représentation traditionnelle du concept de développement durable

Ce schéma traditionnel (figure 01) est parfois complété avec un quatrième pilier: la démocratie participative ou gouvernance, celle-ci pouvant aussi être un thème ou «chapeau» commun aux trois piliers. Enfin certains ajoutent encore d'autres piliers comme la culture et l'éducation, la participation et l'évaluation.

Cette représentation traditionnelle du concept de développement durable est évidemment intéressante dans la mesure où elle rappelle

l'origine de la problématique du développement qui doit prendre en compte en même temps les dimensions économiques, sociales et l'environnementales ( Appel de Stockholm de 1972): Une démarche de développement durable doit être en même temps **rentable économiquement, équitable socialement et viable** d'un point de vue **environnemental**.

Ceci est très important et trop souvent oublié, notamment par tous ceux qui se limitent à une approche environnementale et en analysent ensuite les impacts économiques et sociaux pour présenter leur démarche comme une démarche de développement durable. Une telle démarche est une **démarche environnementale** et non pas une **démarche de développement durable**.

Cette représentation qui illustre le fait que seule l'intersection des 3 piliers correspond au développement durable n'empêche cependant pas les médias de présenter, quasiment tous sans exception, le développement durable dans la rubrique Environnement, comme un volet de l'environnement, comme une approche transversale de l'environnement.

Le développement durable « *ne se réduit pas à la protection de l'environnement ou à la conduite écologique des chantiers. Le développement durable, c'est d'abord une conception patrimoniale ou responsable du monde dans lequel nous vivons. De ce fait, les politiques publiques doivent déterminer les conditions d'utilisation, de préservation, de partage et de transmission de ce patrimoine collectif, dans des conditions qui permettent la nécessaire satisfaction de nos besoins d'aujourd'hui sans compromettre celle des générations futures... Le développement durable est un mode de croissance qui garantit, à la fois à court et à long terme, le progrès économique, social et environnemental de la société.* » [MARECHAL et QUENAULT, 2005]

Par ailleurs la Stratégie de développement durable vise à répondre aux 9 défis suivants: le changement climatique et l'énergie ; les transports et la mobilité durables, la consommation

et la production durables ; la gestion durable de la biodiversité et des ressources naturelles ; la santé publique, la prévention et la gestion des risques; la démographie, l'immigration, la lutte contre la pauvreté et l'inclusion sociale ; les défis internationaux du développement durable et de la pauvreté dans le monde; la société de la connaissance; la gouvernance) et précise que « *le développement durable n'est pas un état prédéterminé idéal à atteindre mais un processus concerté d'amélioration, différent selon les cultures et les priorités que se donne la société dans son ensemble, qui vise à une meilleure prise en compte de la dimension environnementale pour que tous les citoyens soient gagnants à sa mise en œuvre* »

Une démarche de développement durable doit poursuivre en même temps des objectifs environnementaux, économiques et sociaux et s'efforcer de trouver des compromis, un optimum « commun » dans la mesure où ces objectifs sont parfois opposés.

Le développement durable est un mode de croissance encadré par des régulations sociales et environnementales, basé sur le marché d'une part et sur l'existence de services publics et collectifs efficaces d'autre part. C'est une démarche encadrée par des régulations sociales et environnementales qui vise au progrès social et à la qualité de vie dans le respect des générations futures et des contraintes économiques :

- il intègre l'environnement au développement économique et social ; dès 1972, on parle d'écodéveloppement comme d'un développement économique et social qui prendrait en compte les dégradations de l'environnement.

L'Union Européenne a mentionné le développement durable dans l'article 2 du Traité de Maastricht et l'a défini comme « *un mode de régulation et une stratégie dont le but est d'assurer la continuité à travers le temps d'un développement social et économique, dans le respect de l'environnement et sans compromettre les ressources naturelles qui sont essentielles à l'activité humaine* » [Charlot-Valdieu, Outrequin, 2006] ;

- il renforce les politiques de solidarité et de lutte contre l'exclusion ;

- il crée une solidarité avec les générations futures par des politiques de préservation des ressources et des écosystèmes..

### **2.3. Finalités et critères de développement durable :**

Cinq finalités essentielles de développement durable des territoires ont été retenues:

1. la lutte contre le changement climatique et la protection de l'atmosphère, qui constitue un enjeu majeur de solidarité entre les hommes, entre les territoires et entre les générations ;

2. la préservation de la biodiversité (qui est une composante majeure de la durabilité des écosystèmes dont dépendent, directement ou indirectement, toutes les sociétés humaines) et la protection des milieux et des ressources ;

3. l'épanouissement de tous les êtres humains, finalité qui correspond à l'article 1 de la déclaration de Rio : «Les êtres humains sont au centre des préoccupations relatives au développement durable. Ils ont droit à une vie saine et productive en harmonie avec la nature»

4. la cohésion sociale et la solidarité entre les territoires et entre les générations, incontournables du progrès social ;

5. une dynamique de développement suivant des modes de production et de consommation responsables, c'est-à-dire à la fois moins polluants, moins prédateurs en terme de ressources et de milieux naturels, et limitant au maximum les risques pour l'environnement et les conditions de vie sur terre. Cette dynamique nécessite un changement des modes de production et de consommation actuels.

Les critères de DD d'un projet ou d'un programme d'actions peuvent être les suivants:

1. La participation de la population et des acteurs du territoire dès l'amont du projet et tout au long de sa mise en œuvre.
2. L'organisation du pilotage ou du processus décisionnel qui doit tenir compte de l'articulation des niveaux (échelles) de territoire et du principe de subsidiarité.
3. La transversalité de la démarche, laquelle s'exprime notamment par le décloisonnement des cultures et des méthodes de travail.
4. Un processus d'évaluation, laquelle doit être partagée d'une part et pensée dès l'amont du projet d'autre part.
5. Une stratégie d'amélioration continue.

### **3. L'évaluation des bâtiments :**

Une rationalisation des activités anthropiques doit nécessairement s'opérer si on désire laisser à nos enfants un monde riche et sain. Cette réalité n'échappe à aucun secteur, et le bâtiment existant est l'un des premiers pollueurs parmi nos activités dont il a des impacts environnementaux majeurs sur l'environnement et constitue un secteur d'intervention prioritaire de diminution des émissions de gaz à effet de serre et autres polluants, mais aussi un secteur où les économies potentielles sont conséquentes, alors il nous faut vraiment une méthode d'évaluation d'un bâtiment durant sa vie.

#### **3.1. L'évaluation:**

Un processus d'évaluation et de suivi des opérations et des actions doit être mis en place le plus en amont possible. Cette évaluation et ce suivi portent sur les actions et les opérations mais aussi sur le projet dans son ensemble.

L'évaluation est un des cinq critères de développement durable, chaque action et chaque programme d'actions doit être évalué en amont afin de mesurer en quoi elle va contribuer à chacun des objectifs retenus pour l'opération d'une part, pour le projet d'autre part et enfin pour les objectifs de la collectivité locale.

Le processus d'évaluation comprend des objectifs, des priorités, des indicateurs (avec leur méthode de mesure, leur périodicité, leurs valeurs objectifs, les responsables de leur mesure, etc.).

L'évaluation et l'analyse des flux énergétiques d'un bâtiment et de ses impacts sur l'environnement nécessitent l'usage de méthodes rigoureuses afin de donner un sens et de fixer des limites aux résultats obtenus. Des outils de calcul spécifiques, adaptés aux niveaux de précision et d'analyse souhaités, mettent en œuvre ces méthodes et facilitent leur application. Cette partie présente les principales méthodes et les outils destinés à l'analyse énergétique et environnementale du bâtiment.

### 3.2. Types d'évaluation :

#### 3.2.1. Evaluation d'impacts associée au processus :

Elle tient en compte les entrants et les sortants au sein des limites de système

#### 3.2.2. Evaluation cumulative d'impacts :

Elle tient en compte toutes les données remontant au processus incluant les émissions et les déchets directs.

#### 3.2.3. Evaluation de cycle de vie :

Elle tient en compte toutes les données cumulatives ainsi le probable future impact incluant toutes les fonctions de transfert et les suppositions de scénario ainsi les limites de système dans le temps et l'espace. [EASE, 2005]

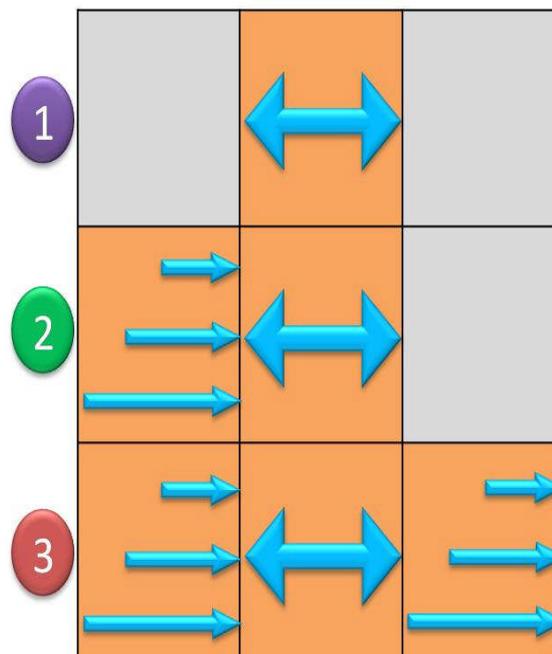


Figure 02 : Types d'évaluations

### 3.3. Méthodes d'évaluation :

Les méthodes les plus utilisées évaluent les performances d'un bâtiment sur des aspects énergétiques. D'autres méthodes multicritères évaluent plus largement les impacts environnementaux. Parmi les outils développés à ce propos il existe un nombre de Méthodes d'évaluation citées ci-après :

3.3.1. Le benchmarking : Le benchmarking signifie analyse comparative. C'est donc une démarche d'évaluation fondée sur des comparaisons d'informations.

Ces informations peuvent être « internes », pour un ensemble de bâtiments d'un patrimoine immobilier par exemple, ou « externes », à partir de données d'autres bâtiments du même type ou de réglementation à titre d'exemple.

La finalité est d'optimiser la gestion à la fois d'un bâtiment, mais l'outil peut s'appliquer à l'échelle du patrimoine [ECOWEB, 2002]. La méthode s'appuie sur l'analyse d'écarts, ce qui permet :

- de situer les performances du bâtiment,
- d'analyser ces performances à des fins d'optimisation,
- de décider des actions à mener à court, moyen et long terme.

#### 3.3.2. Les audits : Dont on distingue :

**Audits énergétiques** : méthode focalisant sur le domaine des énergies. Il s'agit d'une évaluation des performances énergétiques d'un site par un diagnostic à partir des consommations (facturées et mesurées), d'analyses et de préconisations. L'objectif est de diminuer les charges énergétiques sans nuire au confort. Il peut donc s'agir uniquement d'une optimisation tarifaire de contrat.

**Audit environnemental** : le principe est le même que l'audit énergétique, mais les performances sont estimées sur une méthode définissant des critères environnementaux et en

attribuant des points sur chaque critère en fonction du respect d'un certain nombre de conditions : solutions techniques, seuils de performance, choix de matériaux, etc.

3.3.3. Post Occupancy Evaluation: La Post Occupancy Evaluation ou POE, c'est une méthode basée sur la synthèse de l'expérience et de la satisfaction des occupants et gestionnaires techniques d'un bâtiment. Elle fait également appel à des mesures physiques dans certains cas. Elle est conduite par une personne dans la première année de vie de l'activité hébergée par le bâtiment (ce qui veut dire qu'elle s'applique à une entreprise qui déménage par exemple) et s'appuie sur une enquête qui se veut complète sur la qualité du bâtiment, à travers des éléments techniques, des éléments de confort, d'adaptation du bâtiment à l'activité qui s'y déroule, ce qui suppose une série d'indicateurs économiques et sociétaux.

3.3.4. Empreinte écologique: L'empreinte écologique est basée sur une méthode d'évaluation de la pression qu'exerce l'homme sur la nature, et s'exprime en terme d'équivalent surface terrestre. Cet outil évalue la surface productive nécessaire à une population pour répondre à sa consommation de ressources et à ses besoins d'absorption de déchets. Le principe est donc en résumé : quelle taille devrait avoir une île pour assurer la survie d'un nombre donné de personnes sans que cette communauté ne consomme et dégrade irrémédiablement son environnement ? Cette taille est l'empreinte écologique de l'activité d'une société dans des conditions de vie données.

3.3.5. Liste de contrôle: Ces méthodes s'appuient sur un questionnaire à choix multiple ou sur un système de notation associé à des méthodes de pondération permettant d'associer à différents critères du bâtiment des notes reflétant la qualité environnementale. Ces méthodes sont largement utilisées pour la labellisation des bâtiments, du fait de leur facilité de mise en œuvre. Par contre, elles demandent une connaissance pointue du bâtiment et font appel à des pondérations subjectives limitant leur portée.

3.3.6. Méthode d'Analyse de Cycle de Vie: L'analyse de cycle de vie est un raisonnement d'évaluation des impacts environnementaux d'un objet ou d'un système évalué dit « du berceau à la tombe ». Son utilisation a pour but de quantifier les flux de matière dans les écosystèmes. Par extension, toute activité peut faire l'objet d'une analyse de cycle de vie. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour les calculs de ces flux, notamment pour connaître les répercussions complètes de l'utilisation d'un produit, d'une activité ou d'une technologie sur l'environnement. »

L'ACV est utilisée pour évaluer l'impact environnemental de la fabrication d'un équipement ou produit, de son usage et de sa mise en centre de stockage.

L'analyse du cycle de vie ne comprend aucune donnée sociale ou économique mais, comme l'analyse en coût global, elle fournit les indicateurs environnementaux incontournables. (Elle se limite à un indicateur environnemental d'identification des pollutions sans aucune donnée économique ou sociale).

Cette méthode dépend donc de la définition du périmètre d'étude de l'objet et de la précision de l'état des connaissances à la fois sur :

- Les facteurs d'émission à l'environnement,
- Les impacts environnementaux engendrés.

C'est actuellement une méthode largement utilisée pour des outils de management et d'aide à la décision, et a donné lieu à la méthode normative ISO 14040.

#### 4. Les recherches sur l'Analyse de cycle de Vie de bâtiments :

La plus part des recherches qui ont été développées pendant les années 90 , ont été concentrées sur la méthodologie d'Analyse de Cycle de Vie elle-même et particulièrement sur des techniques pour la collecte de données afin de faire sortir les inventaires des entrants (inputs) et sortant (outputs) pertinent à l'ACV des produits et des services ( accentuant sur la deuxième étape qui est l'analyse d'inventaires). Le reste des études qui ont été faites ont accentué sur l'analyse des impacts environnementaux et leurs investigations qui cible à mettre des modèles qui lient les entrants et les sortant avec leurs effets (accentuant sur la troisième étape qui est l'évaluation des impacts). [BELENGINI, 2006]

L'application de cet outil environnemental dans les secteurs stratégiques nécessite un effort pour la diffusion de la pensée de cycle de vie qui fait partie importante du développement durable.

Cette dernière décennie a connu un nombre croissant de champs d'application de l'analyse de cycle de vie et parmi eux le secteur de la construction qui réunit autour de ses problématiques un nombre important d'acteurs : maître d'œuvre, maître d'ouvrage, industriels, sociétés de services et organismes institutionnels travaillent ensemble sur un projet commun : la construction et la gestion durable de notre patrimoine.

Avec ce progrès dans la recherche, quelques thèses telle celle de Giovanni Andrea BLENGINI ont fait retour aux origines de l'ACV dont elle représente une similitude scientifique avec plusieurs domaines comme celui des Ingénieries de mines.

BLENGINI a développé un nouveau modèle d'analyse en abandonnant l'ancien dans lequel seulement les phases pertinentes à l'exploitation des ressources naturelles et des matières premières (considérées comme limitées et non renouvelables), leur transformation et consommation sont considérées sans se soucier des effets conséquents sur l'environnement.

Ce nouveau modèle est caractérisé par un changement de la structure conceptuelle du système de produits de la forme linéaire à celle circulaire où l'écosystème représente en même temps le point de départ et le point d'arrivée de toute activité humaine.

Pour soutenir un tel changement on doit cesser de chercher de solutions durables limitées pour les simples processus en essayant d'intégrer les cotés socio-économique et environnemental.

Les outils de l'ACV aident à comprendre d'où viennent les impacts environnementaux et ils permettent aussi de les quantifier ,de comparer les processus et finalement d'identifier les opportunités d'amélioration sur la base des mesures quantitatives et objectives et non seulement sur la perception subjective de ce qui est ami à l'environnement et ce qui n'est plus. La façon la plus efficace pour accomplir une meilleure solution environnementale, ou en d'autres termes de définir une proportion entre les matières premières naturelles et recyclées qui sont nécessaires pour le développement sociétal et économique ; doit être une évaluation qui prend tout le cycle de vie de l'extraction à la destruction.

Dans cette recherche et par le biais des analyses environnementale et socio-économique faites dans l'analyse de cycle de vie d'un bâtiment, on peut dire que les opérations de recyclage produisent des matières de basse qualité tant que la production d'une matière de haute qualité (premier choix) nécessite une l'utilisation des méthodes d'extraction traditionnelles.

Enfin on peut dire que la méthodologie de l'ACV et malgré les améliorations recommandées puisse être appliquée dans le domaine de la construction dont les résultats obtenus considérés intéressants pour les normes de la durabilité.

Dans tous les cas, malgré le sceptique d'un certain nombre d'industriels, les thématiques de l'ACV restent stratégiques par tous les critères car les fabricants l'ont adoptée dans leur politiques environnementales d'un coté, et demande progressive de matières n'influent pas négativement l'écosystème de l'autre, alors les outils de l'ACV sont efficaces pour la prise des décisions. [BELENGINI, 2006]

Le docteur Maxime TROCMÉ a intégré sa recherche dans une démarche de modélisation orientée vers l'aide à la conception des bâtiments. Les choix effectués visent à rechercher un compromis pertinent entre le niveau de finesse de modélisation et la convivialité d'utilisation, rendant le modèle accessible et adapté à un grand nombre d'acteurs de l'industrie du bâtiment. L'outil d'aide à la conception développé permet en effet de prendre en compte de nouveaux phénomènes dans l'étude énergétique du bâtiment avec un effort de saisie supplémentaire minimale : degré de perméabilité à l'air et éventuellement des coefficients de pression spécifiquement calculés pour le bâtiment par des outils annexes. Il permet en effet de traiter des points cruciaux pour les besoins de chauffage du bâtiment comme pour le confort d'été.

Enfin, l'insertion de l'outil dans une étude d'éco-conception a permis de montrer le bien fondé environnemental de la mise en œuvre d'une démarche d'étanchéité à l'air du bâtiment. Cette dernière s'appuie en effet en grande partie sur une conception précise des détails de construction, une organisation de chantier et enfin des travaux d'étanchéité dont les impacts environnementaux ont été évalués. Une telle démarche appliquée par les acteurs de la conception à la construction devient donc valorisable d'un point de vue environnemental. [TROCME, 2009]

Yann LEROY a développé une méthode d'aide à la décision en visant l'intégration de la performance environnementale en conception par des outils d'éco-conception une par le biais d'une méthodologie de fiabilisation des décisions environnementales basées sur des ACV, à partir de l'analyse et la gestion des incertitudes sur les données d'inventaire. Cette dernière combine une approche qualitative s'appuyant sur l'utilisation d'une matrice de pedigree et une approche quantitative propageant l'incertitude sur les données d'entrée au moyen de simulations de Monte Carlo. La méthodologie développée permet d'une part d'estimer la qualité des inventaires et donc du résultat, et d'autre part d'identifier et de localiser les données les plus influentes sur cet indice de qualité. Cette analyse générée à partir d'informations relativement accessibles permet également une optimisation de la phase de collecte et des ressources allouées. Nous pouvons en effet juger de la pertinence d'une collecte additionnelle en intégrant le potentiel de dégradation d'une donnée sur le degré de fiabilité estimé du résultat. Les conclusions de cette recherche devraient contribuer à crédibiliser les résultats d'ACV et faciliter la mise en œuvre de telles analyses par la gestion raisonnée des efforts de collecte. [LEROY, 2009]

Céline MANDELLINA [MANDALLENA, 2010] a essayé d'évaluer les bâtiments en exploitation en utilisant une méthode qui réalise le diagnostic de la **signature environnementale** du bâtiment évalué comme elle propose aussi des préconisations amenant une optimisation de cette efficacité et ces préconisations s'adressent aux gestionnaires, aux usagers, et à la maîtrise d'ouvrage.

Elle a aussi mis l'accent sur la phase d'exploitation, qui est celle où va se manifester, peu ou prou, la qualité environnementale du bâtiment, par l'ambiance intérieure qu'il offre aux occupants, par ses consommations, par l'entretien et la maintenance qu'il demandera. Cette qualité environnementale du bâtiment dépendra non seulement de l'état du bâtiment, dans le sens de ce qu'il est et de ce qu'il peut faire, mais aussi des modes conjugués de gestion et d'usages dont il sera l'objet. La phase d'exploitation est ponctuée en moyenne d'une rénovation majeure tous les 30 à 40 ans.

Evaluer la qualité environnementale des bâtiments en exploitation est une tâche ardue, en raison de la complexité des phénomènes responsables des impacts environnementaux, et de la variabilité introduite sur le système par le comportement des hommes.

Pour ces raisons la méthode s'est limitée à une expression des émissions de polluants vers l'environnement, local ou global, et n'a pas abordé les impacts environnementaux. Pour certains indicateurs, les données sont actuellement difficiles à obtenir, comme la pollution des eaux, ou la nature, les quantités et le devenir des déchets. Par ailleurs, les calculs d'émission sont eux-mêmes dépendants de l'état d'avancement des connaissances sur les facteurs d'émission sur le cycle de vie complet des fluides concernés.

Le deuxième biais introduit par la méthode est la simplification importante du nombre d'indicateurs. Cette simplification a été opérée dans un objectif de lisibilité et d'utilisation opérationnelle de la méthode par les acteurs de gestion et d'utilisation des bâtiments.

Ce travail amène une contribution à la lourde problématique environnementale résultant de l'exploitation des bâtiments. Cette problématique trouvera une solution à travers trois éléments : les progrès et les performances des systèmes, une véritable gestion environnementale des bâtiments, la prise de conscience et des changements de mœurs vers des pratiques responsables, économes et plus équitables.

## 5. Les outils de l'Analyse de cycle de Vie de bâtiments :

### 5.1. Des logiciels d'agrégation pour les ouvrages :

Voici les quelques logiciels disponibles pour le concepteur. Il est à noter qu'il ne faut pas nécessairement utiliser un agrégateur basé sur une base de données de déclarations environnementales.

Les experts ACV pourront, s'ils le souhaitent, réaliser une véritable ACV quartier ou bâtiment, sur certains impacts, en régressant aux données brutes, afin d'éviter une addition d'approximations importantes.

Pour le quotidien du concepteur et afin d'assurer la répétitivité des opérations, l'apprentissage d'un bon agrégateur est nécessaire.

#### 5.1.1. ELODIE:

ELODIE est un outil à interface web développé par le CSTB (Centre scientifique et Technique de bâtiment) avec le concours de la Direction générale de l'urbanisme de l'habitat et de la construction. ELODIE a reçu en avril 2008 le second prix du concours de l'association HQE sur les outils de qualité environnementale des bâtiments s'appuyant sur les FDES (Fiches de Déclarations Environnementales et Sanitaire).

ELODIE est un logiciel qui permet l'ACV d'ouvrages. A la contribution des matériaux et produits de construction aux impacts environnementaux d'un bâtiment est adjointe celle des consommations d'énergie et d'eau de l'ouvrage en exploitation. ELODIE devrait rapidement évoluer afin de pouvoir répondre à toutes les attentes. Ainsi, un même projet pourra être évalué en phase conception, exploitation ou réhabilitation. De même dans les versions ultérieures ELODIE intégrera d'autres outils et d'autres aspects, tels que le confort acoustique, la qualité d'air intérieur, le confort visuel...

ELODIE permet de coupler un métré de bâtiment (quantitatif des produits utilisés dans le bâtiment) avec les FDES contenues dans la base INIES.

ELODIE permet donc de compiler l'ensemble des impacts environnementaux des produits incorporés dans un bâtiment. Il permet ainsi de calculer la contribution des produits de construction aux impacts environnementaux du bâtiment. ELODIE n'est donc pas un outil complet d'évaluation environnementale d'un bâtiment.

Basé sur l'approche cycle de vie, ELODIE est conçu comme le premier module d'un outil complet d'évaluation environnementale des bâtiments conforme à la norme XP P01-020-3. [CHEVALIER, 2009]

ELODIE est couplé à la base de données INIES, qui regroupe les fiches de déclarations environnementales et sanitaire (FDES), et à des bibliothèques de FDES supplémentaires.

ELODIE est développé en concertation avec les professionnels de la construction, la norme XP P01-020-3 et les travaux de la Sustainable Building Alliance (SBA).

#### 5.1.2. TEAM™ Bâtiment:

TEAM™ Bâtiment est une adaptation du logiciel d'ACV TEAM™ édité par la société Ecobilan. Développé par Price Water House Coopers et leur filiale ECOBILAN, TEAM™ Bâtiment est également un agrégateur de FDES, qui possède une fonction de confidentialité en cas de partage des ressources sur un concours d'architecture, et un module de saisie et traduction des EPD issues de la normalisation internationale. Le logiciel propose de modéliser « les bâtiments et les quartiers » et calculer des extrapolations pour les données manquantes.

Il permet de réaliser l'ACV des bâtiments. Pour la contribution des produits de construction aux impacts des ouvrages, cet outil peut utiliser les ICV issus des FDES des produits de

construction. TEAM™ Bâtiment a reçu en avril 2008 le premier prix du concours de l'association HQE sur les outils de qualité environnementale des bâtiments s'appuyant sur les FDES.

La principale force de TEAM™ Bâtiment est sa complétude en matière de fonctionnalités d'ACV. Par contre, il est beaucoup moins bien intégré aux autres outils de conception des bâtiments (CAO et calculs thermiques).

#### 5.1.3. EQUER:

La méthode d'Analyse de Cycle de Vie du bâtiment développée au Centre Energétique et Procédés de l'Ecole des Mines de Paris permet d'évaluer les principaux impacts environnementaux (effet de serre, eutrophisation, consommation d'eau...) d'un bâtiment issus de sa construction, son utilisation, sa rénovation et sa destruction. Cette démarche, résultat du chaînage entre les logiciels ALCYONE, COMFIE et EQUER.

Différentes variantes sont proposées pour situer le niveau de performances du projet par rapport à la réglementation et aux meilleures pratiques.

EQUER est un outil d'ACV des bâtiments développé depuis 1995 par l'école des Mines de Paris – ParisTech (centre énergétique et procédés). La saisie graphique (logiciel ALCYONE) facilite la description des projets et la comparaison de variantes. Le chaînage à la simulation thermique dynamique (logiciel PLEIADES+COMFIE) permet de prendre en compte l'influence du choix des matériaux sur la consommation d'énergie et les impacts correspondants. EQUER utilise la base de données d'ACV ECOINVENT incluant une centaine de matériaux et les procédés intervenant sur le cycle de vie des bâtiments (énergie, eau, déchets, transports...). Une version utilisant la base INIES est en cours de développement. Le logiciel a été complété pour l'étude des quartiers.

EQUER est développé sous la responsabilité scientifique de Bruno PEUPORTIER, du Centre d'Energétique et Procédés de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, EQUER est un logiciel édité par IZUBA Énergies.

EQUER présente le résultat de l'ACV du bâtiment sous la forme d'un profil environnemental de 12 indicateurs environnementaux.

Les avantages d'EQUER sont sa relative simplicité d'utilisation, sa complétude, son adaptabilité et la cohérence des données qu'il utilise. EQUER est très bien adapté à l'évaluation environnementale du bâtiment très tôt dans le projet (dès l'esquisse et le début de la conception, voire avant). Parmi ses faiblesses, l'obsolescence de certaines données sur les matériaux liée au non-usage des FDES. EQUER a en effet privilégié la cohérence des données sur leur représentativité temporelle et géographique. EQUER va probablement évoluer pour prendre en compte les FDES. [CHEVALIER, 2009]

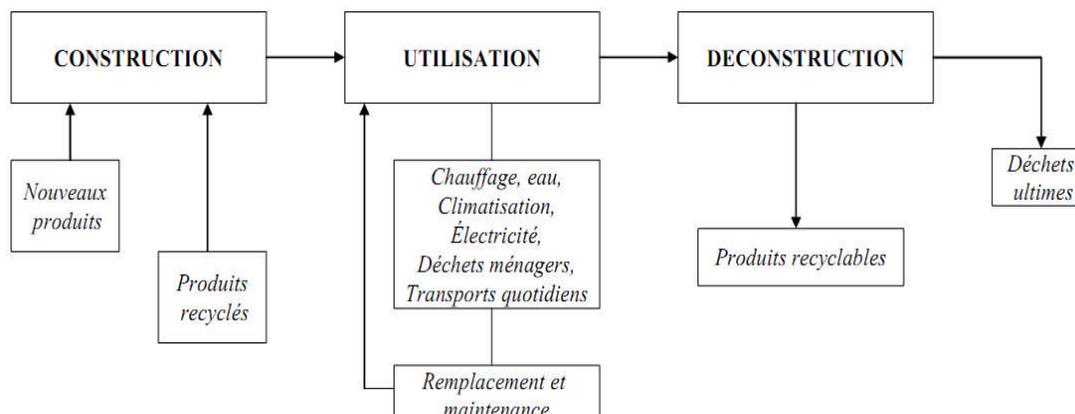
Il récupère la plupart des informations relatives au bâtiment étudié : types et quantités de matériaux, consommations d'énergie électrique spécifique, de chauffage et de climatisation.

D'autres informations sont renseignées dans le logiciel :

La consommation d'eau chaude et eau froide par jour et par habitant, associées à un rendement de réseau d'eau.

Le type d'énergie utilisé pour le chauffage et un mix énergétique pour la production d'électricité.

Les transports (notamment si l'objectif de l'étude est de choisir entre plusieurs emplacements possibles de construction) ; et l'existence de pratique de valorisation des déchets (tri sélectifs ou valorisation à l'incinération).



**Figure 03 : Cycle de vie simulé dans EQUER**

Dans EQUER, le bâtiment est représenté comme une structure d'objet. Le calcul des inventaires est effectué grâce aux méthodes associées à chaque objet selon les procédures de simulation présentées à la Figure 3. Le bâtiment est simulé dans la phase d'utilisation sur un pas de temps d'un an. Le remplacement des composants ou de leurs constituants est effectué automatiquement grâce à des compteurs d'âge inclus dans les objets. [TROCME, 2009]

EQUER est un outil plus ciblé sur les professionnels du bâtiment, y compris les non-spécialistes de l'ACV.

L'analyse de cycle de vie d'un bâtiment dans ce logiciel comme nous avons déjà dit est le résultat d'un chaînage de données entre différents outils informatiques d'évaluation :

- **ALCYONE** : description géométrique du bâtiment;
- **COMFIE** : simulation thermique;
- **EQUER** : ACV des bâtiments.

Ces outils sont chaînés via des fichiers textes dans lesquels les données de bâtiment (la géométrie, les besoins d'énergie, les quantités et types de matériaux impliqués) sont écrites par l'outil situé en amont et lues par l'outil situé en aval.



**Figure 04: Chaînage des entrées/sorties entre les outils d'évaluation**

ALCYONE - le modèleur 2d-3d transfère les données architecturales à l'outil de simulation thermique COMFIE. Le bâtiment est décomposé en volumes appelés zones ayant un comportement thermique homogène (température unique).

COMFIE - un modèle est importé d'ALCYONE, complété par des données sur l'utilisation du bâtiment, puis la simulation est effectuée en utilisant des données météorologiques horaires.

Le programme calcule les besoins d'énergie (chauffage, climatisation et éclairage) et des températures horaires pour les différentes zones thermiques du bâtiment. Les données de l'enveloppe, définie par ses matériaux et leurs quantités, et les besoins d'énergie, sont alors transférées à l'outil EQUER. Dont EQUER - un modèle est importé de COMFIE, complété par des données sur les déchets, les consommations d'eau, éventuellement les transports domicile-travail, puis l'analyse de cycle de vie est effectuée pour évaluer le profil environnemental du bâtiment.

### 5.2. Synthèse et analyse des outils existants :

Parmi l'ensemble des outils existants et incluant ceux présentés en dessus, seize ont été analysés en vue de distinguer leurs principales caractéristiques. Cette analyse devait permettre d'évaluer ainsi la pertinence d'une étude détaillée de leur méthodologie. Les résultats de ces premières analyses ont été présentés suivant un format de fiche de synthèse.

Cette analyse avait pour objectif principal d'identifier quelles sont les données utilisées par les outils, les indicateurs exprimés et la forme sous laquelle les résultats étaient exprimés. Elle a été effectuée à partir des seules informations disponibles et communiquées par les éditeurs des outils. Cette recherche a donc trébuché sur les difficultés d'accès aux méthodes et outils utilisés et nous n'avons donc travaillé que sur la partie émergée de l'information

Les logiciels et outils étudiés avaient été sélectionnés en tant qu'outils utilisant une approche analyse de cycle de vie à l'échelle du bâtiment. Certains de ces outils, préalablement choisis, se sont avérés ne pas être pertinents pour ce projet puisqu'ils n'incluaient pas de réelle approche ACV mais ont permis l'élargissement de cette analyse.

Les outils peuvent être classés en plusieurs catégories selon leur niveau d'intégration et selon leur chaînage avec d'autres outils:

Parmi les outils, on distingue différents niveau d'intégration, notamment :

✓ Un outil correspond à un module. Ces outils n'ont qu'une seule fonction et s'attachent essentiellement aux calculs des impacts imputables aux produits de construction.

✓ Un outil correspond à plusieurs modules. Ces outils sont ceux pour lesquels le module produits de construction est un module parmi d'autres au sein d'un outil plus global. Les modules sont considérés comme juxtaposés.

Après l'analyse des logiciels faite et présentée sous fiches d'analyse en annexe 1, on peut conclure que les 16 outils étudiés ne s'adressent pas tous aux mêmes acteurs (architectes, BET, architectes, consultants, collectivités locales), ne répondent donc pas aux mêmes besoins et n'affichent pas tous la même transparence. Pour une majorité des outils observés, de la documentation consistante et disponible est quasi-inexistante. 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 sur le format et la méthode d'acquisition des données environnementales (acquisition automatique ou manuelle ; données à l'échelle matériaux, produit, assemblage ; données «from cradle to gate » ou « cradle to grave » ; adaptabilité des données), sur l'expression des résultats (indicateurs renseignés, présentation graphique)...

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

- Soit l'outil travaille à partir de données d'ACV produits complètes (« from cradle to grave») et l'utilisateur peut modifier les données s'il souhaite les personnaliser.

- Soit l'outil travaille à partir de données d'ACV partielles (« from cradle to gate ») et l'utilisateur apportent les compléments nécessaires pour son cas d'étude. (Outil type EQUER)

## 6. Conclusion :

Dans notre travail de recherche nous visons à compléter le processus déjà mis en valeur par l'approche de l'analyse de cycle de vie (ACV) qui est adoptée le plus souvent au niveau international pour répondre au problème de l'évaluation des impacts environnementaux des produits. Il s'agit d'étudier un produit, depuis sa fabrication, en prenant en compte ses composants et donc en remontant aux ressources puisées dans l'environnement, jusqu'à sa fin de vie, y compris le traitement des déchets créés, en passant par toutes les étapes de son utilisation. Nous allons appliquer cette méthode au produit "bâtiment", en tenant compte de ses spécificités par rapport aux produits industriels : chaque bâtiment est en général unique, et entretient des liens forts tant avec le site dans lequel il est intégré qu'avec ses occupants.

La connaissance du cycle de vie du bâtiment est un élément indispensable pour toutes les activités de conception et de gestion qui nous a mené à accentuer sur l'étape de conception où il réside notre souci essentiel en tant qu'architectes, en essayant de maintenir les résultats de la méthode d'analyse de cycle de vie avant l'exécution et l'exploitation des bâtiments afin d'éviter tout effet négatif sur l'environnement et l'utilisateur ainsi de prévoir une vie saine et confortable au sein de nouveaux bâtiments sans influencer l'extérieur et enrichir l'état des connaissances sur le cycle de vie des bâtiments et incorporer l'incertitude de l'avenir du bâtiment dans la prise de décisions dans l'avant projet dont la phase de conception est déterminante sur les performances environnementales potentielles du bâtiment.

L'évaluation d'un objet ou l'évaluation comparative de plusieurs objets, ici de bâtiments, dépend d'une part des objectifs de l'utilisateur de l'évaluation, donc de ses critères de décision, et d'autre part de l'identification et de la définition des sources ou effets environnementaux que l'on désire considérer.

Les outils basés sur l'analyse de cycle de vie sont plus holistiques, mais font appel à des inventaires et des bases de données complexes et encore incomplètes. Pour une évaluation des impacts environnementaux potentiels, ils présentent cependant la qualité méthodologique d'être impartiaux et de considérer a priori (en l'état des connaissances) tous les effets possibles pour une variante d'un projet.

Un frein majeur de ces outils est le degré de connaissance que la communauté scientifique a sur les relations complexes et diverses, de source à effet, puis des impacts environnementaux. Le degré de confiance sur les facteurs d'impacts environnementaux disponibles est en constante évolution et laissent encore des incertitudes importantes.

Un autre frein est la spécificité de certains outils au contexte réglementaire, politique et environnemental de leur pays d'origine pour leur application à l'étranger. Une adaptation des référents est alors nécessaire.

Ces constats amènent à soulever le problème de la nécessité d'une procédure de concertation pour le développement de méthodes d'évaluation de la qualité environnementale (QE) des bâtiments, pour des finalités aussi diverses que l'aide à la décision pour la conception et l'adaptation de bâtiments ou leur qualification.

Nous résumons les manques qui apparaissent de cette synthèse des méthodes d'évaluation :

- Les outils d'évaluation sont nombreux pour la phase de conception, et l'état des connaissances des facteurs d'émission et des effets à l'environnement progresse. La méthodologie ACV semble la plus rigoureuse en la matière, même si elle ne permet pas de prendre en compte les critères qualitatifs d'une vie de bâtiment : bruit, esthétique, confort thermique...

- Les outils disponibles semblent encore complexes d'utilisation.

L'ACV ne porte que sur les aspects quantifiables de la qualité environnementale, dont les appréciations les plus subjectives concernant l'esthétique ou la qualité de la vie ne sont jamais abordées, qui nous met en face d'un grand défi.

Alors nous allons Développer une méthode de représentation du cycle de vie du bâtiment prenant en compte les différents points de vue des acteurs du système en basant sur une base de données théoriques collectée et des scénarios prévus qui nous va permettre d'améliorer nos projet dès l'étape d'études.

Une telle évolution des pratiques dans le secteur du bâtiment peut contribuer à respecter certains engagements internationaux comme l'Agenda 21 élaboré lors de la conférence de Rio.

## 7. Références:

1. Adriaanse A., 1993, *Environmental Policy Performance Indicators: a study on the development of indicators for environmental policy in the Netherlands*, Sdu Uitgeverij Koninginnegracht, The Netherlands.
2. BELENGINI, G. A. (2006) , *Life cycle assessment tools for sustainable development: Case studies for the mining and construction industries in Italy and Portugal*.Thèse de doctorat. Université technique de LISBOA, Institut supérieur technique.
3. Catherine Charlot-Valdieu et Philippe Outrequin (2006) , *Développement durable et renouvellement urbain : des outils opérationnels pour améliorer la qualité de vie dans nos quartiers*. Edition L'Harmattan.
4. Catherine Charlot-Valdieu et Philippe Outrequin, (2009) *Vers un urbanisme durable : concevoir un écoquartier*. Ed. du Moniteur février 2009 (réédition en septembre 2009)
5. Chautard G., 2004, *Le mouvement HQE® dans les régions, 4eme Assises HQE*, Reims, 10 et 11 mars 2005. <http://www.assohqe.org/docs/HQEdanslesregions.doc>. Vu le 13 juillet 2010 à 16:04
6. CHEVALIER Jacques, *Analyse du cycle de vie - Utilisation dans le secteur de la construction*. Article publié le : 10 avril 2009, 32 pages
7. COIMBA, (2011). Connaissance de l'impact environnemental des bâtiments: *Développement des outils d'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments par analyse de cycle de vie*. Nicolas Salmon, Lucie Duclos et Fabien Fillit: NOBATEK/Bruno Peuportier et grégory Herfray: ARMINES, CEP/ Jacques Chevalier, Nicoleta Schipu, Sébastieb lasvaux et Alexandra Lebert: CSTB/ Jean-Louis Sénégas et Renaud Mikolase: IZUBA ENERGIE/ Olivier Sidler et Thierry Riesler: ENERTECH.
8. Dominique de Valicourt pour l'Arene Ile de France (2005), *Quartiers durables : Guide d'expériences européennes*, (146 pages), téléchargeable sur le site de l'Arene.
9. Ducroux, A.M. (2002). *Les nouveaux utopistes du développement durable*. Paris: Editions Autrement.
10. EASE, Projet européen (Education of architects on solar energy and environment) , *LCA: the Life Cycle Approach to Buildings*, 2010. [www.cep.ensmp.fr/ease/sustain\\_main.html](http://www.cep.ensmp.fr/ease/sustain_main.html). Vu le 03 janvier 2012 à 10 :25.
11. ECOWEB 2002, *Nouveau système de suivi des consommations d'eau et d'énergie, et de gestion des déchets de patrimoines bâtis*, [www.ecocampus.net/ecoweb/site/defaultFlash.html](http://www.ecocampus.net/ecoweb/site/defaultFlash.html). Vu le 12 mars 2012 à 20:05.
12. LEROY, Y. (2009), *Développement d'une méthodologie de fiabilisation des prises de décisions environnementales dans le cadre d'analyses de cycle de vie basée sur l'analyse et la gestion des incertitudes sur les données d'inventaires*. Thèse de doctorat, École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers.
13. MANDALLENNA, C. (2006). *Elaboration et application d'une méthode d'évaluation et d'amélioration de la qualité environnementale de bâtiments tertiaires en exploitation*. Thèse de doctorat : Spécialité : Mécanique ; Université BORDEAUX 1
14. PEUPORTIER Bruno (2008), *l'éco-conception des bâtiments et des quartiers*. Ecole des Mines de Paris. 336 pages
15. Richard CANTIN, Pierre MICHEL(2010). *Complexité du bâtiment durable*. Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, Laboratoire des Sciences de l'Habitat, Université de Lyon.
16. TROCMÉ, M. (2009). *Aide aux choix de conception de bâtiments économes en énergie*. Thèse de doctorat : spécialité Energétique ; Ecole Nationale Supérieure Des Mines De Paris.

# **Analyse du Cycle de Vie comme outil pour le développement d'une stratégie de construction durable**

CHAPITRE 02 :

## Analyse de Cycle de Vie

**CHAPITRE 02 : ANALYSE DE CYCLE DE VIE**

<b>1. INTRODUCTION :</b>	<b>24</b>
<b>2. DEFINITION DE L'ACV :</b>	<b>26</b>
<b>3. HISTORIQUE DE L'ACV :</b>	<b>27</b>
<b>3.1. Vers une meilleure gestion des ressources naturelles :</b>	<b>27</b>
<b>3.2. De bilans quantifiés à l'ACV :</b>	<b>27</b>
<b>3.3. Un essor fulgurant puis la cassure :</b>	<b>28</b>
<b>3.4. Vers une harmonisation des pratiques :</b>	<b>28</b>
<b>3.5. La pratique ACV aujourd'hui :</b>	<b>28</b>
<b>3.6. Le cadre légal :</b>	<b>29</b>
<b>4. DOMAINES D'APPLICATION :</b>	<b>29</b>
<b>5. METHODOLOGIE :</b>	<b>30</b>
<b>5.1. Description de la méthodologie :</b>	<b>30</b>
<b>5.2. Les étapes d'une ACV :</b>	<b>32</b>
5.2.1. Définition des objectifs et du champ de l'étude :	34
5.2.1.1. <i>La fonction :</i>	34
5.2.1.2. <i>L'unité fonctionnelle :</i>	34
5.2.1.3. <i>Les frontières du système :</i>	35
5.2.2. La phase d'Inventaire de Cycle de Vie :	36
5.2.2.1. <i>Le flux de référence :</i>	36
5.2.2.2. <i>Procédure suivie pour la collecte :</i>	37
5.2.3. La phase d'évaluation des impacts environnementaux :	37
5.2.3.1. <i>Sélection des catégories d'impact, des indicateurs et des modèles de caractérisation :</i>	38
5.2.3.2. <i>Classification :</i>	38
5.2.3.3. <i>Caractérisation :</i>	38
5.2.3.4. <i>Normalisation :</i>	40
5.2.4. La phase d'interprétation :	41
5.2.5. La phase de la traduction des résultats :	43
<b>5.3. Formats typiques des résultats d'ACV</b>	<b>43</b>
<b>5.4. Types de données :</b>	<b>43</b>
<b>5.5. Limites de la méthode ACV :</b>	<b>45</b>
<b>6. LES NORMES INTERNATIONALES DE L'ACV</b>	<b>47</b>

---

<b>7. APPREHENDER UN SYSTEME COMPLEXE :</b>	<b>49</b>
<b>7.1. L'évaluation des impacts</b>	<b>49</b>
7.1.1. Scenarios d'utilisation et de fin de vie	49
7.1.2. Hypothèses induites	50
7.1.2.1. <i>Les différences induites par les méthodes d'impacts :</i>	50
7.1.2.2. <i>Certains indicateurs à manier avec précaution :</i>	51
<b>8. DES LOGICIELS DE REALISATION D'ACV PRODUITS :</b>	<b>52</b>
<b>8.1. GaBi :</b>	<b>52</b>
<b>8.2. SIMAPRO :</b>	<b>52</b>
<b>8.3. Bilan produit de l'ADEME :</b>	<b>52</b>
<b>8.4. Des bases de données d'ACV de produits</b>	<b>53</b>
8.4.1. ECOINVENT	53
8.4.2. La base INIES :	53
8.4.3. DEAM <sup>TM</sup> :	53
8.4.4. ÖKOBAU.DAT	53
<b>9. CONCLUSION</b>	<b>54</b>
<b>10. REFERENCES :</b>	<b>56</b>

## 1. Introduction :

« *Comment rendre l'activité industrielle plus respectueuse de l'environnement naturel?* »

Parmi les solutions mises de l'avant à ce jour, l'analyse du cycle de vie se présente comme la méthode la plus prometteuse pour apporter des éléments de réponse à cette question puisqu'elle permet d'évaluer globalement l'impact environnemental d'un produit ou d'un service et de proposer des solutions d'amélioration sans risquer de déplacer le problème. Pourtant, de nombreux problèmes restent encore à résoudre, dont la collecte des données sur lesquelles cette méthode se base.

La prise de conscience d'un environnement fini et fragile face aux pratiques anthropiques, combinée à la multiplication des législations environnementales sur les produits, procédés et services fait aujourd'hui de la préservation des ressources, la gestion des déchets ou encore des effluents des préoccupations sociétales majeures. Jadis focalisée sur des approches curatives ayant montré leurs limites, la gestion de l'environnement passe aujourd'hui par une intégration systématique dans les processus de conception des produits et procédés. Cette contrainte, prise en compte au même titre que la faisabilité technique, la satisfaction des attentes client ou encore la dimension économique a donné lieu à la naissance de **l'éco-conception**. Cette dernière vise à développer les systèmes dans le respect des **principes du développement durable**. Pour ce faire différents outils et méthodes sont à la disponibilité du concepteur. L'**Analyse de Cycle de Vie (ACV)** en fait partie.

Différentes méthodologies sont utilisées durant ces deux dernières décennies, généralement sous le titre de l'Analyse de cycle de Vie.

L'Analyse de Cycle de vie d'un produit est un processus objectif d'évaluer l'effet environnemental de ce produit ou service par **identifier et qualifier** les matériaux et l'énergie utilisés et les **faits résultants** sur l'environnement durant le **cycle de vie entier**. Généralement elle inclut une phase de reconnaître et évaluer les occasions d'amélioration.

Ainsi la phase d'études qui fait appel à l'Analyse de Cycle de Vie peut être divisée en trois classes : [EASE, 2010]

- 1- Analyse de Cycle de Vie environnementale
- 2- Analyse de Cycle de Vie économique
- 3- Analyse de Cycle de Vie sociale

L'évaluation des impacts environnementaux a une importance cruciale mais elle est un problème très complexe. Certes, nombres d'outils d'évaluation environnementale sont actuellement disponibles, tels que le SFA (*Substance Flow Analysis*), EF (*Ecological Footprint*), EMS (*Environmental Management System*), ou encore MFA (*Material Flow Accounting*), cependant seule l'ACV propose une **approche globale et systémique** basée sur l'étude de l'ensemble du cycle de vie du produit, du procédé ou du service. Cet outil s'avère très performant notamment pour l'identification d'opportunités d'amélioration de la performance environnementale, pour la comparaison de systèmes, le positionnement concurrentiel ou encore pour l'orientation de nouvelles conceptions vers la réduction des impacts environnementaux [Grisel & Osset 2004 ; ISO 2006a].

Cette approche est des plus reconnues à l'heure actuelle. Elle permet de mesurer la performance environnementale des systèmes sur l'ensemble de leur cycle de vie, du berceau jusqu'à la tombe, et d'identifier les phases de cycle ou les composants (matériaux, procédés) les plus impactants. Ces résultats permettent donc de dégager des opportunités de réduction

des impacts ou dommages environnementaux en fournissant un retour d'expérience sur les solutions techniques évaluées. L'Analyse de Cycle de Vie est aujourd'hui définie comme une approche aboutie et reconnue d'évaluation de la performance environnementale des produits, procédés et services. Cependant et malgré la standardisation dont elle a fait l'objet dans les années 1990, certaines limites subsistent et contribuent à fragiliser la fiabilité de ses résultats. La non-prise en compte quasi systématique des incertitudes et de la qualité des données d'inventaire, et son caractère consommateur de ressources en font partie.

L'Analyse de Cycle de Vie apparaît aujourd'hui comme un outil d'évaluation indispensable de la performance environnementale des systèmes complexes. L'évolution des stratégies de gestion de l'environnement basées, il y a encore peu de temps, sur des **démarches curatives** et ciblées dites «en bout de tuyau », traduit de l'anglais « end-of-pipe », vers des **approches globales** et **préventives** où la totalité des sous-systèmes à l'étude est prise en compte y contribue pour une grande part.

L'intégration croissante de la composante environnementale dans les choix de consommation et par voie de conséquence, dans les choix de conception des produits, procédés et services ne se limite pas à l'optimisation des phases d'utilisation des systèmes mais intègre aujourd'hui les pratiques et les biens nécessaires tant à la production qu'à la gestion de la fin de vie de ces systèmes.

Souvent décriée pour son manque d'objectivité et la fiabilité de ses résultats, l'ACV a grandement gagné en crédibilité notamment par la publication de différents guides de réalisation et des normes de la série **ISO 1404X**. Malgré tout des limites persistent et fragilisent l'implémentation de telles analyses pour certaines applications. Sa qualité d'outil d'éco-conception par exemple est vivement remise en cause de par le type de données nécessaires à son implémentation. Celles-ci doivent en effet être représentatives d'un système suffisamment détaillé et donc disponible seulement en fin de cycle de conception.

Des limites méthodologiques viennent également s'y ajouter et contribuent au questionnement sur la réelle fiabilité des résultats d'ACV. [LEROY, 2009]

## 2. Définition de l'ACV :

En accord avec l'organisation internationale de normalisation (ISO), l'ACV se définit comme une : « Compilation et évaluation des intrants, des extrants et des impacts environnementaux potentiels d'un système de produits au cours de son cycle de vie ». [ISO 2006a]

L'ACV peut à la fois être considérée comme un cadre conceptuel et méthodologique visant à évaluer la performance environnementale d'un produit, d'un service, d'un processus ou d'une activité tout au long de son cycle de vie [Wanyama, 2003]. L'approche holistique de l'ACV permet d'éviter tout déplacement de pollution entre différentes étapes du cycle de vie. En effet, une ACV distingue généralement cinq phases dans la vie d'un produit, de l'extraction ou transformation des matières premières à la fabrication, en passant par la distribution, l'utilisation et enfin son traitement en fin de vie (figure 05) [HORNE et al. 2009 ; BELENGINI,2006]. Effectivement ce n'est pas le système en lui-même qui est évalué mais sa fonction unitaire, le service rendu par le système et les moyens mis en jeu pour satisfaire cette fonction.

De façon simplifiée, cette approche considère le système complexe à l'étude comme une boîte noire dont les flux entrants et sortants sont identifiés et quantifiés. Une fois le diagramme de flux réalisé, ceux-ci sont traduits en impacts ou dommages environnementaux à l'aide d'indicateurs également qualifiés d'éco-indicateurs.

Ces méthodes de caractérisation traduisent les consommations et ou émissions de matières et d'énergies en impacts ou dommages environnementaux. Ces correspondances sont établies à l'aide de facteurs d'équivalence pour chacune des substances contributives à la catégorie d'impacts considérée. Ces impacts ou dommages sont exprimés dans une unité commune qui correspond à la quantité équivalente de la substance de référence. Le potentiel de réchauffement climatique par exemple utilise en général le kilogramme de CO<sub>2</sub> équivalent comme unité de référence. Cette évaluation environnementale se base sur l'hypothèse que toute consommation ou émission occasionne un impact. De plus la relation entre cette consommation ou émission et son impact est linéaire. Aussi, aucun effet de seuil n'est intégré à la démarche. De même, les impacts sont sommés sur l'ensemble du cycle de vie afin de faire figurer le coût environnemental total du système. En conséquence les « pollutions » à l'origine de l'impact ou du dommage sont supposées comme étant aiguës et non chroniques.

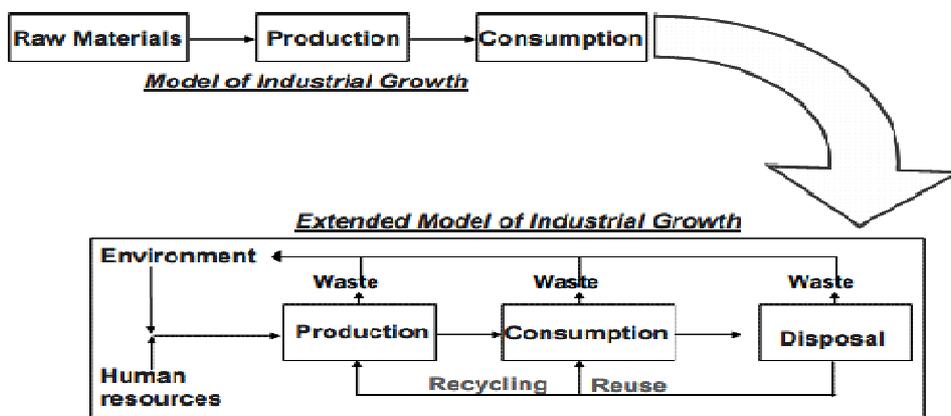


Figure 05 : un Modèle du cycle de vie d'un produit industriel

Analyse du cycle de vie a pour premier but de réduire la pression d'un produit sur les ressources et sur l'environnement tout au long du cycle de vie (« *berceau à la tombe* » – « *cradle to grave* ») L'Analyse du Cycle de Vie est un outil d'aide à la décision qui quantifie l'impact environnemental d'un produit, d'un service ou d'un système en relation à une fonction particulière et ceci en considérant toutes les étapes de son cycle de vie.

L'ACV est un outil d'aide à la décision qui permet de :

**Concevoir**: c'est une aide à l'éco-conception des ouvrages.

**Comparer** : Savoir comparer c'est savoir choisir. L'étude ACV permettra la comparaison entre plusieurs scénarios (énergie, matériaux).

**Agir** sur le produit, c'est-à-dire, pour l'industriel du matériau, de cibler les impacts majeurs («hot spots») et prioriser les axes d'améliorations de son produit en identifiant les principales sources d'impact environnementaux. L'ACV permet aussi d'identifier les composants clés et d'arbitrer (ou éviter) les déplacements de pollutions, d'une étape du cycle à une autre ou d'un impact vers un autre.

**Informé** : donner toutes les clés pour communiquer tant en interne qu'en externe sur l'éco conception et ses résultats, sur des bases établies.

**Suivre les actions** : après un premier diagnostic, l'outil peut être mis à profit pour valider que les décisions et actions engagées ont réellement eu l'effet escompté. [IFPEB, 2010]

### 3. Historique de l'ACV :

#### 3.1. Vers une meilleure gestion des ressources naturelles :

Le 17 octobre 1973, pendant la guerre du Kippour, les pays arabes producteurs de pétrole et membres de l'OPEP décrètent l'embargo sur les exportations vers les états soutenant Israël. C'est la première crise pétrolière. Une meilleure gestion des ressources énergétiques apparaît alors comme une évidence. Ce constat fait également suite à la publication d'ouvrages tels que « The limits of growth » [Meadows et al. 1972], traitant du caractère fini de notre écosystème et de la nécessité d'une consommation optimisée et raisonnée des ressources naturelles.

C'est dans ce contexte que les premiers bilans quantifiés ont vu le jour. Une des premières études fut réalisée par Harry E. Teasley Jr en 1969 pour le compte de Coca-Cola [LEROY, 2009]. Il s'agissait d'une comparaison à but stratégique entre une bouteille en verre et une bouteille en plastique. L'enjeu de l'analyse qui portait sur l'ensemble du cycle de vie du produit était d'une part de déterminer le choix d'implantation de l'usine de production, d'autre part d'identifier le matériau le plus respectueux de l'environnement et enfin d'évaluer l'impact environnemental de l'ajout d'un cycle de réutilisation de la bouteille. Les résultats finaux étaient en faveur de la bouteille en plastique.

Ces premières études connues à l'époque sous le terme d'Analyses de Profils Environnementaux et de Ressources ont d'abord été réalisées pour le compte de l'industrie chimique soucieuse de la bonne gestion de ses productions, du contrôle de ses coûts et de ses rendements et du suivi des matières premières consommées.

#### 3.2. De bilans quantifiés à l'ACV :

Les années 1980 marquent une évolution des pratiques. Historiquement orientées sur les questions énergétiques, les analyses se tournent désormais vers les consommations de ressources non énergétiques et la quantification des impacts environnementaux.

L'outil est alors la propriété exclusive des Universités et des Gouvernements, ses applications principales étant à vocation de recherche et de cadrage politique. En 1988, il fait l'objet d'une appropriation par les industriels et le secteur privé de façon plus générale.

### **3.3. Un essor fulgurant puis la cassure :**

La fin des années 1980 est caractérisée par une utilisation massive de ces analyses par les industriels. La publication des études réalisées par Procter & Gamble (1989) ou encore l'American Paper Institute (1991) illustre cet engouement [Procter et al. 1992]. L'utilisation principale des résultats d'analyse demeure le positionnement concurrentiel notamment par l'intermédiaire de communications publicitaires comparatives des plus agressives [Grisel, Osset 2004].

La publication d'une étude portant sur des couches-culottes est l'élément déclencheur du déclin des ACV. La méthodologie est alors vivement décriée, les conclusions d'analyses étant perçues comme abusives et non justifiées [Blouet, Rivoire 1995].

Une harmonisation des pratiques devient alors un objectif fort afin de gagner en crédibilité.

### **3.4. Vers une harmonisation des pratiques :**

Le processus de normalisation devient incontournable afin de crédibiliser la méthodologie. Celui-ci vise à définir le domaine de validité des résultats et à garantir la reproductibilité des analyses quelque soit le praticien. La chronologie de la démarche vers la normalisation est la suivante :

- SETAC (Society of Eco Toxicology and Chemistry) workshop, Vermont, 1991: rédaction du rapport « A technical framework for LCA »
- SETAC workshop, Louvain, 1991 sur les inventaires de cycle de vie, la classification, l'évaluation et les bases de données
- 1992 : création de SPOLD (Society for the Promotion of Life Cycle Development)
- SETAC workshop, Sesimbre, 1993: rédaction du rapport « Guidelines for LCA: a code of practice »
- SPOLD, 1995-96: création d'un format de communication pour les données d'ACV

En 1998 l'International Standard Organisation se voit commanditée pour la réalisation des premières normes ACV. La première qui est publiée est la norme ISO 14040 et sera rapidement suivie par la publication des normes ISO 14041, 14042 et 14043.

La série 1404X a bénéficié d'une mise à jour courant 2006. La norme ISO 14040 subsiste à l'heure actuelle, en revanche les trois autres volets ont fait l'objet d'un regroupement et ont été synthétisées dans la norme ISO 14044 [ISO 2006a ; ISO 2006b].

### **3.5. La pratique ACV aujourd'hui :**

Le développement et la diffusion de la pratique ACV en font aujourd'hui un outil d'évaluation des impacts environnementaux des produits et procédés des plus aboutis. Largement utilisée pour définir les orientations de développement de produits ou de procédés, l'ACV est aujourd'hui un outil incontournable de positionnement concurrentiel notamment du fait de l'émergence des labels environnementaux et de l'EPD (Environmental Product Declaration) plus spécifiquement. Cette déclaration environnementale s'appuie sur l'approche d'ACV afin de permettre une comparaison des produits d'une même famille [AFNOR 2000]. L'émergence de directives requiert aujourd'hui une meilleure gestion du produit et de leurs modes de production. De telles démarches pourraient sans doute inclure des ACV

complémentaires afin d'intégrer de façon systématique les aspects environnementaux et sanitaires aux profils des produits et procédés.

### 3.6. Le cadre légal :

Dans les années 70 furent réalisées les premières analyses de cycle de vie - essentiellement sur la consommation énergétique, et dans les années 90 sont apparus les écobilans «expérimentaux » basés sur une approche multicritère des impacts environnementaux d'un produit sur l'ensemble de son cycle de vie.

L'ACV bénéficia d'une normalisation internationale en 1997 par la norme ISO 14040 suivie des normes ISO 14041, 14042 et 14043.

De nouvelles normes d'application pour l'élaboration d'une ACV sont apparues en 2006 :

\*En ISO 14040: Management environnemental - ACV - **Principes et cadres**

\*En ISO 14044: Management environnemental - ACV - **Exigences et lignes directrices**

## 4. Domaines d'application :

Son utilisation a pour but de quantifier les flux de matière dans les écosystèmes. Par extension, toute activité peut faire l'objet d'une analyse de cycle de vie. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour les calculs de ces flux, notamment pour connaître les répercussions complètes de l'utilisation d'un produit, d'une activité ou d'une technologie sur l'environnement. » L'ACV est utilisée pour évaluer l'impact environnemental de la fabrication d'un équipement ou produit, de son usage et de sa mise en centre de stockage.

L'ACV ne comprend aucune donnée sociale ou économique mais, comme l'analyse en coût global, elle fournit les indicateurs environnementaux incontournables. (Elle se limite à un indicateur environnemental d'identification des pollutions sans aucune donnée économique ou sociale). L'ACV présente de multiples domaines d'application. Outre le fait d'évaluer la performance environnementale d'un système complexe et de réaliser un inventaire des flux entrants et sortants du système, la réalisation d'une telle analyse a souvent un but stratégique. La finalité de l'analyse qu'elle soit à usage interne ou externe, conditionne de manière importante l'identification des données nécessaires à la compilation de l'ICV et le degré de profondeur de l'analyse [Millet et al. 2003].

Les domaines d'application couverts par l'ACV sont variés. En voici un aperçu non exhaustif :

✓ L'information des décideurs : pour la planification stratégique, la conception ou re-conception de processus ou de produit... etc. ;

✓ L'innovation : interne à l'entreprise ou induite par le secteur ;

✓ Le marketing : l'étiquetage écologique, les études comparatives destinées à l'information du public [Moon et al., 2003 ; ISO 2006].

✓ Les applications potentielles des ACV peuvent être divisées en deux grands groupes.

✓ Les applications commanditées par le secteur public d'une part et celles commanditées par le secteur privé d'autre part. Le secteur d'activité concerné gouverne en partie l'utilisation finale d'une telle analyse, les problématiques étant différentes d'un secteur à l'autre. Le schéma qui suit propose une liste non exhaustive des applications potentielles des ACV [Jolliet et al. 2005; Grisel et Osset 2004 ; Blouet et Rivoire 1995].

Les applications commanditées par le secteur public sont essentiellement destinées à orienter des prises de décisions stratégiques d'ordre global, non spécifiques d'un produit ou d'un

procédé mais plutôt d'une ou plusieurs familles de produits ou de procédés. Le secteur privé y recherche une information plus pragmatique pouvant privilégier une orientation plutôt qu'une autre afin de minimiser ses impacts environnementaux et d'assurer son positionnement concurrentiel. Ces deux aspects sont assurés notamment par l'analyse du système à l'étude mais également par la communication des résultats d'ACV.

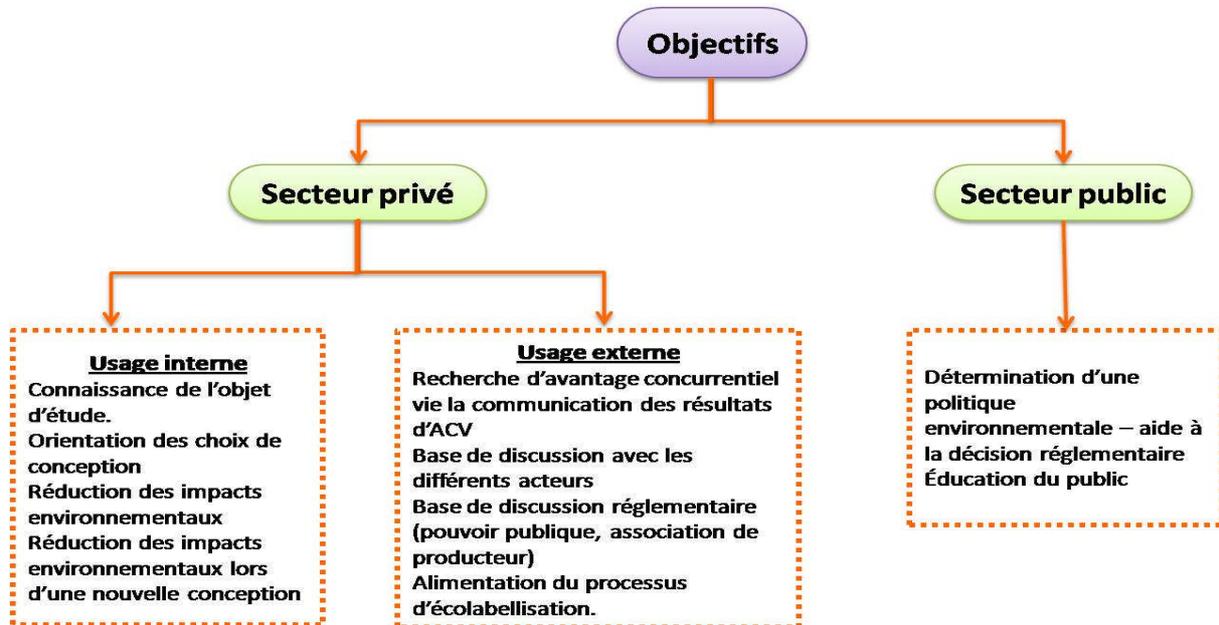


Figure 06 : Synthèse des principales applications d'une ACV

## 5. Méthodologie :

### 5.1. Description de la méthodologie :

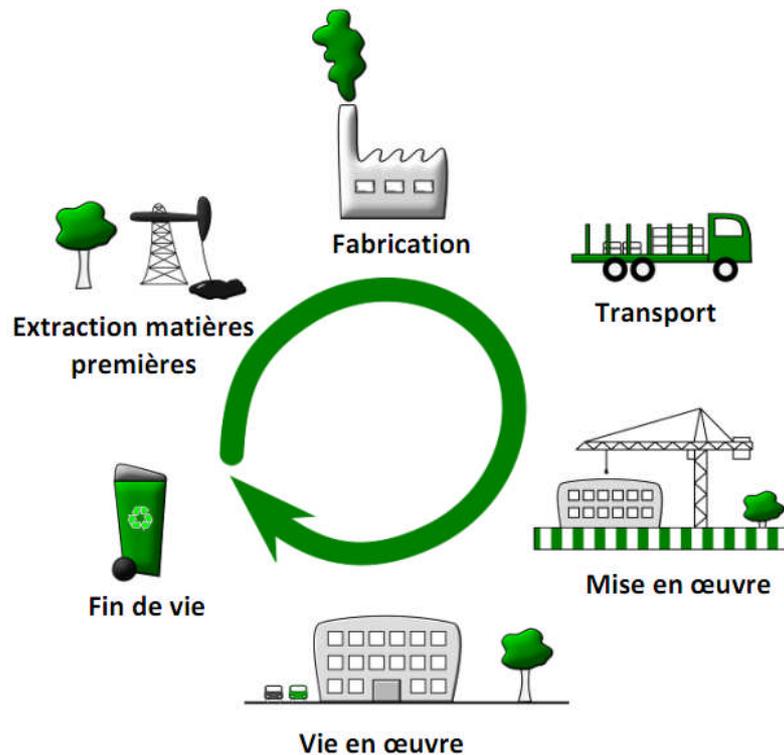
Face aux enjeux liés au changement climatique, à l'épuisement des ressources naturelles, aux diverses pollutions à l'échelle locale, régionale ou mondiale, il est nécessaire de comprendre les mécanismes qui produisent ces désordres, constater les impacts et simuler les évolutions pour agir.

Les méthodes d'évaluation environnementales des activités humaines sont nombreuses et font souvent l'objet de labellisations (empreinte écologique, bilan carbone, etc.)

Développée depuis les années 1970 dans l'industrie, l'ACV est un outil normalisé de comptabilité environnementale régi aujourd'hui par les normes ISO 14040 et ISO 14044. C'est une méthode globale qui aborde toutes les échelles d'impacts, depuis le local (les déchets) à l'impact global (changement climatique) ; c'est une méthode multicritère (qui s'ouvre sur toutes les formes de pollutions via le calcul d'indicateurs environnementaux) et quantitative (quantifie les rejets dans le milieu ou les prélèvements de ressources naturelles).

L'Analyse de Cycle de Vie est la « grammaire » de l'évaluation environnementale des produits.

L'ACV permet d'inventorier les matériaux et processus utilisés afin de comptabiliser les impacts d'un système, d'un produit ou d'un service depuis l'extraction des matières utilisées jusqu'à leur fin de vie, en passant par les phases de distribution et d'utilisation.



**Figure 07 : les phases de vie d'un produit**

L'ACV permet une quantification systématique sur la totalité du cycle de vie des impacts environnementaux : consommations d'énergie, utilisations de matière première et rejets dans l'environnement, etc.

L'ACV d'un produit est un processus itératif, normé et valide pour tous les produits ou services. Il est itératif parce que chaque étape peut amener à revoir les précédentes : ainsi des difficultés dans l'obtention des données pour l'inventaire peuvent amener à revoir les objectifs et le champ d'étude. Une ACV complète s'articule en quatre parties, comme présenté dans le schéma ci-dessous. La pondération des résultats (c'est-à-dire par exemple donner une note globale à un produit à partir des différents impacts environnementaux) n'est pas recommandée par la norme. [IFPEB, 2010]

Une structure méthodologique est produite afin de standardiser l'analyse de cycle de vie et éclaircir les règles à suivre mais elle ne garantit pas la qualité de l'ACV mais elle fournit des éléments conduisant une étude critique des résultats.

Cette structure de l'ACV suit une méthodologie itérative se déroule typiquement en suivant cinq grandes étapes. Les étapes d'orientation (Goal & Scope), d'inventaire (Life Cycle Inventory), d'évaluation des impacts environnementaux (Impacts Assessment) et d'interprétation font partie des exigences notifiées par les normes de la série ISO 14044 et sont donc obligatoires.

La dernière étape est facultative et concerne la formulation de préconisations en vue de la réduction des impacts environnementaux.

## 5.2. Les étapes d'une ACV :

D'après la norme ISO 14040, une analyse de cycle de vie doit inclure quatre étapes :

**Etape 1 :** Définition des objectifs et du champ de l'étude ; comporte 3 phases :

- Phase 1. Objectifs et champs de l'étude
- Phase 2. Fonction du produit et unité fonctionnelle
- Phase 3. Frontières du système

**Etape 2 :** Inventaire des données sur le cycle de vie ; comporte 5 phases :

- Phase 1- construction du cadre de travail de ICV
- Phase 2- collecte des données
- Phase 3- scénarios
- Phase 4- la construction d'un modèle informatique
- Phase 5- La vérification et la validation des données

**Etape 3 :** l'évaluation des impacts sur l'environnement en cours de développement ; comporte 4 phases :

- Phase 1- la sélection
- Phase 2- la classification,
- Phase 3- la caractérisation des impacts
- Phase 4- la Normalisation

**Etape 4 :** Interprétation : En fonction des buts et de l'étendue prédéfinis, on tire une série de conclusions et il restera alors à déduire une série de recommandations à partir de ces conclusions

Certains ajoutent encore une étape de mise à l'épreuve qui consiste à appliquer les recommandations, puis à pratiquer à nouveau une ACV pour voir si les résultats obtenus consistent bien à une amélioration pour l'environnement et si on n'a pas créé de nouveaux effets pervers. Le travail peut donc devenir cyclique. Pour l'observateur critique, ce type de travail est un très bon gage de qualité.

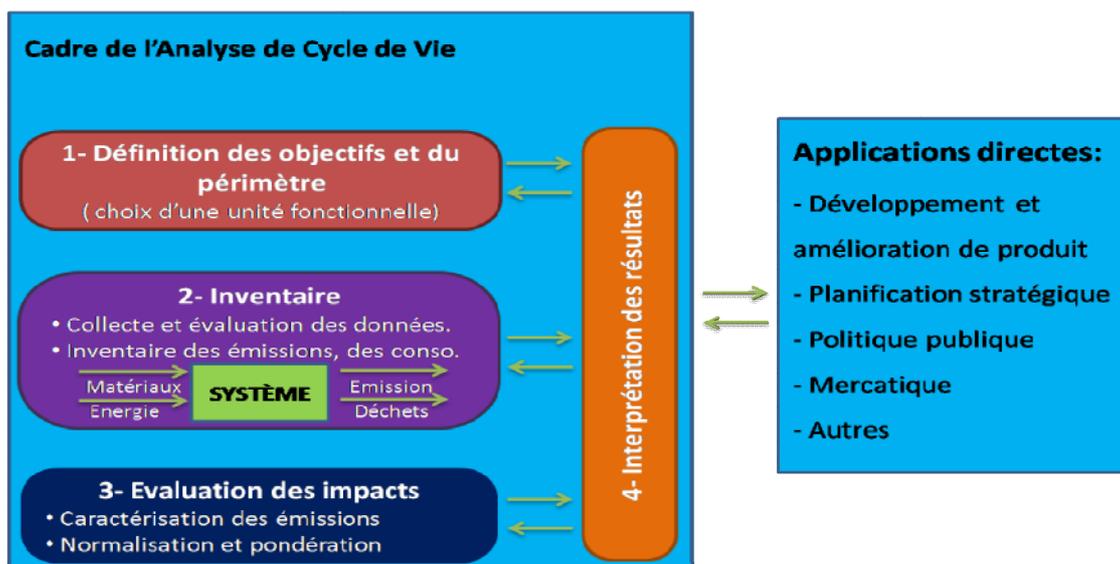


Figure 08: Etapes et applications d'une ACV « ACV : un processus itératif »

# Analyse du Cycle de Vie comme outil pour le développement d'une stratégie de construction durable

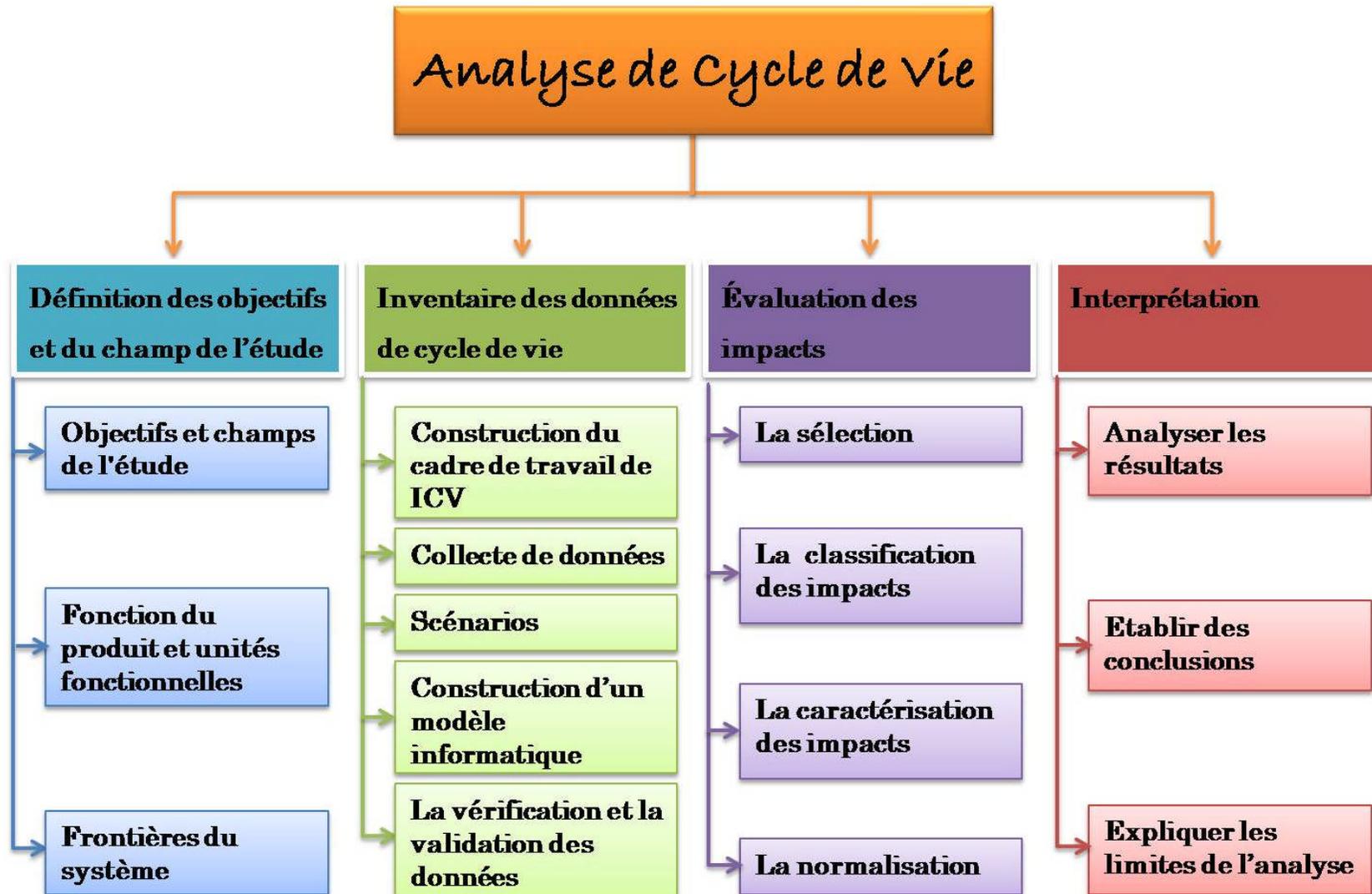


Figure 09 : Schéma récapitulatif des étapes d'une ACV

### 5.2.1. Définition des objectifs et du champ de l'étude :

Une ACV commence par l'étape d'orientation de l'étude, il s'agit de **la définition des objectifs et du champ de l'étude** (Goal and scope definition) elle est une étape cruciale pour le bon déroulement de l'analyse. Elle permet en effet la mise en forme de l'étude mais aussi une réflexion sur sa finalité.

L'ACV étant très sensible aux choix de modélisations et aux objectifs de l'étude, tous les choix évoqués ont une répercussion majeure sur le type d'information à recueillir et sur les résultats finaux [Bretz, 1998].

**Les objectifs** d'une ACV doivent clairement indiquer l'application envisagée pour l'étude, les raisons de sa réalisation, le public concerné et s'il est prévu que les résultats soient utilisés pour des affirmations comparatives destinées à être divulguées au public. La démarche n'aura pas le même degré de précision si on cherche à sensibiliser un public à l'environnement ou si on cherche le meilleur compromis technico-environnemental pour l'élaboration d'un bâtiment.

D'après la norme, **le champ** de l'étude doit clairement décrire les systèmes à étudier ; leurs fonctions ; l'unité fonctionnelle (UF); les frontières des systèmes de produits à étudiés ; les règles d'affectation ; les hypothèses ; les exigences sur les données de l'inventaire ; les limites du modèle et les catégories d'impacts pris en compte.

L'objectif de l'étude servira à préciser la sélection des données nécessaires à l'étude (méthodes de collecte utilisées, facteurs temporels, géographiques et technologiques, sources, précision et représentativité des données...). Cette première phase fournit le plan initial pour réaliser l'inventaire de Cycle de Vie (ICV) [ISO, 2006].

Si l'on prévoit un périmètre large, il est préférable de bien détailler les impacts phase par phase. Si l'impact global est ce que nous cherchons à diminuer, les leviers d'éco-conception sont liés à la connaissance de la contribution de chaque phase. La somme de l'ensemble donne beaucoup moins d'information.

Le choix de ces différents éléments dépend de la destination finale de l'étude. Les résultats de l'ACV en dépendront directement.

#### 5.2.1.1. La fonction :

Va permettre de comparer différents produits entre eux et de définir correctement les frontières du système de l'étude. Par exemple : la fonction d'une peinture est de protéger et colorer un mur

#### 5.2.1.2. L'unité fonctionnelle :

L'unité fonctionnelle caractérise la performance quantifiée du système, dans le cadre de l'analyse non comparative d'un système, dans l'optique d'une meilleure connaissance d'un procédé par exemple, l'unité fonctionnelle n'est pas une donnée primordiale. Elle correspond à une « quantité de service » précise, qui sera utilisée comme unité de référence pour l'ensemble de l'étude. Elle représente la référence à laquelle sont rapportées les quantités mentionnées dans l'inventaire. C'est un élément de mesure de la fonction remplie par le système, elle revêt en revanche un intérêt certain lors de l'évaluation de systèmes concurrents fournissant l'unité de référence nécessaire à la comparaison.

Elle comporte généralement trois facettes : **l'unité de produit, l'unité de service et l'unité de temps.**

D'après la norme d'ISO, l'UF se définit d'être «une performance quantifiée d'un système de produits destinée à être utilisée comme unité de référence » [ISO, 2006, p. 4].

L'unité fonctionnelle c'est la quantification de la fonction qui permettra de comparer différents scénarios, différents produits ou différents processus entre eux en rendant possible un raisonnement à service rendu identique et la méthodologie d'évaluation de l'impact du cycle de vie qui sera utilisée dont la référence que constitue une unité fonctionnelle est nécessaire pour pouvoir mener à bien une comparaison entre différentes études de cycle de vie. Voici quelques exemples d'unités fonctionnelles:

- L'unité fonctionnelle pour une peinture : couvrir 1m<sup>2</sup> de mur pendant 20 ans
  - Pour un isolant : « Assurer une fonction d'isolation thermique sur 1 m<sup>2</sup> de paroi sur une épaisseur de 100 mm pendant une annuité et sur une durée de vie typique de 50 ans avec une conductivité thermique  $\lambda = 0,039$  W/M.K tout en assurant les performances prescrites du produit. »
  - Charpente « bois traditionnel » 100% Résineux : « La fonction d'une charpente telle que définie dans cette étude est d'assurer le transfert de charges en provenance du support de la couverture vers l'ossature du bâtiment dans les meilleures conditions de stabilité. La charpente traditionnelle est réalisée sur mesure pour chaque chantier le plus souvent par taille numérique. Le volume de bois nécessaire et les mètres de la charpente sont calculés par le bureau d'étude de l'usine. Le flux de référence associé à cette unité fonctionnelle est 1 M<sup>3</sup>. »
- A ce niveau seront également définis les impacts à mesurer

#### 5.2.1.3. Les frontières du système :

Elles correspondent au choix des processus et des flux pris en compte. Certains flux élémentaires pourront être négligés du fait de leur très faible contribution au résultat final de l'ACV, comme ils n'influencent pas de manière significative ses conclusions (on ne prendra ainsi pas en compte les flux élémentaires nécessaires à la fabrication d'une pelleteuse dans la phase de construction d'un bâtiment).

Elles reviennent ainsi à définir les limites de l'étude - généralement les étapes qui sont considérées sont :

- Acquisition des matières premières & sources d'énergie
- Transport et distribution
- Les étapes de la production
- L'utilisation du produit

Les frontières du système définissent les processus qui seront inclus dans le système à étudier.

### 5.2.2. La phase d'Inventaire de Cycle de Vie :

Une fois la mise en forme finalisée, les données nécessaires à la réalisation de l'analyse doivent être collectées et éventuellement traitées. L'ICV consiste à identifier et à quantifier chacun des flux transitant par le système, les flux d'intrants et d'extrants du système de produit donné (matières, énergies), à les calculer et à les contrôler. Ensuite, on adapte ces données à l'UF (dans le jargon ACV, on exprime cette étape par la mise à l'échelle) : on obtient une certaine quantité par UF.

Durant cette phase, l'ensemble des flux de processus et flux élémentaires est décrit et caractérisé notamment par sa nature, sa quantification, par la nature des données collectées, leur mode d'acquisition ou leur degré de représentativité. Cette identification donne alors lieu à l'établissement d'un diagramme de flux de processus auquel sont associées les conditions de fonctionnement du système. Afin de garantir l'exhaustivité recherchée, cette étape met en jeu une procédure de gestion des données manquantes mais également une procédure de vérification et de validation. [WERNER, 2005]

#### 5.2.2.1. Le flux de référence :

Il désigne la quantité du produit analysé et des produits ou matières utilisés par celui-ci nécessaires pour répondre aux besoins de l'unité fonctionnelle. On peut citer comme exemple:

- Pour une peinture de qualité, on aura besoin de 2 couches en 20 ans soit 5kg
- Pour une peinture de moindre qualité, on aura besoin de 3 couches en 20 ans soit 7kg
- Pour un papier peint mural, 2m<sup>2</sup> de papier + 100g de colle

Dans le cadre d'une ACV, deux types de flux sont identifiés :

- 1- Les flux économiques : flux matière, énergies, services...échangés entre processus et systèmes extérieurs
- 2- Les flux élémentaires : flux échangés avec l'écosphère (matières premières, déchets, émissions,...)

En distinguant les flux entrants des flux sortants dans un bilan « *matière et énergie* » du système sur toute sa durée de vie [ISO, 1998]:

- 1- Flux de matière entrant : matières premières, matériaux et consommables ;
- 2- Flux de matière sortant : coproduits, sous-produits, déchets liquides et solides, rejets dans l'air, dans l'eau et dans les sols ;
- 3- Flux d'énergie entrant et sortant : énergie électrique, énergie thermique des différents combustibles, chaleur.

Les données qualitatives et quantitatives doivent être connues pour tous les procédés inclus dans un système. Ainsi, l'impact lié à la consommation d'électricité doit prendre en compte les différentes origines de la production électrique (nucléaire, gaz, charbon, renouvelables...). Dans chaque cas on doit prendre en compte les procédés d'extraction de matière, de transport, de la conversion en énergie et du réseau de transport de l'électricité.

Dans le but d'être adaptées à l'unité fonctionnelle les entrées et sorties de chaque procédé sont transformées à l'échelle de cette unité fonctionnelle. Si un bâtiment contient 1000 kg de tuiles que les informations dont on dispose nous donnent les flux élémentaires nécessaires à la fabrication d'1 kg de tuile, il faudra multiplier tous les flux par 1000.

La phase d'inventaires vise à comprendre et évaluer l'ampleur de l'inventaire et l'importance des impacts potentiels d'un système de produits sur l'environnement au cours de son cycle de vie [ISO, 2006].

#### 5.2.2.2. Procédure suivie pour la collecte :

La phase de collecte des données se comporte des étapes obligatoires et optionnelles consistent à sélectionner les catégories d'impact, les indicateurs de catégorie et les modèles de caractérisation quelles sont :

- 1- Quantification des flux économiques et élémentaires : Pour chaque étape du système, on va quantifier tout ce qui rentre et tout ce qui sort.
- 2- Mise à l'échelle des flux économiques et élémentaires : Tous les flux économiques et élémentaires sont mis à l'échelle en fonction du flux de référence.
- 3- Quantification des émissions et extraction : L'objectif est de quantifier, à chaque étape du cycle de vie, tous les éléments qui ont un impact environnemental.
- 4- Agrégation des flux élémentaires : Toutes les données récoltées pour une même source d'impact sont agrégées.

Par exemple : Toutes les émissions de gaz à effet de serre, pour toutes les étapes du cycle de vie, sont additionnées en une seule valeur.

Cette phase s'effectue souvent en deux étapes. Dans un premier temps, la collecte se base sur une **analyse bibliographique** afin de dresser un premier modèle sommaire du système. Après analyse de ce dernier, une collecte de données plus **spécifique** est amorcée afin de combler les carences informationnelles et de valider la première ébauche. Pour ce faire et en fonction des objectifs de l'étude, ces données peuvent à nouveau être issues de la littérature ou être collectées auprès de l'industriel pour plus de spécificité.

La vérification et la validation des données de l'inventaire sont souvent réalisées pendant la phase de collecte. Elle peut se baser notamment sur des bilans énergie / matières. Les erreurs ainsi décelées sont systématiquement corrigées. [GUINÉE, 2004]

Les données seront collectées pour le périmètre traité, elles pourront concerner un matériau, un processus, un ou des bâtiments de tous types, les transports, les services, les infrastructures, etc. S'il n'y a aucune restriction d'échelle, la complexité va bien sûr croissant avec le périmètre. Et les sources des données sont les suivantes :

- La collecte des données de terrain, opérationnelles, sont les sources privilégiées (consommation réelles des processus de fabrication, flux connus, connaissance exacte des matériaux mis en œuvre et leur origine)
- La traduction de ces données de terrain en inventaire, via des bases de données d'ACV ou de produits, c'est-à-dire en centaines de flux de consommations de ressources (minerai, etc.), d'émission de polluants dans l'eau, l'air et le sol.
- Inventorier tous les flux entrants/sortants pour chaque processus du cycle de vie.

#### 5.2.3. La phase d'évaluation des impacts environnementaux :

Cette troisième phase vise à transformer l'inventaire des flux en une série d'impacts clairement identifiables. Pour les problématiques environnementales, la chaîne de « cause à effet » permet d'identifier des effets primaires : découlant directement des activités, par exemple :

- 1) Emission de gaz à effet de serre dû à la combustion d'énergie fossile des effets secondaires: conséquence des effets primaires.
- 2) le réchauffement climatique est la conséquence des émissions de gaz à effet de serre.

Les données récoltées à l'étape précédente sont classées puis regroupées en fonction de leurs contributions aux différentes catégories d'impacts environnementaux. Il est déconseillé par la

norme d'agréger les impacts en un score unique (cas de la certification d'ouvrage BREEAM). Cela revient à pondérer les impacts environnementaux et se déterminer sur leur importance relative, point sur lequel il n'y a pas de consensus. De plus, l'importance des impacts peut varier suivant les priorités du projet, par exemple l'eau et l'énergie en site isolé ou région désertique, les impacts pollutions et déchets en site urbains, etc.

A ce stade une analyse de sensibilité peut être mise en œuvre afin de déterminer l'influence de chacun des flux sur la réponse du système.

Elle consiste alors à traduire les consommations et les émissions identifiées et quantifiées en termes d'impacts environnementaux. Pour ce faire la méthodologie se base sur l'utilisation de méthodes d'évaluation également appelées éco-indicateurs.

La démarche retenue par la norme ISO 14043, [ISO, 2000A] passe par quatre étapes qu'elles sont les suivantes :

#### 5.2.3.1. Sélection des catégories d'impact, des indicateurs et des modèles de caractérisation :

Cette sélection doit être cohérente avec les objectifs de l'étude. Dans la plupart des ACV, on choisit des modèles existants (comme EcoIndicator). Par exemple : le réchauffement climatique, la destruction de la couche d'ozone stratosphérique, l'acidification des pluies, l'eutrophisation des rivières et des plans d'eau, la toxicité humaine, la pollution de l'air, de l'eau, des sols, les odeurs, la réduction de la biodiversité, l'épuisement des ressources, etc.

#### 5.2.3.2. Classification :

La classification des différents éléments de l'inventaire dans chacune des catégories d'impacts retenues, cette étape a pour but d'assigner un flux à une catégorie d'impact. On peut noter que certains flux élémentaires peuvent être assignés à plusieurs catégories d'impact. Ainsi les CFC prennent part au changement climatique mais aussi à la détérioration de la couche d'ozone. [GUINÉE, 2004]

#### 5.2.3.3. Caractérisation :

Elle s'agit de la caractérisation des impacts sous forme numérique, à partir des différentes contributions, dont à l'aide de facteurs de caractérisation, les sorties de l'inventaire sont converties en indicateurs numériques (t eq CO<sub>2</sub> , kg eq PO<sub>4</sub>...).

Elle a pour objectif de caractériser les entrants et sortants en fonction du degré de contribution à un impact.

Amène à convertir tous les éléments participants à un impact en une mesure commune permettant de faire ressortir un indicateur.

Exemple : En termes de réchauffement climatique et émissions de gaz à effet de serre, le CO<sub>2</sub> est présenté comme la substance de référence ; l'ensemble des gaz participant à cet impact sont convertis en équivalent CO<sub>2</sub>

Agrégation des flux élémentaires : Toutes les données récoltées pour une même source d'impact sont agrégées, par exemple : toutes les émissions de gaz à effet de serre, pour toutes les étapes du cycle de vie, sont additionnées en une seule valeur.

En pratique, on procède à une évaluation des impacts environnementaux à partir des données d'ICV grâce à des coefficients préétablis (les facteurs de caractérisation) permettant de calculer la contribution de chaque flux élémentaire aux divers impacts environnementaux étudiés.

Lors d'une ACV, on peut souhaiter adresser uniquement un seul impact environnemental fondamental: réchauffement climatique, déforestation, pollution des eaux, consommation d'eau potable... Ceci est souvent le cas pour certaines filières concernées historiquement par de tels sujets (industrie lourde et pollution, cimenteries et consommation d'énergie), ou bien parce que nous souhaitons faire face à des enjeux mondiaux identifiés comme nécessitant toute notre attention : réchauffement climatique déjà cité, destruction de la couche d'ozone...

Le nombre de critères détermine si on adresse un problème particulier ou si l'on souhaite une analyse plus exhaustive, qui chercherait également de possibles interactions entre les impacts. Un facteur de caractérisation : est un « facteur établi à partir d'un modèle de caractérisation qui est utilisé pour convertir les résultats de l'inventaire du cycle de vie en unité commune d'indicateur de catégorie » [ISO, 2006, p. 5].

Les facteurs de caractérisation des impacts potentiels sont déterminés à l'aide des connaissances scientifiques développées dans chaque domaine: par exemple, ceux concernant l'effet de serre proviennent de l'Intergovernmental Panel on Climate Change. Ainsi, toutes les émissions de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, méthane, CFC...) peuvent-elles être ramenées à une émission équivalente de CO<sub>2</sub>, ce qui simplifie le nombre de données à traiter.

Les méthodes de caractérisation pour réaliser l'ACVI peuvent être divisées en deux catégories en fonction de leur positionnement par rapport à la chaîne des causes à effet. On distingue les méthodes **orientées problème** et les méthodes **orientées dommages**. D'une part, les méthodes orientées problèmes (également connues sous l'appellation de méthode "**midpoint**") vont s'attacher à catégoriser les impacts de premier ordre qu'ils s'appellent les effets primaires, comme par exemple l'émission de CO<sub>2</sub> est caractérisé au niveau d'une augmentation du forçage radiatif dans l'atmosphère et exprimé en kg CO<sub>2</sub>-éq. Parmi ces méthodes, citons IMPACT 2002+ (Suisse), TRACI (États-Unis) et LUCAS (Canada, en cours de développement par le CIRAIG).

D'autre part, les méthodes orientées dommages (également connues sous l'appellation de méthode "**endpoint**") vont plus loin dans la modélisation des chaînes cause-effet, permettant ultimement de modéliser la contribution des impacts de chaque catégorie orientée problème à des dommages tels que la santé humaine, la qualité des écosystèmes ou bien encore la consommation de ressources. Ces méthodes ont l'avantage de rendre l'impact plus éloquent. Ainsi au lieu de parler de radiation ionisante, les catégories de dommages vont-elles quantifier l'impact comme le dommage sur la santé humaine (développement de cancers ou problèmes respiratoires dus à la formation d'ozone) ainsi les dommages écologiques (l'ozone acidifie l'environnement). [PEUPORTIER, 2008]

L'évaluation dite « mid-point », c'est-à-dire jusqu'à l'évaluation des impacts environnementaux, est parfois remise en cause, l'importance d'une catégorie d'impacts par rapport à une autre n'étant pas intégrée. Il est vrai qu'il est difficile de déterminer laquelle de deux conceptions présente la meilleure performance si l'une est plus impactante en terme de potentiel de réchauffement climatique alors que l'autre concentre son impact en toxicité.

Pour répondre à ces interrogations le praticien utilise d'ordinaire une pondération afin de hiérarchiser les catégories d'impacts.

C'est sur ce principe que se base les évaluations présentées sous forme de score unique.

Autrement dit le praticien agrège les scores de chaque catégorie d'impacts en un seul et unique score représentatif de l'impact global du système. Pour ce faire la clef d'agrégation est

déterminée à l'aide de données environnementales, sociales et économiques. En d'autre terme elles reflètent les préoccupations sociétales du moment. Prenons l'exemple de la dégradation de la couche d'ozone dans les années 1990-2000. De nombreuses mesures ont été prises afin de limiter dans un premier temps puis de réduire les émissions de substances contributives. L'apparition de la problématique globale de réchauffement climatique couplée à l'ensemble de ces mesures a eu pour effet de reléguer la problématique ozone au second plan. La gestion des émissions de gaz à effet de serre est devenue aujourd'hui une préoccupation majeure. L'utilisation de tels scores présente l'intérêt d'être très simple d'interprétation. Le risque majeur de l'utilisation de telle approche est l'utilisation de clefs d'agrégation obsolètes. Ces facteurs d'agrégation étant définis pour une période définie, l'utilisation de données obsolètes risque d'entraîner une interprétation erronée des résultats.

#### 5.2.3.4. Normalisation :

Enfin une dernière représentation peut être utilisée. Il s'agit finalement de ramener les impacts environnementaux mesurés à une grandeur connue et plus facilement assimilable.

C'est ce que l'on appelle la normalisation. Elle est facultative dans la norme, consiste à normaliser les résultats obtenus pour chaque catégorie d'impacts, afin d'en permettre la comparaison. En particulier, les impacts peuvent être exprimés par rapport à l'impact annuel d'un individu moyen (année-habitant) dans un groupe donné (pays, continent, monde). La normalisation permet de relativiser les catégories d'impacts et d'identifier les impacts les plus préoccupants par rapport au groupe considéré. Ainsi les impacts mesurés sont ramenés à l'impact d'un individu moyen pour une période donnée et pour une zone géographique définie. De la même façon que pour la mesure de score unique, ces données de normalisation sont figées dans le temps et dans l'espace. Par conséquent l'utilisation d'un référent obsolète conduira à des résultats erronés. La normalisation est en général utilisée à des fins de représentation uniquement. Les textes normatifs déconseillent d'ailleurs son utilisation [ISO 2006b].

Quel impact environnemental faut-il traiter en priorité dans un projet ? La quantité de CO<sub>2</sub> émise exprimée en t eq CO<sub>2</sub> ? La quantité d'énergie primaire consommée exprimée en GJ ? La consommation d'eau en m<sup>3</sup> ? Cette étape permet d'afficher les résultats dans la même échelle. Il est préférable que cette nouvelle échelle se base sur des données temporelles et spatiales, par exemple l'année-habitant spécifique à un pays.

Le Tableau 01 illustre le cas d'un procédé qui dégagerait 7 tonnes de CO<sub>2</sub> et 1 tonne de CH<sub>4</sub>.

Les facteurs de caractérisation sont donnés d'après la méthode Intergovernmental Panel on Climate Change 2001 (IPCC 2001).

Inventaire	7 t CO <sub>2</sub>	1 t CH <sub>4</sub>
Classification	Changement climatique	
Facteur de caractérisation	1 t CO <sub>2</sub> = 1 t eq CO <sub>2</sub>	1 t CH <sub>4</sub> = 25 t eq CO <sub>2</sub>
Caractérisation	$7 \times 1 + 1 \times 25 = 32 \text{ t eq CO}_2$	
Facteur de normalisation	8 t eq CO <sub>2</sub> / an / habitant	
Normalisation	4 Années - Habitant	
<b>Tableau 01 : Exemple d'analyse d'impact environnemental</b>		

L'inventaire est un outil lourd à gérer du fait de la multitude des flux. En outre, il les recense mais n'informe pas sur leurs impacts sur l'environnement. La phase d'analyse des impacts a pour but de mieux comprendre la signification environnementale de l'inventaire.

En effet, dans cette phase les résultats d'inventaire sont convertis en impacts environnementaux.

#### **5.2.4. La phase d'interprétation :**

Cette phase de l'ACV permet de tirer les conclusions de l'étude à la lueur des hypothèses posées et des résultats obtenus. Ces conclusions peuvent être utilisées comme aide à la décision.

Elle comprend plusieurs éléments. En se basant sur les résultats de l'analyse de l'inventaire, on y identifie les enjeux significatifs et on procède à plusieurs vérifications (de complétude, de sensibilité, de cohérence, évaluation de la qualité des données...). En en tire enfin des conclusions, des recommandations tout en soulignant les limitations de l'étude [ISO, 2006].

Elle est omniprésente et elle peut entraîner à tout moment des changements dans le champ de l'étude et dans la façon de collecter les données de l'inventaire, elle permet de résumer et d'analyser les résultats de l'étude pour établir des conclusions et aider à la prise de décision en réponse aux objectifs fixés lors de la première étape. Il est primordial de noter que l'interprétation des résultats ne peut se faire qu'en tenant compte des hypothèses et du champ de l'étude. S'il n'est pas possible de répondre aux objectifs fixés, ces derniers doivent être redéfinis dans le cadre de la première étape de l'ACV.

Elle vise à : analyser les résultats ; établir des conclusions et expliquer les limites de l'analyse. Les résultats fournis doivent être transparents, conformes à la définition du champ de l'étude, complets et facilement compréhensibles. [GUINÉE, 2004]

Il est important de laisser le processus d'analyse ouvert et compréhensible pour permettre critique et analyse personnelle de l'utilisateur (cas par exemple des bases de données exploitables pour la construction)

L'interprétation doit également mettre en avant les méthodes employées pour la vérification des résultats.

Tant qu'une des caractéristiques de l'ACV est d'être un processus itératif, plusieurs auteurs soulignent cependant qu'aucune ACV quantitative complète n'a été réalisée à ce jour, ni n'est susceptible de l'être [Graedel, 1998 ; Hur et al., 2005]. Une démarche courante est de commencer l'analyse avec un niveau de détail peu élevé et de l'affiner au fur et à mesure de son avancement. Lors de l'évaluation préliminaire (dite « screening »), on réalise une analyse simplifiée afin de repérer les ordres de grandeur des différentes contributions. Puis, lors d'une deuxième étape, une analyse détaillée approfondie les points présentant les impacts principaux. Il est à noter que l'acquisition de nouvelles informations peut amener le praticien à devoir modifier le champ de l'étude au cours de l'analyse [Jolliet et al., 2005].

Il est aussi à noter que des variantes à la méthode, dues à des contraintes temporelles et/ou budgétaires ont été formulées selon les principes cadres établis par la SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry). Selon le jugement et l'expérience d'experts, il est par exemple possible de limiter les frontières du système à certaines étapes du cycle de vie, à certaines catégories d'impacts ou encore aux contributeurs principaux. Il est également possible d'effectuer une ACV d'un point de vue purement qualitatif ou de se baser sur des données génériques (ou « secondaires ») issues de banques de données ou de la littérature.

Aussi, on peut réaliser des études d'ICV en suivant les recommandations de la norme ISO 2006, évitant ainsi par rapport à une étude ACV la phase d'ACVI. Cependant, une étude d'ICV ne pourra pas être utilisée pour fins d'affirmations comparatives destinées à être divulguées au public. D'une façon générale, selon les objectifs d'une ACV en particulier, la profondeur et l'ampleur des ACV peuvent varier de façon notable (ISO, 2006).

La phase d'interprétation intervient à chacune des trois étapes précédentes. Elle permet la validation des différentes phases notamment en identifiant les éventuels problèmes rencontrés et en mettant en avant les points cruciaux de modélisation. Ainsi l'ensemble des hypothèses telles que la définition de l'unité fonctionnelle ou encore du périmètre d'étude sont vérifiées et validées en accord avec les objectifs de l'analyse. Il en va de même pour l'évaluation des données de l'inventaire qui requiert en général une évaluation qualitative.

Pour clore cette phase, il convient de déterminer les enjeux significatifs. Ceux-ci peuvent comprendre les données d'ICV, les catégories d'impacts ou encore les contributions significatives à certaines phases de cycle. Ceci permet notamment au praticien de structurer ses résultats d'ACV et les données à l'origine de la modélisation [ISO 2006b].

L'ACV est un outil d'aide à la décision permettant d'évaluer les impacts sur l'environnement de différentes solutions, mais ne peut en aucun cas remplacer la décision finale de l'utilisateur sur l'utilisation du matériau. Celui-ci pourra arbitrer en connaissance de cause, en tenant compte par ailleurs de ses critères économiques et sociaux.

La restitution des résultats peut être présentée sous forme de comparaison de N scénarios par type d'impact environnemental (gaz à effet de serre, consommation en eau, extraction de matières premières, etc.), et pour les ouvrages sous forme d'une répartition par lots (gros œuvre, corps d'état techniques, etc.) La comparaison d'analyses de cycle de vie nécessite qu'elles soient effectuées suivant les mêmes critères et les mêmes périmètres (du berceau à la tombe, du berceau à la porte d'usine, etc.) au risque de comparaisons inexactes.

« Green Guide to Specifications », BREEAM Les éco-points du guide écologique du BRE, largement utilisés au Royaume-Uni et dans une moindre mesure dans d'autres pays, se basent sur la pondération des impacts, mais il n'existe aucune norme ou méthode internationale, la pondération étant arbitraire et pouvant varier suivant des enjeux locaux.

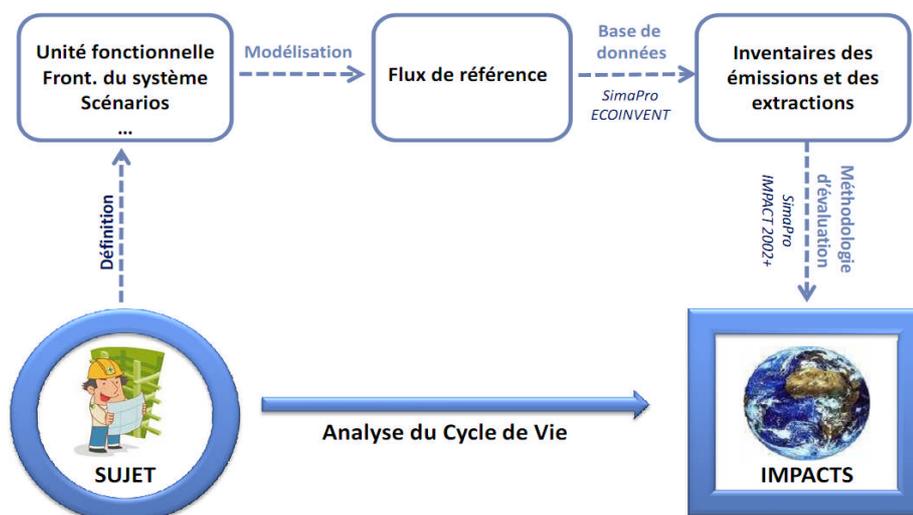


Figure 10 : Schématisation de la méthodologie de l'ACV

### 5.2.5. La phase de la traduction des résultats :

La cinquième et dernière étape optionnelle est la traduction des résultats d'analyse en préconisations de conception ou de minimisation des impacts environnementaux

Elle sort du cadre de l'analyse et s'appuie sur les résultats obtenus pour fournir d'éventuelles solutions technologiques, pratiques ou encore structurelles afin d'éviter, sinon de limiter les impacts environnementaux générés par le système.

Elle est généralement menée dans le cadre d'un partenariat entre l'analyste et le concepteur.

L'analyste peut en effet juger de la pertinence environnementale d'un choix de conception notamment par l'implémentation prospective d'une ACV. Le concepteur quant à lui peut intégrer les remarques issues de l'analyse afin de gérer au mieux les impacts environnementaux identifiés par une ou plusieurs propositions de conception ou d'optimisation.

Ces préconisations de conception peuvent également donner lieu à l'élaboration des outils d'aide à la conception évoqués précédemment : guides de conception, check list, guides de choix de matériaux.

### 5.3. Formats typiques des résultats d'ACV

De manière générale, l'interprétation des résultats d'ACV permet de dégager les opportunités de réduction des impacts environnementaux notamment par l'identification des postes les plus impactant qu'il s'agisse d'une phase du cycle, d'un assemblage, d'un matériau ou encore d'une pratique donnée (procédé de mise en forme par exemple).

L'ACV permet la comparaison de plusieurs cycles de vie et l'identification du système le plus performant. Les phases de cycles peuvent également être comparées. Le suivi des flux contributifs pour chaque phase de cycle éclaire la décision sur les causes de l'impact ou du dommage. Il est donc possible de focaliser les efforts de réduction des impacts sur des processus identifiés. Ceux-ci peuvent comprendre un procédé de production, un schéma logistique ou un choix de matériau par exemple. Enfin l'analyse de flux permet de diminuer le degré de méconnaissance du système et d'appréhender ce dernier de façon globale. Cette représentation peut mettre en avant les leviers d'amélioration de la performance environnementale maîtrisés par l'entreprise : choix de matériaux, modifications des pratiques, optimisation des schémas logistiques.

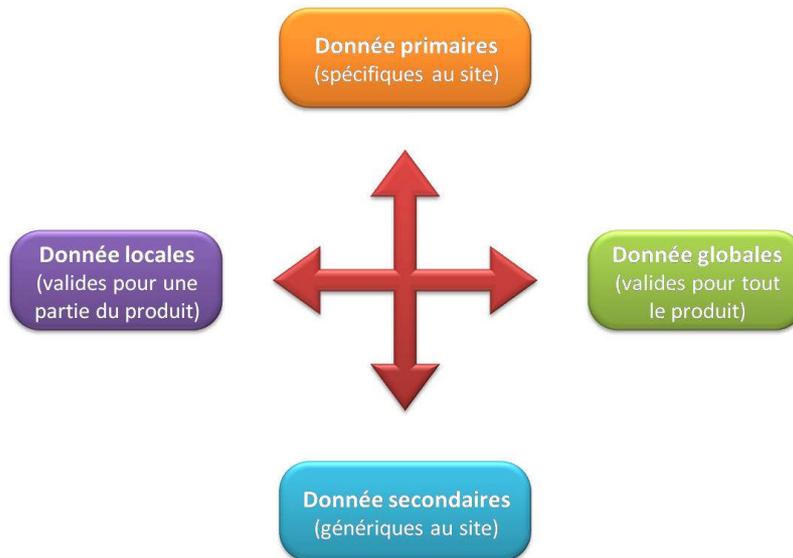
### 5.4. Types de données :

Lors de la réalisation d'une ACV, il paraît important de faire la distinction entre différents types de données.

Tout d'abord, on distingue d'une part les données primaires (spécifiques au système étudié) qui sont contenues dans des bases de données propres à l'entreprise (système ERP, PLM...etc) ou dans des documents internes. Ces données ont l'avantage de refléter au plus près la réalité de l'entreprise. D'autre part, les données secondaires (génériques, c.-à-d. pas spécifiques au système étudié) sont contenues dans des bases de données d'inventaire ACV. Par exemple, la base de donnée ECOINVENT contient plus de 2500 processus organisés autour de métadonnées et de quatre champs (nom, unité, localisation, et précision s'il s'agit ou non d'un processus d'infrastructure). Cependant, la plus grande prudence est requise lorsqu'on utilise ces données car elles ne sont valides que pour une zone géographique spécifique et pour une période définie. Ensuite, on distingue les données d'avant-plan par opposition aux données d'arrière-plan.

Les données d'avant-plan regroupent toute donnée directement en lien avec l'étude (donnée issue d'un système d'information (SI), de statistiques nationales ou d'estimations). Les données d'arrière-plan font référence à toutes les données qui ont été nécessaires pour modéliser l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement (du berceau à la barrière) du processus d'avant-plan. Ces données peuvent être disponibles sous forme désagrégées, comme la plupart des données dans la base de données ECOINVENT ou sous forme agrégées, comme par exemple la production de polypropylène.

Malgré le fait que la distinction suivante ne soit pas reconnue globalement dans le domaine de l'ACV, il paraît judicieux de distinguer les données sur les processus et les produits entre les données locales et globales. D'un côté, les données de type locales sont valables pour une partie d'un produit et décrivent par exemple le matériau utilisé ou la méthode de recyclage applicable. D'un autre côté, les données de type globales sont valables pour un produit dans son ensemble (le lieu de fabrication par exemple) [Otto et al., 2003]. La figure 11 synthétise cette typologie de données.



**Figure 11 : Typologie de données en ACV**

### 5.5. Limites de la méthode ACV :

La méthode d'Analyse de Cycle de vie présente plusieurs limites. Elle repose d'abord sur la définition des objectifs du champ de l'étude, cette définition peut parfois être subjective (sélection des frontières du système, des données utilisées...).

Ensuite, la qualité de l'ACV dépend de l'accessibilité et de la qualité des données d'inventaires. Cette méthodologie étant récente, il arrive de trouver des erreurs dans certains inventaires (la base de données utilisée contient des milliers de références contenant elles-mêmes des milliers de flux élémentaires) ou de ne pas en trouver qui correspondent pleinement à tous les critères (localisation géographique, méthode de calcul...).

Au niveau des indicateurs, la plupart des modèles de caractérisation sont basés sur des effets potentiels, ils ne correspondent donc pas à un impact réel mesurable. Par exemple, il n'est pas possible aujourd'hui d'évaluer les conséquences des émissions de gaz à effet de serre en terme de tempêtes, inondations, etc. Un indicateur de potentiel de réchauffement global est alors évalué permettant d'appliquer le principe de précaution. [TROCMÉ, 2009]

L'analyse de cycle de vie est un raisonnement d'évaluation des impacts environnementaux d'un objet ou d'un système évalué dit « du berceau à la tombe ». Cette méthode dépend donc de la définition du périmètre d'étude de l'objet et de la précision de l'état des connaissances à la fois sur :

- Les facteurs d'émission à l'environnement,
- Les impacts environnementaux engendrés.

C'est actuellement une méthode largement utilisée pour des outils de management et d'aide à la décision, et a donné lieu à la méthode normative ISO 14040 [MANDELLINA, 2006]

Ainsi, la collecte d'informations primaires lors de l'ICV s'avère parfois problématique, puisque de nombreuses phases du cycle de vie d'un produit sont situées en dehors de la sphère d'influence directe de l'entreprise. La réalisation d'une ACV devient d'autant plus difficile dans un contexte de produit fabriqué par plusieurs sous-traitants. Ils refusent souvent de coopérer à fournir des données d'ICV, de crainte de ne pas dévoiler des informations confidentielles sur leur compagnie [Wanyama, 2003].

La complexité et les efforts requis pour la réalisation d'une ACV sont reconnus comme les obstacles principaux à sa diffusion dans l'industrie. L'application et l'intégration de l'ACV dans le processus de prise de décision des organisations étaient loin d'être une pratique courante. On souligne la nécessité de renforcer les recherches et l'attention apportée aux aspects conceptuels, méthodologiques et aux procédures opérationnelles pour que le potentiel de l'ACV puisse être pleinement exploité à grande échelle.

Dans une revue sur l'état de l'art des principaux problèmes rencontrés en ACV, REAP et al. (2008a et 2008b) ont identifié quinze points et problèmes majeurs. Ces auteurs ont tout d'abord classé les problèmes par phase d'apparition selon la nomenclature des normes de la série ISO 14000. Puis pour chaque problème, ils ont attribué un score de gravité et de pertinence de la solution actuelle. Le tableau 02 synthétise les conclusions de cette étude.

Un score de gravité de 1 signifie que le problème est minime et 5 qu'il est grave. De même pour le score de pertinence de la solution, 1 signifie que le problème est résolu et 5 que le problème est encore largement ignoré. [MULLER, 2010]

Phase	Problème	Gravité	Pertinence de la solution
<b>Définition des objectifs et du champ de l'étude</b>	Définition de l'UF	4	3
	Sélection des frontières du système	4	3
	Impacts sociaux et économiques	3	4
	Considération de scénarios alternatifs	1	5
<b>Réalisation de l'inventaire du cycle de vie du produit</b>	Allocation	5	3
	Critère de coupure ( <i>cutoff</i> )	3	3
	Caractère unique de la technologie locale	2	2
<b>Analyse de l'impact environnemental</b>	Catégorie d'impact et sélection de la méthodologie	3	3
	Variations spatiales	5	3
	Caractère unique de l'environnement local	5	3
	Dynamique de l'environnement	3	4
	Dimension temporelle	2	3
<b>Analyse des opportunités d'amélioration</b>	Pondération et évaluation	4	2
	Incertitude du processus décisionnel	3	3
<b>Toutes</b>	Disponibilité et qualité des données	5	3

**Tableau 02 : Synthèse des problèmes actuels rencontrés en ACV.**

Différents chercheurs notent que les recommandations basées sur l'ACV ont manqué d'aborder les négociations éventuelles entre d'un côté la protection de l'environnement et de l'autre les dimensions sociales et économiques du cycle de vie du produit (Dreyer et al. 2006). Du point de vue du DD, ceci peut limiter la capacité de l'ACV à supporter des décisions dans les perspectives de production et de consommation durable (Hertwich 2005). Norris note que ne pas intégrer les évaluations environnementales et économiques peut avoir pour conséquence de rater des opportunités et/ou que l'ACV ait une influence limitée lors des prises de décision, en particulier dans le secteur privé (Norris 2001) [REAP et al., 2008a]. Il est donc manifestement nécessaire d'accentuer les efforts de recherche afin de déterminer dans quelle mesure il serait pertinent d'intégrer l'ACV, l'analyse des coûts du cycle de vie et les méthodologies émergentes d'analyse d'impact social. [MULLER, 2010]

Il faut chercher à réaliser une ACV de façon efficiente en termes de coûts et de temps de réalisation. Plusieurs pistes de solution sont proposées. Parmi celles-ci, Kuhrke et al. (2005) soulignent qu'une ACV doit se faire à l'aide de support informatique et utiliser au maximum les données pertinentes déjà disponibles au sein de l'entreprise. Pour Koffler et al., (2008):

*“Yet, the effort involved remains one major obstacle for its wide-spread use. It is well-known that collecting and processing the relevant data is the most-time consuming part while conducting an LCA study of complex systems. It is possible to reduce the workload significantly by automating these processus steps, which also offers advantages in terms of LCA quality”* (Koffler et al. 2008). [IFPEB, 2010]

Il existait à la fin de l'année 2008 environ cinquante outils logiciels capables de supporter une ou plusieurs étapes d'une ACV, d'après une liste publiée par un centre de recherche de la

Commission Européenne (European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability). Cette liste (disponible à l'adresse suivante : <http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/toolList.vm>) donne pour chaque logiciel un aperçu des fonctionnalités ainsi que le lien vers le site internet du développeur. Parmi ces logiciels, SimaPro, TEAM ou GaBi sont les plus connus et les plus complets. La plupart sont de type « stand-alone » et exigent beaucoup de temps et de ressources humaines pour la collecte des données et donc conduire une ACV. Le développement des logiciels d'ACV de type client/serveur peut résoudre ces problèmes en enregistrant automatiquement les données d'ACV sur un serveur de base de données après une recherche de donnée en ligne. Par exemple, les logiciels SimaPro et TEAM sont maintenant d'architecture client/serveur. Cependant, il est difficile de lier directement ces outils avec les systèmes de base de données d'une entreprise. Ceci est principalement dû à une structure de base de donnée différente et à leur faible flexibilité à accéder aux données liées aux processus d'une entreprise [Moon et al., 2003].

## **6. Les normes internationales de l'ACV : [IFPEB, 2010]**

Normalisée depuis les années 1990, sa pratique est aujourd'hui soumise à des exigences normatives comme le détaille la première partie du chapitre. Celles-ci sont répertoriées dans les normes ISO 14040 et ISO 14044: 2006. Outre les travaux de l'International Standard Organisation (ISO), différents guides de réalisation ont également été publiés et font aujourd'hui référence. Ces ouvrages recueillent des travaux essentiellement dirigés par la SETAC (Society of Eco Toxicology and Chemistry), organisme de référence à l'heure actuelle sur cette thématique au même titre que BUWAL (Ministère de l'Environnement Suisse), L'Université de Leiden (Hollande) ou encore l'Université de Chalmers (Suède).

L'Organisation Internationale de Normalisation, ou ISO, est une organisation non gouvernementale mondialement reconnue qui a pour but de promouvoir la création des normes volontaires communes applicables dans le monde entier. L'ISO est composé par des organismes nationaux spécialisés dans la normalisation qui sont publics, parapublics ou sous tutelle d'Etat, soit des organisations nationales créées par les professionnels (Cas de l'AFNOR en France). L'instance qui joue le même rôle au niveau européen est le Comité Européen de Normalisation (CEN).

Les normes ISO sont des référentiels internationaux d'application volontaire et ayant comme objectif de définir et de partager les bonnes pratiques d'un secteur d'activité (protocoles de tests, vocabulaire, mode de management ou d'assurance qualité, de format...) afin d'harmoniser les activités d'un secteur particulier. Ceci permet d'éviter la multiplication des normes propres à chaque pays, ce qui rend complexe le développement des produits, processus ou services dans le cadre d'une économie de plus en plus globale. Ces référentiels sont développés et actualisés par différents comités techniques composés des experts dans chaque domaine.

Certains de ces référentiels ISO peuvent donner lieu à de la certification, c'est-à-dire à la vérification par une tierce partie extérieure et compétente du respect et de l'application des normes. L'ISO 140016 est un exemple de norme pouvant faire l'objet d'un processus de certification.

Les normes ISO 14 040 et ISO 14 044 donnent le principe, le cadre, les exigences et les lignes directrices pour la pratique de l'ACV. Ces documents restent relativement ouverts dans la mesure où ils ne préconisent pas de méthodologie d'évaluation environnementale particulière pour chaque impact, ne fixent pas de périmètre à considérer, etc.

- Norme ISO 14040 : sert de cadre général à la méthode et à la déontologie. Fournit des prescriptions pour l'ACV en terme de transparence des méthodes et des données utilisées. Rend obligatoire la déclaration de la procédure utilisée et de la mise à disposition du public d'un rapport complet sur les résultats de l'étude.

- Norme ISO 14041 : couvre les deux premières phases de l'ACV (objectifs, champs de l'étude et inventaire).

- Norme ISO 14042 : décrit les lignes directrices de la phase d'évaluation de l'impact du cycle de vie

- Norme ISO 14043 : spécifie exigences et recommandations en vue de l'analyse des résultats de l'inventaire et de l'évaluation de l'impact du cycle de vie.

D'après la norme ISO 14044, si les résultats de l'ACV sont destinés à être communiqués à un tiers, c'est-à-dire à une partie intéressée autre que le commanditaire ou le réalisateur de l'étude qui l'effectue pour son bénéfice propre, un rapport d'une tierce partie doit être élaboré afin d'assurer la qualité et impartialité des informations transmises.

Les ACV concernent tous les produits ou services de l'économie. Il est nécessaire de particulariser cette analyse générique au monde du bâtiment, et mesurer les mêmes impacts par famille de produits afin de rendre les données exploitables.

## 7. Appréhender un système complexe :

L'ACV suit donc une méthode de modélisation qui, en décomposant la vie du produit en étapes et processus élémentaires, permet de mieux cerner les impacts associés à chacune des opérations ou matériaux employés. Cependant, pour la majorité des produits industriels fabriqués avec des sous-produits eux aussi industriels, le système peut devenir assez complexe (nombre de produits chimiques en jeu, nombre de composants) avec parfois des processus ayant une contribution quasi-nulle sur le résultat final [Le Borgne 1998].

Ainsi, définir des frontières pour le système et le champ de l'étude est essentiel au bon déroulement de l'étude afin de simplifier et faciliter sa réalisation. Ce processus de simplification et de normalisation est fait en accord avec des « bonnes pratiques » dans le domaine ainsi que sur la base des normes du type ISO, notamment celles de la série 14040.

Pour appliquer les ACV aux matériaux du bâtiment, il a fallu normaliser et simplifier les démarches. En effet, entre l'énergie nécessaire à la fabrication d'un matériau, le mix énergétique sur lequel le processus industriel est adossé, le nombre de composants ou produits considérés, il y a un univers de possibilités dans lequel il s'agit de fixer des règles communes. Il est bon d'être informé sur les simplifications et hypothèses avant de travailler avec les déclarations environnementales.

### 7.1. L'évaluation des impacts

Prenons l'exemple des gaz à effet de serre : bien que le dioxyde de carbone soit la source la plus importante et reconnue de réchauffement climatique, il existe d'autres substances ayant un effet sur le climat (celles dites « KYOTO » prises en compte par le protocole du même nom: NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, ozone, etc.)

Afin d'évaluer les impacts liés aux flux entrants et sortants (émissions, consommations), on utilise des méthodes d'évaluation des impacts qui convertissent, en illustrant notre propos par le réchauffement climatique, les substances provoquant le réchauffement climatique en un indicateur commun appelé « Changement climatique », mesuré en Tonne équivalente de CO<sub>2</sub>, généralement sur 100 ans. Pour cette conversion, on utilise des facteurs de caractérisation, notamment les « Potentiels de Réchauffement Climatique Global » (PRG) dans le cas du changement climatique.

Il faut simplifier et normaliser pour rendre l'analyse possible et obtenir des résultats interprétables. Il y a des approximations nécessaires, d'où l'importance de se référer à une norme de grand niveau de consensus pour chaque impact. La quantification des impacts est basée sur des modèles scientifiques qui produisent des valeurs avec un niveau d'incertitude réel mais qui a tendance à s'améliorer avec le temps. Retenons de manière prudente un niveau d'incertitude de 20% en général.

#### 7.1.1. Scénarios d'utilisation et de fin de vie

De grandes variations sur les impacts proviennent des scénarios d'utilisation et de fin de vie. Dans les scénarios d'utilisation entrent la maintenance, le nettoyage ou la décomposition naturelle du produit. Quand à la fin de vie, il est important de savoir si le produit est mis en décharge, valorisé énergétiquement (incinéré) ou recyclé (et en quelles proportions).

Ces hypothèses ont un impact fondamental sur le bilan environnemental global. Un matériau valorisé énergétiquement voit son potentiel de réchauffement climatique (gaz à effet de serre) aggravé mais son bilan en déchet fortement diminué. S'il est valorisé dans d'autres matériaux, ces deux impacts diminuent en proportion.

Si l'industriel a participé à la mise en place d'une filière de recyclage, la performance environnementale de ses produits est généralement fortement augmentée. Ce recyclage pourra être intégralement propriétaire (l'industriel recycle uniquement ses produits), porté par la filière (exemple de la mise en place de PV Cycle association qui assure le recyclage de la production de la jeune industrie photovoltaïque), ou bien déjà pris en compte dans des filières complexes de valorisation (acier, aluminium).

En tout état de cause, selon la norme, la prise en compte par l'industriel dans la déclaration environnementale (EPD ou FDES) est possible si la filière de recyclage est déjà mise en place. Il n'y a pas de « promesse d'un monde à venir » dans l'évaluation d'un matériau : les résultats doivent se baser sur des pratiques réelles.

Il n'est pas rare qu'un industriel développe une EPD par grande zone économique, aux pratiques différentes. Par exemple, le fabricant de moquette InterfaceFLOR développe sur plusieurs produits une EPD américaine basée sur le recyclage et une européenne basée sur la valorisation énergétique.

De même, dans les FDES il n'est pas possible de prendre des hypothèses prospectives.

En France par exemple, une agence nationale très au fait des pratiques en termes de déchets industriels, serait à même par exemple de fixer les scénarios de fin de vie de manière indépendante.

Les déclarations environnementales doivent s'appuyer sur des pratiques réelles d'utilisation et de fin de vie.

Un industriel en avance sur les pratiques de recyclage, ou dont l'impact de fin de vie de son produit est négligeable, prendra une réelle avance en termes de performance environnementale.

C'est l'enjeu de l'éco conception de prévoir, anticiper et corriger les impacts environnementaux par une stratégie industrielle.

#### 7.1.2. Hypothèses induites

##### 7.1.2.1. *Les différences induites par les méthodes d'impacts :*

Les mécanismes régissant le devenir des polluants et leur effet sur l'environnement sont complexes et les modèles les décrivant ne font pas toujours consensus. Ainsi, les différentes méthodes d'impacts (CML, IMPACT 2002+, etc.) n'utilisent pas les mêmes facteurs de pondération pour traduire la contribution potentielle d'un flux à un impact environnemental. Pour un même produit (données d'entrée identiques et inventaires identiques), l'application de méthodes d'impact différentes conduit à des valeurs calculées d'indicateurs d'impacts potentiels différentes. Pour des indicateurs qui ne font pas consensus (écotoxicité, etc.) cet écart peut être important. Par conséquent, les bases de données utilisées pour les impacts de certains produits de base présentent parfois des valeurs différentes d'une base à l'autre.

Les différences sont souvent infimes pour les impacts connus et calculés de longue date, plus grandes sur les impacts sur lesquels les méthodes de calcul sont moins éprouvées.

**Tableau 03 : différences d'impacts selon les bases pour un mètre carré de moquette**

PCR Impact Category	Impact	Units/m2
<u>US TRACI</u>		
TRACI, Acidification Potential	2.08	mol H+ Equiv.
TRACI, Eutrophication Potential (Water & Air)	0.012	kg N-Equiv.
TRACI, Global Warming Potential	11.33	kg CO2-Equiv.
TRACI, Ozone Depletion Potential	$3.3 \times 10^{-7}$	kg CFC 11-Equiv.
TRACI, Smog Air	$6.2 \times 10^{-7}$	kg NOx-Equiv.
<u>CML 2002</u>		
CML2002, Acidification Potential	0.041	kg SO2-Equiv.
CML2002, Eutrophication Potential	0.01	kg Phosphate-Equiv.
CML2002, Global Warming Potential (GWP 100 years)	11.55	kg CO2-Equiv.
CML2002, Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state)	$2.9 \times 10^{-7}$	kg R11-Equiv.
CML2002, Photochem. Ozone Creation Potential (POCP)	.004	kg Ethene-Equiv.
CML2002, Abiotic Depletion	$9 \times 10^{-7}$	kg Sb-Equiv.

Dans le tableau ci-dessus, nous prenons la ligne dont l'unité est comparable (TRACI et CML sont en effet deux référentiels, dont les indicateurs coïncident sur les résultats que nous allons comparer) On peut noter sur le même produit que le potentiel de réchauffement climatique (Global Warming Potential) est sensiblement identique mais différent (0,22 de variation absolue soit moins de 2%).

#### 7.1.2.2. Certains indicateurs à manier avec précaution :

Certains indicateurs ont un périmètre à utiliser en connaissance de cause. L'énergie primaire totale utilisée pour la fabrication d'un produit est, dans une FDES, additionnée à l'énergie primaire potentielle contenue dans le matériau.

Si cette dernière information est intéressante, car elle permet de mesurer la compétition pour la ressource entre filières (par exemple entre la création de chaleur à base de biomasse contre une utilisation du bois construction), c'est l'addition des deux valeurs qui perd un peu de sens car tous les produits prélevés sur le milieu ne sont pas en concurrence avec un usage chaleur.

Si l'énergie primaire totale de fabrication participe d'un prélèvement à la nature (dans sa composante non renouvelable), le produit de construction n'étant pas destiné, par nature, à un usage énergétique, le calcul de son énergie potentielle le défavorise tout en ne participant pas à une réelle quantification d'un prélèvement à la nature.

Une filière naturelle, puits de carbone naturel est à ce jour défavorisée par ce calcul. Cela devrait évoluer dans les prochaines versions des normes françaises et européennes.

Il faut cerner les composantes de chaque indicateur et si possible revenir aux valeurs intermédiaires lorsque l'indicateur final est trop général.

## **8. Des logiciels de réalisation d'ACV produits :**

Actuellement, on dénombre plus de 50 dont GaBi, Simapro, TEAM™ ou encore Umberto sont les plus connus. En effet, le constat que l'application et l'intégration de l'ACV dans le processus de prise de décision des organisations est loin d'être une pratique courante. Entre autres, la nécessité de renforcer les recherches et l'attention apportée aux aspects conceptuels, méthodologiques et aux procédures opérationnelles pour que le potentiel de l'ACV puisse être pleinement exploité à grande échelle.

Alors, deux développements en cours complémentaires pourraient fournir le moyen de mieux exploiter le potentiel de l'ACV. Le premier moyen visant à réduire l'écart entre les méthodologies et outils existants et leur application pratique est le développement des processus d'implémentation et des approches organisationnelles y ayant trait. Un second moyen consiste à étendre l'approche cycle de vie pour que les deux autres dimensions du DD (aspects sociaux et économiques) soient aussi prises en considération. [MULLER, 2010]

### **8.1. GaBi :**

Est un logiciel leader sur le marché de la modélisation des produits et des systèmes du point de vue du cycle de vie. Il est disponible auprès de l'entreprise PE International. Il comporte des informations sur le cycle de vie d'un grand nombre de matériaux et de processus, et est régulièrement mis à jour pour refléter les dernières avancées scientifiques et constituer une base solide pour les évaluations de matériaux, produits, services et processus.

### **8.2. SIMAPRO :**

Est un outil scientifique d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) de produits qui a été développé par Préconsultant, consultants et éditeurs basé aux Pays Bas. SimaPro a vocation à répondre à une large palette d'objectifs :

Aide à la décision en éco-conception Fonctions très avancées : ACV paramétrable, analyse d'incertitude, traçage des substances,

Utilisation simple : interface ergonomique, import et export sous tableur ou d'autres formats au choix...

Environ 7 000 modules de matériaux et procédés livrés en standard et données sectorielles dont des données dans le domaine de l'électrique – électronique.

### **8.3. Bilan produit de l'ADEME :**

Cet outil réalisé avec l'université de Cergy-Pontoise sur la base Ecoinvent permet de modéliser le produit de manière simple, en prenant en compte les principales étapes de son cycle de vie : les matériaux qui le composent, les procédés de fabrication, les moyens de transport, les sources d'énergie. L'estimation des impacts porte sur huit indicateurs et permet de comparer différentes simulations pour un même produit.

#### 8.4. Des bases de données d'ACV de produits

Ci après, une présentation non exhaustive des bases de données disponibles pour les ACV.

##### 8.4.1. ECOINVENT: [<http://www.ecoinvent.ch/>]

Le centre ECOINVENT a été fondé en 2000 et est constitué de différents pôles de recherche en ACV incluant des départements des écoles polytechniques fédérales de Zurich (ETHZ) et de Lausanne (EPFL), et des instituts tels que le Paul Scherrer Institut, le laboratoire fédéral suisse pour l'essai de matériaux et la recherche (EMPA), la station fédérale de recherches en agro écologie et agriculture (Agroscope FAL Reckenholz). Le but de ce centre est d'établir et de fournir à l'industrie, aux autorités publiques et aux institutions de recherche des inventaires de cycle de vie transparents et détaillés, afin d'améliorer la performance environnementale de leurs produits, leurs procédés et leurs services. Les données de notre étude seront issues de la dernière version 2.0 publiée en 2008. L'exhaustivité des flux pris en compte et la transparence dans les calculs font de cette base de données une référence internationale chez les praticiens d'ACV.

##### 8.4.2. La base INIES : [[www.inies.fr](http://www.inies.fr)]

La base de données INIES est la base de données française de référence sur les caractéristiques environnementales et sanitaires des matériaux et produits de construction. Les FDES sont fournies par les fabricants ou syndicats professionnels au format de la norme NF P01-010. Le fonctionnement de la base INIES est assuré par le conseil de surveillance et le comité technique. Le conseil de surveillance, présidé par la Direction générale de l'Urbanisme et de la Construction veille à l'éthique et à la déontologie de fonctionnement de la base INIES. Le comité technique veille à la collecte et au traitement des données ainsi qu'à l'actualisation du contenu de la base. La base INIES compte à ce jour plus de 500 FDES.

##### 8.4.3. DEAM<sup>TM</sup>: [[https://www.ecobilan.com/fr\\_deam.php](https://www.ecobilan.com/fr_deam.php)]

Le logiciel TEAM<sup>TM</sup> est livré avec une base de donnée de départ appelée DEAM<sup>TM</sup> Starter Kit et qui comprend plus de 300 modules à utiliser dans la construction de pratiquement tous les systèmes. Ces modules couvrent depuis la production de carburant jusqu'aux différents moyens de transports utilisés et depuis la production chimique jusqu'au moulage du plastique.

Ces modules fournis dans le DEAM<sup>TM</sup> Starter Kit ne sont qu'une partie de ceux disponibles dans le catalogue général des modules environnementaux dont Ecobilan dispose (que l'on appelle base DEAM<sup>TM</sup>- Data for Environmental Analysis and Management).

##### 8.4.4. ÖKOBAU.DAT

C'est une base de données allemande rassemblant plus de 700 EPD spécifiques et génériques, publiées par l'organisme BMVBS sur un site internet. Cette base, à l'instar de la base INIES pour ELODIE, rassemble les données d'entrée pour les logiciels GaBi BUILD-IT ou LEGEP [LEROY, 2009].

## 9. Conclusion

L'ACV, de par ses caractères systémique et global apparaît à ce jour comme un outil indispensable de l'évaluation des performances environnementales des systèmes complexes. Bien qu'elle présente des limites majeures quant à l'évaluation de nouveaux procédés ou produits, elle permet le développement d'outils d'éco-conception en mettant l'accent sur les points critiques de conception et les leviers de réduction des impacts environnementaux.

Depuis la fin des années 1980, la méthodologie a fait l'objet d'une harmonisation des pratiques puis d'une normalisation, cependant de nombreuses limites subsistent. Certaines d'entre elles fragilisant l'implémentation de l'approche, la disponibilité de l'information par exemple, alors que d'autres fragilisent les résultats et donc les décisions sous-jacentes.

L'analyse de cycle de vie est une méthode permettant d'évaluer la consommation en ressources et les impacts environnementaux d'un produit, d'un système ou d'un service de sa mise en œuvre à sa destruction (« du berceau à la tombe »). Cet outil permet d'aborder toutes les dimensions écologiques d'un système.

On utilise l'analyse du cycle de vie d'un système pour le comparer à d'autres, pour comparer les alternatives d'un projet, l'importance des différentes phases de son cycle de vie et pour comparer les résultats obtenus avec une référence.

Une telle analyse est adaptée aux phases de prises de décisions industrielles ou politiques. Les différents indicateurs d'impacts permettent une vision environnementale globale d'un système.

Ainsi le grand nombre de données à gérer mais également leur caractère hétérogène sont autant de facteurs fragilisant la réelle signification des résultats d'ACV. En outre l'absence de prise en compte systématique des incertitudes et de la qualité de l'inventaire ne fait que limiter le crédit que l'on peut accorder aux résultats d'ACV, ces carences pouvant conduire à de fausses conclusions.

L'ensemble de ces limites fait émerger la problématique générale. Il semble en effet primordial de développer une approche visant à fiabiliser les résultats d'ACV notamment par l'intégration et la gestion des incertitudes et de la qualité des données d'inventaire. La simple validation des données à partir de leurs sources ne semble pas suffisante pour juger de la qualité des résultats.

L'ACV est conditionnée par de nombreux choix laissés à la discrétion du praticien et du groupe projet. Certains d'entre eux tels que la définition de l'unité fonctionnelle, la définition du périmètre d'étude, la définition des clefs d'allocation dans le cas de systèmes multi-produits ou multifonctionnels ou encore le choix de l'éco-indicateur influencent grandement les résultats d'analyse.

La gestion des dimensions spatio-temporelles est également un problème de taille. L'ACV fournit en effet une quantification des impacts sur l'ensemble du cycle de vie en cumulant les consommations et émissions des différentes phases de cycle. Or le dommage ou impact environnemental réel ne correspond pas à l'impact total pour une situation géographique donnée à un instant  $t$  mais à la somme de plusieurs petits impacts à différents endroits et pendant des périodes très variables. Les phénomènes de seuils, de périodicité (chronique ou aiguë) et la fragilité des milieux sont exclus de la méthode. Par conséquent les agrégations donnant lieu aux résultats ne reflètent pas la réalité [Owens 1997].

En outre, l'ACV est un outil complexe nécessitant un degré d'expertise relativement élevé tant sur le volet de l'implémentation que sur celui de l'interprétation [Le Pochat, 2005 ; Jolliet et al. 2005]. Ceci contribue grandement à limiter son utilisation notamment dans les petites et moyennes entreprises.

De plus l'information en elle-même est une limite majeure. En effet la phase primordiale de l'ACV est l'inventaire et le praticien se heurte souvent à un problème de disponibilité ou de collecte de l'information [Millet et al. 2003]. L'information existe ou n'existe pas et si celle-ci existe, elle peut cependant être soumise à confidentialité auquel cas son utilisation est remise en cause. L'agrégation de données confidentielles peut être une solution. Néanmoins elle ne sera pas satisfaisante si les clefs d'agrégation sont inconnues du praticien. L'accès à une information a finalement un coût économique ou en terme d'effort de collecte. Le praticien se doit donc de trouver un compromis entre la quantité d'information à collecter et le coût occasionné. A la disponibilité de l'information se greffe également la qualité de l'information. Bien qu'une analyse qualitative soit hautement recommandée, les praticiens ont plutôt tendance à jouer la carte de la transparence en ce qui concerne les sources de données, sans pour autant estimer la qualité de l'inventaire, souvent laissée à la discrétion du lecteur.

Enfin les incertitudes et leur propagation au cours de la procédure compromettent également les résultats d'ACV. L'absence de consensus quant à la démarche à mettre en œuvre afin de gérer l'incertitude conduit les praticiens à ne pas la prendre en compte. Par conséquent les résultats d'ACV sont souvent exprimés en termes de valeurs isolées conduisant le praticien à identifier l'alternative préférentielle sans évaluer si les différences d'impacts entre les alternatives sont significatives. Cette non prise en compte peut donc nuire gravement à la fiabilité des résultats et conduire à de fausses conclusions.

Les incertitudes existent et les résultats sont toujours approchés. Il serait souhaitable que les déclarations environnementales gèrent à terme les incertitudes.

L'utilisateur d'une déclaration environnementale s'attachera à la connaissance des hypothèses qui sous-tendent les calculs. Toute comparaison de produit doit se dérouler dans des hypothèses similaires.

La comparabilité implique également l'alignement des hypothèses suivantes :

- L'emballage est-il pris en compte ou non ?
- Le périmètre est-il identique? Quelles sont les parts modales ?
- L'unité fonctionnelle est-elle la même ?
- Les performances techniques ( $\lambda$ , affaiblissement acoustique, UPEC, etc.)
- Quelle « Durée de Vie Typique » des produits ?
- Quelles hypothèses de fin de vie ?

Deux déclarations environnementales de produits ne se comparent pas sans que cet alignement soit vérifié.

Il est important que les logiciels d'éco-conception soient transparents sur les hypothèses d'entrées et permettent éventuellement de les corriger pour une meilleure prise en compte des situations réelles.

**10. Références :**

1. AFNOR, Norme XP ISO/TR 14025. Marquage et déclarations environnementaux. Déclarations environnementales de type III. Décembre 2000.
2. BELENGINI, G. A. (2006) , *Life cycle assessment tools for sustainable development: Case studies for the mining and construction industries in Italy and Portugal*.Thèse de doctorat. Université technique de LISBOA, Institut supérieur technique
3. Blouet. A., Rivoire. E. L'écobilan. *Les produits et leurs impacts sur l'environnement*. Edition Dunod., Paris, 1995. 213p.
4. Bretz. R. SETAC LCA Workgroup : *Data availability and data quality. Gate to EHS: Global LCA Village*. (1998)
5. EASE, Projet européen (Education of architects on solar energy and environment) , *LCA: the Life Cycle Approach to Buildings*, 2010. [www.cep.ensmp.fr/ease/sustain\\_main.html](http://www.cep.ensmp.fr/ease/sustain_main.html). Vu le 03 janvier 2012 à 10 :25.
6. Graedel, T.E., (1998). *Streamlined Life-Cycle Assessment*. New Jersey : Prentice Hall Inc.
7. Grisel. L., Osset. P. *L'analyse du cycle de vie d'un produit ou d'un service. Applications et mise en pratique*. AFNOR 2004. 357p.
8. Guinée, J. B. (2004). *Handbook on Life Cycle Assessment Operational Guide to the ISO Standards..* United States of America: Kluwer Academic Publishers.
9. HORNE Ralph, Tim GRANT, Karli VERGHESE, (2009). *Life cycle assessment: principles, practice and prospects*. CSIRO PUBLISHING
10. Hur, T., Lee, J., Ryu, J. & Kwon, E. (2005). *Simplified LCA and matrix methods in identifying the environmental aspects of a product system*. Journal of Environmental Management.
11. IFPEB : Institut Français pour Performance Energétique du Bâtiment (2010), *Les choix constructifs à la lumière de l'analyse du cycle de vie : Un point pratique sur les déclarations environnementales des matériaux. Quelles méthodes, pour quelles décisions ?* Version 1.0 du 14/12/2010.
12. ISO 2006 a, Association française de normalisation. *Management Environnemental: Analyse Du Cycle De Vie : Principes Et Cadre*. Paris La Défense: AFNOR, 2006. NF EN ISO14040.
13. ISO 2006 b, Association française de normalisation. *Management Environnemental : Analyse Du Cycle De Vie : Exigences Et Lignes Directrices*. Paris La Défense: AFNOR, 2006. NF EN ISO 14044
14. Jolliet. O., Saadé. M., Crettaz. P. Analyse de cycle de vie (2005). *Comprendre et réaliser un écobilan*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. Collection Gérer l'Environnement.
15. Le Borgne. R. *De l'usage des analyses de cycle de vie dans l'industrie automobile*. 205p. Thèse de doctorat : Génie Industriel : Paris, ENSAM : 1998
16. Le Pochat. S. *Intégration de l'éco-conception dans les PME : Proposition d'une méthode d'appropriation de savoir-faire pour la conception environnementale des produits*. 2005 – 289p. – Thèse de doctorat : Génie Industriel : Paris, ENSAM : 2005
17. LEROY, Y., *Développement d'une méthodologie de fiabilisation des prises de décisions environnementales dans le cadre d'analyses de cycle de vie basée sur l'analyse et la gestion*

- des incertitudes sur les données d'inventaires*. Thèse de doctorat : Génie Industriel : Paris, ENSAM : 30 Novembre 2009
18. MANDALLEN, C. (2006). *Elaboration et application d'une méthode d'évaluation et d'amélioration de la qualité environnementale de bâtiments tertiaires en exploitation*. Thèse de doctorat : Spécialité : Mécanique ; Université BORDEAUX 1
  19. Meadows. D. H., Meadows. D. L., Randers. J., Behrens. W. W., (1972). *The limits of growth*. Ed. Universe Books. 205p.
  20. Millet. D., Coppens. C., Jacqueson. L., Le Borgne. R., Tonnelier. P. *Intégration de l'environnement en conception. L'entreprise et le développement durable*. Lavoisier 2003.
  21. Moon, J.M., Chung, K.S., Eun, J.H., Chung, J.S. (2003). *Life Cycle Assessment through On-Line Database Linked with Various Enterprise Database Systems*. International Journal of LCA.
  22. MULLER. E. *Utilisation d'un système ERP pour soutenir la réalisation d'une ACV*. 2010. 149p. Thèse de doctorat ; Génie Industriel : École Polytechnique de MONTRÉAL
  23. Owens. J. W. *Life-Cycle Assessment. Constraints on moving from inventory to impact assessment*. Journal of Industrial Ecology Vol. 1. N° 1. (1997)
  24. Otto, H.E., Kimura, F., Mandorli, F., Germani, M., (2003). *Integration of CAD Models with LCA*. Eco Design 2003. Proceedings - Third International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Tokyo, Japon.
  25. PEUPORTIER, B. (2008), *Eco-conception des bâtiments et des quartiers*. Mines Paritech.
  26. Procter & Gamble, Fava J., Weston R., Jensem A., Lindfors L., dk-Teknik, IVL, Pomper S., Alcan, LTD, De Smet B., Warren J., Research triangle Institute, Vigon B., Battelle. *Life-cycle assessment data quality: a conceptual framework*. Workshop report.. Wintergreen, Virginia. USA: Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC); 1992
  27. Reap, J., Roman, F., Duncan, S., Bras, B. (2008a). *A survey of unresolved problems in life cycle assessment. Part 1: goal and scope and inventory analysis*. International Journal of LCA 13.
  28. TROCMÉ, M. (2009). *Aide aux choix de conception de bâtiments économes en énergie*. Thèse de doctorat : spécialité Energétique ; Ecole Nationale Supérieure Des Mines De Paris.
  29. Wanyama, W., Ertas, A., Zhang, H. -C. and Ekwaro-Osire, S. (2003). *Life-cycle engineering: issues, tools and research*. International Journal of Computer Integrated Manufacturing.
  30. WERNER Frank, (2005). *Ambiguities in decision-oriented life cycle inventories: The Role of Mental Models and Values*. Edition Springer.

# Analyse du Cycle de Vie comme outil pour le développement d'une stratégie de construction durable

CHAPITRE 03 :

## Stratégie de construction durable

**CHAPITRE 03 : LA STRATEGIE DE CONSTRUCTION DURABLE**

<b>1. INTRODUCTION :</b>	<b>61</b>
<b>2. LA CONSTRUCTION DURABLE :</b>	<b>63</b>
<b>2.1. Objectif de la stratégie de construction durable :</b>	<b>65</b>
<b>2.2. Les avantages d'une construction durable.....</b>	<b>65</b>
<b>2.3. Les bâtiments performants :</b>	<b>66</b>
2.3.1. Typologie des bâtiments performants :	67
2.3.1.1. <i>Types purement énergétiques</i>	67
2.3.1.2. <i>Types plus larges</i>	68
2.3.2. Les critères d'évaluation propres aux bâtiments performants	74
<b>2.4. Techniques constructives :</b>	<b>75</b>
2.4.1. L'enveloppe du bâtiment	75
2.4.2. Ventilation.....	75
2.4.3. Diffusion de la chaleur et du froid	76
2.4.4. Production d'énergie	76
2.4.5. Le stockage de la chaleur	76
2.4.6. Le stockage de l'électricité	76
<b>2.5. Vers une construction durable :</b>	<b>77</b>
2.5.1. Quatre types d'infrastructures.....	77
2.5.1.1. <i>L'infrastructure verte</i>	77
2.5.1.2. <i>L'infrastructure grise</i>	78
2.5.1.3. <i>L'infrastructure bleue</i> .....	78
2.5.1.4. <i>L'infrastructure rouge (ou humaine)</i> .....	79
2.5.2. La bio-intégration : <i>Intégrer l'environnement naturel</i> .....	79
2.5.3. Écosystèmes imitant la nature :	80
2.5.4. Restaurer les systèmes existants :	81
<b>3. PHASES DE VIE D'UN BATIMENT :</b>	<b>82</b>
<b>3.1. La phase de conception :</b>	<b>83</b>
<b>3.2. La phase de réalisation :</b>	<b>84</b>
<b>3.3. La phase d'exploitation :</b>	<b>84</b>
<b>3.4. La phase de déconstruction :</b>	<b>85</b>
<b>4. L'ECO-CONCEPTION :</b>	<b>86</b>
<b>4.1. Penser global</b> .....	<b>87</b>
<b>4.2. Les principes de l'éco-conception :</b>	<b>87</b>
4.2.1. La pensée cycle de vie	87

---

4.2.2.	Le processus d'éco-conception .....	87
4.2.3.	Stratégies d'éco-conception .....	87
4.2.4.	Coopération et partenariat .....	88
<b>4.3.</b>	<b>Les outils d'éco-conception : .....</b>	<b>88</b>
4.3.1.	Les outils d'analyse environnementale .....	88
4.3.1.1.	<i>La matrice « Matériaux – Energie – Toxicité » (MET) : .....</i>	<i>88</i>
4.3.1.2.	<i>Evaluation Simplifiée et Qualitative du Cycle de Vie (ESQCV) : .....</i>	<i>89</i>
4.3.1.3.	<i>Material Intensity Per Service (MIPS) : .....</i>	<i>90</i>
4.3.1.4.	<i>ACV et ACV simplifiée : .....</i>	<i>90</i>
4.3.2.	Les outils d'orientation de conception .....	91
4.3.2.1.	<i>Les Check-lists .....</i>	<i>91</i>
4.3.2.2.	<i>Les guides de conception : .....</i>	<i>91</i>
4.3.2.3.	<i>Les logiciels DfX (design for x) .....</i>	<i>91</i>
4.3.2.4.	<i>Quality Function Deployment for Environment (QFDE) : .....</i>	<i>92</i>
4.3.3.	Positionnement de ces outils d'éco conception.....	92
4.3.4.	Connaissance du système et degré de liberté en conception.....	93
<b>5.</b>	<b>CONCLUSION : .....</b>	<b>94</b>
<b>6.</b>	<b>REFERENCES : .....</b>	<b>95</b>

## 1. Introduction:

Le contexte énergétique et environnemental de ce début de 21<sup>ème</sup> siècle est marqué par la question de la pérennité à tous les niveaux : ressources minérales et énergétiques, cadre de vie, santé, biodiversité. Sur le plan énergétique, le déséquilibre entre une production énergétique fondée sur des ressources minérales limitées issues de l'écorce terrestre et une consommation en forte croissance favorise les tensions de tous ordres (économique, géographique, social etc.).

Sur le plan environnemental, les activités humaines exploitent les ressources procurées par la biosphère terrestre et rejettent les résidus de leurs productions sous forme de déchets dans cette même biosphère. Le fort accroissement de ces activités induit, à plus ou moins long terme, des impacts conséquents, à toutes les échelles (locale, régionale, globale). Le concept de développement durable apparaît aujourd'hui comme fédérateur, sans doute plus que l'idée de croissance zéro émise dans les années 60 pour protéger l'environnement. Si nous adoptons ce concept, nous sommes amenés à le décliner sur les différents secteurs économiques, et donc en particulier à étudier son application dans le secteur de la construction.

Un maître d'ouvrage qui demanderait dans son programme de "**construire un bâtiment qui répond aux besoins présents sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs**" ne faciliterait pas la tâche des maîtres d'œuvre. L'objectif est en effet si global qu'il est difficile à appliquer concrètement. Une proposition consiste à le décomposer en sous-problèmes, chaque sous-problème donnant lieu à des objectifs sur des critères spécifiques, une telle décomposition est arbitraire. Différentes structurations sont actuellement proposées, par exemple nous pouvons distinguer trois grands domaines : les aspects écologiques, économiques et socioculturels. Pour chacun d'entre eux, une liste de critères est donnée dans le tableau ci-dessous à titre d'exemple.

Domaine (Dimension)	Critères (Indicateurs)
Ecologique	ressources (énergie, eau, matières premières) émissions dans l'air et dans l'eau (gaz à effet de serre, atteinte à la couche d'ozone, acidification, eutrophisation, toxicité sur l'homme, la faune et la flore) déchets, radioactifs ou non
Economique	investissement fonctionnement entretien maintenance démantèlement durabilité, valeur patrimoniale
Socioculturel	fonctionnalité, adaptabilité confort (visuel, thermique, acoustique, olfactif) santé (cancers, autres maladies, accidents) image valorisation personnelle et emploi interface avec les réseaux

**Tableau 04: Différents critères de développement durable de bâtiments**

Dans ce contexte, les outils d'évaluation, et en particulier de simulation, doivent s'adapter pour continuer à apporter une contribution pertinente : aider les acteurs dans leurs décisions en tirant parti de modèles physiques de plus en plus précis et en couvrant un domaine toujours plus large.

Un tel outil d'analyse est appropriable par différents professionnels du bâtiment. Il peut fournir des éléments aux architectes qui souhaitent justifier leurs projets auprès des maîtres d'ouvrage en présentant un bilan environnemental rigoureux. L'élargissement des missions des BET aux aspects environnementaux peut leur permettre d'intervenir plus en amont dans le processus de conception, avec un effet bénéfique sur la qualité technique. Les industriels peuvent promouvoir de nouveaux produits, car un bilan global énergie-environnement peut contribuer à caractériser la qualité d'un composant. La méthode pourrait également être utilisée pour constituer une base de connaissances sur la construction à faible impact environnemental, et pour mieux informer les occupants. [PEUPOORTIER, 2006]

La construction est au cœur du développement durable. C'est un secteur responsable de nombreuses consommations de ressources (énergie pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire, matériaux minéraux...), de productions de déchets (déchets inertes et non dangereux en majorité) et d'émissions de gaz à effet de serre.

À l'échelle planétaire, le secteur du bâtiment représente de 30 à 40 % de la consommation totale d'énergie et une forte part des impacts environnementaux d'origine anthropique. De ce fait, il présente un fort potentiel d'amélioration à la fois sur les plans énergétiques et environnementaux. (La recherche se focalise sur le secteur du bâtiment qui n'est qu'une partie du secteur de la construction). [THIERS, 2008]

On observe une croissance constante de l'intérêt à la problématique « bâtiments et environnement », cependant la qualification des impacts environnementaux dus aux bâtiments et à leurs différentes phases de vie reste globale, notamment à travers les chiffres liés aux consommations d'énergie et aux émissions de gaz à effet de serre.

Du point de vue environnemental, les solutions sont très nombreuses et concernent notamment la rationalisation de l'utilisation des matières premières, la réduction des émissions polluantes et des déchets et le recyclage des matériaux. Ces solutions, appliquées au bâtiment, amènent à travailler simultanément sur la consommation du bâtiment, sa structure et ses divers équipements, dès la phase de conception.

Avant d'étudier les performances de bâtiments, il est nécessaire de préciser quels sont les bâtiments qui font l'objet de cette étude. En particulier, les bâtiments à usage résidentiel ou tertiaire doivent être distingués des bâtiments à usage industriel. En effet, une part majeure des besoins énergétiques de ces derniers est liée aux divers procédés industriels mis en œuvre en leur sein. La très grande variété de ces procédés ne permet pas d'étudier ces bâtiments de manière générale : une étude au cas par cas serait nécessaire. Au contraire, les bâtiments à usage résidentiel ou tertiaire, bien que différents par leurs fonctions, présentent de nombreuses similitudes dans leurs caractéristiques énergétiques (besoins, équipements, structure) ce qui rend leur étude générale plus pertinente. C'est donc cette seule catégorie de bâtiments qui fait l'objet de cette recherche.

## 2. La construction durable :

Plusieurs démarches telle HQE apportent une réponse conceptuelle et fournissent un bon support à la réflexion pour mieux concevoir, construire et gérer un bâtiment pour réduire ses impacts, améliorer son confort et préserver la santé de ses occupants, il ne lui est aujourd'hui pas associé malgré l'apport incontestable de la certification au début des années 2000, de système d'évaluation quantifiée des performances environnementales et sanitaires des ouvrages. On serait aujourd'hui tenté de répondre à la question « qu'est ce qu'un bâtiment respectueux de l'environnement et de la santé ? ».

Pour pouvoir donner une définition d'un bâtiment respectueux de l'environnement et de la santé, il faut notamment pouvoir quantifier ou qualifier les performances de l'objet réalisé. Ceci passe par la mise à disposition d'outils d'évaluation et de quantification.

Pour qu'un bâtiment soit concrètement durable il doit impérativement « **répondre aux besoins présents sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs** » au niveau des trois grandes dimensions du développement durable à savoir : **l'écologique, l'économique et la socioculturelle**; durant toutes ses phases de vie dès **la conception** jusqu'à **la démolition** passant par **la construction, l'utilisation et la rénovation**.

De nombreuses études et retours d'expériences sur les bâtiments les plus performants montrent que la diminution des consommations énergétiques passe par une conception architecturale prenant en compte la compacité du bâtiment et la gestion des apports solaires passifs, une sur-isolation de l'enveloppe (mur et vitrages) et, dans la plupart des cas, la mise en place d'une ventilation double-flux avec récupération de chaleur. Cette dernière technologie, contrairement à une installation simple flux qui consiste en une mise en dépression d'un logement permettant un renouvellement d'air par des entrées positionnées en façade, extrait l'air vicié et insuffle l'air neuf. Ce fonctionnement rend plus sensible le renouvellement d'air du logement à la ventilation naturelle due au vent et au tirage thermique, c'est-à-dire aux infiltrations d'air par les défauts d'étanchéité de l'enveloppe.

Et c'est sans doute aussi parce qu'il permettait de répondre aux besoins de l'ensemble des professionnels du secteur (maîtres d'ouvrage, architectes, artisans, bureaux d'études...) en matière de données environnementales que l'analyse du cycle de vie s'est imposé dans ce secteur. Enfin, le développement de l'analyse de cycle de vie dans le secteur de la construction devrait avoir à moyen terme un effet moteur sur l'utilisation généralisée de l'ACV dans tous les secteurs en interaction forte avec le bâtiment et les travaux publics (énergie, transport, cycle de l'eau, gestion des déchets...) parce que les acteurs de la construction vont solliciter ces secteurs pour réaliser leurs analyses de cycle de vie.

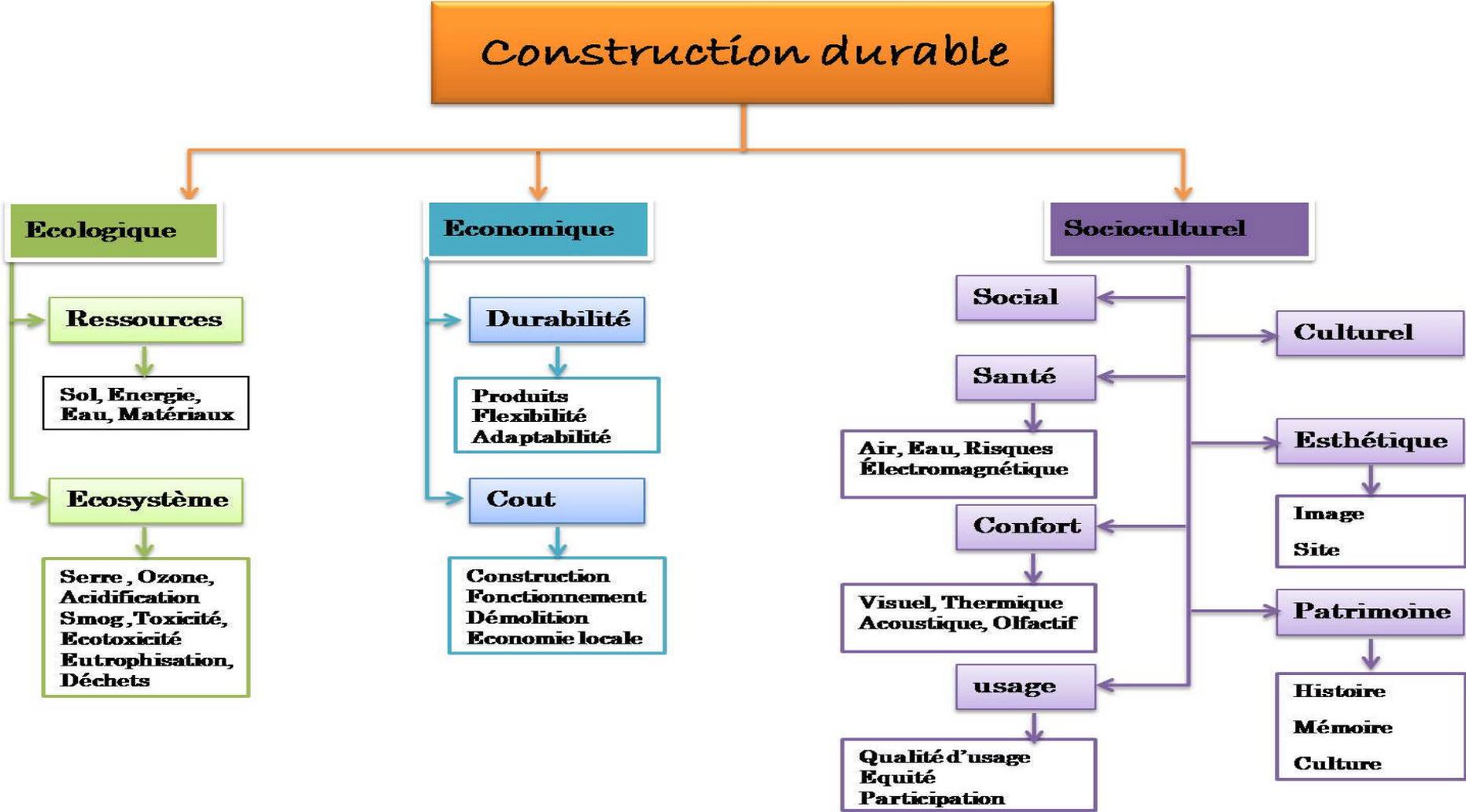


Figure 12 : Schéma des dimensions d'une construction durable

# Analyse du Cycle de Vie comme outil pour le développement d'une stratégie de construction durable

## 2.1. Objectif de la stratégie de construction durable :

La stratégie de construction durable fixe quatre objectifs clés qui sont :

- 1- le progrès social, qui reconnaît les besoins de chacun,
- 2- la protection efficace de l'environnement,
- 3- l'utilisation prudente des ressources naturelles,
- 4- et le maintien de niveaux de croissance économique et d'emploi élevés et stables.

Six directives sont essentielles à identifier pour atteindre les objectifs de cette stratégie :

- 1- directive sur les performances énergétiques des bâtiments,
- 2- directive sur les substances qui réduisent la couche d'ozone,
- 3- directive sur le recyclage des déchets,
- 4- directive sur le recyclage des emballages,
- 5- directive sur la gestion et le traitement des eaux,
- 6- directive sur les produits biocides.

Le Bâtiment, avec le renfort des matériaux et des services associés aux constructions et aux infrastructures urbaines, crée des emplois, consomme des ressources naturelles et de l'énergie, est responsable de certains gaspillages mais influe sur le bien-être et la productivité à une échelle beaucoup plus grande que la plupart des autres secteurs de l'économie, comme on peut mettre en avant ses bienfaits économiques, sociaux et environnementaux pouvant résulter d'une amélioration de l'efficacité de l'industrie du Bâtiment dont cette dernière contribue au développement durable, et ce secteur économique peut notamment:

- 1- réduire au maximum ses déchets,
- 2- minimiser l'énergie dans la construction des bâtiments et dans leur exploitation,
- 3- éviter la pollution,
- 4- préserver et accroître la biodiversité,
- 5- préserver les ressources en eau,
- 6- respecter la population et l'environnement local,
- 7- uniformiser le niveau des prestations.

## 2.2. Les avantages d'une construction durable

En modifiant sa culture pour embrasser plus largement une réflexion durable à tous les niveaux, le secteur du Bâtiment peut économiser de l'énergie, réduire le gaspillage et la pollution et diminuer les coûts de la vie ou ceux liés à la propriété. Les principaux avantages d'une telle approche incluront :

- 1- des coûts réels réduits grâce à une meilleure productivité,
- 2- des coûts de la vie globaux plus faibles, en particulier ceux de l'énergie et de l'eau,
- 3- un environnement intérieur amélioré, conduisant à une plus grande satisfaction de l'utilisateur, à une productivité accrue du personnel et à sa fidélisation,
- 4- une sécurité accrue sur les sites de construction et autour d'eux,
- 5- une responsabilité et un risque réduits,
- 6- une limitation de la charge fiscale, notamment grâce au *Climate Change Levy*, à la *Landfill Tax* et à l'*Aggregates Levy*,
- 7- une localisation plus appropriée des constructions, économisant le transport d'énergie,
- 8- réduisant les encombrements et contribuant à la régénération du tissu urbain,

9- une image valorisée des entreprises de construction, démontrant à la communauté locale ce que l'on peut obtenir, et encourageant de cette manière d'autres à le demander et à l'obtenir,

10- une qualité de vie meilleure pour tous.

Alors une stratégie de construction durable relève un défi au secteur du Bâtiment qui concerne l'édification des bâtiments au prix acceptable, sûrs et fonctionnels, tout en minimisant l'impact de leur conception, de leur construction, de leur rénovation, de leur reconversion et de leur démolition sur l'environnement naturel. Cette stratégie prend en compte le fait que la construction durable touche à la compétitivité, à la responsabilité morale et à l'intérêt personnel éclairé des responsables des entreprises concernées.

Une stratégie de construction durable encourage de repenser le bâtiment en améliorant sa productivité et la qualité de ses prestations ainsi de construire *l'excellence* en faisant recours à une procédure de concession élargie et à la conception-construction mais les procédures traditionnelles, n'intégrant pas les différents stades de vie d'un bâtiment, ne seront utilisées que si elles permettent d'aboutir à un meilleur rapport qualité/prix.

Il semble que les réalités du marché empêchent les concepteurs, les promoteurs et les entrepreneurs qui souhaiteraient produire plus de constructions durables, de le faire. Même lorsque le dossier d'un projet se réfère au développement durable, cet objectif ne parvient pas souvent à apparaître dans la construction finale.

Les promoteurs de logements croient généralement que les acquéreurs ne s'intéressent pas à l'efficacité énergétique ; de ce fait, ils cherchent simplement à atteindre les critères minimaux fixés par les règlements en matière de construction, et même ces standards les plus bas ne sont pas toujours respectés dans la pratique.

Le manque critique de main-d'œuvre qualifiée au sein de l'industrie du Bâtiment est une des principales raisons de ce résultat décevant. Il manque en effet au secteur :

- 1- les capacités de planification stratégique nécessaires pour informer la production des plans de développement, des conseils de planification additionnelle, des dossiers de développement, des stratégies d'ensemble, etc.,
- 2- les capacités de gestion du projet pour intégrer les principes et les pratiques du développement durable dans des développements complexes,
- 3- les capacités de gérer et de maintenir les partenariats de développement locaux,
- 4- les capacités d'évaluation et de financement d'un projet là où les principes du développement durable sont de première importance.

### **2.3. Les bâtiments performants :**

Un bâtiment performant se définit par un ensemble d'objectifs et de solutions techniques destinés à guider le concepteur. Ce dernier, en s'appuyant sur divers outils d'aide à la conception, associe des techniques, matériaux, structures et équipements de manière à atteindre au mieux les objectifs fixés. Enfin, après la mise en service du bâtiment, une phase d'évaluation permet au concepteur et au maître d'ouvrage de quantifier les performances réelles du bâtiment et de les comparer aux objectifs originaux.

Dans cette partie, l'analyse de différentes définitions et dénominations rencontrées dans la littérature amène à proposer une typologie des principaux bâtiments performants et à en identifier les principales caractéristiques.

### 2.3.1. Typologie des bâtiments performants :

Les **bâtiments performants** se trouvent le plus souvent définis dans le cadre de **certifications**, de **labels** ou de **réglementations**. Ils sont alors associés à un cahier des charges décrivant leurs objectifs ou à une méthode d'évaluation de leur niveau de performance. Leurs dénominations sont variées, chacune mettant l'accent sur une caractéristique majeure du bâtiment.

Pourtant le type sous-jacent ne se résume pas à cette simple caractéristique ; ces dénominations sont nécessairement réductrices. Une typologie des dénominations rencontrées dans la littérature a été réalisée, de manière à faire ressortir les principales caractéristiques de ces bâtiments et les principaux concepts associés. Deux types d'approches se distinguent : des approches purement énergétiques et d'autres plus larges.

#### 2.3.1.1. Types purement énergétiques

Les types purement énergétiques accompagnent des réglementations visant la performance énergétique des bâtiments ou sont simplement associés à des labels (Minergie en Suisse, Passivhaus en Allemagne, CasaClima/Klimahaus en Italie), soit plusieurs niveaux de performance différents, et incite à l'intégration de sources d'énergies renouvelables au bâtiment [THIERS, 2008]. Pour ces approches, les critères évalués sont peu nombreux, bien définis et quantifiables ce qui facilite l'identification des types sous-jacents. Ceux qui ont été identifiés sont les suivants :

\* *Le bâtiment à basse consommation BBC*: ou « basse énergie » (en anglais: low energy house) :

Ce bâtiment se caractérise par des besoins énergétiques plus faibles que les bâtiments standards. Ce premier niveau de performance peut être atteint par l'optimisation de l'isolation, la réduction des ponts thermiques et l'accroissement des apports passifs. Ce concept ne comprend a priori aucun moyen de production local d'énergie, sans toutefois l'exclure.

Il prévoit pour la construction neuve que la consommation d'énergie primaire soit inférieure à 65 kWh/m<sup>2</sup> SHON pour le chauffage, le refroidissement, la ventilation et les auxiliaires, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage des locaux, soit 5 usages.

Le label BBC implique quasiment le recours à un certain nombre de techniques : isolation thermique par l'extérieur et pour le système de chauffage : chaudière gaz à condensation ou pompe à chaleur, émission de chaleur douce ou à basse température (sol ou radiateur surdimensionné), chauffe eau solaire (soit 4 m<sup>2</sup> de capteurs solaires pour préchauffer l'eau dans une maison individuelle).

\* *Le bâtiment « passif »* : (en allemand : Passivhaus, en anglais : passive house)

Ce bâtiment très faiblement consommateur d'énergie ne nécessite pas de systèmes de chauffage ou de rafraîchissement actifs : les apports passifs solaires et internes et les systèmes de ventilation suffisent à maintenir une ambiance intérieure confortable toute l'année. Ce concept inclut également une réduction des besoins en électricité spécifique et éventuellement une production d'électricité à base de sources d'énergie renouvelables. En pratique, un petit système d'appoint est nécessaire au maintien du confort thermique durant les jours les plus froids ; il est le plus souvent associé à la ventilation.

\* *Le bâtiment « producteur d'énergie »* : (en anglais : near zero energy house)

Il est doté de moyens de production d'énergie locaux. Cependant, cette dénomination ne spécifie ni le niveau de consommation ni la part de cette consommation couverte par la production ni même la nature de l'énergie produite. Il s'agit donc plus d'une caractéristique du bâtiment que d'un type de bâtiment à proprement parler. L'expression "bâtiment producteur d'énergie" est néanmoins parfois employée pour désigner un « bâtiment à énergie positive ».

\* *Le bâtiment « zéro énergie »* : ou « zéro net » (en anglais : net zero energy house)

Ce bâtiment combine de faibles besoins d'énergie à des moyens de production d'énergie locaux. Sa production énergétique équilibre sa consommation si celle-ci est considérée sur une année. Son bilan énergétique net annuel est donc nul [Bernier 2006].

\* *Le bâtiment « à énergie positive »* : (en allemand : Plusenergiehaus)

Ce bâtiment producteur d'énergie dépasse le niveau « zéro énergie » : il produit globalement plus d'énergie qu'il n'en consomme. Comme le précédent, ce bâtiment est raccordé à un réseau de distribution d'électricité vers lequel il peut exporter le surplus de sa production électrique [Maugard et al. 2005].

Il est défini comme un bâtiment produisant autant ou plus d'énergie qu'il n'en a besoin. Même si un tel bâtiment peut être connecté à un réseau d'énergie, il présente un bilan net de consommation d'énergie nul vis-à-vis du fournisseur d'énergie.

« Sur une année donnée de sa phase d'exploitation, un bâtiment assurant un usage résidentiel ou tertiaire pour lequel il est conçu est à « énergie positive » si et seulement si l'énergie totale exportée est supérieure à l'énergie totale importée par le bâtiment. Le bilan intègre aussi les parties annexes du bâtiment lorsqu'elles participent aux fonctions pour lesquelles il est conçu (local technique, cave, garage, etc.) »

\* *Le bâtiment autonome* :

Un bâtiment est autonome lorsque sa fourniture énergétique ne dépend d'aucune ressource distante. Ainsi la totalité de l'énergie consommée par le bâtiment est produite sur place à partir de ressources locales. En pratique, le bilan net d'énergie de ce bâtiment est nul à tout instant. Un tel bâtiment se passe des avantages apportés par les réseaux d'approvisionnement (foisonnement, sécurité d'approvisionnement), ce qui impose l'usage de moyens de stockage d'énergie (batteries d'accumulateurs, inertie thermique etc.). Ce type de bâtiment est particulièrement adapté aux sites isolés ou insulaires car il évite les coûts de raccordement aux divers réseaux.

#### 2.3.1.2. Types plus larges

Certains types découlent d'approches globales qui prennent en compte un grand nombre d'interactions du bâtiment avec son environnement, la question énergétique ne formant qu'une partie de ces interactions. C'est le cas des méthodes CASBEE (Japon) [CASBEE 2008], LEED (États-Unis d'Amérique) [PREBAT, 2007 ; USGBC, 2008] et BREEAM (Royaume-Uni) [BREEAM 2008] qui visent une labellisation ou une certification, mais aussi de la norme R-2000 au Canada, qui est associée à une réglementation. La démarche HQE (Haute Qualité Environnementale), proposée aux maîtres d'ouvrage, ne fixe aucun objectif de performances [AssoHQE 2006]. Des organismes certificateurs proposent des référentiels. Ces différentes approches globales visent à apprécier la « qualité environnementale » du bâtiment. Cependant, les critères de performances environnementales considérés sont

nombreux et variables selon les approches, parfois subjectifs, et donc sujets à débats et controverses. D'autres types sont basés sur une approche économique. Les principaux types identifiés sont les suivants :

\* « *zero utility cost house* », « net zero annual energy bill » ou « zero energy affordable housing » :

Ces expressions, plutôt évoquées au Japon ou aux Etats-Unis d'Amérique, désignent des bâtiments dont la facture énergétique est nulle : la vente d'une partie de la production énergétique du bâtiment compense les frais engendrés par l'achat de l'énergie consommée (électricité, hydrocarbures etc.). Cette approche est privilégiée dans l'habitat social pour lequel la facture énergétique représente une part importante du budget des occupants. L'objectif est atteint grâce à la réduction des consommations et à l'usage de ressources énergétiques renouvelables gratuites. Mais le bilan dépend de facteurs non physiques tels que les prix des énergies ou les offres commerciales des fournisseurs.

\* « *maison neutre en carbone* », « maison zéro carbone » ou « bâtiment à émission zéro » (en anglais : carbon neutral house ou low carbon house) :

Ces expressions désignent un bâtiment dont le fonctionnement n'induit aucune émission de CO<sub>2</sub>. Cette orientation, qui s'inscrit dans la démarche du protocole de Kyoto, vise à réduire la participation du bâtiment à l'accroissement de l'effet de serre. La démarche "zéro carbone" est généralement associée à un mode de vie, dont la portée, au-delà du bâtiment, englobe les modes de déplacement, voire les modes de consommation des occupants du bâtiment. L'une des conséquences de cette démarche est l'utilisation exclusive de ressources énergétiques renouvelables. Le projet BedZed, en Angleterre, a été réalisé selon ce principe [BedZed 2008 ; SIRVAITIS, 2010].

\* *Le bâtiment bioclimatique* :

Toute réalisation architecturale concrétise un microcosme en rapport plus ou moins étroit avec l'environnement auquel il appartient. Le but de la conception, de la rénovation et de la construction d'un bâtiment est de réaliser ce microcosme en concordance optimale avec son environnement et de donner ainsi au climat une juste place parmi les dimensions fondamentales de toute intervention de l'architecte sur l'environnement. L'architecture ainsi définie inclut le climat et la dynamique qu'il implique: c'est l'architecture bioclimatique.

Quelques techniques simples et souvent rentables permettent de construire, quel que soit le lieu, des logements plus autonomes (en eau et en énergie) et plus écologiques. Si nous acceptons simplement qu'il puisse faire plus chaud en été et plus frais en hiver dans les logements, si nous combinons la construction écologique et l'architecture bioclimatique, nous pouvons atteindre un excellent degré de confort tout en respectant l'environnement.

Pour ceux qui ne construisent pas mais rénovent, il existe tout autant de possibilités, parfois moins simples à mettre en œuvre, mais tout aussi recommandables. Il ne faut pas oublier que l'habitat s'inscrit dans un environnement naturel et bâti. L'éco-construction (ou architecture écologique) vise à :

- Intégrer harmonieusement le bâtiment à l'environnement,
- Economiser les ressources naturelles,
- Minimiser la production de déchets de construction,
- Eviter de polluer l'air, l'eau et le sol,
- Limiter les nuisances pour le voisinage, etc.

Une majorité d'éléments qui vont dans le sens de la lutte contre le changement climatique.

La situation du logement, son terrain et son environnement proche détermineront les caractéristiques du logement : son microclimat, sa meilleure exposition, sa prise au vent. À partir de là, il s'agit de les utiliser au mieux.

L'occupant est au centre des préoccupations: au-delà des questions d'économie d'énergie et de protection de l'environnement, l'objectif de l'architecture bioclimatique est d'essayer de répondre aux exigences de confort que l'on aborde ci-dessous. Remarquons que le comportement des occupants commande la "bonne marche" d'une habitation bioclimatique. Il importe que les habitants prennent conscience de l'importance de leur rôle et apprennent à vivre en symbiose avec leur environnement, au rythme des jours et des saisons.

Nos climats n'offrent pas des conditions climatiques qui assurent le confort thermique toute l'année, et il est donc nécessaire de mettre en œuvre diverses stratégies adaptées aux différentes saisons. En hiver, il importe de profiter des apports solaires et de se protéger du froid, c'est la stratégie du chaud. En été, pour éviter les surchauffes, il faut se préserver du soleil et, parfois, ouvrir sa maison aux vents, c'est la stratégie du froid. Enfin, l'habitat bioclimatique s'accorde aux rythmes naturels en tirant le meilleur parti possible de la lumière naturelle, c'est la stratégie de l'éclairage naturel. Nous détaillerons ici les deux premières en cherchant à identifier comment le béton peut nous aider à les mettre en œuvre.

### **Le bâtiment dans son climat :**

Construire un bâtiment implique de bien s'informer sur la localisation et l'environnement proche du projet. Le climat tempéré et humide, n'est pas uniforme sur le territoire, de plus, l'environnement proche du projet conditionne, de manière locale, la vitesse du vent autour de celui-ci (donc son taux d'infiltration) et le rayonnement solaire qui l'atteint hors de l'ombre projetée par les bâtiments voisins. Le concepteur se réfère à un ensemble de cartes spécifiques, établies à partir des données météorologiques de différentes stations. Elles lui donnent les valeurs moyennes qu'il devra interpréter selon les contraintes locales du projet.

### **Quelques principes de base de l'architecture bioclimatique**

La conception d'un logement bioclimatique est une synthèse de plusieurs démarches parallèles et complémentaires :

- Construire avec le climat
- Intégrer son habitation dans son environnement,
- Réduire les besoins énergétiques,
- Améliorer le confort des occupants.

Les pièces «à vivre» seront placées de préférence au sud et l'essentiel des ouvertures aura la même orientation pour maximiser les apports solaires (jusqu'à 30 % d'économie de chauffage).

Mais un juste calcul permettra de chiffrer la surface optimale de ces vitrages, de manière à trouver un compromis entre perte thermique par les vitres et entrée de lumière (en général, on préconise environ 1/3 de surfaces vitrées par rapport à l'ensemble du mur exposé au sud).

Les zones tampons, c'est-à-dire les pièces ayant moins besoin d'une température de confort (garage, atelier), seront placées au nord ; on aura éventuellement aussi au sud des pièces vitrées : véranda, serre. Une véranda sert de zone tampon entre l'extérieur et l'intérieur et apporte de la chaleur en hiver.

Les vents dominants seront pris en compte (avec des arbres pour s'en protéger, le minimum d'ouverture possible), ils influenceront la nécessaire ventilation de la maison.

Moins une habitation a de surface en contact avec l'extérieur, moins elle perd de chaleur. Il vaudra donc mieux la concevoir compacte (c'est-à-dire, pour un même volume, sur le moins de surface possible). Ainsi, par exemple, une maison à deux étages consomme moins d'énergie qu'une maison de même volume de plain-pied.

### **L'inertie**

En marchant sur une terrasse faite en dalles de pierre en fin de journée l'été, on peut être surpris par la chaleur qui s'en dégage. C'est l'inertie qui confère à la pierre cette capacité à emmagasiner la chaleur de la journée et à la libérer petit à petit lorsque la fraîcheur tombe.

\* L'été, l'inertie permet d'éviter la surchauffe trop importante des pièces en accumulant la fraîcheur pendant la nuit et en la rediffusant en cours de journée.

\* L'hiver, par le même mécanisme, l'inertie permet d'accumuler la chaleur en cours de journée et de la restituer la nuit.

L'inertie permet donc d'atténuer les variations de températures en hiver comme en été et accentue le confort, tout en limitant considérablement les besoins de chauffage. C'est le partenaire obligé de toute isolation.

L'inertie peut être constituée par des murs épais en pierre, une dalle épaisse en béton, ou tout autre matériau à forte densité.

#### *\* Le bâtiment écologique :*

Le bâtiment écologique privilégiera l'harmonie du bâti avec la nature et tendra à réduire le gaspillage et la pollution.

Il a comme objectif de réduire les pollutions dès la construction, puis, pendant son "fonctionnement", au quotidien, de diminuer l'impact de son utilisation et après, le recyclage des matériaux. [WHITE, 2002]

Si l'on veut construire un bâtiment plus écologique et qui nous apporte plus de bien être, il faut se poser deux questions :

Comment réduire les pollutions d'un bâtiment «en fonctionnement», c'est-à-dire dans son usage quotidien ?

Par exemple permet-il d'utiliser peu de chauffage ? Les matériaux utilisés sont-ils sans impact sur la santé des habitants ?

Comment réduire les pollutions liées à la construction de ce bâtiment ? Par exemple l'extraction ou la fabrication des matériaux utilisés engendrent-elles des pollutions, ces matériaux sont-ils renouvelables, seront-ils recyclables ?

L'utilisation généralisée de matériaux performants et une conception adaptée conduisent à la réduction des besoins de chaleur et de froid. Par ailleurs, l'intégration des énergies renouvelables dans la construction permet de substituer à une production centralisée, généralement polluante, une production locale avec peu d'émissions polluantes, notamment de gaz à effet de serre.

Exemple : A Fribourg, en Allemagne, il existe un immeuble qui a pour première originalité de concilier deux fonctions sociales : l'habitat et le travail, permettant de nouveaux rapports sociaux. Mais sa conception permet aussi de réduire les émissions de GES de 80 % par rapport à un immeuble neuf conventionnel. Pour cela, la construction est bien sûr optimisée

au niveau bioclimatique, avec la particularité d'éviter autant que possible la présence de ponts thermiques, grâce à une désolidarisation complète des balcons du reste de la structure.

✓ La toiture est intégralement composée de panneaux photovoltaïques

✓ Les murs extrêmement bien isolés

✓ Il optimise la récupération des eaux usées : les eaux grises sont filtrées pour resservir aux toilettes, les eaux noires se retrouvent dans une cuve qui reçoit aussi les déchets organiques et produit du biogaz et du compost.

✓ Les besoins en chauffage sont satisfaits par le rayonnement solaire au sud, l'utilisation de l'inertie thermique de la structure, un récupérateur de chaleur couplé à la ventilation, des capteurs solaires et un cogénérateur gaz (ou biogaz) ; le cogénérateur est couplé à l'installation photovoltaïque couvrant 80 % des besoins en électricité.

### **Les aspirations :**

Trois types d'aspirations, voire de besoins, des usagers expliquent une telle tendance :

1 - Retrouver des sensations et des émotions plus saines, en mesure de compenser le stress du mode de vie urbain.

2 - Réveiller les sens en privilégiant le contact avec le végétal (jardin, patio, véranda...) et la nature (sentir la pluie, le vent, le soleil et la neige, contempler la mer, le ciel, les montagnes...)

3 - Respecter le milieu dans lequel on vit grâce à une meilleure sensibilisation en faveur de la réduction des gaz à effet de serre (le secteur du bâtiment est responsable de 25% des émissions de CO<sub>2</sub> en France), de l'écologie, de l'environnement et de la sécurité sanitaire  
Vivre dans un « habitat vert » qui privilégie les économies d'énergie

### **Les critères :**

Le bâtiment écologique réunit un certain nombre de critères dont :

1 - la préservation de l'environnement et des ressources naturelles

2 - l'économie d'énergie grâce aux énergies renouvelables

3 - l'utilisation durable de l'eau

4 - la diminution et élimination réfléchie des déchets

5 - le respect des exigences de confort, de qualité de vie et de santé des occupants...

Le bâtiment écologique respecte ces critères dès la conception, tout au long de la réalisation du projet, et au-delà lors de l'usage du bâtiment (entretien, réhabilitation, rénovation).

La construction écologique étant économiquement très rentable du fait de la diminution globale actuelle des prix des matériaux naturels, le green building répond parfaitement aux exigences de l'habitat de demain.

\* *Le bâtiment « vert » ou « soutenable »* (en anglais : green building)

Ces qualificatifs font référence à des notions surtout symboliques dont les types associés sont mal définis. Ils dépassent très largement le cadre énergétique et soulignent plutôt le faible impact environnemental du bâtiment, par exemple par les matériaux mis en œuvre. L'une des multiples facettes de tels bâtiments peut éventuellement correspondre à l'un des types présentés plus haut.

Les bâtiments verts sont des édifices dotés de technologies et construits selon des techniques plus respectueuses de l'environnement.

Aujourd'hui, il existe de nombreux programmes de certification qui facilitent la reconnaissance de tels bâtiments par le public

La couleur renvoyant métaphoriquement à la nature les constructions dites « vertes » possèdent un contenu flou et sont susceptibles d'entretenir le grand public dans de fausses évidences

Les Anglo-saxons recourent fréquemment au terme de « green building ». Ainsi, le Green Building Council est une association à but non lucratif australienne créée en 2002 et ayant pour mission de développer l'habitat durable. [BAUER et al., 2010]

\* *Le bâtiment « intelligent »* (en anglais : intelligent building)

Cette expression désigne un bâtiment qui présente une forme « d'intelligence », généralement apportée par des automates programmables et des systèmes informatiques de supervision. Ces équipements visent à améliorer la gestion de certaines fonctions modulables du bâtiment, telles que la protection solaire, la ventilation, le chauffage, l'éclairage ou la sécurisation des accès. Il existe une multitude de définitions de ce concept [Wong et al. 2005], cependant l'objectif essentiel du bâtiment intelligent semble être l'amélioration du confort et de la productivité des occupants à l'intérieur du bâtiment. Par conséquent les préoccupations énergétiques et environnementales peuvent y être secondaires, voire absentes.

Pour mesurer l'intelligence d'un immeuble, il faut d'abord convenir d'une définition commune d'un bâtiment intelligent.

*« Un bâtiment intelligent est celui qui permet un environnement productif et rentable en misant sur l'optimisation et l'interrelation des quatre niveaux fondamentaux suivants : l'infrastructure, les systèmes, les services et la gestion. L'immeuble intelligent aide le propriétaire, le gestionnaire et les occupants à réaliser leurs objectifs de coûts, de confort, de services, de sécurité, de flexibilité à long terme et de mise en marché ».* [WIGGINTON et HARRIS 2002]

### **L'infrastructure :**

C'est le niveau de base qui favorise l'interopérabilité des systèmes. Il est couramment identifié en tant que « réseau de câblage structuré de télécommunication ».

Il est formé d'éléments passifs tels des câbles en cuivre, des fibres optiques et des salles de répartition et d'équipements aménagées de façon à permettre l'établissement et le maintien des liens de communication.

Des organismes, tels l'ANSI et son pendant canadien la CSA Internationale, établissent, en collaboration étroite avec les manufacturiers d'équipements électroniques et de communication, des normes définissant la conformité de l'installation et des tests de performance.

L'utilité des normes est d'assurer la pérennité des réseaux sur une période allant jusqu'à 25 ans, indépendamment des applications qu'ils devront supporter.

### **Les systèmes**

Le second niveau d'un bâtiment intelligent regroupe tous les éléments actifs à l'usage de ses occupants. C'est le domaine des Ti (technologies de l'information). Ordinateurs, serveurs, concentrateurs passerelles, routeurs, systèmes de téléphonie et de messagerie vocale, incluant les sans fil, font partie des appareils électroniques installés dans les salles d'équipement de l'infrastructure, ou aux postes de travail, qui procurent les moyens sophistiqués d'entrer en communication et de fournir les services. Entrent également dans la catégorie des Ti tous les logiciels d'exploitation et d'application, qui permettent l'interface essentielle entre les appareils et les usagers potentiels. Par ailleurs, dans le domaine traditionnel de la construction

d'un bâtiment, les systèmes électromécaniques utilisent des contrôleurs dotés de processeurs « intelligents », capables d'échanger de l'information entre eux, telle la température, l'humidité, etc., par le biais du réseau de câblage structuré. Ces contrôleurs sont dispersés dans les salles techniques qui abritent les systèmes.

Dans tous les cas, l'échange d'information et l'interopérabilité entre les appareils et systèmes sont rendus possibles par l'utilisation en commun d'un protocole d'encodage/décodage et d'une grande vitesse de transmission.

### **Les services**

Ce niveau du bâtiment intelligent est caractérisé par l'ensemble des tâches accomplies à l'aide des systèmes, pour rencontrer les besoins des occupants. Ils concernent :

- la sécurité : accès, vidéo, incendie.
- l'automatisation d'édifice : contrôle des ascenseurs, optimisation des paramètres de confort et d'opération des systèmes électromécaniques, économie d'énergie, maintien des actifs.
- les communications : téléphonie, appel de garde, visioconférence, messagerie vocale, internet, intranet, courrier électronique.
- l'administration : tous les moyens utilisés pour l'organisation du travail et la planification financière.
- les soins : tous les systèmes utilisés pour parvenir à diagnostiquer, guérir, maintenir à domicile et rendre les services sociaux (DPE, carte santé, PACS, imagerie, télémédecine, etc).

### **La gestion**

C'est le niveau supérieur du bâtiment intelligent qui établit les processus requis pour rendre les services de façon efficace et efficiente. Essentiellement, il est formé par le personnel spécialisé qui recherche constamment à obtenir les meilleurs résultats avec la meilleure technologie disponible.

#### 2.3.2. Les critères d'évaluation propres aux bâtiments performants

Il apparaît une forte convergence des concepts décrits autour de quelques caractéristiques principales telles que :

- le besoin énergétique annuel de chauffage, rapporté à une surface, généralement la surface chauffée
- la consommation d'énergie, également par unité de surface, pouvant inclure le chauffage, mais aussi l'eau chaude sanitaire, l'éclairage, la ventilation, les auxiliaires, voire les autres usages de l'électricité, cet indicateur étant le plus souvent exprimé en énergie primaire
- la production d'énergie à partir de ressources renouvelables Les concepts diffèrent surtout par les niveaux d'exigence de chacun d'eux vis-à-vis de ces caractéristiques. Ces niveaux d'exigence constituent des critères permettant de vérifier si les objectifs du concept sont atteints.

Quelques caractéristiques secondaires peuvent s'ajouter aux précédentes, telles que :

- l'étanchéité du bâtiment à l'air
- les performances des équipements et des matériaux mis en œuvre
- des éléments non énergétiques, tels que la nature des matériaux (naturelle ou synthétique), le surcoût de la construction, les émissions de CO<sub>2</sub>, le niveau de confort thermique etc.

Tous les types déjà présentés convergent autour de quelques critères simples visant à l'amélioration de l'efficacité énergétique du bâtiment, à la valorisation des ressources énergétiques locales ou à l'intégration de préoccupations environnementales ou économiques. Seuls l'approche retenue, le niveau d'exigence et les spécificités géographiques locales expliquent la variété des critères considérés.

Définir l'ensemble des bâtiments « à basse consommation et producteurs d'énergie » ne pose aucun a priori sur la valeur des bilans d'énergie ni sur les choix technologiques envisageables. Le bilan énergétique positif doit être considéré avant tout comme un objectif de conception, dont seules des mesures sur un bâtiment réel permettront d'attester la validité.

#### **2.4. Techniques constructives :**

Les techniques mises en œuvre sur les bâtiments performants présentent certaines similitudes. La réduction des besoins de chaleur et la nécessité, pour cela, de maîtriser la plus grande partie des échanges thermiques entre l'intérieur et l'extérieur qui mènera invariablement à disposer les ouvertures du bâtiment de manière optimale, à mettre en place des protections solaires, à sur-isoler les parois, à utiliser des vitrages très isolants, à réduire les ponts thermiques, à réduire les infiltrations d'air, à traiter la ventilation de manière mécanisée et à recycler la plus grande partie de la chaleur à l'aide d'un échangeur sur air vicié.

Par contre, le choix des systèmes de production, de transformation, de stockage, de diffusion et de consommation de l'énergie varie fortement.

Les techniques pouvant entrer dans la conception d'un bâtiment durable ont été présentées ci-après, elles ont été retenues pour faire l'objet de l'étude. Elles ont été sélectionnées en raison de leur simplicité de mise en œuvre et de gestion, de leur efficacité, de leur disponibilité ou de leur fort potentiel de développement technique et économique à court terme.

##### 2.4.1. L'enveloppe du bâtiment

Avant tout, une approche bioclimatique doit être suivie pour favoriser les apports solaires passifs nécessaires à la réduction des besoins de chauffage. La situation, l'orientation, la compacité du bâtiment, la position et la performance des vitrages doivent donc être optimisés. Ensuite, l'enveloppe doit être fortement isolée (y compris la dalle) et les ponts thermiques éliminés, ce qui passe le plus fréquemment par une isolation par l'extérieur.

Les autres techniques propres à l'enveloppe du bâtiment, telles que vérandas ou façades ventilées semblent plus difficiles à maîtriser et ne seront pas étudiées ici.

L'inertie thermique est un paramètre important, lié à la capacité de stockage des apports passifs et à la régulation des températures. Elle est favorisée par la masse du bâti et par l'isolation par l'extérieur.

##### 2.4.2. Ventilation

Le bâtiment performant doit être très étanche à l'air. Sa ventilation doit être maîtrisée, via une ventilation mécanique contrôlée à double flux couplée à un récupérateur de chaleur sur air vicié performant limitant les échanges thermiques par renouvellement d'air. Selon les besoins, le maintien du confort d'été peut être assuré de manière passive par un échangeur air-sol ou par une stratégie de ventilation nocturne [ARTMANN et al. 2007]. La ventilation simple flux associée à des bouches d'entrée d'air ou d'extraction à débit régulé selon le taux d'hygrométrie (« hygroréglable ») ou de polluants, ne présente pas de performances suffisantes au vu des objectifs du bâtiment à énergie positive. Elle est donc exclue.

### 2.4.3. Diffusion de la chaleur et du froid

Bien que cette solution ne fasse pas l'unanimité en matière de confort hygrothermique, le chauffage aéraulique, utilisant le réseau de ventilation pour la diffusion de la chaleur, semble la solution la plus simple et la plus économique à mettre en œuvre au sein d'un bâtiment à énergie positive. En effet, cette solution nécessite un équipement peu encombrant. Elle possède une bonne réactivité aux besoins de puissance du fait de sa faible inertie et est donc particulièrement adaptée aux bâtiments très isolés, où le moindre apport solaire ou interne suffit à atteindre la température de consigne : l'arrêt du système doit alors être très rapide. Cette propriété est encore plus essentielle si l'enveloppe est légère (par exemple une ossature bois à isolation répartie).

### 2.4.4. Production d'énergie

L'électricité nécessaire au fonctionnement du bâtiment peut être produite sur place à partir de ressources renouvelables disponibles localement : le soleil (conversion photovoltaïque), le vent (conversion électromécanique par aérogénérateur) ou l'énergie mécanique de l'eau (hydroélectricité).

La chaleur nécessaire au maintien du confort intérieur et au chauffage de l'eau sanitaire est assurée, soit par des panneaux solaires thermiques (dits aussi « héliothermiques »), soit par un équipement de cogénération fonctionnant de préférence avec un combustible renouvelable. L'usage d'une pompe à chaleur peut-être envisagé dès lors que la production locale d'électricité à partir de ressources renouvelables est suffisante. Théoriquement, une petite pompe à chaleur air-air, couplée à un récupérateur de chaleur sur air vicié, pourrait assurer l'appoint de chaleur nécessaire au bâtiment avec un très bon coefficient de performance [BOJIC 2000]. Cependant, pour des raisons économiques, cette solution n'est pas présente sur le marché et ne sera pas étudiée ici.

La technologie des piles à combustible, qui ne semble pas être suffisamment mûre pour une mise en œuvre dans un bâtiment à énergie positive, n'a pas été retenue pour notre étude. Elle peut toutefois représenter une perspective intéressante pour le stockage saisonnier dans le cas de bâtiments autonomes (cas des piles réversibles ou régénératives).

Les apports internes de chaleur, issus du métabolisme des occupants ou du fonctionnement des appareils domestiques doivent être comptabilisés car ils peuvent fortement contribuer au chauffage du bâtiment en hiver ou à sa surchauffe en été.

### 2.4.5. Le stockage de la chaleur

Le stockage de la chaleur est assuré, de manière passive, par la masse thermique du bâtiment et de ses composants internes et, de manière active, par un ballon d'eau chaude. Les matériaux à changement en phase, destinés à accroître l'inertie thermique des parois internes du bâtiment, sont encore en phase de développement. Ils n'ont pas été retenus. Le stockage saisonnier n'est pas abordé dans cette étude car il est adapté à des projets à grande échelle, rares aujourd'hui. [THIERS, 2008]

### 2.4.6. Le stockage de l'électricité

La connexion du bâtiment au réseau de distribution d'électricité est supposée afin de permettre l'exportation de la production électrique excédentaire du bâtiment. Ainsi, la question du stockage de l'électricité est volontairement exclue de notre étude. [THIERS, 2008]

## 2.5. Vers une construction durable :

La notion de bâtiment durable consiste à créer un bâtiment doté de technologies lui permettant de respecter au mieux l'environnement et l'écologie dans sa construction

Les bâtiments durables tentent d'équilibrer les aspects environnementaux, économiques et sociaux à la conception, la construction et l'exploitation des bâtiments. Ils accordent une grande importance à la consommation efficace de l'énergie, de l'eau et des ressources, au confort et au bien-être des occupants, à l'aménagement du site et au contexte communautaire, ainsi qu'aux considérations économiques de la construction et de l'exploitation des bâtiments. La construction durable s'inscrit dans la cadre d'une conception environnementale dont il n'existe pas une seule approche, meilleure que les autres, pour l'atteindre efficacement. Il y a, au contraire, de nombreuses façons d'arriver au même but, à savoir un état d'équilibre dans l'environnement mondial.

Plusieurs propositions sont faites ici pour expliquer ce que peuvent être une conception et un urbanisme environnementaux. La première d'entre elles consiste à considérer les termes de conception environnementale selon quatre types d'infrastructures.

### 2.5.1. Quatre types d'infrastructures

La conception environnementale mêle ces quatre ensembles d'infrastructures de façon harmonieuse au sein d'un système.

#### 2.5.1.1. L'infrastructure verte

L'infrastructure verte est l'infrastructure écologique essentielle à tout plan directeur. Cette infrastructure écologique existe en parallèle de l'infrastructure urbaine grise habituelle des routes, systèmes et équipements de tout-à-l'égout. C'est un réseau interconnecté de zones naturelles et d'autres espaces ouverts qui conserve les valeurs et les fonctions de l'écosystème naturel et maintient un air et une eau de qualité. Cela permet également à la zone de prospérer comme habitat naturel pour une grande variété d'espèces sauvages, et offre un large éventail d'avantages aux hommes autant qu'au monde naturel, tels que la présence d'un habitat non fragmenté dans le paysage, qui permet aux animaux volants et terrestres de se déplacer librement. Cette infrastructure écologique est l'infrastructure qui fonctionne dans la nature (parallèlement à nos infrastructures humaines, désignées ici sous le nom d'infrastructures grise, bleue et rouge).

Tout plan directeur à visée écologique devrait contenir une infrastructure écologique. Sans elle, peu importe la technicité des gadgets environnementaux de l'ingénierie, le plan directeur restera un simple projet de génie civil et ne méritera pas l'appellation de plan directeur écologique ni, à plus grande échelle, d'éco-ville.

Ces corridors linéaires de vie sauvage relient des espaces verts existants à de plus grands secteurs verts, et peuvent contribuer à créer de nouveaux habitats indépendants plus importants, ou à rattacher des ceintures boisées ou des zones humides. Il est également important qu'une nouvelle infrastructure verte complète et améliore nettement les fonctions naturelles des éléments déjà présents dans le paysage.

Dans le processus d'élaboration du plan directeur, l'urbaniste identifie des voies naturelles et des secteurs verts existants, ainsi que de nouvelles voies et connexions possibles pour créer de nouvelles liaisons dans le paysage. C'est à ce stade qu'il est également possible d'intégrer d'autres éléments ou espaces fonctionnels du paysage naturel, en effectuant par exemple le

raccordement de voies navigables existantes qui apportent une aide écologique, comme l'évacuation pour limiter les inondations.

Cette infrastructure écologique a la priorité sur d'autres infrastructures de génie civil dans le plan directeur. En créant, améliorant et réhabilitant la connectivité écologique de l'environnement immédiat, l'infrastructure écologique transforme l'intervention humaine dans le paysage de négative en positive. Ses avantages et ses valeurs environnementaux servent d'armature et de structure aux systèmes et fonctions naturels qui sont écologiquement fondamentaux. Cela va à l'encontre de la fragmentation des habitats naturels et encourage une plus grande biodiversité, en vue de rétablir des écosystèmes sains, tout en fournissant le tissu pour une vie durable et en protégeant et en améliorant les propriétés de la nature.

Cette nouvelle connectivité du paysage avec la forme construite suppose un effort tant horizontal que vertical. Ainsi, la présence de corridors et de liaisons écologiques dans les aménagements régionaux et locaux permet d'élaborer des modèles urbains biologiquement plus viables. Avec des surfaces et des routes imperméables, la connectivité peut être réalisée en utilisant des ponts, des tunnels et des rampes écologiques. En plus d'une meilleure connectivité horizontale, une connectivité verticale avec les constructions humaines est aussi nécessaire, puisque la plupart des bâtiments ne comportent pas un seul étage, mais plusieurs. La conception doit prolonger les corridors écologiques verticalement vers le ciel, en couvrant les constructions de verdure, des fondations jusqu'au toit végétalisé.

#### 2.5.1.2. L'infrastructure grise

L'infrastructure grise est l'infrastructure habituelle d'ingénierie urbaine : routes, systèmes d'assainissement, réseaux d'égouts, télécommunications et réseaux de distribution d'électricité et d'énergie. Ces systèmes d'ingénierie devraient s'intégrer dans l'infrastructure verte plutôt que l'inverse, et devraient être conçus comme des systèmes d'ingénierie durables.

#### 2.5.1.3. L'infrastructure bleue

En parallèle de l'infrastructure écologique, on trouve l'infrastructure de l'eau (l'infrastructure bleue). Le cycle de l'eau devrait être géré en circuit fermé, bien que ce ne soit pas toujours possible dans des lieux à faibles précipitations. L'eau de pluie devrait être récoltée et recyclée. L'eau de ruissellement devrait être conservée dans le site et rendue à la terre pour recharger la nappe souterraine au moyen de lits de filtration, de chaussées et de surfaces construites perméables, d'étangs de rétention et de noues naturelles. L'eau utilisée dans le système construit devrait être récupérée et réutilisée autant que possible.

Combinée à une infrastructure écologique verte, la gestion des eaux pluviales permet, par des processus naturels, l'infiltration, l'évapotranspiration de celles-ci. Leur capture et leur utilisation sur le site ou dans les environs du lieu où elles sont tombées pourraient générer d'autres avantages pour l'environnement.

Les voies navigables ne devraient pas être dérivées par le biais de dalots vers des voies navigables construites ou inversement, mais être remplacées par l'introduction de zones humides et de bandes d'isolement avec des prairies et des habitats boisés respectant un principe écologique. Les surfaces étanches peuvent réduire l'humidité du sol et provoquer un risque d'inondation par ruissellement excessif dans des zones en aval. Les voies naturelles des zones humides doivent donc être conçues comme des systèmes d'évacuation durables fournissant des services écologiques. Les espaces tampons peuvent être intégrés à des espaces verts linéaires pour maximiser leur potentiel d'habitat.

L'éco-conception doit créer des systèmes d'évacuation urbains durables, capables de servir d'habitat de zones humides. Cela doit non seulement atténuer les inondations, mais aussi constituer des bandes d'isolement pour la création d'habitat naturel. Tandis que la largeur des espaces tampons peut subir la pression des utilisations de terres existantes, leur intégration dans des espaces verts linéaires permettrait la réalisation de corridors plus larges. La gestion de l'eau de ruissellement maximise le potentiel d'habitat.

#### 2.5.1.4. L'infrastructure rouge (ou humaine)

Cette infrastructure comprend la communauté humaine, son environnement construit (bâtiments, maisons, etc.), ses espaces urbanisés et son cadre normatif (lois, règlements, éthique, etc.). Cette infrastructure doit imiter la nature en créant des écosystèmes artificiels.

#### 2.5.2. La bio-intégration : Intégrer l'environnement naturel

Considérer la conception environnementale comme la bio-intégration harmonieuse et non nuisible de l'artificiel (fait par l'homme) dans l'environnement naturel. Notre difficulté à réaliser cette intégration est à l'origine des problèmes environnementaux. En réalité, si nous sommes capables d'intégrer de façon homogène et non invisible nos processus d'entreprise et notre conception, et tout ce que nous faisons ou fabriquons dans notre environnement construit, à l'environnement naturel, tout problème environnemental, quel qu'il soit, aura en principe disparu. Réussir à atteindre cet objectif est bien sûr plus facile à dire qu'à faire, mais c'est en cela que réside notre défi.

Nous pourrions faire une analogie entre l'éco-conception et les prothèses en chirurgie.

Un dispositif prothétique médical doit s'intégrer dans son hôte organique, à savoir le corps humain. Si l'intégration ne se fait pas bien, cela peut engendrer des perturbations pour les deux. Par analogie, c'est ce que l'éco-conception devrait atteindre dans notre environnement construit et dans nos activités : une intégration physique, systémique et temporelle totale de notre environnement construit par l'homme, dans notre hôte organique d'une façon inoffensive et positive. La conception environnementale est essentiellement celle qui intègre nos systèmes artificiels, tant mécaniquement qu'organiquement, dans leur système hôte, c'est-à-dire les écosystèmes.

Concevoir en vue d'une bio-intégration peut être considéré suivant trois aspects : physique, systémique et temporel.

L'intégration physique et systémique exige de bien percevoir l'écologie du site. Nous devons d'abord comprendre l'écosystème de la localité avant de lui imposer une quelconque activité humaine. Chaque site a une écologie avec une capacité limitée à résister aux diverses sollicitations qui, si elle est poussée au-delà de cette capacité, s'en trouve irrémédiablement endommagée. Les conséquences peuvent s'étendre de l'impact localisé minime (le dégagement d'une petite surface pour permettre l'accès), à la dévastation de toute une surface. Nous devons vérifier la structure et la circulation de l'énergie de son écosystème, la diversité de ses espèces et d'autres propriétés et processus écologiques. Ensuite, nous devons identifier quelles parties du site (s'il y en a) disposent de différents types de structures et d'activités, et quelles parties sont particulièrement sensibles. Enfin, nous devons considérer les impacts probables de la construction visée et de son utilisation.

C'est, bien sûr, une entreprise considérable. Elle doit avoir lieu quotidiennement au cours de l'année et, dans certains cas, sur plusieurs années. Pour réduire cet effort de longue haleine, les architectes paysagistes ont développé une technique de cartographie, le sieve mapping

(révélant les contraintes et les opportunités qu'offre le paysage), pour configurer les aménagements paysagers. Nous devons être conscients du fait que cette méthode traite généralement l'écosystème du site de manière statistique et peut ignorer les forces dynamiques qui jouent entre les couches et au sein d'un écosystème. Entre chacune de ces couches existent des interactions complexes.

Une autre problématique de conception majeure est l'intégration systémique de nos formes construites et de leurs systèmes opérationnels et processus internes dans les écosystèmes de la nature. Cette intégration est cruciale parce que, si nos systèmes construits et processus ne s'intègrent pas aux systèmes naturels, alors ils resteront des éléments disparates, artificiels et des polluants potentiels.

L'intégration temporelle implique la conservation de ressources tant renouvelables que non renouvelables pour assurer que ces dernières restent disponibles pour les générations futures. Cela inclut la conception de systèmes construits à basse énergie, moins ou non dépendants de l'utilisation de ressources énergétiques non renouvelables.

### 2.5.3. Écosystèmes imitant la nature :

Il s'agit de considérer la conception verte comme un « bio-mimétisme », imitant des écosystèmes sur la base de leurs processus, leur structure, leurs caractéristiques et leurs fonctions. C'est l'un des principes fondamentaux de l'éco-conception. Notre environnement construit doit imiter les écosystèmes à tous égards, par exemple dans le recyclage, l'utilisation de l'énergie du soleil par la photosynthèse, les systèmes qui tendent vers un meilleur rendement énergétique, l'équilibre holistique entre constituants biotiques et abiotiques dans l'écosystème, etc.

Nos entreprises et notre environnement construit peuvent-ils imiter les processus, la structure et les fonctions de la nature, particulièrement ses écosystèmes ? Par exemple, les écosystèmes n'ont aucun déchet. Tout est recyclé dans la nature. Ainsi, en l'imitant, notre environnement construit ne produira aucun déchet. Toutes les émissions et tous les produits seront continuellement réutilisés, recyclés et, pour finir, réintégrés au sein de l'environnement naturel, grâce à une utilisation efficace de l'énergie et des ressources matérielles.

Les écosystèmes d'une biosphère sont des unités définissables contenant aussi bien des constituants biotiques qu'abiotiques, agissant ensemble comme un tout. Partant de ce concept, nos entreprises et notre environnement construit devraient être conçus de façon analogue au contenu physique, à la composition et aux processus de l'écosystème. Par exemple, en plus de considérer notre architecture comme de simples objets d'art ou des enceintes viabilisées, nous devrions la considérer comme des artefacts qui doivent être intégrés à la nature en restant opérationnels.

Notre myriade d'activités de construction, de fabrication et autres sont, en réalité, en train de rendre la biosphère de plus en plus inorganique, artificielle et de l'appauvrir, biologiquement parlant. Nous devons inverser cette tendance et équilibrer notre environnement construit en laissant davantage de place à la biomasse, en améliorant la biodiversité et la connectivité écologique dans les formes construites.

La conception environnementale exige aussi que le concepteur utilise des matériaux et des assemblages de matériaux verts, et des composants qui facilitent la réutilisation, le recyclage et la réintégration pour qu'ils se fondent à terme dans les systèmes écologiques. C'est ce

circuit fermé, grâce à la réutilisation et au recyclage, que notre environnement artificiel doit imiter.

2.5.4. Restaurer les systèmes existants :

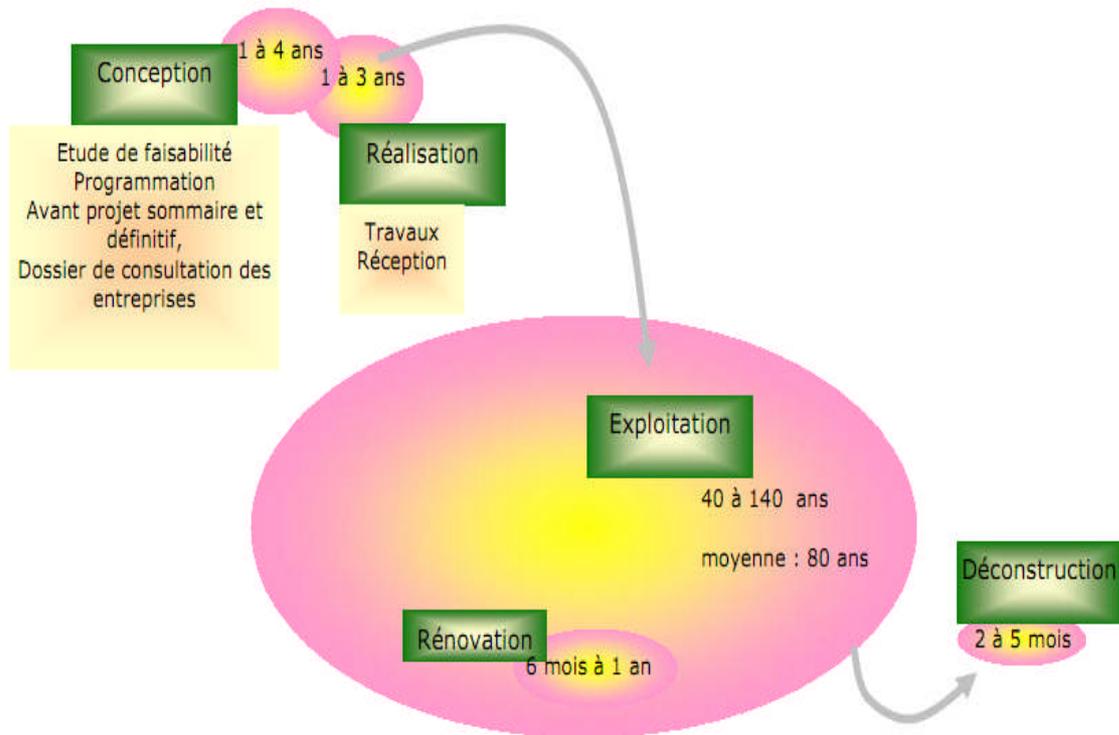
L'éco-conception est considérée non seulement comme la création de nouveaux écosystèmes urbains artificiels « vivants » ou la réhabilitation des environnements construits et des villes existants, mais aussi comme la restauration d'écosystèmes détériorés et dévastés présents localement dans le paysage.

Nous devrions, par exemple, améliorer les liens écologiques entre nos conceptions et nos processus d'entreprise avec le paysage environnant, horizontalement et verticalement. La réalisation de ces liens assure un niveau plus élevé de connectivité des espèces, d'interaction, de mobilité et de partage des ressources par-delà les frontières. De telles améliorations concrètes du réseau écologique augmentent la biodiversité et accroissent encore la résistance de l'habitat et la survie des espèces.

Nous devons intégrer les aspects et les processus inorganiques de notre environnement construit dans le paysage pour qu'ils deviennent mutuellement éco-systémiques. Nous devons créer des « écosystèmes artificiels » compatibles avec les écosystèmes de la nature. Ce faisant, nous augmentons la capacité des « écosystèmes artificiels » à soutenir la vie dans la biosphère. [YEANG, 2009 ; SIRVAITIS, 2010]

### 3. Phases de vie d'un bâtiment :

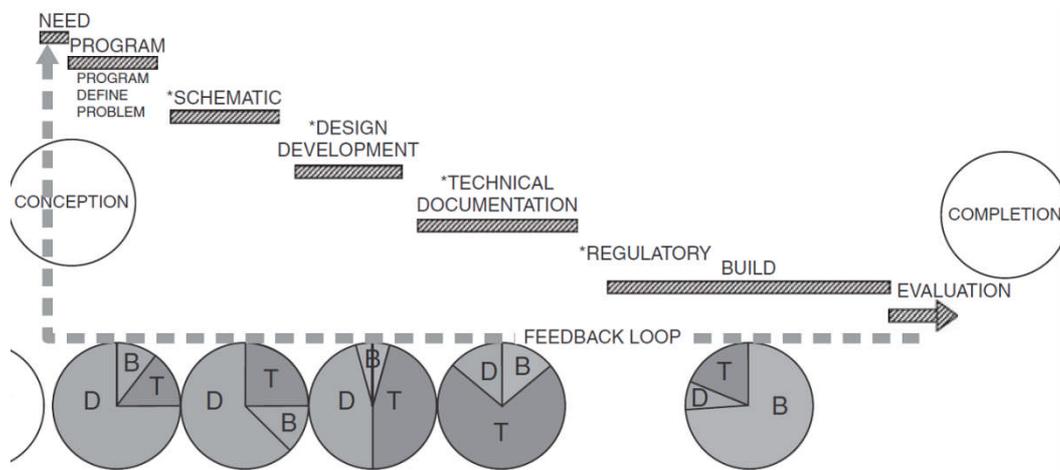
Les différentes phases de vie d'un bâtiment sont représentées dans la figure 16, avec une estimation moyenne de leur durée, (bâtiments tertiaires et résidentiels hors bâtiments historiques).



**Figure 13 : Durées moyennes des différentes phases de vie d'un bâtiment**

Elles ont chacune une durée différente, ainsi que des impacts environnementaux différents, en nature et en intensité.

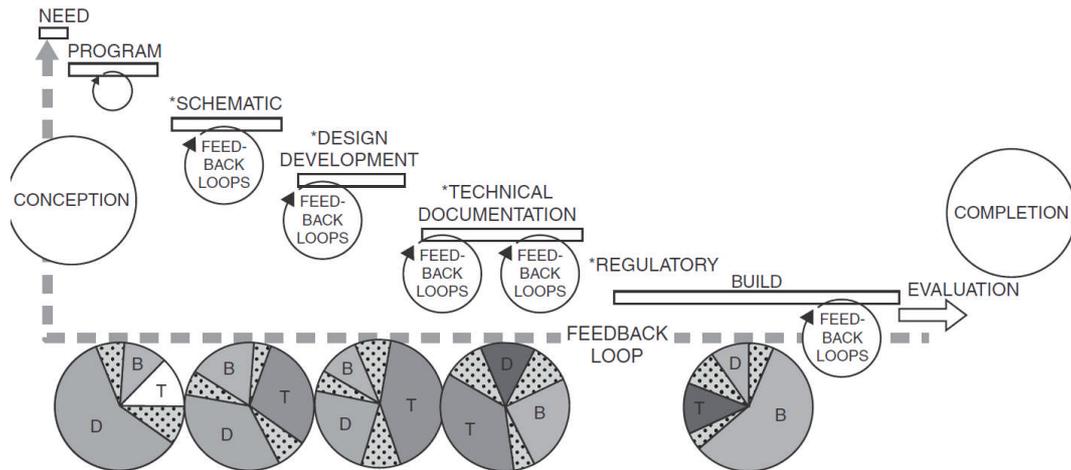
Le processus de conception d'un bâtiment jusqu'à sa réalisation est un processus linéaire dont il permet un va-et-vient (feedback) entre toutes ses étapes avec des interventions plus ou moins fréquentes comme l'illustre la figure suivante :



**Figure 14 : Modèle linéaire d'un processus de conception.**

*Note:* D, design expertise; T, technical expertise; B, building expertise; \*= review cycle.

[VALLERO et BRASIER, 2008]

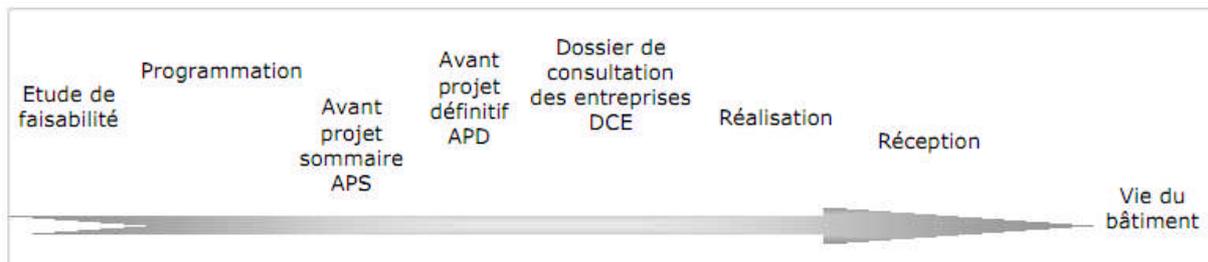


**Figure 15 : Modèle transitionnel d'un processus de conception d'un bâtiment durable.**  
*Note:* D, design expertise; T, technical expertise; B, building expertise; \*= review cycle.  
 [VALLERO et BRASIER, 2008]

### 3.1. La phase de conception :

C'est la phase où les acteurs ont le degré de liberté le plus fort pour mettre en place les conditions de réalisation de la qualité environnementale.

Les étapes de la conception/construction où se jouent les décisions cruciales pour la qualité résultante future du bâtiment sont : la programmation, l'avant projet sommaire et la réalisation. Elles sont elles-mêmes constituées de plusieurs étapes, comme indiqué dans la figure suivante :



**Figure 16 : Etapes de la phase de conception**

### 3.2. La phase de réalisation :

C'est une phase délicate, la phase de « passage de l'idée à la réalité », qui doit permettre de construire le bâtiment, et tout défaut de réalisation entraînera une QE moins performante.

### 3.3. La phase d'exploitation :

Phase de vie du bâtiment, est celle où va se manifester, peu ou prou, la QE du bâtiment, par l'ambiance intérieure qu'il offre aux occupants, par ses consommations, par l'entretien et la maintenance qu'il demandera. Cette QE du bâtiment dépendra non seulement de l'état du bâtiment, dans le sens de ce qu'il est et de ce qu'il peut faire, mais aussi des modes conjugués de gestion et d'usages dont il sera l'objet. La phase d'exploitation est ponctuée en moyenne d'une rénovation majeure tous les 30 à 40 ans.

#### Acteurs de la phase d'exploitation :

Afin d'opérer une action sur un bâtiment en exploitation, il convient d'identifier les acteurs et les actions de chacun sur le bâtiment.

La phase d'exploitation du bâtiment se déroule via 4 catégories d'acteurs.

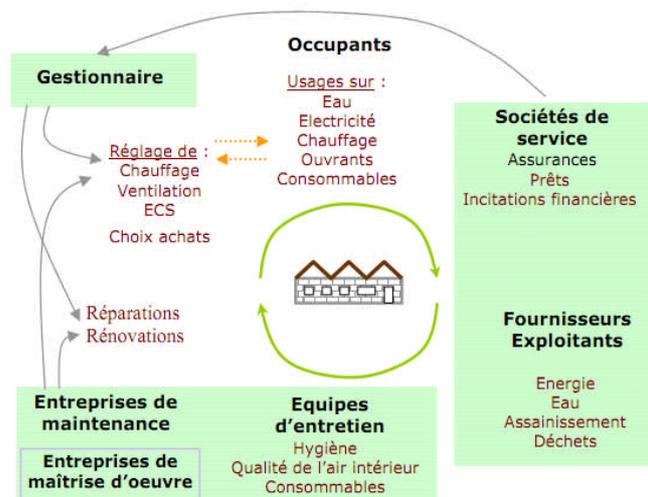
Une première catégorie d'acteurs est celle des *responsables administratifs*, qui sont parfois les propriétaires (en particulier dans les bâtiments publics), en charge principalement de la rédaction des exigences envers les acteurs techniques, de la gestion financière, ainsi que des plannings d'occupation.

Les acteurs *techniques*, parfois identiques aux responsables administratifs des bâtiments, incluent les sociétés de services, les fournisseurs, et les entreprises de maintenance. Ce sont les acteurs qui vont avoir un rôle de management des équipements du bâtiment, des contrôles de conformité et de performance technique.

Les deux premières catégories d'acteurs ont un rôle de gestionnaire, technique ou administratif, ou de service autre, mais qui n'utilisent pas le bâtiment.

Le troisième type d'acteurs est celui des *usagers*, que nous appellerons aussi utilisateurs ou occupants. Ils font quotidiennement appel aux services et fonctions du bâtiment, ils l'habitent.

Enfin les *services* que nous qualifierons de satellitaires à l'activité du bâtiment dans sa phase de vie, qui rassemble les services financiers (assurances, banques, services de l'Etat pour les aides et incitations financières). La figure suivante présente différents types d'acteurs et d'actions sur le bâtiment et ses fluides, qui vont par la suite être liés aux impacts environnementaux.



**Figure 17: Acteurs de la phase d'exploitation**

Les usagers sont les occupants quotidiens des lieux. Ils font appel aux différents services du bâtiment avec des pratiques plus ou moins responsables, étant de façon générale peu informés sur les enjeux de leurs habitudes, sur les consommations d'énergie, l'utilisation de l'eau, l'utilisation économe ou pas des consommables, le tri effectif des déchets.

Le gestionnaire peut être le propriétaire du bâtiment, comme c'est le cas pour les écoles publiques et par commune d'implantation. Il opère des actions administratives et techniques sur le bâtiment. Ainsi, il est en charge de l'entretien, de la maintenance, du choix et des cahiers des charges des différents prestataires, des marchés publics d'achats de certains consommables pour les écoles. Il fixe avec ses partenaires les choix de gestion en fonction des bâtiments (températures de consigne, lancement des ballons d'eau chaude sanitaire, ...), et des plannings d'occupation des locaux. Il lui appartient de décider des rénovations majeures à effectuer sur son patrimoine.

La quantification de la contribution des différents acteurs est délicate, et nous n'avons trouvé aucune étude sur le sujet. Si nous arrivions à montrer que, sur un bâtiment de type enseignement ou bureaux, le gestionnaire et ses différents partenaires ont réglé correctement les horloges et les consignes des appareils les plus consommateurs d'énergie, (chauffage, climatisation, ventilation, débit et minuterie de l'eau, minuterie des éclairages, ...), que les plans d'achats en quantités et qualités sont pertinents par rapport à l'activité hébergée par le bâtiment, que les produits d'entretien sont hautement recyclables et peu toxiques, par exemple, alors nous disposerions d'une base suffisante pour dire que les mauvaises performances d'un bâtiment proviennent des occupants.

Mais si, comme c'est très majoritairement le cas, les réglages et la gestion ne sont que partiellement optimisés, on ne peut tirer de conclusion sur la part de responsabilité des différents acteurs quant aux impacts environnementaux.

#### **3.4. La phase de déconstruction :**

La plus courte dans le temps, dont l'efficacité environnementale dépendra du savoir faire des entreprises de déconstruction, de leur cahier des charges, du management de l'opération (clarté des documents techniques de conception du bâtiment), ainsi que des choix de conception et de rénovation (facilité de démontage des équipements et matériaux, recyclage...)

Notons un élément remarquable, que nous nous gardons de critiquer : les phases de conception, et dans une moindre mesure de déconstruction, sont soumises à des réglementations nombreuses et évolutives.

En revanche la phase d'exploitation est beaucoup moins cadrée, si ce n'est par les obligations sanitaires ou de sécurité sur les systèmes de chauffage à combustible.

#### 4. L'éco-conception :

L'analyse des impacts environnementaux de systèmes tels que des produits, des procédés ou encore des services n'a qu'une portée limitée si les points forts et les points faibles mis en avant ne sont pas répercutés sur le processus de conception. Depuis la prise de conscience d'un écosystème fini en terme de disponibilité des ressources et fragile face aux activités anthropiques, la composante environnementale fait désormais partie intégrante du processus de conception. Les démarches de conception en vue du recyclage et la volonté de préservation de l'environnement ont donné lieu à la naissance de l'éco-conception. Cette dernière présente à l'heure actuelle différents outils d'implémentation qu'ils soient à vocation d'évaluation ou de choix stratégiques. L'ACV, cataloguée parmi ces outils, présente cependant certaines limites qui restreignent sa portée selon la phase de conception ciblée.

Néanmoins, différents travaux ont montré sa réelle utilité notamment lors de la construction d'outils d'éco-conception.

L'éco-conception est une approche centrée produit, procédé ou service. Elle se traduit par le fait de concevoir ces derniers tout en respectant les principes du développement durable. Elle consiste à prendre en compte les aspects environnementaux dans la conception, renforce en effet le dialogue entre architecture et ingénierie.

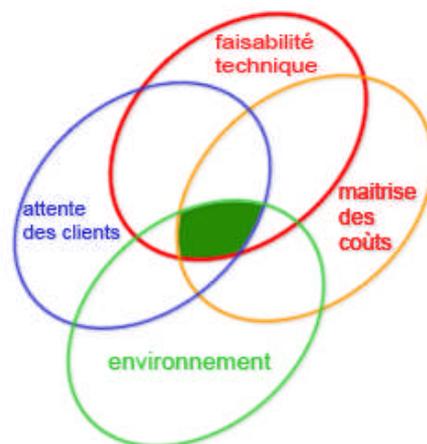
L'éco-conception, consistant à prendre en compte les aspects environnementaux dans la conception, renforce en effet le dialogue entre architecture et ingénierie. [Peuportier, 2008]

Pour ce faire, l'ensemble des impacts environnementaux identifiés au long du cycle de vie est intégré au processus de conception, au même titre que la faisabilité technique, les attentes client ou encore la maîtrise des coûts, l'objectif majeur étant de réduire ces impacts tout en évitant les transferts de pollution. C'est une démarche préventive qui se caractérise par une approche globale avec la prise en compte de tout le cycle de vie du produit (depuis l'extraction de matières premières jusqu'à son élimination en fin de vie) et de tous les critères environnementaux (consommations de matières premières, d'eau et d'énergie, rejets dans l'eau et dans l'air, production de déchets...). Cette approche peut être illustrée par l'exclusion de substances toxiques, la dématérialisation, l'amélioration des performances d'utilisation notamment par l'optimisation de la consommation énergétique, l'augmentation de la durée de vie des produits, la substitution de matériaux traditionnels au profit de matériaux recyclables, réutilisables ou biodégradables.

Les actions d'éco-conception consistent à optimiser les solutions techniques, industrielles ou logistiques, de manière à **réduire les impacts environnementaux** et à conserver la qualité du produit. C'est une démarche multicritères et multi-étapes :

**Multicritères** : tous les impacts environnementaux du produit sont pris en compte (ex d'impact: pollution de l'air, de l'eau, production de déchets...).

**Multi-étapes** : les impacts cités ci-dessus sont évalués sur l'ensemble du cycle de vie (de l'extraction des matières premières à la fin de vie).



**Figure 18 : Schéma de l'éco-conception**

#### 4.1. Penser global

L'éco-conception s'agit de regarder la biosphère dans sa globalité, le contrôle de la pérennité de l'environnement et sa destruction par les humains, les catastrophes naturelles, les bâtiments, les activités et les industries comme des ensembles d'interactions environnementales, et de prendre les mesures curatives appropriées pour assurer la stabilité écologique mondiale.

La conception environnementale doit aller au-delà des systèmes d'évaluation conventionnels, qui sont des indices utiles pour comparer le caractère écologique de la conception des bâtiments, mais qui ne sont pas efficaces en tant qu'outils de conception. Ils ne sont pas assez complets dans l'approche des questions de conception environnementale aux niveaux local, régional et mondial.

La conception écologique en est encore à ses balbutiements. La construction ou la ville totalement verte n'existe pas encore. Nous avons besoin de beaucoup plus de travail théorique, de recherche technique et d'invention, d'études environnementales avant de pouvoir bénéficier d'un environnement construit vraiment vert. [YEANG , 2009]

#### 4.2. Les principes de l'éco-conception :

##### 4.2.1. La pensée cycle de vie

Ce principe, qui est au cœur de la démarche d'éco-conception, consiste à prendre en compte toutes les étapes du cycle de vie et tous les impacts environnementaux (approche multicritères), et surtout à éviter les déplacements d'une étape vers l'autre ou d'un écosystème à l'autre. On utilise pour cela une analyse du cycle de vie, qui permet d'analyser l'ensemble des impacts d'un produit pour toutes les étapes du cycle de vie, depuis l'extraction des matières premières, en passant par la fabrication, l'utilisation, le transport et jusqu'à l'élimination.

##### 4.2.2. Le processus d'éco-conception

Définition de la norme [ISO 2002] : « intégrer l'environnement à toutes les phases (et le plus en amont possible) du développement d'un produit (au même titre que les autres critères : qualité/coût/délai, sécurité, santé, etc.) »

##### 4.2.3. Stratégies d'éco-conception

- Choix de matériaux peu impactant
- Choix de matériaux renouvelables
- Amélioration des procédés de production
- Réduction de la quantité de matériaux utilisée (dématérialisation)
- Diminuer l'impact en phase d'utilisation
- L'allongement de la durée d'utilisation du produit, par exemple en améliorant la solidité
- La prévention de la pollution
- Diminuer la consommation des ressources naturelles
- Diminuer la consommation d'énergie et l'utilisation d'énergies renouvelables
- Réduction des déchets en réduisant la taille et le poids du produit et des emballages, en utilisant des matériaux recyclables et recyclés, en reprenant les produits usagés...
- Inciter l'utilisateur à améliorer ses pratiques (informer des acheteurs pour qu'ils utilisent mieux le produit au moyen par exemple d'une notice d'utilisation)

- Permettre l'optimisation de la collecte (ex. : bouteilles d'eau compactables)
- Assurer des filières de recyclage
- Permettre un désassemblage facilité

Mais il y a quelques erreurs à éviter comme:

- lister des matériaux ou substances que l'on exclurait sans avoir évalué leur impact environnemental
- la focalisation sur une seule étape du cycle de vie
- la focalisation sur la réduction d'impacts minoritaires au détriment des processus ayant un impact plus important.

#### 4.2.4. Coopération et partenariat

L'éco-conception rassemble plusieurs disciplines : technique, organisationnelle, commerciale, etc. De nombreux acteurs sont impliqués tout au long du cycle de vie, c'est pourquoi les dialogues internes et externes et les partenariats sont cruciaux.

Le retour d'expérience est important pour les éco-concepteurs. Cela nourrit une base de données informative et cela leur permet d'apprendre de leurs erreurs des conceptions précédentes suivant une démarche d'amélioration continue. Dans le même esprit, ils doivent se tenir au courant des avancées scientifiques et technologiques.

### **4.3. Les outils d'éco-conception :**

Afin de limiter au mieux les impacts environnementaux d'une re-conception ou d'une nouvelle conception, le groupe de conception se base en général sur un système existant.

Ce dernier est soumis à une analyse environnementale, l'objectif étant de déterminer les points de conception pénalisant pour l'environnement qui donneront lieu à l'établissement des grands axes d'amélioration.

Pour ce faire, le concepteur peut s'appuyer sur l'utilisation de différents outils. Une première catégorie regroupe les outils d'analyse. Ces derniers focalisent les résultats sur les éventuelles pénalités de conception qui peuvent limiter les performances environnementales du système. Une seconde catégorie, quant à elle, est orientée sur les outils d'amélioration apportant des solutions techniques ou des orientations de conception permettant de réduire les dommages environnementaux.

#### 4.3.1. Les outils d'analyse environnementale

Les outils d'analyse à disposition du concepteur ont pour vocation de déterminer la performance environnementale des systèmes. Ceux-ci fournissent des résultats sous forme qualitative, semi-quantitative ou quantitative, plus ou moins détaillés selon l'outil implémenté. Quelque soit l'outil, les résultats doivent permettre d'éclairer le processus de décision et d'aboutir à un choix stratégique justifié.

##### 4.3.1.1. La matrice « Matériaux – Energie – Toxicité » (MET) :

L'implémentation de cette matrice tend à identifier les points cruciaux de la conception étudiée. Elle se base sur l'identification des éléments contributifs à trois critères que sont les matériaux, l'énergie et la toxicité, pour chacune des phases de cycle du système (tableau 05).

Cette matrice est relativement simple d'utilisation, le concepteur pouvant fournir les informations relatives aux composants et aux bilans de masse et d'énergie. L'évaluation de la toxicité, quant à elle, peut être réalisée sur la base de données d'experts. Notons qu'il est préférable de renseigner les champs respectifs à l'aide de données quantifiées afin d'identifier au mieux les postes d'amélioration. [Brezet 97].

<b>Phase de cycle de vie</b>	<b>Matériaux</b>	<b>Energie</b>	<b>Toxicité</b>
<b>Production des matériaux</b>	Identification et quantification des matériaux composant le système	Evaluation de la consommation énergétique engendrée par la production de ces matériaux, par leur transformation ou encore leur acheminement jusqu'au site de production ou d'assemblage	Identification des matériaux potentiellement toxiques mais également les déchets générés pendant les phases d'extraction et de transformation
<b>Production</b>	Identification des matériaux auxiliaires requis pour la production	Evaluation des consommations énergétiques liées à la production	Identification des déchets produits pendant la phase de production
<b>Distribution</b>	Identification des matériaux requis pour le conditionnement	Evaluation des consommations liées au conditionnement et au transport jusqu'au détaillant	Identification et quantification des émissions liées aux consommations. Identification des déchets d'emballage
<b>Utilisation</b>	Identification des matériaux liés à l'utilisation tels que les consommables ou encore la maintenance	Evaluation de la consommation en phase d'utilisation	Identification et quantification de la production de déchets liée à l'utilisation et la maintenance
<b>Fin de vie</b>	Identification des matériaux nécessaires à la gestion de fin de vie du produit	Consommation énergétique requise pour la gestion de la fin de vie du produit	Identification et quantification des déchets générés pendant la phase de fin de vie (y compris les matériaux réutilisés ou recyclés)

**Tableau 05 : Exemple de matrice MET**

## 4.3.1.2. Evaluation Simplifiée et Qualitative du Cycle de Vie (ESQCV) :

Cette méthode est largement inspirée d'une ACV complète mais s'illustre par le fait que l'évaluation requiert beaucoup moins d'informations et ne fournit que des résultats qualitatifs. La cotation selon la matrice proposée en Tableau 06, permet de localiser les sources de pollutions potentielles, systèmes, sous-systèmes, composants dans les différentes phases du cycle de vie et d'en estimer l'importance.

Le terme de problème, peut être assimilé à un impact environnemental tel que le potentiel de réchauffement climatique ou la consommation de ressources abiotiques mais également un dommage environnemental tel que le dommage sur la santé humaine ou le potentiel d'extinction des espèces animales et végétales. Une fois le tableau établi, le praticien renseigne cette matrice à l'aide de données quantitatives relatives au produit. Chaque problème environnemental est alors caractérisé par les flux ou impacts contributifs au problème. Enfin et avant de dégager les pistes d'amélioration, l'analyse est remise dans le contexte industriel. Ainsi sont évalués le poids environnemental d'une part et le poids économique d'autre part pour chaque levier d'amélioration. L'analyse du rapport entre ces deux dimensions permet d'identifier les postes les plus critiques. Les pistes d'amélioration qui sont dégagées, se basent donc sur un compromis entre la performance environnementale et la performance économique [AFNOR 98].

Problème environnemental	Extraction des matières premières	Production	Distribution	Utilisation	Traitement fin de vie	Transport
Problème 01						
Problème 02						
Problème 03						

**Tableau 06 : Exemple de matrice ESQCV**

#### 4.3.1.3. Material Intensity Per Service (MIPS) :

Cette approche a été développée par le Wuppertal Institute (Allemagne). Elle consiste à mesurer le flux massique total de matériaux consommés durant chaque phase de cycle de vie du système et pour une unité de service définie. Cette approche présente la caractéristique de prendre l'ensemble du cycle de vie du système en compte. Les résultats donnent lieu à l'établissement du coût environnemental de la réalisation de l'unité de service.

La production primaire d'une tonne de cuivre par exemple requiert la consommation de 350 tonnes de matières abiotiques, 365 tonnes d'eau et de 1,6 tonnes d'air. Notons que cette méthode ne comptabilise que les flux de matières consommées afin d'éviter les double comptages. La limite majeure de cette méthode est l'intégration exclusive des consommations de matières, la toxicité ou les dommages environnementaux générés par les émissions sont en effet exclus de l'analyse [LEROY, 2009] [Millet et al. 03].

#### 4.3.1.4. ACV et ACV simplifiée :

L'ACV se définit comme étant une compilation des entrants et sortants et des impacts environnementaux d'un système pour une unité fonctionnelle donnée [ISO 06a]. Cette approche permet d'évaluer l'impact ou le dommage environnemental potentiel de façon quantitative pour chaque phase de cycle de vie du système et pour chaque composant constitutif. L'approche sera plus longuement évoquée dans la seconde partie. Cependant notons qu'une telle analyse est très coûteuse en terme de ressources économiques et temporelles. Cette limite majeure explique en grande partie le développement d'ACV simplifiée dont les avantages sont la réduction du temps de mise en œuvre et la facilitation d'interprétation des résultats [Le Pochat 05]. En outre l'implémentation d'une telle analyse ne semble pas être appropriée en phase de conception amont, les données requises pour son implémentation étant en inadéquation avec le degré de définition du produit ou du procédé

[Millet et al. 03]. Néanmoins l'ACV peut largement être employée afin de valider d'éventuelles pistes de conception.

#### 4.3.2. Les outils d'orientation de conception

La seconde famille d'outils s'attache quant à elle, à fournir des solutions techniques afin de garantir la prise en compte de l'aspect environnemental lors du processus de conception. De la simple liste de substances à bannir, à l'identification des alternatives les plus prometteuses en termes de réduction des impacts environnementaux, ces outils offrent l'opportunité à l'équipe projet d'intégrer la contrainte environnementale à différentes étapes du processus de conception. Nous proposons dans cette partie d'illustrer cette gamme d'outils en présentant certains d'entre eux. [LEROY, 2009]

##### 4.3.2.1. Les Check-lists

Les check-lists sont aujourd'hui largement utilisées par les concepteurs. Celles-ci fournissent une liste de questions ou de points remarquables qu'il convient d'appréhender afin d'améliorer la performance environnementale du produit. Ces points sont généralement classés en fonction des phases de cycle de vie auxquelles ils contribuent et du potentiel d'amélioration de la performance : intégration de matériaux recyclables et ou recyclés, minimisation de la production de déchets, substitution de substances toxiques, réduction de la quantité de matières premières consommées. Ces check-lists sont généralement accompagnées de pistes d'améliorations potentielles en fonction des objectifs de conception

Les méthodes d'évaluation du type check-list sont des outils d'évaluation les plus répandus et relativement simples à utiliser sous forme de listes de critères avec un système de cotation gradué associé à un facteur de pondération - le résultat final est calculé en additionnant les cotations pondérées de chaque critère. [PAYET et PEDRAZZINI, 2009]

La check-list ne donne pas de résultat chiffré (ou partielle!) mais une appréciation sous forme de pourcentage, lettrage (A, B, C, D) ou chiffre (1, 2, 3, 4,...)

##### 4.3.2.2. Les guides de conception :

Les guides de conception sont également largement déployés à l'heure actuelle. Ils fournissent une liste des bonnes pratiques à respecter. Celles-ci peuvent comprendre des listes de substances à bannir ou dont l'utilisation doit être limitée mais également des clefs de conception selon la stratégie visée pour le produit. Ainsi certains choix seront favorisés dans le cas de conception en vue du recyclage alors que d'autres alternatives seront privilégiées en cas de conception en vue de démantèlement par exemple. Ces outils peuvent également considérer des choix de matériaux, des choix d'architectures, de liaisons entre les composants ou de technologies [Leroy, 2009].

##### 4.3.2.3. Les logiciels DfX (design for x)

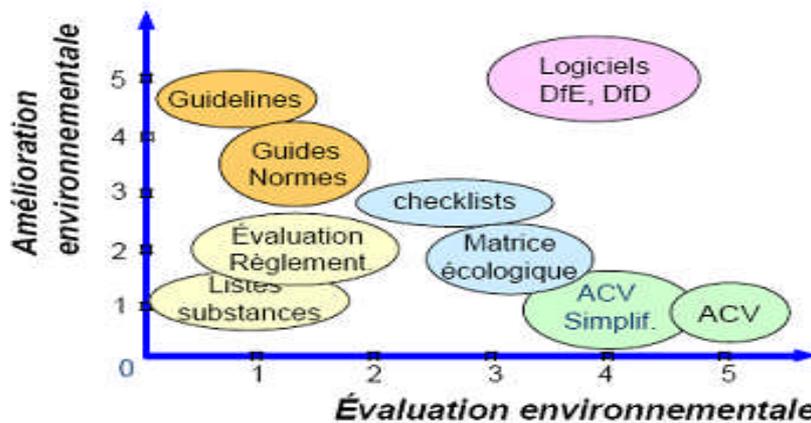
Ces logiciels, répertoriés par Janin, permettent l'évaluation de systèmes selon des critères définis tels que le potentiel de désassemblage (design for disassembly), le potentiel de recyclage (design for recycling) ou encore l'intégration dans une approche développement durable (design for sustainability) [Janin 00]. Pour chacune des stratégies étudiées, le coût environnemental associé est mesuré. Ces logiciels se caractérisent par le fait qu'ils peuvent fournir à la fois une analyse environnementale et l'identification de pistes d'amélioration [Le Pochat 05].

#### 4.3.2.4. Quality Function Deployment for Environment (QFDE) :

Cette matrice QFDE est le résultat du détournement de l'outil QFD utilisé en conception. Cette matrice a pour objet de prendre en compte les différentes attentes de chaque partie dès les premières phases de conception. Son implémentation doit conduire à l'élaboration d'un produit répondant à ces impératifs de qualité ainsi fixés. Cette matrice, quant à elle, intègre une nouvelle composante qu'est l'environnement. Ainsi certains aspects environnementaux sont figés et devront être respectés lors du processus de conception. [Sakao et al. 08]

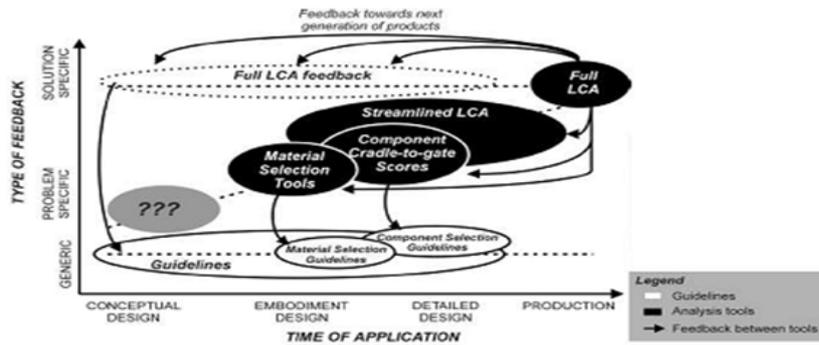
#### 4.3.3. Positionnement de ces outils d'éco conception

Cette variété d'outils et d'approches à disposition des concepteurs et plus largement des décideurs, présente différents niveaux d'expertise. Janin dans un premier temps, propose un positionnement de ces outils en fonction du degré d'analyse environnementale et du potentiel d'amélioration de la performance environnementale (figure 19) [Janin 00]. Ces travaux seront repris par la suite par Le Pochat, ce dernier formalisant cette classification en intégrant le degré d'expertise nécessaire à leur implémentation [Le Pochat 05].



**Figure 19 : Positionnement des outils d'éco-conception selon le degré d'évaluation environnementale et le potentiel d'amélioration de la performance environnementale**

Au vue de ces travaux, deux grandes familles d'outils se dessinent. L'une d'entre elle comprend les outils fournissant un cadre de conception en mettant l'accent sur les possibilités techniques assurant un gain environnemental. Cette famille se veut pragmatique et les outils la composant garantissent un gain environnemental très variable d'un outil à l'autre. Le degré d'analyse environnemental quant à lui est minime (figure 19). La seconde famille intègre essentiellement les outils d'analyse. Contrairement à la première, elle concentre l'information sur l'acquisition de connaissance sur les systèmes anthropiques et environnementaux. Les points de conception contributifs à la dégradation de la performance environnementale sont identifiés avec plus ou moins de précision. Cependant, si l'on excepte les logiciels Dfx, l'analyse ne fournit pas de solutions techniques ou technologiques pour y remédier. En conséquence le degré d'analyse est relativement élevé tandis que le potentiel d'amélioration environnementale lié à leur implémentation est faible.



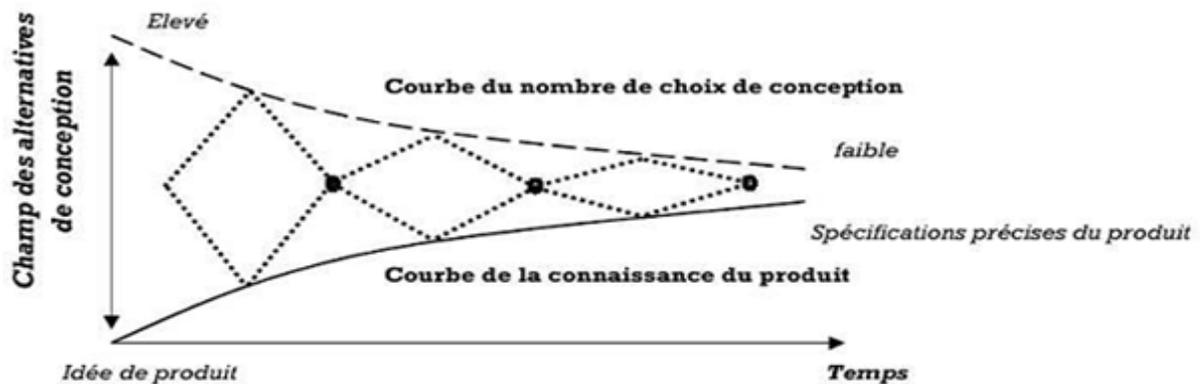
**Figure 20: Positionnement des outils d'éco-conception en fonction du type de contribution fournit par chacun et de la chronologie d'implémentation dans le processus de conception.**

Dewulf a également identifié les interactions potentielles entre les différents outils (figure 20) [Dewulf 03]. Il met en évidence une influence globale et marquée des outils tels que l'ACV sur les autres outils. Bien que ce dernier requiert un niveau de connaissance élevé du procédé ou produit en développement ce qui en fait d'ailleurs une de ses limites majeures pour une application en conception [Millet et al. 07], les résultats sont largement déployés et utilisés pour la création ou l'alimentation des outils de la première famille [Grisel & Osset 01].

#### 4.3.4. Connaissance du système et degré de liberté en conception

Le processus de conception est une suite de décisions techniques et stratégiques. Ces dernières sont le plus souvent réalisées dans un environnement des plus incertains, par conséquent il est difficile de déterminer si ces choix sont optimums.

Le degré de méconnaissance du système étant en décroissance constante tout comme le champ d'alternatives de conception (Figure 24). Les outils d'éco-conception à disposition se doivent donc de fournir un éclairage marqué sur la prise de décision à partir de données incertaines et partielles. [LEROY, 2009]



**Figure 21 : Dynamique du processus de conception caractérisée par la connaissance produit et des choix de conception.**

Cette évolution au cours du développement du système révèle une importance certaine dans le sens où les analyses environnementales et les préconisations de conception ne doivent pas conduire à des décisions entraînant une chute de performance environnementale pour le nouveau système sur la base de données incertaines. La difficulté est donc la validation des choix de conception compte tenu des incertitudes tant sur le développement futur du système que sur les informations utilisées pour valider ces choix (outils d'analyse et d'éco-conception).

## 5. Conclusion :

L'éco-conception s'attache à intégrer la dimension environnementale dans le processus de conception. Pour ce faire le groupe de conception dispose de différents outils. Certains d'entre eux apportent une expertise environnementale sur les performances du système étudié alors que d'autres fournissent d'emblée des solutions techniques garantissant une réduction des impacts environnementaux.

L'ACV se positionne clairement dans la première catégorie malgré le fait que les résultats puissent alimenter ou permettre la construction d'outils d'éco-conception. Bien qu'il soit considéré comme un outil d'éco-conception à part entière, plusieurs limites remettent en cause ce positionnement. D'une part il ne fournit qu'une évaluation des performances environnementales et en aucun cas des solutions techniques. D'autre part son implémentation requiert la définition relativement détaillée du système pour fournir les données nécessaires à la modélisation. Ce constat induit le fait que l'analyse ne peut être conduite qu'en fin de conception en vue de valider la conception globale.

Cependant, et compte tenu que les performances des systèmes en développement sont souvent comparés à celles de systèmes existants afin de valider le gain environnemental, il semble possible d'utiliser l'ACV en conception. Une évaluation comparative et itérative sur la base des données disponibles ou hypothétiques pourrait permettre une validation de ces choix. En effet dans le cadre d'une comparaison, la contrainte majeure est le seuil d'impact défini par le système référent. Une validation pas à pas faisant intervenir une évaluation prospective permettrait de contrôler ce gain environnemental.

Sur la base de l'utilisation de l'ACV pour orienter la conception, nous proposons dans la partie suivante de présenter l'outil plus en profondeur. Les aspects méthodologiques au même titre que les avantages et les limites de son application y seront discutés.

## 6. Références :

1. AFNOR. Norme NF EN ISO 14041. *Management environnemental. Analyse du cycle de vie – Définition de l'objectif et du champ de l'étude et analyse de l'inventaire*. AFNOR, décembre 1998.
2. ARTMANN, N., MANZ, H., HEISELBERG, P. (2007). *Climatic potential for passive cooling of buildings by night-time ventilation in Europe*, Applied energy.
3. Association HQE (2008). Site internet. URL : <http://www.assohqe.org/>. Vu le 12 février 2013 à 8:30.
4. BAUER Michael, MSLE Peter and SCHWARZ Michael. *Green Building – Guidebook for Sustainable Architecture*. Springer 2010. 209 pages
5. BedZed. (2008). Disponible en ligne. URL <http://www.peabody.org.uk/bedzed/>. Vu le 09 novembre 2012 à 17 :45
6. BERNIER, M. (2006). *Simulation de maisons « zéro-net »*. Journée thématique SFT-IBPSA. Chambéry.
7. BOJIĆ, M. (2000). *Optimization of heating and cooling of a building by employing refuse and renewable energy*, Renewable energy.
8. BRE Environmental Assessment Method (2008). Site internet. URL : <http://www.breem.org/>. Vu le 03 avril 2011 à 14:15
9. Brezet, J.C. Ecodesign – A promising approach to sustainable production and consumption. UNEP, United Nations Publication. 1997
10. CASBEE (2008). Site internet. URL : <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/overviewE.htm> Vu le 07 juin 2012 à 19:20
11. Dewulf. W. A pro-active approach to Ecodesign : Framework and tools. 2003 - 176 p. - Thèse de doctorat : Leuven, Katholieke Universiteit Leuven : 2003.
12. Grisel. L., Osset. P. *L'analyse du cycle de vie d'un produit ou d'un service. Applications et mise en pratique*. AFNOR 2004. 357p.
13. HASELBACH Liv, *The Engineering Guide to LEED New Construction*. MC Graw hill, 2010
14. Janin M. *Démarche d'éco-conception en entreprise. Un enjeu : construire la cohérence entre outils et processus*. 2000 – 423p. – Thèse de doctorat : Sciences et Techniques : Paris, ENSAM : 2000
15. Le Pochat. S. *Intégration de l'éco-conception dans les PME : Proposition d'une méthode d'appropriation de savoir-faire pour la conception environnementale des produits*. 2005 – 289p. – Thèse de doctorat : Génie Industriel : Paris, ENSAM : 2005
16. LEROY, Y., *Développement d'une méthodologie de fiabilisation des prises de décisions environnementales dans le cadre d'analyses de cycle de vie basée sur l'analyse et la gestion des incertitudes sur les données d'inventaires*. Thèse de doctorat : Génie Industriel : Paris, ENSAM : 30 Novembre 2009
17. MANDALLENNA, C. (2006). *Elaboration et application d'une méthode d'évaluation et d'amélioration de la qualité environnementale de bâtiments tertiaires en exploitation*. Thèse de doctorat : Spécialité : Mécanique ; Université BORDEAUX 1
18. MAUGARD, A., MILLET, J.-R., QUENARD, D. (2005). *Vers des bâtiments à énergie positive*. Présentation du CSTB.

19. Millet. D., Coppens. C., Jacqueson. L., Le Borgne. R., Tonnelier. P. *Intégration de l'environnement en conception. L'entreprise et le développement durable*. Lavoisier 2003.  
Disponible en ligne : URL : [http://www.cstb.fr/batimat2005/presentations/vers\\_des\\_bepos.pdf](http://www.cstb.fr/batimat2005/presentations/vers_des_bepos.pdf)
20. PAYET Jerome et PEDRAZZINI Simone. Analyse de cycle de Vie. Eco-conception du matériel de montagne. Table Ronde Mountain Riders ; Mercredi 18 novembre 2009 – Chambéry.
21. PEUPORTIER B., 1998, Projet européen REGENER : *analyse de cycle de vie des bâtiments*, EMP, 28p.
22. PEUPORTIER B., 2003, *Eco-Conception des bâtiments : bâtir en préservant l'environnement*, Ecole des Mines de Paris, 275 p.
23. PEUPORTIER Bruno (2006), *La simulation et les nouvelles attentes liées au concept de développement durable*. Ecole des Mines de Paris.
24. PEUPORTIER Bruno (2008), *l'éco-conception des bâtiments et des quartiers*. Ecole des Mines de Paris. 336 pages
25. PREBAT (2007). *Comparaison internationale Bâtiment et énergie : Rapport final*. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'énergie/Plan Urbanisme Construction Architecture/Centre Scientifique et Technique du Bâtiment.
26. Sakao. T., Kaneko. K., Masui. K., Tsubaki. H. *Combinatorial usage of QFDE and LCA for Environmental Concious Design. Implications from a case study*. The Grammar of Technology Development. Springer Japan. 2008
27. SIRVAITIS Karen, *Seven wonders of green building technology*. Twenty-First Century Books. 2010, 84 pages
28. THIERS Stéphane. *Bilans Énergétiques Et Environnementaux De Bâtiments À Énergie Positive*. Thèse de doctorat : Spécialité Energétique : École nationale supérieure des mines de Paris 21 novembre 2008/ 255 pages.
29. U.S. Green Building Council (2008). Site Internet. URL : <http://www.usgbc.org/>
30. VALLERO Daniel et BRASIER Chris, *Sustainable Design The Science of Sustainability and Green Engineering*. Edition Wiley, 2008, 344 pages
31. WIGGINTON Michael et Jude HARRIS (2002), *Intellengent skins*. Butterworth-Heinemann. 186 pages
32. WHITE Rodney. *Building the ecological city*. CRC Press Washington, 2002, 255 pages
33. YEANG Ken. *Revue Constructif, N°23 - Juillet 2009*

# **Analyse du Cycle de Vie comme outil pour le développement d'une stratégie de construction durable**

CHAPITRE 04 :

## Analyse de Cycle de Vie des bâtiments

**CHAPITRE 04 : ACV DES BÂTIMENTS**

<b>1. INTRODUCTION :</b>	<b>99</b>
<b>2. ANALYSE DE CYCLE DE VIE DES BATIMENTS :</b>	<b>100</b>
<b>2.1. Impacts du produit et impacts du bâtiment :</b>	<b>101</b>
2.1.1. L'échelle de l'impact :	102
<b>2.2. Approche méthodologique :</b>	<b>103</b>
2.2.1. Modélisation d'un bâtiment	103
2.2.2. Indicateurs considérés :	104
2.2.3. Le système bâtiment - usager :	105
<b>2.3. ACV des bâtiments dans leurs phases de vie :</b>	<b>108</b>
2.3.1. Les étapes du cycle de vie d'un bâtiment	108
2.3.2. Le processus de production :	110
2.3.3. Application de l'ACV durant la conception d'un bâtiment	111
2.3.4. Possibilité d'intégration de l'ACV dans le processus de production du bâtiment	112
2.3.4.1. Développement du projet – l'étape de planification	112
2.3.4.2. Phase exploratoire	112
2.3.4.3. La phase de conception	113
2.3.4.4. Etape de consultation des entreprises - composants du bâtiment	113
<b>2.4. Les outils disponibles pour les professionnels du bâtiment :</b>	<b>114</b>
2.4.1. Les déclarations environnementales :	114
2.4.1.1. Les FDES « génériques » :	115
2.4.1.2. Lien entre déclarations environnementales et certifications d'ouvrages :	117
2.4.2. Analyse énergétique et environnementale	118
2.4.2.1. Méthodes d'évaluation et d'analyse :	118
<b>2.5. Problèmes posés par les particularités des bâtiments :</b>	<b>121</b>
2.5.1. Nombre de commanditaires et d'opérateurs des ACV :	121
2.5.2. Problèmes méthodologiques :	121
2.5.3. Solutions préconisées :	121
2.5.3.1. Fixer l'objectif de l'étude :	122
2.5.3.2. Choisir un outil d'ACV :	122
2.5.3.3. Fixer les frontières du système étudié	123
2.5.3.4. Fixer les scénarios pour la durée de vie	125
2.5.3.5. Définir les objectifs, les références, les repères :	126
2.5.3.6. Décrire le bâtiment	126
2.5.3.7. Collecter et compiler les données	127
2.5.3.8. Réaliser les calculs	128
2.5.3.9. Mise en forme des résultats	128
2.5.3.10. Valider – Contrôle des résultats	128
<b>3. CONCLUSION:</b>	<b>129</b>
<b>4. REFERENCES :</b>	<b>130</b>

## 1. Introduction :

Dans un contexte de raréfaction des ressources énergétiques et d'objectifs de diminution par 4 les émissions de gaz à effet de serre, le problème posé aux acteurs de l'industrie du bâtiment est d'élaborer des concepts de bâtiments à forte efficacité énergétique et de disposer des outils d'ingénierie capables de les évaluer.

De nombreuses études et retours d'expériences sur des bâtiments atteignant des besoins annuels de chauffage inférieurs à 50 kWh/m<sup>2</sup>.(incluant chauffage, climatisation, eau chaude sanitaire, éclairage et ventilation) montrent que la **diminution des consommations énergétiques** passe par une **conception architecturale** prenant en compte la compacité du bâtiment et la gestion des apports d'énergie passifs, une sur-isolation de l'enveloppe...[TROCMÉ, 2009]

On souhaite commander ou concevoir des bâtiments et aménagements avec un moindre impact sur l'environnement. Dans le cadre d'une réduction importante des consommations d'énergie des bâtiments, on va construire des bâtiments basse consommation puis à « énergie positive ». C'est-à-dire que l'impact environnemental de la vie en œuvre du bâtiment va se réduire par rapport à l'impact de sa fabrication.

Le besoin d'une évaluation quantitative basée sur des indicateurs objectifs et des méthodes scientifiques reconnues se fait de plus en plus pressant. L'analyse de cycle de vie est un des outils au cœur de l'objectivation des performances environnementales des ouvrages.

Grâce à l'apparition d'outils comme les Déclarations Environnementales de Produits et aux avancées normatives, nous voyons poindre les véritables moyens opérationnels d'une éco-conception.

L'Analyse de Cycle de Vie est utilisée couramment dans le secteur industriel et elle est relativement peu connue dans certains secteurs professionnels, dont elle s'est imposée dans le domaine de la construction et plus particulièrement dans celui du bâtiment parce qu'elle est un outil d'évaluation environnementale consensuel et normalisé. [CHEVALIER, 2009]

Néanmoins, l'ACV présente encore certaines lacunes méthodologiques limitant ainsi sa portée en tant qu'outil de conception. Outre le fait qu'elle nécessite des données relativement détaillées sur les systèmes, généralement disponibles en fin de processus de conception, l'ACV échoue encore dans la gestion et l'évaluation des incertitudes faute de méthode reconnue. Ceci contribue grandement à se questionner sur la réelle fiabilité des résultats d'ACV régulièrement calculés à l'aide d'un pool de données isolées conséquent et dont la qualité est très hétérogène. Différentes méthodes ont été développées afin de mesurer et de gérer l'incertitude en ACV, néanmoins peu de travaux s'attachent à évaluer l'influence de l'utilisation de données de faible qualité sur le résultat final, ni à juger de la fiabilité globale d'une modélisation.

## 2. Analyse de cycle de vie des bâtiments :

Les bâtiments sont souvent pointés du doigt dans le cadre de la lutte contre le changement climatique. Ils contribuent ainsi à 23% des émissions directes de gaz à effet de serre et 47 % des consommations d'énergie finale. Ils sont aussi à l'origine d'autres conséquences environnementales semblant pouvoir compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs besoins (épuisement des ressources, eutrophisation des rivières, acidification des pluies, production de déchets radioactifs...).

L'éco-conception d'un bâtiment consiste en la prise en compte de ces paramètres, pas uniquement en son optimisation énergétique. Cette dernière est primordiale dans la conception d'un « bâtiment durable » mais ne reflète pas les impacts environnementaux dus à la construction, la démolition ou encore au choix du type d'énergie.

La démarche présentée dans ce chapitre constitue un outil d'aide à la décision. Par une quantification précise des impacts environnementaux, ils permettent aux acteurs de la construction de faire le choix le plus cohérent par rapport à leurs objectifs.

Plusieurs entreprises de la construction se sont engagées dans l'analyse du cycle de vie des bâtiments, un procédé qui consiste à mesurer l'impact environnemental de l'extraction des matières premières à la fin de vie d'une réalisation en passant par la fabrication, le transport et la mise en œuvre.

Selon l'Institut Français pour la Performance Energétique du Bâtiment (IFPEB), l'analyse du cycle de vie, qui concerne principalement les produits industriels ou les services de l'économie, est en train de s'étendre aux bâtiments voire aux quartiers. [IFPEB, 2010]

L'ACV des bâtiments n'est pas un exercice trivial, de nombreux travaux ont été menés et ont conduit à des développements d'outils qui ont des champs d'application différents et utilisent des méthodes parfois très variées si bien qu'il n'existe aujourd'hui pas d'outil véritablement complet et consensuel sur le marché

Pour être à peu près complet sur les principales raisons qui expliquent l'essor de l'ACV dans le **secteur de la construction**, il faut revenir aux **principes du développement durable** dans la construction. L'organisation internationale de normalisation (ISO) dispose en effet avec la norme ISO 15392 du premier texte décrivant les principes du développement durable déclinés à un secteur professionnel. L'approche **cycle de vie**, l'approche **holistique** (multicritère) et le besoin d'**objectivation** pour communiquer les informations aux parties intéressées font partie des principes essentiels défendus dans le texte de l'ISO. Ces éléments plaident pour que la démarche initiée au début du siècle pour développer les analyses de cycle de vie se poursuive pour répondre aux besoins du développement durable dans la construction.

L'analyse du cycle de vie est utilisée dans le secteur de la construction à **deux échelles**, et donc s'applique aux deux types de **systèmes** suivants :

- ✓ **Les matériaux et les produits de construction** (le béton et le PVC sont des matériaux, un bloc béton et un cadre de fenêtre en PVC sont des produits de construction faisant appel à ces matériaux) ;
- ✓ **les bâtiments** (d'une manière générale aux ouvrages de construction).

**Ces deux types de systèmes, produit et bâtiment ont plusieurs originalités :**

- \* Leur **durée de vie** est longue comparée à la plupart des autres familles de produit :
  - un bâtiment est couramment conçu pour durer de 30 à 50 ans voire plus ;

- un plancher est généralement calculé pour résister au moins 100 ans ;
- les revêtements de sol et de mur ont fréquemment des durées de vie supérieures à 10 ans.
- \* Leurs **performances** techniques et environnementales dépendent de leur **usage** :
  - selon le climat ou l'exposition d'une façade au soleil, une même peinture devra être appliquée en plus ou moins grande quantité pour la même durée de vie et les mêmes performances ;
  - un bâtiment bien isolé mais surchauffé (à 25 °C par exemple) par des usagers frileux ou pour un usage précis consommera sans doute plus d'énergie qu'un bâtiment un peu moins bien isolé mais chauffé à 19 °C.
- \* Leur **cycle de vie** met en jeu un très grand nombre d'**acteurs** dont peuvent dépendre les performances environnementales :
  - le fabricant du produit, les différents transporteurs des produits, les entreprises qui posent les produits et réalisent les bâtiments, les architectes qui conçoivent le bâtiment, les utilisateurs ou gestionnaires du bâtiment, le maître d'ouvrage qui définit le cahier des charges sont autant d'exemples d'acteurs influençant les performances des produits et des bâtiments ;
  - \* Ce sont, notamment pour les bâtiments, mais aussi pour certains produits de construction, des **systèmes multifonctionnels** dont il peut être difficile de définir la fonction principale.

#### **Les produits de construction ont d'autres spécificités :**

- \* ce ne sont pas des produits finis, dans la construction, le produit fini est le bâtiment, cela peut même être un quartier ou une ville ;
- \* leur mode de distribution n'est pas homogène, les produits de construction ne suivent pas toujours le même type de parcours pour arriver jusqu'au chantier.

Les bâtiments sont, quant à eux, des systèmes complexes pour lesquels l'éventail des matériaux, produits, et techniques utilisables sont innombrables.

#### **2.1.Impacts du produit et impacts du bâtiment :**

Certains produits revendiquent une part des impacts évités par le bâtiment du fait de leur usage dans celui-ci. Ainsi, les isolants thermiques pour les murs, les sols et les toitures ainsi que les vitrages isolants évitent des impacts au niveau du bâtiment qui les incorpore car ils permettent d'économiser de l'énergie et donc de diminuer les impacts sur l'environnement.

Dans les premières ACV de ce type de produits, les impacts évités étaient donc déduits des impacts intrinsèques du produit moyennant le recours à des scénarios d'usage et de calculs d'économie d'énergie. Ceci conduisait parfois à des valeurs d'indicateurs d'impacts négatives. Ce type de calcul revenait en fait à affecter l'ensemble des impacts de l'ouvrage aux produits qui le constituent et à considérer que l'ACV d'un bâtiment est la somme des ACV des produits qui le constituent.

La norme NF P01-010 et la norme ISO 21930 ont rendu cette pratique non conforme aux exigences en matière de déclaration environnementale des produits de construction. Ces normes ont en effet jugé que ces pratiques pouvaient conduire à une mauvaise interprétation par les utilisateurs (« plus j'isole moins je pollue » ; ce qui est vrai dans certaines limites). Ces normes permettent cependant au fabricant de déclarer ces informations sur les impacts évités en tant qu'informations additionnelles en dehors de l'inventaire du cycle de vie et des indicateurs d'impacts.

### 2.1.1. L'échelle de l'impact :

Toute ACV comprend une partie d'entrants « inputs » (ressources) et une partie de sortants « outputs » (impact, émissions et autres effets), dans le cas d'un bâtiment l'échelle de ces impacts est cruciale dont ils peuvent être dans les niveaux suivants :

**Général ou global** : il n'y a plus une limite supérieure, généralement il comprend les impacts continentaux comme la pollution de l'air et celle des surfaces maritimes.

**Régional** : ce niveau d'impact inclut plus ou moins les écosystèmes continus et c'est difficile d'en donner une définition, la méthode la plus simple est d'associer au régional et plans de villes les impacts dus aux activités humaines ayant relation avec la construction.

**Local** : l'impact de bâtiment à cette échelle est du sur le site en affectant le microclimat autour le bâtiment.

Pour des raisons pratiques, le terrain de parcelle où s'assis la construction peut faire partie de cette échelle.

**Intérieur du bâtiment** : le climat intérieur s'influe par certains types d'impacts. [EASE, 2010]

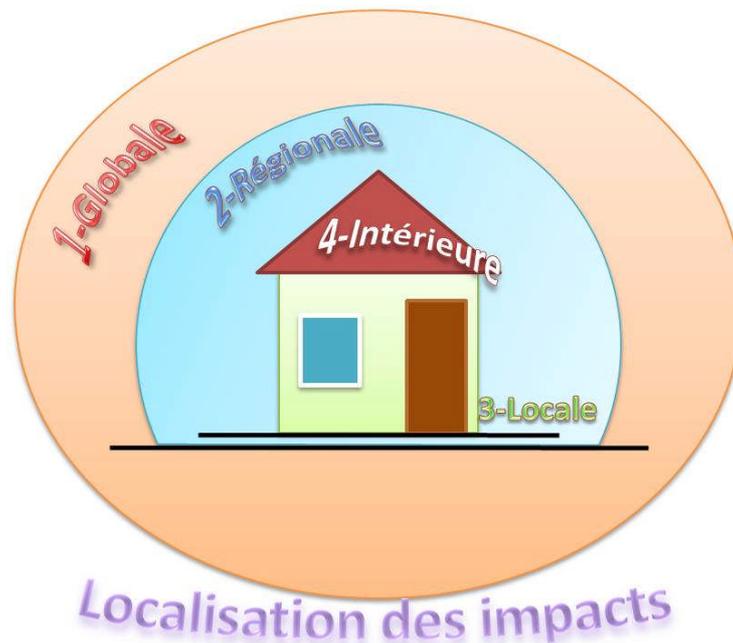


Figure 22 : L'échelle de l'impact environnemental

## 2.2. Approche méthodologique :

L'approche par analyse de cycle de vie (ACV) est adoptée le plus souvent au niveau international pour répondre au problème de l'évaluation des impacts environnementaux des produits. Il s'agit d'étudier un produit, depuis sa fabrication, en prenant en compte ses composants et donc en remontant aux ressources puisées dans l'environnement, jusqu'à sa fin de vie, y compris le traitement des déchets créés, en passant par toutes les étapes de son utilisation.

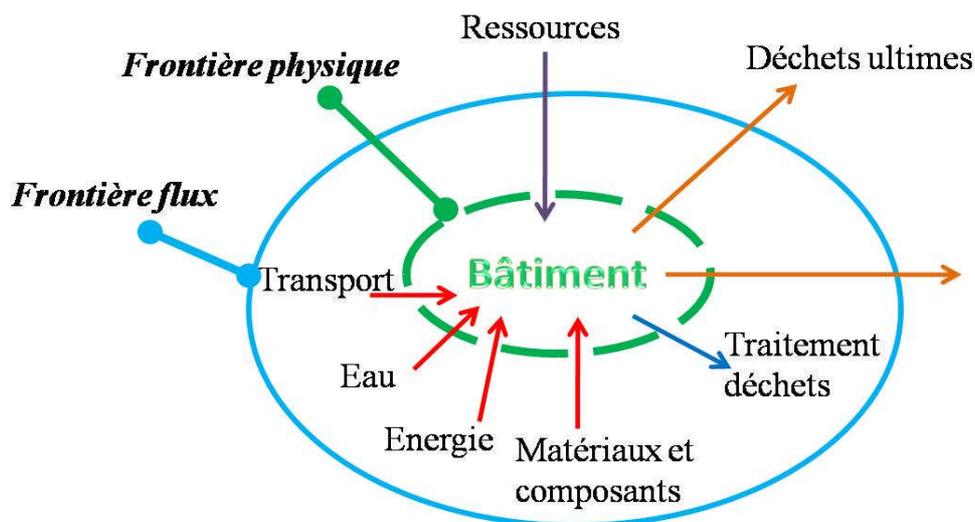
Nous avons appliqué cette méthode au produit "**bâtiment**", en tenant compte de ses **spécificités** par rapport aux produits industriels : chaque bâtiment est en général **unique**, et entretient des **liens** forts tant avec le **site** dans lequel il est intégré qu'avec ses **occupants**.

Une analyse de cycle de vie se déroule en quatre phases : la définition des objectifs, l'inventaire, l'évaluation des impacts sur l'environnement et la recherche d'améliorations.

Nous avons choisi d'utiliser un outil informatique, nommé EQUER, pour faciliter les comparaisons de variantes et ainsi constituer une **aide** à la **décision**. Les calculs sont basés sur la simulation numérique, pour représenter la réalité de manière plus précise. Un chaînage a été réalisé avec un outil de simulation thermique COMFIE selon une approche issue de la recherche sur l'échange de données informatiques. Ceci établit le lien entre **l'analyse énergétique et l'analyse environnementale**. Ainsi, l'énergie n'est plus perçue comme une simple quantité de kWh, mais appréhendée selon une **série de critères environnementaux**. Enfin, des aspects non liés à l'énergie (gestion de l'eau, matériaux de construction,...) sont pris en compte. Le champ de l'analyse s'est donc véritablement élargi et permet des études plus globales.

### 2.2.1. Modélisation d'un bâtiment

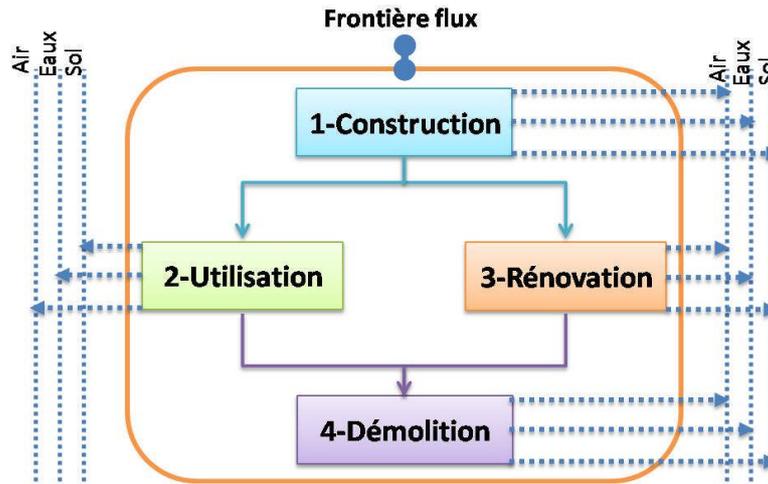
Un bâtiment possède deux types de frontières. On peut d'abord évoquer la **frontière « physique »** qui comprend tous ses éléments. On parle aussi de **frontière « flux »** qui doit contenir les procédés amont (production d'énergie, traitement des eaux, fabrication et transport des matériaux de construction) et aval (gestion des déchets, des eaux usées...).



**Figure 23 : Les frontières du système bâtiment**

La définition de cette frontière permet au système d'interagir avec l'environnement extérieur via des flux élémentaires :

- Flux de ressources : eau, énergie, matières premières ;
- Emissions : gazeuses, liquides, solides. Selon la méthodologie de l'ACV, les substances puisées et émises dans l'environnement sont comptabilisées (phase d'inventaire) puis des indicateurs environnementaux sont déduits pour les quatre phases du cycle de vie du quartier:
- Construction : extraction des matières premières, production et transport des matériaux ;
- Utilisation : chauffage, éventuellement climatisation, consommation d'eau... ;
- Rénovation : remplacement des composants (fenêtres, revêtements des bâtiments et des rues)
- Démolition : transport et traitement des déchets.



**Figure 24 : Modélisation de l'ACV d'un bâtiment**

Il convient également de tenir compte des aspects liés au comportement des résidents (consommation d'eau et d'énergie, traitement des déchets, pourcentage de tri et de recyclage, etc.) et des caractéristiques du site (distances de transport, climat, énergies utilisées pour la production d'électricité et de chauffage urbain, etc.).

La simulation du cycle de vie est effectuée sur une période d'analyse, qui peut correspondre à la durée de vie supposée d'un bâtiment (par exemple 80 ans), en utilisant un pas de temps annuel. [TROCMÉ, 2009]

#### 2.2.2. Indicateurs considérés :

Les données environnementales concernant la fabrication des matériaux et les différents procédés inclus dans le système (production d'énergie et d'eau, traitement des déchets et des eaux usées, transports...) sont issues de la base Ecoinvent développée par des instituts de recherche suisses. Cette base fournit pour chaque procédé et matériau, en fonction de l'unité de référence considérée (par exemple kg pour les matériaux, TJ pour l'énergie, tonne-km pour le transport des marchandises), un inventaire de cycle de vie c'est à dire l'ensemble des flux de matière et d'énergie entrant et sortant du système :

- Ressources utilisées : matériaux rares, eau, énergie ;
- Emissions dans l'air, l'eau et le sol : CO<sub>2</sub> dans l'air, ammoniacque dans l'eau, métaux dans le sol... ;
- Déchets créés : déchets inertes, toxiques, radioactifs...
- Des indicateurs environnementaux sont alors évalués (Tableau 07), par exemple la contribution à l'effet de serre est calculée en fonction des quantités de chaque gaz (données dans l'inventaire), pondérées par le potentiel de réchauffement global correspondant.

Ces indicateurs sont évalués pour le bâtiment sur son cycle de vie. En utilisant un diagramme radar comportant 12 axes associés à ces 12 indicateurs, diverses alternatives peuvent être comparées pour améliorer le projet du point de vue environnemental.

	<i>Indicateur environnemental</i>	<i>Unité</i>
1	Demande cumulative d'énergie	GJ
2	Eau utilisée	m <sup>3</sup>
3	Epuisement des ressources abiotiques	kg antimoine eq.
4	Déchets produits	t
5	Déchets radioactifs	dm <sup>3</sup>
6	Effet de serre (a00 ans)	t CO <sub>2</sub> eq.
7	Acidification	kg SO <sub>2</sub> eq.
8	Eutrophisation	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq
9	Domage à la qualité des écosystèmes dus à l'écotoxicité	PDF*m <sup>2</sup>
10	Domage à la santé	DALY
11	Production d'ozone photochimique	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq
12	Odeur	m <sup>3</sup> air

**Tableau 07 : Les indicateurs environnementaux évalués**

Les indicateurs sont également présentés en montrant la contribution relative de chaque phase principale du cycle de vie. Ceci permet de mieux cerner les possibilités d'améliorer un projet. [PEUPORTIER, 2008]

### 2.2.3. Le système bâtiment - usager :

Dans l'optique d'une évaluation environnementale d'un bâtiment, nous pouvons nous placer à trois niveaux d'étude par rapport à cet objet. Ces trois niveaux sont représentés sur la figure 25, issue de la méthode Bilan Carbone de l'ADEME [ADEME, 2005].

1) La prise en compte de tous les entrants et sortants, directs et indirects, c'est-à-dire la connaissance du système complet depuis le bâtiment lui-même jusqu'aux impacts dus à la fabrication des matériaux, leur transport, les services connexes, ... correspond au niveau global. C'est un niveau très complexe pour un système comme le bâtiment et ses usagers.

2) Le niveau intermédiaire prend en compte les entrants et sortants du système avec les systèmes de production et traitements ultérieurs des rejets (déchets, effluents liquides principalement, et résidus d'UIOM).

3) Enfin, les entrants et sortants seuls et directs par rapport au système définissent le niveau interne. Les frontières sont cependant légèrement variables en fonction des données disponibles sur l'ACV de chaque indicateur. [CONSTRUCTIF, 2003]

Les transports ne sont pas pris en compte. En effet, les émissions de CO<sub>2</sub> dues aux transports sont en général du même ordre, voire supérieures, à celles de l'activité du bâtiment en propre, ce qui ne permet pas une comparaison des performances de gestion d'un bâtiment à l'autre.

La méthode qui semble aujourd'hui la plus complète et présentant donc le moins de risque de **déplacements** de pollutions est **l'analyse en cycle de vie**, dont deux principes régissent la méthode :

1- le principe d'**impartialité**, pour prendre en compte tous les aspects positifs ou négatifs des entrants considérés,

2- le principe de **précaution**, par lequel on tient compte d'une émission, même si les effets environnementaux qui lui sont relatifs ne sont pas encore avérés, ou si les facteurs d'émission connus ne prennent pas en compte toutes les phases de vie de l'unité d'énergie ou de matériau analysé par exemple.

Définition des thèmes et des indicateurs : Pour évaluer un bâtiment, il nous faudra expliciter au préalable :

- Définir les thèmes d'évaluation ainsi que leur logique d'organisation
- Définir les indicateurs et leur expression
- Préciser les référentiels et leur domaine d'existence
- Construire une méthode d'agrégation qui permette de regrouper et d'exprimer les indicateurs en indicateurs plus globaux, ou en thème d'évaluation.

Nous définissons tout d'abord deux termes de vocabulaire récurrents de notre travail : indicateur, thème d'évaluation. [MADALLENA, 2006]

**Définition d'un indicateur** : variable synthétique et significative, utilisée pour mesurer un résultat obtenu, l'état d'un phénomène ou le déroulement d'un processus, une utilisation de ressources, une émission de polluants, un confort, une satisfaction, un critère de qualité. Un indicateur peut être une mesure, ou agréger significativement plusieurs variables. Un indicateur correspond à une période dans le temps et à un espace physique précis. Les données obtenues pour l'indicateur sont soit quantitatives soit qualitatives.

**Définition d'un thème d'évaluation** : ensemble d'indicateurs groupés pour leur cohérence de signification et selon les objectifs de l'évaluation. Un thème d'évaluation rassemble en général 4 à 6 indicateurs, quantitatifs et /ou qualitatifs. L'évaluation globale d'un thème se fera par **agrégation**.

Les thèmes d'évaluation pourront également être agrégés en une note globale d'évaluation du système bâtiment/usagers. Cependant cette démarche entraîne la perte de beaucoup d'informations, et la méthode permettra de remonter vers le détail de chaque indicateur.

L'objet de l'indicateur est de rendre accessible et d'exprimer le sens que l'analyse des données apporte.

Il peut provenir :

- d'une ou plusieurs données combinées,
- ou d'une ou plusieurs données combinées à un ou plusieurs autres indicateurs.

Le formalisme de présentation d'un indicateur comprendra toujours :

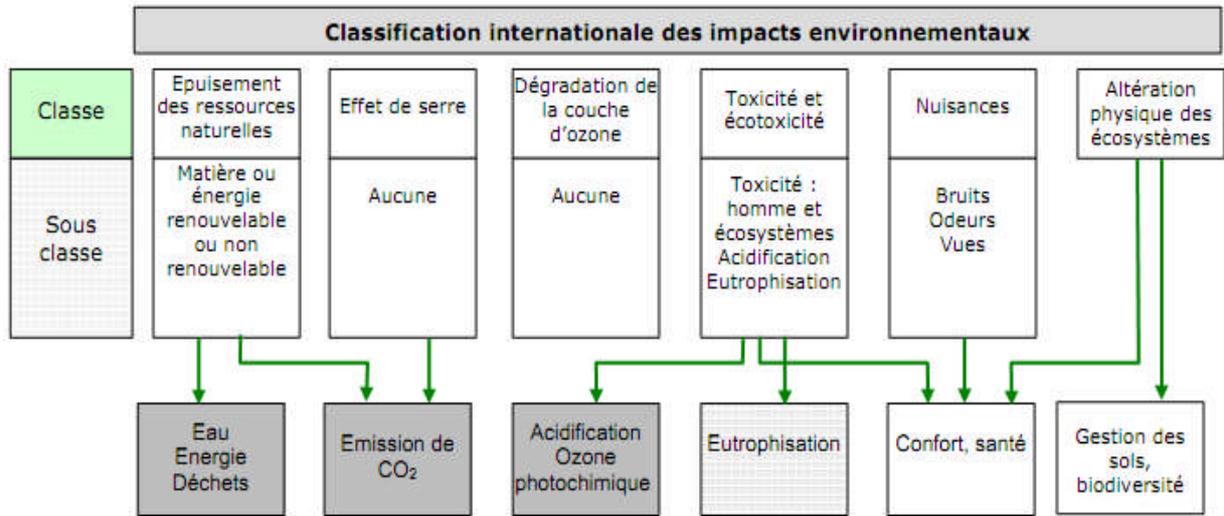
- sa performance, exprimée sur une échelle de A à G, en référence à la nouvelle directive sur l'affichage de la performance énergétique des bâtiments, ou encore à la performance de consommation des appareils électroménagers,
- un sens d'évolution, par rapport à sa valeur précédente si elle est connue.

Un indicateur est défini dans l'**espace** (en ce qui nous concerne, site, bâtiment, type de local par exemple), dans le **temps** (mois, années, ...), et correspond à une **typologie** d'usagers ou de gestionnaires (occupants, entretien, administration, gestionnaires techniques).

Afin d'être facilement lisibles, les **indicateurs** sont **classés** par **thèmes d'évaluation**.

Les indicateurs de notre méthode d'évaluation sont des indicateurs d'EMISSION. Ils ne prennent pas en compte la sensibilité des milieux récepteurs et n'évaluent pas les effets sur ces milieux.

Par exemple l'indicateur « gaz à effet de serre » est une estimation de l'émission équivalente de CO<sub>2</sub>, mais nous n'estimerons pas l'effet (l'augmentation de la température de la troposphère), ni l'impact (changements climatiques et autres conséquences dues à l'augmentation de la température).



**Figure 25 : Classification des impacts environnementaux de la méthode d'évaluation**

### 2.3. ACV des bâtiments dans leurs phases de vie :

Toute ACV de bâtiments a besoin d'une base de données concernant les bâtiments, et selon le niveau du détail de l'ACV on peut avoir une grande quantité de données, dont le souci principal est la référence et l'unité fonctionnelle.

Le bâtiment, durant son cycle de vie couvre un certain nombre de phases ; dans chacune entre elles les unités de référence pour les concernés (architectes, usagers, maîtres de l'ouvrage...) généralement se diffèrent par leur nature ainsi par leur décideurs, mais il y a peu d'informations sur le cycle de vie des bâtiments pour la première étape pour les cerner en leur totalité.

Durant la phase de **conception**, les unités fonctionnelles sont principalement déterminées par les **maîtres de l'œuvre** à savoir les architectes et les ingénieurs.

La relation avec la phase de construction se traduit par les unités courantes sans décrire tous les aspects du bâtiment.

Durant la phase de **construction**, les unités fonctionnelles sont déterminées par les **entrepreneurs**.

Dans la **rénovation**, l'état de dégradation du bâtiment définit les opérations nécessaires pour la construction, et ce diagnostic est fait généralement suivant des éléments homogènes déterminés par des spécialistes.

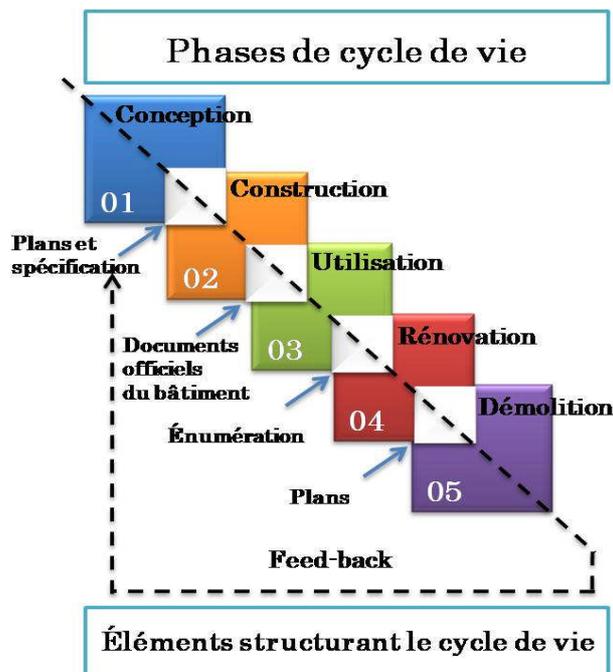
Dans la phase de démolition ; la nature des matériaux utilisés et la pollution probable du sol doivent s'établir, les unités de référence sont le volume de différents types de déchets.

Il est primordial d'introduire une description élémentaire du bâtiment qu'elle est d'un côté exhaustive pour la phase de construction, et courte pour les phases d'usage et de démolition de l'autre.

#### 2.3.1. Les étapes du cycle de vie d'un bâtiment

Par définition, l'ACV ou l'analyse en coût global d'un bâtiment doit couvrir l'ensemble de son cycle de vie. Ceci signifie que la connaissance générale des activités ayant un impact sur l'environnement en lien avec chaque étape du cycle de vie est requise dès le début. D'après la norme CEN 350, les étapes du cycle de vie du bâtiment comprennent : l'étape de production des matériaux, l'étape de construction, la phase d'utilisation et la fin de vie.

**Figure 26 : Les étapes de cycle de vie d'un bâtiment**





les étapes du cycle de vie d'un bâtiment d'après la norme CEN 350

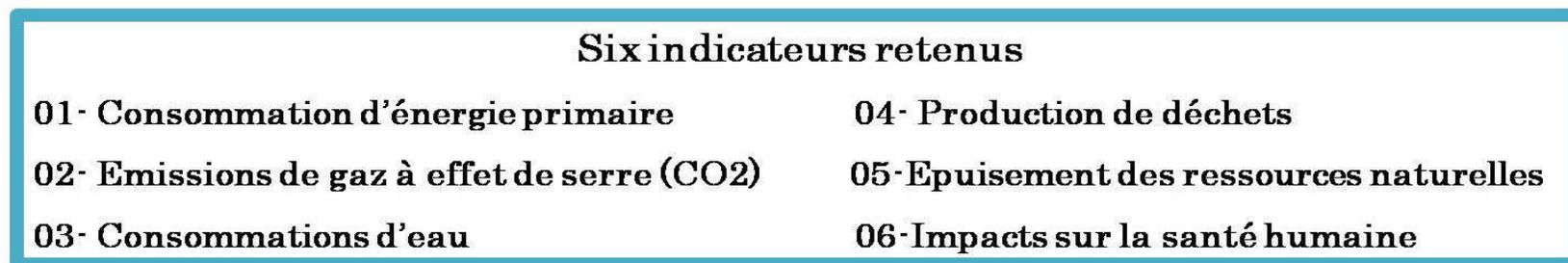


Figure 27 : les phases de vie d'un bâtiment

### 2.3.2. Le processus de production :

Le processus consistant à développer, concevoir et produire un bâtiment est souvent appelé de façon synthétisée le processus de production. Les étapes de la production d'un bâtiment sont généralement les mêmes partout, mais des détails, des sous-phases et des termes peuvent varier d'un pays à l'autre. En général, elles peuvent être décrites comme dans le tableau 08. Les étapes sont les mêmes pour les projets de rénovation, à la différence que les pré-requis et les limites sont imposées par le bâtiment à rénover.

Etape	Caractéristiques	Acteurs	Instruments de planification
1. Phase de développement/ planification	Les autorités d'aménagement du territoire/urbain délimitent les contraintes du projet. *Choix du site, orientation * Coûts *Taille (p.ex. Prévision de répartition de la surface). Des objectifs de performance énergétique, d'impacts environnementaux, des exigences sanitaires etc. sont fixés.	Municipalité	Plan directeur Plan local Contrat de territoire Agenda 21 local Cibles environnementales locales
2. Phase exploratoire	Le développeur démarre le processus de conception. Cette phase est probablement l'une des phases les plus importantes de la construction du bâtiment. Chaque phase du projet de construction s'appuie sur les spécifications établies lors de cette étape, par conséquent, c'est ici que se trouve le plus grand potentiel pour la conception d'un bâtiment durable. *Conception – construction (Structure légère ou lourde) *Si possible, repérage des solutions de chauffage, de rafraîchissement, des sources d'énergie renouvelables etc.	Développeur	Programme environnemental Premier croquis
3. Préliminaire/ Conception / Concours d'architecte	Révision de la première esquisse, intégrant une première sélection de la structure porteuse, des matériaux de construction, de la construction. À cette étape, la plupart des choix de conception sont établis tels que la définition des surfaces chauffées/rafraîchies, le rapport surface/volume, la compacité, la surface et la disposition des fenêtres, la situation et l'orientation du bâtiment. Généralement, il est encore trop tôt pour décider des détails du chauffage et des matériaux du bâtiment	Développeur Architecte	Esquisse
4. Soumission	Dernière version du projet avant la soumission à l'entité délivrant le permis de construire (détermination de la structure, matériaux de	Architecte	Avant projet sommaire

	construction), certificats d'énergie selon la directive européenne sur le performance énergétique des bâtiments.		
5. Etape de conception détaillée/ Planification de la mise en œuvre	Sélection finale de la structure porteuse, des matériaux, des équipements du bâtiment avant de lancer un appel d'offre. A cette étape, chaque composant du bâtiment et du système de chauffage est précisément défini.	Architecte Consultants Développeur	Avant projet détaillé, dossier de consultation des entreprises
6. Etape de construction	Le travail de construction est réalisé en suivant le plan de mise en œuvre. Celui-ci devrait comprendre des moyens permettant d'évaluer clairement les performances énergétiques et environnementales.	Entreprises Développeur	/
<b>Tableau 08 : Les étapes du processus de production</b>			

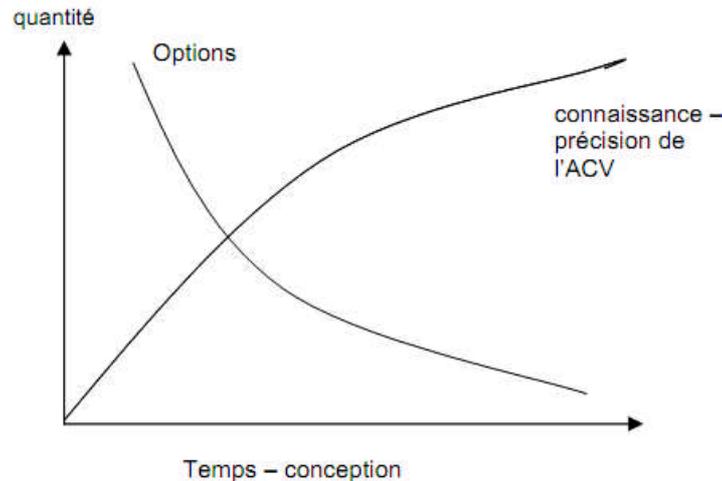
### 2.3.3. Application de l'ACV durant la conception d'un bâtiment

L'ACV fut principalement développée pour la conception de produits industriels à faible impact sur l'environnement. Par rapport aux produits industriels, les bâtiments comme nous avons mis auparavant se distinguent particulièrement par le fait qu'ils :

- ont une durée de vie beaucoup plus longue
- subissent régulièrement des modifications (particulièrement les immeubles de bureau)
- ont souvent plusieurs fonctions
- comportent de nombreux composants différents
- sont construits localement
- sont généralement des modèles uniques (il est rare de trouver plusieurs bâtiments identiques)
  - génèrent des impacts localement
  - sont inclus dans une infrastructure (par conséquent, les limites du système physique ne sont pas évidentes à déterminer)

Pour ces raisons, mener à bien une ACV complète n'est pas un processus linéaire comme ce serait le cas pour de nombreux autres produits manufacturés.

Il existe une difficulté qui apparaît de manière récurrente lorsqu'on applique l'ACV durant la conception d'un bâtiment : lors des premières phases de conception, l'éventail des solutions techniques est large et, par conséquent, les données concernant les produits, requises pour mener à bien le calcul d'ACV, sont rares. Plus tard dans le processus, lorsque plusieurs décisions sont déjà intervenues, il est possible de réaliser de meilleures ACV, mais alors la possibilité de tirer parti des résultats obtenus pour réviser la conception est réduite.



**Figure 28 : illustration de la relation entre les options de choix de la disponibilité des données sur les produits durant le processus de conception**

Il y a différentes manières de surmonter cette difficulté. Il s'agit essentiellement de faire intervenir des informations plus détaillées sur les choix constructifs possibles plus tôt dans le processus de conception et d'améliorer la vitesse des calculs permettant d'obtenir les premiers résultats. Une boîte à outils présentant de résultats déjà calculés est une solution possible.

#### 2.3.4. Possibilité d'intégration de l'ACV dans le processus de production du bâtiment

Ce qui suit propose des idées d'amélioration du processus de conception du bâtiment au moyen de la réalisation d'ACV.

##### 2.3.4.1. *Développement du projet – l'étape de planification*

Les possibilités offertes aux autorités locales de spécifier des objectifs environnementaux varient énormément. Certaines municipalités peuvent se trouver à la pointe du développement durable, ce qui peut inclure des cibles environnementales pour le bâtiment. Les possibilités sont encore meilleures quand les municipalités sont aussi propriétaires fonciers.

##### 2.3.4.2. *Phase exploratoire*

Acteurs : municipalités et architectes

La planification urbaine et les règles de conception ne font généralement pas appel à une ACV, mais c'est une tendance émergente qui apparaît en même temps que le concept d'éco-conception.

Les objectifs internationaux et sectoriels sont parfois chiffrés. Par exemple des objectifs de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> exprimés par rapport à une surface ou un nombre de bâtiments. Les exigences supplémentaires vis-à-vis du bâtiment qui peuvent être fixées par la municipalité dépendent des exigences imposées par une réglementation nationale. Il arrive que des communautés inquiétées par des exigences trop rigides amènent les développeurs à se tourner vers d'autres municipalités.

Les questionnements typiques concernent :

La description des activités, l'identification des niveaux de besoin, les causes de changement, l'initiation d'un programme de travail. Les cibles doivent être claires et faciles à comprendre.

La description des activités peut inclure des scénarios et des tendances sociétales, la relation de l'entreprise à un développement durable et de quelle manière cela peut être exprimé en actions, bâtiments etc. A travers les bâtiments, une entreprise peut renforcer son image vis-à-vis de sa clientèle effective ou visée.

Un objectif général d'économies d'énergie peut être formulé comme suit :

1. Pour la municipalité, le maximum d'émission de CO<sub>2</sub> lié à la consommation d'énergie par le bâtiment ne doit pas dépasser XX pour l'année YY.
2. Minimiser l'énergie grise, les besoins de chauffage, d'eau chaude sanitaire, de rafraîchissement, de ventilation et d'éclairage

Un développement futur de cet objectif pourrait être :

1. L'émission de CO<sub>2</sub> pour la production des équipements, du chauffage et de l'éclairage doit être inférieure à XX kg CO<sub>2</sub> equiv/m<sup>2</sup>.
2. L'émission de gaz à effet de serre pour la production des équipements, du chauffage et de l'éclairage doit être inférieure à XX kg CO<sub>2</sub> equiv/m<sup>2</sup>.
3. La contribution au changement climatique, à l'acidification, à la génération de déchets radioactifs etc. Au cours de cette phase des limites de temps et de coûts sont aussi formulées. Ceci peut aussi être décrit dans la description du système comme complément.

#### 2.3.4.3. La phase de conception

Dans cette phase, sont fixées les exigences fonctionnelles, énergétiques et environnementales. Les coûts sont grossièrement estimés.

Les objectifs pour le bâtiment peuvent être formulés ainsi :

1. Valeur des déperditions thermiques  $< xx \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
2. Gains solaires ou taux d'ouverture en m<sup>2</sup> de vitrage eq. sud / m<sup>2</sup> surface chauffée  $> x \%$
3. Intensité énergétique (énergie finale ou primaire)  $< xx \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$
4. Emissions de CO<sub>2</sub>  $< xx \text{ kg/m}^2 \cdot \text{an}$
5. Part d'énergie renouvelable  $> x \%$

A cette étape, il est possible d'établir si une conception passive ou à basse consommation est faisable et le bénéfice que de telles conceptions apporterait du point de vue environnemental.

#### 2.3.4.4. Etape de consultation des entreprises - composants du bâtiment

Dans cette étape, les calculs d'ACV et de coût global sont réalisables afin de finaliser les décisions concernant le choix des matériaux de construction et les systèmes de chauffage, de rafraîchissement et de ventilation. Les résultats finaux peuvent aussi être employés comme déclaration environnementale en direction des propriétaires et des autorités locales.

Dans le cas d'une utilisation de l'ACV et de l'analyse de coût global pour choisir les matériaux de la toiture, des façades, des planchers etc. d'un bâtiment individuel, une attention particulière doit être portée sur la contribution relative de ces matériaux aux impacts environnementaux par rapport à la contribution totale du bâtiment. Engager trop d'effort et de temps pour comparer des options représentant par exemple moins de 5 % de la contribution totale du bâtiment sur toute sa durée de vie ne vaut pas vraiment la peine. Pour relativiser l'importance environnementale de chaque élément du bâtiment, une ACV simplifiée est tout à fait pertinente dans un premier temps.

## 2.4. Les outils disponibles pour les professionnels du bâtiment :

Bouygues Construction, Eiffage Construction, InterfaceFLOR, GDF SUEZ et l'IFPEB ont rédigé collectivement une note de synthèse, pédagogique, sur l'analyse de cycle de vie dans un bâtiment. Cette note propose «des réponses aux questions pratiques et des éclairages sur les outils disponibles permettant de choisir les matériaux, Déclaration environnementales des produits (EPD), fiches de déclarations environnementales et sanitaires (FDES) et leur évolution. L'objectif est de réduire l'impact environnemental du bâtiment de l'extraction des matières premières à la fin de vie en passant par la fabrication, le transport, la mise en œuvre. *«Nous sommes en train d'assister à la mise en place d'outils extraordinaires (les EPD ou FDES en France), dans un mouvement mondial, qui nous permettront demain une éco-conception totale. Cependant leur naturelle complexité nécessite une bonne formation et la connaissance de l'importance des hypothèses de calcul, de l'origine de ces outils, des normes et méthodes sous-jacentes ; afin de savoir interpréter les résultats et formuler des conclusions justes sur le plan environnemental. Il faut notamment savoir résister aux conclusions hâtives formulées parfois dans le débat public».* [IFPEB, 2010]

### 2.4.1. Les déclarations environnementales :

Les déclarations environnementales au format de la norme NF P01-010 sont appelées en France « Fiches de déclaration environnementale et sanitaire » (FDES ou FDES&S) à ne pas confondre avec les « Fiches de Données de Sécurité » (FDS).

Le terme générique est « déclaration environnementale de produits » (Environmental Product Declaration en anglais, EPD). [CHEVALLIET, 2009]

Il est recommandé de ne pas utiliser les FDES pour comparer les produits de construction entre eux à l'échelle produit. En effet, certains produits sont multifonctionnels et les performances de la plupart des systèmes constructifs ne peuvent être appréciées qu'à l'échelle du bâtiment dans son ensemble (cas des ponts thermiques par exemple). Par conséquent, comparer des produits à l'échelle produit sans intégrer leur lien avec le reste de l'ouvrage peut conduire à des comparaisons biaisées.

- Les FDES sont généralement des déclarations environnementales de type II (auto-déclaration) qui peuvent aussi être certifiées par un organisme indépendant (par décision volontaire de l'industriel) et ainsi devenir des déclarations assimilables à des déclarations de type III. Les FDES sont basées sur le calcul et la divulgation des résultats de l'ACV mais les normes appliquées ne requièrent pas de catégorisations par famille de produit du type PCR. Une FDES ne s'applique qu'à des matériaux de construction.

- Les EPD sont des déclarations environnementales de type III (certifiées par tierces parties) basées sur des ACV et réalisées en suivant des règles particulières à chaque famille de produit afin d'obtenir un très haut niveau de comparabilité et d'harmonisation. Des règles de catégorisation de produit ou PCR sont valables internationalement et priment sur des considérations locales.

- Des règles de catégorisation ont été définies par les industriels du matériel électrique, afin de présenter des déclarations environnementales pour leurs produits : le « Profil Environnemental de Produit » ou PEP du produit. Ce système est en train de converger vers une compatibilité avec les FDES, pour notamment s'insérer dans la base INIES et permettre leur reprise par les outils informatiques.

L'existence d'une déclaration environnementale de produit n'est pas en soi un signe de qualité environnementale. Elle est la preuve que l'industriel est à minima dans une démarche d'identification et de communication transparente des impacts de son produit. Aucun signe de qualité ou marquage ne saurait être déduit de cet effort d'avoir réalisé une ACV, s'il n'est pas corrélé à des performances absolues mesurées dans ces déclarations environnementales, par rapport à des niveaux reconnus comme universels. La présence d'une ACV est un bon signe, à minima la preuve d'une prise de conscience et d'une mise en marche de l'industriel vers l'éco-conception, jusqu'à la preuve d'une excellente performance environnementale. Pour en déduire un marquage, il s'agira alors de bâtir une étiquette environnementale de type I sur des critères absolus et vérifiés.

### **Zoom sur la rédaction d'une déclaration environnementale de produit :**

Il nous semble nécessaire d'expliquer comment est renseignée la déclaration environnementale d'un produit : leur constitution est très complexe, voire impossible, si l'on ne fait pas appel à des simplifications. Revenons sur les principales d'entre elles.

#### *2.4.1.1. Les FDES « génériques » :*

Afin de démarrer et rendre opérable au plus vite le calcul de l'impact d'un bâtiment, les premières FDES rédigées ont été « génériques ». Commanditées par les syndicats professionnels de familles de matériaux (Exemple : la FDES « murs en maçonnerie en blocs béton »), ce sont des FDES rédigées en moyenne sur la filière, chaque impact environnemental étant la moyenne des impacts pondérée des parts de marché de chaque industriel.

Ces premiers documents ont rendu calculable l'impact d'un bâtiment « générique » (avec une composition de produits moyens, non encore attribués à un fournisseur). Si une famille de produits manque à l'appel, l'ACV globale de l'ouvrage sera fort difficile à calculer.

En ce sens les ACV génériques ont permis les premières simulations, et couvrent le besoin jusqu'à ce que les produits soient couverts par des déclarations environnementales les concernant.

Toutefois ces FDES « génériques » auront tendance à être dépassées puisque :

- Elles ne permettent pas l'éco conception par comparaison de produits (la moyenne n'a aucune réalité physique).
- Les industriels dont les produits ont un moindre impact, grâce à une démarche d'éco conception par exemple, se trouvent pénalisés et auront intérêt à créer leurs propres FDES pour démontrer leur effort.

La démarche « générique » n'a éventuellement de sens que pour certaines fabrications (exemple le parpaing « de 20 », moulé dans de nombreuses entreprises de proximité), le produit étant normalisé la méthode a un sens, toutefois il vaudrait mieux être plus précis.

De même, les FDES rédigées sans déclarer la répartition des impacts le long du cycle de vie seront rapidement dépassées par celles qui incluent les phases du cycle. Il s'agit, dans ce dernier cas, d'une anticipation du système Européen en cours de mise en place.

Le choix entre données génériques et spécifiques dépend de l'avancement du projet. En phase amont de conception, il s'agit de comparer différents choix architecturaux et technologiques (par exemple, structure bois, béton, acier...): dans ce cas, des données génériques sont plus adaptées. En phase de conception détaillée, les données spécifiques permettent de choisir entre différents fournisseurs.

Voici en un tableau la comparaison des deux systèmes les plus connus mondialement :

Eléments de comparaison		EPD*	FDES	
Niveau de norme		International	National	
Age de la norme		2009	2004	
Exige des règles de catégorisation standardisées par famille de produits (PCR)		Oui, par famille	Oui, pas une famille mais tous les produits du bâtiment	
Langue de la normalisation et des déclarations		Indifférent	Français	
Informations contenues déterminés par la norme cadre (ou par le PCR)	Les types de produits inclus	Totalemment définis		
	Les informations ACV à communiquer (types de produits, périmètre, étapes, présentation des informations, leur qualité, etc.)			
	Autres-aspects non-ACV	Santé: toxique, polluant, etc.	Partiel**	Elargi (6 Indicateurs)
		Phases Installation et vie en œuvre	Comprises	
		émissions COV	partielles	
		performances/qualité	partiel	
		Autres certifications diverses du produit	Incluses	
		Déchets	Inclus	
Les unités fonctionnelles	Complètement définies			
Durée de vie de la déclaration	limitée	Non limitée		
ACV Normalisé	Norme de référence	ISO 14040		
	par famille de produits	Par PCR	Par secteur (bâtiment)	
Validation et Indépendance	ACV vérifiée par expert	Obligatoire	Pas obligatoire	
	Indépendance des vérificateurs	Garantie	Principalement Auto déclaratif	
	Compétence des vérificateurs dans le domaine	Définis par la norme	Si vérificateurs, accrédités AFNOR	
Comparable	Entre produits d'une même famille	Oui	Complexe, après vérification des hypothèses	
Utilisation	France	Internationale	France	
	Secteurs économiques	Tous	Bâtiment	
Outils Informatiques	Base de données centralisée	Pas unique	INIES, unique	
	Existence d'agrégateurs pour l'éco conception ouvrage	En devenir	Oui (au moins 3)	
Public	Instrument de dialogue B to B	Excellent		
	Instrument de dialogue B to C	Possible mais complexe		

**Tableau 09 : Comparaison entre EPD et FDES**

\*EPD après un PCR défini par un organisme certificateur

\*\*Les indicateurs de santé sont généralement moindres pour les EPD par rapport aux FDES, ne sont retenues que les évaluations qui font l'objet d'un consensus scientifique large, qui sont moindres sur la santé.

Les deux systèmes sont en cours d'édification et des compléments rapides sont apportés. Les tendances sont actuellement :

Pour le système des EPD

- la recherche de bases de données uniques « national sanctuaries for EPD » sans doute nationales et reliées entre elles. D'où les tentatives de mise en réseau des certificateurs nationaux,

- Il s'agira de développer les logiciels ou développer les existants pour adresser les EPD dans des agrégateurs capables de calculer les impacts d'un ouvrage,

- Un PCR « produits du bâtiment » pourrait éclairer vers fin 2011 le marché et créer un mouvement vers un système européen unifié.

Pour les FDES

- Passer de l'auto déclaration à des déclarations de type III, vérifiées par tierce partie accréditée,

- Obliger la quantification des impacts par étape,

- Développer des fonctions logicielles permettant à l'utilisateur de corriger des différences d'hypothèses.

- Les acteurs français de la normalisation travaillent en ce moment à ce que la normalisation Européenne reprenne en grande partie les principes des FDES.

L'important n'est pas de posséder les documents (FDES, EPD) mais l'usage qu'on en fait !

- Pour l'industriel, des progrès d'éco-conception produit.

- Pour le concepteur, éclairer les choix dans une logique d'éco conception de l'ouvrage.

Il y a un lien entre la certification environnementale volontaire de l'ouvrage (de type HQE) et les FDES. Les parties prenantes prouvent leur performance environnementale en se basant notamment sur les déclarations de produit. Toutefois, ces documents rassemblés par exigence de la certification ne sont pas obligatoirement exploités ni compris.

Dans les certifications d'ouvrages à venir, il y a fort à parier que des liens de plus en plus étroits seront établis entre la performance intrinsèque sur les impacts environnementaux et l'exploitation éclairée des FDES (cas de « HQE Performance »).

Pour manier et agréger une telle quantité d'informations, les outils informatiques d'agrégation seront importants. Voici un panorama non exhaustif.

#### 2.4.1.2. Lien entre déclarations environnementales et certifications d'ouvrages :

Il existe et se développe actuellement au plan international un certain nombre d'outils d'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments, en particulier en phase de conception. Nous avons fait un premier bilan de ces outils et de leur champ d'application.

Nous citons ici 5 outils parmi les plus connus dont on a déjà détaillé deux entre eux dans le chapitre précédant :

**LEED**, (Leadership Energy Environnement Design), l'outil américain, est majoritairement appliqué aux Etats Unis, mais **difficilement exportable** car adapté aux réglementations américaines. L'approche d'évaluation est **subjective** et les coefficients d'évaluation **arbitraires**. On retrouve néanmoins cette certification dans de nombreux pays (USA, Mexique, Brésil Japon, Italie, Espagne, Emirats Arabes Unis, Australie, Chine et Corée).

**GBTool**, d'origine canadienne, est complet, en **libre accès Internet**, très **complexe** et plutôt réservé à des experts. Il traite des **phases de conception** (APD et projet) et d'**exploitation**.

**BREEAM**, l'outil anglais, est l'un des premiers apparus. Il est très utilisé en Angleterre et au Canada ; développé par le Building Research Establishment, cet outil a une approche portée sur le processus de conception dans les toutes premières phases, lors de l'esquisse. Il

est basé sur la méthode descendante à points de type diagnostic environnemental. L'outil prend en compte management, énergie, matériaux, confort, transport, implantation, pollution atmosphérique. Son atout majeur est sa clarté. Sa faiblesse, comme toutes les méthodes d'évaluation basées sur l'état des connaissances des impacts environnementaux des composés, réside dans la prise en compte partielle des sources amenant à un impact environnemental, ainsi qu'à l'état d'avancement encore approximatif des bases de données des facteurs d'impacts environnementaux, variables d'un environnement à un autre, d'une espèce vivante à l'autre, ... Les bases de données source de ces outils sont mises à jour au fur et à mesure des avancées de Connaissances

**CASBEE**, (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency) le dernier né japonais, reprend les principes de l'outil LEED. Il est basé sur un rapport entre impacts environnementaux extérieurs/intérieurs, et introduit la notion de culture et de caractère régional de la construction. Cet outil couvre les quatre champs d'évaluation suivants: Efficacité énergétique, Efficacité des ressources (matières premières), Environnement local et Environnement. Ces quatre champs sont en grande partie identiques à ceux des cibles des outils d'évaluation existants au Japon et à l'étranger. Cependant, ils ne représentent pas nécessairement les mêmes concepts.

**ESCALE**, l'outil français présenté au GBC 2002, n'est pas accessible ni diffusé en France. Il simule au stade conception les performances attendues sur toutes les cibles (sauf la cible chantier et la cible conditions sanitaires), sans aborder les aspects de confort ou de coût. [MANDALLENNA, 2006]

Il existe un lien évident entre les certifications d'ouvrages et les déclarations environnementales de produits. Voici un parallèle de l'état de l'art en ce qui concerne les deux systèmes, sur les certifications les plus connues.

Royaume Uni : BREEAM et les Eco-Profiles

France : HQE et les FDES

Allemagne : DGNB et les EPD ou l'analyse du cycle de vie

Etats-Unis : LEED : Pas de référence à l'ACV (en cours d'étude à l'US GBC)

#### 2.4.2. Analyse énergétique et environnementale

L'évaluation et l'analyse des flux énergétiques d'un bâtiment et de ses impacts sur l'environnement nécessitent l'usage de méthodes rigoureuses afin de donner un sens et de fixer des limites aux résultats obtenus. Des outils de calcul spécifiques, adaptés aux niveaux de précision et d'analyse souhaités, mettent en œuvre ces méthodes et facilitent leur application. Cette partie présente les principales méthodes et les outils destinés à l'analyse énergétique et environnementale du bâtiment. Ceux qui ont été retenus dans le cadre de la présente étude y sont spécialement décrits.

##### 2.4.2.1. *Méthodes d'évaluation et d'analyse :*

Les méthodes d'évaluation concernent essentiellement des bilans (d'énergie ou de matière) se déduisant de grandeurs mesurables telles que : la consommation de combustible ou d'électricité, les températures, les débits de ventilation, l'étanchéité de l'enveloppe, les propriétés thermiques des matériaux etc. De tels bilans, pour faire sens, nécessitent d'être réalisés en suivant une démarche claire et rigoureuse. Le cadre de ces bilans doit être précisément exposé : flux étudiés, limite du système, hypothèses. Mais pour une analyse pertinente du comportement du bâtiment, les bilans sont parfois insuffisants et différents

moyens de représentation ou de synthèse peuvent apporter un éclairage complémentaire, fort utile pour bien saisir les enjeux énergétiques et environnementaux du bâtiment.

- Le bilan d'énergie et ses représentations :

Établir le bilan énergétique d'un bâtiment revient à évaluer les approvisionnements énergétiques du bâtiment et les usages de cette énergie dans le bâtiment. Le système étudié est le bâtiment, délimité par son enveloppe, ainsi que l'ensemble des systèmes énergétiques qui interagissent avec lui tels que les unités de cogénération, les chaudières, les panneaux solaires, les échangeurs géothermiques, les unités de climatisation etc. Les grandeurs sont mesurées par des compteurs (gaz, électricité etc.) ou évalués à partir de températures mesurées ou de données fournies par les constructeurs.

Le bilan est établi uniquement à partir de grandeurs facilement mesurables et accessibles. Les apports passifs et les pertes thermiques ne sont pas directement mesurés. Néanmoins, leur influence nette intervient sur les consommations de chauffage et est donc bien prise en compte.

#### **Comptabilité énergétique et bilan des flux :**

Il n'existe pas de méthode normalisée unique destinée à l'établissement du bilan énergétique d'un bâtiment. Néanmoins, il est possible d'en construire une à partir de la méthode de comptabilité énergétique destinée à l'établissement du bilan énergétique d'un pays. Par exemple, en France, la méthode utilisée par l'Observatoire de l'Énergie de la Direction Générale de l'Énergie et des Matières Premières passe par l'évaluation, sur une année, de la production locale, de l'importation, de l'exportation et de la variation des stocks d'énergie, d'une part, et par l'évaluation des divers postes de consommation d'énergie, d'autre part. Compte tenu de la définition du bâtiment à énergie positive proposée, cette méthode semble facilement adaptable à l'étude d'un bâtiment.

#### **Diagramme de flux :**

Se limitant à la comptabilisation des approvisionnements et aux emplois, le bilan des flux d'énergie ne fournit aucune information sur les relations existant entre ces postes, spécialement par le biais des différentes conversions pouvant intervenir au sein du bâtiment. Ces relations peuvent être représentées sous la forme d'un diagramme de flux. En particulier, le diagramme de Sankey, où la largeur des flèches est proportionnelle à la quantité d'énergie représentée, rend compte de l'ensemble des flux sur une période considérée.

#### **Énergie primaire :**

Le bilan énergétique proposé plus haut s'appuie sur les contenus énergétiques réels entrant ou sortant du bâtiment. L'analyse peut être approfondie en associant à chaque flux les contenus énergétiques des ressources naturelles mobilisées : c'est le bilan en énergie primaire. Toutes les pertes énergétiques associées à la production des ressources distantes (extraction, transformation, transport, distribution) peuvent y être comptabilisées. Un tel bilan s'appuie sur une analyse plus ou moins approfondie de la chaîne de production des différents vecteurs d'énergie. Une telle analyse requiert les définitions d'un cadre et d'hypothèses conventionnelles qui peuvent fortement varier selon les sources.

L'Institut National de la Statistique et des Études Économiques (INSEE) retient pour l'énergie primaire la définition suivante :

« L'énergie primaire est l'ensemble des produits énergétiques non transformés, exploités directement ou importés. Ce sont principalement le pétrole brut, les schistes bitumineux, le

gaz naturel, les combustibles minéraux solides, la biomasse, le rayonnement solaire, l'énergie hydraulique, l'énergie du vent, la géothermie et l'énergie tirée de la fission de l'uranium. »

La DGEMP retient, quant à elle, la définition suivante :

« Énergie primaire : énergie brute, c'est-à-dire non transformée après extraction (houille, lignite, pétrole brut, gaz naturel, électricité primaire). »

Dans ces deux définitions, le positionnement se situe après l'extraction et avant les éventuelles transformations. Par contre, concernant la production d'électricité à partir de combustible nucléaire, l'INSEE, considère l'énergie tirée de l'uranium — autrement dit, la chaleur captée par le circuit primaire — tandis que la DGEMP place son point de vue en aval de la centrale nucléaire de production d'électricité en précisant que l'électricité primaire comprend « l'électricité d'origine nucléaire, hydraulique, éolienne, solaire photovoltaïque et géothermique (haute enthalpie) ».

L'Agence Internationale de l'Énergie (AIE), de son côté, précise que l'énergie primaire comptabilisée sous la désignation « nucléaire » « fait référence à la chaleur primaire équivalente à l'électricité produite par une centrale nucléaire avec un rendement thermique moyen de 33% » [AIE 2006].

#### **Analyse exergetique :**

L'exergie représente la quantité maximale théorique de travail mécanique qui peut être obtenue à partir d'une forme d'énergie donnée. Le travail mécanique est une forme d'énergie qui peut être convertie en n'importe quelle autre forme d'énergie, par conséquent, c'est une forme d'énergie de « qualité ». La teneur en exergie d'une forme d'énergie donnée représente son niveau de « qualité ». L'analyse exergetique d'une chaîne énergétique vise à évaluer la « qualité » de l'énergie à tous ses maillons et la dégradation de cette qualité (destruction d'exergie/production d'entropie) à chaque étape de conversion. En effet, à chaque transformation, l'énergie totale se conserve tandis que sa qualité — son potentiel de transformation future — diminue.

L'analyse exergetique, initiée dès les années 1940, s'est surtout développée au cours des années 1970 et 1980 à la suite de la crise énergétique [Sciubba et Wall 2007]. Elle élargit l'analyse énergétique et peut s'appliquer à tout système énergétique, en particulier au bâtiment, et à tout le cycle de vie [De Meester et al. 2009]. La « qualité » de l'énergie n'est pas discutée dans cette thèse, néanmoins l'analyse exergetique pourrait en constituer un prolongement intéressant, complémentaire de l'analyse environnementale. [THIERS, 2008]

- Le bilan environnemental :

Établir le bilan environnemental d'un bâtiment, c'est évaluer les modifications (ou impacts) qu'il induit sur l'environnement. Aujourd'hui, deux familles de méthodes sont utilisées : les listes de contrôle et l'analyse de cycle de vie.

## **2.5.Problèmes posés par les particularités des bâtiments :**

Pour bien identifier et comprendre les problèmes posés par la réalisation d'ACV et les solutions proposées dans le secteur de la construction, il faut compléter l'analyse précédente par une identification des commanditaires et des opérateurs des ACV (ceux qui demandent la réalisation de l'ACV et ceux qui réalisent les études).

### 2.5.1. Nombre de commanditaires et d'opérateurs des ACV :

Les ACV des produits de construction sont réalisées par les fabricants eux-mêmes dans le cas de certains groupes industriels qui ont la compétence et les moyens nécessaires. La majorité des commanditaires font encore appel à des consultants pour réaliser leurs études.

Pour les ACV des bâtiments, le problème est différent. Le commanditaire est souvent le maître d'ouvrage, le concepteur du bâtiment ou l'entreprise qui le réalise dans le cas d'une grande entreprise du bâtiment.

Les ACV sont alors majoritairement réalisées par des consultants ou le concepteur du bâtiment lorsqu'il dispose des outils et données nécessaires.

On voit donc que selon les systèmes étudiés, les commanditaires ne sont pas les mêmes et, dans tous les cas, ils ne maîtrisent qu'une partie du cycle de vie du produit de construction ou du bâtiment.

Ainsi, les fabricants reconnaissent volontiers maîtriser la partie production du cycle de vie de leurs produits. Par contre, ils estiment ne pas connaître aussi parfaitement le reste du cycle de vie.

Pour les bâtiments, c'est encore pire. Sauf dans le cas où une entreprise prend en charge l'essentiel des travaux puis de la gestion du bâtiment (c'est le cas dans certains partenariats publics privés), aucun acteur ne peut avoir une connaissance globale du cycle de vie du bâtiment

### 2.5.2. Problèmes méthodologiques :

Les particularités des produits de construction et des bâtiments obligent donc en matière d'analyse de cycle de vie à regarder avec attention :

- \*la définition de l'unité fonctionnelle (choix des fonctions et des durées de vie notamment)
- \*la définition des frontières du système (pour un bâtiment c'est une question très complexe) ;
- \*le traitement des différentes sources de variabilité du cycle de vie (notamment pour les produits de construction), le fabricant décrit en général un cycle de vie « moyen » qui peut grandement varier autour de cette moyenne pour toutes les raisons décrites précédemment
- \*le traitement des fins de vie des systèmes.

### 2.5.3. Solutions préconisées :

Pour éviter ces soucis méthodologiques, la procédure recommandée est la suivante:

1. Fixer l'objectif de l'étude : (L'objectif de l'étude doit inclure le contexte et les perspectives d'utilisation des résultats : développement de projet, comparaison d'impacts, classification de solutions, etc.)
2. Choisir un outil d'ACV : (Basique, orienté bâtiment, avancé)
3. Fixer les frontières du système étudié : (Durée de vie, étapes du cycle de vie, éléments étudiés, données nécessaires, etc.)
4. Fixer les scénarios pour la durée de vie : (état de référence, remise à niveau périodique, coûts de développement etc.)

5. Définir les objectifs, les références, les repères etc. :(impacts, appauvrissement, consommation d'énergie, etc. Valeurs nationales ou moyennes européennes, objectifs, etc.)
6. Décrire le bâtiment (Nom, type, taille, localisation géographique etc.)
7. Collecter et compiler les données
8. Mener les calculs (essais et erreurs si les objectifs ne sont pas atteints)
9. Mise en forme des résultats (graphiques, tableaux, analyses, éventuellement améliorations souhaitées etc.)
10. Valider (vérification des résultats en fonction des objectifs de l'étude, vérification des calculs, respect des exigences initiales etc.)

#### 2.5.3.1. Fixer l'objectif de l'étude :

Commencer par fixer l'objectif de l'étude, en précisant le contexte et les perspectives d'utilisation des résultats. Cette phase est importante puisque qu'elle joue sur l'interprétation des résultats et les possibilités de confronter les résultats à ceux d'une autre étude. L'objectif guide aussi les principaux choix méthodologiques, en particulier les éventuelles simplifications.

Au cours de la définition des objectifs et du champ de l'étude, une unité fonctionnelle (l'unité à laquelle l'impact environnemental est relié) et les frontières du système (les limites englobant ce qui sera inclut dans le bilan) doivent être définie en fonction du but de l'étude. La définition de l'unité fonctionnelle est particulièrement importante lorsque l'on compare différents produits – ou dans notre cas, différents bâtiments. Dans le cas du bâtiment on peut l'appeler "équivalent fonctionnel", pour la distinguer de l'unité fonctionnelle à l'échelle du produit (matériau de construction). Pour un bâtiment résidentiel, l'équivalent fonctionnel peut être décrit comme suit : un bâtiment conçu pour accueillir 90 résidents en un lieu donné, satisfaisant les réglementations nationales et les exigences en matière de confort, santé, sécurité, besoin en énergie etc. sur une durée de vie supposée, p. ex. 80 ans. Cette définition peut naturellement varier, mais une comparaison ne peut être menée que si l'unité fonctionnelle ou l'équivalent fonctionnel des objets ou solutions comparées sont strictement identiques [GLAUMANN et al., 2010]

#### 2.5.3.2. Choisir un outil d'ACV :

Pour une utilisation pratique, cette directive recommande soit d'utiliser un outil basique d'ACV simplifiée, soit l'un des nombreux outils d'ACV existants destinés spécifiquement à l'étude des bâtiments.

Le choix de l'outil de calcul dépend d'exigences telles que le choix des indicateurs d'impact auxquels on s'intéresse, l'objectif de l'étude (puisque pour un objectif donné, certains outils peuvent être plus appropriés que d'autres), la précision des calculs et la forme sous laquelle les résultats seront fournis. Dans la pratique, l'outil doit être facilement accessible, ce qui signifie qu'il est souvent naturel d'utiliser un outil développé dans le contexte national pour lequel le support technique sera plus facilement accessible.

Il existe aussi des outils détaillés plus généraux, tels que SimaPro et Gabi. Avec ces outils, l'utilisateur a plus de liberté dans le choix de certaines hypothèses [GLAUMANN et al., 2010]. De plus ils comportent plus de données sur les matériaux. D'un autre côté, leur utilisation et l'interprétation de leurs résultats nécessitent une plus grande expérience et une meilleure compréhension de la méthodologie.

### 2.5.3.3. Fixer les frontières du système étudié

A cette étape, les hypothèses posées pour l'étude et les limites de l'objet étudié doivent être clarifiées. Il est très important que ces informations soient claires et cohérentes pour que les comparaisons avec d'autres études soient rendues possibles. Les décisions importantes comprennent :

- le choix d'une durée de vie du bâtiment – une durée de 50 ans est souvent retenue comme valeur par défaut puisqu'il est impossible de prévoir la durée de vie réelle d'un bâtiment. La relation entre les impacts de la phase d'utilisation et la phase de production dépendent de ce choix. Plus la durée de vie est courte et plus les impacts de la phase de production (production des matériaux) sembleront importants. Tester différentes durées de vie durant l'étude fournit souvent de précieuses informations.
- la définition des étapes du cycle de vie qui seront considérées dans l'étude – phase de production (production des matériaux de construction), construction du bâtiment, utilisation du bâtiment, maintenance et rénovation, démolition, traitement des déchets, (étape de fin de vie) etc. Les décisions prises à ce stade dépendent des données disponibles concernant les procédés qui interviennent à chacune de ces étapes. Une ACV complète devrait couvrir l'ensemble de ces étapes. Cependant, en pratique, une simplification peut consister à se limiter aux phases de production et d'utilisation.
- La définition des caractéristiques du bâtiment à prendre en compte – par exemple, la consommation d'électricité spécifique doit-elle être incluse dans la consommation d'énergie du bâtiment ou non ? Quels éléments du bâtiment sont pris en compte ?

Pour l'unité fonctionnelle des produits de construction, question sensible à cause des comparaisons entre produits, les fabricants font en général le choix de mettre en avant une unique fonction (résistance thermique par exemple pour un isolant thermique et phonique).

Pour un bâtiment, l'unité fonctionnelle est beaucoup plus difficile à décrire. En effet, les fonctionnalités d'un bâtiment sont multiples et peuvent être exprimées très différemment. Les deux paramètres essentiels sont l'usage du bâtiment (logement, bureaux, locaux scolaires, hôtellerie...) et le choix d'une unité de référence.

L'unité de référence (l'élève pour des locaux scolaires, la nuitée pour un hôtel...) permet non seulement d'obtenir une unité par rapport à laquelle normaliser les impacts environnementaux, mais aussi d'assurer la comparabilité de bâtiments de même usage moyennant certaines précautions évoquées dans le projet de norme XP P01-020-3.

Dans le cas du bâtiment, elle pourra porter sur une surface habitable, un volume, un nombre d'occupants hébergés pour un niveau de confort donné. [GLAUMANN et al., 2010]

La définition des frontières consiste aussi à fixer les limites du cycle de vie du système étudié, elle ne pose pas de problèmes majeurs si ce ne sont les choix des processus à prendre en compte pour l'entretien et la maintenance ainsi que la fin de vie. En effet, ces processus auront réellement lieu dans plusieurs années voire plusieurs décennies. La norme NF P01-010 préconise de retenir pour ces processus les processus contemporains.

Exemple : pour considérer dans l'ACV un processus de recyclage en fin de vie du produit de construction, il faut que ce recyclage existe réellement, il est impossible de se contenter d'un « dans 30 ans le produit sera recyclé ainsi ». De même pour l'entretien et la maintenance, même si les processus sont susceptibles d'évoluer (de s'améliorer bien souvent), ce sont des données contemporaines qui seront utilisées.

Les recherches actuelles sur l'analyse de cycle de vie en régime dynamique viendront améliorer cette lacune méthodologique acceptée aujourd'hui.

Pour définir les frontières d'analyse de cycle de vie d'un bâtiment, le problème est beaucoup plus complexe. Le cycle de vie d'un bâtiment comporte quatre types de processus :

1. Processus liés à la mise à disposition du bâti (construction/réhabilitation) ;
2. Processus liés aux flux de fonctionnement du bâtiment (ils permettent d'assurer le fonctionnement du bâtiment quelle que soit l'activité dont le bâtiment est le support) ;
3. Processus liés à l'activité dont le bâtiment est le support ;
4. Processus liés aux déplacements des usagers.

(Prenons l'exemple, d'un hôtel :

1. les processus liés à la mise à disposition du bâti comprennent les opérations de construction, réhabilitation et déconstruction des bâtiments et la mise à disposition des produits et matériaux de construction ;
2. les processus liés au fonctionnement concernent les besoins de base en chauffage, climatisation, ventilation, éclairage et auxiliaires (ascenseurs, monte-charges...) ;
3. les processus liés à l'activité de l'hôtel peuvent inclure une activité de blanchisserie, une activité de restauration, des besoins spécifiques en chauffage, eau chaude sanitaire et ventilation pour une piscine ;
4. les processus liés aux déplacements des usagers peuvent prendre en compte le déplacement des employés de l'hôtel pour venir travailler et ceux des clients pour venir à l'hôtel.)

Selon l'avancement du projet et les objectifs de l'évaluation environnementale, inclure tous ces processus dans l'analyse peut être plus ou moins pertinent. Les choix réalisés doivent être transparents et justifiés. Les praticiens s'accordent pour dire que l'ACV d'un bâtiment doit au minimum comprendre les deux premiers types de processus. Même dans ce cas, il est parfois difficile de différencier les flux de fonctionnement des flux liés à l'activité. Mais il est important de bien distinguer ces quatre types de processus pour différencier ce qui est intrinsèque au bâtiment et propre à l'activité « hébergée » par le bâtiment [CHEVALLIET, 2009]. Dans la plupart des cas, le bâtiment ne peut être jugé responsable de la performance environnementale de l'activité qui s'y tient. Le même bâtiment industriel peut héberger des chaînes de production très efficaces ou des chaînes de production peu efficaces.

La définition des frontières de l'ACV d'un bâtiment est donc une question complexe à traiter au cas par cas en fonction des objectifs de l'évaluation.

#### 2.5.3.4. Fixer les scénarios pour la durée de vie

##### **Durée de vie**

C'est un paramètre clé de l'ACV d'un produit de construction ou d'un bâtiment est sa durée de vie.

La norme ISO 15686-2 décrit la façon de déclarer les durées de vie. Toute donnée de durée de vie doit, d'après cette norme, être documentée pour décrire la situation précise permettant d'obtenir cette durée de vie. Les paramètres à documenter concernent notamment la qualité du produit, la qualité de sa mise en œuvre, les conditions d'usage du produit, l'environnement dans lequel est situé le produit, la qualité de maintenance... Les données de durée de vie sur les produits de construction commencent à être documentées et capitalisées sur la plate-forme « durée de vie » du CSTB.

La durée de vie d'un bâtiment n'est pas vraiment un paramètre technique intrinsèque au bâtiment. En effet, un bâtiment qui arrive normalement en fin de vie peut avoir une seconde vie après réhabilitation. Au contraire, un bâtiment considéré à la base très durable peut devenir obsolète et arriver en fin de vie précocement si aucune réhabilitation ne permet de le remettre en conformité avec une nouvelle réglementation.

La durée de vie d'un ouvrage devrait être donnée dans tout programme de réalisation (construction neuve ou réhabilitation), il s'agit d'une exigence du maître d'ouvrage qui va se traduire par des choix conceptuels pour atteindre un équilibre entre pérennité des performances et adaptabilité pour atteindre cette exigence. La stratégie dépendra des fonctionnalités attendues par le maître d'ouvrage. Cette nouvelle façon de concevoir des bâtiments en tenant compte de leur durée de vie et de leurs usages dans le temps s'appelle le «service life planning » en anglais [CHEVALLIET, 2009].

Exemple : une mairie peut vouloir un bâtiment qui durera 80 ans en spécifiant que pendant 30 ans ce bâtiment sera une école et qu'ensuite il deviendra la bibliothèque municipale. Le bâtiment devra donc être adapté au moins une fois au bout de 30 ans.

##### **Scénarios :**

Pour une durée de vie donnée (p. ex. 50 ans), des scénarios d'évolution du bâtiment doivent être fixés, par exemple :

- des hypothèses sur la maintenance, la rénovation, etc. Pour chaque élément du bâtiment inclut dans l'étude, les durées de vie supposées et le type d'action à mettre en œuvre pendant et au-delà de ces périodes doivent être fixées.
- Si l'étape de fin de vie du bâtiment est prise en compte, il faut formuler une hypothèse concernant chaque élément du bâtiment (démontage, démolition, traitement ultérieur)
- Des hypothèses sur le comportement des occupants (normalement standardisé selon le type de bâtiment)

Si le transport des utilisateurs du bâtiment est pris en considération, des hypothèses doivent aussi être formulées sur le nombre de voyageur, la fréquence et la distance parcourue pour chaque type de véhicule. Ces valeurs dépendent à leur tour des destinations, des possibilités d'accès aux transports en commun, de la fréquence des transports en commun, de l'âge et de la condition physique des usagers du bâtiment, etc. [GLAUMANN et al., 2010]

Enfin si un calcul en coût global est aussi réalisé, il faudra ajouter des hypothèses concernant l'évolution attendue des coûts.

La réponse apportée à toutes les difficultés en matière de variabilité d'ACV est l'utilisation importante de scénarios. Le nombre de scénarios est évidemment plus grand pour un bâtiment que pour un produit de construction.

Voici quelques exemples de scénarios à développer dans l'ACV d'un produit de construction :

- \* scénarios de transport pour traiter la variabilité du chemin de distribution complet du produit ;

- \* scénarios de mise en œuvre pour traiter la variabilité des pratiques des artisans ;

- \* scénarios d'entretien et de maintenance pour traiter la variabilité des pratiques des utilisateurs et gestionnaires de parc immobilier et celle de la qualité de la mise en œuvre initiale ;

- \* scénarios de fin de vie pour traiter de la variabilité de la fin de vie reportée à plusieurs décennies (recyclage, valorisation énergétique, mise en décharge).

L'ACV des produits de construction et des bâtiments comporte quelques spécificités méthodologiques pour lesquelles il n'est pas possible de proposer de recettes passe-partout. Le praticien de l'ACV sera donc très vigilant sur la transparence des objectifs, méthodes, hypothèses, scénarios et choix des données réalisés pour l'étude. [CHEVALLIET, 2009]

#### 2.5.3.5. Définir les objectifs, les références, les repères :

Pour permettre l'interprétation ultérieure des résultats, il est nécessaire de fixer des objectifs chiffrés, des valeurs de référence et des points de repère. Les indicateurs sont sélectionnés ici.

S'il existe déjà des objectifs environnementaux chiffrés pour le projet (par exemple fixés par la municipalité ou le client), ceux-ci peuvent définir les indicateurs qui doivent être intégrés à l'étude.

Dans les différents outils d'ACV, différents jeux d'indicateurs sont souvent déjà sélectionnés.

Pour pouvoir déclarer qu'une étude d'ACV a été réalisée, il faut qu'elle porte sur au moins deux étapes du cycle de vie. Une ACV doit donc au minimum intégrer :

- la consommation d'énergie durant la phase d'utilisation et durant celle de production des matériaux
- la contribution au réchauffement global

Pour comparer un certain nombre de solutions alternatives, il n'est pas toujours nécessaire de définir des objectifs chiffrés. Néanmoins, dans tous les cas, il peut être intéressant de comparer les résultats à ceux d'autres études ou à des valeurs de référence. Les objectifs à atteindre pour les indicateurs retenus peuvent être exprimés en pourcent par rapport à une valeur de référence préalablement fixée. Les références à utiliser peuvent être issues d'autres études, des normes nationales en vigueur, de recommandations ou de valeurs cibles reconnues par la société. Si un outil dédié aux bâtiments est utilisé pour réaliser l'étude, celui-ci fournit généralement ces données. L'ACV peut aussi être réalisée pour elle-même afin de déterminer des niveaux raisonnables pour les objectifs du projet.

#### 2.5.3.6. Décrire le bâtiment

A cette étape, le bâtiment étudié doit être décrit aussi précisément que possible, selon le niveau d'avancement du processus de conception. Cette description inclut des informations à propos de la taille, du type de bâtiment etc. La définition des données concernant l'équivalent

fonctionnel est un enjeu d'importance : il s'agit de définir la fonction du bâtiment, par exemple le type d'utilisation, le nombre d'utilisateurs, les exigences en matière de qualité de l'air intérieur, de confort thermique, de sécurité, etc. La comparaison avec d'autres bâtiments requiert que ces critères soient respectés dans tous les cas. Les données saisies à cette étape devraient être celles qui servent de cadre au calcul (elles peuvent être revues au cours de l'étude).

#### 2.5.3.7. *Collecter et compiler les données*

Deux types de données sont nécessaires au calcul :

1) les données caractérisant le bâtiment, telles que quantités de matériaux de construction et consommation d'énergie

2) les émissions induites par la production de ces matériaux et par la production d'énergie (ce qui est normalement fourni par l'outil d'ACV). Durant l'étape de conception du bâtiment, les données concernant l'utilisation d'énergie ou de matériaux peuvent être soit estimées, soit évaluées par le biais de logiciels tels que Sketch-up ou Revit avec différentes solutions par défaut. C'est aussi possible avec certains outils d'ACV du bâtiment, tels qu'Equer. Dans d'autres cas, une estimation des coefficients de déperditions thermiques et des quantités de matériaux sont nécessaires dès les premières esquisses. Dans l'outil simplifié ENSLIC BASIC ENERGY & CLIMATE TOOL, la quantité de matériaux, le coefficient de déperditions thermiques et la consommation d'énergie sont estimés automatiquement dès que les caractéristiques du bâtiment ont été saisies. Celles-ci comprennent p. ex. les dimensions du bâtiment, et les données sur les compositions. Même si le but de l'étude est l'exploration de diverses solutions non nocives pour l'environnement, il est nécessaire de disposer de quelques données sur l'énergie et les matériaux mis en œuvre comme point de départ pour les calculs.

Afin de calculer les impacts environnementaux des bâtiments, il faut aussi disposer de données concernant les émissions induites par la production, l'utilisation et la fin de vie des différents matériaux du bâtiment et par la production d'énergie. La plupart des outils d'ACV sont fournis avec une base de données comprenant ce type de données d'émission, cependant si l'on a besoin de données pour un point spécifique ou si l'on souhaite utiliser des données nationale plutôt qu'europeennes, par exemple, ces informations doivent être spécifiquement collectées. Ceci n'est fait qu'une seule fois et les données sont stockées pour une utilisation future. Leur nombre ne cessant de croître, les fiches de déclaration environnementale (EPD) peuvent maintenant fournir la plupart de ces données.

L'incertitude sur les données d'entrée de l'ACV est une préoccupation majeure. En ce qui concerne les données du bâtiment, l'enjeu principal est de rassembler suffisamment de données pour que l'étude soit représentative du cas étudié. En ce qui concerne les données d'émission, l'enjeu principal est leur qualité. La norme ISO 14040 fixe les exigences concernant cet aspect, exigences portant notamment sur l'ancienneté, la couverture géographique et technologique, la précision, l'exhaustivité et la représentativité. Pour les ACV simplifiées, ces critères sont difficiles à respecter mais les données issues de bases de données vastes et largement reconnues sont au minimum documentées et leur niveau de qualité indiqué. Dans le cas, par exemple, où les données utilisées concernent un matériau spécifique du bâtiment ne possédant aucune fiche de déclaration environnementale (ce qui est encore le cas pour beaucoup de matériaux), le plus important est d'indiquer ce défaut et la source effectivement utilisée afin de rendre une vérification possible. La transparence sur

l'origine des données facilite l'analyse des incertitudes et des résultats obtenus, et pousse à l'usage de meilleures données. Les développements de bases de données d'émissions sont constants.

#### 2.5.3.8. Réaliser les calculs

Une fois que toutes les hypothèses sont posées, le cadre de l'étude délimité et que les données d'entrée ont été collectées, les calculs peuvent être menés.

Les outils plus détaillés orientés bâtiment calculent automatiquement les impacts, mais permettent bien d'autres possibilités concernant la présentation des résultats, le calcul de nombreux indicateurs, la comparaison entre bâtiments et la pondération des résultats.

Ils calculent aussi automatiquement l'indicateur de changement climatique en CO<sub>2</sub>-équivalent après que les données concernant les matériaux et l'énergie aient été saisies. Ces outils permettent aussi de tester différentes valeurs pour la consommation d'énergie et pour les matériaux utilisés et ainsi de comparer les résultats obtenus sur l'indicateur de changement climatique.

#### 2.5.3.9. Mise en forme des résultats

Les résultats de l'ACV peuvent être mis en forme de différentes manières. La façon donc ils doivent être présentés dépend de l'objectif de l'étude et du public à qui ils sont destinés. Dans une ACV complète, tous les indicateurs pertinents doivent bien entendu être présentés pour toutes les variantes de conception envisagées. L'utilisateur d'un outil dédié aux bâtiments aura à sa disposition différentes options de mise en forme.

Pour un rapport destiné à aider une prise de décision, l'important est de mettre en évidence la transparence des résultats et des calculs sous-jacents. Il devrait permettre un examen critique. Si l'outil utilisé pour une ACV comparative est un outil simplifié, les résultats sont approximatifs. Ce n'est donc pas pertinent pour comparer des bâtiments uniques, puisque les résultats ne donnent qu'un ordre de grandeur des impacts calculés. A ce faible niveau de précision, les conclusions ne peuvent pas se dessiner clairement si les différences entre deux variantes sont inférieures à 20%.

#### 2.5.3.10. Valider – Contrôle des résultats

Pour terminer, les résultats doivent être mis en perspective, compte tenu de l'objectif de l'ACV. Dans une ACV détaillée, d'après le standard ISO, les résultats devraient être examinés par un relecteur extérieur et ce point est particulièrement important si les résultats doivent être présentés au public, utilisés comme argument commercial, etc. Les calculs simplifiés sont purement destinés aux intervenants du processus de conception du bâtiment, par exemple pour apporter des éléments au cours de ce processus. L'étude de sensibilité réalisée en faisant varier successivement différents paramètres fournira des indications sur la robustesse d'un résultat.

### 3. Conclusion:

Il est possible d'appliquer la méthode d'analyse de cycle de vie dans le secteur du bâtiment, sous réserve de bien définir l'unité fonctionnelle considérée et de bien délimiter les frontières du système étudié (bâtiment, site, occupants) en fonction des objectifs de l'étude. De nombreuses incertitudes subsistent tant sur les données employées que sur les indicateurs de qualité environnementale : l'évolution des connaissances internationales sur le sujet doit être suivie. Le projet européen REGENER a regroupé plusieurs équipes pour définir un premier cadre méthodologique, mais la comparaison des différentes approches devrait se poursuivre. L'information sur la qualité environnementale des produits de construction est actuellement étudiée par les industriels français. [PEUPORTIER , 1998]

L'analyse de cycle de vie fait apparaître le rôle important de l'énergie dans le bilan environnemental global d'un bâtiment. Elle peut permettre d'orienter le développement et d'évaluer l'intérêt de technologies innovantes.

Elle constitue également une aide à la décision pour les professionnels concernés, architectes et bureaux d'études techniques, pour améliorer la qualité environnementale des projets, en particulier durant la phase de conception.

#### 4. Références :

1. ANDERSON Jane, E.SHIERS David et SINCLAIR Mike The green guide to specification, an environmental profiling system for building materials and components. Troisième édition: Blackwell Science , 2002, 110 pages
2. CHEVALIER Jacques, *Analyse du cycle de vie - Utilisation dans le secteur de la construction*. Article publié le : 10 avril 2009 . 32 pages
3. DE MEESTER, B., DEWULF, J., VERBEKE, S., JANSSENS, A., VAN LANGENHOVE, H. (2009). Exergetic life-cycle assessment (ELCA) for resource consumption evaluation in the built environment, *Building and environment*.
4. EASE, Projet européen (Education of architects on solar energy and environment) , *LCA: the Life Cycle Approach to Buildings*. 2010. [www.cep.ensmp.fr/ease/sustain\\_main.html](http://www.cep.ensmp.fr/ease/sustain_main.html). Vu le 03 janvier 2012 à 10 :25.
5. GLAUMANN Mauritz, Tove Malmqvist, Bruno Peuportier, Christian Wetzel, Sabina Scarpellini, Ignacio Zabalza, Sergio Díaz de Garayo, Heimo Staller, Guri Krigsvoll, Evelina Stoykova, Sarah Horváth, Zsuzsa Szalay, Valeria Degiovanni, Version 22-03-2010, *ENSLIC\_BUILDING : Energy Saving through Promotion of Life Cycle Assessment in Buildings*. 56 pages
6. IFPEB : Institut Français pour Performance Énergétique du Bâtiment (2010), *Les choix constructifs à la lumière de l'analyse du cycle de vie : Un point pratique sur les déclarations environnementales des matériaux. Quelles méthodes, pour quelles décisions ?* Version 1.0 du 14/12/2010.
7. MANDALLENA, C. (2006). *Elaboration et application d'une méthode d'évaluation et d'amélioration de la qualité environnementale de bâtiments tertiaires en exploitation*. Thèse de doctorat : Spécialité : Mécanique ; Université BORDEAUX 1
8. PEUPORTIER B., 1998, Projet européen REGENER : *analyse de cycle de vie des bâtiments*, EMP, 28p.
9. PEUPORTIER B., 2003, *Eco-Conception des bâtiments : bâtir en préservant l'environnement*, Ecole des Mines de Paris, 275 p.
10. PEUPORTIER Bruno (2006), *La simulation et les nouvelles attentes liées au concept de développement durable*. Ecole des Mines de Paris.
11. PEUPORTIER Bruno (2008), *l'éco-conception des bâtiments et des quartiers*. Ecole des Mines de Paris. 336 pages
12. Revue CONSTRUCTIF: *La construction durable au Royaume Uni*. n°6 - Novembre 2003. [www.constructif.fr/Article\\_21\\_26\\_136/La\\_construction\\_durable\\_au\\_Royaume\\_Uni.html](http://www.constructif.fr/Article_21_26_136/La_construction_durable_au_Royaume_Uni.html)
13. SCIUBBA, E., WALL, G. (2007). A brief commented history of Exergy from the beginnings to 2004, *Int. J. of Thermodynamics*.
14. TROCMÉ, M. (2009). *Aide aux choix de conception de bâtiments économes en énergie*. Thèse de doctorat : spécialité Énergétique ; Ecole Nationale Supérieure Des Mines De Paris.

# **Analyse du Cycle de Vie comme outil pour le développement d'une stratégie de construction durable**

CHAPITRE 05 :

Mise en forme  
de l'ACV des  
écoles primaires

<b><u>CHAPITRE 05 : LA MISE EN FORME DE L'ACV DES ECOLES PRIMAIRES</u></b>	
<b>1.</b>	<b>INTRODUCTION :..... 133</b>
<b>2.</b>	<b>L'ACV DES ECOLES PRIMAIRES : ..... 134</b>
<b>2.1.</b>	<b>Définition des objectifs et du champ de l'étude : ..... 134</b>
2.1.1.	Fixer l'objectif de l'étude: ..... 134
2.1.2.	Fixer les frontières du système étudié: ..... 135
<b>2.2.</b>	<b>L'Inventaire de Cycle de Vie : ..... 135</b>
2.2.1.	Fixer les scénarios pour la durée de vie:..... 136
2.2.2.	Définir les cibles et les références : ..... 137
<b>3.</b>	<b>CHOISIR LES OUTILS DE L'ACV ET SIMULATION : ..... 140</b>
<b>3.1.</b>	<b>Présentation des interfaces de logiciels:..... 140</b>
3.1.1.	ALCYONE: ..... 140
3.1.2.	PLEIADES+COMFIE: ..... 141
3.1.3.	EQUER: ..... 143
<b>3.2.</b>	<b>L'évaluation des impacts environnementaux: ..... 144</b>
3.2.1.	Décrire les bâtiments: ..... 144
3.2.2.	Les matériaux utilisés: ..... 152
3.2.3.	Les caractéristiques des matériaux avec la bibliothèque de PLEIADES: .... 153
<b>3.3.</b>	<b>Méthodologie de la simulation: ..... 154</b>
3.3.1.	La simulation thermique: ..... 154
3.3.2.	Les calculs d'éclairage: ..... 155
3.3.3.	L'évaluation des impacts sanitaires: ..... 156
3.3.4.	La gestion de l'utilisation des usagers: ..... 156
<b>4.</b>	<b>CONCLUSION: ..... 157</b>
<b>5.</b>	<b>REFERENCES:..... 158</b>

## **1. Introduction :**

La méthode développée dans ce travail prend en étude dans son ensemble les établissements d'enseignement scolaire. Cependant le travail présenté s'appuie sur des écoles primaires dans leur étape de conception afin d'étudier les possibilités d'y intervenir pour minimiser les impacts environnementaux et améliorer la qualité d'espace conçu. Nous introduisons ici les spécificités de ce type de bâtiment.

Une école primaire est destinée à l'accueil et à l'éducation scolaire d'enfants de 6 à 12 ans. Elle doit donc offrir les conditions favorables à l'apprentissage des enfants et au travail du corps enseignant.

Les cas d'étude présentés dans cette recherche sont quatre projets des écoles primaires choisis anarchiquement vue la disponibilité des documents et le soutien des bureaux d'études où les données présentées dans ce chapitre sont toutes agréées par leur.

Définir des indicateurs de performance d'un bâtiment veut dire avoir bien répertorié les fonctions que le bâtiment doit remplir pour les usagers. Nous nous sommes donc penchés en priorité sur les besoins des enfants dans leur bâtiment d'enseignement.

L'organisation spatio-temporelle est importante et doit répondre aux besoins spécifiques des enfants: besoins physiologiques, psychologiques, support et cadre pédagogique du bâtiment. La plupart de ces besoins vont être traduits par les indicateurs de qualité de vie (visuel, thermique, qualité de l'air par exemple).

Les logiciels choisis pour la simulation et le calcul basent sur des modèles simplifiés pour faciliter leur utilisation par les professionnels de bâtiment comme cette série de logiciel paraît la seul qui prend les spécificités de bâtiment comme produit unique dans son genre et comme un système complet et cohérent ce qui argumente leur choix pour notre étude d'analyse de cycle de vie de ces écoles primaires.

L'étude va prendre aussi différents aspects pour l'analyse dont l'analyse environnementale est indépendante de celle énergétique vue que les conceptions des bâtiments performants ou environnementaux accentuent généralement sur la diminution des consommations énergétiques et l'épuisement des ressources naturelles ainsi la meilleure utilisation des énergies renouvelables qui fait appel à bien comprendre le comportement énergétique des bâtiments et savoir ses impacts environnementaux.

## 2. L'ACV des écoles primaires :

### 2.1. Définition des objectifs et du champ de l'étude :

#### 2.1.1. Fixer l'objectif de l'étude:

Deux principes régissent la méthode l'ACV des écoles primaires:

- le principe d'impartialité, pour prendre en compte tous les aspects positifs ou négatifs des entrants considérés,

- le principe de précaution, par lequel on tient compte d'une émission, même si les effets environnementaux qui lui sont relatifs ne sont pas encore avérés, ou si les facteurs d'émission connus ne prennent pas en compte toutes les phases de vie de l'unité d'énergie ou de matériau analysé par exemple [GAUTHIER et al., 2004]. Alors elle est destinée à être un moyen pour évaluer la qualité de l'espace conçu en matière de pérennité en tenant compte premièrement le volet écologique du développement durable dont l'objectif est de quantifier la performance environnementale en termes de consommation énergétique et d'émissions de gaz à effet de serre afin de minimiser l'épuisement des ressources et de diminuer le rejet des déchets dans la nature, deuxièmement le volet socioculturel en accentuant sur les critères tels l'usage, la santé et le confort où on se contente seulement au thermique et visuel dont l'acoustique et l'olfactif n'auront pas lieu dans notre étude car ils commandent d'autre méthodes d'évaluation telle QUALITEL pour l'acoustique, avec l'utilisation d'une gamme diversifiée de logiciels tels: ACOUBAT, MSC ACTRAN, HALL ACOUSTICS, CATT-Acoustic [PEUPORTIER 2008], cependant l'esthétique et la qualité de vie ne peuvent pas être abordées car elle ne sont pas quantifiables et leurs appréciations sont subjectives, enfin en ce qui concerne le volet économique du développement durable d'autres méthodes d'analyse sont nécessaires pour l'étudier telle l'analyse du coût global ACG, alors on ne le va plus traiter dans cette recherche.

Un autre objectif est visé par notre étude, il s'agit de proposer quelques perspectives d'évolution de telle sorte de se rapprocher le plus possible à une construction durable qui sera immédiatement la référence de chaque cas d'études, afin que les résultats servent de base à la prise de décisions pour la phase de conception avant tout acte d'exécution, et c'est l'étape la plus importante pour les étudiants dans le domaine du bâtiment ainsi pour les concepteurs dans les BET dont ils auront un support technique qui leur aide et réduit le temps de cette phase, comme ça sera utile pour les chercheurs qui peuvent avoir un support pédagogique et le développer afin d'approfondir l'exactitude des résultats.

Nos études de cas tournent autour quatre avant projets définitifs (APD) des écoles primaires proposés par trois bureaux d'études techniques et architecturales (BET), ces écoles sont de différents types: A1 contenant trois (03) salles de classe, B1 avec six (06), C1 avec neuf (09) et D1 avec douze (12) salles de classe, l'élément de mesure de ces écoles est automatiquement la salle de classe qu'elle va représenter notre équivalent fonctionnel (unité fonctionnelle), une classe scolaire, aussi généreuse, bien disposée, bien éclairée, splendide de composition spatiale soit-elle, devient un lieu de souffrance si le temps de résonance de la voix excède certaines limites que cela provienne des matériaux ou d'un excès de hauteur. [Meis]

On peut décrire cet équivalent fonctionnel comme suit: une salle de classe (unité de produit) sert à accueillir 36 élèves avec leur enseignant dans les meilleures conditions de confort, de santé et de sécurité (unité de service) pendant neuf heures dans la journée employées périodiquement par deux groupes (de 8:00 à 10:30 et de 12:30 à 15:00 par le premier groupe, de 10:30 à 12:30 et de 15:00 à 17:00 par le second), cinq jours sur sept 5/7

(par semaine), 190 jours sur 365 (par an) tenant compte les week-end ,les vacances et les jours fériés (unité de temps).

2.1.2. Fixer les frontières du système étudié:

En supposant que la durée de vie de ces écoles est en moyenne de 80 ans, ce qui nous intéresse dans cette étude est particulièrement la phase de conception, dont il est défini tout détail prévu pour être réalisé à savoir la situation et l'orientation du projet, les matériaux de construction (on prend en compte les principaux matériaux mis en œuvre dans les éléments de base du bâtiment : dalle, murs extérieurs et intérieurs, toiture et fenêtres), les techniques constructives (L'enveloppe du bâtiment, ventilation , diffusion de la chaleur et du froid, le stockage de la chaleur, le stockage de l'électricité), les besoins énergétiques (besoins en chauffage et en éclairage) et même les déchets produits par cette construction dans le future, alors elle est une phase cruciale et elle représente une véritable opportunité de lutter contre les mauvais choix et les risques naturels si on réussit à bien orienter l'analyse.

Les revêtements, équipements et composants mineurs du bâtiment sont exclus pour deux raisons : ils constituent en effet une faible part des émissions de gaz à effet de serre, et leurs caractéristiques peuvent être considérées comme constantes pour toutes les alternatives comparées, donc n'intervenant pas dans le processus de décision.

Les APD pris en études représentent des écoles primaires, chacune d'entre elles se constitue d'un nombre déterminé de salles de classe (de 03 à 12), d'une administration, d'une cantine, de sanitaires, d'un logement de fonction et d'une cour de récréation qui est considérée dans la simulation comme espace extérieur pour les salles de classe, les autres bâtisses jouent toutes le rôle de masques pour ces dernières qu'elles feront l'équivalent fonctionnel et l'objet de l'analyse en essayant de les rendre optimales le maximum pour l'enseignement des élèves.

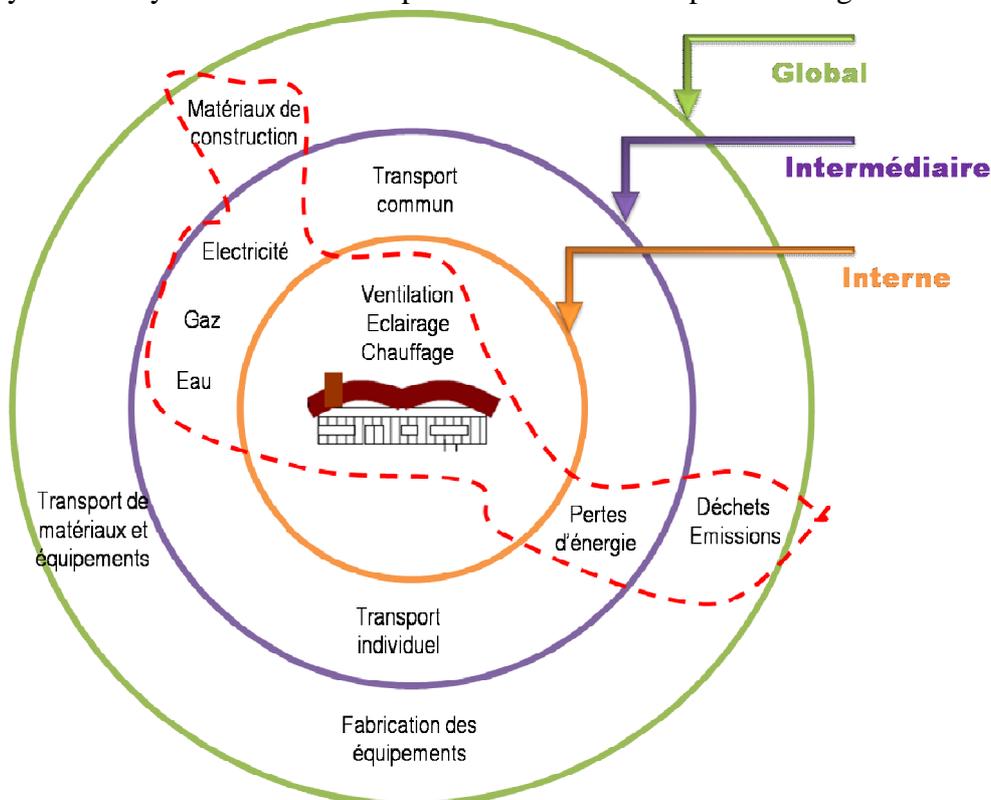


Figure 29 : Les frontières du système usagers- école- environnement

2.2. L'Inventaire de Cycle de Vie :

2.2.1. Fixer les scénarios pour la durée de vie:

On considère pour tous les projets un fonctionnement régulier durant toute leur durée de vie (80 ans), ils seront tous rénovés en leur fin de vie mais on ne va plus étudier cette phase finale de vie.

Les écoles sont toutes implantées dans des zones urbaines près des habitants alors y aura plus besoin du transport pour y atteindre par ses usagers.

Même le transport des matériaux de construction et de la main d'œuvre ne sera plus pris en considération dans notre étude.

Les salles de classe seront utilisées 100 jours pendant la saison de froid du mois de novembre au mois de mars qui leur nécessite un chauffage journalier de 9 heures (de 8:00 à 17:00) avec une température intérieure de 20°C dont la température extérieure moyenne peut atteindre jusqu'à -5°C, comme une période de 10 minutes de ventilation naturelle par les fenêtres est prévue entre les périodes de changement de groupes.

On sera appelé pour les éclairer artificiellement durant cette saison de 100%.

Durant le reste de l'année scolaire qui correspond les 90 chauds jours on aura besoin de rafraichir l'intérieur des classes et d'éclairer artificiellement dans le cas de la présence de masques qui influent directement le confort visuel.

Pendant la période d'utilisation des écoles, on considère que la consommation d'eau froide est 5 litres par personne et par jour et que les déchets qui sont généralement du papier et qui sont triés égalent à 1000 grammes par personne et par jour.

2.2.2. Définir les cibles et les références :

Le principe du calcul de l'ACV est simple. À chaque étape du cycle de vie, les quantités de matière et d'énergie utilisées et les émissions associées aux procédés sont évaluées. Ces dernières sont ensuite multipliées par des facteurs de caractérisation proportionnels à leur capacité à causer un impact environnemental donné. Une émission spécifique est désignée comme référence et le résultat est présenté en unité équivalente, par rapport à la substance de référence (tableau 10).

Donnée d'entrée			Données de sortie		
Quantité	x	Emissions	x	facteur de caractérisation	= Equivalents
MJ ou kg	x	g/MJ ou g/kg	x	$f_{\text{substance}}$	= g equivalents
Données bâtiment		Base de données		Base de données	

**Tableau 10 : Calcul d'impacts environnementaux selon la méthode d'ACV**

Par exemple, la combustion de 1 MJ de carburant est associée aux émissions correspondantes ainsi qu'à la quantité, exprimée en gramme équivalent CO<sub>2</sub>, qui représente la contribution au réchauffement global de toutes ces émissions, en considérant que le facteur de caractérisation associé au CO<sub>2</sub> vaut 1,0

Emissions		mg/MJ		Facteur de caractérisation		
Dioxyde de carbone	CO <sub>2</sub>	90 000	x	1	=	90 000
Méthane	CH <sub>4</sub>	4	x	25	=	108
Protoxyde d'azote	N <sub>2</sub> O	1	x	298	=	179
<b>gequivalents CO<sub>2</sub> par MJ</b>						<b>90,3</b>

**Tableau 11 : Exemple de la combustion de 1MJ de carburant**

Ce calcul est exécuté par le logiciel de simulation suivant des bases de données intégrées et les résultats sont apparus sous formes de diagrammes ou tableaux.

Le bâtiment qui a le moindre impact environnemental est l'objectif de chaque conception, il nous faut savoir ce qui influe cette impact, les matériaux utilisés, les techniques constructives, la situation et l'orientation du projet ; les scénarios d'utilisation et le comportement des usagers ou encore les équipements de chauffage et de climatisations.

Alors notre analyse environnementale base sur la comparaison entre des alternatives pour atteindre la conception souhaitée dont on va la comparer à une référence d'une construction passive en essayant d'aboutir le meilleur comportement environnemental du bâtiment conçu.



### 3.1.2. PLEIADES+COMFIE:

PLEIADES+COMFIE est un ensemble logiciel de simulation thermique dynamique de bâtiment, il peut être utilisé pour la conception bioclimatique, l'analyse du confort thermique, dont COMFIE est le noyau de calcul, et Pleiades est l'interface de saisie des bibliothèques, de gestion du bâtiment, de calcul et d'analyse de résultats.

PLEIADES apporte à COMFIE une interface très souple et sécurisée, accélérant considérablement la saisie d'un projet et l'étude de ses variantes

Il intègre une bibliothèque de données thermiques sur les matériaux et les éléments constructifs (blocs, panneaux...) qui facilite la création en quelques clics des compositions de parois, il intègre également une bibliothèque de menuiseries, de scénarios d'albédos, d'écrans végétaux et d'états de surface.

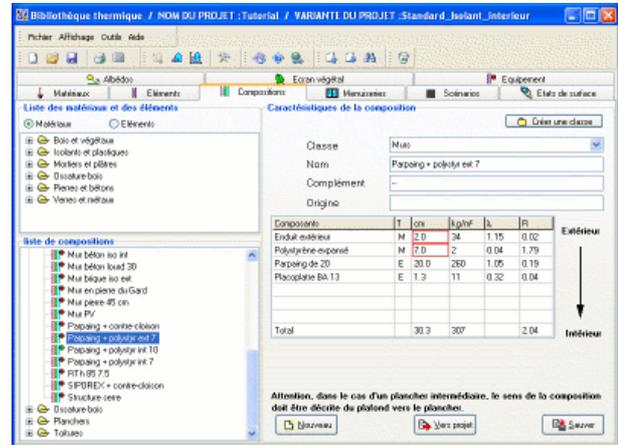


Figure 34 : Exemple d'une composition d'un mur

L'analyse s'effectue sur des séquences de temps de type SRY (Small Reference Year) sur 2 semaines en été et 6 semaines en saison de chauffe, de type TRY (Test Reference Year) sur une année type, ou bien de type Yxx (Année réelle) sur une année réelle. Il est possible de simuler 40 zones thermiques différentes.

Prise en compte de l'environnement : masques lointains, obstacles à l'ensoleillement à proximité de chaque paroi (arbre, masques architecturaux...).

Chaque ouverture vitrée peut être affectée d'un masque intégré à la construction de n'importe quel type, caractérisé en quelques clics.

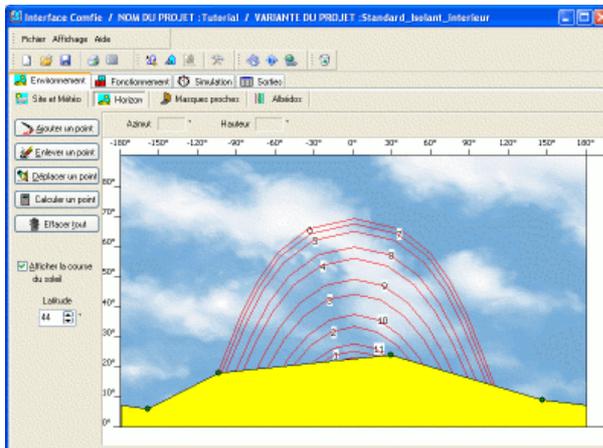


Figure35 : Présentation de l'environnement

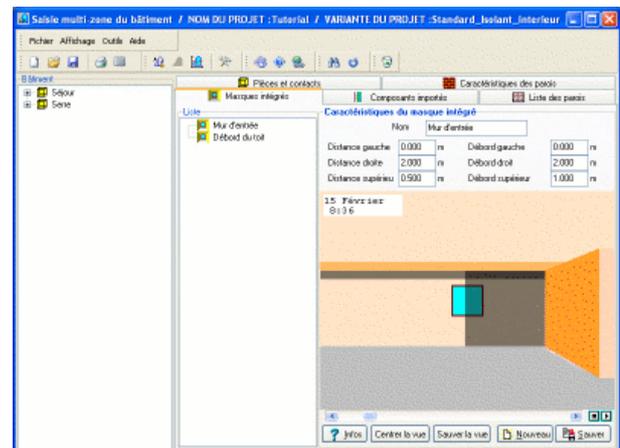


Figure36:Exemple d'un masque intégré

Prise en compte des coefficients d'émission et d'absorption des parois externes ou internes. Il est possible d'affecter à chaque paroi extérieure un scénario mensuel de réflexion du sol (albédo), un scénario mensuel d'occultation par un écran végétal, de tenir compte de l'exposition au vent...

Gestion des ventilations extérieures sur chaque zone par scénario hebdomadaire et horaire. Prise en compte de différents types de ventilation interne entre les zones thermiques :

Ouverture de porte avec indication de la fréquence d'ouverture ou d'une régulation Orifices de ventilation.

Les zones peuvent être à évolution libre (température flottante), thermostatées (avec un scénario de consigne hebdomadaire et horaire), ou bien climatisées (avec une consigne de chauffage et une consigne de climatisation hebdomadaire et horaire). Dans ce dernier cas les puissances de chauffe et de rafraîchissement nécessaires pour maintenir la température souhaitée sont calculées au cours de la simulation.

Pour chaque zone, il est possible de définir la puissance de l'équipement de chauffage, la puissance de refroidissement, l'efficacité de l'échangeur récupérateur, la position du thermostat

Un éditeur de graphes très facilement paramétrable facilite l'analyse graphique des projets et la comparaison des variantes: Toutes les variantes précédemment calculées d'un projet peuvent être comparées entre elles.

Tous les résultats (analyses, valeurs et courbes) peuvent être imprimés, récupérables par copier coller, ou bien enregistrés sous forme de fichier RTF ou PICT pour exportation dans d'autres logiciels comme Word ou Excel.

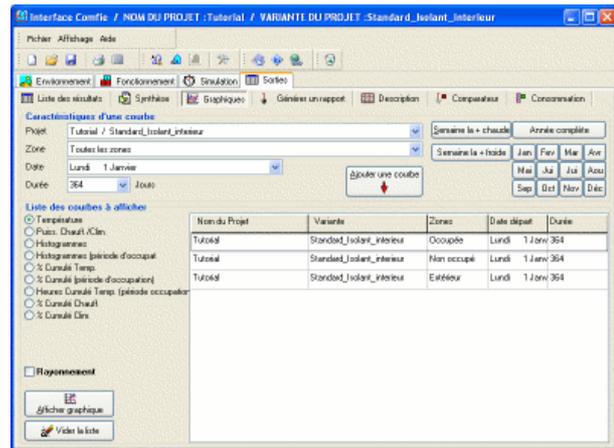


Figure37:interface de sortie des résultats

En plus des résultats, une série d'indices est générée après la simulation pour apprécier rapidement les performances du bâtiment :

Moyenne Surchauffe Max. : moyenne de dépassement de température durant la période de surchauffe la plus importante.

Amplification de T ext : moyenne des pourcentages journaliers d'amplification de la température extérieure.

Taux d'inconfort : pourcentage de temps durant lequel la température a été supérieure ou inférieure aux valeurs de confort.

Besoins Chauff+Froid : somme des besoins nets de chauffage et de rafraîchissement par m<sup>3</sup>.

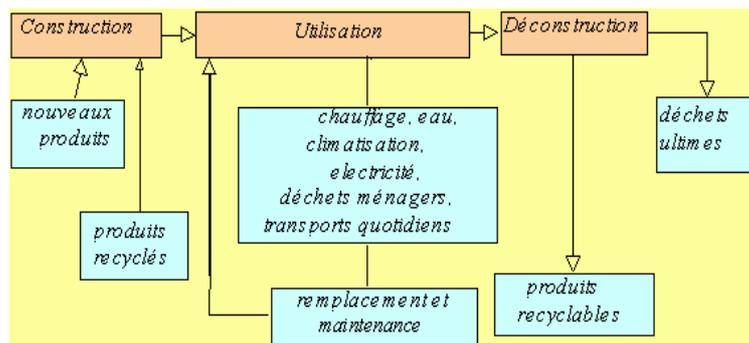
Part de besoins nets : pourcentage de besoins nets de chauffage par rapport aux déperditions

Des profils et des histogrammes de température peuvent être obtenus afin de vérifier le niveau de confort dans différentes zones thermiques d'un bâtiment. Les graphes peuvent être copiés et intégrés au rapport de simulation généré par l'interface. [IZUBA.FR]

### 3.1.3. EQUER:

EQUER est un l'outil d'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments choisi pour l'ACV des écoles primaires, ayant pour but d'aider les acteurs à mieux cerner les conséquences de leurs choix. Un tel outil d'analyse est utilisable par l'ensemble des professionnels du bâtiment. Un Architecte peut mieux justifier son projet auprès du Maître d'Ouvrage, en présentant un bilan environnemental rigoureux de son projet.

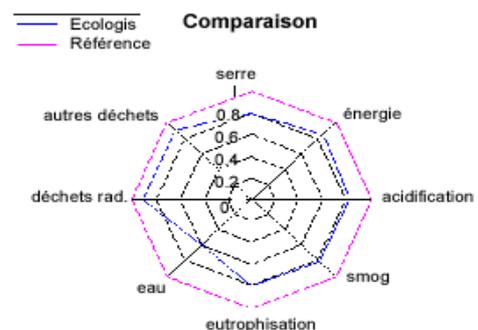
Il est un outil informatique qui facilite les comparaisons de variantes, constituant ainsi une aide à la décision. Les calculs sont basés sur la simulation numérique, pour représenter la réalité de manière plus précise que des outils plus simplifiés. Le chaînage avec un outil de simulation thermique établit le lien entre l'analyse énergétique et l'analyse environnementale. Ainsi, l'énergie n'est plus perçue comme une simple quantité de kWh, mais appréhendée selon une série de critères : l'épuisement des ressources naturelles, l'effet de serre, le smog, l'acidification, les déchets radioactifs, etc. D'autre part, l'énergie ne concerne pas que le chauffage ou l'éclairage : l'énergie récupérée dans un incinérateur couplé à un réseau de chaleur est prise en compte, ainsi que l'énergie nécessaire à la fabrication des matériaux de construction, au transport généré par le bâtiment ou à l'alimentation en eau potable. Enfin, des aspects non liés à l'énergie (gestion de l'eau, matériaux de construction,...) sont pris en compte.



**Figure38: Principe de calcul fait par EQUER**

Les besoins de chauffage (éventuellement de climatisation) calculés par le logiciel COMFIE sont automatiquement transmises à EQUER, ainsi que toutes les données d'entrées nécessaires aux calculs thermiques. La géométrie de l'enveloppe et sa constitution sont donc déjà saisies par ailleurs. Les résultats sont présentés sous forme d'éco-profil, avec la possibilité de visualiser la contribution de chaque phase (construction-utilisation-rénovation-démolition) et de comparer jusqu'à 4 variantes d'un projet. Les éco-profil synthétisent les différents thèmes environnementaux abordés : l'épuisement des ressources (énergie primaire, eau, substances rares), l'effet de serre, la toxicité humaine, l'acidification, les déchets (radioactifs ou non), la qualité de l'air (smog et odeurs), la pollution de l'eau (eutrophisation et éco-toxicité).

L'exemple ci-dessous montre les performances comparatives du projet EcoLogis (maison construite pour l'exposition Villette-Amazone, organisée par le Comité 21) par rapport à un standard actuel de construction. Le logiciel EQUER a montré que cette maison permet de réduire de 20% les émissions de gaz à effet de serre, à confort équivalent.



**Figure 39 : les performances du projet EcoLogis**

### 3.2.L'évaluation des impacts environnementaux:

#### 3.2.1. Décrire les bâtiments:

##### Projet 01:

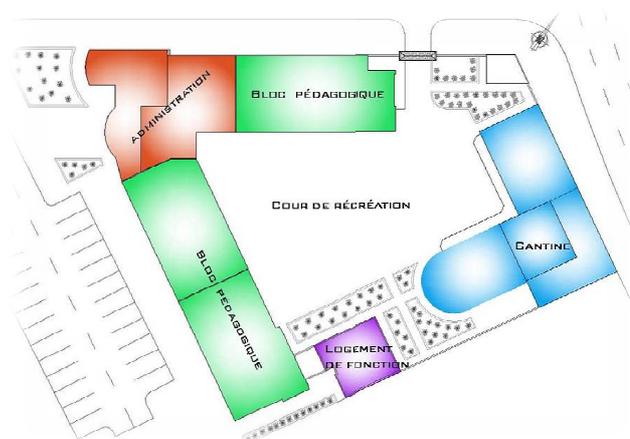
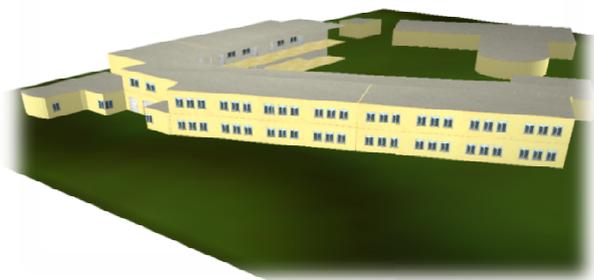


Figure 40 :Vue axonométrique E1-D1-BH

Figure 41:Plan de masse E1-D1-BH

Fiche d'identification:			
<b>Projet 01</b>	Ecole primaire pour la municipalité d'El-Eulma		
<b>Type</b>	D1 → 12 salles de classe		
<b>BET</b>	Brahim HADDAD – El_Eulma, Lauréat du Concours		
<b>Code</b>	E1 -D1- BH		
<b>Situation</b>	Pays	Algérie - l'Est algérien	
	Commune	El-Eulma	
	Site	Site urbain POS 1	
	Latitude	36,7	
	Température de base	-5	
<b>Surfaces</b>	Bâtie	1470 m <sup>2</sup>	
	Non bâtie	1330 m <sup>2</sup>	
<b>Système constructif</b>	Poteaux-poutres en béton armé		
<b>Nombre de niveaux</b>	2 étages : R+1		
<b>Distribution spatiale + Surfaces</b>	Bloc pédagogique	750 m <sup>2</sup>	
	Cour	1240 m <sup>2</sup>	
	Administration	220 m <sup>2</sup>	
	Cantine	400 m <sup>2</sup>	
	Locaux techniques	20 m <sup>2</sup>	
	Logement de fonction	80 m <sup>2</sup>	
<b>Ouvertures</b>	Portes	H=2,6m _ l=1m	
	Fenêtres	Type 1	H=1,6m _ l=0,9m _ Allège=1m
		Type 2	H=1,5m _ l=1,6m _ Allège=1m
<b>Equipements</b>	Chauffage	Présent	
	Climatisation	Absente	
	Eclairage artificiel	Présent	

Tableau 12 : Fiche d'identification du projet E1-D1-BH

En-dessous ils sont présentés les plans des 02 niveaux de l'école primaire codifiée E1-D1-BH après leur saisie graphique sur ALCYONE:

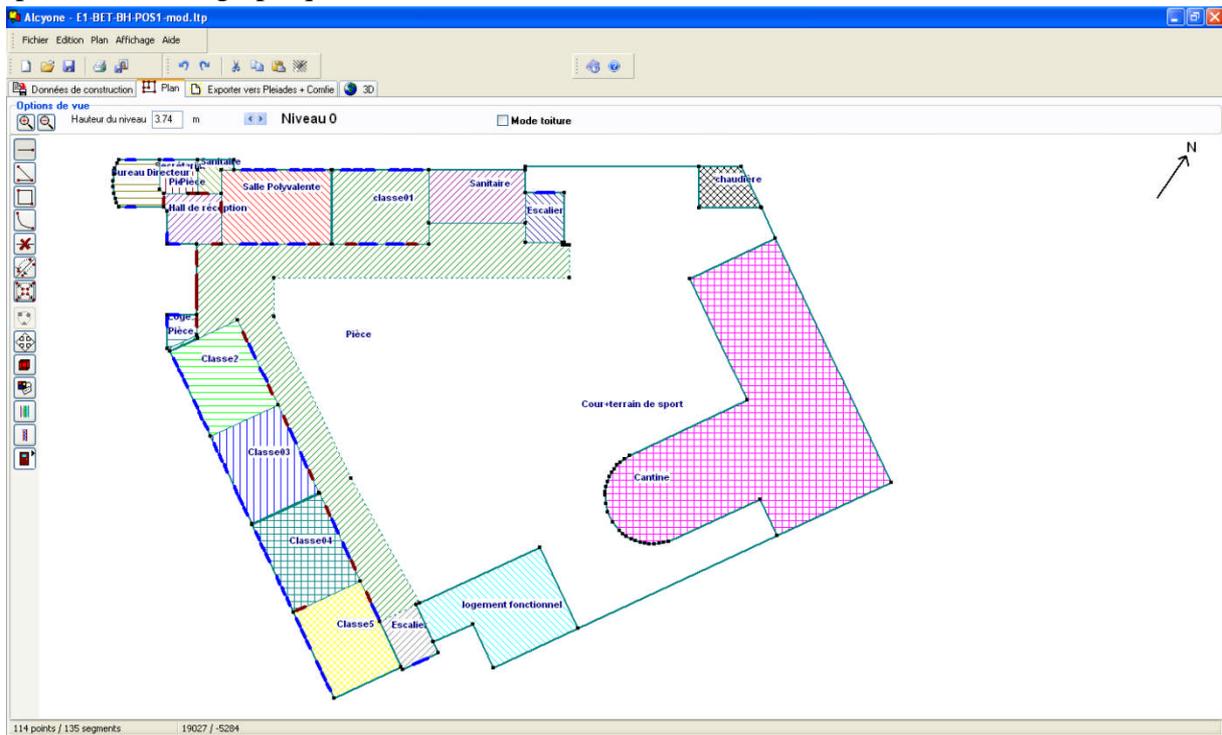


Figure 42 : Plan du rez-de-chaussée de E1-D1-BH

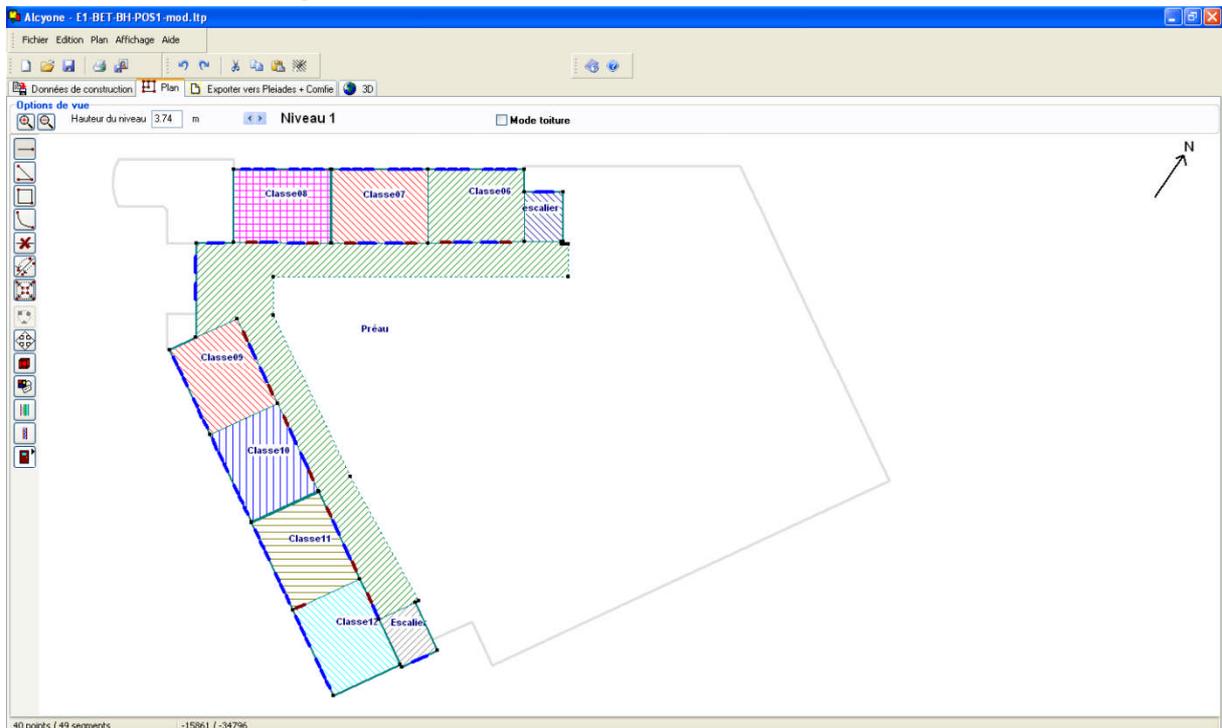
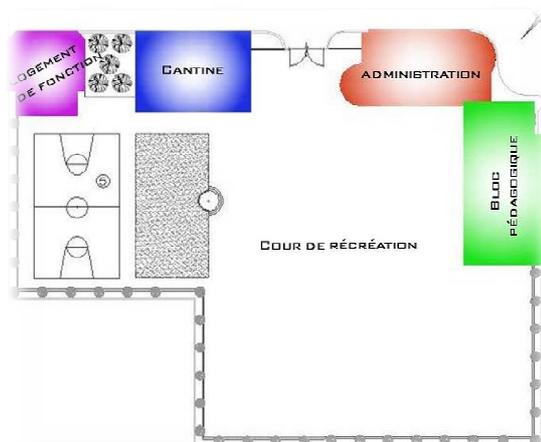


Figure 43 : Plan du 1<sup>er</sup> étage de E1-D1-BH

**Projet 2:**

**Figure 44 : Vue axonométrique E2-A1-MM**
**Figure 45 : Plan de masse E2-A1-MM**

<b>Fiche d'identification:</b>			
<b>Projet 02</b>	Ecole primaire pour la municipalité de Bazer Sakhra		
<b>Type</b>	A1 → 03 salles de classe		
<b>BET</b>	Mouloud MOKRANE – El_Eulma, Lauréat du Concours		
<b>Code</b>	E2 -A1- MM		
<b>Situation</b>	Pays	Algérie – l'Est algérien	
	Commune	Bazer Sakhra	
	Site	Site urbain	
	Latitude	36,7	
	Température de base	-5	
<b>Surfaces</b>	Bâtie	790 m <sup>2</sup>	
	Non bâtie	3110 m <sup>2</sup>	
<b>Système constructif</b>	Poteaux-poutres en béton armé		
<b>Nombre de niveaux</b>	2 étages : R+1		
<b>Distribution spatiale + Surfaces</b>	Bloc pédagogique	260 m <sup>2</sup>	
	Cour	2800 m <sup>2</sup>	
	Administration	215 m <sup>2</sup>	
	Cantine	190 m <sup>2</sup>	
	Logement de fonction	125 m <sup>2</sup>	
<b>Ouvertures</b>	Portes	H=2,8m _ l=1m	
	Fenêtres	Type 01	H=1,6m _ l=1m _ Allège=1,8m
		Type 02	H=0,7m _ l=1,1m _ Allège=2,1m
		Type 03	H=0,4m _ l=2m _ Allège=1,35m
<b>Equipements</b>	Chauffage	Présent	
	Climatisation	Absente	
	Eclairage artificiel	Présent	

**Tableau 13 : Fiche d'identification du projet E2-A1-MM**

En-dessous ils sont présentés les plans des 02 niveaux de l'école primaire codifiée E2-A1-MM après leur saisie graphique sur ALCYONE:

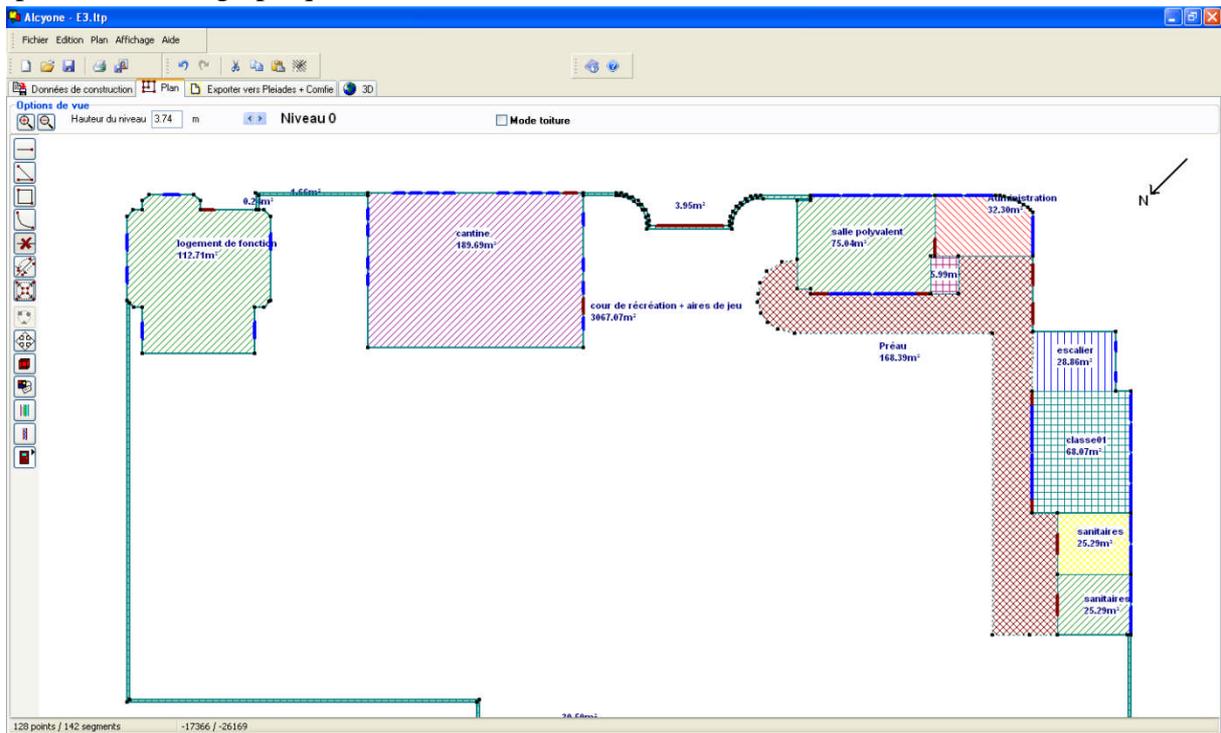


Figure 46 : Plan du rez-de-chaussée de E2-A1-MM

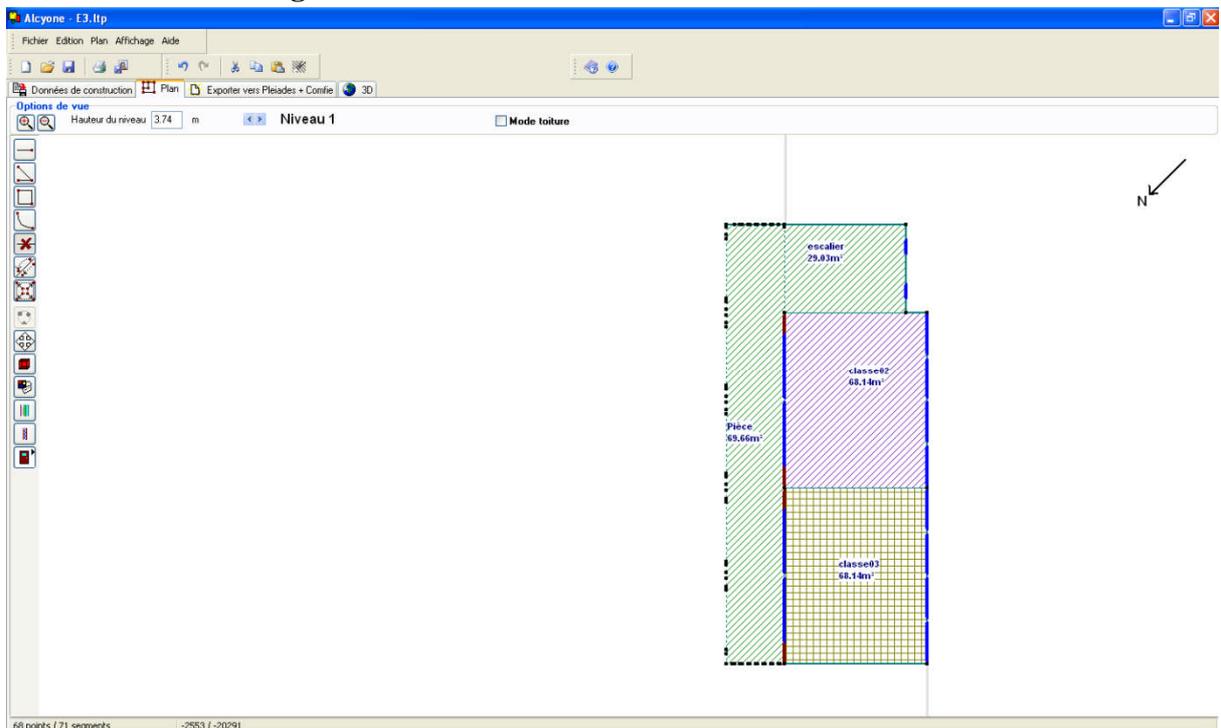
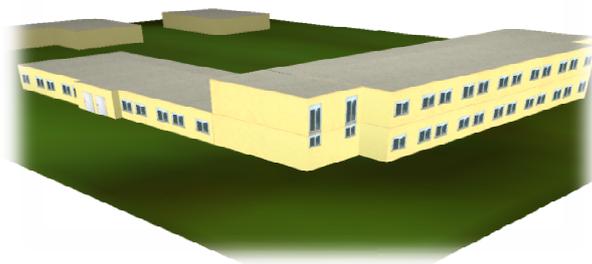
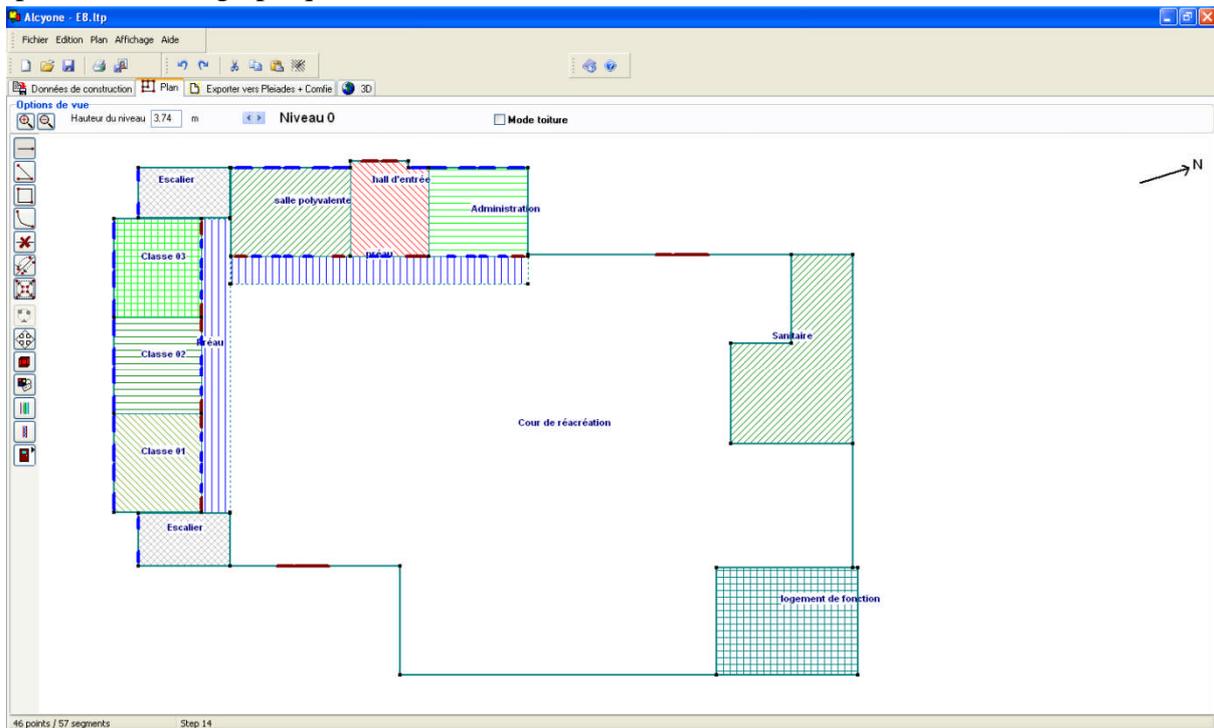


Figure 47 : Plan du 1<sup>er</sup> étage de E2-A1-MM

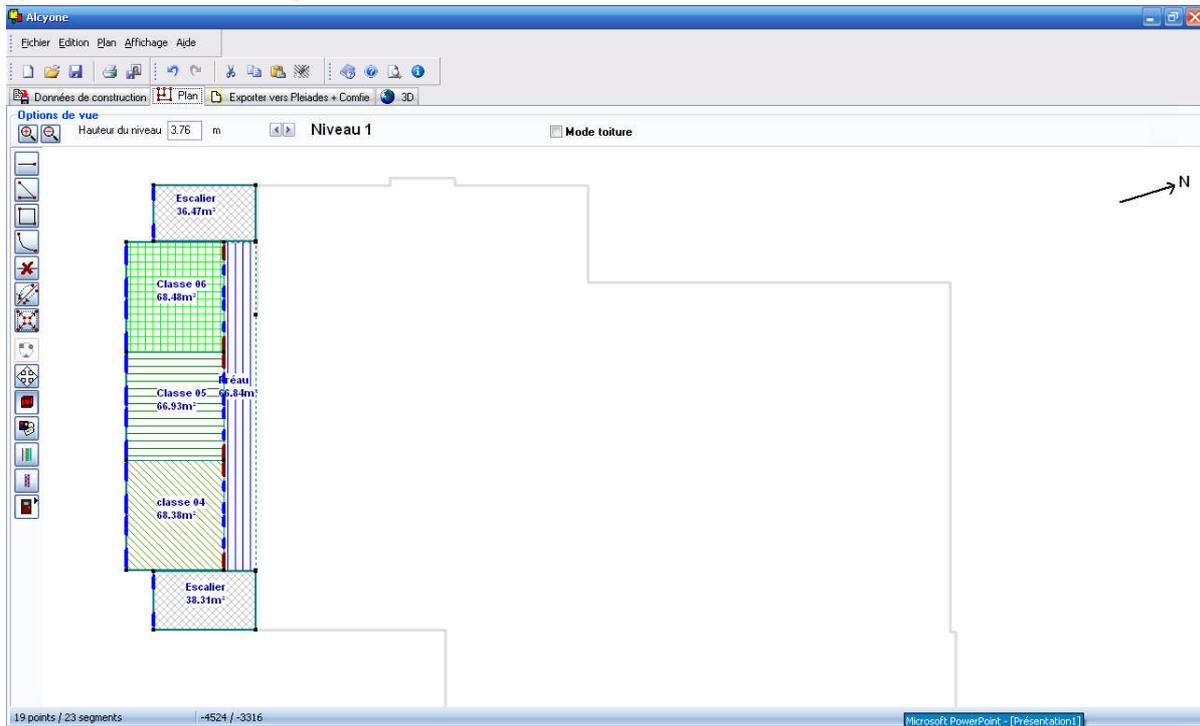
**Projet 03:**

**Figure 48 : Vue axonométrique E3 -B1- RH**
**Figure 49 : Plan de masse E3 -B1- RH**

Fiche d'identification:			
<b>Projet 03</b>	Ecole primaire pour la municipalité d'Ain Lahdjar		
<b>Type</b>	B1 → 06 salles de classe		
<b>BET</b>	Rida HAFSI – El_Eulma, Soumissionnaire au Concours		
<b>Code</b>	E3 -B1- RH		
<b>Situation</b>	Pays	Algérie – l'Est algérien	
	Commune	Ain Lahdjar	
	Site	Site urbain	
	Latitude	36,7	
	Température de base	-5	
<b>Surfaces</b>	Bâtie	900 m <sup>2</sup>	
	Non bâtie	2500 m <sup>2</sup>	
<b>Système constructif</b>	Poteaux-poutres en béton armé		
<b>Nombre de niveaux</b>	2 étages : R+1		
<b>Distribution spatiale + Surfaces</b>	Blocs pédagogiques	360 m <sup>2</sup>	
	Cour	1570 m <sup>2</sup>	
	Sanitaires	140 m <sup>2</sup>	
	Administration	280 m <sup>2</sup>	
	Logement fonctionnel	120 m <sup>2</sup>	
<b>Ouvertures</b>	Portes	H=2,6m _ l=1m	
	Fenêtres	Type 01	H=1,60m _ l=1,40m _ Allège=1m
		Type 02	H=1,60m _ l=0,70m _ Allège=1m
<b>Equipements</b>	Chauffage	Présent	
	Climatisation	Absente	
	Eclairage artificiel	Présent	
<b>Tableau 14 : Fiche d'identification du projet E3-B1-RH</b>			

En-dessous ils sont présentés les plans des 02 niveaux de l'école primaire codifiée E3-B1- RH après leur saisie graphique sur ALCYONE:

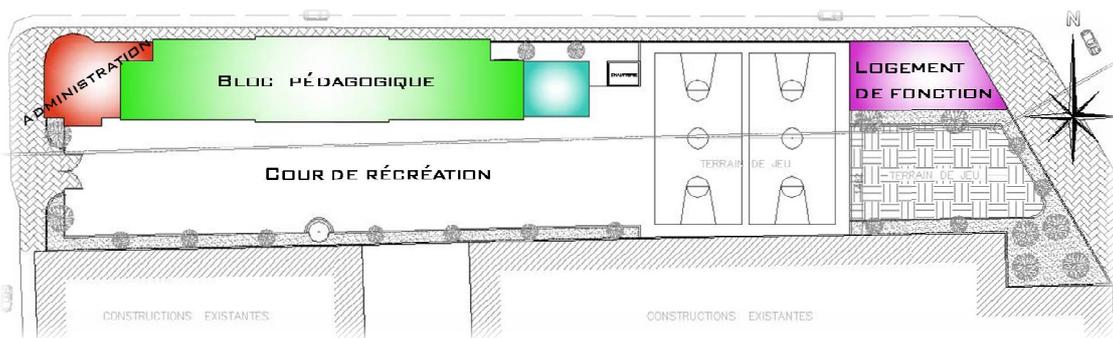


**Figure 50 : Plan du rez-de-chaussée de E3 -B1- RH**



**Figure 51: Plan du 1<sup>er</sup> étage de E3 -B1- RH**

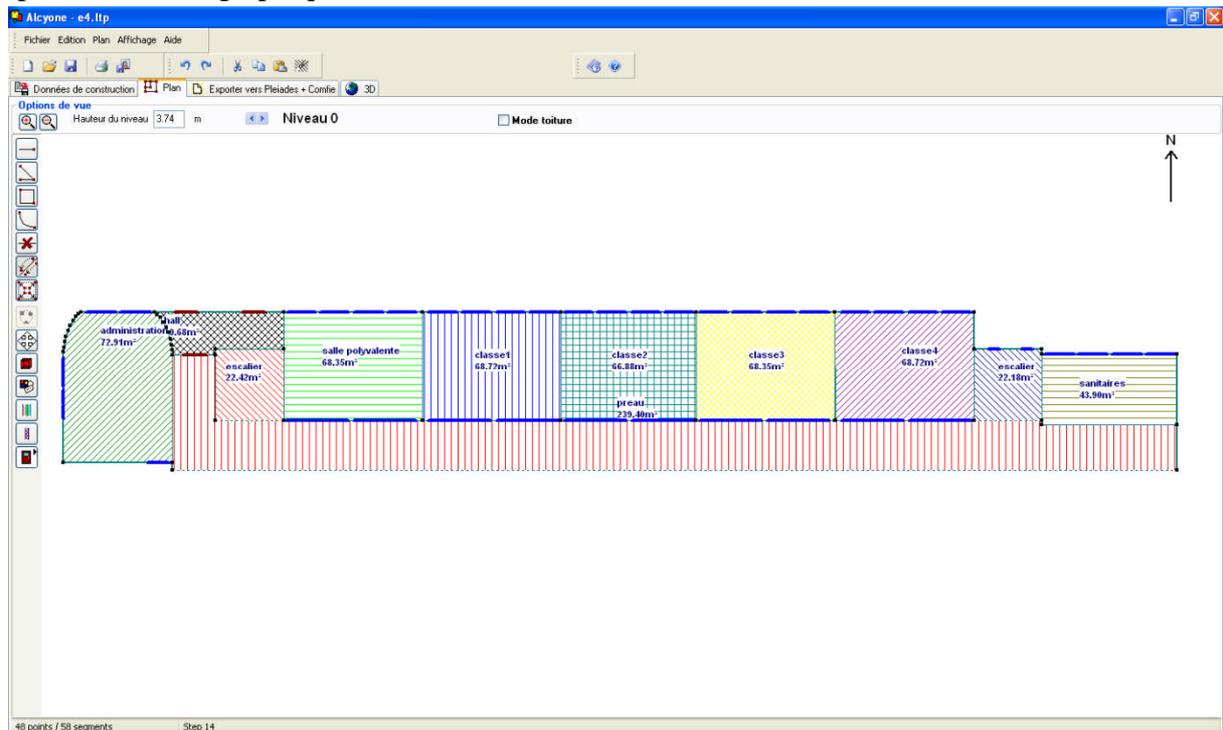
**Projet 04:**

**Figure 52 : Vue axonométrique E4 -C1- MM**

**Figure 53 : Plan de masse E4 -C1- MM**

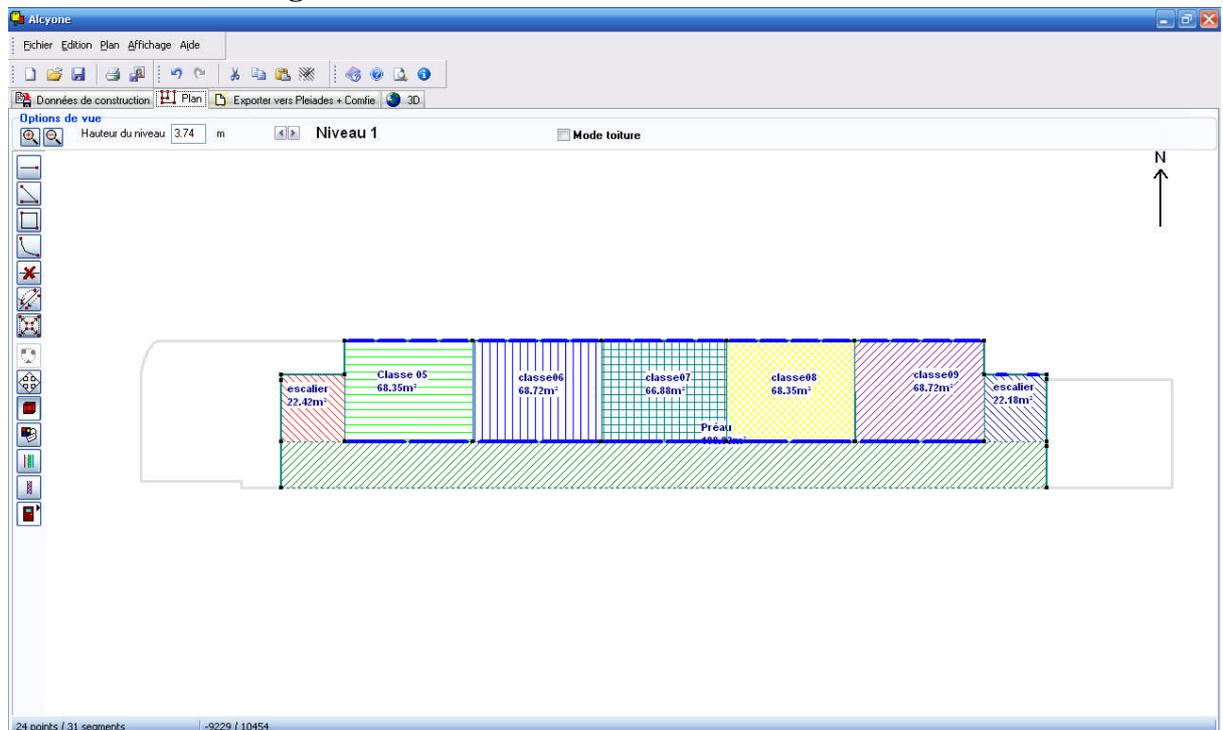
Fiche d'identification:			
<b>Projet 04</b>	Ecole primaire pour la municipalité d'El-Eulma		
<b>Type</b>	C1 → 09 salles de classe		
<b>BET</b>	Mouloud MOKRANE – El_Eulma, Lauréat du Concours		
<b>Code</b>	E4 -C1- MM		
<b>Situation</b>	Pays	Algérie – l'Est algérien	
	Commune	El-Eulma	
	Site	Site urbain	
	Latitude	36,7	
	Température de base	-5	
<b>Surfaces</b>	Bâtie	970 m <sup>2</sup>	
	Non bâtie	3230 m <sup>2</sup>	
<b>Système constructif</b>	Poteaux-poutres en béton armé		
<b>Nombre de niveaux</b>	2 étages : R+1		
<b>Distribution spatiale + Surfaces</b>	Bloc pédagogique	600 m <sup>2</sup>	
	Cour	2700	
	Administration	120 m <sup>2</sup>	
	Sanitaires	70 m <sup>2</sup>	
	Logement de fonction	180 m <sup>2</sup>	
<b>Ouvertures</b>	Portes	H=2,2m _ l=1m	
	Fenêtres	Type 01	H=1,6m _ l=0,95m _ Allège=1,85m
		Type 02	H=0,6m _ l=1,05m _ Allège=2,2m
		Type 03	H=0,4m _ l=1,9m _ Allège=1,35m
<b>Equipements</b>	Chauffage	Présent	
	Climatisation	Absente	
	Eclairage artificiel	Présent	

**Tableau 15 : Fiche d'identification du projet E4-C1-MM**

En-dessous ils sont présentés les plans des 02 niveaux de l'école primaire codifiée E4-C1-MM après leur saisie graphique sur ALCYONE:



**Figure 54: Plan du rez-de-chaussée de E4 -C1- MM**



**Figure 55 : Plan du 1<sup>er</sup> étage de E4 -C1- MM**

3.2.2. Les matériaux utilisés:

Les cahiers de charges des projets d'écoles primaires objet d'étude ont exigé tous le standard suivi en Algérie en ce qui concerne la nature des matériaux de construction, alors le tableau récapitulatif suivant résume les éléments de construction avec leurs compositions ainsi les caractéristiques thermiques des matériaux utilisés:

Matériaux de construction			Caractéristiques thermiques				
Eléments de construction	Matériaux	Dimensions cm	Conductivité $\lambda$ W/m.K	Résistance R m <sup>2</sup> .K/W	Masse volumique $\rho$ Kg/m <sup>3</sup>	Chaleur spécifique J/Kg.K	Référence
Poteaux poutres	Béton armé	40*40	2,200	-	2400	1000	Energie+
		30*45					
Plancher	Carrelage	02	1,700	0,01	460	-	Pleiades
	Mortier	04	1,150	0,04	1000	-	Pleiades
	Béton	14	1,750	0,08	2200	1000	Energie+
	<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>1.538</b>	<b>0,13</b>	<b>3660</b>	-	-
Plancher intermédiaire	Carrelage	02	1,700	0,01	460	-	Pleiades
	Mortier	05	1,150	0,04	1000	-	Pleiades
	Béton	04	1,750	0,02	2200	1000	Energie+
	Hourdis	16	1,230	0,13	1300	648	Pleiades
	Plâtre	01	0,350	0,03	100		Pleiades
	<b>Total</b>	<b>28</b>	<b>1,217</b>	<b>0,23</b>	<b>7460</b>	-	-
Toit terrasse	Feutre bitumeux	02	0,500	0,04	340	-	Pleiades
	Béton	04	1,750	0,02	2200	1000	Energie+
	Hourdis	16	1,230	0,13	1300	648	Pleiades
	Plâtre	01	0,350	0,03	100	-	Pleiades
	<b>Total</b>	<b>23</b>	<b>1,045</b>	<b>0,22</b>	<b>3940</b>	-	-
Mur extérieur	Enduit extérieur	02	0,930	0,021	1900	850	Energie+
	Brique	15	0,480	0,31	1400	1000	Pleiades
	Lame	05	0,714	0,07	1	1224	ADEME
	Brique	10	0,480	0,21	690	900	Pleiades
	Enduit plâtre	02	0,350	0,06	300	-	Pleiades
	<b>Total</b>	<b>34</b>	<b>0,510</b>	<b>0,671</b>	<b>4200</b>	-	-
Cloison intérieur	Enduit plâtre	02	0,350	0,06	300	-	Pleiades
	Brique	10	0,480	0,21	690	900	Pleiades
	Enduit plâtre	02	0,350	0,06	300	-	Pleiades
	<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>0,420</b>	<b>0,33</b>	<b>1290</b>	-	-

Tableau 16 : Caractéristiques des matériaux de construction utilisés pour les 4 projets

3.2.3. Les caractéristiques des matériaux avec la bibliothèque de PLEIADES:

La bibliothèque de PLEIADES présente un certain nombre de matériaux, d'éléments et de compositions avec leurs caractéristiques thermiques, comme c'est possible de créer de nouveaux matériaux, éléments ou encore des compositions selon les données de chaque projet et voici l'aperçu de leur saisie sur l'interface de PLEIADES:

Composition	Caractéristiques	Composition	Caractéristiques																																																																								
<b>Plancher</b>	<p>Caractéristiques de la composition</p> <p>Créer une classe</p> <p>Classe: Planchers</p> <p>Nom: plancher béton</p> <p>Complément:</p> <p>Origine:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Composants</th> <th>T</th> <th>cm</th> <th>kg/m<sup>3</sup></th> <th>λ</th> <th>R</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carrelage</td> <td>M</td> <td>2.0</td> <td>46</td> <td>1.70</td> <td>0.01</td> </tr> <tr> <td>Mortier</td> <td>M</td> <td>5.0</td> <td>100</td> <td>1.15</td> <td>0.04</td> </tr> <tr> <td>Béton lourd</td> <td>M</td> <td>14.0</td> <td>322</td> <td>1.75</td> <td>0.08</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td></td> <td>21.0</td> <td>468</td> <td></td> <td>0.13</td> </tr> </tbody> </table> <p>Extérieur ↓ Intérieur</p>	Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	Carrelage	M	2.0	46	1.70	0.01	Mortier	M	5.0	100	1.15	0.04	Béton lourd	M	14.0	322	1.75	0.08	Total		21.0	468		0.13	<b>Mur extérieur</b>	<p>Caractéristiques de la composition</p> <p>Créer une classe</p> <p>Classe: Murs</p> <p>Nom: Mur extérieur brique</p> <p>Complément:</p> <p>Origine:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Composants</th> <th>T</th> <th>cm</th> <th>kg/m<sup>3</sup></th> <th>λ</th> <th>R</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Enduit extérieur 2</td> <td>M</td> <td>2</td> <td>38</td> <td>0.93</td> <td>0.02</td> </tr> <tr> <td>Brique creuse de 15 cm</td> <td>E</td> <td>15.0</td> <td>210</td> <td>0.48</td> <td>0.31</td> </tr> <tr> <td>laine d'air 5 cm</td> <td>E</td> <td>5.0</td> <td>0</td> <td>0.71</td> <td>0.07</td> </tr> <tr> <td>Brique creuse de 10 cm</td> <td>E</td> <td>10.0</td> <td>69</td> <td>0.48</td> <td>0.21</td> </tr> <tr> <td>Plâtre couant</td> <td>M</td> <td>2</td> <td>20</td> <td>0.35</td> <td>0.06</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td></td> <td>34.0</td> <td>337</td> <td></td> <td>0.67</td> </tr> </tbody> </table> <p>Extérieur ↓ Intérieur</p>	Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	Enduit extérieur 2	M	2	38	0.93	0.02	Brique creuse de 15 cm	E	15.0	210	0.48	0.31	laine d'air 5 cm	E	5.0	0	0.71	0.07	Brique creuse de 10 cm	E	10.0	69	0.48	0.21	Plâtre couant	M	2	20	0.35	0.06	Total		34.0	337		0.67
Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R																																																																						
Carrelage	M	2.0	46	1.70	0.01																																																																						
Mortier	M	5.0	100	1.15	0.04																																																																						
Béton lourd	M	14.0	322	1.75	0.08																																																																						
Total		21.0	468		0.13																																																																						
Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R																																																																						
Enduit extérieur 2	M	2	38	0.93	0.02																																																																						
Brique creuse de 15 cm	E	15.0	210	0.48	0.31																																																																						
laine d'air 5 cm	E	5.0	0	0.71	0.07																																																																						
Brique creuse de 10 cm	E	10.0	69	0.48	0.21																																																																						
Plâtre couant	M	2	20	0.35	0.06																																																																						
Total		34.0	337		0.67																																																																						
<b>Plancher intermédiaire</b>	<p>Caractéristiques de la composition</p> <p>Créer une classe</p> <p>Classe: Planchers</p> <p>Nom: Plancher intermédiaire hourdis</p> <p>Complément:</p> <p>Origine:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Composants</th> <th>T</th> <th>cm</th> <th>kg/m<sup>3</sup></th> <th>λ</th> <th>R</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carrelage</td> <td>M</td> <td>2.0</td> <td>46</td> <td>1.70</td> <td>0.01</td> </tr> <tr> <td>Mortier</td> <td>M</td> <td>5.0</td> <td>100</td> <td>1.15</td> <td>0.04</td> </tr> <tr> <td>Béton lourd</td> <td>M</td> <td>4.0</td> <td>92</td> <td>1.75</td> <td>0.02</td> </tr> <tr> <td>Hourdis de 16 en béton</td> <td>E</td> <td>16.0</td> <td>208</td> <td>1.23</td> <td>0.13</td> </tr> <tr> <td>Plâtre couant</td> <td>M</td> <td>1.0</td> <td>10</td> <td>0.35</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td></td> <td>28.0</td> <td>456</td> <td></td> <td>0.23</td> </tr> </tbody> </table> <p>Extérieur ↓ Intérieur</p>	Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	Carrelage	M	2.0	46	1.70	0.01	Mortier	M	5.0	100	1.15	0.04	Béton lourd	M	4.0	92	1.75	0.02	Hourdis de 16 en béton	E	16.0	208	1.23	0.13	Plâtre couant	M	1.0	10	0.35	0.03	Total		28.0	456		0.23	<b>Cloison intérieure</b>	<p>Caractéristiques de la composition</p> <p>Créer une classe</p> <p>Classe: Murs</p> <p>Nom: Cloison intérieure</p> <p>Complément:</p> <p>Origine:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Composants</th> <th>T</th> <th>cm</th> <th>kg/m<sup>3</sup></th> <th>λ</th> <th>R</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Plâtre couant</td> <td>M</td> <td>2.0</td> <td>20</td> <td>0.35</td> <td>0.06</td> </tr> <tr> <td>Brique creuse de 10 cm</td> <td>E</td> <td>10.0</td> <td>69</td> <td>0.48</td> <td>0.21</td> </tr> <tr> <td>Plâtre couant</td> <td>M</td> <td>2.0</td> <td>20</td> <td>0.35</td> <td>0.06</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td></td> <td>14.0</td> <td>109</td> <td></td> <td>0.33</td> </tr> </tbody> </table> <p>Extérieur ↓ Intérieur</p>	Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	Plâtre couant	M	2.0	20	0.35	0.06	Brique creuse de 10 cm	E	10.0	69	0.48	0.21	Plâtre couant	M	2.0	20	0.35	0.06	Total		14.0	109		0.33
Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R																																																																						
Carrelage	M	2.0	46	1.70	0.01																																																																						
Mortier	M	5.0	100	1.15	0.04																																																																						
Béton lourd	M	4.0	92	1.75	0.02																																																																						
Hourdis de 16 en béton	E	16.0	208	1.23	0.13																																																																						
Plâtre couant	M	1.0	10	0.35	0.03																																																																						
Total		28.0	456		0.23																																																																						
Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R																																																																						
Plâtre couant	M	2.0	20	0.35	0.06																																																																						
Brique creuse de 10 cm	E	10.0	69	0.48	0.21																																																																						
Plâtre couant	M	2.0	20	0.35	0.06																																																																						
Total		14.0	109		0.33																																																																						
<b>Toit terrasse</b>	<p>Caractéristiques de la composition</p> <p>Créer une classe</p> <p>Classe: Toitures</p> <p>Nom: Toit terrasse béton</p> <p>Complément:</p> <p>Origine:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Composants</th> <th>T</th> <th>cm</th> <th>kg/m<sup>3</sup></th> <th>λ</th> <th>R</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Feutre bitumeux</td> <td>M</td> <td>2.0</td> <td>34</td> <td>0.50</td> <td>0.04</td> </tr> <tr> <td>Béton lourd</td> <td>M</td> <td>4.0</td> <td>92</td> <td>1.75</td> <td>0.02</td> </tr> <tr> <td>Hourdis de 16 en béton</td> <td>E</td> <td>16.0</td> <td>208</td> <td>1.23</td> <td>0.13</td> </tr> <tr> <td>Plâtre couant</td> <td>M</td> <td>1.0</td> <td>10</td> <td>0.35</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td></td> <td>23.0</td> <td>344</td> <td></td> <td>0.22</td> </tr> </tbody> </table> <p>Extérieur ↓ Intérieur</p>	Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	Feutre bitumeux	M	2.0	34	0.50	0.04	Béton lourd	M	4.0	92	1.75	0.02	Hourdis de 16 en béton	E	16.0	208	1.23	0.13	Plâtre couant	M	1.0	10	0.35	0.03	Total		23.0	344		0.22	<b>Fenêtre</b>	<p>Caractéristiques du vitrage</p> <p>Créer une classe</p> <p>Classe: Fenêtres</p> <p>Nom: Fen bat bois SV</p> <p>Complément: Simple vitrage non classé huisserie bois</p> <p>Origine: Ouvrage "Conception Thermique de l'Habitat" + règles TH-</p> <p>Nombre de vitrages: 1 vitrage</p> <p>Facteur solaire moyen: 0.59</p> <p>Coef U moyen: 4.08 W/(m<sup>2</sup>K)</p> <p>γ de vitrage: 66 %</p> <p>Vitrage</p> <p>Facteur solaire: 0.90</p> <p>Coef U Vitrage: 4.95 W/(m<sup>2</sup>K)</p> <p>Cadre</p> <p>Coef U Opaque: 2.40 W/(m<sup>2</sup>K)</p>																																				
Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R																																																																						
Feutre bitumeux	M	2.0	34	0.50	0.04																																																																						
Béton lourd	M	4.0	92	1.75	0.02																																																																						
Hourdis de 16 en béton	E	16.0	208	1.23	0.13																																																																						
Plâtre couant	M	1.0	10	0.35	0.03																																																																						
Total		23.0	344		0.22																																																																						

Tableau 17 : Les caractéristiques des matériaux avec la bibliothèque de PLEIADES

### 3.1. Méthodologie de la simulation:

#### 3.1.1. La simulation thermique:

Vue l'importance des aspects énergétiques dans le bilan global d'un bâtiment, l'évaluation des besoins de chauffage et de climatisation est alors programmée afin de faciliter la mise en œuvre de solutions à faible impact par les concepteurs. Comme il paraît utile de compléter l'analyse thermique par l'évaluation du confort.

Dont la simulation avec le logiciel COMFIE se base sur un modèle dynamique des bâtiments, qui peut être **multizone** pour pouvoir décomposer le bâtiment en plusieurs espaces selon leurs fonctionnalités, leurs orientations, etc. Le modèle repose sur le concept de **zone thermique**, sous-ensemble du bâtiment considéré à température homogène. Le modèle ne convient pas à des pièces de grande hauteur dans lesquelles l'air est stratifié (comme l'atrium).

Les parois sont décomposées en monodimensionnel, en mailles très fines sur lesquelles un bilan thermique est écrit en supposant la température uniforme, il ne faut plus regrouper dans une maille des couches de matériaux séparées par un isolant et le nombre de mailles est plus important dans les murs massifs que dans les cloisons légères, une paroi interne à une zone est divisée en mailles de manière analogue, avec une légère différence s'il n'y a pas d'isolant ou si les deux parties séparées par l'isolant sont toute les légères ou toutes les deux massives. Dans ces trois cas, tous les matériaux de la paroi sont regroupés en un matériau unique équivalent, divisé en deux parties symétriques.

Il n'y a jamais de mailles dans les isolants car leur capacité thermique est faible par rapport à celle des autres matériaux. Un isolant est donc modélisé simplement par une résistance thermique mais sa capacité thermique est ajoutée à celle des deux mailles voisines. Comme aucune maille n'est placée dans un vitrage.

Le logiciel est écrit en langage pascal, sa programmation orientée objets facilite le développement de nouveaux composants: par exemple systèmes photovoltaïques, puits canadiens. Pour faciliter l'utilisation du logiciel le bâtiment est décrit sous la forme d'une structure d'objets reliés par des pointeurs.

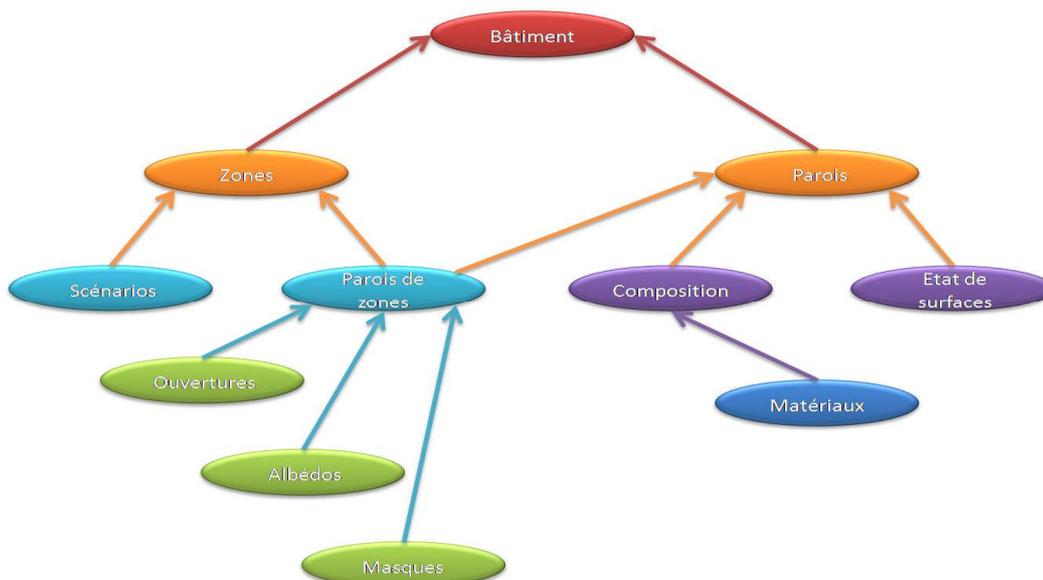


Figure 64: Exemple de modèle de bâtiment pour l'analyse thermique avec COMFIE

Les composants de base; matériaux, vitrages, revêtements de murs ... sont combinés pour former des structures plus complexes: parois, zones, bâtiment entier. Le comportement des occupants lié à l'utilisation du bâtiment (habitations, bureaux) est défini dans scénario d'occupation, contenant les profils de températures de consigne, de ventilation et de gains internes pour chaque jour de la semaine.

Chaque objet est relié aux autres par un pointeur: une zone thermique contient des pointeurs sur ses parois, chaque paroi contenant elle-même des pointeurs sur des vitrages, des masques, etc. la description d'un projet peut être plus au moins complexe; une façade par exemple peut être découpée en plusieurs parois de zone pour évaluer plus précisément l'effet d'un masque. L'intérêt d'une telle structure est de faciliter la modification, l'addition, la suppression ou le remplacement d'un objet à n'importe quel niveau; si un matériau est modifié, cette modification se propage automatiquement dans toutes les compositions de parois concernées. [PEUPOORTIER 2008]

Les profils de température permettent de vérifier que le niveau de confort thermique souhaité est atteint dont les histogrammes de température fournissent une représentation synthétique des températures sur une saison et permettent de visualiser le nombre d'heures d'inconfort. La simulation thermique permet aussi d'évaluer les risques de surchauffe en particulier dans une zone exposée au rayonnement solaire.

### 3.1.2. Les calculs d'éclairage:

Nous recevons sur terre deux types de rayonnements lumineux provenant de l'atmosphère: le rayonnement direct provenant du soleil, et le rayonnement diffus provenant du ciel. Le soleil est la source primaire de lumière naturelle et la lumière provenant du ciel n'est que cette lumière qui a été transmise et diffusée par l'atmosphère.

Sur le bâtiment une troisième source de lumière est considérée c'est celle réfléchi du sol, de la végétation et des bâtiments avoisinants. Ces mêmes éléments peuvent constituer des masques et bloquer le rayonnement solaire direct à certaines heures de la journée et à certaines saisons diminuant alors la quantité de lumière reçue que le font aussi les masques proches tels les avancées ou les balcons.

Par l'évaluation des effets de masques on peut étudier la mise en place des protections solaires qui fait réduire le rayonnement solaire l'été et de le capter le plus possible durant la saison de chauffe, ou encore étudier la possibilité de l'installation d'un système de panneaux solaires.

En ce qui concerne l'éclairage artificiel, des calculs simplifiés sont mis en œuvre, la demande d'éclairage varie fortement en fonction de la nature des bâtiments considérés et de l'utilisation des pièces à leur intérieur. Le choix de la lampe ou du luminaire appropriés dépend de la puissance exigée, de la fréquence d'allumage, de la qualité de la lumière et ainsi de la dispersion du faisceau lumineux, pour l'éclairage des écoles, les équipements utilisés classiquement sont les luminaires fluorescents à grille de défilement en lignes perpendiculaires aux tables et les luminaires spéciaux pour les tableaux pour atteindre un niveau d'éclairage conseillé de 300lx pour les tables des élèves, 400 lx pour le bureau du maître et 500 lx pour le tableau.

On va définir le scénario hebdomadaire de la puissance dissipée qui permet de prendre en compte les apports internes du aux différents appareils dans le bâtiment, il ne comprend pas les occupants qui sont ceux de l'éclairage seulement dans une salle de classe d'une école primaire.

### 3.1.3. L'évaluation des impacts sanitaires:

L'analyse de cycle de vie concerne les impacts environnementaux globaux et ne permet pas d'évaluer des impacts spécifiques sur la santé des occupants du bâtiment étudié. Il n'existe pas aujourd'hui de véritable outil d'évaluation et d'aide à la conception pour les professionnels du bâtiment en matière de santé mais plutôt des ouvrages présentant des problèmes et proposant des recommandations [DEOUX, 2002].

Les aspects de santé dans le bâtiment peuvent être regroupés en trois grands domaines: les aspects liés à la qualité de l'air qui influence le confort olfactif, ceux liés à la qualité de l'eau et d'autres comme le problème des champs magnétiques.

Il faut évaluer les quantités de polluants émis dans l'air qui peuvent provenir de certains matériaux telles les peintures et les colles, certains équipements telles les chaudières, de certaines activités telle la fumée de cigarette ou du milieu extérieur, des mesures sont effectuées sur des matériaux afin de connaître les émissions des polluants au cours du temps, dans l'eau où les émissions sont liées à la dissolution des métaux composant les canalisations en particulier le plomb et éventuellement dans le sol sur lequel le bâtiment est construit qui peut être pollué antérieurement, et ensuite il faut évaluer la concentration des différents polluants dans l'air et dans l'eau. Les conséquences sanitaires ne sont pas liées directement aux concentrations de polluants mais plutôt aux doses reçues par les occupants.

La qualité de l'air peut être évaluée en fonction du scénario de ventilation à savoir le système de ventilation, les ouvertures entre locaux mais les résultats restent toujours approximatifs.

La qualité de l'eau peut être évaluée en fonction de la qualité de l'eau potable distribuée, des matériaux utilisés dans réseau intérieur au bâtiment et en fonction des quantités consommées.

### 3.1.4. La gestion de l'utilisation des usagers:

Le comportement des usagers a une influence aussi non négligeable que les choix de conception sur les performances obtenus, ces aspects comportementaux expliquent généralement une grande partie des écarts constatés entre les performances prévues et celle mesurées sur site par exemple la consommation du chauffage mesurée et facturée dépend du réglage des thermostats qui peut être différent des hypothèses du calcul.

Mais certainement que les comportements des usagers influent fortement sur les consommations énergétiques d'un bâtiment et par extension sur son impact environnemental mais ceci n'annihile pas les efforts consentis par les concepteurs pour proposer des bâtiments performants du point de vue de l'environnement.

Comme c'est nécessaire de concevoir des bâtiments durables même sans connaître –ce qui est pratiquement toujours le cas – le niveau de conscience environnementale des futures occupants. Ce constat souligne également l'utilité d'une information très complète des usagers sur le fonctionnement des divers équipements mis à leur disposition et notamment sur leur utilisation optimale: installation du chauffage, réseau de distribution de l'eau, système de collecte des déchets, etc.

#### **4. Conclusion:**

L'unicité d'un bâtiment lui rend un système particulièrement complexe qui nécessite une approche multicritère pour l'évaluer où l'ACV présente un outil exemplaire pour ce type d'approche, sa méthodologie assure une vue sur l'ensemble des actions au sein du bâtiment à partir des matériaux et techniques de construction jusqu'à leur élimination ainsi les différents comportements de leur usagers tel son chauffage, sa ventilation, son occupation, l'utilisation de l'énergie, etc.

Les projets objet de notre recherche qui sont des APD des écoles primaires dont trois entre eux sont lauréats de soumissions et le quatrième est un participant émergent tous la même composition à savoir les blocs pédagogiques qui contient entre trois et douze salles de classe, l'administration, la cour de récréation, les sanitaires, la cantine et un logement de fonction.

Quantifier des impacts environnementaux d'un tel système paraît plus sophistiqué qu'un simple produit ce qui a mené à rassembler ces effets selon leur nature et les unifier sous un même indicateur avec la même unité de mesure, et ce qui facilite le calcul et le simplifie est l'utilisation des logiciels adaptés à ce type d'opération comme ceux qu'on va présenter dans le prochain chapitre avec les résultats obtenus.

La durabilité dans la construction est un enjeu majeur et sa réalisation est en challenge avec plusieurs contraintes, où elle est possible techniquement mais non assurée par les usagers au futur ce qui fait appel à leur informer et exercer pour un meilleur comportement vis-à-vis leur futur bâtiment durable.

## 5. Références:

1. ADEME : <http://www.construction-conseil.fr/materiaux-maison/tableau-comparatif-des-isolants> . Vu le 14 octobre 2010 à 02 :00
2. DEOUX Suzanne et Pierre, *Le guide de l'habitat sain*. ED. Medieco, 2002.
3. ENERGIE+ : [http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page\\_10453.htm](http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page_10453.htm). Vu le 5 mai 2011 à 13 : 50.
4. Gauthier D., Mazéas H., Lecouls H., 2004, Les Analyses de Cycle de Vie, Académie des Technologies, 88p
5. FRISCHKNECHT R. ET AL., “Overview and Methodology”, Final report ecoinvent v2.0 No. 1, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Duebendorf, 2007.
6. Manuel d'utilisation. Logiciel EQUER, Simulation du cycle de vie des bâtiments. Bruno Peuportier et Bernd Polster Ecole des Mines de Paris, Centre d'Energétique.
7. Manuel d'utilisation du logiciel Alcyone Saisie graphiques des projets pour Pleiades+Comfie. Izuba Energies
8. PEUPORTIER Bruno (2008), *l'éco-conception des bâtiments et des quartiers*. Ecole des Mines de Paris. 336 pages
9. Renaud Mikolasek , 05/12/2007 Izuba Energies: Pleiades+Comfie ; Guide de l'utilisateur Von Meis, De la forme au lieu (1985). Edition Marine

# **Analyse du Cycle de Vie comme outil pour le développement d'une stratégie de construction durable**

CHAPITRE 07 :

Interprétation des  
résultats et  
recommandations

**CHAPITRE 07 : INTERPRETATION DES RESULTATS ET RECOMMANDATIONS**

<b>1.</b>	<b>INTRODUCTION :</b> .....	<b>216</b>
<b>2.</b>	<b>PRESENTATION DES CONCEPTIONS RECOMMANDEES :</b> .....	<b>217</b>
<b>2.1.</b>	<b>La conception BBC:</b> .....	<b>217</b>
<b>2.2.</b>	<b>Le puis provençal:</b> .....	<b>218</b>
<b>2.3.</b>	<b>L'installation des panneaux photovoltaïques :</b> .....	<b>219</b>
<b>3.</b>	<b>LES RECOMMANDATIONS :</b> .....	<b>220</b>
<b>3.1.</b>	<b>Recommandations pour le projet de l'école E1-D1-BH :</b> .....	<b>220</b>
<b>3.2.</b>	<b>Recommandations pour le projet de l'école E2-A1-MM :</b> .....	<b>226</b>
<b>3.3.</b>	<b>Recommandations pour le projet de l'école E3-B1-RH :</b> .....	<b>232</b>
<b>3.4.</b>	<b>Recommandations pour le projet de l'école E4-C1-MM:</b> .....	<b>238</b>
<b>4.</b>	<b>RECAPITULATION DES RECOMMANDATIONS:</b> .....	<b>244</b>
<b>4.1.</b>	<b>Choix énergétique :</b> .....	<b>244</b>
<b>4.2.</b>	<b>Choix environnemental :</b> .....	<b>245</b>
<b>4.3.</b>	<b>Nouvelles recommandations :</b> .....	<b>246</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSION :</b> .....	<b>249</b>

## 1. Introduction :

L'élimination d'un impact environnemental d'un produit et particulièrement d'un bâtiment paraît utopique mais il est possible de le diminuer ou réduire, dont l'utilisation des techniques constructives peut coopérer l'amélioration de la qualité de l'espace sans nuire l'environnement.

Vue les ACVs déjà réalisées dans le chapitre précédent, les projets ont une influence non négligeable soit sur l'épuisement des ressources, soit sur l'environnement ou encore sur la santé de leurs usagers, et ça exige une intervention au niveau de la conception afin de rendre ces projets plus respectifs à l'environnement et les usagers ce qui se passe par une stratégie de construction durable.

Tant que les techniques utilisées pour atteindre la durabilité des bâtiments présentent certaine similitude, on va essayer de mettre en œuvre quelques unes afin de réduire les besoins de chaleur en les appliquant sur l'enveloppe du bâtiment par la disposition des ouvertures du bâtiment de manière optimale, à mettre en place des protections solaires, à sur-isoler les parois, à utiliser des vitrages très isolants, à réduire les ponts thermiques, à réduire les infiltrations d'air et à traiter la ventilation de manière mécanisée.

Nos recommandations s'orientent vers la conception d'un bâtiment durable qui respecte l'environnement, ne consomme pas trop d'énergie et qui assure un espace sain à ses occupants ce qui peut s'affecter fréquemment par une isolation thermique par l'extérieur, une étanchéité à l'air dont la ventilation doit être maîtrisée via une ventilation mécanique contrôlée à double flux couplée à un récupérateur de chaleur sur air vicié performant limitant les échanges thermiques par renouvellement d'air ou d'une manière passive par un échangeur air-sol (puis canadien ou provençal)

La situation et l'orientation du bâtiment peuvent satisfaire les besoins en chauffage par le rayonnement solaire au sud, l'utilisation de l'inertie thermique de la structure, un récupérateur de chaleur couplé à la ventilation, des capteurs solaires et l'installation photovoltaïque couvrant les besoins en électricité.

Ce sont les principaux points qu'on a intégré dans les différents projets afin de comparer entre deux alternatives pour arriver à une construction durable par la réalisation d'une ACV complète qui prend toute la vie du bâtiment jusqu'à sa démolition.

Pour distinguer les conceptions proposées par les bureaux d'études on va utiliser l'abréviation BET, et BBC pour les conceptions proposées avec l'utilisation des matériaux de bâtiments à basse consommation énergétique, ainsi BET-T et BBC-T respectivement pour les deux types de conceptions précités mais avec l'ajout de techniques constructives à savoir le puis provençal et l'installation des panneaux photovoltaïques.

## 2. Présentation des conceptions recommandées :

### 2.1. La conception BBC:

Essayant d'améliorer la qualité environnementale des projets étudiés par le changement des matériaux de construction en utilisant quelques uns proposés dans la bibliothèque PLEIADES pour un Bâtiment à Basse Consommation « BBC » où on ajoute l'isolation à l'extérieur dans toutes les composition et on change le type de vitrage ainsi on met des portes plus isolantes dont les caractéristiques peuvent être les suivantes :

Composition BBC	Caractéristiques	Composition BBC	Caractéristiques																																																												
<b>BBC-Plancher Bas</b>	<p>Caractéristiques de la composition</p> <p>Classe: Bâtiment basse consommation</p> <p>Nom: BBC-Plancher bas</p> <p>Complément:</p> <p>Origine:</p> <p>Caractéristiques thermiques</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Composants</th> <th>T</th> <th>cm</th> <th>kg/m<sup>3</sup></th> <th>λ</th> <th>R</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Laine de verre</td> <td>20.0</td> <td>2</td> <td>0.041</td> <td>4.88</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Béton lourd</td> <td>20.0</td> <td>460</td> <td>1.750</td> <td>0.11</td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>Total</b></td> <td><b>40.0</b></td> <td><b>462</b></td> <td></td> <td><b>4.99</b></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Extrémités: Extérieur / Intérieur</p>	Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	Laine de verre	20.0	2	0.041	4.88		Béton lourd	20.0	460	1.750	0.11		<b>Total</b>	<b>40.0</b>	<b>462</b>		<b>4.99</b>		<b>BBC-Paroi interne</b>	<p>Caractéristiques de la composition</p> <p>Classe: Bâtiment basse consommation</p> <p>Nom: BBC-Paroi interne</p> <p>Complément:</p> <p>Origine:</p> <p>Caractéristiques thermiques</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Composants</th> <th>T</th> <th>cm</th> <th>kg/m<sup>3</sup></th> <th>λ</th> <th>R</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Béton lourd</td> <td>16.0</td> <td>368</td> <td>1.750</td> <td>0.09</td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>Total</b></td> <td><b>16.0</b></td> <td><b>368</b></td> <td></td> <td><b>0.09</b></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Extrémités: Extérieur / Intérieur</p>	Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	Béton lourd	16.0	368	1.750	0.09		<b>Total</b>	<b>16.0</b>	<b>368</b>		<b>0.09</b>																			
Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R																																																										
Laine de verre	20.0	2	0.041	4.88																																																											
Béton lourd	20.0	460	1.750	0.11																																																											
<b>Total</b>	<b>40.0</b>	<b>462</b>		<b>4.99</b>																																																											
Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R																																																										
Béton lourd	16.0	368	1.750	0.09																																																											
<b>Total</b>	<b>16.0</b>	<b>368</b>		<b>0.09</b>																																																											
<b>BBC-Plancher intermédiaire</b>	<p>Caractéristiques de la composition</p> <p>Classe: Bâtiment basse consommation</p> <p>Nom: BBC-Plancher bas hourds isolé en sous-face</p> <p>Complément:</p> <p>Origine:</p> <p>Caractéristiques thermiques</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Composants</th> <th>T</th> <th>cm</th> <th>kg/m<sup>3</sup></th> <th>λ</th> <th>R</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Isolant générique</td> <td>15.0</td> <td>2</td> <td>0.040</td> <td>3.75</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hourds de 16 en béton</td> <td>16.0</td> <td>208</td> <td>1.231</td> <td>0.13</td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>Total</b></td> <td><b>31.0</b></td> <td><b>210</b></td> <td></td> <td><b>3.88</b></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Extrémités: Extérieur / Intérieur</p>	Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	Isolant générique	15.0	2	0.040	3.75		Hourds de 16 en béton	16.0	208	1.231	0.13		<b>Total</b>	<b>31.0</b>	<b>210</b>		<b>3.88</b>		<b>BBC-Mur extérieur</b>	<p>Caractéristiques de la composition</p> <p>Classe: Bâtiment basse consommation</p> <p>Nom: BBC-Mur maçonnerie courante</p> <p>Complément:</p> <p>Origine:</p> <p>Caractéristiques thermiques</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Composants</th> <th>T</th> <th>cm</th> <th>kg/m<sup>3</sup></th> <th>λ</th> <th>R</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Parping de 20</td> <td>20.0</td> <td>260</td> <td>1.053</td> <td>0.19</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Isolant générique</td> <td>20.0</td> <td>2</td> <td>0.040</td> <td>5.00</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lame d'air &gt; 1.3 cm</td> <td>1.5</td> <td>0</td> <td>0.094</td> <td>0.16</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Placoplatre BA 13</td> <td>1.3</td> <td>11</td> <td>0.325</td> <td>0.04</td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>Total</b></td> <td><b>42.8</b></td> <td><b>273</b></td> <td></td> <td><b>5.38</b></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Extrémités: Extérieur / Intérieur</p>	Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	Parping de 20	20.0	260	1.053	0.19		Isolant générique	20.0	2	0.040	5.00		Lame d'air > 1.3 cm	1.5	0	0.094	0.16		Placoplatre BA 13	1.3	11	0.325	0.04		<b>Total</b>	<b>42.8</b>	<b>273</b>		<b>5.38</b>	
Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R																																																										
Isolant générique	15.0	2	0.040	3.75																																																											
Hourds de 16 en béton	16.0	208	1.231	0.13																																																											
<b>Total</b>	<b>31.0</b>	<b>210</b>		<b>3.88</b>																																																											
Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R																																																										
Parping de 20	20.0	260	1.053	0.19																																																											
Isolant générique	20.0	2	0.040	5.00																																																											
Lame d'air > 1.3 cm	1.5	0	0.094	0.16																																																											
Placoplatre BA 13	1.3	11	0.325	0.04																																																											
<b>Total</b>	<b>42.8</b>	<b>273</b>		<b>5.38</b>																																																											
<b>BBC-Toit</b>	<p>Caractéristiques de la composition</p> <p>Classe: Bâtiment basse consommation</p> <p>Nom: BBC-Toit</p> <p>Complément:</p> <p>Origine:</p> <p>Caractéristiques thermiques</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Composants</th> <th>T</th> <th>cm</th> <th>kg/m<sup>3</sup></th> <th>λ</th> <th>R</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Laine de verre</td> <td>26.0</td> <td>3</td> <td>0.041</td> <td>6.34</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Piâtre gypse</td> <td>1.0</td> <td>12</td> <td>0.420</td> <td>0.02</td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>Total</b></td> <td><b>27.0</b></td> <td><b>15</b></td> <td></td> <td><b>6.36</b></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Extrémités: Extérieur / Intérieur</p>	Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	Laine de verre	26.0	3	0.041	6.34		Piâtre gypse	1.0	12	0.420	0.02		<b>Total</b>	<b>27.0</b>	<b>15</b>		<b>6.36</b>		<b>BBC-Porte</b>	<p>Caractéristiques de la menuiserie</p> <p>Classe: Bâtiment basse consommation</p> <p>Nom: BBC-Porte isolante</p> <p>Complément:</p> <p>Origine:</p> <p>Nombre de vitrages: 0</p> <p>Coef U Menuiserie (Uw): Vertical 2.235 W/(m².K) Horizontal 2.235 W/(m².K) Facteur solaire (Sw) 0.04</p> <p>Cadre: Données RT2012</p> <p>Hauteur (h): 2.04 m Largeur: 0.83 m</p> <p>Coef U Opaque (Uf): 2.235 W/(m².K) Bois dur e 58 mm</p> <p>Absorption (ap): 0.4</p> <p>Facteur solaire (Sf): 0.04</p> <p>Calculer à partir ap et Uf</p>																																				
Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R																																																										
Laine de verre	26.0	3	0.041	6.34																																																											
Piâtre gypse	1.0	12	0.420	0.02																																																											
<b>Total</b>	<b>27.0</b>	<b>15</b>		<b>6.36</b>																																																											
<b>BBC-Fenêtre</b>	<p>Caractéristiques de la menuiserie</p> <p>Classe: Bâtiment basse consommation</p> <p>Nom: BBC-Double-vitrage peu émissif argon</p> <p>Complément:</p> <p>Origine:</p> <p>Saisie simplifiée</p> <p>Coef U Menuiserie (Uw): Vertical 1.815 W/(m².K) Horizontal 1.848 W/(m².K) Facteur solaire (Sw) 0.446</p> <p>Cadre: Vitrage</p> <p>Données RT2012</p> <p>Hauteur (h): 1.15 m Largeur: 1 m</p> <p>Coffre de volet roulant</p> <p>Coef U Opaque (Uf): 2.1 W/(m².K) Bois tendre e 44 mm</p> <p>% de vitrage (σ): 66 % Fenêtre battante</p> <p>Psi intercalaire (ψg): 0.08 W/(m.K) Aluminium vitrage Faible émissivité</p> <p>Intercalaires: 3.493 m Nombre de vantaux: 1</p> <p>Absorption (ap): 0</p> <p>Facteur solaire (Sf): 0.09</p> <p>Calculer à partir op et Uf</p>																																																														

Tableau 18: Caractéristiques des compositions de la conception BBC

## 2.2. Le puits provençal:

Tout bâtiment, tant à usage résidentiel que professionnel, nécessite généralement le maintien d'un climat interne peu variable, de manière à assurer le confort de ses occupants. Le confort interne du bâtiment passe par un renouvellement permanent de l'air intérieur. En effet, celui-ci ne doit pas rester confiné ; il est nécessaire de rejeter l'air vicié à l'extérieur du bâtiment et de le remplacer par de l'air provenant de l'extérieur.

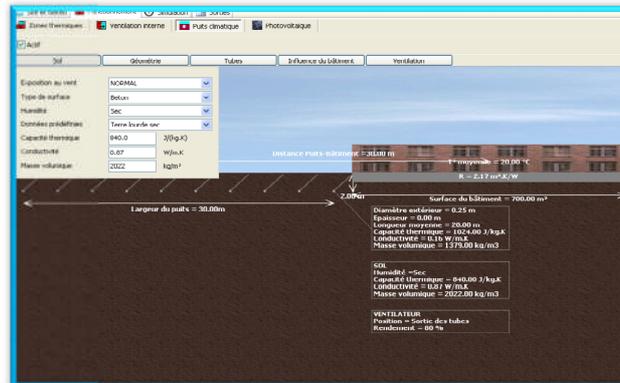


Figure 140 : Caractéristiques du sol pour un puits provençal

L'échangeur air/sol – désigné aussi sous le nom de puits canadien ou puits provençal – représente une "rétro-innovation". Il s'agit précisément d'un système de pré-conditionnement thermique et hygrométrique de l'air de ventilation des bâtiments. Son principe part d'une constatation simple : alors que l'air extérieur subit des variations de température et d'hygrométrie importantes en fonction des conditions atmosphériques, de l'heure du jour et de la saison, le sol, à quelques mètres sous sa surface, présente une température variable lentement, en raison de sa grande inertie thermique, et dont la valeur moyenne est proche de celle du climat local. L'échangeur air/sol permet de mettre en relation l'air de ventilation avec le sol, afin de profiter de l'inertie thermique de ce dernier.

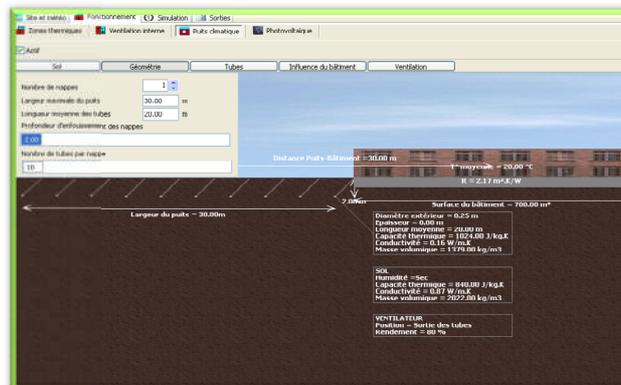


Figure 141: Géométrie du puits provençal

L'échangeur air/sol ainsi constitué utilise le sol comme stockage thermique. L'air le traversant va échanger ses calories avec le sol et, concomitamment, va aussi déposer une partie de l'eau dont il est chargé, dans l'échangeur air/sol.

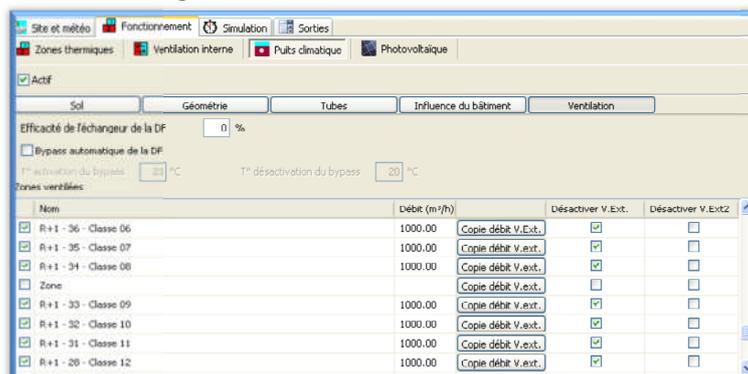


Figure 142 : Caractéristiques de l'air de ventilation pour un puits canadien

L'air de ventilation, mis en mouvement par un ventilateur, est aspiré à l'extérieur, parcourt les tubes à une vitesse suffisamment faible pour lui permettre d'échanger de la chaleur avec le sol entourant les tubes, puis est insufflé dans le bâtiment.

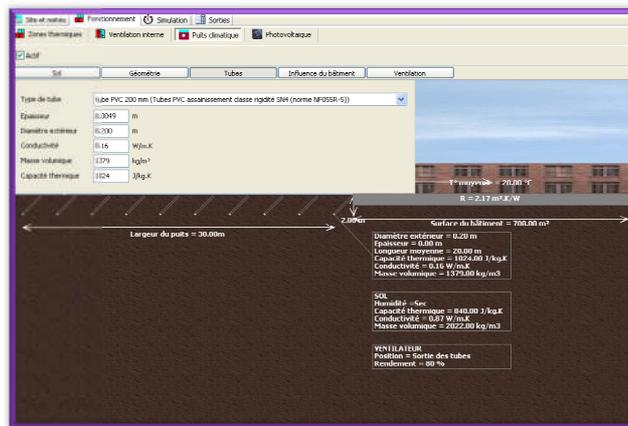


Figure 143: Caractéristiques des tubes d'un puits provençal

En pratique et de manière générale, l'échangeur air/sol se présente sous la forme d'un réseau de tubes enfoui sous le sol à quelques mètres de profondeur et à proximité du bâtiment à ventiler.

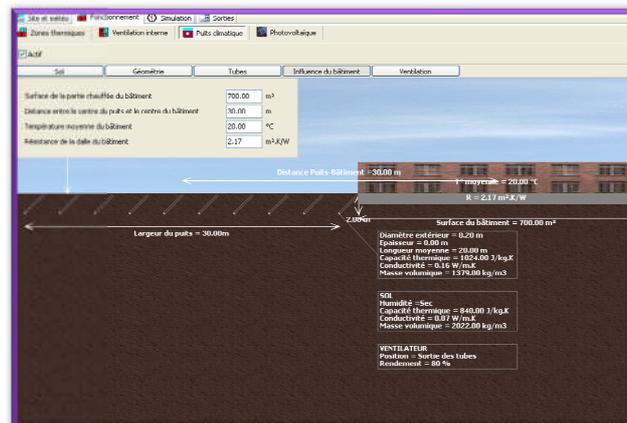


Figure 144: L'influence du bâtiment pour la mise en œuvre d'un puits canadien

### 2.3. L'installation des panneaux photovoltaïques :

Sur PLEIADES il est permis de définir les caractéristiques des panneaux photovoltaïques à installer, où les mettre et dans quelle surface, on a mis les panneaux en toiture avec une surface de 2,8m² chacun et une puissance de 400W, ils sont tous orientés sud pour maximiser les gains solaires.

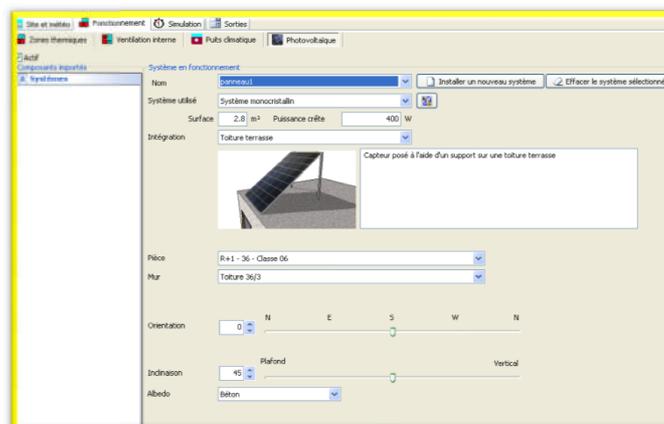


Figure 145 : Caractéristiques d'un panneau photovoltaïque

3. Les recommandations et leurs résultats :

3.1.Recommandations pour le projet de l'école E1-D1-BH :

E1-D1-BH		Conception du BET	Conception BCC
Simulation thermique	Diagramme de Sankey		
	Température C8 le 15 Janvier		
	Température C8 le 15 Juin		
<b>OBSERVATIONS</b>		<p>Malgré les températures d'inconfort en été mais cette conception présente des valeurs plus ou moins petites et en hiver le chauffage assure le bon fonctionnement de l'usage au sein de cette salle de classe avec des besoins thermiques nets importants par rapport à la conception BCC.</p>	<p>En hiver la conception BCC assure des températures plus élevées à celle du BET et confortable avec des besoins thermiques nets moins importants mais en été elle met l'utilisateur en souffrance d'une température intérieure variable entre 35°C et 39°C.</p>

Tableau 19 : Résultats de la simulation thermique des conceptions BET et BCC du projet E1-D1-BH

E1-D1-BH		Conception du BET-T	Conception du BBC-T
Simulation thermique	Diagramme de Sankey		
	Température C8 le 15 Janvier		
	Température C8 le 15 Juin		
Observations	<p>Les besoins thermiques nets s'augmentent par rapport la conception du BET                      En été les températures diminuent d'une manière remarquable assurant plus de confort mais en hiver reste le grand rôle au chauffage pour avoir un niveau souhaitable de température.</p>		

**Tableau 20: Résultats de la simulation thermique des conceptions BET-T et BBC-T du projet E1-D1-BH**

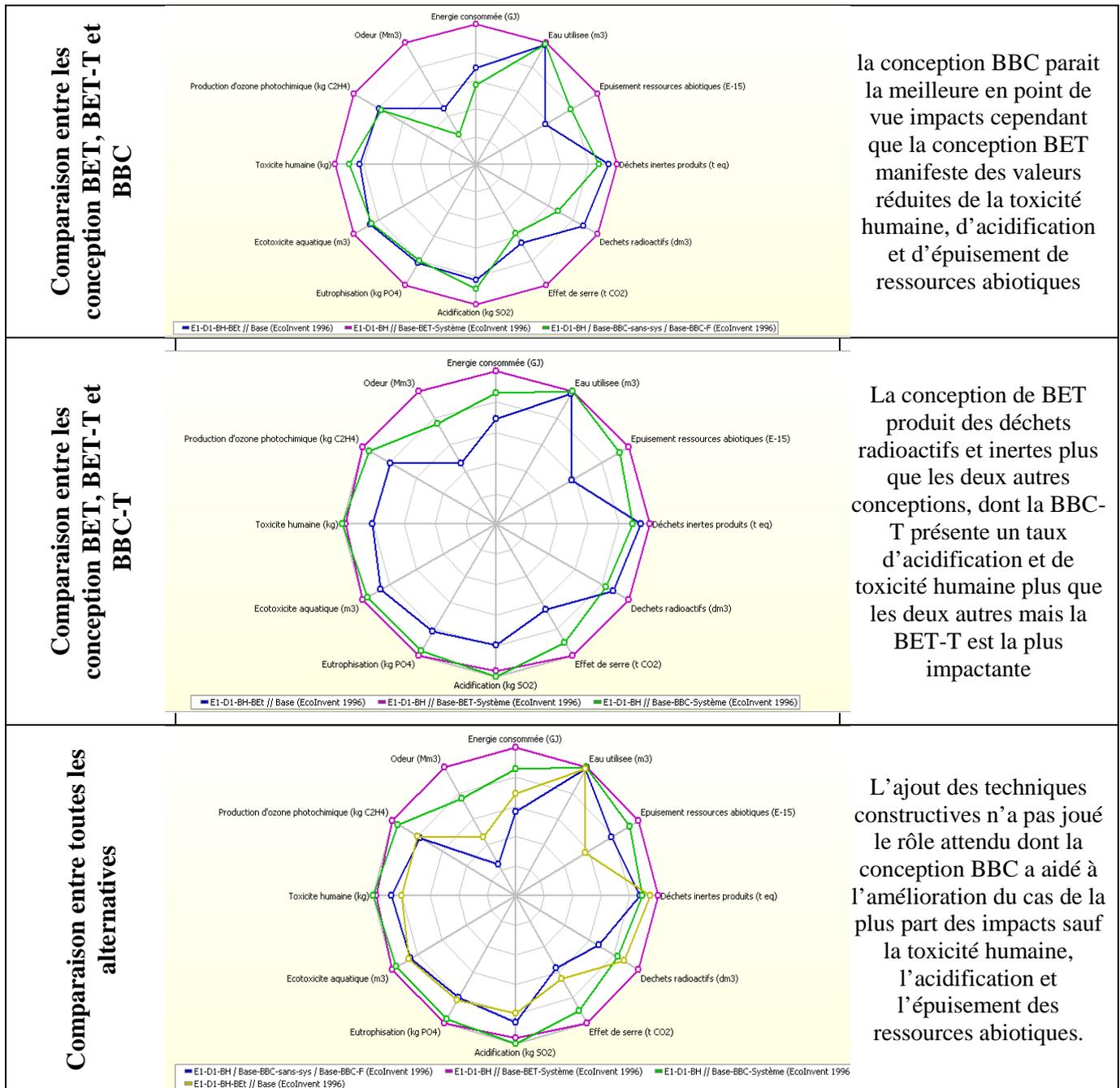
E1-D1-BH		Conception du BET						Conception BCC																																																																																																																																																																	
ACV	Résultats numériques	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Impact</th> <th>Construction</th> <th>Utilisation</th> <th>Rénovation</th> <th>Démolition</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Energie consommée (GJ)</td> <td>3 438.60</td> <td>4 854.49</td> <td>276.97</td> <td>82.82</td> <td>8 652.88</td> </tr> <tr> <td>Eau utilisée (m3)</td> <td>1 933.26</td> <td>1 739.26</td> <td>251.71</td> <td>38.82</td> <td>3 963.04</td> </tr> <tr> <td>Équipement ressources abiotiques (E-15)</td> <td>1.29</td> <td>0.79</td> <td>3.30</td> <td>0.03</td> <td>5.42</td> </tr> <tr> <td>Déchets inertes produits (t eq)</td> <td>72.70</td> <td>29.36</td> <td>3.11</td> <td>979.71</td> <td>1 084.87</td> </tr> <tr> <td>Déchets radioactifs (da3)</td> <td>6.48</td> <td>1.00</td> <td>0.92</td> <td>0.31</td> <td>8.72</td> </tr> <tr> <td>Effet de serre (t CO2)</td> <td>203.74</td> <td>196.42</td> <td>10.91</td> <td>5.07</td> <td>416.14</td> </tr> <tr> <td>Acidification (kg SO2)</td> <td>894.90</td> <td>462.65</td> <td>61.70</td> <td>57.87</td> <td>1 487.12</td> </tr> <tr> <td>Eutrophisation (kg PO4)</td> <td>100.08</td> <td>43.46</td> <td>4.35</td> <td>9.05</td> <td>156.94</td> </tr> <tr> <td>Écotoxicité aquatique (m3)</td> <td>4 194 337.98</td> <td>2 694 082.62</td> <td>219 103.32</td> <td>166 303.06</td> <td>7 273 836.98</td> </tr> <tr> <td>Toxicité humaine (kg)</td> <td>1 293.19</td> <td>582.10</td> <td>215.70</td> <td>69.57</td> <td>2 260.56</td> </tr> <tr> <td>Production d'ozone photochimique (kg C2H4)</td> <td>668.92</td> <td>264.48</td> <td>22.17</td> <td>62.90</td> <td>1 018.47</td> </tr> <tr> <td>Odeur (Nk3)</td> <td>288.17</td> <td>2 852.12</td> <td>20.03</td> <td>5.71</td> <td>3 166.02</td> </tr> </tbody> </table>						Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total	Energie consommée (GJ)	3 438.60	4 854.49	276.97	82.82	8 652.88	Eau utilisée (m3)	1 933.26	1 739.26	251.71	38.82	3 963.04	Équipement ressources abiotiques (E-15)	1.29	0.79	3.30	0.03	5.42	Déchets inertes produits (t eq)	72.70	29.36	3.11	979.71	1 084.87	Déchets radioactifs (da3)	6.48	1.00	0.92	0.31	8.72	Effet de serre (t CO2)	203.74	196.42	10.91	5.07	416.14	Acidification (kg SO2)	894.90	462.65	61.70	57.87	1 487.12	Eutrophisation (kg PO4)	100.08	43.46	4.35	9.05	156.94	Écotoxicité aquatique (m3)	4 194 337.98	2 694 082.62	219 103.32	166 303.06	7 273 836.98	Toxicité humaine (kg)	1 293.19	582.10	215.70	69.57	2 260.56	Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	668.92	264.48	22.17	62.90	1 018.47	Odeur (Nk3)	288.17	2 852.12	20.03	5.71	3 166.02	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Impact</th> <th>Construction</th> <th>Utilisation</th> <th>Rénovation</th> <th>Démolition</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Energie consommée (GJ)</td> <td>6 975.62</td> <td>13 164.14</td> <td>766.43</td> <td>172.30</td> <td>20 978.49</td> </tr> <tr> <td>Eau utilisée (m3)</td> <td>4 255.59</td> <td>62 221.23</td> <td>794.12</td> <td>80.76</td> <td>67 351.71</td> </tr> <tr> <td>Équipement ressources abiotiques (E-15)</td> <td>3.24</td> <td>1.54</td> <td>11.32</td> <td>0.06</td> <td>16.16</td> </tr> <tr> <td>Déchets inertes produits (t eq)</td> <td>133.98</td> <td>91.06</td> <td>6.11</td> <td>2 040.84</td> <td>2 272.00</td> </tr> <tr> <td>Déchets radioactifs (da3)</td> <td>10.31</td> <td>2.87</td> <td>2.12</td> <td>0.64</td> <td>15.95</td> </tr> <tr> <td>Effet de serre (t CO2)</td> <td>537.80</td> <td>433.38</td> <td>29.06</td> <td>10.54</td> <td>1 010.79</td> </tr> <tr> <td>Acidification (kg SO2)</td> <td>2 460.55</td> <td>1 529.58</td> <td>181.22</td> <td>120.40</td> <td>4 291.75</td> </tr> <tr> <td>Eutrophisation (kg PO4)</td> <td>240.28</td> <td>127.41</td> <td>10.58</td> <td>18.83</td> <td>397.10</td> </tr> <tr> <td>Écotoxicité aquatique (m3)</td> <td>8 996 576.35</td> <td>9 652 221.45</td> <td>728 686.25</td> <td>345 903.05</td> <td>19 723 467.10</td> </tr> <tr> <td>Toxicité humaine (kg)</td> <td>3 617.88</td> <td>1 894.65</td> <td>686.19</td> <td>144.74</td> <td>6 343.46</td> </tr> <tr> <td>Production d'ozone photochimique (kg C2H4)</td> <td>1 582.74</td> <td>719.94</td> <td>65.41</td> <td>130.86</td> <td>2 498.96</td> </tr> <tr> <td>Odeur (Nk3)</td> <td>789.29</td> <td>4 413.64</td> <td>68.05</td> <td>11.87</td> <td>5 282.85</td> </tr> </tbody> </table>						Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total	Energie consommée (GJ)	6 975.62	13 164.14	766.43	172.30	20 978.49	Eau utilisée (m3)	4 255.59	62 221.23	794.12	80.76	67 351.71	Équipement ressources abiotiques (E-15)	3.24	1.54	11.32	0.06	16.16	Déchets inertes produits (t eq)	133.98	91.06	6.11	2 040.84	2 272.00	Déchets radioactifs (da3)	10.31	2.87	2.12	0.64	15.95	Effet de serre (t CO2)	537.80	433.38	29.06	10.54	1 010.79	Acidification (kg SO2)	2 460.55	1 529.58	181.22	120.40	4 291.75	Eutrophisation (kg PO4)	240.28	127.41	10.58	18.83	397.10	Écotoxicité aquatique (m3)	8 996 576.35	9 652 221.45	728 686.25	345 903.05	19 723 467.10	Toxicité humaine (kg)	3 617.88	1 894.65	686.19	144.74	6 343.46	Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	1 582.74	719.94	65.41	130.86	2 498.96	Odeur (Nk3)	789.29	4 413.64	68.05	11.87	5 282.85
	Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total																																																																																																																																																																			
	Energie consommée (GJ)	3 438.60	4 854.49	276.97	82.82	8 652.88																																																																																																																																																																			
Eau utilisée (m3)	1 933.26	1 739.26	251.71	38.82	3 963.04																																																																																																																																																																				
Équipement ressources abiotiques (E-15)	1.29	0.79	3.30	0.03	5.42																																																																																																																																																																				
Déchets inertes produits (t eq)	72.70	29.36	3.11	979.71	1 084.87																																																																																																																																																																				
Déchets radioactifs (da3)	6.48	1.00	0.92	0.31	8.72																																																																																																																																																																				
Effet de serre (t CO2)	203.74	196.42	10.91	5.07	416.14																																																																																																																																																																				
Acidification (kg SO2)	894.90	462.65	61.70	57.87	1 487.12																																																																																																																																																																				
Eutrophisation (kg PO4)	100.08	43.46	4.35	9.05	156.94																																																																																																																																																																				
Écotoxicité aquatique (m3)	4 194 337.98	2 694 082.62	219 103.32	166 303.06	7 273 836.98																																																																																																																																																																				
Toxicité humaine (kg)	1 293.19	582.10	215.70	69.57	2 260.56																																																																																																																																																																				
Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	668.92	264.48	22.17	62.90	1 018.47																																																																																																																																																																				
Odeur (Nk3)	288.17	2 852.12	20.03	5.71	3 166.02																																																																																																																																																																				
Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total																																																																																																																																																																				
Energie consommée (GJ)	6 975.62	13 164.14	766.43	172.30	20 978.49																																																																																																																																																																				
Eau utilisée (m3)	4 255.59	62 221.23	794.12	80.76	67 351.71																																																																																																																																																																				
Équipement ressources abiotiques (E-15)	3.24	1.54	11.32	0.06	16.16																																																																																																																																																																				
Déchets inertes produits (t eq)	133.98	91.06	6.11	2 040.84	2 272.00																																																																																																																																																																				
Déchets radioactifs (da3)	10.31	2.87	2.12	0.64	15.95																																																																																																																																																																				
Effet de serre (t CO2)	537.80	433.38	29.06	10.54	1 010.79																																																																																																																																																																				
Acidification (kg SO2)	2 460.55	1 529.58	181.22	120.40	4 291.75																																																																																																																																																																				
Eutrophisation (kg PO4)	240.28	127.41	10.58	18.83	397.10																																																																																																																																																																				
Écotoxicité aquatique (m3)	8 996 576.35	9 652 221.45	728 686.25	345 903.05	19 723 467.10																																																																																																																																																																				
Toxicité humaine (kg)	3 617.88	1 894.65	686.19	144.74	6 343.46																																																																																																																																																																				
Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	1 582.74	719.94	65.41	130.86	2 498.96																																																																																																																																																																				
Odeur (Nk3)	789.29	4 413.64	68.05	11.87	5 282.85																																																																																																																																																																				
Ecoprofil																																																																																																																																																																									
ACV	Résultats numériques	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Impact</th> <th>Construction</th> <th>Utilisation</th> <th>Rénovation</th> <th>Démolition</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Energie consommée (GJ)</td> <td>7 047.62</td> <td>29 305.37</td> <td>766.43</td> <td>191.20</td> <td>37 310.61</td> </tr> <tr> <td>Eau utilisée (m3)</td> <td>4 089.31</td> <td>63 294.55</td> <td>794.12</td> <td>89.63</td> <td>68 267.61</td> </tr> <tr> <td>Équipement ressources abiotiques (E-15)</td> <td>3.20</td> <td>6.08</td> <td>11.32</td> <td>0.07</td> <td>20.67</td> </tr> <tr> <td>Déchets inertes produits (t eq)</td> <td>163.27</td> <td>161.71</td> <td>6.11</td> <td>2 266.05</td> <td>2 597.14</td> </tr> <tr> <td>Déchets radioactifs (da3)</td> <td>12.53</td> <td>8.30</td> <td>2.12</td> <td>0.71</td> <td>23.66</td> </tr> <tr> <td>Effet de serre (t CO2)</td> <td>430.71</td> <td>1 303.12</td> <td>29.06</td> <td>11.70</td> <td>1 774.59</td> </tr> <tr> <td>Acidification (kg SO2)</td> <td>1 932.17</td> <td>2 560.84</td> <td>181.22</td> <td>133.61</td> <td>4 807.84</td> </tr> <tr> <td>Eutrophisation (kg PO4)</td> <td>216.10</td> <td>250.08</td> <td>10.58</td> <td>20.89</td> <td>497.66</td> </tr> <tr> <td>Écotoxicité aquatique (m3)</td> <td>8 492 402.37</td> <td>13 523 837.16</td> <td>728 686.25</td> <td>383 945.70</td> <td>23 128 971.48</td> </tr> <tr> <td>Toxicité humaine (kg)</td> <td>2 956.98</td> <td>3 279.81</td> <td>686.19</td> <td>160.62</td> <td>7 083.60</td> </tr> <tr> <td>Production d'ozone photochimique (kg C2H4)</td> <td>1 437.64</td> <td>1 592.90</td> <td>65.41</td> <td>145.22</td> <td>3 241.18</td> </tr> <tr> <td>Odeur (Nk3)</td> <td>761.07</td> <td>20 917.47</td> <td>68.05</td> <td>13.17</td> <td>21 759.77</td> </tr> </tbody> </table>						Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total	Energie consommée (GJ)	7 047.62	29 305.37	766.43	191.20	37 310.61	Eau utilisée (m3)	4 089.31	63 294.55	794.12	89.63	68 267.61	Équipement ressources abiotiques (E-15)	3.20	6.08	11.32	0.07	20.67	Déchets inertes produits (t eq)	163.27	161.71	6.11	2 266.05	2 597.14	Déchets radioactifs (da3)	12.53	8.30	2.12	0.71	23.66	Effet de serre (t CO2)	430.71	1 303.12	29.06	11.70	1 774.59	Acidification (kg SO2)	1 932.17	2 560.84	181.22	133.61	4 807.84	Eutrophisation (kg PO4)	216.10	250.08	10.58	20.89	497.66	Écotoxicité aquatique (m3)	8 492 402.37	13 523 837.16	728 686.25	383 945.70	23 128 971.48	Toxicité humaine (kg)	2 956.98	3 279.81	686.19	160.62	7 083.60	Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	1 437.64	1 592.90	65.41	145.22	3 241.18	Odeur (Nk3)	761.07	20 917.47	68.05	13.17	21 759.77	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Impact</th> <th>Construction</th> <th>Utilisation</th> <th>Rénovation</th> <th>Démolition</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Energie consommée (GJ)</td> <td>6 876.62</td> <td>24 002.58</td> <td>766.43</td> <td>172.30</td> <td>31 818.93</td> </tr> <tr> <td>Eau utilisée (m3)</td> <td>4 255.59</td> <td>62 941.94</td> <td>794.12</td> <td>80.76</td> <td>68 072.41</td> </tr> <tr> <td>Équipement ressources abiotiques (E-15)</td> <td>3.24</td> <td>4.59</td> <td>11.32</td> <td>0.06</td> <td>19.21</td> </tr> <tr> <td>Déchets inertes produits (t eq)</td> <td>133.98</td> <td>138.50</td> <td>6.11</td> <td>2 040.94</td> <td>2 319.53</td> </tr> <tr> <td>Déchets radioactifs (da3)</td> <td>10.31</td> <td>6.51</td> <td>2.12</td> <td>0.64</td> <td>19.59</td> </tr> <tr> <td>Effet de serre (t CO2)</td> <td>537.80</td> <td>1 017.39</td> <td>29.06</td> <td>10.54</td> <td>1 594.80</td> </tr> <tr> <td>Acidification (kg SO2)</td> <td>2 460.55</td> <td>2 222.04</td> <td>181.22</td> <td>120.40</td> <td>4 984.21</td> </tr> <tr> <td>Eutrophisation (kg PO4)</td> <td>240.28</td> <td>209.78</td> <td>10.58</td> <td>18.83</td> <td>479.47</td> </tr> <tr> <td>Écotoxicité aquatique (m3)</td> <td>8 996 576.35</td> <td>12 251 917.02</td> <td>728 686.25</td> <td>345 903.05</td> <td>22 323 163.46</td> </tr> <tr> <td>Toxicité humaine (kg)</td> <td>3 617.88</td> <td>2 824.75</td> <td>686.19</td> <td>144.74</td> <td>7 273.56</td> </tr> <tr> <td>Production d'ozone photochimique (kg C2H4)</td> <td>1 582.74</td> <td>1 306.08</td> <td>65.41</td> <td>130.86</td> <td>3 086.10</td> </tr> <tr> <td>Odeur (Nk3)</td> <td>789.29</td> <td>15 495.56</td> <td>68.05</td> <td>11.87</td> <td>16 364.78</td> </tr> </tbody> </table>						Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total	Energie consommée (GJ)	6 876.62	24 002.58	766.43	172.30	31 818.93	Eau utilisée (m3)	4 255.59	62 941.94	794.12	80.76	68 072.41	Équipement ressources abiotiques (E-15)	3.24	4.59	11.32	0.06	19.21	Déchets inertes produits (t eq)	133.98	138.50	6.11	2 040.94	2 319.53	Déchets radioactifs (da3)	10.31	6.51	2.12	0.64	19.59	Effet de serre (t CO2)	537.80	1 017.39	29.06	10.54	1 594.80	Acidification (kg SO2)	2 460.55	2 222.04	181.22	120.40	4 984.21	Eutrophisation (kg PO4)	240.28	209.78	10.58	18.83	479.47	Écotoxicité aquatique (m3)	8 996 576.35	12 251 917.02	728 686.25	345 903.05	22 323 163.46	Toxicité humaine (kg)	3 617.88	2 824.75	686.19	144.74	7 273.56	Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	1 582.74	1 306.08	65.41	130.86	3 086.10	Odeur (Nk3)	789.29	15 495.56	68.05	11.87	16 364.78
	Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total																																																																																																																																																																			
	Energie consommée (GJ)	7 047.62	29 305.37	766.43	191.20	37 310.61																																																																																																																																																																			
Eau utilisée (m3)	4 089.31	63 294.55	794.12	89.63	68 267.61																																																																																																																																																																				
Équipement ressources abiotiques (E-15)	3.20	6.08	11.32	0.07	20.67																																																																																																																																																																				
Déchets inertes produits (t eq)	163.27	161.71	6.11	2 266.05	2 597.14																																																																																																																																																																				
Déchets radioactifs (da3)	12.53	8.30	2.12	0.71	23.66																																																																																																																																																																				
Effet de serre (t CO2)	430.71	1 303.12	29.06	11.70	1 774.59																																																																																																																																																																				
Acidification (kg SO2)	1 932.17	2 560.84	181.22	133.61	4 807.84																																																																																																																																																																				
Eutrophisation (kg PO4)	216.10	250.08	10.58	20.89	497.66																																																																																																																																																																				
Écotoxicité aquatique (m3)	8 492 402.37	13 523 837.16	728 686.25	383 945.70	23 128 971.48																																																																																																																																																																				
Toxicité humaine (kg)	2 956.98	3 279.81	686.19	160.62	7 083.60																																																																																																																																																																				
Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	1 437.64	1 592.90	65.41	145.22	3 241.18																																																																																																																																																																				
Odeur (Nk3)	761.07	20 917.47	68.05	13.17	21 759.77																																																																																																																																																																				
Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total																																																																																																																																																																				
Energie consommée (GJ)	6 876.62	24 002.58	766.43	172.30	31 818.93																																																																																																																																																																				
Eau utilisée (m3)	4 255.59	62 941.94	794.12	80.76	68 072.41																																																																																																																																																																				
Équipement ressources abiotiques (E-15)	3.24	4.59	11.32	0.06	19.21																																																																																																																																																																				
Déchets inertes produits (t eq)	133.98	138.50	6.11	2 040.94	2 319.53																																																																																																																																																																				
Déchets radioactifs (da3)	10.31	6.51	2.12	0.64	19.59																																																																																																																																																																				
Effet de serre (t CO2)	537.80	1 017.39	29.06	10.54	1 594.80																																																																																																																																																																				
Acidification (kg SO2)	2 460.55	2 222.04	181.22	120.40	4 984.21																																																																																																																																																																				
Eutrophisation (kg PO4)	240.28	209.78	10.58	18.83	479.47																																																																																																																																																																				
Écotoxicité aquatique (m3)	8 996 576.35	12 251 917.02	728 686.25	345 903.05	22 323 163.46																																																																																																																																																																				
Toxicité humaine (kg)	3 617.88	2 824.75	686.19	144.74	7 273.56																																																																																																																																																																				
Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	1 582.74	1 306.08	65.41	130.86	3 086.10																																																																																																																																																																				
Odeur (Nk3)	789.29	15 495.56	68.05	11.87	16 364.78																																																																																																																																																																				
Ecoprofil																																																																																																																																																																									
Observations	<p>La conception du BET de moindres valeurs en ce qui concerne les impacts en phase d'utilisation autant que l'ajout des puits et des panneaux a augmenté l'effet de serre, l'acidification et la production d'ozone photochimique, et toutes les autre conception ont accentué la consommation d'énergie et l'utilisation d'eau.</p>																																																																																																																																																																								

Tableau 21: Résultats numériques et écoprofil de l'ACV des conceptions du projet E1-D1-BH

E1-D1-BH		Conception du BET		Conception BCC	
ACV	Aspects énergétiques				
	Aspects environnementaux				
	Aspects sanitaires				
	Aspects énergétiques				
	Aspects environnementaux				
	Aspects sanitaires				
OBSERVATIONS	<p>La conception du BET présente une consommation d'énergie et une production de déchets inertes plus importantes que les autres alternatives soit en construction ou en utilisation autant que l'utilisation de l'eau est la plus raisonnable.</p> <p>Les impacts à aspect environnemental sont accrus en matière d'effet de serre et d'acidification.</p> <p>En ce qui concerne les impacts à aspect sanitaire la conception BBC-T présente les impacts les plus aggravés par rapport aux autres et la conception BET présente les moindres valeurs d'impacts en matières de toxicité humaine, de production de d'ozone photochimique et d'odeur dans la phase d'utilisation.</p>				

Tableau 22: Résultats graphiques de l'ACV des conceptions du projet E1-D1-BH

E1-D1-BH	Radars Comparatifs	OBSERVATIONS
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);"><b>Comparaison entre la conception du BET et BBC</b></p>		<p>La conception du BET présente de moindres impacts par rapport celle BBC en matière de toxicité humaine, d'acidification et d'épuisement des ressources abiotiques</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);"><b>Comparaison entre la conception du BET et BET-T</b></p>		<p>L'ajout du puis canadien et des panneaux n'améliore pas l'effet de la conception du BET dont cette dernière paraît moins impactante.</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);"><b>Comparaison entre BBC et BBC-T</b></p>		<p>L'ajout du puis canadien et des panneaux n'améliore pas aussi l'effet de la conception BBC dont cette dernière paraît moins impactante.</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);"><b>Comparaison entre la conception BET et BBC-T</b></p>		<p>Par rapport BBC-T, la conception du BET présente plus de déchets radioactifs et inertes produits autant que les autres impacts sont plus importants par la première.</p>



**Tableau 23: Radars comparatifs des résultats de l'ACV des conceptions du projet E1-D1-BH**

3.2.Recommandations pour le projet de l'école E2-A1-MM :

E2-A1-MM		Conception du BET	Conception BCC
Simulation thermique	Diagramme de Sankey		
	Température C12 le 15 Janvier		
	Température C12 le 15 Juin		
OBSERVATIONS		<p>En été la température varie entre 30°C et 35°C dépassant l'intervalle du confort mais en hiver avec le taux des besoins nets moyen et la présence du chauffage une température de confort est assurée pendant la période d'utilisation de la salle de classe .</p>	<p>La température augmente d'une manière importante en hiver et elle dépasse la consigne voulue par le scénario proposé. En été son augmentation est très inquiétante et l'espace risquera d'une surchauffe dont la température varie 43°C et 48°C</p>

Tableau 24: Résultats de la simulation thermique des conceptions BET et BBC du projet E2-A1-MM

E2-A1-MM		Conception du BET-T	Conception du BBC-T
Simulation thermique	Diagramme de Sankey		
	Température C12 le 15 Janvier		
	Température C12 le 15 Juin		
OBSERVATIONS	<p>La salle de classe 12 situant à l'étage paraît confortable thermiquement en été dont la température varie entre 26°C et 31° où la ventilation est assurée via le puis provençal. C'est ainsi en hiver avec la présence du chauffage. Les besoins du bâtiment s'augmentent par rapport la conception BET</p>	<p>La salle de classe 12 paraît plus confortable thermiquement en été avec la conception BBC-T dont la température varie entre 25,5°C et 30° où la ventilation est assurée via le puis provençal. C'est ainsi en hiver dont la température augmente jusqu'au 22°C Les besoins du bâtiment augmentent un peu par rapport la conception BET</p>	

Tableau 25: Résultats de la simulation thermique des conceptions BET-T et BBC-T du projet E2-A1-MM

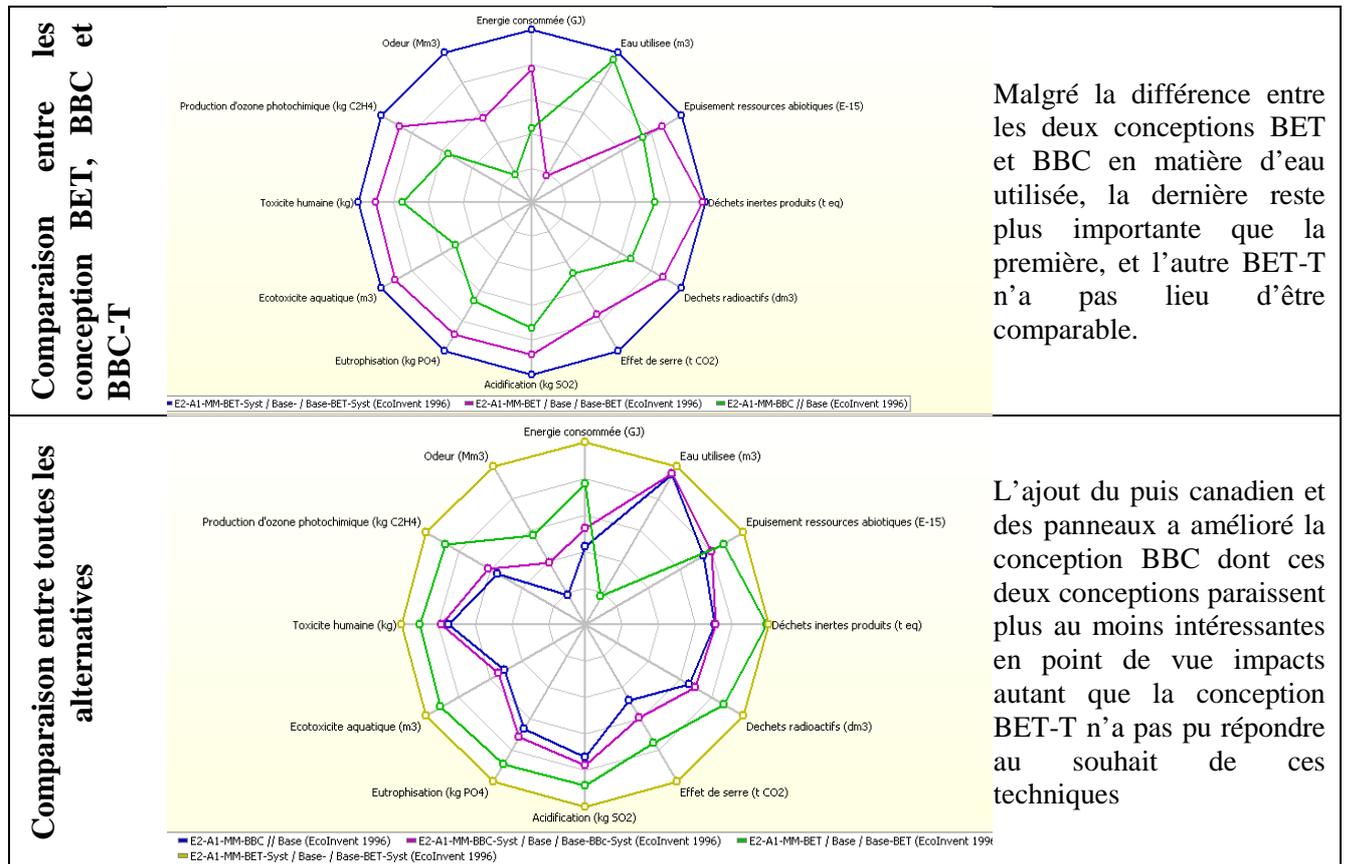
E2-A1-MM		Conception du BET					Conception BCC																																																																																																																																																																
ACV	Résultats numériques	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Impact</th> <th>Construction</th> <th>Utilisation</th> <th>Rénovation</th> <th>Démolition</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Energie consommée (GJ)</td> <td>3 438.60</td> <td>4 654.49</td> <td>276.97</td> <td>82.82</td> <td>8 452.88</td> </tr> <tr> <td>Eau utilisée (m3)</td> <td>1 933.26</td> <td>1 739.26</td> <td>251.71</td> <td>38.82</td> <td>3 963.04</td> </tr> <tr> <td>Équipement ressources abiotiques (E-15)</td> <td>1.29</td> <td>0.79</td> <td>3.30</td> <td>0.03</td> <td>5.42</td> </tr> <tr> <td>Déchets inertes produits (t eq)</td> <td>72.70</td> <td>29.36</td> <td>3.11</td> <td>979.71</td> <td>1 084.87</td> </tr> <tr> <td>Déchets radioactifs (dn3)</td> <td>6.48</td> <td>1.00</td> <td>0.92</td> <td>0.31</td> <td>8.72</td> </tr> <tr> <td>Effet de serre (t CO2)</td> <td>203.74</td> <td>196.42</td> <td>10.91</td> <td>5.07</td> <td>416.14</td> </tr> <tr> <td>Acidification (kg SO2)</td> <td>884.90</td> <td>462.65</td> <td>61.70</td> <td>57.87</td> <td>1 467.12</td> </tr> <tr> <td>Eutrophication (kg PO4)</td> <td>100.08</td> <td>43.46</td> <td>4.35</td> <td>9.05</td> <td>156.94</td> </tr> <tr> <td>Ecotoxicité aquatique (m3)</td> <td>4 194 337.96</td> <td>2 694 092.62</td> <td>219 100.32</td> <td>166 300.06</td> <td>7 273 830.96</td> </tr> <tr> <td>Toxicité humaine (kg)</td> <td>1 383.19</td> <td>582.10</td> <td>215.70</td> <td>69.57</td> <td>2 260.56</td> </tr> <tr> <td>Production d'ozone photochimique (kg C2H4)</td> <td>660.92</td> <td>264.49</td> <td>22.17</td> <td>62.90</td> <td>1 010.47</td> </tr> <tr> <td>Odeur (Mn3)</td> <td>288.17</td> <td>2 852.12</td> <td>20.03</td> <td>5.71</td> <td>3 166.02</td> </tr> </tbody> </table>					Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total	Energie consommée (GJ)	3 438.60	4 654.49	276.97	82.82	8 452.88	Eau utilisée (m3)	1 933.26	1 739.26	251.71	38.82	3 963.04	Équipement ressources abiotiques (E-15)	1.29	0.79	3.30	0.03	5.42	Déchets inertes produits (t eq)	72.70	29.36	3.11	979.71	1 084.87	Déchets radioactifs (dn3)	6.48	1.00	0.92	0.31	8.72	Effet de serre (t CO2)	203.74	196.42	10.91	5.07	416.14	Acidification (kg SO2)	884.90	462.65	61.70	57.87	1 467.12	Eutrophication (kg PO4)	100.08	43.46	4.35	9.05	156.94	Ecotoxicité aquatique (m3)	4 194 337.96	2 694 092.62	219 100.32	166 300.06	7 273 830.96	Toxicité humaine (kg)	1 383.19	582.10	215.70	69.57	2 260.56	Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	660.92	264.49	22.17	62.90	1 010.47	Odeur (Mn3)	288.17	2 852.12	20.03	5.71	3 166.02	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Impact</th> <th>Construction</th> <th>Utilisation</th> <th>Rénovation</th> <th>Démolition</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Energie consommée (GJ)</td> <td>1 469.95</td> <td>2 956.69</td> <td>283.02</td> <td>59.89</td> <td>4 769.56</td> </tr> <tr> <td>Eau utilisée (m3)</td> <td>1 089.23</td> <td>20 149.13</td> <td>258.16</td> <td>20.07</td> <td>21 516.59</td> </tr> <tr> <td>Équipement ressources abiotiques (E-15)</td> <td>0.89</td> <td>0.31</td> <td>3.40</td> <td>0.02</td> <td>4.62</td> </tr> <tr> <td>Déchets inertes produits (t eq)</td> <td>47.52</td> <td>21.25</td> <td>3.15</td> <td>706.20</td> <td>778.12</td> </tr> <tr> <td>Déchets radioactifs (dn3)</td> <td>4.70</td> <td>0.70</td> <td>0.94</td> <td>0.22</td> <td>6.55</td> </tr> <tr> <td>Effet de serre (t CO2)</td> <td>161.05</td> <td>90.16</td> <td>11.15</td> <td>3.66</td> <td>266.02</td> </tr> <tr> <td>Acidification (kg SO2)</td> <td>743.50</td> <td>365.00</td> <td>63.32</td> <td>41.85</td> <td>1 213.67</td> </tr> <tr> <td>Eutrophication (kg PO4)</td> <td>77.26</td> <td>29.29</td> <td>4.46</td> <td>6.54</td> <td>117.56</td> </tr> <tr> <td>Ecotoxicité aquatique (m3)</td> <td>1 351 324.89</td> <td>2 338 320.59</td> <td>225 689.24</td> <td>120 259.56</td> <td>4 035 594.28</td> </tr> <tr> <td>Toxicité humaine (kg)</td> <td>1 141.79</td> <td>450.75</td> <td>221.45</td> <td>50.31</td> <td>1 864.29</td> </tr> <tr> <td>Production d'ozone photochimique (kg C2H4)</td> <td>403.93</td> <td>161.86</td> <td>22.93</td> <td>45.48</td> <td>634.20</td> </tr> <tr> <td>Odeur (Mn3)</td> <td>248.70</td> <td>747.22</td> <td>20.61</td> <td>4.13</td> <td>1 020.74</td> </tr> </tbody> </table>					Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total	Energie consommée (GJ)	1 469.95	2 956.69	283.02	59.89	4 769.56	Eau utilisée (m3)	1 089.23	20 149.13	258.16	20.07	21 516.59	Équipement ressources abiotiques (E-15)	0.89	0.31	3.40	0.02	4.62	Déchets inertes produits (t eq)	47.52	21.25	3.15	706.20	778.12	Déchets radioactifs (dn3)	4.70	0.70	0.94	0.22	6.55	Effet de serre (t CO2)	161.05	90.16	11.15	3.66	266.02	Acidification (kg SO2)	743.50	365.00	63.32	41.85	1 213.67	Eutrophication (kg PO4)	77.26	29.29	4.46	6.54	117.56	Ecotoxicité aquatique (m3)	1 351 324.89	2 338 320.59	225 689.24	120 259.56	4 035 594.28	Toxicité humaine (kg)	1 141.79	450.75	221.45	50.31	1 864.29	Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	403.93	161.86	22.93	45.48	634.20	Odeur (Mn3)	248.70	747.22	20.61	4.13	1 020.74
	Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total																																																																																																																																																																	
Energie consommée (GJ)	3 438.60	4 654.49	276.97	82.82	8 452.88																																																																																																																																																																		
Eau utilisée (m3)	1 933.26	1 739.26	251.71	38.82	3 963.04																																																																																																																																																																		
Équipement ressources abiotiques (E-15)	1.29	0.79	3.30	0.03	5.42																																																																																																																																																																		
Déchets inertes produits (t eq)	72.70	29.36	3.11	979.71	1 084.87																																																																																																																																																																		
Déchets radioactifs (dn3)	6.48	1.00	0.92	0.31	8.72																																																																																																																																																																		
Effet de serre (t CO2)	203.74	196.42	10.91	5.07	416.14																																																																																																																																																																		
Acidification (kg SO2)	884.90	462.65	61.70	57.87	1 467.12																																																																																																																																																																		
Eutrophication (kg PO4)	100.08	43.46	4.35	9.05	156.94																																																																																																																																																																		
Ecotoxicité aquatique (m3)	4 194 337.96	2 694 092.62	219 100.32	166 300.06	7 273 830.96																																																																																																																																																																		
Toxicité humaine (kg)	1 383.19	582.10	215.70	69.57	2 260.56																																																																																																																																																																		
Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	660.92	264.49	22.17	62.90	1 010.47																																																																																																																																																																		
Odeur (Mn3)	288.17	2 852.12	20.03	5.71	3 166.02																																																																																																																																																																		
Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total																																																																																																																																																																		
Energie consommée (GJ)	1 469.95	2 956.69	283.02	59.89	4 769.56																																																																																																																																																																		
Eau utilisée (m3)	1 089.23	20 149.13	258.16	20.07	21 516.59																																																																																																																																																																		
Équipement ressources abiotiques (E-15)	0.89	0.31	3.40	0.02	4.62																																																																																																																																																																		
Déchets inertes produits (t eq)	47.52	21.25	3.15	706.20	778.12																																																																																																																																																																		
Déchets radioactifs (dn3)	4.70	0.70	0.94	0.22	6.55																																																																																																																																																																		
Effet de serre (t CO2)	161.05	90.16	11.15	3.66	266.02																																																																																																																																																																		
Acidification (kg SO2)	743.50	365.00	63.32	41.85	1 213.67																																																																																																																																																																		
Eutrophication (kg PO4)	77.26	29.29	4.46	6.54	117.56																																																																																																																																																																		
Ecotoxicité aquatique (m3)	1 351 324.89	2 338 320.59	225 689.24	120 259.56	4 035 594.28																																																																																																																																																																		
Toxicité humaine (kg)	1 141.79	450.75	221.45	50.31	1 864.29																																																																																																																																																																		
Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	403.93	161.86	22.93	45.48	634.20																																																																																																																																																																		
Odeur (Mn3)	248.70	747.22	20.61	4.13	1 020.74																																																																																																																																																																		
Ecoprofil																																																																																																																																																																							
ACV	Résultats numériques	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Impact</th> <th>Construction</th> <th>Utilisation</th> <th>Rénovation</th> <th>Démolition</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Energie consommée (GJ)</td> <td>3 438.60</td> <td>7 461.23</td> <td>276.97</td> <td>82.82</td> <td>11 259.62</td> </tr> <tr> <td>Eau utilisée (m3)</td> <td>1 933.26</td> <td>20 446.66</td> <td>251.71</td> <td>38.82</td> <td>22 670.44</td> </tr> <tr> <td>Équipement ressources abiotiques (E-15)</td> <td>1.29</td> <td>1.58</td> <td>3.30</td> <td>0.03</td> <td>6.21</td> </tr> <tr> <td>Déchets inertes produits (t eq)</td> <td>72.70</td> <td>40.96</td> <td>3.11</td> <td>979.71</td> <td>1 096.48</td> </tr> <tr> <td>Déchets radioactifs (dn3)</td> <td>6.48</td> <td>2.21</td> <td>0.92</td> <td>0.31</td> <td>9.92</td> </tr> <tr> <td>Effet de serre (t CO2)</td> <td>203.74</td> <td>332.87</td> <td>10.91</td> <td>5.07</td> <td>552.59</td> </tr> <tr> <td>Acidification (kg SO2)</td> <td>884.90</td> <td>652.79</td> <td>61.70</td> <td>57.87</td> <td>1 657.27</td> </tr> <tr> <td>Eutrophication (kg PO4)</td> <td>100.08</td> <td>63.52</td> <td>4.35</td> <td>9.05</td> <td>177.01</td> </tr> <tr> <td>Ecotoxicité aquatique (m3)</td> <td>4 194 337.96</td> <td>3 418 772.97</td> <td>219 100.32</td> <td>166 300.06</td> <td>7 998 511.33</td> </tr> <tr> <td>Toxicité humaine (kg)</td> <td>1 383.19</td> <td>837.31</td> <td>215.70</td> <td>69.57</td> <td>2 505.77</td> </tr> <tr> <td>Production d'ozone photochimique (kg C2H4)</td> <td>660.92</td> <td>495.51</td> <td>22.17</td> <td>62.90</td> <td>1 241.50</td> </tr> <tr> <td>Odeur (Mn3)</td> <td>288.17</td> <td>5 352.95</td> <td>20.03</td> <td>5.71</td> <td>5 666.86</td> </tr> </tbody> </table>					Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total	Energie consommée (GJ)	3 438.60	7 461.23	276.97	82.82	11 259.62	Eau utilisée (m3)	1 933.26	20 446.66	251.71	38.82	22 670.44	Équipement ressources abiotiques (E-15)	1.29	1.58	3.30	0.03	6.21	Déchets inertes produits (t eq)	72.70	40.96	3.11	979.71	1 096.48	Déchets radioactifs (dn3)	6.48	2.21	0.92	0.31	9.92	Effet de serre (t CO2)	203.74	332.87	10.91	5.07	552.59	Acidification (kg SO2)	884.90	652.79	61.70	57.87	1 657.27	Eutrophication (kg PO4)	100.08	63.52	4.35	9.05	177.01	Ecotoxicité aquatique (m3)	4 194 337.96	3 418 772.97	219 100.32	166 300.06	7 998 511.33	Toxicité humaine (kg)	1 383.19	837.31	215.70	69.57	2 505.77	Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	660.92	495.51	22.17	62.90	1 241.50	Odeur (Mn3)	288.17	5 352.95	20.03	5.71	5 666.86	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Impact</th> <th>Construction</th> <th>Utilisation</th> <th>Rénovation</th> <th>Démolition</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Energie consommée (GJ)</td> <td>1 469.95</td> <td>4 101.34</td> <td>283.02</td> <td>59.89</td> <td>5 914.20</td> </tr> <tr> <td>Eau utilisée (m3)</td> <td>1 089.23</td> <td>20 225.24</td> <td>258.16</td> <td>20.07</td> <td>21 600.70</td> </tr> <tr> <td>Équipement ressources abiotiques (E-15)</td> <td>0.89</td> <td>0.63</td> <td>3.40</td> <td>0.02</td> <td>4.94</td> </tr> <tr> <td>Déchets inertes produits (t eq)</td> <td>47.52</td> <td>26.26</td> <td>3.15</td> <td>706.20</td> <td>783.13</td> </tr> <tr> <td>Déchets radioactifs (dn3)</td> <td>4.70</td> <td>1.08</td> <td>0.94</td> <td>0.22</td> <td>6.94</td> </tr> <tr> <td>Effet de serre (t CO2)</td> <td>161.05</td> <td>151.83</td> <td>11.15</td> <td>3.66</td> <td>327.69</td> </tr> <tr> <td>Acidification (kg SO2)</td> <td>743.50</td> <td>438.13</td> <td>63.32</td> <td>41.85</td> <td>1 286.80</td> </tr> <tr> <td>Eutrophication (kg PO4)</td> <td>77.26</td> <td>37.99</td> <td>4.46</td> <td>6.54</td> <td>126.26</td> </tr> <tr> <td>Ecotoxicité aquatique (m3)</td> <td>1 351 324.89</td> <td>2 612 873.48</td> <td>225 689.24</td> <td>120 259.56</td> <td>4 310 147.18</td> </tr> <tr> <td>Toxicité humaine (kg)</td> <td>1 141.79</td> <td>548.98</td> <td>221.45</td> <td>50.31</td> <td>1 962.52</td> </tr> <tr> <td>Production d'ozone photochimique (kg C2H4)</td> <td>403.93</td> <td>223.77</td> <td>22.93</td> <td>45.48</td> <td>696.11</td> </tr> <tr> <td>Odeur (Mn3)</td> <td>248.70</td> <td>1 917.58</td> <td>20.61</td> <td>4.13</td> <td>2 190.02</td> </tr> </tbody> </table>					Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total	Energie consommée (GJ)	1 469.95	4 101.34	283.02	59.89	5 914.20	Eau utilisée (m3)	1 089.23	20 225.24	258.16	20.07	21 600.70	Équipement ressources abiotiques (E-15)	0.89	0.63	3.40	0.02	4.94	Déchets inertes produits (t eq)	47.52	26.26	3.15	706.20	783.13	Déchets radioactifs (dn3)	4.70	1.08	0.94	0.22	6.94	Effet de serre (t CO2)	161.05	151.83	11.15	3.66	327.69	Acidification (kg SO2)	743.50	438.13	63.32	41.85	1 286.80	Eutrophication (kg PO4)	77.26	37.99	4.46	6.54	126.26	Ecotoxicité aquatique (m3)	1 351 324.89	2 612 873.48	225 689.24	120 259.56	4 310 147.18	Toxicité humaine (kg)	1 141.79	548.98	221.45	50.31	1 962.52	Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	403.93	223.77	22.93	45.48	696.11	Odeur (Mn3)	248.70	1 917.58	20.61	4.13	2 190.02
	Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total																																																																																																																																																																	
Energie consommée (GJ)	3 438.60	7 461.23	276.97	82.82	11 259.62																																																																																																																																																																		
Eau utilisée (m3)	1 933.26	20 446.66	251.71	38.82	22 670.44																																																																																																																																																																		
Équipement ressources abiotiques (E-15)	1.29	1.58	3.30	0.03	6.21																																																																																																																																																																		
Déchets inertes produits (t eq)	72.70	40.96	3.11	979.71	1 096.48																																																																																																																																																																		
Déchets radioactifs (dn3)	6.48	2.21	0.92	0.31	9.92																																																																																																																																																																		
Effet de serre (t CO2)	203.74	332.87	10.91	5.07	552.59																																																																																																																																																																		
Acidification (kg SO2)	884.90	652.79	61.70	57.87	1 657.27																																																																																																																																																																		
Eutrophication (kg PO4)	100.08	63.52	4.35	9.05	177.01																																																																																																																																																																		
Ecotoxicité aquatique (m3)	4 194 337.96	3 418 772.97	219 100.32	166 300.06	7 998 511.33																																																																																																																																																																		
Toxicité humaine (kg)	1 383.19	837.31	215.70	69.57	2 505.77																																																																																																																																																																		
Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	660.92	495.51	22.17	62.90	1 241.50																																																																																																																																																																		
Odeur (Mn3)	288.17	5 352.95	20.03	5.71	5 666.86																																																																																																																																																																		
Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total																																																																																																																																																																		
Energie consommée (GJ)	1 469.95	4 101.34	283.02	59.89	5 914.20																																																																																																																																																																		
Eau utilisée (m3)	1 089.23	20 225.24	258.16	20.07	21 600.70																																																																																																																																																																		
Équipement ressources abiotiques (E-15)	0.89	0.63	3.40	0.02	4.94																																																																																																																																																																		
Déchets inertes produits (t eq)	47.52	26.26	3.15	706.20	783.13																																																																																																																																																																		
Déchets radioactifs (dn3)	4.70	1.08	0.94	0.22	6.94																																																																																																																																																																		
Effet de serre (t CO2)	161.05	151.83	11.15	3.66	327.69																																																																																																																																																																		
Acidification (kg SO2)	743.50	438.13	63.32	41.85	1 286.80																																																																																																																																																																		
Eutrophication (kg PO4)	77.26	37.99	4.46	6.54	126.26																																																																																																																																																																		
Ecotoxicité aquatique (m3)	1 351 324.89	2 612 873.48	225 689.24	120 259.56	4 310 147.18																																																																																																																																																																		
Toxicité humaine (kg)	1 141.79	548.98	221.45	50.31	1 962.52																																																																																																																																																																		
Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	403.93	223.77	22.93	45.48	696.11																																																																																																																																																																		
Odeur (Mn3)	248.70	1 917.58	20.61	4.13	2 190.02																																																																																																																																																																		
Ecoprofil																																																																																																																																																																							
Observations	<p>Dans la phase de construction les valeurs des impacts de ces quatre propositions sont proches. La phase d'utilisation présente des impacts plus au moins importants dus par les changements techniques dont la conception BET n'a pas besoin de grande quantité d'eau vue les autres conceptions, comme elle ne résulte pas assez d'effet de serre comme les autres. Dans la démolition la production de déchets inertes est flagrante par toutes les conceptions.</p>																																																																																																																																																																						

Tableau 26: Résultats numériques et écoprofiles de l'ACV des conceptions du projet E2-A1-MM

E2-A1-MM		Conception du BET		Conception BCC	
ACV	Aspects énergétiques				
	Aspects environnementaux				
	Aspects sanitaires				
E2-A1-MM		Conception du BET-T		Conception du BBC-T	
ACV	Aspects énergétiques				
	Aspects environnementaux				
	Aspects sanitaires				
Observations	<p>La conception du BET présente une consommation d'énergie et une production de déchets inertes plus importantes que les autres alternatives soit en construction ou en utilisation autant que l'utilisation de l'eau est la plus raisonnable. En ce qui concerne les impacts à aspect sanitaire la conception BBC-T présente les impacts les plus aggravés par rapport aux autres et la conception BET présente les moindres valeurs d'impacts en matières de toxicité humaine, de production de d'ozone photochimique et d'odeur dans la phase d'utilisation.</p>				

Tableau 27 : Résultats graphiques de l'ACV des conceptions du projet E2-A1-MM

<b>Projet 02</b> <b>E2-A1-MM</b>	<b>Radars Comparatifs</b>	<b>OBSERVATIONS</b>
<b>la</b> <b>comparaison</b> <b>entre</b> <b>la</b> <b>conception</b> <b>du BET et BBC</b>		<p>Le changement de matériaux a plus au moins joué le rôle recommandé dont on remarque une vraie amélioration de la qualité du bâtiment BBC vue celle du BET.</p>
<b>la</b> <b>comparaison</b> <b>entre</b> <b>la</b> <b>conception</b> <b>du BET et BET-T</b>		<p>L'ajout des panneaux photovoltaïques et de puis provençal n'a pas aidé à améliorer la conception du BET.</p>
<b>et</b> <b>comparaison</b> <b>entre</b> <b>BBC</b> <b>et</b> <b>BBC-T</b>		<p>L'installation des technologies pour le bâtiment conçu BBC ne présente pas un ajout à la conception dont celle BBC reste meilleure que BBC-T</p>
<b>la</b> <b>comparaison</b> <b>entre</b> <b>la</b> <b>conception</b> <b>BET et BBC-T</b>		<p>La conception BBC-T est meilleure que celle du BET sauf que cette dernière utilise moins d'eau.</p>



**Tableau 28: Radars comparatifs des résultats de l'ACV des conceptions du projet E2-A1-MM**

3.3.Recommandations pour le projet de l'école E3-B1-RH :

E3-B1-RH		Conception du BET	Conception BCC
Simulation thermique	Diagramme de Sankey	<p>Chaleur métabolique : 31169 kWh                      Gains des appareils : 9206 kWh                      Gains solaires : 81099 kWh                      Gains utiles : 29691 kWh                      Besoins bruts : 35311 kWh                      Besoins thermiques nets : 5621 kWh                      Pertes techniques</p>	<p>Chaleur métabolique : 31169 kWh                      Gains des appareils : 9206 kWh                      Gains solaires : 55464 kWh                      Gains utiles : 13184 kWh                      Besoins bruts : 13238 kWh                      Besoins thermiques nets : 54 kWh                      Pertes techniques</p>
	Température C4 le 15 Janvier	<p>E3-B1-RH-BET / Base / R+1 - 13 - Classe 04</p>	<p>E3-B1-RH-BCC / Base / R+1 - 13 - Classe 04</p>
	Température C4 le 15 Juin	<p>E3-B1-RH-BET / Base / R+1 - 13 - Classe 04</p>	<p>E3-B1-RH-BCC / Base / R+1 - 13 - Classe 04</p>
OBSERVATIONS	<p>Avec la présence du chauffage une température de confort est assurée en hiver avec un taux des besoins nets moyennement haut mais en été il y a une souffrance de surchauffe pendant la période d'utilisation de la salle de classe</p>		<p>La température augmente d'une manière importante en hiver et elle dépasse la consigne voulue par le scénario proposé. En été son augmentation est très inquiétante et l'espace deviendra inutilisable dont la température varie entre 45°C et 51°C</p>

Tableau 29: Résultats de la simulation thermique des conceptions BET et BBC du projet E3-B1-RH

E3-B1-RH		Conception du BET-T	Conception du BBC-T
Simulation thermique	Diagramme de Sankey		
	Température C4 le 15 Janvier		
	Température C4 le 15 Juin		
OBSERVATIONS	<p>La salle de classe 04 situant à l'étage donnant sur une façade nord-ouest et l'autre sud-est paraît confortable thermiquement en été dont la température varie entre 26,5°C et 31° où la ventilation est assurée via le puis provençal. C'est ainsi en hiver avec la présence du chauffage. Les besoins du bâtiment se gonflent par rapport la conception BET</p>	<p>La salle de classe 04 paraît plus confortable thermiquement en été avec la conception BBC-T dont la température varie entre 25,5°C et 30° où la ventilation est assurée via le puis provençal. C'est ainsi en hiver dont la température augmente jusqu'au 22°C Les besoins du bâtiment augmentent un peu par rapport la conception BET</p>	

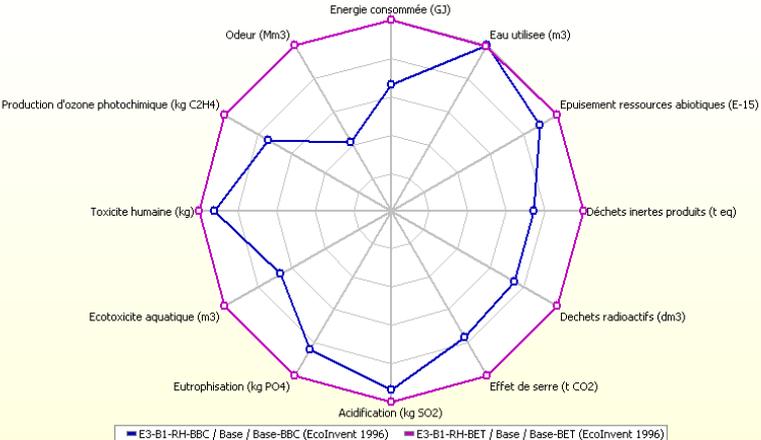
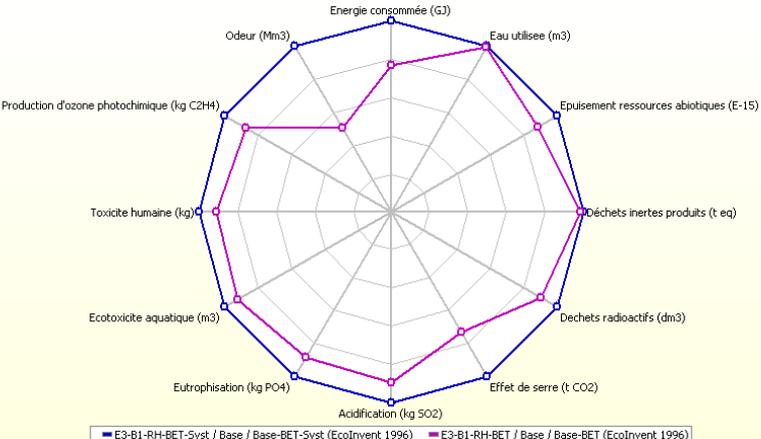
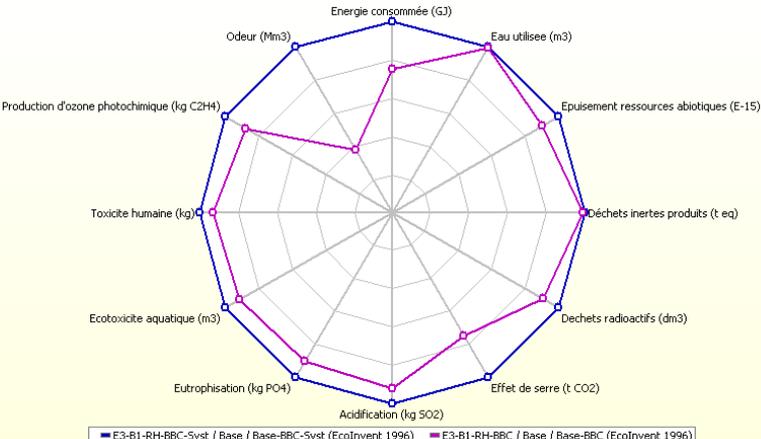
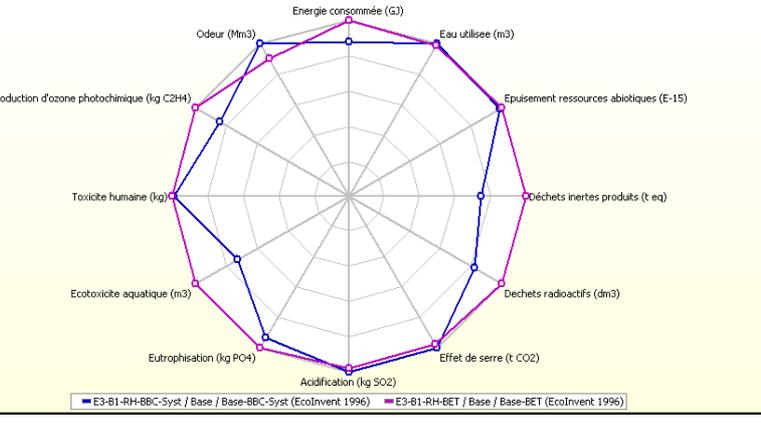
Tableau 30: Résultats de la simulation thermique des conceptions BET-T et BBC-T du projet E3-B1-RH

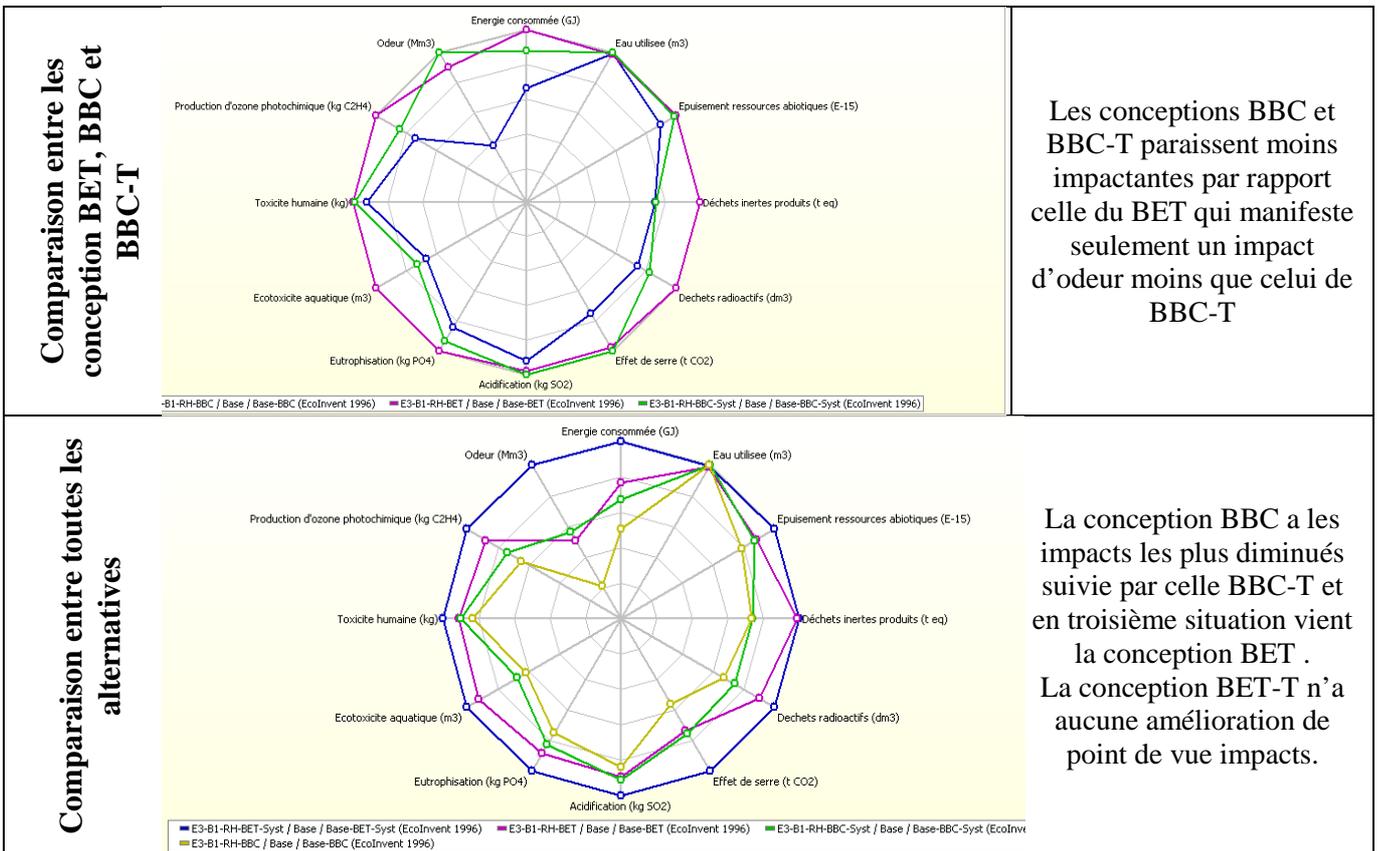
E3-B1-RH		Conception du BET						Conception BCC																																																																																																																																																																	
ACV	Résultats numériques	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Impact</th> <th>Construction</th> <th>Utilisation</th> <th>Rénovation</th> <th>Démolition</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Energie consommée (GJ)</td> <td>4 801,86</td> <td>0 302,37</td> <td>426,78</td> <td>129,13</td> <td>13 490,14</td> </tr> <tr> <td>Eau utilisée (m3)</td> <td>2 711,87</td> <td>40 396,96</td> <td>424,98</td> <td>80,53</td> <td>43 574,28</td> </tr> <tr> <td>Équipement ressources abiotiques (E-15)</td> <td>1,96</td> <td>1,25</td> <td>5,47</td> <td>0,05</td> <td>8,74</td> </tr> <tr> <td>Déchets inertes produits (t eq)</td> <td>110,83</td> <td>51,77</td> <td>4,34</td> <td>1 530,29</td> <td>1 697,23</td> </tr> <tr> <td>Déchets radioactifs (t eq)</td> <td>8,91</td> <td>2,15</td> <td>1,05</td> <td>0,48</td> <td>12,89</td> </tr> <tr> <td>Effet de serre (t CO2)</td> <td>289,05</td> <td>299,85</td> <td>16,59</td> <td>7,90</td> <td>814,29</td> </tr> <tr> <td>Acidification (kg SO2)</td> <td>1 301,31</td> <td>864,24</td> <td>96,13</td> <td>90,24</td> <td>2 351,92</td> </tr> <tr> <td>Eutrophication (kg PO4)</td> <td>146,82</td> <td>74,93</td> <td>6,32</td> <td>14,11</td> <td>242,17</td> </tr> <tr> <td>Écotoxicité aquatique (m3)</td> <td>5 822 953,25</td> <td>5 149 420,21</td> <td>356 366,10</td> <td>259 295,53</td> <td>11 588 021,09</td> </tr> <tr> <td>Toxicité humaine (kg)</td> <td>2 010,11</td> <td>1 003,89</td> <td>347,33</td> <td>100,48</td> <td>3 561,81</td> </tr> <tr> <td>Production d'ozone photochimique (kg C2H4)</td> <td>970,35</td> <td>441,52</td> <td>33,85</td> <td>90,08</td> <td>1 535,79</td> </tr> <tr> <td>Odeur (Nb3)</td> <td>490,24</td> <td>3 791,21</td> <td>33,00</td> <td>8,90</td> <td>4 323,34</td> </tr> </tbody> </table>						Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total	Energie consommée (GJ)	4 801,86	0 302,37	426,78	129,13	13 490,14	Eau utilisée (m3)	2 711,87	40 396,96	424,98	80,53	43 574,28	Équipement ressources abiotiques (E-15)	1,96	1,25	5,47	0,05	8,74	Déchets inertes produits (t eq)	110,83	51,77	4,34	1 530,29	1 697,23	Déchets radioactifs (t eq)	8,91	2,15	1,05	0,48	12,89	Effet de serre (t CO2)	289,05	299,85	16,59	7,90	814,29	Acidification (kg SO2)	1 301,31	864,24	96,13	90,24	2 351,92	Eutrophication (kg PO4)	146,82	74,93	6,32	14,11	242,17	Écotoxicité aquatique (m3)	5 822 953,25	5 149 420,21	356 366,10	259 295,53	11 588 021,09	Toxicité humaine (kg)	2 010,11	1 003,89	347,33	100,48	3 561,81	Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	970,35	441,52	33,85	90,08	1 535,79	Odeur (Nb3)	490,24	3 791,21	33,00	8,90	4 323,34	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Impact</th> <th>Construction</th> <th>Utilisation</th> <th>Rénovation</th> <th>Démolition</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Energie consommée (GJ)</td> <td>2 413,75</td> <td>5 594,63</td> <td>426,78</td> <td>93,08</td> <td>8 528,24</td> </tr> <tr> <td>Eau utilisée (m3)</td> <td>1 749,66</td> <td>40 230,86</td> <td>424,98</td> <td>43,63</td> <td>42 429,13</td> </tr> <tr> <td>Équipement ressources abiotiques (E-15)</td> <td>1,49</td> <td>0,55</td> <td>5,47</td> <td>0,03</td> <td>7,54</td> </tr> <tr> <td>Déchets inertes produits (t eq)</td> <td>73,03</td> <td>40,94</td> <td>4,34</td> <td>1 100,81</td> <td>1 219,11</td> </tr> <tr> <td>Déchets radioactifs (t eq)</td> <td>6,23</td> <td>1,31</td> <td>1,35</td> <td>0,35</td> <td>9,23</td> </tr> <tr> <td>Effet de serre (t CO2)</td> <td>267,63</td> <td>165,25</td> <td>16,59</td> <td>5,69</td> <td>455,17</td> </tr> <tr> <td>Acidification (kg SO2)</td> <td>1 265,37</td> <td>704,65</td> <td>96,13</td> <td>65,94</td> <td>2 131,19</td> </tr> <tr> <td>Eutrophication (kg PO4)</td> <td>124,43</td> <td>55,95</td> <td>6,32</td> <td>10,17</td> <td>196,86</td> </tr> <tr> <td>Écotoxicité aquatique (m3)</td> <td>2 353 972,18</td> <td>4 550 254,49</td> <td>356 366,10</td> <td>186 898,61</td> <td>7 447 491,38</td> </tr> <tr> <td>Toxicité humaine (kg)</td> <td>1 845,35</td> <td>868,73</td> <td>347,33</td> <td>78,19</td> <td>3 139,59</td> </tr> <tr> <td>Production d'ozone photochimique (kg C2H4)</td> <td>688,53</td> <td>306,41</td> <td>33,85</td> <td>70,69</td> <td>1 099,48</td> </tr> <tr> <td>Odeur (Nb3)</td> <td>457,07</td> <td>1 237,16</td> <td>33,00</td> <td>6,41</td> <td>1 733,63</td> </tr> </tbody> </table>						Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total	Energie consommée (GJ)	2 413,75	5 594,63	426,78	93,08	8 528,24	Eau utilisée (m3)	1 749,66	40 230,86	424,98	43,63	42 429,13	Équipement ressources abiotiques (E-15)	1,49	0,55	5,47	0,03	7,54	Déchets inertes produits (t eq)	73,03	40,94	4,34	1 100,81	1 219,11	Déchets radioactifs (t eq)	6,23	1,31	1,35	0,35	9,23	Effet de serre (t CO2)	267,63	165,25	16,59	5,69	455,17	Acidification (kg SO2)	1 265,37	704,65	96,13	65,94	2 131,19	Eutrophication (kg PO4)	124,43	55,95	6,32	10,17	196,86	Écotoxicité aquatique (m3)	2 353 972,18	4 550 254,49	356 366,10	186 898,61	7 447 491,38	Toxicité humaine (kg)	1 845,35	868,73	347,33	78,19	3 139,59	Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	688,53	306,41	33,85	70,69	1 099,48	Odeur (Nb3)	457,07	1 237,16	33,00	6,41	1 733,63
	Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total																																																																																																																																																																			
Energie consommée (GJ)	4 801,86	0 302,37	426,78	129,13	13 490,14																																																																																																																																																																				
Eau utilisée (m3)	2 711,87	40 396,96	424,98	80,53	43 574,28																																																																																																																																																																				
Équipement ressources abiotiques (E-15)	1,96	1,25	5,47	0,05	8,74																																																																																																																																																																				
Déchets inertes produits (t eq)	110,83	51,77	4,34	1 530,29	1 697,23																																																																																																																																																																				
Déchets radioactifs (t eq)	8,91	2,15	1,05	0,48	12,89																																																																																																																																																																				
Effet de serre (t CO2)	289,05	299,85	16,59	7,90	814,29																																																																																																																																																																				
Acidification (kg SO2)	1 301,31	864,24	96,13	90,24	2 351,92																																																																																																																																																																				
Eutrophication (kg PO4)	146,82	74,93	6,32	14,11	242,17																																																																																																																																																																				
Écotoxicité aquatique (m3)	5 822 953,25	5 149 420,21	356 366,10	259 295,53	11 588 021,09																																																																																																																																																																				
Toxicité humaine (kg)	2 010,11	1 003,89	347,33	100,48	3 561,81																																																																																																																																																																				
Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	970,35	441,52	33,85	90,08	1 535,79																																																																																																																																																																				
Odeur (Nb3)	490,24	3 791,21	33,00	8,90	4 323,34																																																																																																																																																																				
Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total																																																																																																																																																																				
Energie consommée (GJ)	2 413,75	5 594,63	426,78	93,08	8 528,24																																																																																																																																																																				
Eau utilisée (m3)	1 749,66	40 230,86	424,98	43,63	42 429,13																																																																																																																																																																				
Équipement ressources abiotiques (E-15)	1,49	0,55	5,47	0,03	7,54																																																																																																																																																																				
Déchets inertes produits (t eq)	73,03	40,94	4,34	1 100,81	1 219,11																																																																																																																																																																				
Déchets radioactifs (t eq)	6,23	1,31	1,35	0,35	9,23																																																																																																																																																																				
Effet de serre (t CO2)	267,63	165,25	16,59	5,69	455,17																																																																																																																																																																				
Acidification (kg SO2)	1 265,37	704,65	96,13	65,94	2 131,19																																																																																																																																																																				
Eutrophication (kg PO4)	124,43	55,95	6,32	10,17	196,86																																																																																																																																																																				
Écotoxicité aquatique (m3)	2 353 972,18	4 550 254,49	356 366,10	186 898,61	7 447 491,38																																																																																																																																																																				
Toxicité humaine (kg)	1 845,35	868,73	347,33	78,19	3 139,59																																																																																																																																																																				
Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	688,53	306,41	33,85	70,69	1 099,48																																																																																																																																																																				
Odeur (Nb3)	457,07	1 237,16	33,00	6,41	1 733,63																																																																																																																																																																				
Ecoprofil																																																																																																																																																																									
ACV	Résultats numériques	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Impact</th> <th>Construction</th> <th>Utilisation</th> <th>Rénovation</th> <th>Démolition</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Energie consommée (GJ)</td> <td>4 801,86</td> <td>12 240,71</td> <td>426,78</td> <td>129,13</td> <td>17 608,49</td> </tr> <tr> <td>Eau utilisée (m3)</td> <td>2 711,87</td> <td>40 673,34</td> <td>424,98</td> <td>80,53</td> <td>43 890,72</td> </tr> <tr> <td>Équipement ressources abiotiques (E-15)</td> <td>1,96</td> <td>2,42</td> <td>5,47</td> <td>0,05</td> <td>9,91</td> </tr> <tr> <td>Déchets inertes produits (t eq)</td> <td>110,83</td> <td>69,96</td> <td>4,34</td> <td>1 530,29</td> <td>1 715,43</td> </tr> <tr> <td>Déchets radioactifs (t eq)</td> <td>8,91</td> <td>3,54</td> <td>1,05</td> <td>0,48</td> <td>14,18</td> </tr> <tr> <td>Effet de serre (t CO2)</td> <td>289,05</td> <td>523,80</td> <td>16,59</td> <td>7,90</td> <td>837,35</td> </tr> <tr> <td>Acidification (kg SO2)</td> <td>1 301,31</td> <td>1 129,79</td> <td>96,13</td> <td>90,24</td> <td>2 617,47</td> </tr> <tr> <td>Eutrophication (kg PO4)</td> <td>146,82</td> <td>106,51</td> <td>6,32</td> <td>14,11</td> <td>273,76</td> </tr> <tr> <td>Écotoxicité aquatique (m3)</td> <td>5 822 953,25</td> <td>6 140 342,14</td> <td>356 366,10</td> <td>259 295,53</td> <td>12 588 957,03</td> </tr> <tr> <td>Toxicité humaine (kg)</td> <td>2 010,11</td> <td>1 458,77</td> <td>347,33</td> <td>108,48</td> <td>3 924,69</td> </tr> <tr> <td>Production d'ozone photochimique (kg C2H4)</td> <td>970,35</td> <td>666,33</td> <td>33,85</td> <td>90,08</td> <td>1 760,61</td> </tr> <tr> <td>Odeur (Nb3)</td> <td>490,24</td> <td>8 040,93</td> <td>33,00</td> <td>8,90</td> <td>8 573,06</td> </tr> </tbody> </table>						Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total	Energie consommée (GJ)	4 801,86	12 240,71	426,78	129,13	17 608,49	Eau utilisée (m3)	2 711,87	40 673,34	424,98	80,53	43 890,72	Équipement ressources abiotiques (E-15)	1,96	2,42	5,47	0,05	9,91	Déchets inertes produits (t eq)	110,83	69,96	4,34	1 530,29	1 715,43	Déchets radioactifs (t eq)	8,91	3,54	1,05	0,48	14,18	Effet de serre (t CO2)	289,05	523,80	16,59	7,90	837,35	Acidification (kg SO2)	1 301,31	1 129,79	96,13	90,24	2 617,47	Eutrophication (kg PO4)	146,82	106,51	6,32	14,11	273,76	Écotoxicité aquatique (m3)	5 822 953,25	6 140 342,14	356 366,10	259 295,53	12 588 957,03	Toxicité humaine (kg)	2 010,11	1 458,77	347,33	108,48	3 924,69	Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	970,35	666,33	33,85	90,08	1 760,61	Odeur (Nb3)	490,24	8 040,93	33,00	8,90	8 573,06	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Impact</th> <th>Construction</th> <th>Utilisation</th> <th>Rénovation</th> <th>Démolition</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Energie consommée (GJ)</td> <td>2 413,75</td> <td>6 440,56</td> <td>426,78</td> <td>93,08</td> <td>11 374,17</td> </tr> <tr> <td>Eau utilisée (m3)</td> <td>1 749,66</td> <td>40 420,12</td> <td>424,98</td> <td>43,63</td> <td>42 638,38</td> </tr> <tr> <td>Équipement ressources abiotiques (E-15)</td> <td>1,49</td> <td>1,35</td> <td>5,47</td> <td>0,03</td> <td>8,34</td> </tr> <tr> <td>Déchets inertes produits (t eq)</td> <td>73,03</td> <td>53,29</td> <td>4,34</td> <td>1 100,81</td> <td>1 231,47</td> </tr> <tr> <td>Déchets radioactifs (t eq)</td> <td>6,23</td> <td>2,26</td> <td>1,35</td> <td>0,35</td> <td>10,19</td> </tr> <tr> <td>Effet de serre (t CO2)</td> <td>267,63</td> <td>319,61</td> <td>16,59</td> <td>5,69</td> <td>609,53</td> </tr> <tr> <td>Acidification (kg SO2)</td> <td>1 265,37</td> <td>886,49</td> <td>96,13</td> <td>65,94</td> <td>2 313,93</td> </tr> <tr> <td>Eutrophication (kg PO4)</td> <td>124,43</td> <td>77,57</td> <td>6,32</td> <td>10,17</td> <td>218,49</td> </tr> <tr> <td>Écotoxicité aquatique (m3)</td> <td>2 353 972,18</td> <td>5 232 923,67</td> <td>356 366,10</td> <td>186 898,61</td> <td>8 130 160,57</td> </tr> <tr> <td>Toxicité humaine (kg)</td> <td>1 845,35</td> <td>1 112,97</td> <td>347,33</td> <td>78,19</td> <td>3 383,84</td> </tr> <tr> <td>Production d'ozone photochimique (kg C2H4)</td> <td>688,53</td> <td>460,35</td> <td>33,85</td> <td>70,69</td> <td>1 253,42</td> </tr> <tr> <td>Odeur (Nb3)</td> <td>457,07</td> <td>4 147,23</td> <td>33,00</td> <td>6,41</td> <td>4 643,70</td> </tr> </tbody> </table>						Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total	Energie consommée (GJ)	2 413,75	6 440,56	426,78	93,08	11 374,17	Eau utilisée (m3)	1 749,66	40 420,12	424,98	43,63	42 638,38	Équipement ressources abiotiques (E-15)	1,49	1,35	5,47	0,03	8,34	Déchets inertes produits (t eq)	73,03	53,29	4,34	1 100,81	1 231,47	Déchets radioactifs (t eq)	6,23	2,26	1,35	0,35	10,19	Effet de serre (t CO2)	267,63	319,61	16,59	5,69	609,53	Acidification (kg SO2)	1 265,37	886,49	96,13	65,94	2 313,93	Eutrophication (kg PO4)	124,43	77,57	6,32	10,17	218,49	Écotoxicité aquatique (m3)	2 353 972,18	5 232 923,67	356 366,10	186 898,61	8 130 160,57	Toxicité humaine (kg)	1 845,35	1 112,97	347,33	78,19	3 383,84	Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	688,53	460,35	33,85	70,69	1 253,42	Odeur (Nb3)	457,07	4 147,23	33,00	6,41	4 643,70
	Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total																																																																																																																																																																			
Energie consommée (GJ)	4 801,86	12 240,71	426,78	129,13	17 608,49																																																																																																																																																																				
Eau utilisée (m3)	2 711,87	40 673,34	424,98	80,53	43 890,72																																																																																																																																																																				
Équipement ressources abiotiques (E-15)	1,96	2,42	5,47	0,05	9,91																																																																																																																																																																				
Déchets inertes produits (t eq)	110,83	69,96	4,34	1 530,29	1 715,43																																																																																																																																																																				
Déchets radioactifs (t eq)	8,91	3,54	1,05	0,48	14,18																																																																																																																																																																				
Effet de serre (t CO2)	289,05	523,80	16,59	7,90	837,35																																																																																																																																																																				
Acidification (kg SO2)	1 301,31	1 129,79	96,13	90,24	2 617,47																																																																																																																																																																				
Eutrophication (kg PO4)	146,82	106,51	6,32	14,11	273,76																																																																																																																																																																				
Écotoxicité aquatique (m3)	5 822 953,25	6 140 342,14	356 366,10	259 295,53	12 588 957,03																																																																																																																																																																				
Toxicité humaine (kg)	2 010,11	1 458,77	347,33	108,48	3 924,69																																																																																																																																																																				
Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	970,35	666,33	33,85	90,08	1 760,61																																																																																																																																																																				
Odeur (Nb3)	490,24	8 040,93	33,00	8,90	8 573,06																																																																																																																																																																				
Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total																																																																																																																																																																				
Energie consommée (GJ)	2 413,75	6 440,56	426,78	93,08	11 374,17																																																																																																																																																																				
Eau utilisée (m3)	1 749,66	40 420,12	424,98	43,63	42 638,38																																																																																																																																																																				
Équipement ressources abiotiques (E-15)	1,49	1,35	5,47	0,03	8,34																																																																																																																																																																				
Déchets inertes produits (t eq)	73,03	53,29	4,34	1 100,81	1 231,47																																																																																																																																																																				
Déchets radioactifs (t eq)	6,23	2,26	1,35	0,35	10,19																																																																																																																																																																				
Effet de serre (t CO2)	267,63	319,61	16,59	5,69	609,53																																																																																																																																																																				
Acidification (kg SO2)	1 265,37	886,49	96,13	65,94	2 313,93																																																																																																																																																																				
Eutrophication (kg PO4)	124,43	77,57	6,32	10,17	218,49																																																																																																																																																																				
Écotoxicité aquatique (m3)	2 353 972,18	5 232 923,67	356 366,10	186 898,61	8 130 160,57																																																																																																																																																																				
Toxicité humaine (kg)	1 845,35	1 112,97	347,33	78,19	3 383,84																																																																																																																																																																				
Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	688,53	460,35	33,85	70,69	1 253,42																																																																																																																																																																				
Odeur (Nb3)	457,07	4 147,23	33,00	6,41	4 643,70																																																																																																																																																																				
Ecoprofil																																																																																																																																																																									
Observations	<p>Dans la phase de construction l'impact le plus émergeant est la production d'ozone photochimique et l'effet de serre ainsi la consommation d'énergie.</p> <p>Les quatre conceptions ont plus au moins les même influences des impacts dans la phase d'utilisation où celles BBC et BBC-T présentent plus d'utilisation de l'eau, BBC-T et BET-T plus de consommation énergétique et effet de serre dans le moindre effet de ce dernier est du par la conception BBC</p> <p>Dans la phase de démolition les déchets inertes sont produits énormément dans toutes les alternatives.</p>																																																																																																																																																																								

Tableau 31: Résultats numériques et écoprofiles de l'ACV des conceptions du projet E3-B1-RH

E3-B1-RH		Conception du BET	Conception BCC
ACV	Aspects énergétiques		
	Aspects environnementaux		
	Aspects sanitaires		
	Aspects énergétiques		
	Aspects environnementaux		
	Aspects sanitaires		
Observations	<p>Pour les impacts à aspect énergétique, l'utilisation de l'eau est flagrante, la consommation d'énergie diminue seulement dans la conception BBC.</p> <p>L'effet de serre, l'acidification, et l'eutrophisation des impacts à aspects environnemental paraissent aussi diminués dans la conception BBC et plus augmentés dans les autres conceptions.</p> <p>La conception BBC résulte une toxicité humaine plus que les autres conception surtout en construction, autant que la production d'ozone photochimique et d'odeur s'émergent dans la conception BET .</p>		

Tableau 32: Résultats graphiques de l'ACV des conceptions du projet E3-B1-RH

<b>Projet 03</b> <b>E3-B1-RH</b>	<b>Radars Comparatifs</b>	<b>Observations</b>
<b>Comparaison entre la conception du BET et BBC</b>	 <p>■ E3-B1-RH-BBC / Base / Base-BBC (EcoInvent 1996) ■ E3-B1-RH-BET / Base / Base-BET (EcoInvent 1996)</p>	<p>Le changement de matériaux par ceux à basse consommation énergétique a participé à la diminution des impacts dont la conception BBC manifeste des écarts importants avec celle du BET</p>
<b>Comparaison entre la conception du BET et BET-T</b>	 <p>■ E3-B1-RH-BET-Syst / Base / Base-BET-Syst (EcoInvent 1996) ■ E3-B1-RH-BET / Base / Base-BET (EcoInvent 1996)</p>	<p>L'installation des panneaux photovoltaïques et du pis canadien n'a pas aidé à minimiser les impacts du projet dont la conception proposée par le BET présente moins d'impacts que celle BET-T</p>
<b>Comparaison entre BBC et BBC-T</b>	 <p>■ E3-B1-RH-BBC-Syst / Base / Base-BBC-Syst (EcoInvent 1996) ■ E3-B1-RH-BBC / Base / Base-BBC (EcoInvent 1996)</p>	<p>L'ajout de puis provençal et des panneaux photovoltaïques n'a pas amélioré la conception BBC dont cette dernière a un effet minimal que celle BBC-T</p>
<b>Comparaison entre la conception BET et BBC-T</b>	 <p>■ E3-B1-RH-BBC-Syst / Base / Base-BBC-Syst (EcoInvent 1996) ■ E3-B1-RH-BET / Base / Base-BET (EcoInvent 1996)</p>	<p>Après l'ajout des techniques constructives la conception BBC-T est moins impactante que celle BET-T</p>



**Tableau 33: Radars comparatifs des résultats de l'ACV des conceptions du projet E3-B1-RH**

## 3.4.Recommandations pour le projet de l'école E4-C1-MM:

E4-C1-MM		Conception du BET	Conception BCC
Simulation thermique	Diagramme de Sankey	<p>Chaleur métabolique : 46753 kWh Gains des appareils : 14737 kWh Gains solaires : 87935 kWh Gains utiles : 44886 kWh Besoins bruts : 57945 kWh Besoins thermiques nets : 13058 kWh</p> <p>Pertes techniques</p>	<p>Chaleur métabolique : 46753 kWh Gains des appareils : 14737 kWh Gains solaires : 62551 kWh Gains utiles : 21891 kWh Besoins bruts : 22347 kWh Besoins thermiques nets : 457 kWh</p> <p>Pertes techniques</p>
	Température C5 le 15 Janvier	<p>E4-C1-MM-BET / Base /R+1 - 10 - Classe 5</p>	<p>E4-C1-MM-BCC / Base /R+1 - 10 - Classe 5</p>
	Température C5 le 15 Juin	<p>E4-C1-MM-BET / Base /R+1 - 10 - Classe 5</p>	<p>E4-C1-MM-BCC / Base /R+1 - 10 - Classe 5</p>
Observations	<p>La température en été varie entre 30°C et 35°C ce qui représente un inconfort thermique en été, mais en hiver il est assuré par la présence du chauffage qui doit répondre aux besoins thermiques nets de 13058 kWh.</p>	<p>La salle de classe 05 dans conception BBC paraît inconfortable en été dans la température varie entre 40°C et 45°C par contre en hiver elle bénéficie des gains solaires et la température peut atteindre 31°C, et elle présente un taux diminué des besoins thermiques nets par rapport la conception BET.</p>	

Tableau 34: Résultats de la simulation thermique des conceptions BET et BBC du projet E4-C1-MM

E4-C1-MM		Conception du BET-T	Conception BCC-T
Simulation thermique	Diagramme de Sankey		
	Température C5 le 15 Janvier		
	Température C5 le 15 Juin		
Observations	<p>La salle de classe 05 dans la conception BET-T bénéficie d'une diminution de la température gênante de l'été par l'ordre de 4°C par rapport la conception initiale dont elle varie entre 26°C et 31°C ce qui est plus au moins confortable mais les besoins thermiques sont doublés.</p>	<p>L'ajout des systèmes de ventilation a joué son rôle attendu dont la température en été varie entre 24°C et 29°C malgré l'augmentation des besoins nets qui</p>	

Tableau 35: Résultats de la simulation thermique des conceptions BET-T et BCC-T du projet E4-C1-MM

E4-C1-MM		Conception du BET						Conception BCC																																																																																																																																																																	
ACV	Résultats numériques	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Impact</th> <th>Construction</th> <th>Utilisation</th> <th>Rénovation</th> <th>Démolition</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Energie consommée (GJ)</td> <td>4 493,06</td> <td>14 741,18</td> <td>302,21</td> <td>110,63</td> <td>19 232,09</td> </tr> <tr> <td>Eau utilisée (m³)</td> <td>2 055,06</td> <td>61 049,42</td> <td>339,45</td> <td>91,85</td> <td>64 096,99</td> </tr> <tr> <td>Équipement ressources abiotiques (E-15)</td> <td>1,69</td> <td>2,59</td> <td>4,30</td> <td>0,04</td> <td>8,61</td> </tr> <tr> <td>Déchets inertes produits (t eq)</td> <td>99,25</td> <td>90,66</td> <td>4,49</td> <td>1 307,59</td> <td>1 500,99</td> </tr> <tr> <td>Déchets radioactifs (t eq)</td> <td>0,22</td> <td>1,97</td> <td>1,31</td> <td>0,41</td> <td>4,41</td> </tr> <tr> <td>Effet de serre (t CO2)</td> <td>279,02</td> <td>577,09</td> <td>13,16</td> <td>6,77</td> <td>876,03</td> </tr> <tr> <td>Acidification (kg SO2)</td> <td>2 187,51</td> <td>1 402,89</td> <td>84,44</td> <td>77,31</td> <td>2 844,15</td> </tr> <tr> <td>Eutrophication (kg PO4)</td> <td>134,18</td> <td>133,47</td> <td>6,15</td> <td>12,29</td> <td>286,09</td> </tr> <tr> <td>Écotoxicité aquatique (m3)</td> <td>5 109 192,59</td> <td>8 053 737,34</td> <td>202 903,70</td> <td>222 156,52</td> <td>14 388 090,94</td> </tr> <tr> <td>Toxicité humaine (kg)</td> <td>1 051,45</td> <td>1 000,01</td> <td>290,57</td> <td>92,93</td> <td>4 135,76</td> </tr> <tr> <td>Production d'ozone photochimique (kg C2H4)</td> <td>309,09</td> <td>803,43</td> <td>30,47</td> <td>84,02</td> <td>1 207,02</td> </tr> <tr> <td>Odour (Pch)</td> <td>390,89</td> <td>7 029,19</td> <td>26,64</td> <td>7,62</td> <td>8 354,34</td> </tr> </tbody> </table>						Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total	Energie consommée (GJ)	4 493,06	14 741,18	302,21	110,63	19 232,09	Eau utilisée (m³)	2 055,06	61 049,42	339,45	91,85	64 096,99	Équipement ressources abiotiques (E-15)	1,69	2,59	4,30	0,04	8,61	Déchets inertes produits (t eq)	99,25	90,66	4,49	1 307,59	1 500,99	Déchets radioactifs (t eq)	0,22	1,97	1,31	0,41	4,41	Effet de serre (t CO2)	279,02	577,09	13,16	6,77	876,03	Acidification (kg SO2)	2 187,51	1 402,89	84,44	77,31	2 844,15	Eutrophication (kg PO4)	134,18	133,47	6,15	12,29	286,09	Écotoxicité aquatique (m3)	5 109 192,59	8 053 737,34	202 903,70	222 156,52	14 388 090,94	Toxicité humaine (kg)	1 051,45	1 000,01	290,57	92,93	4 135,76	Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	309,09	803,43	30,47	84,02	1 207,02	Odour (Pch)	390,89	7 029,19	26,64	7,62	8 354,34	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Impact</th> <th>Construction</th> <th>Utilisation</th> <th>Rénovation</th> <th>Démolition</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Energie consommée (GJ)</td> <td>2 066,77</td> <td>262 207,70</td> <td>382,21</td> <td>80,40</td> <td>264 737,08</td> </tr> <tr> <td>Eau utilisée (m³)</td> <td>1 531,74</td> <td>362 283,06</td> <td>339,45</td> <td>37,68</td> <td>364 191,92</td> </tr> <tr> <td>Équipement ressources abiotiques (E-15)</td> <td>1,14</td> <td>59,49</td> <td>4,38</td> <td>0,03</td> <td>65,04</td> </tr> <tr> <td>Déchets inertes produits (t eq)</td> <td>63,67</td> <td>1 899 927,50</td> <td>4,49</td> <td>947,29</td> <td>1 899 943,96</td> </tr> <tr> <td>Déchets radioactifs (t eq)</td> <td>6,19</td> <td>368,07</td> <td>1,01</td> <td>0,30</td> <td>375,57</td> </tr> <tr> <td>Effet de serre (t CO2)</td> <td>213,29</td> <td>9 083,95</td> <td>15,16</td> <td>4,92</td> <td>9 317,32</td> </tr> <tr> <td>Acidification (kg SO2)</td> <td>460,33</td> <td>28 755,07</td> <td>84,44</td> <td>56,17</td> <td>29 496,02</td> </tr> <tr> <td>Eutrophication (kg PO4)</td> <td>100,61</td> <td>3 065,47</td> <td>6,15</td> <td>8,78</td> <td>3 281,01</td> </tr> <tr> <td>Écotoxicité aquatique (m3)</td> <td>1 804 701,86</td> <td>122 911 734,72</td> <td>292 980,69</td> <td>161 437,44</td> <td>125 170 857,71</td> </tr> <tr> <td>Toxicité humaine (kg)</td> <td>1 472,07</td> <td>124 107,38</td> <td>290,57</td> <td>67,53</td> <td>125 937,55</td> </tr> <tr> <td>Production d'ozone photochimique (kg C2H4)</td> <td>526,50</td> <td>11 685,29</td> <td>30,47</td> <td>61,05</td> <td>12 303,31</td> </tr> <tr> <td>Odour (Pch)</td> <td>307,26</td> <td>27 770,73</td> <td>26,64</td> <td>5,54</td> <td>28 110,17</td> </tr> </tbody> </table>						Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total	Energie consommée (GJ)	2 066,77	262 207,70	382,21	80,40	264 737,08	Eau utilisée (m³)	1 531,74	362 283,06	339,45	37,68	364 191,92	Équipement ressources abiotiques (E-15)	1,14	59,49	4,38	0,03	65,04	Déchets inertes produits (t eq)	63,67	1 899 927,50	4,49	947,29	1 899 943,96	Déchets radioactifs (t eq)	6,19	368,07	1,01	0,30	375,57	Effet de serre (t CO2)	213,29	9 083,95	15,16	4,92	9 317,32	Acidification (kg SO2)	460,33	28 755,07	84,44	56,17	29 496,02	Eutrophication (kg PO4)	100,61	3 065,47	6,15	8,78	3 281,01	Écotoxicité aquatique (m3)	1 804 701,86	122 911 734,72	292 980,69	161 437,44	125 170 857,71	Toxicité humaine (kg)	1 472,07	124 107,38	290,57	67,53	125 937,55	Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	526,50	11 685,29	30,47	61,05	12 303,31	Odour (Pch)	307,26	27 770,73	26,64	5,54	28 110,17
	Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total																																																																																																																																																																			
Energie consommée (GJ)	4 493,06	14 741,18	302,21	110,63	19 232,09																																																																																																																																																																				
Eau utilisée (m³)	2 055,06	61 049,42	339,45	91,85	64 096,99																																																																																																																																																																				
Équipement ressources abiotiques (E-15)	1,69	2,59	4,30	0,04	8,61																																																																																																																																																																				
Déchets inertes produits (t eq)	99,25	90,66	4,49	1 307,59	1 500,99																																																																																																																																																																				
Déchets radioactifs (t eq)	0,22	1,97	1,31	0,41	4,41																																																																																																																																																																				
Effet de serre (t CO2)	279,02	577,09	13,16	6,77	876,03																																																																																																																																																																				
Acidification (kg SO2)	2 187,51	1 402,89	84,44	77,31	2 844,15																																																																																																																																																																				
Eutrophication (kg PO4)	134,18	133,47	6,15	12,29	286,09																																																																																																																																																																				
Écotoxicité aquatique (m3)	5 109 192,59	8 053 737,34	202 903,70	222 156,52	14 388 090,94																																																																																																																																																																				
Toxicité humaine (kg)	1 051,45	1 000,01	290,57	92,93	4 135,76																																																																																																																																																																				
Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	309,09	803,43	30,47	84,02	1 207,02																																																																																																																																																																				
Odour (Pch)	390,89	7 029,19	26,64	7,62	8 354,34																																																																																																																																																																				
Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total																																																																																																																																																																				
Energie consommée (GJ)	2 066,77	262 207,70	382,21	80,40	264 737,08																																																																																																																																																																				
Eau utilisée (m³)	1 531,74	362 283,06	339,45	37,68	364 191,92																																																																																																																																																																				
Équipement ressources abiotiques (E-15)	1,14	59,49	4,38	0,03	65,04																																																																																																																																																																				
Déchets inertes produits (t eq)	63,67	1 899 927,50	4,49	947,29	1 899 943,96																																																																																																																																																																				
Déchets radioactifs (t eq)	6,19	368,07	1,01	0,30	375,57																																																																																																																																																																				
Effet de serre (t CO2)	213,29	9 083,95	15,16	4,92	9 317,32																																																																																																																																																																				
Acidification (kg SO2)	460,33	28 755,07	84,44	56,17	29 496,02																																																																																																																																																																				
Eutrophication (kg PO4)	100,61	3 065,47	6,15	8,78	3 281,01																																																																																																																																																																				
Écotoxicité aquatique (m3)	1 804 701,86	122 911 734,72	292 980,69	161 437,44	125 170 857,71																																																																																																																																																																				
Toxicité humaine (kg)	1 472,07	124 107,38	290,57	67,53	125 937,55																																																																																																																																																																				
Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	526,50	11 685,29	30,47	61,05	12 303,31																																																																																																																																																																				
Odour (Pch)	307,26	27 770,73	26,64	5,54	28 110,17																																																																																																																																																																				
Ecoprofil																																																																																																																																																																									
E4-C1-MM		Conception du BET-T						Conception du BBC-T																																																																																																																																																																	
ACV	Résultats numériques	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Impact</th> <th>Construction</th> <th>Utilisation</th> <th>Rénovation</th> <th>Démolition</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Energie consommée (GJ)</td> <td>2 066,77</td> <td>262 207,70</td> <td>382,21</td> <td>80,40</td> <td>264 737,08</td> </tr> <tr> <td>Eau utilisée (m³)</td> <td>1 531,74</td> <td>362 283,06</td> <td>339,45</td> <td>37,68</td> <td>364 191,92</td> </tr> <tr> <td>Équipement ressources abiotiques (E-15)</td> <td>1,14</td> <td>59,49</td> <td>4,38</td> <td>0,03</td> <td>65,04</td> </tr> <tr> <td>Déchets inertes produits (t eq)</td> <td>63,67</td> <td>1 899 927,50</td> <td>4,49</td> <td>947,29</td> <td>1 899 943,96</td> </tr> <tr> <td>Déchets radioactifs (t eq)</td> <td>6,19</td> <td>368,07</td> <td>1,01</td> <td>0,30</td> <td>375,57</td> </tr> <tr> <td>Effet de serre (t CO2)</td> <td>213,29</td> <td>9 083,95</td> <td>15,16</td> <td>4,92</td> <td>9 317,32</td> </tr> <tr> <td>Acidification (kg SO2)</td> <td>460,33</td> <td>28 755,07</td> <td>84,44</td> <td>56,17</td> <td>29 496,02</td> </tr> <tr> <td>Eutrophication (kg PO4)</td> <td>100,61</td> <td>3 065,47</td> <td>6,15</td> <td>8,78</td> <td>3 281,01</td> </tr> <tr> <td>Écotoxicité aquatique (m3)</td> <td>1 804 701,86</td> <td>122 911 734,72</td> <td>292 980,69</td> <td>161 437,44</td> <td>125 170 857,71</td> </tr> <tr> <td>Toxicité humaine (kg)</td> <td>1 472,07</td> <td>124 107,38</td> <td>290,57</td> <td>67,53</td> <td>125 937,55</td> </tr> <tr> <td>Production d'ozone photochimique (kg C2H4)</td> <td>526,50</td> <td>11 685,29</td> <td>30,47</td> <td>61,05</td> <td>12 303,31</td> </tr> <tr> <td>Odour (Pch)</td> <td>307,26</td> <td>27 770,73</td> <td>26,64</td> <td>5,54</td> <td>28 110,17</td> </tr> </tbody> </table>						Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total	Energie consommée (GJ)	2 066,77	262 207,70	382,21	80,40	264 737,08	Eau utilisée (m³)	1 531,74	362 283,06	339,45	37,68	364 191,92	Équipement ressources abiotiques (E-15)	1,14	59,49	4,38	0,03	65,04	Déchets inertes produits (t eq)	63,67	1 899 927,50	4,49	947,29	1 899 943,96	Déchets radioactifs (t eq)	6,19	368,07	1,01	0,30	375,57	Effet de serre (t CO2)	213,29	9 083,95	15,16	4,92	9 317,32	Acidification (kg SO2)	460,33	28 755,07	84,44	56,17	29 496,02	Eutrophication (kg PO4)	100,61	3 065,47	6,15	8,78	3 281,01	Écotoxicité aquatique (m3)	1 804 701,86	122 911 734,72	292 980,69	161 437,44	125 170 857,71	Toxicité humaine (kg)	1 472,07	124 107,38	290,57	67,53	125 937,55	Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	526,50	11 685,29	30,47	61,05	12 303,31	Odour (Pch)	307,26	27 770,73	26,64	5,54	28 110,17	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Impact</th> <th>Construction</th> <th>Utilisation</th> <th>Rénovation</th> <th>Démolition</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Energie consommée (GJ)</td> <td>2 066,77</td> <td>16 278,44</td> <td>382,21</td> <td>80,40</td> <td>18 748,82</td> </tr> <tr> <td>Eau utilisée (m³)</td> <td>1 531,74</td> <td>61 151,64</td> <td>339,45</td> <td>37,68</td> <td>63 060,50</td> </tr> <tr> <td>Équipement ressources abiotiques (E-15)</td> <td>1,14</td> <td>2,93</td> <td>4,38</td> <td>0,03</td> <td>8,49</td> </tr> <tr> <td>Déchets inertes produits (t eq)</td> <td>63,67</td> <td>97,38</td> <td>4,49</td> <td>947,29</td> <td>1 112,94</td> </tr> <tr> <td>Déchets radioactifs (t eq)</td> <td>6,19</td> <td>4,49</td> <td>1,01</td> <td>0,30</td> <td>12,29</td> </tr> <tr> <td>Effet de serre (t CO2)</td> <td>213,29</td> <td>659,92</td> <td>15,16</td> <td>4,92</td> <td>893,29</td> </tr> <tr> <td>Acidification (kg SO2)</td> <td>460,33</td> <td>1 591,10</td> <td>84,44</td> <td>56,17</td> <td>2 292,05</td> </tr> <tr> <td>Eutrophication (kg PO4)</td> <td>100,61</td> <td>145,16</td> <td>6,15</td> <td>8,78</td> <td>300,69</td> </tr> <tr> <td>Écotoxicité aquatique (m3)</td> <td>1 804 701,86</td> <td>9 020 462,44</td> <td>292 980,69</td> <td>161 437,44</td> <td>11 279 595,43</td> </tr> <tr> <td>Toxicité humaine (kg)</td> <td>1 472,07</td> <td>2 012,73</td> <td>290,57</td> <td>67,53</td> <td>3 843,90</td> </tr> <tr> <td>Production d'ozone photochimique (kg C2H4)</td> <td>526,50</td> <td>986,77</td> <td>30,47</td> <td>61,05</td> <td>1 594,80</td> </tr> <tr> <td>Odour (Pch)</td> <td>307,26</td> <td>9 930,98</td> <td>26,64</td> <td>5,54</td> <td>9 940,41</td> </tr> </tbody> </table>						Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total	Energie consommée (GJ)	2 066,77	16 278,44	382,21	80,40	18 748,82	Eau utilisée (m³)	1 531,74	61 151,64	339,45	37,68	63 060,50	Équipement ressources abiotiques (E-15)	1,14	2,93	4,38	0,03	8,49	Déchets inertes produits (t eq)	63,67	97,38	4,49	947,29	1 112,94	Déchets radioactifs (t eq)	6,19	4,49	1,01	0,30	12,29	Effet de serre (t CO2)	213,29	659,92	15,16	4,92	893,29	Acidification (kg SO2)	460,33	1 591,10	84,44	56,17	2 292,05	Eutrophication (kg PO4)	100,61	145,16	6,15	8,78	300,69	Écotoxicité aquatique (m3)	1 804 701,86	9 020 462,44	292 980,69	161 437,44	11 279 595,43	Toxicité humaine (kg)	1 472,07	2 012,73	290,57	67,53	3 843,90	Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	526,50	986,77	30,47	61,05	1 594,80	Odour (Pch)	307,26	9 930,98	26,64	5,54	9 940,41
	Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total																																																																																																																																																																			
Energie consommée (GJ)	2 066,77	262 207,70	382,21	80,40	264 737,08																																																																																																																																																																				
Eau utilisée (m³)	1 531,74	362 283,06	339,45	37,68	364 191,92																																																																																																																																																																				
Équipement ressources abiotiques (E-15)	1,14	59,49	4,38	0,03	65,04																																																																																																																																																																				
Déchets inertes produits (t eq)	63,67	1 899 927,50	4,49	947,29	1 899 943,96																																																																																																																																																																				
Déchets radioactifs (t eq)	6,19	368,07	1,01	0,30	375,57																																																																																																																																																																				
Effet de serre (t CO2)	213,29	9 083,95	15,16	4,92	9 317,32																																																																																																																																																																				
Acidification (kg SO2)	460,33	28 755,07	84,44	56,17	29 496,02																																																																																																																																																																				
Eutrophication (kg PO4)	100,61	3 065,47	6,15	8,78	3 281,01																																																																																																																																																																				
Écotoxicité aquatique (m3)	1 804 701,86	122 911 734,72	292 980,69	161 437,44	125 170 857,71																																																																																																																																																																				
Toxicité humaine (kg)	1 472,07	124 107,38	290,57	67,53	125 937,55																																																																																																																																																																				
Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	526,50	11 685,29	30,47	61,05	12 303,31																																																																																																																																																																				
Odour (Pch)	307,26	27 770,73	26,64	5,54	28 110,17																																																																																																																																																																				
Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total																																																																																																																																																																				
Energie consommée (GJ)	2 066,77	16 278,44	382,21	80,40	18 748,82																																																																																																																																																																				
Eau utilisée (m³)	1 531,74	61 151,64	339,45	37,68	63 060,50																																																																																																																																																																				
Équipement ressources abiotiques (E-15)	1,14	2,93	4,38	0,03	8,49																																																																																																																																																																				
Déchets inertes produits (t eq)	63,67	97,38	4,49	947,29	1 112,94																																																																																																																																																																				
Déchets radioactifs (t eq)	6,19	4,49	1,01	0,30	12,29																																																																																																																																																																				
Effet de serre (t CO2)	213,29	659,92	15,16	4,92	893,29																																																																																																																																																																				
Acidification (kg SO2)	460,33	1 591,10	84,44	56,17	2 292,05																																																																																																																																																																				
Eutrophication (kg PO4)	100,61	145,16	6,15	8,78	300,69																																																																																																																																																																				
Écotoxicité aquatique (m3)	1 804 701,86	9 020 462,44	292 980,69	161 437,44	11 279 595,43																																																																																																																																																																				
Toxicité humaine (kg)	1 472,07	2 012,73	290,57	67,53	3 843,90																																																																																																																																																																				
Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	526,50	986,77	30,47	61,05	1 594,80																																																																																																																																																																				
Odour (Pch)	307,26	9 930,98	26,64	5,54	9 940,41																																																																																																																																																																				
Ecoprofil																																																																																																																																																																									
OBSERVATIONS	<p>L'effet de serre s'augmente par l'ajout des techniques constructives dans la phase d'utilisation, c'est le cas aussi pour l'énergie consommée et la production d'ozone photochimique.</p> <p>La production de déchets inertes dans la conception BET est plus importante alors les autres conceptions émergent une amélioration à ce propos.</p>																																																																																																																																																																								

Tableau 36: Résultats numériques et écoprofiles de l'ACV des conceptions du projet E4-C1-MM

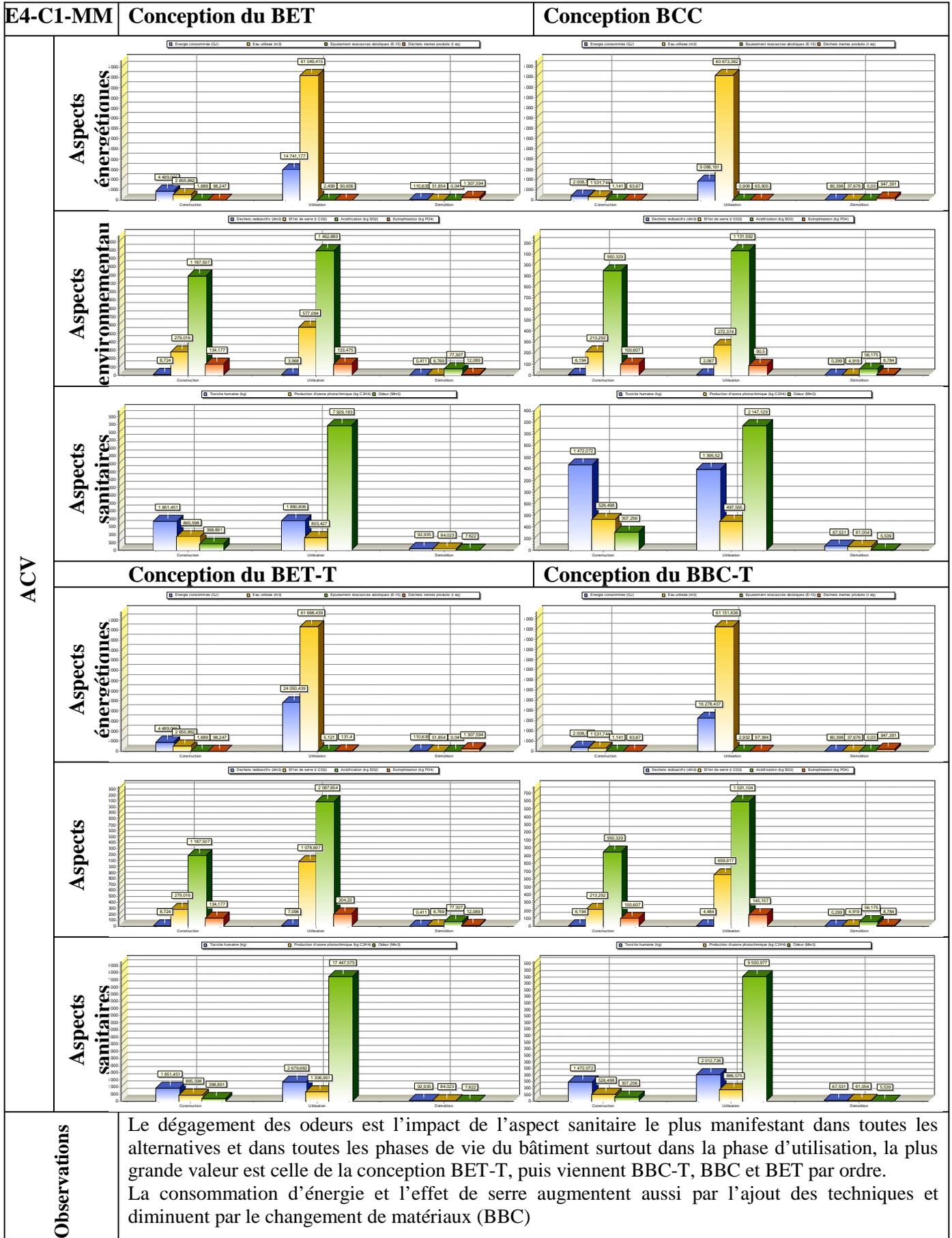
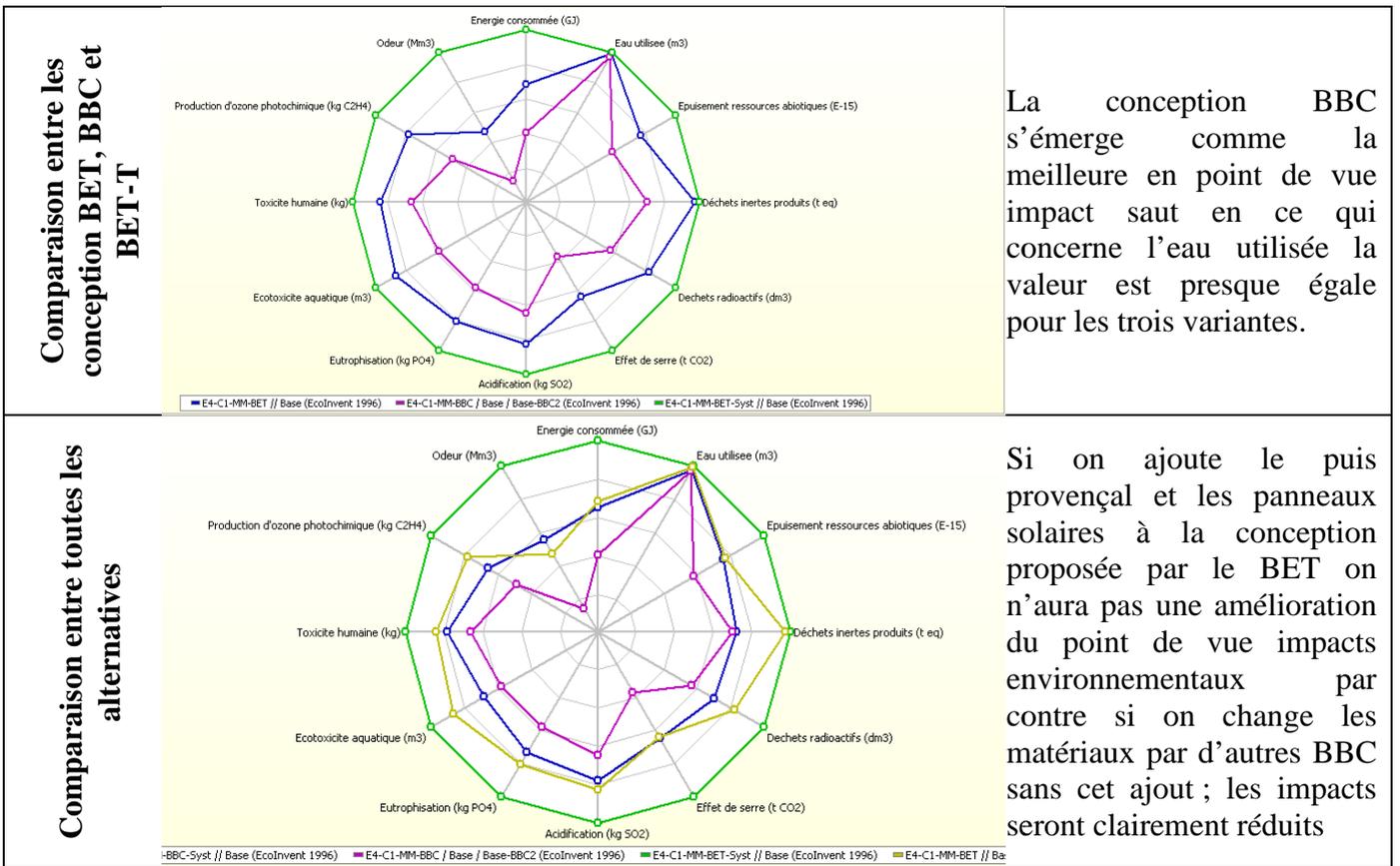


Tableau 37: Résultats graphiques de l'ACV des conceptions du projet E4-C1-MM

<b>Projet 04</b> <b>E4-C1-MM</b>	<b>Radars Comparatifs</b>	<b>OBSERVATIONS :</b>
<b>Comparaison entre la conception du BET et BBC</b>		<p>La conception du BET présente des impacts environnementaux plus importants que celle BBC sauf en matière de consommation d'eau leur valeurs paraissent très proches</p>
<b>Comparaison entre la conception du BET et BET-T</b>		<p>La conception BET paraît moins impactante sur l'environnement et en matière d'épuisement des ressources énergétiques par rapport la conception BET avec l'ajout du puis provençal et les panneaux solaires</p>
<b>Comparaison entre BBC et BBC-T</b>		<p>La conception BBC paraît moins impactante sur l'environnement et en matière d'épuisement des ressources énergétiques par rapport la conception BBC avec l'ajout du puis provençal et les panneaux solaires</p>
<b>Comparaison entre la conception BET et BBC-T</b>		<p>La conception BBC avec le puis provençal et les panneaux solaires présente seulement une plus haute valeur de dégagement d'odeurs et de moindres valeurs des autres impacts par rapport la conception proposée par le BET</p>



**Tableau 38: Radars comparatifs des résultats de l'ACV des conceptions du projet E4-C1-MM**

4. Récapitulation des recommandations:

4.1.Choix énergétique :

Tableau 39 : Tableau récapitulatif des différentes alternatives de projets avec leurs besoins énergétiques

Indicateurs			E1-D1-BH				E2-A1-MM				E3-B1-RH				E4-C1-MM				
			BET	BBC	BET-T	BBC-T													
Besoins thermiques nets : kWh			14635	4214	40187	28369	4904	286	10324	2837	5621	54	14884	6397	13058	457	33806	16485	
			++	+++	-	+	+	+++	-	++	++	+++	-	+	++	+++	-	+	
Puissance de chauffe : 65 kWh/m <sup>2</sup>			19	5	50	35	25	1	52	14	14	0	38	16	21	1	54	26	
			++	+++	-	+	+	+++	-	++	++	+++	-	+	++	+++	-	+	
Températures : 16-27°C	Température 15 Janvier	Min	12	19	10	11	11	18	11	13	12	21	11	13	10	18	10	11	
			++	+++	+	+	+	+++	+	++	+	+++	-	++	+	+++	+	++	
		Max	20	28	20	20	21	32	20	22	22	21	36	20	22	20	31	20	21
			++	+++	++	++	+	+++	-	++	+	+++	-	++	+	+++	+	++	++
	Température 15 Juin	Min	31	35	26	26	30	44	26	26	32	47	26	25	30	41	26	24	
			+	-	+++	+++	+	-	+++	+++	+	-	++	+++	+	-	++	+++	
		Max	35	39	30	31	36	47	31	30	37	51	31	30	35	44	31	30	
			+	-	+++	++	+	-	++	+++	+	-	++	+++	+	-	++	+++	
+++ → qui a la plus proche valeur à la référence ++ → qui la seconde plus proche valeur à la référence + → qui a la seconde plus loin valeur à la référence - → qui a la plus loin valeur par rapport la référence			Confort d'hiver	Peu confortable	Très confortable	Peu confortable	Peu confortable	Peu confortable	confortable	Peu confortable	confortable	Peu confortable	confortable	Peu confortable	confortable	Peu confortable	Peu confortable		
			Confort d'été	inconfortable	Très inconfortable	Peu confortable	Peu confortable	inconfortable	Très inconfortable	Peu confortable	Peu confortable	inconfortable	Très inconfortable	Peu confortable	Peu confortable	inconfortable	Très inconfortable	Peu confortable	Peu confortable

## 4.2.Choix environnemental :

Tableau 40 : Tableau récapitulatif des différentes alternatives de projets avec leurs impacts

		Projet	E1-D1-BH				E2-A1-MM				E3-B1-RH				E4-C1-MM			
Aspects	Indicateurs	REF	BET	BBC	BET-T	BBC-T												
Energétiques	Energie consommée GJ	175,45 GJ	145,84	119,51	212,55	181,25	49,29	27,28	64,14	33,81	76,62	48,58	100,30	64,80	112,36	65,84	165,39	106,81
			++	+++	-	+	+	+++	-	++	+	+++	-	++	+	+++	-	++
	Eau utilisée m <sup>3</sup>	339 m <sup>3</sup>	198,08	198,60	201,38	200,80	11,69	63,49	66,88	63,72	128,54	125,16	129,35	125,72	189,08	184,61	190,90	186,02
			+++	++	-	+	+++	++	-	+	+++	-	++	+	+++	-	++	+
	Déchets inertes produits t eq	10,40 t eq	236,46	218,46	249,73	223,02	104,31	74,82	105,43	75,30	163,20	117,21	164,94	118,41	144,33	103,99	148,24	107,01
			+	+++	-	++	+	+++	-	++	+	+++	-	++	+	+++	-	++
Environnementaux	Déchets radioactifs dm <sup>3</sup>	0,51 dm <sup>3</sup>	40,97	31,27	46,38	38,41	19,09	12,85	19,46	13,61	25,27	18,11	28,00	19,98	28,26	19,35	34,39	24,09
			+	+++	-	++	+	+++	-	++	+	+++	-	++	+	+++	-	++
	Effet de serre t CO <sub>2</sub>	8,68 t CO <sub>2</sub>	133,11	116,45	204,45	183,73	47,94	30,65	63,66	37,75	70,77	52,44	96,57	70,11	101,16	58,27	158,94	102,91
			++	+++	-	+	+	+++	-	++	+	+++	-	++	++	+++	-	+
	Acidification kg SO <sub>2</sub>	62,30 kg SO <sub>2</sub>	63,73	68,89	77,17	80,00	23,55	19,48	26,60	20,65	37,75	34,21	42,01	37,13	45,62	35,67	55,17	43,05
			+++	++	+	-	+	+++	-	++	+	+++	-	++	+	+++	-	++
	Eutrophisation kg PO <sub>4</sub>	30,10 kg PO <sub>4</sub>	10,68	10,42	13,06	12,58	4,12	3,09	4,65	3,31	6,36	5,17	7,19	5,73	7,50	5,41	9,36	6,84
			++	+++	-	+	+	+++	-	++	+	+++	-	++	+	+++	-	++
Sanitaire	Production d'ozone photochimique kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	19,70 kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	129,99	126,90	164,53	156,65	51,29	32,19	58,45	35,34	78,37	55,81	89,78	63,63	90,53	56,63	116,09	76,38
			++	+++	-	+	+	+++	-	++	+	+++	-	++	+	+++	-	++
+++ → qui a la moindre valeur d'impact ++ → qui la seconde moindre valeur d'impact + → qui a la seconde grande valeur d'impact - → qui a la grande valeur d'impact			2 <sup>ème</sup> choix	1 <sup>er</sup> choix	Éliminée	3 <sup>ème</sup> choix	3 <sup>ème</sup> choix	1 <sup>er</sup> choix	Éliminée	2 <sup>ème</sup> choix	3 <sup>ème</sup> choix	1 <sup>er</sup> choix	Éliminée	2 <sup>ème</sup> choix	3 <sup>ème</sup> choix	1 <sup>er</sup> choix	Éliminée	2 <sup>ème</sup> choix

### 4.3. Nouvelles recommandations :

Vue les résultats obtenus par ces différentes alternatives, il nous semble que la conception qui présente un minimum d'impacts environnementaux, n'assure pas le confort souhaitable ce qui implique qu'une autre proposition d'amélioration de la qualité d'espace conçu sans nuire l'environnement doit être mise en valeur.

La base de données de l'ACV intégrée dans le logiciel EQUER présente les impacts de quelques matériaux qui nous aidera à choisir les moins impactants.

Pour minimiser les besoins thermiques d'un bâtiment on va disposer une isolation par l'extérieur alors on va choisir un isolant qui assure les plus moindres impacts environnementaux tels ceux à base de bois comme le liège expansé à titre d'exemple.

La brique paraît après plusieurs simulations avec PLEIADES et EQUER parmi les matériaux qui influent l'environnement, on a essayé de la remplacer par le parpaing de béton et ainsi avec le béton cellulaire mais avec ce dernier les résultats paraissent plus acceptables, mais la conception BBC reste la seule qui a pu réduire les impacts d'une manière remarquable mais sans assurer le confort souhaité, alors on a essayé d'ajouter de nouveaux dispositifs aux compositions BBC intégrées dans bibliothèque de PLEIADES et le résultat a été heureusement mieux que toutes les autres tentatives.

En ce qui suit les effets de cette dernière sur les quatre projets sont présentés dans le volet énergétique et celui environnemental.

Le tableau suivant figure les modifications intervenues sur les compositions de la conception BBC qui se résument dans l'ajout des matériaux plus résistants surtout dans le toit terrasse, remplacement du parpaing par le béton cellulaire dans les murs extérieurs, l'isolation dans les planchers intermédiaires et ainsi le changement de types de vitrage et portes.

Composition	Conception BBC	Conception BBC modifiée																																																																																																
<b>Cloison intérieure</b>	<p>Caractéristiques de la composition</p> <p>Classe: Bâtiment basse consommation</p> <p>Nom: BBC-Paroi interne</p> <p>Complément:</p> <p>Origine:</p> <p>Caractéristiques thermiques</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Composants</th> <th>T</th> <th>cm</th> <th>kg/m<sup>3</sup></th> <th>λ</th> <th>R</th> <th>Extérieur</th> <th>Intérieur</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Béton lourd</td> <td>10.0</td> <td>305</td> <td>1.750</td> <td>0.09</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>16.0</td> <td>360</td> <td></td> <td>0.09</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	Extérieur	Intérieur	Béton lourd	10.0	305	1.750	0.09				Total	16.0	360		0.09				<p>Bâtiment basse consommation</p> <p>Nom: BBC-Mur intérieur lourd maçonnerie courante</p> <p>Complément:</p> <p>Origine:</p> <p>Caractéristiques thermiques</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Composants</th> <th>T</th> <th>cm</th> <th>kg/m<sup>3</sup></th> <th>λ</th> <th>R</th> <th>Extérieur</th> <th>Intérieur</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pargelap de 20</td> <td>20.0</td> <td>260</td> <td>1.050</td> <td>0.19</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>20.0</td> <td>260</td> <td></td> <td>0.19</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	Extérieur	Intérieur	Pargelap de 20	20.0	260	1.050	0.19				Total	20.0	260		0.19																																																			
Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	Extérieur	Intérieur																																																																																											
Béton lourd	10.0	305	1.750	0.09																																																																																														
Total	16.0	360		0.09																																																																																														
Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	Extérieur	Intérieur																																																																																											
Pargelap de 20	20.0	260	1.050	0.19																																																																																														
Total	20.0	260		0.19																																																																																														
<b>Mur extérieur</b>	<p>Caractéristiques de la composition</p> <p>Classe: Bâtiment basse consommation</p> <p>Nom: BBC-Mur maçonnerie courante</p> <p>Complément:</p> <p>Origine:</p> <p>Caractéristiques thermiques</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Composants</th> <th>T</th> <th>cm</th> <th>kg/m<sup>3</sup></th> <th>λ</th> <th>R</th> <th>Extérieur</th> <th>Intérieur</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pargelap de 20</td> <td>20.0</td> <td>200</td> <td>1.050</td> <td>0.19</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Isolant générique</td> <td>20.0</td> <td>2</td> <td>0.040</td> <td>5.00</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lame d'air &gt; 1.3 cm</td> <td>1.5</td> <td>0</td> <td>0.094</td> <td>0.16</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Placoplâtre BA 13</td> <td>1.3</td> <td>11</td> <td>0.325</td> <td>0.04</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>42.8</td> <td>273</td> <td></td> <td>5.39</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	Extérieur	Intérieur	Pargelap de 20	20.0	200	1.050	0.19				Isolant générique	20.0	2	0.040	5.00				Lame d'air > 1.3 cm	1.5	0	0.094	0.16				Placoplâtre BA 13	1.3	11	0.325	0.04				Total	42.8	273		5.39				<p>Bâtiment basse consommation</p> <p>Nom: ITI BBC-Mur béton cellulaire</p> <p>Complément:</p> <p>Origine:</p> <p>Caractéristiques thermiques</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Composants</th> <th>T</th> <th>cm</th> <th>kg/m<sup>3</sup></th> <th>λ</th> <th>R</th> <th>Extérieur</th> <th>Intérieur</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Béton cellulaire 400</td> <td>15.0</td> <td>60</td> <td>0.160</td> <td>0.04</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Isolant générique</td> <td>20.0</td> <td>2</td> <td>0.040</td> <td>5.00</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lame d'air &gt; 1.3 cm</td> <td>1.5</td> <td>0</td> <td>0.094</td> <td>0.16</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Placoplâtre BA 13</td> <td>1.3</td> <td>11</td> <td>0.325</td> <td>0.04</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>37.8</td> <td>73</td> <td></td> <td>6.14</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	Extérieur	Intérieur	Béton cellulaire 400	15.0	60	0.160	0.04				Isolant générique	20.0	2	0.040	5.00				Lame d'air > 1.3 cm	1.5	0	0.094	0.16				Placoplâtre BA 13	1.3	11	0.325	0.04				Total	37.8	73		6.14			
Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	Extérieur	Intérieur																																																																																											
Pargelap de 20	20.0	200	1.050	0.19																																																																																														
Isolant générique	20.0	2	0.040	5.00																																																																																														
Lame d'air > 1.3 cm	1.5	0	0.094	0.16																																																																																														
Placoplâtre BA 13	1.3	11	0.325	0.04																																																																																														
Total	42.8	273		5.39																																																																																														
Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	Extérieur	Intérieur																																																																																											
Béton cellulaire 400	15.0	60	0.160	0.04																																																																																														
Isolant générique	20.0	2	0.040	5.00																																																																																														
Lame d'air > 1.3 cm	1.5	0	0.094	0.16																																																																																														
Placoplâtre BA 13	1.3	11	0.325	0.04																																																																																														
Total	37.8	73		6.14																																																																																														
<b>Plancher bas</b>	<p>Caractéristiques de la composition</p> <p>Classe: Bâtiment basse consommation</p> <p>Nom: BBC-Plancher bas</p> <p>Complément:</p> <p>Origine:</p> <p>Caractéristiques thermiques</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Composants</th> <th>T</th> <th>cm</th> <th>kg/m<sup>3</sup></th> <th>λ</th> <th>R</th> <th>Extérieur</th> <th>Intérieur</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lame de verre</td> <td>20.0</td> <td>2</td> <td>0.041</td> <td>4.88</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Béton lourd</td> <td>20.0</td> <td>460</td> <td>1.750</td> <td>0.11</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>40.0</td> <td>462</td> <td></td> <td>4.99</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	Extérieur	Intérieur	Lame de verre	20.0	2	0.041	4.88				Béton lourd	20.0	460	1.750	0.11				Total	40.0	462		4.99				<p>Bâtiment basse consommation</p> <p>Nom: BBC-Plancher bas hourds isolé en sous-face</p> <p>Complément:</p> <p>Origine:</p> <p>Caractéristiques thermiques</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Composants</th> <th>T</th> <th>cm</th> <th>kg/m<sup>3</sup></th> <th>λ</th> <th>R</th> <th>Extérieur</th> <th>Intérieur</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Isolant générique</td> <td>15.0</td> <td>2</td> <td>0.040</td> <td>5.00</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hourds de 16 en béton</td> <td>16.0</td> <td>208</td> <td>1.231</td> <td>0.13</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>31.0</td> <td>210</td> <td></td> <td>3.88</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	Extérieur	Intérieur	Isolant générique	15.0	2	0.040	5.00				Hourds de 16 en béton	16.0	208	1.231	0.13				Total	31.0	210		3.88																																			
Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	Extérieur	Intérieur																																																																																											
Lame de verre	20.0	2	0.041	4.88																																																																																														
Béton lourd	20.0	460	1.750	0.11																																																																																														
Total	40.0	462		4.99																																																																																														
Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	Extérieur	Intérieur																																																																																											
Isolant générique	15.0	2	0.040	5.00																																																																																														
Hourds de 16 en béton	16.0	208	1.231	0.13																																																																																														
Total	31.0	210		3.88																																																																																														
<b>Plancher intermédiaire</b>	<p>Caractéristiques de la composition</p> <p>Classe: Bâtiment basse consommation</p> <p>Nom: BBC-Plancher bas hourds isolé en sous-face</p> <p>Complément:</p> <p>Origine:</p> <p>Caractéristiques thermiques</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Composants</th> <th>T</th> <th>cm</th> <th>kg/m<sup>3</sup></th> <th>λ</th> <th>R</th> <th>Extérieur</th> <th>Intérieur</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Isolant générique</td> <td>15.0</td> <td>2</td> <td>0.040</td> <td>5.00</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hourds de 16 en béton</td> <td>16.0</td> <td>208</td> <td>1.231</td> <td>0.13</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>31.0</td> <td>210</td> <td></td> <td>3.88</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	Extérieur	Intérieur	Isolant générique	15.0	2	0.040	5.00				Hourds de 16 en béton	16.0	208	1.231	0.13				Total	31.0	210		3.88				<p>Bâtiment basse consommation</p> <p>Nom: Plancher intermédiaire hourds isolé en sous-face</p> <p>Complément:</p> <p>Origine:</p> <p>Caractéristiques thermiques</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Composants</th> <th>T</th> <th>cm</th> <th>kg/m<sup>3</sup></th> <th>λ</th> <th>R</th> <th>Extérieur</th> <th>Intérieur</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Isolant générique</td> <td>20.0</td> <td>2</td> <td>0.040</td> <td>5.00</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hourds de 16 en béton</td> <td>16.0</td> <td>208</td> <td>1.231</td> <td>0.13</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>36.0</td> <td>210</td> <td></td> <td>5.13</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	Extérieur	Intérieur	Isolant générique	20.0	2	0.040	5.00				Hourds de 16 en béton	16.0	208	1.231	0.13				Total	36.0	210		5.13																																			
Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	Extérieur	Intérieur																																																																																											
Isolant générique	15.0	2	0.040	5.00																																																																																														
Hourds de 16 en béton	16.0	208	1.231	0.13																																																																																														
Total	31.0	210		3.88																																																																																														
Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	Extérieur	Intérieur																																																																																											
Isolant générique	20.0	2	0.040	5.00																																																																																														
Hourds de 16 en béton	16.0	208	1.231	0.13																																																																																														
Total	36.0	210		5.13																																																																																														
<b>Toit terrasse</b>	<p>Caractéristiques de la composition</p> <p>Classe: Bâtiment basse consommation</p> <p>Nom: BBC-Toit</p> <p>Complément:</p> <p>Origine:</p> <p>Caractéristiques thermiques</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Composants</th> <th>T</th> <th>cm</th> <th>kg/m<sup>3</sup></th> <th>λ</th> <th>R</th> <th>Extérieur</th> <th>Intérieur</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lame de verre</td> <td>20.0</td> <td>3</td> <td>0.041</td> <td>6.34</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pâte gypse</td> <td>1.0</td> <td>12</td> <td>0.420</td> <td>0.02</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>27.0</td> <td>15</td> <td></td> <td>6.36</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	Extérieur	Intérieur	Lame de verre	20.0	3	0.041	6.34				Pâte gypse	1.0	12	0.420	0.02				Total	27.0	15		6.36				<p>Bâtiment basse consommation</p> <p>Nom: BBC-Toit-2</p> <p>Complément:</p> <p>Origine:</p> <p>Caractéristiques thermiques</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Composants</th> <th>T</th> <th>cm</th> <th>kg/m<sup>3</sup></th> <th>λ</th> <th>R</th> <th>Extérieur</th> <th>Intérieur</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Isolant générique</td> <td>15.0</td> <td>2</td> <td>0.040</td> <td>5.00</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Béton lourd</td> <td>3.0</td> <td>59</td> <td>1.750</td> <td>0.02</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pâte gypse</td> <td>1.0</td> <td>12</td> <td>0.420</td> <td>0.02</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>30.0</td> <td>84</td> <td></td> <td>6.38</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	Extérieur	Intérieur	Isolant générique	15.0	2	0.040	5.00				Béton lourd	3.0	59	1.750	0.02				Pâte gypse	1.0	12	0.420	0.02				Total	30.0	84		6.38																											
Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	Extérieur	Intérieur																																																																																											
Lame de verre	20.0	3	0.041	6.34																																																																																														
Pâte gypse	1.0	12	0.420	0.02																																																																																														
Total	27.0	15		6.36																																																																																														
Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	Extérieur	Intérieur																																																																																											
Isolant générique	15.0	2	0.040	5.00																																																																																														
Béton lourd	3.0	59	1.750	0.02																																																																																														
Pâte gypse	1.0	12	0.420	0.02																																																																																														
Total	30.0	84		6.38																																																																																														
<b>Fenêtre</b>	<p>Caractéristiques de la menuiserie</p> <p>Classe: Bâtiment basse consommation</p> <p>Nom: BBC-Double-vitrage peu émissif argon</p> <p>Complément:</p> <p>Origine:</p> <p>Sans simplifiée</p> <p>Nombre de vitrages: 2</p> <p>Coef U Menuiserie (Uw)</p> <p>Vertical: 1.815 W/(m<sup>2</sup>.K) Horizontal: 1.848 W/(m<sup>2</sup>.K) Facteur solaire (Sw): 0.446</p> <p>Cadre: Vitrage</p> <p>Données RT2012</p> <p>Hauteur (h): 1.15 m Largeur: 1 m</p> <p>Coef U Opaque (Uf): 2.1 W/(m<sup>2</sup>.K) Bois tendre</p> <p>% de vitrage (σ): 65 %</p> <p>Pai intercalaire (up): 0.03 W/(m.K) Aluminium vitrage faible émissivité</p> <p>Intercalaires: 3.493 m Nombre de vantaux: 1</p> <p>Absorption (ap): 0</p> <p>Facteur solaire (Sf): 0.09</p>	<p>Bâtiment basse consommation</p> <p>Nom: Fenest-Triple vitrage peu émissif argon</p> <p>Complément:</p> <p>Origine:</p> <p>Sans simplifiée</p> <p>Nombre de vitrages: 3</p> <p>Coef U Menuiserie (Uw)</p> <p>Vertical: 1.095 W/(m<sup>2</sup>.K) Horizontal: 1.112 W/(m<sup>2</sup>.K) Facteur solaire (Sw): 0.533</p> <p>Cadre: Vitrage</p> <p>Données RT2012</p> <p>Hauteur (h): 1.15 m Largeur: 1 m</p> <p>Coef U Opaque (Uf): 1.5 W/(m<sup>2</sup>.K) PVC (haut. perf.)</p> <p>% de vitrage (σ): 85 %</p> <p>Pai intercalaire (up): 0.03 W/(m.K) Aluminium vitrage faible émissivité</p> <p>Intercalaires: 3.96 m Nombre de vantaux: 1</p> <p>Absorption (ap): 0</p> <p>Facteur solaire (Sf): 0.04</p>																																																																																																
<b>Porte</b>	<p>Caractéristiques de la menuiserie</p> <p>Classe: Bâtiment basse consommation</p> <p>Nom: BBC-Porte solante</p> <p>Complément:</p> <p>Origine:</p> <p>Sans simplifiée</p> <p>Nombre de vitrages: 0</p> <p>Coef U Menuiserie (Uw)</p> <p>Vertical: 2.235 W/(m<sup>2</sup>.K) Horizontal: 2.235 W/(m<sup>2</sup>.K) Facteur solaire (Sw): 0.04</p> <p>Cadre: Données RT2012</p> <p>Hauteur (h): 2.04 m Largeur: 0.83 m</p> <p>Coef U Opaque (Uf): 2.235 W/(m<sup>2</sup>.K) Bois dur</p> <p>Absorption (ap): 0.4</p> <p>Facteur solaire (Sf): 0.04</p>	<p>Bâtiment basse consommation</p> <p>Nom: Passif-Porte très solante</p> <p>Complément:</p> <p>Origine:</p> <p>Sans simplifiée</p> <p>Nombre de vitrages: 0</p> <p>Coef U Menuiserie (Uw)</p> <p>Vertical: 0.0 W/(m<sup>2</sup>.K) Horizontal: 0.0 W/(m<sup>2</sup>.K) Facteur solaire (Sw): 0.03</p> <p>Cadre: Données RT2012</p> <p>Hauteur (h): 2.04 m Largeur: 0.83 m</p> <p>Coef U Opaque (Uf): 0.0 W/(m<sup>2</sup>.K)</p> <p>Absorption (ap): 0</p> <p>Facteur solaire (Sf): 0.03</p>																																																																																																

Tableau 41: Présentation des modifications portées à la conception BBC proposée

Projet	Résultats de la simulation thermique			Résultats d'ACV		OBSERVATIONS
	Diagramme de Sankey	Température 15 Janvier	Température 15 Juin	Ecoprofil	Diagramme comparatif	
<b>E1-D1-BH</b> Salle de classe 08						<p>Pour les quatre projets les besoins thermiques nets dans la conception BBC modifiée s'abaissent par rapport la conception BET ainsi les impacts mais celle BBC présente des valeurs plus basses. L'intervale de la température est entre 11-21°C en hiver et 24-27°C en été pour le projet E1-D1-BH, 16-25°C en hiver et 27-30°C en été pour le projet E1-A1-MM, 13-22°C en hiver et 26-29°C en été pour le projet E3-B1-RH et entre 14-22°C en hiver et 26-29°C en été pour le projet E4-C1-MM. Alors cette variante présente plus de confort par rapport les autres conceptions.</p>
<b>E2-A1-MM</b> Salle de classe 02						
<b>E3-B1-RH</b> Salle de classe 04						
<b>E4-C1-MM</b> Salle de classe 05						

Tableau 42: Présentation des résultats de la simulation thermique et de l'ACV pour la conception BBC modifiée des quatre projets

## 5. Conclusion :

Après les différentes simulations faites on peut conclure que les apports solaires et les températures sans ajout de panneaux photovoltaïques impliquent que les conceptions des BETs présentent une bonne orientation comme les effets des masques présentés dans le chapitre précédents ont montré que les types des ouvertures sont bien étudiés dont ils assurent le niveau d'ensoleillement nécessaire soit en hiver ou on été et ils les masquent tant qu'il est nécessaire alors nos intervention n'ont pas pris ces deux paramètres en considération.

Et vue les résultats non souhaitables des ACVs de ces projets avec les conceptions proposées par les BETs on a essayé d'améliorer la situation par le changement des matériaux ainsi par l'ajout des techniques constructives, mais ce choix n'a pas amené aux résultats estimés surtout en matière de confort hygrothermique ce qui nous a appelé à une autre intervention dont ses résultats ont été plus appréciables.

Diminuer les impacts environnementaux d'un bâtiment après les quantifier par l'ACV est pratiquement possible, mais la complexité du système bâtiment-usager nécessite d'autres outils au coté de l'ACV pour le contourner dont cette dernière n'évalue que les impacts environnementaux qui ont pu s'organisé sous l'ordre de trois catégories pour amener à une vision plus globale en terme de conception durable où le pilier environnemental et celui socioculturel sont étudiés via les impacts à aspects énergétique, environnemental et sanitaire. Les aspects énergétique et environnemental ont donné une idée sur le pilier environnemental du DD en ce qui concerne l'épuisement des ressources et les émissions dans les écosystèmes. Les impacts à aspect sanitaire ont pu toucher le pilier socioculturel du DD en matière de santé comme la simulation thermique et l'étude du confort hygrothermique et visuel a aidé à mettre en valeur ce pilier. Et le volet économique n'est pas pris en considération par l'ACV alors il nécessite d'autres outils d'évaluation par exemple l'analyse de coût global ACG.

Alors l'ACV nous a aidés à orienter la conception vers de plus préférables choix même que leurs impacts ne sont pas éliminés totalement mais ils sont réduits de manière notable avec la préservation de la qualité d'espace prévue et c'est une amélioration qui ne peut pas s'effectuer qu'avec un tel outil d'évaluation : l'ACV.

# **Analyse du Cycle de Vie comme outil pour le développement d'une stratégie de construction durable**

CHAPITRE 08 :

## Conclusions et perspectives

## **CHAPITRE 08 : CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES**

### **1. Conclusions :**

La dimension environnementale est aujourd'hui une préoccupation majeure à l'échelle internationale, et les approches curatives ont montré leurs limites ce qui a exigé son intégration dans les processus de conception des produits et procédés, dont on doit concevoir dans le respect des principes de développement durable. Pour ce faire ; différents outils sont à la disposition des concepteurs et décideurs ; l'Analyse de Cycle de Vie en fait partie.

Le travail effectué s'intègre dans une démarche de modélisation orientée vers l'aide à la conception des bâtiments. Cette recherche visait tout d'abord à présenter l'ACV dans ses grandes lignes et à rechercher un compromis pertinent entre le niveau de finesse de modélisation et la convivialité d'utilisation.

Dans la conception d'une construction durable c'est crucial de prévoir un espace sain qui assure le bien être de ses occupants comme c'est impératif de ne pas nuire l'environnement ce qui présente une complexité de systèmes étudiés où l'ACV paraît handicapé devant leur prise en totalité. Dont l'ACV fournit une meilleure aide à la décision lorsque l'on cherche à optimiser la conception d'un point de vue environnemental qui représente l'un des piliers du développement durable en considérant les impacts causés au cours de toute la durée de vie du bâtiment. Mais elle n'est pas encore capable pour qualifier l'espace conçu dans une démarche de conception durable et pour atteindre le niveau de durabilité voulu on aura alors besoin d'autres outils contournant les deux autres piliers du DD.

Cependant certaines limites subsistent et rendent son implémentation restreinte pour certaines applications et notamment en conception dont on remarque que la disponibilité et la qualité des données est une difficulté majeure et récurrente en ACV à laquelle aucune solution satisfaisante n'a encore été apportée.

La croissance du nombre de données et donc du nombre de flux à manager risque d'occasionner une distribution élargie des impacts environnementaux entre les flux et donc d'aplanir les écarts de qualité.

L'ACV est suffisamment coûteuse en terme de temps de mise en œuvre, l'approche doit permettre d'optimiser la phase de collecte en regard de objectifs de l'analyse.

Les travaux de recherches proposent une approche d'appréhension de la fiabilité des résultats d'ACV. Cependant certaines limites subsistent mettant en péril le bon déroulement de la méthodologie.

La complexité et les incertitudes des résultats d'une ACV sont souvent considérées comme des barrières à un usage plus fréquent de cette méthode. Naturellement, si les données utilisées en entrée sont peu fiables, les résultats obtenus ne le seront pas plus.

## 2. Perspectives :

L'évaluation des impacts environnementaux consécutifs à l'exploitation d'un bâtiment relève de plusieurs disciplines, qui ont encore du mal à travailler ensemble dans un objectif de réduction des émissions et des impacts vers l'environnement

La volonté de ce travail était d'amener une contribution à la lourde problématique environnementale résultant de la mauvaise conception des bâtiments où nous vivons. Cette problématique trouvera une solution à travers trois éléments : les progrès et les performances des systèmes, une véritable gestion environnementale des bâtiments, la prise de conscience et des changements de mœurs vers des pratiques responsables, économes et plus équitables.

Nous avons constaté au cours de la revue de littérature que plusieurs techniques et méthodes coexistent pour communiquer des données entre différents logiciels (approche par interface, par intégration, et approche hybride).

Néanmoins il semble qu'une recherche complémentaire soit nécessaire pour assurer la robustesse de l'approche. Les points suivants constituent nos perspectives de recherche :

- ✓ Généraliser l'utilisation de l'ACV qui représente un outil d'aide la prise de décision dès l'étape de conception par les acteurs de constructions tels les BETs, les municipalités, les entrepreneurs...etc.
- ✓ L'ACV qui permet la comparaison entre plusieurs alternatives peut être intégrée dans le code d'architecture et d'urbanisme pour la sélection des meilleures propositions dans les soumissions.
- ✓ Ainsi la qualité du bâtiment peut être améliorée en se plaçant sur une perspective à long terme malgré l'ACV étant un outil d'évaluation environnementale.

Cependant, cette recherche recèle aussi des limitations qui sont autant de pistes pour mener de futures recherches:

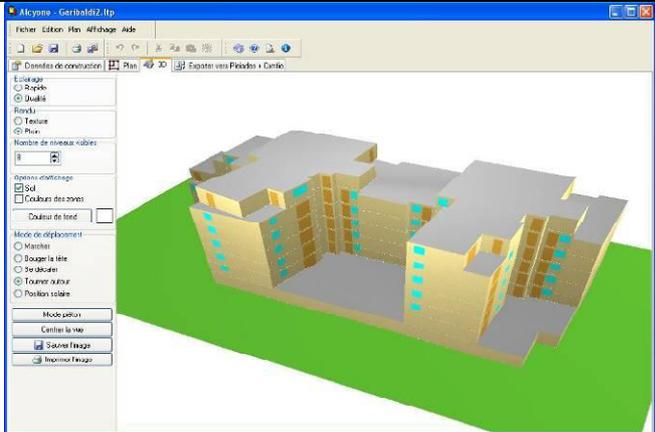
- ✓ Développer une interface progicielle qui aide à qualifier la nature d'espace conçu à coté de l'élaboration des ACVs et qui permet aussi de visualiser les résultats de plusieurs propositions en même temps.
- ✓ Il serait également intéressant d'établir une recherche sur la possibilité de combiner entre l'ACV et d'autres filières en architecture telle la morphologie à titre d'exemple.
- ✓ Enfin, une dernière piste de recherche consiste à élargir l'utilisation de l'ACV dans tous types de bâtiments en leur totalité et les dépasser vers les villes.

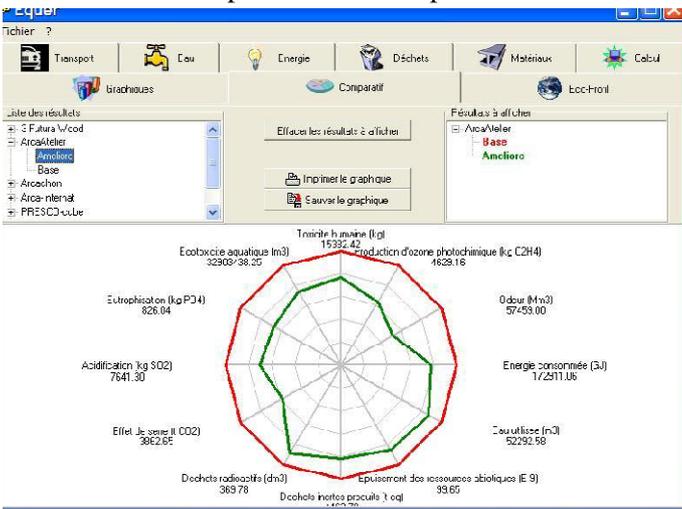
# **Analyse du Cycle de Vie comme outil pour le développement d'une stratégie de construction durable**

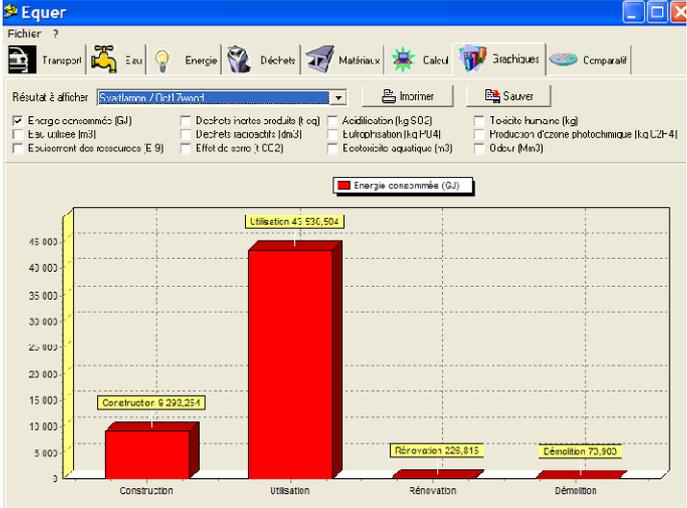
ANNEXE 01:

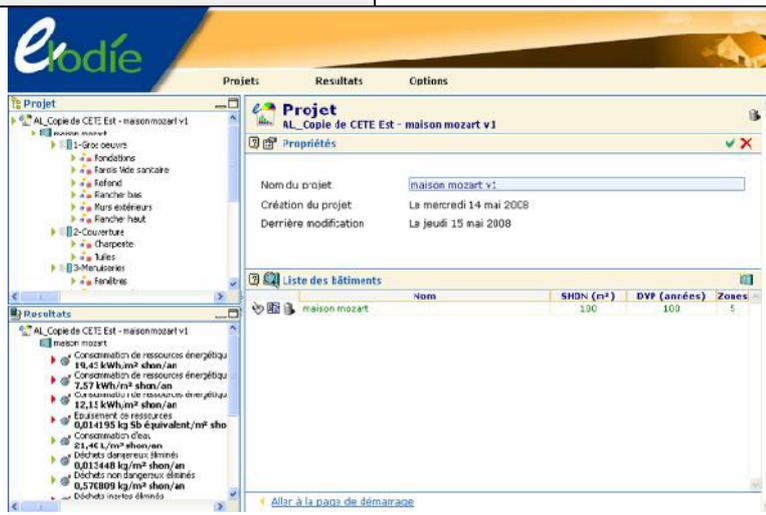
Fiche de  
synthèse des  
logiciels d'ACV

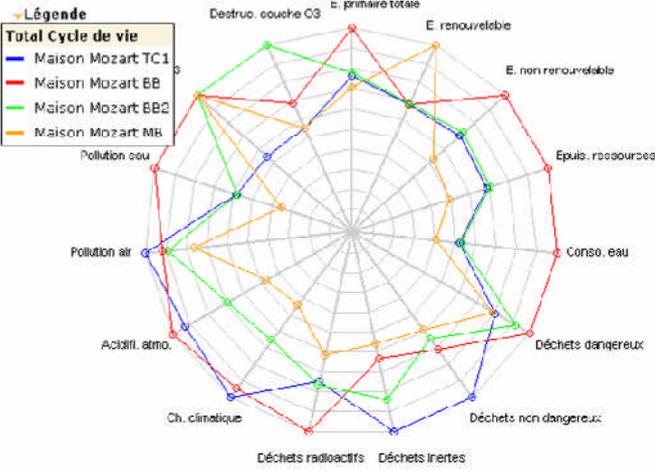
## Fiches de synthèse des logiciels :

<b>EQUER</b>			
Outil développé par :	ARMINES IZUBA Énergies	Disponibilité de l'outil :	Diffusé depuis 2002 www.izuba.fr - Version de démonstration gratuite. Licence à 500 €
Vocation / description sommaire de l'outil	EQUER permet d'évaluer les impacts environnementaux d'un bâtiment par analyse de cycle de vie, et de comparer diverses variantes de conception.		
Fonctions principales	<b>Calcul des impacts environnementaux d'un bâtiment.</b> Visualisation des impacts sur les différentes phases du cycle de vie.		
Périmètre : domaine d'application	Bâtiments neufs ou existants, transports induits par le choix du site.	Sont exclus :	Bâtiments abritant des procédés industriels
Traitement de la vie en œuvre	<i>Énergie</i>	Chaînage à l'outil de simulation dynamique PLEIADES-COMFIE	
	<i>Eau</i>	Consommation d'eau froide et d'eau chaude	
	<i>Émissions</i>	Déchets d'activité	
Traitement de la fin de vie <i>Localisation des filières locales de traitement</i>	Distances de transport vers une décharge (déchets inertes et déchets banals), un incinérateur, une usine de recyclage	Traitement de la fin de vie <i>Recyclage des matériaux (Démontabilité, Séparabilité, Recyclabilité, Recyclage effectif)</i>	Mise en décharge, incinération (inventaires différents pour bois, plastiques...), recyclage (verre, acier, béton, aluminium)
Pour quel public ?	Acteurs de la construction. Prise en main aisée de l'outil.		
Quelle étape du projet ?	Toutes. Permet une aide à l'éco-conception des bâtiments (neuf et réhabilitation)		
Données d'ACV utilisées	Inventaires comportant plusieurs centaines de substances, pour les matériaux et les procédés. Un inventaire pour un nouveau produit peut être ajouté dans la base Ecoinvent puis exporté vers EQUER.		

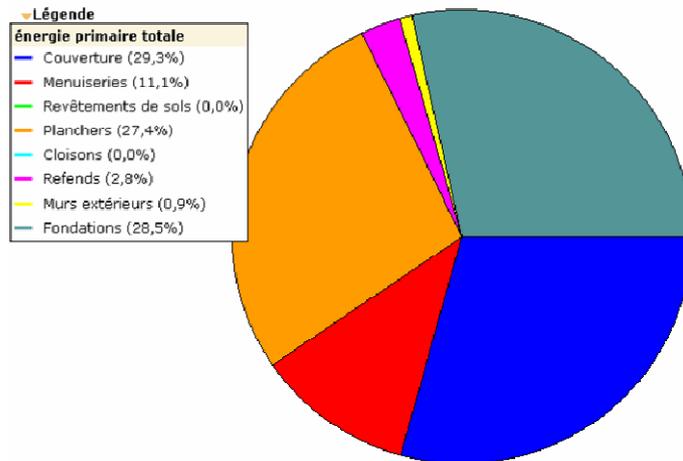
Données du bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> <li>- plans par niveau (visualisation 3D)</li> <li>- techniques de construction (parois, vitrages, équipements...)</li> <li>- scénarios d'utilisation</li> <li>- type d'énergie, mixe de production d'électricité, données sur le site</li> </ul>
Relié à quelles bases de données ?	Base Ecoinvent, www.ecoinvent.ch , version 2003 (prochainement 2007) Ou Oekoinventare 1996
Résultats principaux : <i>Liste des indicateurs</i>	<p><b>Douze indicateurs environnementaux</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Consommation de ressources énergétiques (énergie primaire totale) en MJ</li> <li>- Épuisement des ressources en kg éq. Antimoine (Sb)</li> <li>- Consommation d'eau totale, en m<sup>3</sup></li> <li>- Déchets ultimes, en tonnes eq. inertes</li> <li>- Déchets radioactifs, en dm<sup>3</sup></li> <li>- Changement climatique, en kg éq. CO<sub>2</sub></li> <li>- Acidification atmosphérique, en kg éq. SO<sub>2</sub></li> <li>- Eutrophisation, en kg eq. phosphates</li> <li>- Toxicité humaine, en eq. années de vie perdues</li> <li>- Atteinte à la biodiversité, en % d'espèces disparues x m<sup>2</sup> x an</li> <li>- Génération d'odeur, en m<sup>3</sup> d'air pollué</li> <li>- Formation d'ozone photochimique, en kg éq. éthylène</li> </ul>
Présentation des résultats :	<p>Tableaux, graphiques radars et histogrammes</p> <p>Plusieurs variantes peuvent être comparées à l'aide d'un diagramme radar :</p>  <p>Les résultats pour l'ensemble du bâtiment peuvent être exprimés en équivalent habitant année (profil normalisé)</p>
Résultats : signification et usage possible	Les variantes sont comparées sur l'ensemble du cycle de vie. La contribution des différentes phases peut être visualisée par un histogramme pour chaque indicateur.

	 <p>Les résultats sont fournis dans un fichier gérable par Excel pour des analyses spécifiques.</p>
Sources :	<p>Bernd Polster, Thèse de doctorat, École des Mines de Paris, 1995  Bruno Peupertier, Eco-conception des bâtiments, Presses de l'EMP, 2003  <a href="http://www.cenerg.ensmp.fr/francais/themes/cycle/index.html">http://www.cenerg.ensmp.fr/francais/themes/cycle/index.html</a></p>

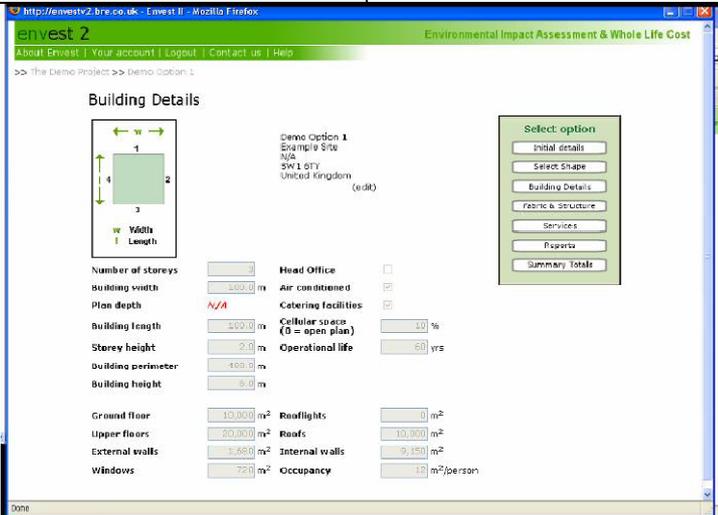
<b>ELODIE</b>			
Outil développé par :	CSTB_France	Disponibilité de l'outil :	En cours de bêta-test
Vocation / description sommaire de l'outil	<p>ELODIE a été développé dans l'objectif d'utiliser les Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire des produits (FDES) de construction (en utilise pour le moment uniquement les données environnementales).</p> <p>Outil d'aide au choix des produits de construction à l'échelle des composants du bâtiment ou parties d'ouvrages. (on compare des unités fonctionnelles)</p>		
Fonctions principales	<p><b>Calcule la part produit des impacts environnementaux d'un bâtiment.</b></p> <p>ELODIE n'est, dans cette version, pas un outil complet d'évaluation environnementale des bâtiments.</p>		
Périmètre : domaine d'application	Données produits « cradle to grave » à l'échelle du bâtiment. Bâtiments neufs	Sont exclus :	Pas de consommations énergétiques ou d'eau durant la durée de vie du bâtiment lui-même
Traitement de la vie en oeuvre	<p><i>Énergie</i></p> <p><i>Eau</i></p> <p><i>Émissions</i></p>	Prévu dans le futur	
Traitement de la fin de vie <i>Localisation des filières locales de traitement</i>	non	Traitement de la fin de vie <i>Recyclage des matériaux (Démontabilité, Séparabilité, Recyclabilité, Recyclage effectif)</i>	non
Pour quel public ?	Acteurs de la construction. Prise en main aisée de l'outil.		
Quelle étape du projet ?	Toutes. Permet une aide à la conception environnementale des bâtiments		
Données d'ACV utilisées	- données environnementales des produits et matériaux de construction (extraites automatiquement dans INIES ou gestion d'une base de données personnelle) « cradle to grave » (les dix indicateurs environnementaux de la norme NF P01-010)		
Données du bâtiment	<p>- mètre quantitatif du bâtiment à homogénéiser avec les UF des FDES</p> <p>- DVT et DVE des produits de construction</p> <p>- SHON du bâtiment</p>		

Relié à quelles bases de données ?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Base INIES, répertoriant des FDES. (<a href="http://www.inies.fr">www.inies.fr</a>)</li> <li>- Possibilité de gérer sa propre base de données et de partager des produits entre les différents utilisateurs.</li> </ul>
Résultats principaux : <i>Liste des indicateurs</i>	<p><b>Les dix indicateurs environnementaux</b> de la norme NF P01-010, excepté les déchets valorisés. Ils sont calculés grâce à l'agrégation des données produits.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Consommation de ressources énergétiques (énergie primaire totale, énergie renouvelable et énergie non renouvelable) en MJ</li> <li>- Épuisement des ressources (ADP) en kg éq. Antimoine (Sb)</li> <li>- Consommation d'eau totale, en L</li> <li>- Déchets solides éliminés (déchets dangereux, déchets non dangereux, déchets radioactifs, déchets inertes), en kg</li> <li>- Changement climatique, en kg éq. CO2</li> <li>- Acidification atmosphérique, en kg éq. SO2</li> <li>- Pollution de l'air, en m3</li> <li>- Pollution de l'eau, en m3</li> <li>- Destruction de la couche d'ozone stratosphérique, en kg CFC éq. R11</li> <li>- Formation de d'ozone photochimique, en kg éq. éthylène</li> </ul>
Présentation des résultats :	<p>Tableaux, graphiques radars et graphiques « camemberts ».</p>  <p>Pour les résultats pour l'ensemble du bâtiment, les <b>unités des résultats</b> peuvent être choisies parmi les suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- taux pour l'ensemble du cycle de vie,</li> <li>- taux par m<sup>2</sup> de SHON et</li> <li>- taux par m<sup>2</sup> de SHON et par annuité.</li> </ul>
Résultats : signification et usage possible	<p>Les résultats affichés sont le résultat de l'agrégation des données environnementales des produits : les phases de construction et de remplacement sont prises en considération. Les données « produit » intègrent les phases de vie en oeuvre et de fin de vie.</p>

ELODIE met à votre disposition des fonctions de comparaison de solutions constructives ; il est donc possible de comparer plusieurs bâtiments. Pour chacun des indicateurs environnementaux, un graphique donne la répartition des impacts imputable à chaque zone.



Sources : <http://ese.cstb.fr/elodie/default.aspx>

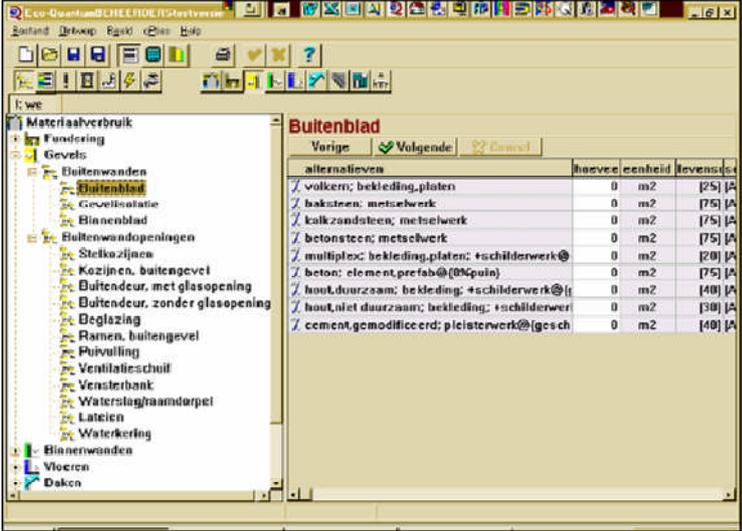
<h1>ENVEST</h1>			
Outil développé par :	UK	Disponibilité de l'outil :	Envest 2, interface web, sous licence.
Vocation / description sommaire de l'outil	Outil permettant de calculer les impacts environnementaux à l'échelle du bâtiment et le coût global de celui-ci. Il existe 2 logiciels distincts : <i>Envest 2 Estimator</i> (les coûts des produits et leur durée de vie sont prédéterminées et ne peuvent être modifiées) et <i>Envest 2 Calculator</i> (les coûts des produits et leur durée de vie peuvent être modifiés). Il est possible d'échanger des informations avec les autres utilisateurs.		
Fonctions principales	<b>Calcule la part produit des impacts environnementaux d'un bâtiment et la consommation du bâtiment durant sa vie en oeuvre.</b>		
Périmètre : domaine d'application	Bâtiments neufs ou existants. « Cradle to grave »	Sont exclus :	
Traitement de la vie en oeuvre	<i>Énergie</i>	Chauffage (pertes de chaleur par paroi, ...), éclairage (demande de la charge d'éclairage, du type de matériel installé, de l'investissement demandé), ventilation, refroidissement, ascenseurs, ...	
	<i>Eau</i>	Oui	
	<i>Émissions</i>	Non	
Traitement de la fin de vie <i>Localisation des filières locales de traitement</i>		Traitement de la fin de vie <i>Recyclage des matériaux (Démontabilité, Séparabilité, Recyclabilité, Recyclage effectif)</i>	
Pour quel public ?	large		
Quelle étape du projet ?	Phase de conception		
Données d'ACV utilisées	Les données d'Envest 2 sont spécifiques au Royaume-Uni: a) la durée de vie b) les facteurs d'expositions c) les référence en matière de consommation d'énergie et d'eau d) les analyse du cycle de vie des matériaux e) les éco-points (la normalisation et la pondération sont spécifiques au Royaume-Uni)		
Données du bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Type de bâtiment</li> <li>- Métré quantitatif du bâtiment (nombre d'étage, surfaces, forme du bâtiment, périmètre, hauteur des étages, % de surface vitrées, % de surface occupées par des portes)</li> <li>- durée de vie du bâtiment (et % de perte de performance)</li> <li>- durée d'occupation du bâtiment et nombre d'occupants</li> <li>- type de sol sur lequel le bâtiment est implanté</li> </ul>		

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Description des équipements techniques (climatisation, éclairage, ascenseurs...)</li> <li>- Composition du bâtiment (nature des matériaux...)</li> </ul>																								
Relié à quelles bases de données ?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le logiciel utilise la base de données de BRE.</li> </ul> <p>BRE a une base de données répertoriant les impacts environnementaux pour 1 tonne de chacun des matériaux. La performance environnementale des produits est exprimée à l'aide de 13 indicateurs différents, qui donnent le profil environnemental « cradle to gate » des produits. La performance environnementale « cradle to grave » est disponible pour des éléments, la durée de vie ayant été fixée pour tous à 60 ans.</p>																								
Résultats principaux : <i>Liste des indicateurs</i>	<p><b>13 indicateurs environnementaux</b> valeur quantitative des indicateurs  <b>et un indicateur à points : Ecopoint score</b></p> <p><b>Des indicateurs économiques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Consommation de ressources énergétiques fossiles, en TEP</li> <li>- Extraction de minéraux, en kg</li> <li>- Consommation d'eau totale, en L</li> <li>- Déchets éliminés, en kg</li> <li>- Changement climatique, en kg éq. CO<sub>2</sub></li> <li>- Acidification atmosphérique, en kg éq. SO<sub>2</sub></li> <li>- Destruction de la couche d'ozone stratosphérique, en kg CFC11</li> <li>- Formation de d'ozone photochimique, en kg éq. Éthylène</li> <li>- La toxicité pour l'homme dans l'air, en kg de toxicité (la toxicité est calculée comme la masse nécessaire pour diluer chaque substance toxique au-dessous de sa concentration maximale tolérable)</li> <li>- La toxicité pour l'homme à l'eau</li> <li>- L'eutrophisation, en kg éq. Phosphate</li> <li>- Écotoxicité, m<sup>3</sup> de toxicité</li> </ul> <p><i>Indicateur complémentaire :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>La pollution associée au transport et à la congestion du trafic, en tonnes. kilomètres</i></li> </ul>																								
Présentation des résultats :	<p>Graphique, tableaux, rapports</p> <p>Possibilité de comparer plusieurs bâtiments, plusieurs matériaux de constructions et différentes stratégies de maintenance.</p> <p>Possibilité de comparer l'énergie grise avec l'énergie consommée durant la vie en œuvre.</p> <p>Pour les résultats pour l'ensemble du bâtiment, les <b>unités des résultats</b> peuvent être choisies parmi les suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- totaux pour l'ensemble du cycle de vie,</li> <li>- totaux par m<sup>2</sup>.</li> </ul>																								
Résultats : signification et usage possible	<p>Les résultats affichés sont le résultat de l'agrégation des données environnementales des produits : les phases de construction et de remplacement sont prises en considération.</p> <p><b>Breakdown of Embodied Impact by Element (Ecopoints)</b></p> <table border="1"> <caption>Breakdown of Embodied Impact by Element (Ecopoints)</caption> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Value (Ecopoints)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Building Frame</td> <td>3376.0</td> </tr> <tr> <td>Foundation</td> <td>263.0</td> </tr> <tr> <td>External Wall</td> <td>2642.0</td> </tr> <tr> <td>Internal Wall</td> <td>23801.0</td> </tr> <tr> <td>Ground Floor</td> <td>29734.0</td> </tr> <tr> <td>Upper Floor</td> <td>22327.0</td> </tr> <tr> <td>Window</td> <td>1134.0</td> </tr> <tr> <td>Roof Light</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Ceilings</td> <td>27321.0</td> </tr> <tr> <td>Roof</td> <td>9753.0</td> </tr> <tr> <td>Services</td> <td>348.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>L'indicateur à points « Ecopoints » est calculé en faisant la somme des scores obtenus pour chaque indicateur environnemental. Le score pour un indicateur est obtenu en multipliant l'impact normalisé avec sa pondération.</p>	Element	Value (Ecopoints)	Building Frame	3376.0	Foundation	263.0	External Wall	2642.0	Internal Wall	23801.0	Ground Floor	29734.0	Upper Floor	22327.0	Window	1134.0	Roof Light	0.0	Ceilings	27321.0	Roof	9753.0	Services	348.0
Element	Value (Ecopoints)																								
Building Frame	3376.0																								
Foundation	263.0																								
External Wall	2642.0																								
Internal Wall	23801.0																								
Ground Floor	29734.0																								
Upper Floor	22327.0																								
Window	1134.0																								
Roof Light	0.0																								
Ceilings	27321.0																								
Roof	9753.0																								
Services	348.0																								
Sources :	<p><a href="http://www.bre.co.uk/page.jsp?id=52">http://www.bre.co.uk/page.jsp?id=52</a></p> <p><a href="http://investv2.bre.co.uk/">http://investv2.bre.co.uk/</a></p>																								

<b>LEGEP</b>			
Outil développé par :	Allemagne, <b>LEGEP-Software GmbH</b>	Disponibilité de l'outil :	Sous licence
Vocation / description sommaire de l'outil	<p><b>LEGEP</b> a été développé dans l'objectif d'être un outil complet pour évaluer le cycle de vie d'un bâtiment.</p> <p>C'est un outil composé de quatre logiciels, permettant d'obtenir, et ce pour chacune des phases du cycle de vie d'un bâtiment, non seulement</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ses consommations énergétiques (chauffage, l'eau chaude, l'électricité)</li> <li>- ainsi qu'une évaluation de son coût global (construction, vie en oeuvre -consommations, coût des produits d'entretien-, maintenance, rénovation, démolition) ;</li> <li>- mais également ses impacts sur l'environnement.</li> </ul>		
Fonctions principales	<b>Calcule les impacts environnementaux d'un bâtiment et son coût global.</b>		
Périmètre : domaine d'application	Données produits « cradle to grave » à l'échelle du bâtiment. Bâtiments neufs et existants ou produits de construction.	Sont exclus :	
Traitement de la vie en oeuvre	<i>Énergie</i>	<p>Sont calculées les consommations de chauffage, d'eau chaude, d'électricité ...</p> <p>Construction du diagramme de Sankey sur les consommations et pertes thermiques.</p> <p>Type d'utilisation et densité d'occupation des locaux pour calculer certains usages. Possibilité d'intégrer aux calculs les apports solaires et la production d'électricité à partir de panneaux solaires PV.</p> <div style="background-color: #000080; color: white; padding: 5px; text-align: center;"> <b>LEGEP Wärme und Energie</b>            Primärenergie, Endenergie, Nutzenergie         </div>	
	<i>Eau</i>	Type d'utilisation et densité d'occupation des locaux pour calculer la consommation d'eau (à partir de données statistiques). Possibilité d'intégrer l'usage d'eau de pluie.	
	<i>Émissions</i>		
Traitement de		Traitement de la fin de vie	

la fin de vie <i>Localisation des filières locales de traitement</i>		<i>Recyclage des matériaux (Démontabilité, Séparabilité, Recyclabilité, Recyclage effectif)</i>	
Pour quel public ?			
Quelle étape du projet ?	Toutes		
Données d'ACV utilisées	LEGEP récupère différents données : données environnementales, énergétiques et économiques.		
Données du bâtiment	Dans LEGEP, un bâtiment peut être décrit simultanément et de façon complémentaire à différentes échelles : inventaires de cycle de vie, caractéristique des matériaux, données de process, éléments simples, éléments composés (tels que des fenêtres) ou à l'aide de macro-éléments, (tels qu'un toit). L'utilisateur établit également des scénarios de maintenance, d'entretien, et de modifications du bâtiment...		
Relié à quelles bases de données ?	LEGEP est organisé autour de quatre logiciels qui ont chacun leur base de données. tous contenus dans une base de données interne au logiciel. L'utilisateur peut également utiliser une base de données de matériaux de construction ou renseigner l'inventaire du cycle de vie d'un produit (à partir des bases de données ECOINVENT, GEMIS, Baustoff Okoinventare et la propre base de LEGEP). Pour évaluer le coût de chaque élément renseigné, LEGEP utilise ainsi une base de données extérieure nommée SIRADOS, mise à jour annuellement.		
Résultats principaux : <i>Liste des indicateurs</i>	LEGEP fournit donc les impacts environnementaux pour les étapes de construction, et de vie en oeuvre. Pour les <b>indicateurs environnementaux</b> , LEGEP propose <b>huit indicateurs</b> : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Changement climatique GWP100 ans (méthode CML) en kg éq. CO2</li> <li>- Acidification atmosphérique, en kg éq. SO2</li> <li>- Formation d'Ozone photochimique, en kg éq. éthylène</li> <li>- Destruction de la couche d'ozone stratosphérique, en kg.éq CFC-R11</li> <li>- Eutrophisation, en éq. Phosphate</li> <li>- Consommation d'énergie primaire, en MJ</li> <li>- Consommation d'énergie renouvelable et non-renouvelable, en MJ</li> <li>- Ressources, en kg éq. Antimoine</li> </ul> Des indicateurs supplémentaires devraient être bientôt proposés.		
Sources :	<a href="http://www.legoe.de/">http://www.legoe.de/</a> PRESCO <a href="http://www.etn-presco.net">www.etn-presco.net</a>		

ECO QUANTUM			
Outil développé par :	Pays Bas_ Financé par le Steering Committee for Experiments in Public Housing, la Fondation pour la Recherche dans la construction, l'Association des Architectes hollandais et le gouvernement hollandais	Disponibilité de l'outil :	
Vocation / description sommaire de l'outil	<p>ECO QUANTUM a été développé dans l'objectif d'offrir aux architectes la possibilité d'effectuer une rapide analyse de leurs proposition, de faciliter la communication entre les différents acteurs et d'optimiser la conception des bâtiments.</p> <p>ECO QUANTUM est un outil d'aide à la décision basé sur les ACV donnant des informations quantitatives sur les impacts environnementaux des bâtiments.</p> <p>Il existe deux versions d'ECO QUANTUM :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ECO QUANTUM Recherche (qui est un outil pour analyser et développer des conceptions innovatrices et complexes pour des constructions durables) et</li> <li>- ECO QUANTUM Domestique (qui est un outil adaptés aux architectes et révèle rapidement les conséquences environnementales des choix de conception).</li> </ul> <p>ECO QUANTUM est couplé à l'outil SimaPro qui calcule les données environnementales par kg de matériaux utilisé</p>		
Fonctions principales	<b>Calcule la part produit des impacts environnementaux d'un bâtiment.</b>		
Périmètre : domaine d'application	Données produits « cradle to grave » à l'échelle du bâtiment. Bâtiments neufs	Sont exclus :	Pas de consommations énergétiques ou d'eau durant la durée de vie du bâtiment lui-même
Traitement de la vie en oeuvre	<i>Énergie</i>	oui	
	<i>Eau</i>		
	<i>Émissions</i>		
Traitement de la fin de vie <i>Localisation des filières locales de traitement</i>	oui	Traitement de la fin de vie <i>Recyclage des matériaux (Démontabilité, Séparabilité, Recyclabilité, Recyclage effectif)</i>	
Pour quel public ?	Architectes Maîtrise d'ouvrage		
Quelle étape du projet ?	Toutes. Mais en particulier phase de conception		

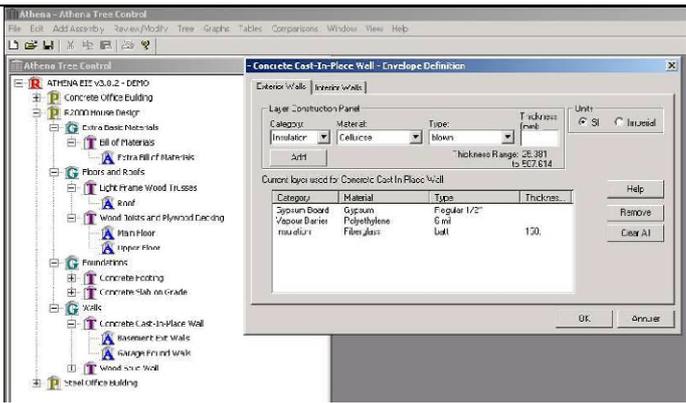
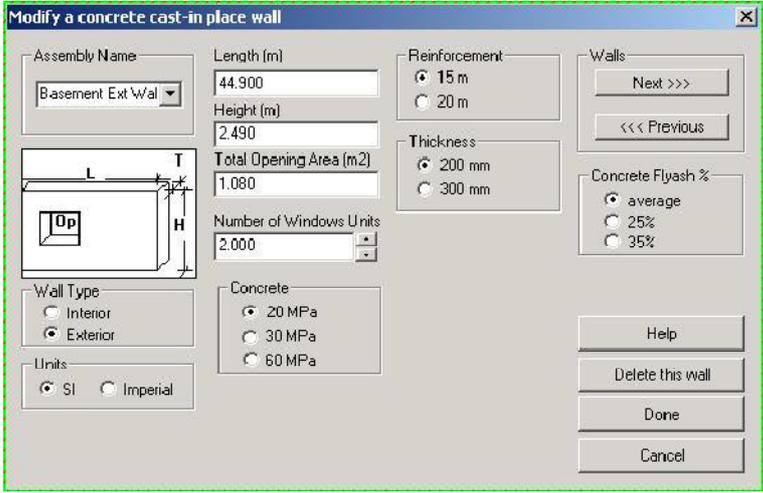
	<p>Selon la phase de construction, EQ est utilisé différemment : pendant la phase de conception préliminaire : les recommandations sur la forme et des dimensions et rempli des éléments de construction peuvent être le résultat d'EQ. Plus tard dans le processus de construction, les recommandations deviendront plus détaillées. Indiquant par exemple un composant qui devrait être remplacé pour réduire l'impact sur l'environnement de la construction.</p>	
Données d'ACV utilisées	Relié à quelles bases de données ?	
Données du bâtiment	- composants du bâtiment et les quantités	
Relié à quelles bases de données ?	<p>ECO QUANTUM utilise deux bases de données : les Profils Environnementaux et les Composants. Une version spécifique du LCA SimaPro donne les profils environnementaux pour plus de 100 matériaux de construction et certains process, comme la production d'énergie et l'eau, le transport et le traitement des déchets.</p> <p>La base de données est structurée en 4 niveaux : le logement complet, 8 « parties » de bâtiment, 24 éléments et environ 60 composants.</p>	
Résultats principaux : <i>Liste des indicateurs</i>	<p><b>Les onze indicateurs environnementaux et mesures environnementales</b> calculés grâce à l'agrégation des données produits :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Consommation de ressources énergétiques, en kWh/unité</li> <li>- Epuisement des ressources, en t de matières premières</li> <li>- Déchets éliminés, en t/unité</li> <li>- Déchets dangereux éliminés, en kg</li> <li>- Changement climatique, en t CO<sub>2</sub>/ unité</li> <li>- Acidification atmosphérique, en kg éq. SO<sub>2</sub></li> <li>- Destruction de la couche d'ozone stratosphérique, en kg CFC éq. R11</li> <li>- Formation de d'ozone photochimique, en kg éq. Éthylène</li> <li>- Toxicité humaine, en kg</li> </ul>	

	<p>- Écotoxicité (eau, sédiments et terrestre), en m<sup>3</sup>/ kg</p> <p>- Nutrification</p> <p>Ces indicateurs sont ensuite agrégés de manière à obtenir 4 scores distincts ; ressources, émissions, énergie et déchets. Chacun de ces indicateurs et scores sont divisés en trois catégories : matériaux, énergie et eau.</p>																									
Présentation des résultats :	<p>Tableaux, graphiques et rapports générés par le logiciel.</p> <p>Les résultats peuvent être donnés pour le cycle de vie entier d'un bâtiment complet mais également pour des sections transversales diverses du bâtiment, telles qu'un matériel particulier, un simple composant ou une phase du cycle de vie, par m<sup>2</sup>, par m<sup>3</sup> ou par personne.</p>																									
Résultats : signification et usage possible	<p>Les résultats affichés sont le résultat de l'agrégation des données environnementales des produits. Les données « produit » intègrent les phases de vie en oeuvre et de fin de vie.</p> <table border="1"> <caption>Approximate data from the stacked bar chart</caption> <thead> <tr> <th>Category</th> <th>Recycling (%)</th> <th>Production (%)</th> <th>Use (%)</th> <th>Landfill / incineration (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>depletion resources</td> <td>-20</td> <td>70</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>energy</td> <td>-10</td> <td>10</td> <td>80</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>emissions</td> <td>-10</td> <td>20</td> <td>70</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>waste</td> <td>-20</td> <td>30</td> <td>10</td> <td>40</td> </tr> </tbody> </table>	Category	Recycling (%)	Production (%)	Use (%)	Landfill / incineration (%)	depletion resources	-20	70	0	0	energy	-10	10	80	0	emissions	-10	20	70	0	waste	-20	30	10	40
Category	Recycling (%)	Production (%)	Use (%)	Landfill / incineration (%)																						
depletion resources	-20	70	0	0																						
energy	-10	10	80	0																						
emissions	-10	20	70	0																						
waste	-20	30	10	40																						
Sources :	<p><a href="http://www.uni-weimar.de/scc/PRO/TOOLS/nl-quantum.html">http://www.uni-weimar.de/scc/PRO/TOOLS/nl-quantum.html</a></p> <p>(IEA-BCS Annexe 31 du rapport "Energy related Environmental impact of Buildings")</p> <p>Centre for Design at RMIT <i>pour le</i> Department of the Environment and Heritage, Environment Australia. Greening the Building Life Cycle: Life cycle assessment tools in building and construction. <b>Building LCA. Tools Description</b>. 51 pages. 2001. Disponible sur [<a href="http://buildlca.rmit.edu.au">http://buildlca.rmit.edu.au</a>]</p>																									

<b>TEAM<sup>TM</sup> Bâtiment</b>			
Outil développé par :	Écobilan_ France	Disponibilité de l'outil :	Outil Web_ accès grand public (après enregistrement) Et accès payant pour les personnes souhaitant prendre connaissance de la partie détaillée de l'évaluation (étape par étape, flux par flux) et réaliser des comparaisons d'inventaires et d'impacts avec l'outil.
Vocation / description sommaire de l'outil	TEAM <sup>TM</sup> Bâtiment a été développé dans l'objectif d'utiliser les Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire des produits (FDES) de construction (en utilise pour le moment uniquement les données environnementales). Outil d'aide au choix des produits de construction à l'échelle des composants du bâtiment ou parties d'ouvrages. (on compare des unités fonctionnelles)		
Fonctions principales	<b>Calcule la part produit des impacts environnementaux d'un bâtiment.</b>		
Périmètre : domaine d'application	Données produits « cradle to grave » à l'échelle du bâtiment.	Sont exclus :	
Traitement de la vie en oeuvre	<i>Énergie</i>	Oui. Les résultats des simulations thermiques doivent être rentrés pour pouvoir être utilisés	
	<i>Eau</i>	Oui	
	<i>Émissions</i>	Non	
Traitement de la fin de vie <i>Localisation des filières locales de traitement</i>	Non	Traitement de la fin de vie <i>Recyclage des matériaux (Démontabilité, Séparabilité, Recyclabilité, Recyclage effectif)</i>	Non
Pour quel public ?	Accès grand public.		
Quelle étape du projet ?	Toutes.		
	Prise en compte de la maintenance/rénovation		
Données d'ACV utilisées	- données environnementales des produits et matériaux de construction (extraites automatiquement dans INIES ou gestion d'une base de données personnelle) « cradle to grave » (les dix indicateurs environnementaux de la norme NF P01-010)		
Données du bâtiment	- métré quantitatif du bâtiment à homogénéiser avec les UF des FDES (quantités de produits et de matériaux)		
Relié à quelles bases de données ?	- Propre base de FDES constituée à partir de la base INIES (www.inies.fr), de sites web de fédérations ou de FDES provenant directement des fabricants eux-mêmes. - L'outil stocke parallèlement l'ensemble des données du fascicule AFNOR		

	<p>concernant les énergies et les transports ainsi que des données de sa base de données DEAM.*</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En absence de FDES, pour décrire certains produits, l'outil permet d'utiliser des modélisations simples (à partir d'ACV publiques différentes des FDES, ou des calculs d'ingénieurs)</li> </ul>
<p>Résultats principaux : <i>Liste des indicateurs</i></p>	<p><b>Les dix indicateurs environnementaux</b> de la norme NF P01-010, excepté les déchets valorisés. Ils sont calculés grâce à l'agrégation des données produits.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Consommation de ressources énergétiques (énergie primaire totale, énergie renouvelable et énergie non renouvelable) en MJ</li> <li>- Épuisement des ressources (ADP) en kg éq. Antimoine (Sb)</li> <li>- Consommation d'eau totale, en L</li> <li>- Déchets solides éliminés (déchets dangereux, déchets non dangereux, déchets radioactifs, déchets inertes), en kg</li> <li>- Changement climatique, en kg éq. CO2</li> <li>- Acidification atmosphérique, en kg éq. SO2</li> <li>- Pollution de l'air, en m3</li> <li>- Pollution de l'eau, en m3</li> <li>- Destruction de la couche d'ozone stratosphérique, en kg CFC éq. R11</li> <li>- Formation de d'ozone photochimique, en kg éq. éthylène</li> </ul>
Présentation des résultats :	Sous forme tabulaire et graphique.
Résultats : signification et usage possible	<p>Les résultats affichés sont le résultat de l'agrégation des données environnementales des produits.</p> <p>Possibilité de comparer plusieurs bâtiments.</p> <p>Possibilité de comparer les résultats avec des ordres de grandeurs de la vie courante.</p>
Sources :	<a href="http://www.ecobilan.com/lci-building/fr/index.php">http://www.ecobilan.com/lci-building/fr/index.php</a> (rien actuellement)

<b>ATHENA Impact Estimator for Buildings</b>			
Outil développé par :	ASMI_Canada (Athena Sustainable Materials Institute)	Disponibilité de l'outil :	CD distribué par Morrison Hershfield Consulting Engineers CD d'utilisation à \$1100 Version démo téléchargeable
Vocation / description sommaire de l'outil	Le logiciel permet de simuler plus de 1000 combinaisons différentes et permet de modéliser 95% des constructions de bâtiments en Amérique du Nord. L'estimateur tient compte des effets sur l'environnement dus à la fabrication industrielle, y compris l'extraction de ressources, les produits recyclés, les effets du transport, l'incidence régionale de l'utilisation d'énergie, du transport et les autres facteurs... L'outil peut être utilisé de manière autonome ou peut s'adapter dans un système comme par exemple le GBC.		
Fonctions principales	<p><b>Outils de décision, outils d'évaluation environnementale</b> des bâtiments canadiens.</p> <p>Permet d'obtenir un profil environnemental du bâtiment et par conséquent d'établir des <b>comparaisons entre différentes alternatives de conception et d'usage de matériaux</b>.</p> <p>Évalue l'impact du bâtiment en prenant en compte :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- la fabrication des matériaux (incluant l'extraction des ressources et le contenu en produits recyclés)</li> <li>- le transport</li> <li>- la construction in-situ</li> <li>- la variation régionale en utilisation d'énergie, transport et autres facteurs</li> <li>- le type de bâtiment et la durée de vie</li> <li>- la maintenance, la réparation et le remplacement</li> <li>- démolition et traitement des déchets</li> <li>- consommations énergétiques liées à l'usage du bâtiment</li> </ul>		
Périmètre : domaine d'application		Sont exclus :	Qualité de l'air intérieur
Traitement de la vie en œuvre	<i>Énergie</i>	OUI	
	<i>Eau</i>	<i>En cours d'élaboration</i>	
	<i>Émissions</i>	<i>En cours d'élaboration</i>	
Traitement de la fin de vie <i>Localisation des filières locales de traitement</i>	Pas de filières identifiées	Traitement de la fin de vie <i>Recyclage des matériaux (Démontabilité, Séparabilité, Recyclabilité, Recyclage effectif)</i>	OUI : Énergie nécessaire à la démolition des systèmes structurels.
Pour quel public ?	Architectes Ingénieurs Chercheurs		
Quelle étape	Toutes		

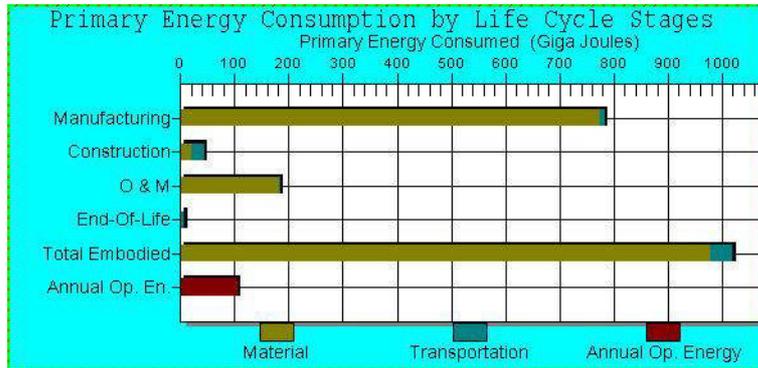
du projet ?	Conçu pour les bâtiments neufs industriels et institutionnels, les bureaux et les bâtiments résidentiels à usage individuel ou collectifs.	
Données d'ACV utilisées	<p>Bases de données ACV (qui contiennent 90-95% des systèmes structurels (bois, acier, et béton ; produits pour les revêtements ; isolants ; plaques de plâtre et matériaux de finition, choix de marques des fenêtres et des vitrages)).</p> <p>Consommation d'énergie et émissions sur l'air pour la construction in situ d'assemblages ; Énergie nécessaire à la démolition des systèmes structurels.</p> <p><b>Évolutions actuelles en termes de nouveaux produits et sur les étapes opérationnelles (pendant l'usage) et de maintenance.</b></p>	
Données du bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Durée de vie du bâtiment</li> <li>- Localisation du projet</li> <li>- Type de bâtiment</li> <li>- Sources et quantités d'énergie durant l'utilisation du bâtiment</li> </ul> <p>L'utilisateur précise le type ou l'épaisseur des matériaux, ainsi que le mètre pour chaque élément</p> 	
Relié à quelles bases de données ?	<p>Utilise les bases de données de l'institut Athena internationalement reconnues pour l'inventaire du cycle de vie, couvrant plus de 90 matériaux de structure et d'enveloppe. Utilise également les données de la US Life Cycle Inventory Database (<a href="http://www.nrel.gov/lci">www.nrel.gov/lci</a>).</p>	
Résultats principaux : <i>Liste des indicateurs</i>	<p>Consommation d'énergie (GJ)</p> <p>Index de pollution d'air</p> <p>Index de pollution de l'eau</p> <p>Production de déchets solides (Tonnes)</p> <p>Changement climatique : GWP (Tonnes éq. CO<sub>2</sub>)</p> <p>Épuisement des ressources (T) <i>Weighted Ressource Use</i></p>	

Présentation des résultats :

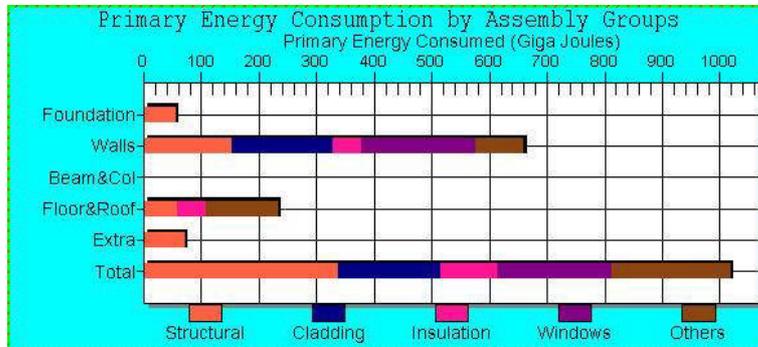
**Graphiques et tableaux**

**Graphes de synthèse**

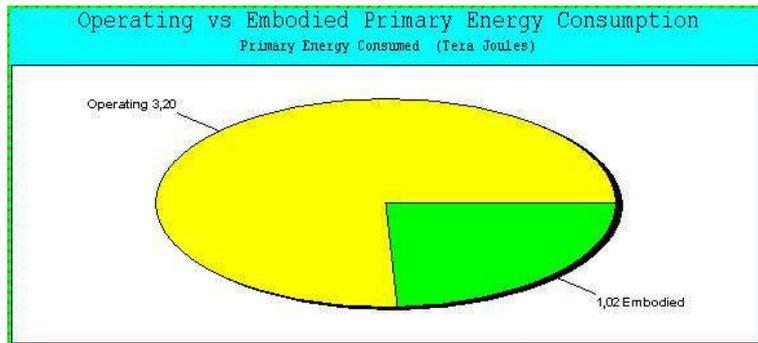
- Graphiques par étapes du cycle de vie (disponibles pour les 6 indicateurs)



- Graphiques par groupes d'assemblage (enveloppe extérieure détaillée, structure et enveloppe...) : disponibles pour les 6 indicateurs



- Camembert de comparaison des opérations de maintenance et de l'énergie grise du bâtiment (disponible uniquement pour les indicateurs suivants : énergie primaire et changement climatique)



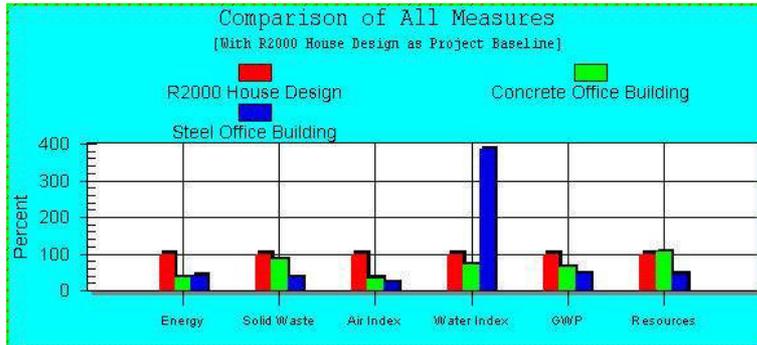
**Tableaux**

Synthèse par étape du cycle de vie (tableau de résultats annuels et tableau de résultat sur la durée de vie)

	Primary Energy Consumption kJ	Solid Waste kg	Air Pollution Index	Water Pollution Index	Global Warming Potential kg	Weighted Resource Use kg
<b>Manufacturing</b>						
Material:	774107	9940	10281	21	39943	239806
Transportation:	9021	0	3	0	16	24
<b>Total:</b>	<b>783128</b>	<b>9940</b>	<b>10284</b>	<b>21</b>	<b>39959</b>	<b>240630</b>
<b>Construction</b>						
Material:	20127	4212	180	0	1267	1844
Transportation:	24081	0	6	0	31	546
<b>Total:</b>	<b>44208</b>	<b>4212</b>	<b>186</b>	<b>0</b>	<b>1298</b>	<b>2390</b>
<b>Operations &amp; Maintenance</b>						
Material:	183224	946	2320	0	8580	13289
Transportation:	1818	0	1	0	3	43
<b>Total:</b>	<b>185042</b>	<b>946</b>	<b>2321</b>	<b>0</b>	<b>8683</b>	<b>13332</b>
<b>End-Of-Life</b>						
Material:	17	0	0	0	1	0
Transportation:	7330	0	2	0	13	164
<b>Total:</b>	<b>7347</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>14</b>	<b>164</b>
<b>Total Embodied</b>						
Material:	977525	15098	12781	21	49791	284939
Transportation:	42153	0	12	0	33	977
<b>Total:</b>	<b>1019678</b>	<b>15098</b>	<b>12793</b>	<b>21</b>	<b>49824</b>	<b>285916</b>
<b>Operating Energy:</b>						
Ann. Op. Energy:	106503	223	2625	0	5478	1973

Résultats :  
signification  
et usage  
possible

Il est possible de comparer plusieurs projets.  
Par indicateur ou pour l'ensemble des indicateurs

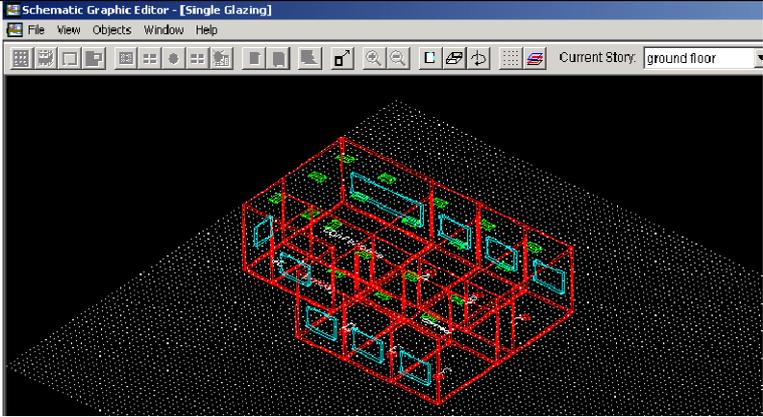
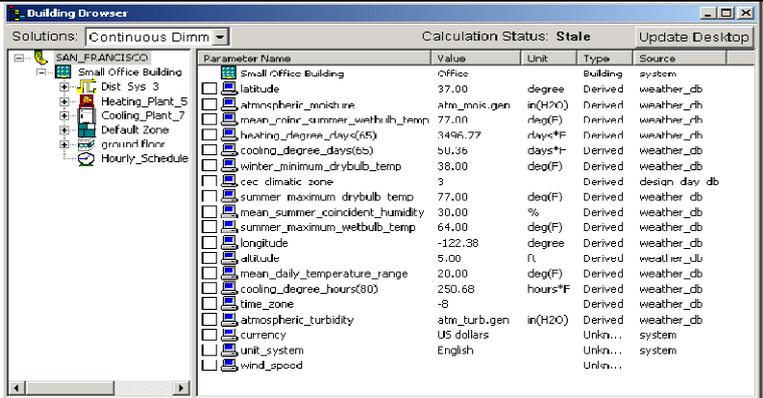


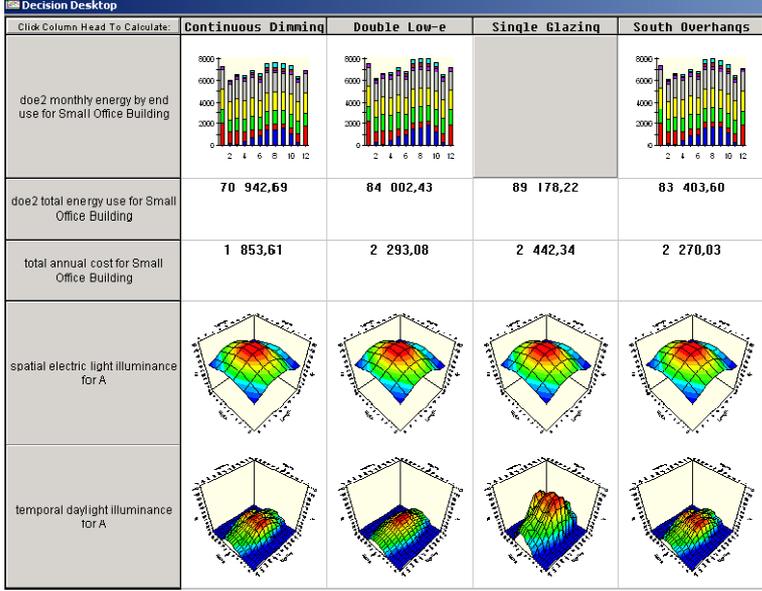
Pour chaque indicateur environnemental, un graphique donne la répartition des impacts imputables à chaque phase du cycle de vie, ou à chaque assemblage d'éléments.

Sources :

www.athenasmi.ca  
IPENCO (Impact Environnemental des Produits de Construction), Rapport final  
Les outils d'analyse environnementale des bâtiments, Durabuild, Novembre 2004

BUILDING DESIGN ADVISOR			
Outil développé par :	Lawrence Berkeley National Lab_USA <i>Financé par U.S. Department of Energy (DOE) and the California Institute for Energy Efficiency (CIEE).</i>	Disponibilité de l'outil :	Version démo téléchargeable ;
Vocation / description sommaire de l'outil	Logiciel visant à répondre aux besoins des acteurs de la conception de bâtiments pour la prise de décision depuis les phases initiales de dessin conceptuel jusqu'aux spécifications détaillées sur les composants et systèmes du bâtiment. <b>N'EST PAS UN OUTIL ACV</b> <b>Mode de représentation des données intéressant</b>		
Fonctions principales	<b>Outil d'aide à la décision, analyse multicritères</b> Nouvel environnement, logiciel sophistiqué destiné à faciliter la prise de décisions en matière de concepts de construction. Ce logiciel est à la fois un outil de recherche, une aide pédagogique et, finalement, un outil professionnel pratique qui facilite le processus décisionnel stratégique et détaillé. Le BDA est compatible avec l'utilisation intégrée et simultanée de multiples outils de simulation et de bases de données et ses résultats sont compatibles avec des jugements multicritères.		
Périmètre : domaine d'application		Sont exclus :	Données d'ACV
Traitement de la vie en oeuvre	<i>Énergie</i>	OUI	
	<i>Eau</i>	OUI	
	<i>Émissions</i>	NON	
Traitement de la fin de vie <i>Localisation des filières locales de traitement</i>	NON	Traitement de la fin de vie <i>Recyclage des matériaux (Démontabilité, Séparabilité, Recyclabilité, Recyclage effectif)</i>	NON
Pour quel public ?	Acteurs de la conception des bâtiments. Prise en main		

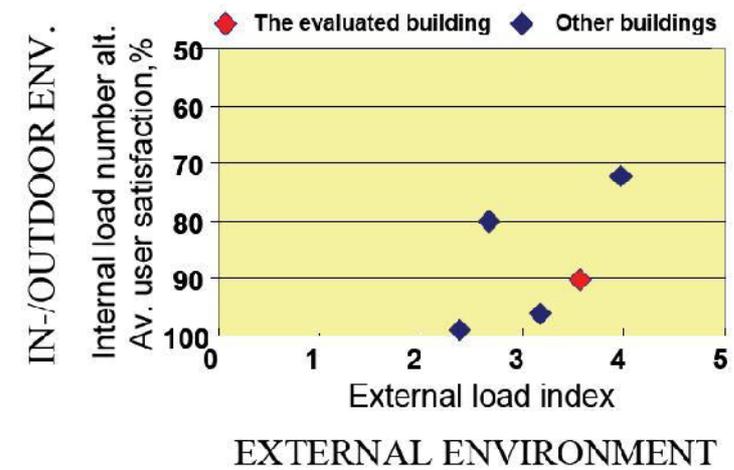
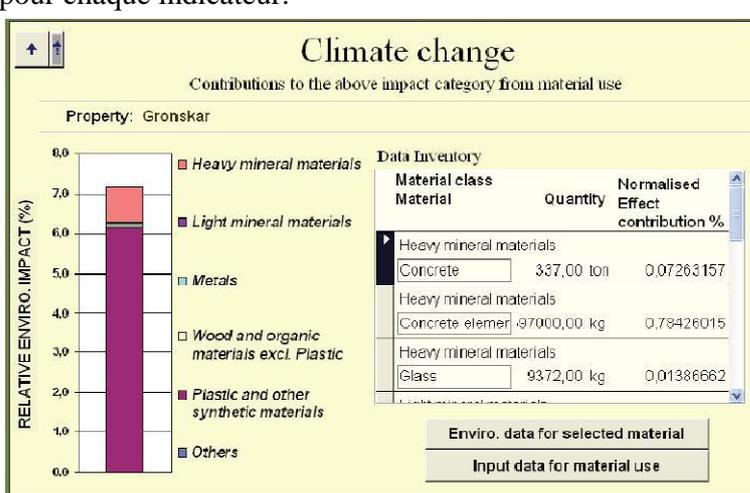
	facile, utilisation rapide	
Quelle étape du projet ?	Tout au long de la procédure de conception, dès la première phase d'esquisse de conception d'un bâtiment jusqu'à la spécification détaillée des composants et des systèmes de ce bâtiment.	 
	Les objectifs ultimes du BDA sont d'étudier les besoins en données du processus d'analyse du cycle de vie complet d'un bâtiment: conception, construction, mise en service, exploitation/per formances et démolition.	
Données d'ACV utilisées		
Données du bâtiment	<i>Schematic graphic editor</i> : modélisation du bâtiment <i>Building browser</i> : paramétrage	
Relié à quelles bases de données?		
Résultats principaux : <i>Liste des indicateurs</i>		
Présentation	Visualisation de plusieurs variantes	

des résultats :																															
Résultats : signification et usage possible	<p><b>Décision desktop :</b></p>  <table border="1" data-bbox="395 264 1157 855"> <thead> <tr> <th>Click Column Head To Calculate:</th> <th>Continuous Dimming</th> <th>Double Low-e</th> <th>Single Glazing</th> <th>South Overhangs</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>doe2 monthly energy use for Small Office Building</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>doe2 total energy use for Small Office Building</td> <td>70 942,69</td> <td>84 002,43</td> <td>89 178,22</td> <td>83 403,60</td> </tr> <tr> <td>total annual cost for Small Office Building</td> <td>1 853,61</td> <td>2 293,08</td> <td>2 442,34</td> <td>2 270,03</td> </tr> <tr> <td>spatial electric light illuminance for A</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>temporal daylight illuminance for A</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Exemples de résultats :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Consommation énergétique mensuelle en fin de vie DOE2 (DOE-2 is a widely used and accepted <b>freeware building energy analysis program that can predict the energy use and cost for all types of buildings</b>)</li> <li>- Consommation énergétique totale DOE2</li> <li>- Coût total annuel</li> <li>- Luminosité spatiale éclairage artificiel</li> <li>- Apports en éclairage naturel...</li> </ul>	Click Column Head To Calculate:	Continuous Dimming	Double Low-e	Single Glazing	South Overhangs	doe2 monthly energy use for Small Office Building					doe2 total energy use for Small Office Building	70 942,69	84 002,43	89 178,22	83 403,60	total annual cost for Small Office Building	1 853,61	2 293,08	2 442,34	2 270,03	spatial electric light illuminance for A					temporal daylight illuminance for A				
Click Column Head To Calculate:	Continuous Dimming	Double Low-e	Single Glazing	South Overhangs																											
doe2 monthly energy use for Small Office Building																															
doe2 total energy use for Small Office Building	70 942,69	84 002,43	89 178,22	83 403,60																											
total annual cost for Small Office Building	1 853,61	2 293,08	2 442,34	2 270,03																											
spatial electric light illuminance for A																															
temporal daylight illuminance for A																															
Sources :	<a href="http://gaia.lbl.gov/bda/">http://gaia.lbl.gov/bda/</a>																														

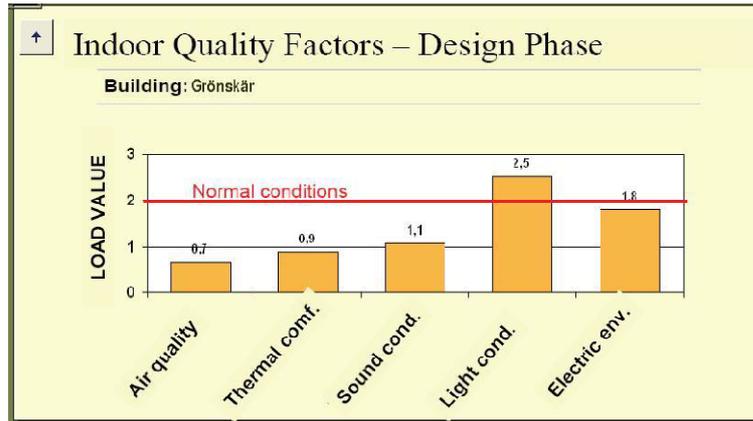
<b>BEES</b> (Building for Environmental and Economic Sustainability (construire pour une durabilité environnementale et économique))			
Outil développé par :	NIST_USA (Building and Fire Research Laboratory of the National Institute of Standards and Technology)	Disponibilité de l'outil :	Gratuit pour les utilisateurs Payant pour les industriels (insertion données ACV du produit)
Vocation / description sommaire de l'outil	Outil d'aide à la décision prenant en compte l'évaluation du cycle de vie. Cet outil dispose d'une base de données sur la performance environnementale et économique pour plus de 230 produits de construction. Choix des produits de construction qui correspondent au meilleur compromis entre la performance environnementale et économique. Plateforme : Visual basic Conception : outil CAD, Évaluation : outil CAD		
Fonctions principales	Analyse environnementale et économique par l'évaluation du cycle de vie		
Périmètre : domaine d'application	« Cradle to grave » à l'échelle des éléments de construction	Sont exclus :	Vie en œuvre
Traitement de la vie en oeuvre	<i>Énergie</i>	NON	
	<i>Eau</i>	NON	
	<i>Émissions</i>	NON	
Traitement de la fin de vie <i>Localisation des filières locales de traitement</i>	Pas de filières locales identifiées	Traitement de la fin de vie <i>Recyclage des matériaux (Démontabilité, Séparabilité, Recyclabilité, Recyclage effectif)</i>	OUI (précisé dans la fiche produit, <i>End of life</i> )
Pour quel public ?	Tous sauf les services d'exploitation des entreprises. Pratique, souple (les usagers peuvent modifier les paramètres dominants de l'évaluation, comme les poids des catégories) et transparent (accès aux bases de données et aux algorithmes).		
Quelle étape du projet ?	Toutes		
Données d'ACV utilisées	Base de données intégrée, pas de saisie manuelle possible		
Données du bâtiment	Unité Fonctionnelle pour la plupart des produits de construction : 0.09 m <sup>2</sup> (1 ft <sup>2</sup> ) pour une durée de vie de 50 ans.		
Relié à quelles bases	Données ACV des industriels ~200 produits dans la base de données		

de données ?	
Résultats principaux : <i>Liste des indicateurs</i>	<p>Changement climatique</p> <p>Acidification atmosphérique</p> <p>Eutrophisation</p> <p>Épuisement des ressources fossiles</p> <p>Qualité de l'air intérieur</p> <p>Altération de l'habitat (espèces menacées)</p> <p>Polluants de l'air de référence</p> <p>Prélèvement d'eau</p> <p>Destruction de la couche d'ozone</p> <p>santé humaine</p> <p>Toxicité écologique</p>
Présentation des résultats :	<p>Tableaux et graphes sur les procédés de production, les consommations d'énergie et la performance environnementale</p> <p>Comparaison pour chaque élément de construction, de manière indépendante</p>
Résultats : signification et usage possible	Comparaison de plusieurs produits ayant la même fonction dans le bâtiment
Sources :	<a href="http://www.bfrl.nist.gov/oea/software/bees.html">www.bfrl.nist.gov/oea/software/bees.html</a>

<b>ECOEFECT</b>			
Outil développé par :	KTH	Disponibilité de l'outil :	www.ecoeffect.se
Vocation / description sommaire de l'outil	Décrire quantitativement les impacts du cadre bâti sur l'environnement et la santé, et fournir une base pour la comparaison et l'aide à la décision permettant de réduire ces impacts		
Fonctions principales	<b>Calcul des impacts d'un bâtiment sur l'environnement et la santé.</b> <b>Coûts sur le cycle de vie</b> Visualisation des impacts sur les différentes phases du cycle de vie.		
Périmètre : domaine d'application	Bâtiments neufs résidentiels, tertiaires et scolaires	Sont exclus :	Bâtiments abritant des procédés industriels
Traitement de la vie en oeuvre	<i>Énergie</i>	Calcul séparé, par exemple réglementation thermique	
	<i>Eau</i>	non	
	<i>Émissions</i>	Espaces intérieurs et environnement proche	
Traitement de la fin de vie <i>Localisation des filières locales de traitement</i>		Traitement de la fin de vie <i>Recyclage des matériaux</i> <i>(Démontabilité, Séparabilité, Recyclabilité, Recyclage effectif)</i>	
Pour quel public ?	Urbanistes, concepteurs et gestionnaires de bâtiments Prise en main aisée de l'outil.		
Quelle étape du projet ?	Toutes. Permet une aide à la conception et à la gestion des bâtiments		
Données d'ACV utilisées	Inventaires pour différents types d'énergies et matériaux génériques		
Données du	- géométrie (surfaces des parois, épaisseurs des couches de matériaux		

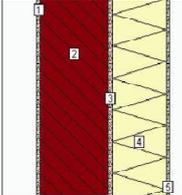
bâtiment	- techniques de construction (parois, vitrages, équipements...) - type d'énergie, mix de production d'électricité, données sur le site																																							
Relié à quelles bases de données ?	Base développée par le KTH																																							
Résultats principaux : <i>Liste des indicateurs</i>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">External impact (off site)</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">Internal impact (within site)</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">due to use of the building – LCA assessment</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">potential problems (risk) for users of the building</td> </tr> <tr> <td></td> <th style="text-align: center;">INDOOR</th> <th style="text-align: center;">OUTDOOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Climate change</td> <td>Air quality</td> <td>Air quality</td> </tr> <tr> <td>Stratospheric ozone depletion</td> <td>Thermal comfort</td> <td>Ground pollution</td> </tr> <tr> <td>Acidification</td> <td>Noise</td> <td>Noise</td> </tr> <tr> <td>Nutrification</td> <td>Light conditions</td> <td>Shade</td> </tr> <tr> <td>Ground ozone formation</td> <td>Electromagnetic cond.</td> <td>Windiness</td> </tr> <tr> <td>Human toxicity</td> <td>Allergy</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Eco toxicity</td> <td>Joints problem</td> <td>Vegetation</td> </tr> <tr> <td>Radioactivity</td> <td>Sick Building Syndr.</td> <td>Water</td> </tr> <tr> <td>Natural resource depletion</td> <td></td> <td>Bio productivity</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Radon</td> <td>Storm water</td> </tr> </tbody> </table>	External impact (off site)	Internal impact (within site)		due to use of the building – LCA assessment	potential problems (risk) for users of the building			INDOOR	OUTDOOR	Climate change	Air quality	Air quality	Stratospheric ozone depletion	Thermal comfort	Ground pollution	Acidification	Noise	Noise	Nutrification	Light conditions	Shade	Ground ozone formation	Electromagnetic cond.	Windiness	Human toxicity	Allergy		Eco toxicity	Joints problem	Vegetation	Radioactivity	Sick Building Syndr.	Water	Natural resource depletion		Bio productivity		Radon	Storm water
External impact (off site)	Internal impact (within site)																																							
due to use of the building – LCA assessment	potential problems (risk) for users of the building																																							
	INDOOR	OUTDOOR																																						
Climate change	Air quality	Air quality																																						
Stratospheric ozone depletion	Thermal comfort	Ground pollution																																						
Acidification	Noise	Noise																																						
Nutrification	Light conditions	Shade																																						
Ground ozone formation	Electromagnetic cond.	Windiness																																						
Human toxicity	Allergy																																							
Eco toxicity	Joints problem	Vegetation																																						
Radioactivity	Sick Building Syndr.	Water																																						
Natural resource depletion		Bio productivity																																						
	Radon	Storm water																																						
Présentation des résultats :	Tableaux, graphiques et histogrammes Les résultats pour le projet sont comparées à un ensemble de références : 																																							
Résultats : signification et usage possible	La contribution des différents matériaux peut être visualisée par un histogramme pour chaque indicateur. 																																							
	Les indicateurs de qualité des ambiances intérieures sont comparés à une																																							

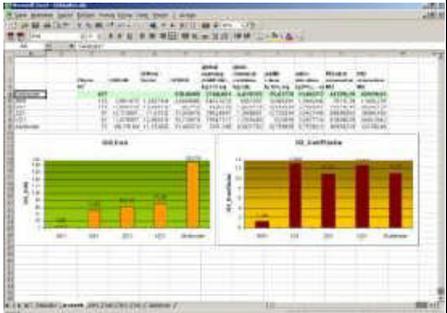
référence..

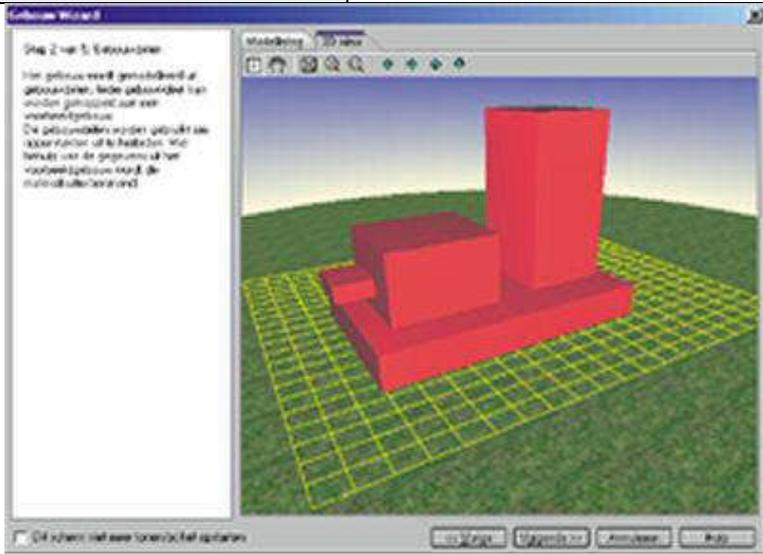


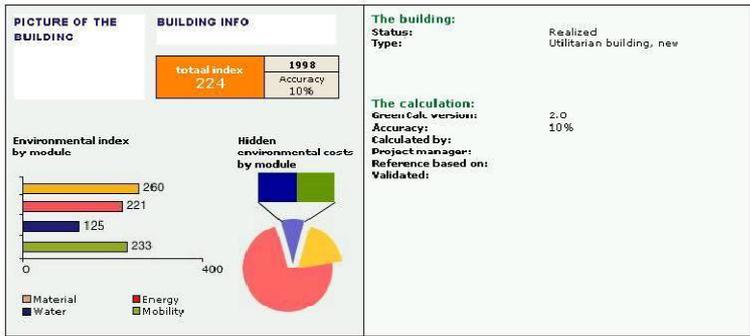
Sources :

Glaumann, Mauritz; Malmqvist, Tove, Environmental assessment of built environment : ecoeffect method, background and summarized description, KTH, Stockholm, 2004

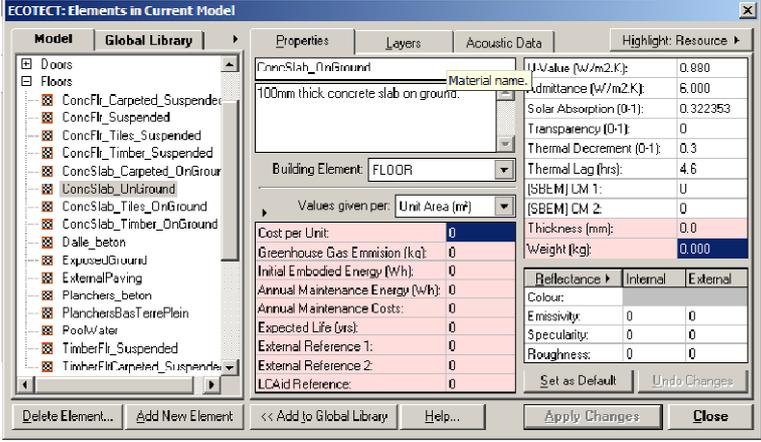
<b>ECOSOFT</b>																																																																									
Outil développé par :	IBO (Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie)	Disponibilité de l'outil :	<a href="http://www.ibo.at/de/ecosoft.htm">http://www.ibo.at/de/ecosoft.htm</a>																																																																						
Vocation / description sommaire de l'outil	Évaluation environnementale des bâtiments selon la méthode des éco-indicateurs.																																																																								
Fonctions principales	<b>Calcul des impacts environnementaux d'un bâtiment.</b> Visualisation des impacts sur les différentes phases du cycle de vie.																																																																								
Périmètre : domaine d'application	Bâtiments neufs ou existants	Sont exclus :	Bâtiments abritant des procédés industriels																																																																						
Traitement de la vie en oeuvre	<i>Énergie</i>	Chaînage à l'outil de calcul correspondant à la certification autrichienne																																																																							
	<i>Eau</i>	non																																																																							
	<i>Émissions</i>	non																																																																							
Traitement de la fin de vie <i>Localisation des filières locales de traitement</i>	Inclut le transport des matériaux en fin de vie	Traitement de la fin de vie <i>Recyclage des matériaux (Démontabilité, Séparabilité, Recyclabilité, Recyclage effectif)</i>	Mise en décharge, incinération et recyclage																																																																						
Pour quel public ?	Architectes et BET Prise en main aisée de l'outil	 <p>Projekt, Auftraggeber: <b>Sanierung, EIV</b></p> <p>Bauteiltyp: <b>Kopie 3 von Bsp. HLZ AW nach Sanierung mit Kork</b></p> <p>Bauteiltyp: <b>Wand: gegen Außen - nicht hinterlüftet (R<sub>si</sub>+R<sub>se</sub> = 0,17)</b></p> <p>Wärmedurchgangskoeffizient / U-Wert, berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946: <b>0,198 W/m²K</b></p> <p>flächenspez. Masse: <b>381,0 kg/m²</b></p> <p>O13<sub>TECH</sub>: <b>38</b></p> <p>Gesamtdicke: <b>0,495 m</b></p> <table border="1" data-bbox="608 1556 1204 1702"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Typ</th> <th>Bezeichnung der Schicht</th> <th>Dicke [m]</th> <th>Lambda [W/mK]</th> <th>Durchlassw. [m²K/W]</th> <th>MJ/m²</th> <th>kg CO<sub>2</sub> equ./m²</th> <th>kg SO<sub>2</sub> equ./m²</th> <th>AP</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td></td> <td>Kalkputz</td> <td>0,0150</td> <td>0,700</td> <td>0,021</td> <td>32,51</td> <td>3,9900</td> <td></td> <td>0,004725</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td></td> <td>Ziegel - Hochlochziegel 1200 kg/m³</td> <td>0,2500</td> <td>0,380</td> <td>0,658</td> <td>751,00</td> <td>57,0324</td> <td></td> <td>0,162300</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td>Kalk-Zementputz</td> <td>0,0150</td> <td>0,800</td> <td>0,019</td> <td>38,61</td> <td>3,5370</td> <td></td> <td>0,01</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td>Korkdämmplatten</td> <td>0,2000</td> <td>0,048</td> <td>4,167</td> <td>173,17</td> <td>-35,0400</td> <td></td> <td>0,06 00</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> <td>Silikatputz mit Kunstharzzusatz armiert</td> <td>0,0050</td> <td>0,800</td> <td>0,006</td> <td>34,74</td> <td>1,9662</td> <td></td> <td>0,011268</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Gesamtes Bauteil (alle Schichten)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1029,33</td> <td>31,4856</td> <td></td> <td>0,259800</td> </tr> </tbody> </table>		Nr.	Typ	Bezeichnung der Schicht	Dicke [m]	Lambda [W/mK]	Durchlassw. [m²K/W]	MJ/m²	kg CO <sub>2</sub> equ./m²	kg SO <sub>2</sub> equ./m²	AP	1		Kalkputz	0,0150	0,700	0,021	32,51	3,9900		0,004725	2		Ziegel - Hochlochziegel 1200 kg/m³	0,2500	0,380	0,658	751,00	57,0324		0,162300	3		Kalk-Zementputz	0,0150	0,800	0,019	38,61	3,5370		0,01	4		Korkdämmplatten	0,2000	0,048	4,167	173,17	-35,0400		0,06 00	5		Silikatputz mit Kunstharzzusatz armiert	0,0050	0,800	0,006	34,74	1,9662		0,011268	Gesamtes Bauteil (alle Schichten)						1029,33	31,4856		0,259800
Nr.	Typ	Bezeichnung der Schicht	Dicke [m]	Lambda [W/mK]	Durchlassw. [m²K/W]	MJ/m²	kg CO <sub>2</sub> equ./m²	kg SO <sub>2</sub> equ./m²	AP																																																																
1		Kalkputz	0,0150	0,700	0,021	32,51	3,9900		0,004725																																																																
2		Ziegel - Hochlochziegel 1200 kg/m³	0,2500	0,380	0,658	751,00	57,0324		0,162300																																																																
3		Kalk-Zementputz	0,0150	0,800	0,019	38,61	3,5370		0,01																																																																
4		Korkdämmplatten	0,2000	0,048	4,167	173,17	-35,0400		0,06 00																																																																
5		Silikatputz mit Kunstharzzusatz armiert	0,0050	0,800	0,006	34,74	1,9662		0,011268																																																																
Gesamtes Bauteil (alle Schichten)						1029,33	31,4856		0,259800																																																																
Quelle étape du projet ?	Toutes. Permet une aide à l'éco-conception des bâtiments (neuf et réhabilitation)																																																																								
Données d'ACV utilisées	Inventaires des matériaux (sortie usine) et des procédés																																																																								
Données du bâtiment	- géométrie (surfaces des parois, épaisseur des couches de matériaux) - techniques de construction (parois, vitrages, équipements...) - type d'énergie, mixe de production d'électricité, données sur le site																																																																								
Relié à quelles bases	Base WBF développée par IBO avec plus de 500 matériaux de construction, inventaires avec émissions dans l'air, l'eau et le sol, déchets, utilisation de matières																																																																								

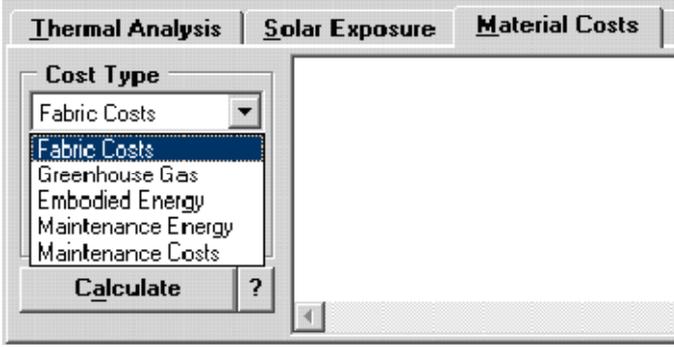
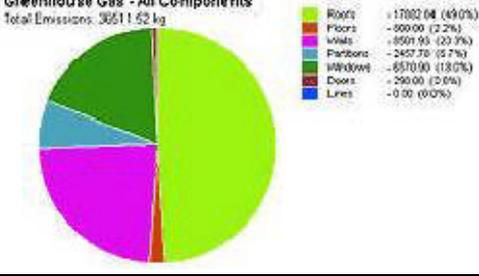
de données ?	premières et d'énergie
Résultats principaux : <i>Liste des indicateurs</i>	<b>Indicateurs environnementaux :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Consommation de ressources énergétiques (énergie primaire totale) en MJ</li> <li>- Changement climatique, en kg éq. CO<sub>2</sub></li> <li>- Acidification atmosphérique, en kg éq. SO<sub>2</sub></li> <li>- Eutrophisation, en kg eq. phosphates</li> <li>- Formation d'ozone photochimique, en kg éq. éthylène</li> <li>- Eco-indicateur (pondération des précédents)</li> </ul>
Présentation des résultats :	<p>Tableaux, graphiques et histogrammes</p> <p>Plusieurs variantes peuvent être comparées à l'aide d'histogrammes</p> 
Sources :	IBO, Leitfaden für die Berechnung von Oekokennzahlen für gebäude, Vienne Décembre 2006

<b>GreenCalc+</b>			
Outil développé par :	Dutch Institute for Building Biology and Ecology (NIBE)	Disponibilité de l'outil :	Diffusé en néerlandais : <a href="http://www.greencalc.com/">http://www.greencalc.com/</a> licence à 3500 €
Vocation / description sommaire de l'outil	GreenCalc+ permet d'évaluer la « soutenabilité environnementale » d'un bâtiment ou d'un quartier en estimant le coût nécessaire pour réparer les dommages évalués par analyse de cycle de vie		
Fonctions principales	<b>Calcul des coûts externes et des impacts environnementaux générés par un bâtiment ou un quartier.</b> Répartition des coûts entre 4 sources (matériaux, énergie, eau et transport) Modèle TWIN2002, basé sur CML2		
Périmètre : domaine d'application	Bâtiments neufs ou existants, transports induits par le choix du site..	Sont exclus :	Bâtiments abritant des procédés industriels
Traitement de la vie en oeuvre	<i>Énergie</i>	Calcul selon les normes hollandaises NEN 5128 (résidentiel) et 2916 (autres bâtiments)	
	<i>Eau</i>	Consommation d'eau basée sur la norme hollandaise NEN 6922	
	<i>Émissions</i>	Transports, méthode hollandaise VPL-KISS	
Traitement de la fin de vie <i>Localisation des filières locales de traitement</i>		Traitement de la fin de vie <i>Recyclage des matériaux (Démontabilité, Séparabilité, Recyclabilité, Recyclage effectif)</i>	Durée de vie, réparabilité, réutilisabilité
Pour quel public ?	Architectes, consultants, collectivités locales Prise en main aisée de l'outil.		
Quelle étape du projet ?	Toutes. Permet de quantifier un « indice de soutenabilité » élaboré par RGD (Dutch Government Buildings		

	Agency)	
Données d'ACV utilisées		
Données du bâtiment	plans et visualisation 3D - techniques de construction (parois, vitrages, équipements...) - occupation (nombre d'habitants) - localisation et données sur le transport (accès, parking...)	
Relié à quelles bases de données ?	Base de données interne	
Résultats principaux : <i>Liste des indicateurs</i>	<p><b>Un indicateur agrégé en €/m2 et plusieurs indicateurs environnementaux :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Consommation de ressources énergétiques (énergie primaire totale) en MJ</li> <li>- Consommation d'eau totale, en m<sup>3</sup></li> <li>- Déchets ultimes, en tonnes eq. inertes</li> <li>- Changement climatique, en kg eq. CO<sub>2</sub></li> <li>- Acidification atmosphérique, en kg eq. SO<sub>2</sub></li> <li>- Eutrophisation, en kg eq. phosphates</li> <li>- Toxicité humaine (CML)</li> <li>- Atteinte à la biodiversité, en % d'espèces disparues x m<sup>2</sup> x an</li> <li>- Génération d'odeur, en m<sup>3</sup> d'air pollué</li> <li>- Formation d'ozone photochimique, en kg eq. éthylène</li> <li>- altération de la couche d'ozone, en eq. CFC 11</li> <li>- écotoxicité aquatique et terrestre (CML)</li> </ul>	
Présentation des résultats :	Tableaux exploitables par Excel, graphiques camemberts, histogrammes Le coût externe total peut être décomposé sur 4 sources principales : matériaux, énergie, eau et transports.	
	Des histogrammes fournissent des décompositions plus détaillées.	
Résultats : signification et usage possible	<p>L'indice environnemental de la qualité environnementale du bâtiment (<b>MIG</b>) correspond à la comparaison des impacts environnementaux du bâtiment (avec son utilisation standard) avec ceux d'un bâtiment de référence .Ceci reflète la qualité environnementale intrinsèque du bâtiment.</p> <p>L'indice environnemental de gestion du bâtiment (<b>MIB</b>) correspond à la comparaison des impacts environnementaux du bâtiment (avec son utilisation effective) avec ceux d'un bâtiment de référence .Ceci reflète la qualité du bâtiment plus celle de son utilisation.</p> <p>Le bâtiment de référence est un bâtiment typique des années 1990, l'indice correspondant étant 100.</p> <p>Les variantes sont comparées sur l'ensemble du cycle de vie. La contribution des</p>	

	différentes phases peut être visualisée par un histogramme pour chaque indicateur.																																				
	Étiquette présentant la classe du bâtiment pour différents indicateurs : MIG/MIB, matériaux, eau et énergie. Les résultats sont fournis dans un fichier gérable par Excel pour des analyses spécifiques.																																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Milieu Index Gebouw</th> <th>MIG</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>nauwkeurigheid oplevering ± .. % ....</td> <td></td> <td>...</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>minder milieubelastend</i></td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>A</b></td> <td></td> <td>≥ 234</td> </tr> <tr> <td><b>B</b></td> <td></td> <td>≥ 216</td> </tr> <tr> <td><b>C</b></td> <td></td> <td>≥ 198</td> </tr> <tr> <td>norm anno 2007 <b>D</b></td> <td></td> <td>163-197</td> </tr> <tr> <td><b>E</b></td> <td></td> <td>≤ 162</td> </tr> <tr> <td><b>F</b></td> <td></td> <td>≤ 144</td> </tr> <tr> <td><b>G</b></td> <td></td> <td>≤ 126</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>meer milieubelastend</i></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Milieu Index Bedrijfsvoering <b>MIB</b> ... jaar</td> <td>materiaal energie water</td> <td>ABCDEF ABCDEF ABCDEF</td> </tr> </tbody> </table>	Milieu Index Gebouw		MIG	nauwkeurigheid oplevering ± .. % ....		...	<i>minder milieubelastend</i>			<b>A</b>		≥ 234	<b>B</b>		≥ 216	<b>C</b>		≥ 198	norm anno 2007 <b>D</b>		163-197	<b>E</b>		≤ 162	<b>F</b>		≤ 144	<b>G</b>		≤ 126	<i>meer milieubelastend</i>			Milieu Index Bedrijfsvoering <b>MIB</b> ... jaar	materiaal energie water	ABCDEF ABCDEF ABCDEF
Milieu Index Gebouw		MIG																																			
nauwkeurigheid oplevering ± .. % ....		...																																			
<i>minder milieubelastend</i>																																					
<b>A</b>		≥ 234																																			
<b>B</b>		≥ 216																																			
<b>C</b>		≥ 198																																			
norm anno 2007 <b>D</b>		163-197																																			
<b>E</b>		≤ 162																																			
<b>F</b>		≤ 144																																			
<b>G</b>		≤ 126																																			
<i>meer milieubelastend</i>																																					
Milieu Index Bedrijfsvoering <b>MIB</b> ... jaar	materiaal energie water	ABCDEF ABCDEF ABCDEF																																			
Sources :	Michiel Haas, NIBE Environmental classification for building materials, Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie (Consultant), Naarden / Bussem, Pays Bas, 2005																																				

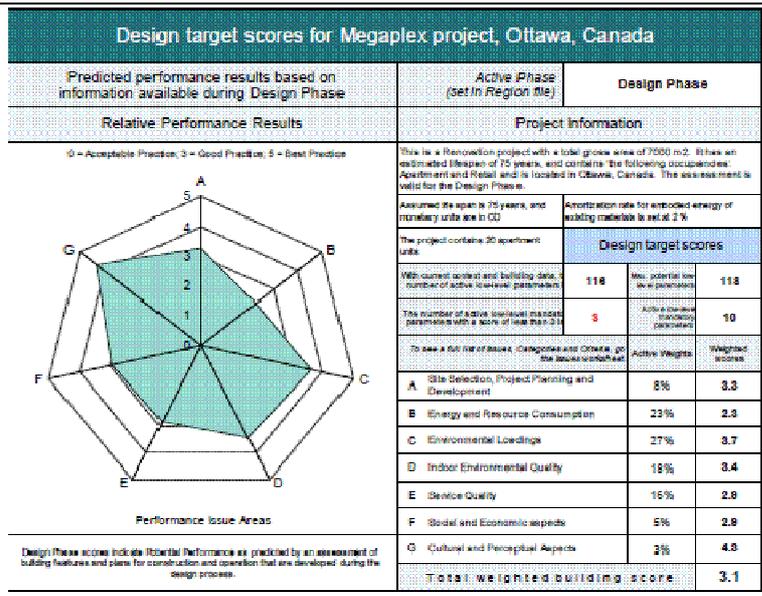
<b>ECOTECT</b>			
Outil développé par :	SQUARE ONE Research _ Australie	Disponibilité de l'outil :	€ 1120 la licence
Vocation / description sommaire de l'outil	Outil australien de design conceptuel environnemental conçu pour les architectes, avec des applications visant également l'ingénierie et la planification. Les architectes peuvent évaluer et contrôler les masques, les besoins en protection solaire l'accès au soleil, les niveaux d'éclairage naturels et artificiels, l'exposition au vent, le confort thermique et la réponse acoustique de leur bâtiment. En conjonction avec ces données techniques, ECOTECT fournit un accès instantané aux investissements mis en jeu, aux coûts de maintenance prévus et à l'évaluation du cycle de vie à tous les stades de la conception.		
Fonctions principales	Outil de conception (orienté thermique + confort visuel et acoustique) Module de coût et impacts environnementaux des matériaux existant mais base de données vide		
Périmètre : domaine d'application	« Cradle to grave » à l'échelle du bâtiment	Sont exclus :	Qualité de l'air intérieur
Traitement de la vie en oeuvre	Énergie	OUI	
	Eau	OUI (consommation d'eau potable et rejet d'eaux usées)	
	Émissions	NON	
Traitement de la fin de vie <i>Localisation des filières locales de traitement</i>	Pas de prise en compte des filières locales	Traitement de la fin de vie <i>Recyclage des matériaux (Démontabilité, Séparabilité, Recyclabilité, Recyclage effectif)</i>	NON
Pour quel public ?	Architectes, Bureaux d'études		
Quelle étape du projet ?	Toutes		
Données d'ACV utilisées	- Renseignée par l'utilisateur - Issues de l'outil LCAid ( ? )		
Données du bâtiment	Modélisation 3D du bâtiment avec affectation des matériaux ; L'utilisateur renseigne les coûts du matériau et ses impacts environnementaux :		

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Définition de l'unité fonctionnelle (surface, longueur, élément)</li> <li>- Coût du matériau</li> <li>- Émissions de GES (kg)</li> <li>- Énergie grise (Wh)</li> <li>- Énergie blanche annuelle (Wh)</li> <li>- Coûts annuels de maintenance</li> <li>- Durée de vie (années)</li> <li>- Référence externe (<i>accès à une base de donnée externe ?</i>)</li> <li>- Référence LCAid (<i>possibilité d'interactions avec le logiciel LCAid, l'utilisateur doit saisir la référence LCAid dans la description et peut ainsi intégrer les données ACV</i>) : <b>apparemment obsolète</b></li> </ul> <table border="1" data-bbox="391 622 847 936"> <tr><td>Cost per Unit:</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>Greenhouse Gas Emmission (kg):</td><td>0</td></tr> <tr><td>Initial Embodied Energy (MJ):</td><td>0</td></tr> <tr><td>Annual Maintenance Energy (MJ):</td><td>0</td></tr> <tr><td>Annual Maintenance Costs:</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>Expected Life (yrs):</td><td>0</td></tr> <tr><td>External Database Key:</td><td>0</td></tr> <tr><td>LCA Database Key:</td><td>0</td></tr> </table>	Cost per Unit:	0.00	Greenhouse Gas Emmission (kg):	0	Initial Embodied Energy (MJ):	0	Annual Maintenance Energy (MJ):	0	Annual Maintenance Costs:	0.00	Expected Life (yrs):	0	External Database Key:	0	LCA Database Key:	0
Cost per Unit:	0.00																
Greenhouse Gas Emmission (kg):	0																
Initial Embodied Energy (MJ):	0																
Annual Maintenance Energy (MJ):	0																
Annual Maintenance Costs:	0.00																
Expected Life (yrs):	0																
External Database Key:	0																
LCA Database Key:	0																
Relié à quelles bases de données ?	Données environnementales à renseigner par l'utilisateur LCAid ?																
Résultats principaux : <i>Liste des indicateurs</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coûts et impacts environnementaux des matériaux</li> <li>- Ressources énergétiques</li> <li>- Changement climatique</li> </ul> 																
Présentation des résultats :	<p><b>Greenhouse Gas - All Components</b> Total Emissions: 36511.52 kg</p>  <table border="1" data-bbox="694 1556 874 1668"> <tr><td>Roofs</td><td>17082.04 (46.76%)</td></tr> <tr><td>Floors</td><td>8000.00 (21.91%)</td></tr> <tr><td>Walls</td><td>8501.93 (23.29%)</td></tr> <tr><td>Partitions</td><td>2457.70 (6.73%)</td></tr> <tr><td>Windows</td><td>8570.00 (23.47%)</td></tr> <tr><td>Doors</td><td>290.00 (0.79%)</td></tr> <tr><td>Lires</td><td>0.00 (0.00%)</td></tr> </table>	Roofs	17082.04 (46.76%)	Floors	8000.00 (21.91%)	Walls	8501.93 (23.29%)	Partitions	2457.70 (6.73%)	Windows	8570.00 (23.47%)	Doors	290.00 (0.79%)	Lires	0.00 (0.00%)		
Roofs	17082.04 (46.76%)																
Floors	8000.00 (21.91%)																
Walls	8501.93 (23.29%)																
Partitions	2457.70 (6.73%)																
Windows	8570.00 (23.47%)																
Doors	290.00 (0.79%)																
Lires	0.00 (0.00%)																
Résultats : signification et usage possible	Pas de fonction comparative dans l'affichage des résultats.																
Sources :	www.sql.com																

<b>GBTool</b> Désormais appelé <b>SBTool</b> (intègre des variables socio-économiques)			
Outil développé par :	RNCan_IISBE (International Initiative for a Sustainable Built Environment) pour la méthode GBC. CETC Buildings Group, CANMET, Natural Resources Canada by INPOL Consulting , Kanata (Ottawa)	Disponibilité de l'outil :	\$250 CAD for a permanent or contracted staff of less than 10 persons (jusqu'au 31 octobre 2008)
Vocation / description sommaire de l'outil	Système d'évaluation multicritère Il s'agit d'un cadre ou d'une boîte à outils mais pas un outil de conception. Mis en application sous forme de feuille de calcul Excel.		
Fonctions principales	<p><b>Méthode d'évaluation environnementale - Rating tool</b></p> <p>Intègre à la fois des indicateurs environnementaux (potentiel de réchauffement global, potentiel d'acidification...), des critères qualitatifs (espaces verts, adaptabilité du bâtiment), et des critères techniques (présence d'une climatisation, d'une ventilation à double flux...).</p> <p>Capacité à s'adapter aux conditions locales.</p> <p>Inconvénients: problèmes liés aux spécificités régionales, aux méthodologies simplifiées, aux jugements de valeur implicitement contenus dans les évaluations (pondération entre critères, structuration des critères) =&gt; cet outil répond à un objectif de sensibilisation au niveau international, mais ne constitue pas un réel outil d'aide à la conception.</p> <p>L'approche développée par SBTool est très exhaustive, sur tous les aspects du développement durable.</p>		
Périmètre : domaine d'application		Sont exclus :	Second-oeuvre dans énergie grise
Traitement de la vie en oeuvre	<i>Énergie</i>	OUI	
	<i>Eau</i>	OUI (Quantités d'eau potable)	
	<i>Émissions</i>	OUI (Critères qualitatifs : stockage des matériaux, ventilation forcée, choix de matériaux à faible teneur en COV)	
Traitement de la fin de vie <i>Localisation</i>	Pas de filières locales identifiées	Traitement de la fin de vie <i>Recyclage des matériaux (Démontabilité, Séparabilité, Recyclabilité, Recyclage effectif)</i>	OUI (Plan de gestion des déchets & % de réutilisation et de recyclage des matériaux prévus dans le plan)

<i>des filières locales de traitement</i>		
Pour quel public ?	Usage non commercial Lourdeur de mise en oeuvre Adaptabilité, flexibilité : Permet aux organisations locales de développer un ou plusieurs systèmes d'évaluation convenant à la région.	
Quelle étape du projet ?	Toutes les phases <b>4 phases d'évaluation :</b> Pre-design (APS), Design(DCE), Construction (réalisation), Opération (après 1 an)	
Données d'ACV utilisées	Saisie manuelle de valeurs issues de méthode ACV « acceptable » ou valeurs par défaut de GBTool	
Données du bâtiment	Métré gros oeuvre	
Relié à quelles bases de données ?	Approximate SBTool values	
Résultats principaux : <i>Liste des indicateurs</i>	A-Sélection du site, organisation du projet et développement <b>B-Énergie et consommation des ressources</b> <b>C-Impacts environnementaux</b> <b>D-Qualité environnementale intérieure</b> E-Qualité des services F-Aspects socio-économiques G-Aspects culturels et perceptuels Cf. résultats dans le 2 <sup>ème</sup> cadre présenté ci-dessous (« Absolute performance results »)	

Présentation des résultats :



**Absolute Performance Results**

Total performance level is Good Practice or better

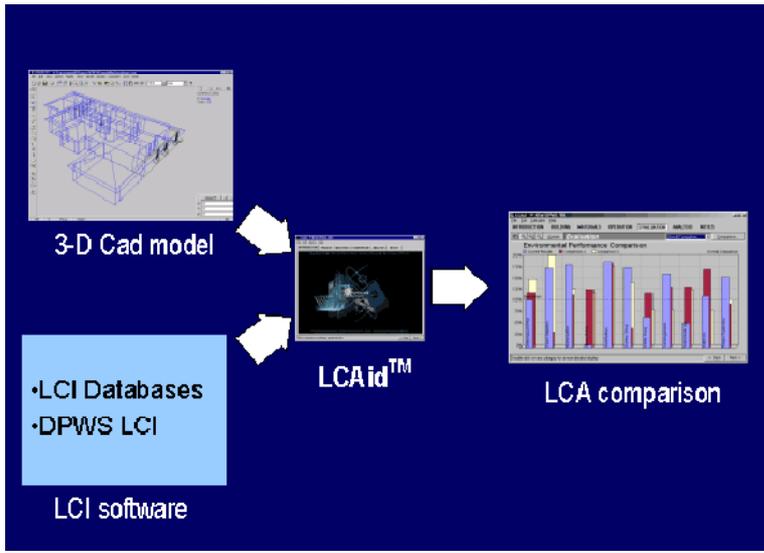
These data are based on the Self-Assessment values		By area	By area & occupancy
1	Total net consumption of primary embodied energy for structure and envelope, GJ/m <sup>2</sup>	22	27 GJ/m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
2	Net annualized consumption of embodied energy for envelope and structure, MJ/m <sup>2</sup> ·yr.	236	361 MJ/m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
3	Net annual consumption of delivered energy for building operations, MJ/m <sup>2</sup> ·year	617	751 MJ/m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
4	Net annual consumption of primary non-renewable energy for building operations, MJ/m <sup>2</sup> ·yr.	1268	1533 MJ/m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
5	Net annual consumption of primary non-renewable energy per dwelling unit in project, MJ/m <sup>2</sup> ·yr.	63	77 MJ/m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
6	Net annual consumption of primary non-renewable energy per dwelling unit in residential element, MJ/m <sup>2</sup> ·yr.	83	77 MJ/m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
7	Net annualized primary embodied energy and annual operating primary energy, MJ/m <sup>2</sup> ·yr.	1554	1883 MJ/m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
8	Total on-site renewable energy used for operations, MJ/m <sup>2</sup> ·yr.	90	108 MJ/m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
9	Net annual consumption of potable water for building operations, m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> · year	0.3	0.3 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
10	Annual use of grey water and rainwater for building operations, m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> · year	16	22 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
11	Net annual GHG emissions from building operations, kg CO <sub>2</sub> equivalent per year	68	84 kg/m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
12	Total present value of 25-year life-cycle cost for total project, CAD per m <sup>2</sup> .	8,888	
13	Proportion of gross area of existing structure(s) re-used in the new project, percent	64%	
14	Proportion of gross area of project provided by re-use of existing structure(s), percent	63%	

Résultats : signification et usage possible

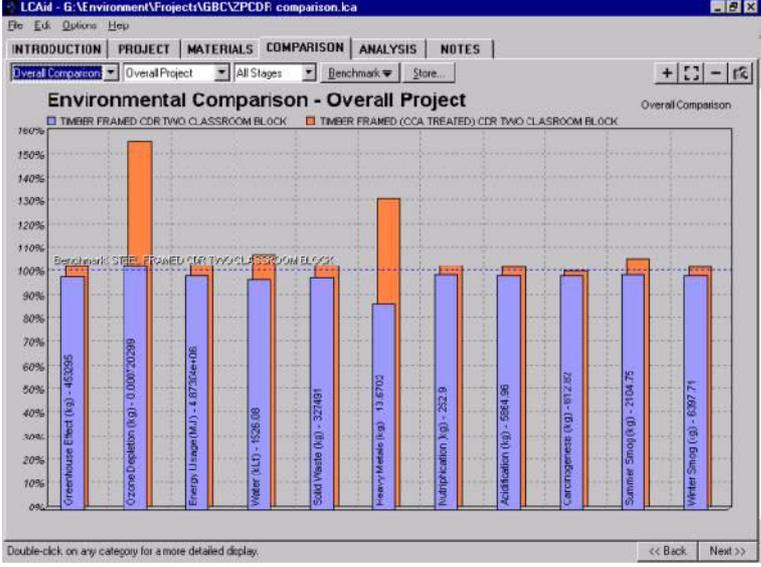
Évaluation globale du bâtiment / Certification

Sources :

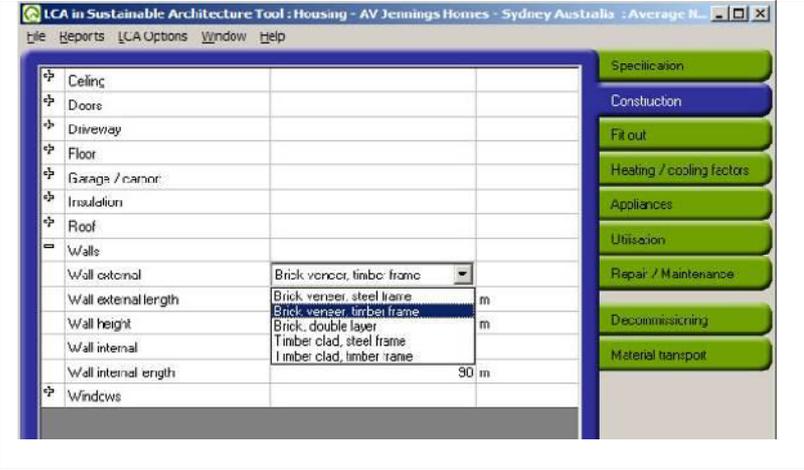
[www.iisbe.org](http://www.iisbe.org)  
<http://www.greenbuilding.ca/>

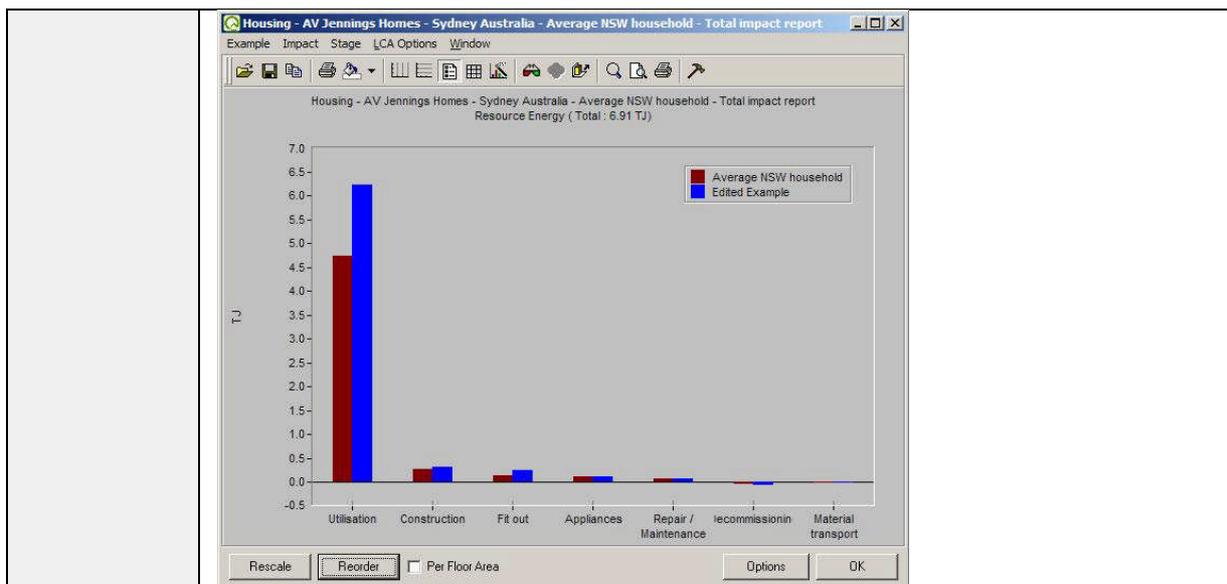
<b>LCAid</b>			
Outil développé par :	DPWS_Australie Square One Research DPWS : Département de services et travaux publics de Sydney	Disponibilité de l'outil :	N'est plus disponible
Vocation / description sommaire de l'outil	Outils d'aide à la décision pour les concepteurs par l'évaluation des performances et impacts environnementaux des variantes de conceptions sur toute la durée de vie du bâtiment.		
Fonctions principales	<p>Selon la méthode ISO/FDIS 21930 Peut fonctionner sur la base d'un modèle 3D CAD (Autocad...) ou ECOTECT et à partir des données d'ACV DPWS. Peut être également utilisé pour les classements de SEDA's Building Greenhouse Rating Scheme et de Green Building Challenge's Tool 2000. Ne cible pas en particulier les matériaux de construction mais s'attarde sur le bâtiment et définit une unité fonctionnelle pour un usage particulier du bâtiment (ex : UF = n lits d'hôpitaux pour un hôpital).</p> 		
Périmètre : domaine d'application	« cradle to grave » à l'échelle du bâtiment	Sont exclus :	Qualité de l'environnement intérieur / Confort
Traitement de la vie en œuvre	<i>Énergie</i>		
	<i>Eau</i>	OUI + Prise en compte de l'énergie nécessaire à la production d'eau potable	
	<i>Émissions</i>	NON	
Traitement de la fin de vie <i>Localisation des filières</i>		Traitement de la fin de vie <i>Recyclage des matériaux (Démontabilité, Séparabilité, Recyclabilité, Recyclage effectif)</i>	

<i>locales de traitement</i>			
Pour quel public ?	Acteurs de la construction. Prise en main aisée de l'outil.		
Quelle étape du projet ?	Toutes		
	Outils d'aide à la décision		
Données d'ACV utilisées	Données propres, pas de saisie manuelle des données ACV		
Données du bâtiment	Matériaux et quantités : sélection de matériaux de la bibliothèque ACV des matériaux et saisie des quantités. OU métrés issus d'Ecotect... Utilise les données relatives à un modèle qui doit être rentré par l'utilisateur et ne se base pas sur une série de modèles établis ou définis pour différents types de bâtiments.		
Relié à quelles bases de données?	Données d'ACV DPWS		
Résultats principaux : <i>Liste des indicateurs</i>	Eco Indicator 95 + rapport sur l'eau, les déchets et l'énergie primaire <ul style="list-style-type: none"> <li>- Changement climatique (en kg GWP)</li> <li>- Destruction de la couche d'ozone (en kg ODP)</li> <li>- Acidification atmosphérique (en kg AP)</li> <li>- Eutrophisation (en kg NP)</li> <li>- Métaux lourds (en kg equiv. Pb)</li> <li>- Substances cancérigènes (en equiv. PAH)</li> <li>- Pollution de l'air d'hiver (en equiv. SO<sub>2</sub>)</li> <li>- Pollution de l'air d'été (en kg POCP)</li> <li>- Pesticides (en kg active ingr.)</li> <li>- Déchets solides</li> <li>- Consommation d'eau</li> <li>- Energie primaire</li> </ul>		

<p>Présentation des résultats :</p>	 <p>The screenshot displays the 'Environmental Comparison - Overall Project' window. It compares two building models: 'TIMBER FRAMED CDR TWO CLASSROOM BLOCK' (blue bars) and 'TIMBER FRAMED (CCA TREATED) CDR TWO CLASSROOM BLOCK' (orange bars). The Y-axis shows percentage values from 0% to 160%. The X-axis lists various environmental impact categories. The timber-framed model generally shows lower impacts, with a significant reduction in Ozone Depletion (approx. 15% vs 155%).</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Greenhouse Effect (kg)</td> <td>-463265</td> </tr> <tr> <td>Ozone Depletion (kg)</td> <td>-0.000730299</td> </tr> <tr> <td>Energy Use (MJ)</td> <td>4.07256e+06</td> </tr> <tr> <td>Water (L)</td> <td>1526.00</td> </tr> <tr> <td>Solid Waste (kg)</td> <td>321481</td> </tr> <tr> <td>Energy Made (kg)</td> <td>11.0700</td> </tr> <tr> <td>Neutralization (kg)</td> <td>353.9</td> </tr> <tr> <td>Acidification (kg)</td> <td>5064.86</td> </tr> <tr> <td>Carcinogens (kg)</td> <td>812.82</td> </tr> <tr> <td>Summer Smog (kg)</td> <td>2104.75</td> </tr> <tr> <td>Winter Smog (kg)</td> <td>6397.71</td> </tr> </tbody> </table>	Category	Value	Greenhouse Effect (kg)	-463265	Ozone Depletion (kg)	-0.000730299	Energy Use (MJ)	4.07256e+06	Water (L)	1526.00	Solid Waste (kg)	321481	Energy Made (kg)	11.0700	Neutralization (kg)	353.9	Acidification (kg)	5064.86	Carcinogens (kg)	812.82	Summer Smog (kg)	2104.75	Winter Smog (kg)	6397.71
Category	Value																								
Greenhouse Effect (kg)	-463265																								
Ozone Depletion (kg)	-0.000730299																								
Energy Use (MJ)	4.07256e+06																								
Water (L)	1526.00																								
Solid Waste (kg)	321481																								
Energy Made (kg)	11.0700																								
Neutralization (kg)	353.9																								
Acidification (kg)	5064.86																								
Carcinogens (kg)	812.82																								
Summer Smog (kg)	2104.75																								
Winter Smog (kg)	6397.71																								
<p>Résultats : signification et usage possible</p>	<p>Fonction de comparaison par rapport à un modèle de base</p>																								
<p>Sources :</p>	<p>Review of Methodology for Assessing the Environmental Performance of Building Materials, June 2007, Murray Hall CSIRO Sustainable Ecosystems</p>																								

<b>LISA (LCA In Sustainable Architecture)</b>			
Outil développé par :	BHP Steel_Australie	Disponibilité de l'outil :	3 <sup>ème</sup> version
Vocation / description sommaire de l'outil	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aide à identifier les aspects environnementaux clés dans un projet de construction</li> <li>- Donne aux concepteurs un outil facile à utiliser pour évaluer les aspects environnementaux pour la conception de bâtiment</li> <li>- Permet aux concepteurs et aux prescripteurs de faire des choix éclairés basés sur des considérations sur toute la durée de vie environnementale (ie ACV)</li> </ul>		
Fonctions principales	Aide à la décision ; Evaluation de l'impact environnemental du bâtiment		
Périmètre : domaine d'application	<p>“cradle to grave” à l'échelle du bâtiment</p> <p><i>The entire life cycle is considered, from resources in ground through to demolition and recycling/landfill of the structure.</i></p> <p><i>Transportation mode and distance are included for each material.</i></p>	Sont exclus :	<p><i>Landfill emissions are excluded.</i></p> <p>La localisation du projet</p>
Traitement de la vie en œuvre	Énergie	<i>Gross energy (GJ/t), or high heating value (HHV), is used.</i>	
	Eau	NON	
	Émissions	NON	
Traitement de la fin de vie <i>Localisation des filières locales de traitement</i>	Pas d'identification des filières locales	Traitement de la fin de vie <i>Recyclage des matériaux (Démontabilité, Séparabilité, Recyclabilité, Recyclage effectif)</i>	
Pour quel public ?	Acteurs du bâtiment. Prise en main aisée.		
Quelle étape	Conception		

du projet ?	Aide à la conception environnementale de bâtiment	
Données d'ACV utilisées	<p>Toutes les données d'ICV australiennes sont issues du modèle ACV du BHP dénommé EMMA (Eco-model for Materials and Manufacturing Assessment)</p> <p>Les ACV permettent à l'utilisateur de préciser l'utilisation de l'énergie stockée dans le bois, ainsi que la fabrication de fer et d'acier (données de production moyenne).</p> <p><i>The LCA options allow the user to specify the use of timber feedstock energy, and global iron and steelmaking LCI data (ie averaged production data).</i></p>	
Données du bâtiment	<p>Métrés</p> <p><i>Construction data were obtained from Fairweather Homes and detailed plans of the house. Data for utilisation were gathered from various sources, including manufacturers data and the Australian Bureau of Statistics.</i></p>	
Relié à quelles bases de données ?	<p>Données d'ACV australiennes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- EMMA (Eco-model for Material and Manufacturing Assessment)</li> <li>- Base de données ACV de BHP</li> </ul>	
Résultats principaux : <i>Liste des indicateurs</i>	<p>Consommation d'énergie primaire <i>resource energy consumption</i></p> <p>Emissions de gaz à effet de serre (<i>IPCC weighting factors (global warming potentials) are used in the calculation of greenhouse gas emissions, eg for CH4 and N2O.</i>)</p> <p>Nox</p> <p>SOx</p> <p>NMVOC (non-methane volatile organic compounds)</p> <p>Matières et particules en suspension</p> <p>Consommation d'eau potable</p>	
Présentation des résultats :	<p>Les résultats peuvent être visualisés de plusieurs manières, avec notamment : un graphique d'impacts, un affichage des matériaux et des détails sur les matériaux de base.</p> <p><b>Graphique d'impact total</b></p>	



Pour comparaison : impact NSW moyen

### Détails de l'élément

Les détails contiennent les équations qui ont permis de calculer la consommation du matériau, et montre également les impacts de l'élément.

Material	Amount	Unit	Equation
Bricks	3800	each	$(Wall\ external\ length * Wall\ height - Window\ glazed\ area + Door\ solid\ timber * Door\ area) * 48.5\ (bricks/m^2) * Analysis\ period / Life\ expectancy\ of\ building$
Mortar	1.9	m3	$(Wall\ external\ length * Wall\ height - Window\ glazed\ area + Door\ solid\ timber * Door\ area) * 48.5\ (bricks/m^2) * 0.0005\ (m^3/brick) * Analysis\ period / Life\ expectancy\ of\ building$
Timber - softwood	810	kg	$(Wall\ height * Wall\ external\ length + 4 * Wall\ external\ length * 3 * 0.075 * 0.038) * Analysis\ period / Life\ expectancy\ of\ building$

Attribute	Amount	Units
GGE	4.8	t equiv CO2
Mass	5.4	t
NMVOC	1.5	kg
NOx	73	kg
Resource Energy	100	GJ
SOx	5.9	kg
SPM	180	g
Water	2.2	m3

Résultats :  
signification  
et usage  
possible

Comparaison avec impact NSW moyen

Sources :

www.lisa.au.com

# **Analyse du Cycle de Vie comme outil pour le développement d'une stratégie de construction durable**

ANNEXE 02 :

Qualité  
environnementale  
des bâtiments

## La qualité environnementale des bâtiments :

La notion de qualité est complexe dans le secteur du bâtiment, du fait de la variété des fonctions remplies par les ouvrages : fournir un espace adapté au bon déroulement d'activités diverses, dans des conditions de confort données, protéger les biens et les personnes, maîtriser les relations avec l'extérieur, donner une image, etc. Les critères de qualité concernent des domaines techniques variés (mécaniques des structures, acoustique, éclairage, thermique) mais aussi des aspects plus subjectifs (esthétique, qualité de vie, confort)

La qualité environnementale est liée à la qualité des ambiances intérieures et la réduction des impacts environnementaux d'un bâtiment.

### 1- Les impacts environnementaux

Un bâtiment constitue un lieu intermédiaire entre ses occupants et l'environnement extérieur, ayant pour but de constituer un espace approprié aux activités prévues (logement, activités professionnelles, etc.) tout en s'intégrant dans un site. Nous pouvons alors distinguer: « l'environnement intérieur », ainsi appelé parce qu'il constitue l'environnement pour les occupants du bâtiment. Cet "environnement construit" doit satisfaire un certain nombre d'exigences de qualité (fonctionnalité des espaces, confort hygrothermique, visuel, acoustique et olfactif, protection de la santé et qualité de la vie); « l'environnement extérieur », depuis les abords du bâtiment, le site proche, la région (avec des échelles spatiales qui peuvent différer entre le découpage administratif et l'analyse des problèmes environnementaux). Jusqu'au niveau planétaire. Il s'agit de minimiser les impacts à ces différentes échelles (protection du climat, de la faune et de la flore, des ressources, de la santé, du paysage);

Les relations entre intérieur et extérieur, qui elles aussi doivent satisfaire certaines exigences : circulation des personnes et des biens, protection, qualité esthétique de l'enveloppe, valorisation des flux « naturels » (apports solaires, eaux pluviales), connexion aux réseaux d'eau, d'énergie, de transports, gestion des déchets.

A ces différentes échelles spatiales se superpose l'échelle temporelle. Un bâtiment dure en général de nombreuses années, et il s'agit d'assurer au mieux la pérennité des performances. D'autre part, la problématique du développement « durable » amène à prendre en compte les aspects à long terme dans l'intérêt des générations futures (protection du climat, déchets de longue durée de vie, biodiversité, patrimoine génétique...).

#### 1.1.1. L'échelle planétaire :

Les considérations planétaires sont les plus difficiles à prendre en compte sur le terrain pour plusieurs raisons :

- Chaque acteur joue un rôle infirme dans le bilan global ce qui réduit la motivation pour prendre des décisions dans l'intérêt général.
- Respecter la planète ne se réduit en général pas en termes économiques, ni d'une manière immédiatement perceptible (réduire les émissions de CO<sub>2</sub> n'a pas d'effet direct sur la santé et la qualité de vie)

Pourtant une modification en apparence faible du bilan planétaire peut avoir des conséquences très importantes. Par exemple, la concentration de l'atmosphère en oxygène est de 21%. Si elle passait à 16%, les oiseaux, reptiles et mammifères s'asphyxieraient et si elle augmentait jusqu'à 25%, l'incendie ferait rage jusque dans la forêt pluviale.

#### 1.1.1.1. L'effet de serre :

L'atmosphère diffuse une partie du rayonnement solaire dans toutes les directions, mais une forte proportion est transmise vers la Terre. Celle-ci s'échauffe, et émet à son tour un

rayonnement. La gamme de longueur d'onde d'un rayonnement dépend de la température du corps émetteur.

Certains gaz présents dans l'atmosphère (CO<sub>2</sub>, Vapeur d'eau, méthane...) sont plus transparents au rayonnement du soleil qu'au rayonnement infrarouge de la Terre produisant ainsi un effet de serre : le rayonnement est en partie piégé ; ce qui provoque un échauffement. Sans l'effet de serre la température moyenne terrestre serait de -18°C au lieu de +15°C alors il existe naturellement et les activités humaines en entraîné un accroissement des émissions de gaz à effet de serre.

Les solutions pour réduire les émissions de gaz à effet de serre sont les économies d'énergie et le choix des combustibles. Les énergies renouvelables contribuent également à la protection du climat car l'énergie nécessaire à la fabrication des systèmes est inférieure à leur production.

#### 1.1.1.2. *La destruction de la couche d'ozone :*

L'atmosphère est divisée en cinq zones :

La troposphère (altitude < 17 km)

La stratosphère (de 17 à 50 km)

La mésosphère (de 50 à 80 km)

L'ionosphère (de 80 à 600 km)

L'exosphère.

La troposphère, où nous vivons, est le lieu des circulations d'air et des phénomènes atmosphériques (pluie, nuage, cyclone...). Elle contient toute la vapeur d'eau et une grande partie de gaz à effet de serre. La couche d'ozone est située plutôt dans la stratosphère, là également où se consomment les météorites. la température est très basse dans la mésosphère (-100°C), puis remonte ensuite dans l'ionosphère, où les rayons X et gamma issus du soleil sont arrêtés, pour atteindre 1200°C dans l'exosphère.

La couche d'ozone est située entre 12 et 45 km d'altitude avec un maximum de concentration à 25 km. Elle filtre la presque totalité des rayons ultraviolets de type B qui provoquent des atteintes de la peau (cancer), des yeux (cataracte) et du système immunitaire (les UVB contrarient également la croissance de certaines plantes, détruisent le phytoplancton marin et accélèrent le vieillissement de certains matériaux)

La couche d'ozone subit variations saisonnières naturelles : son épaisseur au dessus du pôle sud diminue pendant la nuit polaire (juin à septembre). Ceci est dû à la formation de nuages stratosphériques, qui capturent le dioxyde d'azote et empêchent celui-ci de piéger les atomes de chlore, responsables de la dégradation de l'ozone. Les nuages d'aérosols volcaniques peuvent jouer le même rôle. Le « trou » dans la couche d'ozone correspond en fait à une surface où l'épaisseur et la concentration en ozone sont inférieures à une certaine limite (220 unités Dobson).

Mais cette variation saisonnière s'est amplifiée et sous nos latitudes ; une diminution d'épaisseur de près de 5% en moyenne est constatée l'hiver. Les CFC sont les principaux responsables car ils s'élèvent lentement jusqu'à la stratosphère où ils sont détruits par les UV en dégageant du chlore, qui à son tour provoque la destruction catalytique de l'ozone. Les autres composés impliqués dans ce phénomène sont les halons (utilisés dans la protection contre l'incendie) responsables à 12% de la destruction totale de l'ozone.

### 1.1.1.3. *L'épuisement des ressources :*

Certaines matières premières tendent à devenir rares, à une échéance plus ou moins proche. Le pétrole est particulièrement concerné ainsi le mercure, le cadmium, l'étain, le nickel, le plomb, le zinc et le cuivre dont la production et les réserves sont inférieures à la consommation du fait de recyclage du combustible et de l'utilisation de certains stocks et c'est le cas également du gaz naturel et d'uranium.

Des échéances de plusieurs dizaines d'années peuvent sembler lointaines, mais en fait les effets de l'épuisement des ressources se font sentir bien avant au niveau économique, du fait de l'augmentation des prix. Il arrive un moment où la consommation dépasse le volume de production, ce qui fait flamber les cours. La production atteint en effet un maximum puis décroît.

On peut distinguer deux types de matières premières : la classe des **mines** (charbon, pétrole, gaz, uranium, métaux, sel, potasse, phosphate) et la classe des **carrières**, dont font partie la plus part des matières premières de la construction.

La réduction des consommations de matières premières peut être obtenue par **l'allègement des composants** (certains bétons légers n'utilisent que 50% de matière par rapport à la construction traditionnelle, les PVC allégés permettent un gain de 30%), **l'amélioration des performances** (diminution de l'épaisseur de structures en béton, acier à haute limite d'élasticité consommant entre 20 et 25% de matière en moins), **le recyclage** (le taux peut atteindre 60% pour le cuivre, 50% pour l'acier utilisé dans le bâtiment- mais l'acier provenant de la démolition n'est pas toujours recyclé-, entre 30 et 50% de l'aluminium, le plomb et le zinc) et **la réutilisation**.

Certaines espèces animales ou végétales sont en voie d'extinction, soit parce qu'elles sont directement éliminées, soit parce que l'homme agit de manière néfaste sur leur écosystème. L'homme a fait disparaître 151 espèces de vertébrés supérieurs au cours des derniers 400 ans, soit une espèce tous les 2,7 ans. Cette vitesse est 20 fois supérieure au rythme d'extinction des mammifères au cours des époques écologiques passées. Au total un mammifère sur 4, un oiseau sur 8, un tiers des amphibiens et 70% des plantes sont en péril.

La destruction des forêts tropicales ombrophiles (aimant les climats pluvieux) qui abritent probablement 75% de l'ensemble des espèces vivantes et dont la surface a déjà été réduite de moitié (au taux de 1,8% par an) augmenterait ce rythme d'extinction des espèces de 1000 à 10000 fois.

Le secteur de la construction est un gros consommateur de bois, sous forme de produits bruts (grumes, sciages), demi-finis (panneaux) ou finis (portes, fenêtres, éléments de charpente, parquets...):  $\frac{3}{4}$  en volume de sciages résineux,  $\frac{1}{7}$  des sciages feuillus et  $\frac{2}{3}$  des sciages tropicaux.

Parmi les atteintes à la biodiversité figurent également la destruction des récifs polynésiens par l'extraction du sable corallien utilisé comme matériau de construction, ou la disparition du saumon atlantique dans de nombreuses rivières à cause de barrages empêchant leur migration. La pollution des océans par les hydrocarbures est responsable de la disparition de nombreux oiseaux ainsi les lignes électriques qui sont dangereuses pour eux.

### 1.1.1.4. *La prolifération nucléaire :*

Le traitement des déchets nucléaires est maintenant géré mondialement, avec des risques associés au transport de ces matières. Le commerce incontrôlé depuis certains pays représente un danger potentiel. Certaines sources mentionnent l'utilisation d'uranium

appauvri afin d'augmenter la densité et donc la portée d'efficacité des projectiles. La radioactivité de l'uranium appauvri est la moitié de celle de l'uranium naturel, mais les poussières d'uranium produites lors des explosions peuvent être inhalées.

1.1.2. L'échelle régionale :

1.1.2.1. *Les effets liés à la pollution de l'air :*

L'acidification :

Le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote dégagés par les activités humaines sont transformés en sulfates et en nitrates, voire en acide sulfurique et nitrique dans les nuages, et retombent ensuite avec l'eau de pluie. Les polluants touchent directement les aiguilles et les feuilles des arbres. Ils altèrent leur couche de cire protectrice et lessivent le calcium et le magnésium, présent dans la composition de la chlorophylle.

Mais ils peuvent aussi détruire les radicelles et lessivent les éléments nutritifs du sol (calcium, magnésium, potassium). La composition des sols est alors modifiée (augmentation de la concentration en aluminium par exemple) ce qui au-delà d'un certain seuil, nuit en certaines espèces végétales.

Le smog et la pollution de l'air extérieur :

Le mot smog provient de la contraction de deux mots anglais : smoke (fumée) et fog (brouillard), suite à un épisode de pollution à Londres en décembre 1952, qui provoqua la mort de 4000 personnes en 5 jours. Le charbon était encore très utilisé pour le chauffage et dans l'industrie à cette époque, ainsi les émissions de poussière et de soufre étaient élevées. On distingue maintenant le smog d'hiver lié essentiellement aux poussières et au SO<sub>2</sub> et le smog d'été (lié à) la présence d'ozone dans l'air.

L'augmentation de la teneur en SO<sub>2</sub> provoque une hausse de 10% de la mortalité des personnes souffrant de problèmes cardiovasculaires. L'élévation des niveaux de bases d'ozone se traduit par une hausse de 20% du nombre d'hospitalisations de personnes âgées souffrant de maladies respiratoires chroniques.

D'autres substances nuisent à la qualité de l'air : le monoxyde de carbone (CO) toxique, qui représente entre 4 et 6% des gaz d'échappement des véhicules, les NO<sub>x</sub> et l'ozone que ces substances produisent indirectement (l'ozone est 500 fois plus toxique que le CO), le plomb (qui provient principalement de la circulation automobile), et surtout les poussières. Il s'agit de particules dont le diamètre est de l'ordre de quelques microns (les pollens sont d'une taille variant entre 10 et 100 µm). Les particules de diamètre supérieur à 10 µm sont arrêtées au niveau de l'appareil respiratoire supérieur. Entre 3 et 10 µm, elles atteignent les bronches et bronchioles. Seules les particules de taille inférieure à 3 µm pénètrent dans les alvéoles des poumons. Les poussières sont en général constituées par un noyau de carbone sur lequel les hydrocarbures peuvent être adsorbés. Certains composés peuvent avoir des effets cancérigènes sur les poumons mais les principales conséquences concernent les maladies respiratoires. Une atmosphère polluée augmente entre autre la gravité des maladies respiratoires.

1.1.2.2. *Le prélèvement et la pollution de l'eau :*

La gestion de l'eau :

L'eau se trouve principalement dans les océans (97,4%), les glaciers (1,9%), les eaux souterraines (0,6%), les lacs (0,01%), mais aussi dans l'humidité des sols (0,005%), dans l'humidité de l'air (0,0009%) , dans les rivières (0,00012%) et dans les cellules vivantes (0,000008%).

### La dystrophisation :

L'eutrophisation, enrichissement des eaux en sels minéraux, se développe très lentement dans les conditions naturelle ( sur une échelle de temps géologique)

Mais le déversement par l'homme de quantités importantes de matières organiques fermentescibles et d'effluents riches en phosphates ou en nitrates accélère considérablement ce processus : le terme de dystrophisation est alors employé.

Les engrais azotés ou phosphatés utilisés dans l'agriculture, les NO<sub>x</sub> ainsi que le NH<sub>3</sub> gazeux ou dissous dégagé par certains procédés industriels, les lessives et détergents aux phosphates sont en partie entraînés par ruissellement vers les eaux de surface (rivières et lacs). Ils favorisent alors la croissance des algues qui prolifèrent et dans une première phase génèrent de l'oxygène. Cet effet est renforcé par le déboisement des rives près des petits cours d'eau ; qui augmentent la quantité de lumière, favorisant ainsi la photosynthèse. la surcharge en biomasse végétale entraîne une diminution de la transparence des eaux, qui empêche les réactions photosynthétiques et donc le dégagement d'oxygène en profondeur. La décomposition des algues mortes par les micro-organismes finit par appauvrir le milieu en oxygène, ce qui conduit à éliminer peu à peu toute vie aquatique.

La biodégradabilité d'une lessive est en fait la biodégradabilité primaire : c'est le premier stade de la décomposition, où les molécules sont simplement cassées en plusieurs morceaux. Mais chacun de ces morceaux peut encore avoir un effet néfaste sur l'environnement. C'est seulement au stade de la biodégradabilité ultime que la dégradation en molécules de base ' eau. CO<sub>2</sub>) totalement inoffensives est atteinte.

### Autres atteintes aux milieux aquatiques :

Outre le problème de la dystrophisation exposé précédemment, les pollutions peuvent modifier la transparence ( la turbidité caractérise de degré de non transparence ; les matières en suspension peuvent être létales pour les poissons par colmatage des branchies), l'acidité (augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> à partir des bicarbonates en eau dure pour un pH<6, libération d'ammoniac moléculaire plus toxique que la forme ionique à pH>8, mort des poissons si pH<6 ou pH>9), la température (son élévation favorise les processus d'évaporation et de fermentation), la salinité et l'état du film de surface ( diminution des échanges gazeux)

Les variations brusques de température sont dangereuses pour les poissons. La limite supérieure de température tolérable dépend de concentration en oxygène.

La pollution par les métaux lourds affecte de nombreux organismes aquatiques et par la chaîne alimentaire les animaux et l'homme.

Le cadmium est capté pas certaines plantes (laitues, asperges, maïs, tomates), absorbé ou inhalé, il est stocké dans le foie et les reins. Il perturbe les fonctions rénales et pourrait provoque une hypertension et favoriser le cancer de la prostate.

L'action des produits phytosanitaires sur la qualité des eaux dépend de leur persistance (leur résistance à la biodégradation, caractérisée par la demi-vie, c'est-à-dire le temps nécessaire à la disparition de la moitié du produit) et de leur mobilité, évaluée par le coefficient de partage carbone organique- eau (Koc) : le rapport des concentrations dans la phase immobile (carbone) et mobile (eau). Les conditions d'application des produits (nombre, dates, doses), la composition et la texture du sol, l'état de la culture et les conditions météorologiques (température et précipitations) sont aussi des paramètres très influents.

Le traitement des eaux intervient toujours en complément de la prévention, solution de loin la meilleure (procédés plus propres, économes, réutilisations des eaux usées).

La neutralisation (mise au ph) dure environ 20 minutes. Elle est suivie par la coagulation, qui annule les charges électriques des particules en suspension grâce à des réactifs minéraux (trichlorure de fer, sulfate d'aluminium...) dans un milieu fortement agité. La floculation provoque ensuite la formation de particules agglomérées de tailles suffisantes pour décanter ou flotter. L'agitation lente nécessaire à ce processus dure également 20 minutes.

Le traitement par charbon actif permet par adsorption de traiter les solutions diluées (concentration en composés organiques inférieur à 1%) et ne contenant pas de sels. La durée de traitement varie entre 20 minutes et 1 heure.

L'ultrafiltration consiste à filtrer les particules de quelques millièmes de micron par une membrane sans altérer la qualité minérale des eaux.

Les traitements biologiques consistent à nourrir des micro-organismes avec les matières à éliminer. Ils peuvent s'effectuer dans des bassins d'oxydation ou par lagunage, mais cette technique nécessite des surfaces et un temps de séjour élevé. Elle peut être mise en œuvre dans des systèmes individuels d'assainissement autonome (filtre à sable, tranchée d'épandage, filtre à roseaux : prévoir 30m<sup>2</sup> pour un logement de 6 pièces).

#### 1.1.2.3. *Les déchets et la pollution des sols :*

Le sol est constitué :

- Par des matières minérales qui peuvent être classées selon la taille des particules : les éléments grossiers de diamètre supérieur à 2 mm, les sables entre 0,005 et 2 mm, les limons entre 0,002 et 0,005 mm, les argiles pour les diamètres inférieurs à 0,002 mm (2microns)
- Par les matières organiques (végétaux et animaux vivants, matières organiques fraîches ou en cours de décomposition, humus)
- Par les eaux souterraines et les éléments dissous (organiques ou minéraux)
- Par des constituants gazeux (air, gaz issus des décompositions organiques et de la respiration des êtres vivants)

Le sol permet de stocker l'eau (effet tampon), de la filtrer et de la purifier. La pollution des sols peut être **diffuse** (les radio-isotopes issus des fuites dans les installations nucléaires, les gaz favorisant l'acidification) ou **ponctuelle** (installations industrielles ou minières, décharges, stations services, installations militaires)

#### 1.1.2.4. *Les déchets solides non radioactifs :*

Le concept de déchets est purement artificiel, car dans la nature les produits issus d'un processus forment une matière première potentiellement utilisable par un autre processus.

Il existe plusieurs types de déchets classés selon leurs effets possibles sur l'environnement et la santé. Les déchets sont classés comme **dangereux** s'ils sont explosifs, inflammables, corrosifs, toxiques ou s'ils dégagent de telles substances après transformation par exemple au contact de l'eau, de l'air ou par un moyen quelconque.

D'autres déchets sont **inertes** (sans odeurs, non fermentescibles et non toxiques) et la seule gêne qu'ils occasionnent est leur encombrement et la dégradation éventuelle des paysages. Les déchets inertes sont par exemple les gravats de démolition à condition qu'ils ne comportent pas de matériaux comme le bois ou le plastique.

Les déchets ni inertes ni dangereux sont appelés déchets **banals**, les déchets ménagers ou certains déchets industriels assimilables à cette catégorie peuvent eux aussi polluer les sols, l'eau et l'air.

La notion de déchets **ultimes** a été introduite plus récemment pour les déchets qui pour des raisons techniques ou économiques ne peuvent plus faire l'objet ni d'une valorisation ni d'un traitement.

Les stratégies de préventions (technologies propres, valorisation des déchets) doivent être mise en œuvre en priorité. En complément les principales filières de traitement des déchets sont :

- La voie thermique (incinération, de préférence avec récupération d'énergie, pyrolyse ou plasma) cette dernière technique permet d'atteindre un taux de destruction maximal : il ne reste pas d'imbrûlés, et les résidus minéraux sont vitrifiés, formant des déchets inertes.
- La voie physico-chimique (ajustement du pH, précipitation ou neutralisation oxydo-réductrice de la phase aqueuse, épuisement gravitaire ou déshydratation mécanique par filtration des déchets boueux)
- La voie biologique (compostage, fermentation, méthanisation)
- La solidification (vitrification, enrobage par des mélanges de polymères, silicates, ciments, extraction par solvant de micropolluants organiques, neutralisation, précipitation ou polymérisation, éventuellement par enrobage avec d'autres déchets)

#### 1.1.3. L'échelle locale :

##### 1.1.3.1. *Le bruit*

Le son est dû à une variation de la pression régnant dans l'atmosphère, engendrée par une source sonore. Cette variation est appelée pression acoustique. Il lui correspond un niveau sonore, exprimé en décibels (dB) sur une échelle logarithmique et définit par rapport à une référence : le seuil de perception auditive pour une fréquence de 1000 Hertz. La perception humaine est fonction de la fréquence. Une pondération est alors effectuée pour obtenir un niveau sonore filtré exprimé en dB(A).

Le niveau des nuisances sonores est réglementé : les valeurs limites dépendent du site (zone d'hôpitaux, zones résidentielle rurale, urbaine ou suburbaine ; zone commerciale ou industrielle) et de l'heure. La réglementation tient aussi compte de la présence de bruits impulsionnels et de sons à tonalité marquée (fréquence pure), l'émergence est la différence entre le niveau sonore de réception et le niveau initial (mesuré lors l'installation est à l'arrêt)

Le bruit participerait pour 11% aux accidents du travail et 15% aux journées de travail perdues.

Le bruit a une incidence sur la qualité du travail et dans le logement sur la qualité de la vie. La surdité vient en tête des maladies professionnelles. La fatigue auditive est un phénomène réversible mais pas la surdité. Celle-ci peut être causée par une exposition prolongée à des niveaux sonores élevés (90 dB(A)) ou à une exposition brève à des niveaux très élevés (140dB(A)).Le tableau suivant donne une représentation synthétique des différents niveaux sonores.

Possibilité de conversation	Sensation auditive	Nombre (dB)	Bruits intérieurs	Bruits extérieurs	Bruits de véhicules
A voix chuchotée	Seuil d'audibilité	0	Laboratoire d'acoustique		
	Silence inhabituel	5	Laboratoire d'acoustique.		
	Très calme	10	Studio d'enregistrement		
		15		Bruissement d'une feuille légère	
		20	Studio de radio	Jardin tranquille	
		25	Conversation à voix basse à 1.50m		
	Calme	30	Appartement dans quartier tranquille		
		35			Bateau à voile
A voix normale	Assez calme	40	Bureau tranquille dans quartier calme		
		45	Appartement normal	Bruits minimaux le jour dans la rue	Transatlantique 1 <sup>ère</sup> classe auto silencieuse
		50	Restaurant tranquille	Rue très tranquille	
	Bruits courants	60	Grands magasins, conversation normale, musique de chambre	Rue résidentielle	Bateau à moteur
Assez forte		65	Appartement bruyant		Automobile de tourisme sur route
	Bruyant mais supportable	70	Restaurant bruyant, musique	Circulation importante	Wagons-lits modernes
		75	Atelier dactylo, usine moyenne		Métro sur pneus
Difficile	pénible	85	Radio très puissante, atelier de tournage	Circulation intense à 1m	Métro en marche, klaxons
		90			TGV
		95	Atelier de forgeage	Rue à trafic intense	Avion à hélice
		100	Scie à ruban	Marteau piqueur à moins de 5m	Moto sans silencieux à 2m, wagon de

					train
Obligation de crier	Très difficilement supportable	105	Raboteuse		Métro (intérieur des vieux wagons)
		110	Atelier de chaudronnerie	Rivetage à 10m	Train passant dans une gare
	Seuil de douleur	120	Banc d'essais de moteurs		Moteur d'avion à quelques mètres
impossible	Exige une protection spéciale	130	Marteau-pilon		
		140	Turboréacteur au banc d'essais		
<b>Tableau 05: Représentation synthétique des différents niveaux sonores</b>					

La réduction à la source est obtenue par interposition de matériaux absorbants dans les organes de transmission ou sous les outils vibrants, par réduction des vitesses de rotation ou des hauteurs de chute des matériaux par des silencieux sur les échappements. La propagation du bruit peut également être réduite par des matériaux absorbant limitant la réverbération, en particulier au niveau du sol (sols textiles ou plastiques iso-phoniques). En champs libre, le niveau sonore diminue de 6dB(A) par doublement de distance à la source. Des écrans peuvent également être employés. Dans les bâtiments, les systèmes à chape flottante sur laine minérale, les doublages acoustiques composés de plâtre et de laine minérale, l'utilisation de produits absorbants en plafond, les doubles vitrages acoustiques et les entrées d'air acoustiques constituent une palette de solutions techniques.

#### 1.1.3.2. *La dégradation des écosystèmes et des paysages :*

L'intégration paysagère des bâtiments est un élément majeur de la conception architecturale. Des outils de conception assistée par ordinateur (CAO) permettent de visualiser un projet dans son environnement futur, en utilisant une photo scannée du site. Il est alors possible d'effectuer une enquête de satisfaction auprès d'un échantillon de personnes et de comparer plusieurs variantes.

L'atteinte au «droit au soleil» (ombrage des bâtiments voisins), la déflexion du vent (création de courants d'air nuisant au confort dans les rues et autres espaces extérieurs proches des grands bâtiments) sont d'autres nuisances parfois engendrées par les constructions, comme aussi l'élévation de température dans les zones très urbanisées qui peut atteindre quelques degrés.

#### 1.1.3.3. *L'occupation des sols :*

L'occupation d'espace en particulier naturel, s'apparente à la consommation d'une ressource qui peut se raréfier localement. La réutilisation d'espaces déjà urbanisés et le maintien des arbres existants doivent être privilégiés.

#### 1.1.3.4. *Les perturbations du microclimat :*

Un bâtiment peut nuire au confort des espaces extérieurs proches, par l'effet de déflexion du vent (en particulier dans le cas des bâtiments de grande taille et de rues étroites). Il peut également remettre en cause le droit au soleil des bâtiments voisins.

#### 1.1.3.5. *Les odeurs :*

La muqueuse olfactive tapissant l'intérieur des fosses nasales est couverte de cils très fins immergés dans une couche de mucus et implantés sur des cellules sensibles aux odeurs, reliées au nerf olfactif.

Les produits les plus malodorants sont les produits azotés et les amines ( par exemple la méthylamine 8000 fois plus odorante que l'ammoniac, présente dans les gaz d'équarrissage), les aldéhydes , les acides organiques(odeurs fortes et piquantes) les solvants organiques ( dans les peintures) et les produits soufrés.

La conception d'installations étanches (limiter la longueur des conduites, le nombre des raccordements, la circulation d'eau résiduaire à l'aire libre) ou la modification des procédés (mise en dépression du bâtiment, lavages plus fréquents, ventilation, chaulage ou précipitations des sulfures) constituent des solutions de prévention. Le traitement des émissions gazeuses complète ces dispositifs : condensation, incinération (thermique ou catalytique), adsorption, absorption, ozonation, bio-filtration (sur lit de tourbe), dilution et utilisation d'agents masquant.

#### 1.1.4. Dans le bâtiment lui-même :

Les anglo-saxons ont introduit le concept de « syndromes des bâtiments malsains ». Il s'agit d'un ensemble de symptômes – absentéisme dans les locaux tertiaires, troubles de la santé (maux de tête, fatigue, affections respiratoires) ; plaintes des occupants- supposés induits par le bâtiment ou ses équipements (ventilation insuffisante, climatisation mal conçue ou mal entretenue, matériaux et revêtements émettant des polluants). Dans ce concept global les liens entre les troubles constatés et les polluants émis ne sont pas clairement établis. Certains facteurs pathogènes ont cependant pu être isolés : l'amiante, le plomb, certains allergènes, certains composés organiques volatils...etc.

##### 1.1.4.1. *La qualité de l'air et la santé :*

La qualité de l'air est d'abord fonction de l'air extérieur.il faut donc lord du choix d'un site de construction, examiner les sources éventuelles d'émissions (usines, routes) et la direction des vents dominants. Mais certaines activités ayant lieu à l'intérieur des bâtiments peuvent également constituer des sources de pollution supplémentaires.

Le syndrome des bâtiments malsains d'origine souvent multifactorielle désigne un ensemble de symptômes (oculaires, respiratoires et cutanés, stress) dont la cause ne peut pas être clairement identifiée. Un mauvais entretien de systèmes de climatisation (filtres mal nettoyés, germes dans les conduites) ou une conception inadaptée (humidité mal maîtrisée) peuvent être en cause.

La cuisson au gaz introduit des  $\text{NO}_x$  , les chauffe-eaux ou les poêles mal réglés émettent du CO. Le bricolage induit également de nombreuses sources d'émissions : solvants (certains sont nocifs pour le système nerveux), pigments, soudure (plomb volatil), décapage (métaux comme le plomb, le cadmium ou le chrome). Les nombreux aérosols utilisés pour le nettoyage des fours, des vitres, comme insecticides ou déodorants d'atmosphère dégagent par fois des composés nocifs comme le benzène. Les métaux s'accumulent dans le corps : le plomb surtout au niveau du système nerveux, le cadmium dans les reins, le chrome dans les poumons.

La fumée de tabac contient du benzène, des formaldéhydes et des dioxines. Le formaldéhyde est également émis par certains matériaux comme le bois aggloméré, certaines colles,

certaines mousses et certaines moquettes. Ses effets sur la santé sont nombreux : irritation des yeux, maux de tête, troubles respiratoires, troubles de sommeil.

Le démarrage des véhicules dans des garages attenants aux logements émet du benzène et d'autres composés organiques volatils, qui peuvent pénétrer dans le logement s'il existe une porte (le logement est souvent mis en dépression par le système de ventilation). De même la qualité de l'air d'un logement est améliorée s'il existe une séparation entre la cuisine et les autres pièces.

Les produits de traitement du bois peuvent irriter la peau, les yeux et les voies respiratoires. Ils peuvent aussi provoquer des céphalées, des vertiges et des vomissements.

Des fibres peuvent être émises par certains isolants, des conduits de ventilation ou des faux-plafonds. Il existe plus de 70 variétés de fibres minérales artificielles dont certaines sont classées parmi les agents irritants ou cancérigènes.

En l'absence de ventilation suffisante ou dans les locaux non chauffés l'humidité relative de l'air peut être élevée et une condensation peut se produire au niveau des parois les plus froides. Si l'humidité relative d'une paroi descend au dessous de 70% sur une durée suffisante, alors des moisissures peuvent apparaître. Inversement dans des locaux chauffés et faiblement occupés, l'air est très sec car l'air froid d'hiver introduit par la ventilation contient une faible quantité de vapeur d'eau. L'air peut alors être légèrement humidifié pour atteindre une humidité relative située entre 40 et 60%.

#### 1.1.4.2. *La qualité de l'eau et la santé :*

La dureté de l'eau est un indicateur de sa concentration en équivalent  $\text{CaCO}_3$ . Une eau douce a une dureté inférieure à 200 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , une dureté supérieure à 350 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  correspond à une eau dure.

La dureté favorise le dépôt du tartre et donc la multiplication microbienne. Inversement la douceur entraîne une dissolution plus importante des métaux. La dureté n'affecte que peu la santé car ses effets sont contradictoires (augmentation des calculs rénaux, prévention des maladies cardiovasculaires mais ces possibilités sont encore controversées)

La présence de métaux lourds dans l'eau ou dans la chaîne alimentaire (certains légumes concentrent ces métaux présents en faible quantité dans les eaux d'irrigation) a également des conséquences importantes. Il est recommandé de ne pas consommer l'eau ayant séjourné dans les canalisations en plomb. Ce métal peut provoquer de nombreuses affections même à des concentrations très faibles : anémie dans le sang, effets neurotoxiques, tension, affection des reins, altération de la reproduction.

Il faut noter que les robinets en laiton dégagent du plomb (le laiton contient 8% de plomb) en quantité non négligeables durant les premiers mois d'utilisation (les fabricants seront appelés de les stocker plusieurs mois avant la vente). A terme des limites de concentration dans l'eau potable pourraient être également imposées pour d'autres substances : bore, arsenic, hydrocarbures polycycliques aromatiques, solvants chlorés, nickel, cuivre, benzène, bromates, trihalométhanes dont notamment le chloroforme.

L'acidité des eaux rend soluble une partie de l'aluminium contenu dans les roches, qui peut alors rejoindre les aquifères. Des sels d'aluminium peuvent aussi être employés dans les stations d'épuration, pour éliminer certains minéraux et des matières organiques. Les conséquences possibles de l'ingestion de l'aluminium sont l'ostéoporose (affection des os) et la maladie d'Alzheimer.

En ce qui concerne les risques de légionellose liés à l'eau chaude sanitaire, plusieurs méthodes de prévention et de traitement existent. Le choc thermique consiste à porter chaque jour l'ensemble des ballons et des circuits à une température permettant d'éliminer les bactéries sur une certaine durée (par exemple une heure à 60°C). Des traitements au chlore sont également proposés, l'entretien des installations en particulier le détartrage régulier est indispensable, le tartre étant la principale nourriture de la bactérie.

Les parois des tuyaux d'amenée d'eau sont colonisées par une fine pellicule de bactéries non pathogènes appelée « biofilm ». Ce film pouvant servir de nourriture à des germes pathogènes, il est utile de le réduire en réduisant la teneur en carbone organique dissous. Les sources ou puits privés nécessitent un entretien adéquat pour éviter la pollution microbiologique (éloignement du bétail, étanchéité en surface et purification régulière par javellisation)

#### 1.1.4.3. *Les champs électromagnétiques :*

Le champ magnétique terrestre est d'environ 0,5 Gauss, un champ magnétique supplémentaire peut exister autour d'une faille géologique, de l'ordre de  $10^{-9}$  Gauss. En ce qui concerne les champs magnétiques artificiels un seuil de 2,5 mG est recommandé pour une fréquence de 50Hz : il faut donc s'éloigner de quelques dizaines de cm des appareils électriques, d'un peu plus loin encore de l'arrière des anciens ordinateurs et téléviseurs à tube cathodique où la fréquence de balayage est de 20 000 Hz ou plus (mais les écrans plats sont maintenant généralisés). Ce seuil est 200 fois plus faible que le champ magnétique terrestre, mais il s'agit de champs pulsés alors que le champ naturel est constant.

L'exposition chronique aux champs électromagnétiques pulsés (couvertures chauffantes, tubes cathodiques...) est déconseillée par certains médecins, qui préconisent par exemple d'éloigner un radioréveil d'au moins de 70 cm du lit. Construire au voisinage d'une ligne à haute tension semble également contre-indiqué. Les effets de ces rayonnements difficiles à mettre en évidence seraient des maux de tête, la fatigue et l'insomnie pour les fréquences extrêmement basses (50Hz) et le risque d'avortement spontané pour les très basses fréquences (50kHz au voisinage des écrans cathodiques). La pollution électrostatique (moquette synthétique) entraîne une concentration plus élevée de poussières autour des personnes et un risque de contamination bactérienne.

En ce qui concerne l'éclairage, les ampoules à halogènes non protégées par une double enveloppe de verre laissent passer les rayons ultraviolets dont certains sont néfastes à la santé. Les tubes fluorescents de pulsation à 100Hz peuvent provoquer des maux de tête et leur dominante bleue/violet peut accélérer le vieillissement et la rétine.

#### 1.1.4.4. *Les sources d'inconfort :*

Les principales sources d'inconfort dans le bâtiment peuvent être d'origine **hygrothermique** (surchauffe l'été sous une toiture ou dans un espace très vitré, courant d'air froid dans un espace trop ventilé ou mal climatisé, air trop sec ou trop humide), **visuelle** (éblouissement, obscurité), **olfactive** (ventilation insuffisante), **acoustique** (protection insuffisante contre les bruits issus de l'extérieur, des logements voisins ou des circulations éventuelles)

Les effets combinés de ces facteurs ne sont pas négligeables. Par exemple l'influence de la couleur sur les sensations thermiques est bien connue : les corpuscules de Ruffini sensibles à la chaleur, sont situés profondément sous la peau et ne sont accessibles qu'aux rayons lumineux de plus grande longueur d'onde (rouge, jaune), les corpuscules de Krause sensibles

au froid sont au contraire plus superficiels. Il existe aussi des effets psychologiques par exemple les grandes longueurs d'ondes rétrécissent les espaces. Les sujets asthmatiques préfèrent ainsi les couleurs comme le vert ou le bleu, qui élargissent les dimensions perçues. L'interaction entre thermique, hygrométrie et vitesse d'air est également bien connue, et peut être représentée sur un diagramme comme ci-dessous où la température sèche est en abscisse et l'humidité absolue en ordonnée (humidité spécifique en g d'eau par kg d'air sec). Les courbes d'iso-humidité relative peuvent alors être tracées (100% correspond à la courbe de rosée). Les surfaces A et B représentent les zones de confort. La surface B est plus étendue, elle correspond à une vitesse d'air plus élevée (présence d'un ventilateur par exemple ou d'un courant d'air) qui augmente le transfert de chaleur par convection et aide ainsi à supporter une température plus élevée.

En fait, le confort thermique intègre différents modes de transfert entre le corps et son environnement : convection (échange avec l'air), rayonnement (échange avec les parois d'un local) et dans une moindre mesure conduction (échange avec le sol). Hors de la zone de confort, différents mécanismes régulateurs mettent en place (sudation, augmentation de la température de la peau par le réseau sanguin-la peau rougie, frissons, habillement). Le paramètre pertinent pour le confort thermique n'est donc pas la température de l'air, ainsi la température « résultante », obtenue par le bilan des échanges convectifs et radiatifs, est-elle souvent utilisée. Pour une vitesse d'air faible (0,1m/s) cette température est la moyenne entre la température de l'air et la moyenne des températures des parois (pondérée par leur surface). Les aspects concernant le confort hygrothermique, visuel, acoustique et olfactif font l'objet d'une abondante littérature et ne sont donc pas davantage repris. [PEUPOURTIER, 2008]

## 1.2. Enjeux environnementaux liés au secteur du bâtiment :

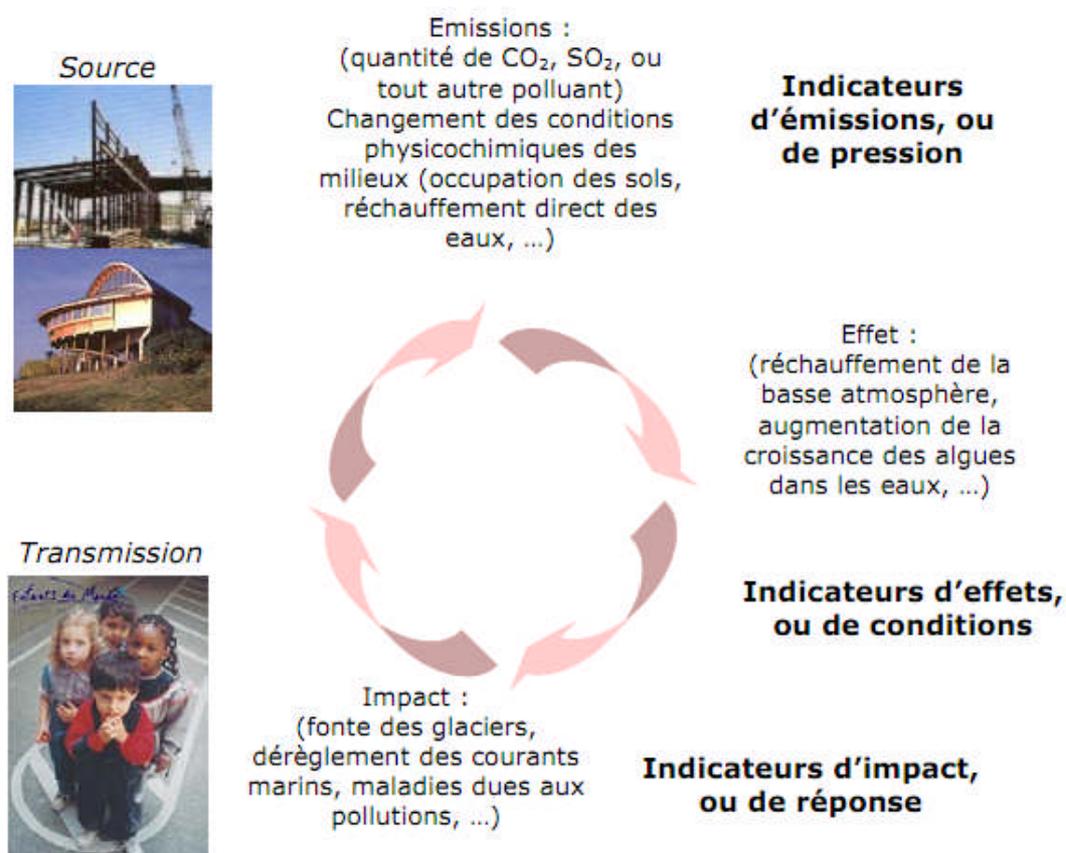
Nous rappelons tout d'abord la chaîne « source, émissions, effet, impacts », qui sont des niveaux différents dans la chaîne d'évènements aboutissant aux dérèglements environnementaux constatés, et dont la compréhension est indispensable à une bonne lecture des indicateurs que nous développons dans notre méthode d'évaluation.

Comme le représente la figure 4, une source émet une quantité donnée de polluants, ou consomme une quantité de ressources, ou change les conditions d'un milieu. Au niveau de la source la quantification des émissions, ou son estimation, donne lieu à des indicateurs d'émission, ou encore indicateurs de pression environnementale.

L'effet des émissions à l'environnement est plus complexe à évaluer, car il dépend du milieu récepteur et de multiples interactions avec ce milieu. Enfin l'impact sera le(s) résultat(s) de l'effet aux différentes échelles d'observation possibles.

En prenant l'émission de dioxines en sortie de cheminée d'incinérateur pour exemple, l'indicateur d'émission pourra être la quantité de dioxines par m<sup>3</sup> d'air sortant ; l'indicateur d'effet sera la quantité de dioxines accumulée dans les organismes et le danger toxique ainsi construit ; l'impact sera par exemple le développement de tumeurs ou la dégénérescence du système nerveux selon le type d'organisme récepteur, ou à plus large échelle la diminution du taux de croissance de l'espèce considérée.

### Chaîne des différents types d'indicateurs dans une évaluation environnementale



**Figure13 : Chaîne des différents types d'indicateurs dans une évaluation environnementale**

Le tableau 06 retrace les principaux enjeux au niveau des 3 domaines du développement durable, l'environnement, le social, et l'économique. [MANDELLINA, 2006]

**Tableau 06 : Enjeux environnementaux, sociétaux et économiques liés aux bâtiments**

Enjeux environnementaux	Impacts / effet	Source	Illustration d'usage responsable
Bouleversements climatiques, disponibilité de l'énergie, éco-réfugiés, inondations sècheresse, famines ...	Réchauffement climatique	Emission de gaz à effet de serre	Chauffage par combustion
Qualité globale des compartiments eau air et sols. Viabilité de l'environnement. Santé	Contamination potentielle des endroits de stockage, danger de dispersion en cas d'accident majeur. Effet mutagène sur les êtres vivants.	Déchets radioactifs	Chauffage électrique, utilisations de l'électricité
Epuisement des ressources de matières premières Diminution de la biodiversité, Changement de l'albédo et renforcement de l'effet de serre	Appauvrissement des ressources non renouvelables	Utilisation de matières premières non renouvelables ou renouvelées, exploitation forestière, ...	Fabrication de matériaux
Dégradation des forêts, des structures, des sols, morts de plans d'eau, ...	Pluies acides	Emission de SOx et NOx	Chauffage par combustion, matériaux bois, ...
Qualité des paysages, inondations, biodiversité, ...	Mitage du territoire	Développement et étalement des villes, de l'habitat individuel, réseaux de transports liés, ...	Utilisation et occupation des sols et des territoires
Appauvrissement des ressources en eau potable	Dégradation de la qualité des nappes phréatiques	Polluants chimiques, microbiologiques	Lavages, procédés industriels, décharges, rejets directs de déchets aqueux ou non

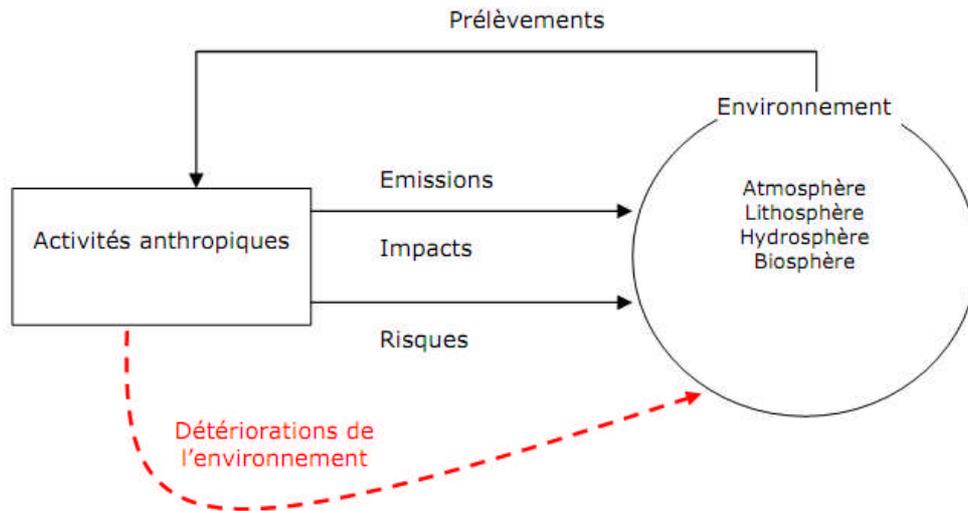
Enjeux sociaux	Effet	Source	Usage implicite
Bien être, santé	Confort hygrothermique	Conditions de température et d'humidité	Consommation d'énergies, limitation de la ventilation, isolation du bâtiment, ...
Santé	Sensibilisation, irritation des poumons : toxicité des polluants gazeux	Qualité de l'air : composition, durée d'exposition, sensibilité de l'utilisateur	Ventilation, émission de polluants gazeux : CO, VOC, PM, ...
Intégration, communication, liberté d'action, santé, confort	Confort acoustique	Vibrations sonores, martèlements, isolation acoustique du bâtiment (interne et externe)	Marchés, parlés, musique, ... et certains équipements (machines à laver, ...)
Bien être, santé	Confort visuel	Choix des matériaux, équipements, lumière naturelle, subjectivité, ...	Eclairage, aménagements et équipements, ...
Enjeux politiques ou économiques	Résultat	Cause / source	Décisions
Justification de la gestion des fonds publics	Coût d'investissement	Choix des matériaux et techniques, prix du marché, quantités	Exigences et moyens de la maîtrise d'ouvrage
Image politique Sensibilité et	Affichage et engagement	attente du grand public	Formation, sensibilisation
Efficacité, durabilité, adéquation du bâtiment	Gestion et suivi	Volonté de gestion, moyens de suivis	
Viabilité économique	Coûts induits	Gestion, consommations	Affichage des performances
Changement des façons de penser	Coût global	Gestion, choix de conception	

Les activités anthropiques exercent une pression sur l'environnement à plusieurs niveaux, elles effectuent des prélèvements sur le milieu, opèrent des transformations en nature et en quantité sur les différents compartiments de l'environnement, sans savoir quelle est l'adéquation entre ces actions et la capacité d'absorption ou de tolérance des systèmes.

Les gaz à effet de serre (GES) sont des gaz qui contribuent par leurs propriétés physiques à l'effet de serre. L'augmentation de leur concentration dans l'atmosphère terrestre est à l'origine du réchauffement climatique.

Six familles de gaz sont répertoriées comme appartenant aux GES et référencées dans le protocole de Kyoto : le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>), le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), les hydrofluorocarbures (HFC) et perfluorocarbures (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>).

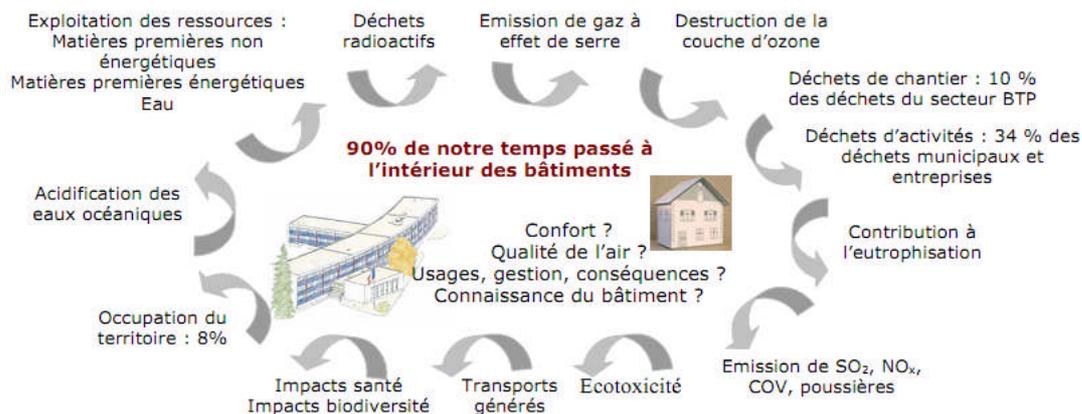
Toute activité humaine émet des GES et se préoccuper de l'impact de son activité est donc un acte responsable.



**Figure 14 : Flux liant activités anthropiques et environnement**

Les consommations énergétiques sont le premier grand poste d'impacts environnementaux majeurs.

Les enjeux environnementaux liés au secteur du bâtiment sont multiples



Source des chiffres : ADEME, 2002

**Figure 15 : Enjeux environnementaux du parc bâti**

**Impacts environnementaux :**

Le potentiel d'amélioration de ce secteur d'activités anthropiques est remarquable et peu investi.

Certains impacts environnementaux majeurs apparaissent difficilement accessibles : impacts sur la santé, transports générés et impacts générés, acidification et smog, contribution à l'eutrophisation ; on pourrait rajouter écotoxicité, et atteinte à la biodiversité par exemple.

Les indicateurs environnementaux développés par les études internationales sont regroupés dans le tableau 07. [Peuportier, 2003].

Impacts environnementaux	Echelle
Effet de serre	Globale 
Destruction de la couche d'ozone	
Epuisement des ressources	
Atteintes à la biodiversité	
Déchets nucléaires	
Effets de la pollution de l'air	Régionale 
Prélèvement et pollution des eaux	
Déchets	
Pollution des sols	
Déchets radioactifs	
Risques	Locale 
Dégradation des écosystèmes	
Dégradation des paysages	
Occupation des sols	
Perturbation du microclimat	
Bruit	Occupants 
Odeurs	
Qualité de l'air	
Conditions d'hygiène	
Qualité des eaux	
Champs électromagnétiques	
Sources d'inconfort	
Risques	

**Tableau 07 : Impacts environnementaux**

### 1.3. Les labellisations de la qualité environnementale :

#### 1.3.1. HQE :

La **Haute Qualité Environnementale** est une démarche complexe, nouvelle et propre à l'activité constructive. Elle vise à inscrire tous les projets d'aménagement, de réhabilitation et de construction neuve dans une logique de Développement Durable. La HQE vise ainsi à minimiser les impacts environnementaux néfastes des constructions tout en offrant une qualité d'usage adaptée des bâtiments.

La HQE et le Développement Durable impliquent de travailler sur des éléments complexes, très souvent innovants, et dont les moyens d'évaluation sont aujourd'hui encore à l'état exploratoire.

Le concept de Développement Durable est issu en grande partie des sciences de la nature et de la pensée écologique. Cependant, il a aussi des implications économiques, sociales, philosophiques et politiques et, à ces titres, relève d'un choix de société. Cette notion a pour ambition de faire tendre vers un optimum les trois composantes que sont l'efficacité économique, l'équité sociale et la préservation de l'environnement naturel.

La durée de vie d'un bâtiment dépasse généralement plusieurs décennies. Dans les pays tempérés, l'homme passe près de 80 % de son temps à l'intérieur du bâti. L'objet bâtiment peut ainsi être considéré comme un produit de consommation à part entière, même si sa conception résulte de processus extrêmement complexes et qu'elle débouche très généralement sur un objet unique. Le constructeur d'un bâtiment, d'un quartier ou d'une ville, modifie, non pas durablement mais définitivement le tissu physique mais aussi socio-économique sur lequel il intervient. Or, très souvent, il n'est plus possible de revenir en arrière pour effacer les causes des éventuelles conséquences néfastes quand elles se manifestent. Pour toutes ces raisons, une problématique propre de "bâtiment HQE" a naturellement vu le jour.

La HQE touche de manière générale les trois composantes du Développement Durable que sont l'environnement naturel, l'intégration urbaine et sociale et l'économie. Le bâtiment HQE offre aussi des perspectives d'extension de la qualité globale (notion de confort, d'économie d'énergie, de santé et de sécurité) et des perspectives dans la démarche constructive (chantier, choix de conception...) dite "construction HQE". Ce bâtiment cherche à la fois à maîtriser les impacts sur l'environnement extérieur et à satisfaire le bien être des populations et des usagers.

En l'état actuel, la démarche HQE tend à expérimenter des pratiques soucieuses de respecter l'environnement, sur des projets ponctuels. L'objectif avoué est qu'à plus long terme, ces pratiques se généralisent par une appropriation de la filière de la Construction. Une réflexion globale est fondamentale pour une démarche environnementale cohérente. Toutefois, des objectifs précis pour un bâtiment HQE peuvent être envisagés individuellement. Aujourd'hui, ces cibles HQE sont d'ordre purement technique, mais doivent nécessairement s'intégrer parmi toutes les contraintes induites indirectement par le projet de construction (transports et déplacements, vie socio-économique du quartier,...).

Aujourd'hui, même si l'idée de la HQE n'est pas encore explicitée d'une manière commune, la qualité environnementale doit se développer au sein de la Construction pour constituer des références.

La HQE est encore à l'état exploratoire et ne possède pas de méthodologie propre. D'ailleurs, la HQE n'est ni imposée, ni codifiée par aucune norme ou réglementation. Il s'ensuit généralement des démarches alliant le bon sens aux connaissances techniques maîtrisées dans le cadre de la réglementation.

On évalue encore la qualité environnementale des constructions à l'aide d'indicateurs environnementaux principalement à caractères techniques. Cela reflète les préoccupations actuelles des décideurs et des usagers et souligne le manque d'engagement politique des Français vis-à-vis des questions liées à l'environnement.

Une méthodologie a été établie et consiste en une classification des objectifs par 14 "cibles environnementales" articulée autour de deux problématiques distinctes : la réduction des impacts sur l'environnement extérieur et la création d'un environnement intérieur satisfaisant pour les occupants.

De ces deux problématiques, ressortent des enjeux forts pour la Construction, à savoir :

- favoriser l'intégration du bâtiment dans son site
- réduire la pollution de l'air extérieur, de l'eau et des sols
- économiser les ressources naturelles (énergie, eau, sol, matières premières)
- diminuer et/ou gérer les déchets de chantier et d'activité
- assurer des conditions de vie saines et confortables à l'intérieur des bâtiments.
- Maîtriser les impacts sur l'environnement extérieur
- Créer un environnement intérieur satisfaisant

Cette démarche est structurée en 14 cibles réparties en 4 familles et chaque cible se décompose elle-même en un certain nombre de sous-cibles : [AssoHQE, 2008]

<b>Maîtriser les impacts sur l'environnement</b>	<b>Maîtriser les impacts sur l'utilisateur</b>
<u>Eco-construction</u>	<u>Confort</u>
1. Relation harmonieuse des bâtiments avec leur environnement immédiat (impact sur la valeur patrimoniale du lieu et sur le milieu). 2. Choix intégré des procédés et produits de construction (impact sur le prélèvement de matières premières et de ressources énergétiques, durée de vie, robustesse, facilité de démolition). 3. Chantiers à faibles nuisances.	8. Confort hygrothermique. 9. Confort acoustique. 10. Confort visuel. 11. Confort olfactif.
<u>Eco-gestion</u>	<u>Santé</u>
4. Gestion de l'énergie. 5. Gestion de l'eau. 6. Gestion des déchets d'activités. 7. Gestion de l'entretien et de la maintenance.	12. Conditions sanitaires des espaces. 13. Qualité de l'air. 14. Qualité de l'eau.
<b>Tableau 08 : Les cibles de HQE</b>	

### 1.3.2. LEED :

La certification LEED, acronyme de: **L**eadership in **E**nergy and **E**nvironmental **D**esign, a été développée en 1994 par l'U.S. Green Building Council, une association américaine dédiée à la promotion de bâtiments rentables, agréables à vivre et ayant une bonne performance environnementale, elle est un système d'évaluation des bâtiments durables dont il représente un outil consensuel développé par l'U.S. Green Building Council pour le design, la construction et l'opération de bâtiments à haute performance environnementale. En vigueur depuis l'an 2000, le système LEED reconnaît les accomplissements et l'expertise en matière de bâtiment vert au moyen d'un programme complet qui offre la certification du projet, l'accréditation et la formation professionnelles ainsi que l'accès à des ressources pratiques. Ce programme impose des normes et des critères de respect environnemental des plus sévères, tant lors de la construction que de la gestion d'un immeuble. [Haselbach, 2010]

Le référentiel LEED est utilisé pour mesurer l'impact environnemental des bâtiments, est un système flexible et articulé qui contient des formules différentes pour les nouvelles constructions (LEED for New Construction and Major Renovations), les édifices existants (LEED for Existing Buildings), les écoles (LEED for Schools) et les petites habitations (LEED for Homes), tout en gardant une structure de fond cohérente entre les domaines. Le système se base sur l'attribution de points pour chacun des critères qui caractérisent la durabilité du bâtiment. Le total des points détermine le niveau de certification.

Les immeubles contribuent pour 30% de la consommation d'énergie et pour 27% de la production des gaz à effet de serre au Canada.\* Afin d'aider le Canada à atteindre les objectifs du Protocole de Kyoto, Construction Vergo a décidé de faire sa part en devenant un spécialiste des bâtiments durables, ou bâtiments verts. La société est donc en mesure de concevoir des bâtiments durables répondant aux normes LEED, qui sont les plus sévères de l'industrie en matière de construction environnementale.

Afin de recevoir la certification LEED, les bâtiments durables doivent respecter divers standards d'efficacité énergétique, d'efficacité de la consommation d'eau, d'efficacité du chauffage, d'utilisation de matériaux de provenance locale et de réutilisation des surplus.

La certification LEED repose sur 34 critères et attribue à un bâtiment une note maximale de 69 points à partir de ceux-ci. Elle évalue l'impact environnemental des chantiers, les consommations d'eau, l'efficacité énergétique des bâtiments, le choix des matériaux utilisés, la qualité environnementale des intérieurs et l'innovation.

La certification LEED se décline en plusieurs sous-catégories : la LEED-NC pour les constructions ou les réhabilitations de grande échelle, la LEED-EB pour les opérations sur l'habitat existant (environnement paysager, maintenance et nettoyage), la LEED-CI pour les opérations sur les bâtiments tertiaires, la LEED-CS pour les opérations sur les enveloppes, et enfin, la LEED-H pour les logements et la LEED-ND pour les quartiers. [PREBAT 2007]

### 1.3.3. BREEAM :

Lancée dès 1990 au Royaume-Uni pour les immeubles de bureaux, puis déclinée depuis pour le commerce, l'industrie et l'habitation, la certification BREEAM (acronyme de Building Research Establishment Environmental Assessment) est la méthode la plus utilisée pour évaluer et améliorer les performances environnementales des bâtiments. A ce jour, plus de 600 immeubles de bureaux ont été évalués grâce à cette méthode.

La certification BREEAM évalue la performance des bâtiments sur le système de management, l'énergie, la santé, le bien-être, la pollution, le transport, l'occupation des sols, la biodiversité, les matériaux et l'eau. Des points sont attribués sur chacun de ces aspects en fonction des performances atteintes. Un système de pondération permet d'agrèger ces notes et d'obtenir in fine une note globale. Celle-ci, accordée sous forme de certificat, peut ensuite être utilisée à des fins promotionnelles.

L'intérêt de cette certification, outre la simplicité de ses 4 niveaux de performances, est qu'elle peut être – et est – utilisée à la fois pour les bâtiments neufs et le bâti existant.

BREEAM (qui signifie "BRE Environmental Assessment Method" ou la méthode d'évaluation de la performance environnementale des bâtiments développée par le BRE) est le référentiel le plus ancien et le plus utilisé à travers le monde. BREEAM est le standard de référence en termes de construction durable et est devenu la méthode d'évaluation utilisée de facto pour décrire la performance environnementale d'un bâtiment.

- BREEAM fournit aux clients, promoteurs, concepteurs et autres acteurs du secteur de la construction:

- Une reconnaissance par leurs pairs d'un bâtiment à impact environnemental réduit
- L'assurance que les meilleures pratiques de construction ont été intégrées au bâtiment
- L'inspiration pour trouver des solutions innovantes qui minimisent les impacts sur l'environnement

- Un standard de référence définissant des critères qui vont au-delà de ceux requis par la législation

- Un outil qui permet de réduire les coûts d'exploitation d'un bâtiment ainsi que d'améliorer l'habitat et l'environnement de travail

- Un standard qui permet de démontrer le travail effectué pour réaliser des objectifs environnementaux à l'échelle d'une entreprise ou d'une organisation.

- BREEAM aborde les problèmes environnementaux dans leur globalité et permet aux promoteurs et concepteurs immobiliers de prouver aux urbanistes et à leurs clients les caractéristiques environnementales de leurs bâtiments grâce à:

- Un système simple et pédagogique de notation finale du bâtiment qui est transparent, facile à comprendre et développé sur la base de recherches scientifiques prouvées.

- Une influence positive sur la conception, la construction et l'exploitation des bâtiments.

- Un standard technique de qualité et des procédures de certification et de vérification rigoureuses. [BREEAM, 2008]

Les certifications LEED et BREEAM ont en commun de proposer un système de notation. Cette caractéristique, dont est dépourvue la certification HQE, a l'avantage de permettre des comparaisons entre les immeubles en matière de développement durable et de tenir compte des performances obtenues dans la valorisation patrimoniale du bien considéré.

# Analyse du Cycle de Vie comme outil pour le développement d'une stratégie de construction durable

ANNEXE 03:

ملخص باللغة العربية

### VsajRvg•e .!:'€Y

:\_\_\_\_\_

¿•g.T.Wg U i\ •[.T.¿UnL' [n..} f ^... " wšp .Ti •s[.T.IT` " Šx[ Z.T.U• YSM.Z Šw g...  
Z li s g~iZ ŠxW.T.hš YSM.' tw Ui •s[ Z T ]M%¿ "t[.T.Y.¿d^ %M.T.Th " ~it Št.Y'wšp .T.  
jı N'Nı'đ ÓÇĤ?Ç çä ä NıBä AÇeÓıı' i đ aÇÓÇ ÉÍ Öe Øıı äđ i đ ENıØı'æ ENıB Éıı çä EÇNıUÉ  
" [UŠT.I.Us|.T.Y.¿ i E-gıAđ ØÇe?Ç ÉÖeáı ÉıÇıØ jEÇNıÇıÖe UđÖäđ ää ÉĤEıđ EÇÓÇUđ  
UÇe?Ç ÖÜEÖNıÖe ÉNıı Ĥ EÇAıÖe

ı Yı æ?Ç ÉæØıđ ä1972 t'W " Éäıä í YÉAĤ äeı Éıı Ĥđ ää?Ç NāĤä İÇPđ äÇæ  
" SWıi •s[.T.†.Ž• ' .Oçp •[.T.Ĥ \ "c Yx"Ŵ.T.g Ĥ .T.} JŠı T •g• vr •TX•sf ¿•c Yw•[.T.  
ÉĤEÖÓÇđ äeı ÉıääĤ ÉıđÓÇÉAÇĤ?Ç i đ Yıäı í Đđ « Ecodéveloppement »

" [«T.Développement Durable» ÉaÇıÖđ ÉıäĤäçU ääYı i đ PçYÇ äEÉçäĤ Ĥ Éıäı Y  
WıY t'Ŵ? i đ NıĤEä äeı ÉıÇÓÇ çä ĤııÇı Éıı ää Éıđđ aÇıı?Ç AÇYB PıĤ ĤÉäÇe

Y'Š.EÇNıNıđ ĐÇı É äÇe • ÇĤ gc " ~ Uç• k " ..Ö v•T." • SESYR~'éay  
ÉaÇıÖÇ PıĤ ÉaıÄ ää NÇĤ?Ç äıUÉçäĐıÄ Éıı í Ĥ çä ÖAŞN İÜEÉ?Çı ä ÉÉÉı đ İäĤEÉaÇıÖđ  
ı İÇÖEÇ Éđ Ĥ İYĤe İ UÇEĤ?Ç VŠJ.Tı" SWıVŠJ.T." •• g'xWı.g.T.' tw

PıNØ ÉÓÇeÉUĤeđ ÖNÄ İ Y'YÇıä?Çe äıäçYđ äđä äBÜÖeáÉı ä ENæNÖ Bçä ÉıÖİ ÉçäıUÖđ İ Y  
æıđ İ YÉaÇÓđ EÇÓÇUđ æ EÇıYĤ İ NØ æ ÉıæPØđ İNÇeäĤe Éıæ?Ç İÇeäđ B?ä ÖEİ äENıçUäđ ÉııUĤe  
çä Ĥıı ÉıääÉıU İ đ Éıæ?Ç İÇeäđ Ö?ı Ö ää AÇıĤE ÉÇı Ĥđ É i tç ' tw Th• İı cWı.

Yıg» c gxl "«[Analyse de cycle de Vie» X'c.TX •g f'"] Yı's Zi Žt €šŠ.T.Th %•  
ÉıäUÜĤ ÉıUÜUıYÇ EÇııUÜUÉDUÜä ÉaÇıÖUÖđ ÉıäUÜĤ äUÜÖe ääÄ äUÜä Yı • X'NŠT.  
\_[Š.TX'c X •g Yı's Y [ŠTZ U» ŠT. Yx"Ŵ.T.g Ĥ .T.Y i » » Ž• X'ç%„[.Zı Šs g••

çä ÉıÇU ĐÄ ÉııÇe NÜäÉaıæ i đ İäĤE?æ NıçUäđ ÉııUĤe ÉPıNØ í ä Éçııđ ENæı äıUÜıPÉE PıNØ äÄ  
ÉĤE i đ ÉıÖđ NÇEÇ É YUä İ Yçäıæ YıÖı æ?æ u•r • [Š.TVcçp X'Sı.X'Ŵ ^ %„[  
ÉUıæ?Ç İÇeUÜäđ ENÇıÄ æ ÉıUÜäB EÇUÖ İ đ İUÜĤEäEÉÇıYĤ İ NÜØæ ÉäıUÜĤe İ UÜä æ

YU » s.T. Yı x] » İ ^ .T.

\ t Vi U' U...V g Ĥ .T. t %ı İ BıPä Ö äU äæÄÖ AÇĤ UÇÖPä? NNUä  
ÉaÇıÖ ÉıäÉaıÄ ää äııĤ İ UıÖ çää ÉĤE ÉıäBÖÇ äıä Ö İ Yæä Yı äUĤ İ UÜđ \ •[.T.  
áıÇNä ÉıUENäı í Đđ aÇıÖđ AÇäÉıı ĤENÖ NıæØÉeı ä í UÖđ ĐB æ É? Ĥ çä ÖAŞN İ đ İÇEĤ?ÇE

í ÁäÑÇNPì á ?æÖæ äíÇæä æ #š ŠTi Uf T ' •š .Tj "t[.UVI •i ^ Yl gZ.TY T g.T%o I tJW " Žš

:É í ÁBÖÇ

:É í ÁBÖÇ É í ÁBÖÇ Í NÖ Çäš í äÑB Y äÇäáÜE

Š^•Y SES tNU ¾ •X RgRfšYR •,u Vuš t Wj • ' < VŠaRVg•e .!ÉY Vgq tJ gŠUŠ

"ÉäÇíÖÇ æí äÁÇäÉ Éíl íEÑEÖ

:É í ÁBÖÇ É í UNVÉ ÉäÖÇ Í NÖ Çäš í Çäü É E ?æ É í ÁBÖÇ <h• s "l W..

äÇíÖÇ äÇäÉ Éíl íEÑEÖ í YNÇNÉä ÖÇÍ E ÉäÖ ææEäÄ ÉÇÍ ä ÉÑæí äíEäáí ää -1

%b.Xtc.TX •g f", [ Y,"i s .%p^ " tTjI ^ .TI ŠWY^ "[T [I O%o Yci ^ ' L=2

YI • " • ÉäÇíÖÇ æí äÁÇäÉ Éíl íEÑEÖ äíl æÉÉÇÍ ä ÉÑ f", [ Y,"i s %W^ PV%b W +3

\_\_\_\_\_

ÉäÖ ææEäÄ ÉäÇíÖÇ æí äÁÇäÉ Éíl íEÑEÖ äíl æÉÉÇÍ ä ÉÑæí äíEäáí ää æíE»

(Etape de conception) «.ÉÖNíä Éä Nä ää Éíl íEÑEÖÇ ää í YNÇNÉä ÖÇÍ E

\_\_\_\_\_ { R & J

:

: Wt „Yçä ?Ç

I ŠWY^ "[T [I O' tw Xtc.TX •g f", [ i "IM•g -1

Yci ^ ; WZ T T , .Thö [T' tw XgW^ Y,"g Z U •k^ Y-20

ÉäÇíÖÇ æí äÁÇäÉ Éíl íEÑEÖ äíl æÉÖNÜEÉÖNíä Éä Nä ÉäÇíE X •g f", [ Y,"i s -3

k W^ .T.tgw } gZW

:í ä YÉíl æÜÇííE Yçä ?Ç ÇäÄ

f~p " ~ •• ' h.T. Tž, ' i •• u•r • ..Éi s [UVY^ .ü.T. cŠ " ^ k.T. \ cW. Yg CE-4

.í äšÜä íUÖä í ä Éí ÁBÖÇ É í ÁBÖÇ

.í íEä äíEäáí äí ä NÇÖEÇ äíU æ ÉÇNÇNÉä ÖÇÍ E ÉÇäí æEÉEÖ Yw• ^ I F 20

ÄÇíE NÇEÇ?Ç äíUEÇä äíÄ äÖ? ä Éí ÁBÖÇ ÉÇäæäš ÖæÖí EÉíEÖÉæ ÉíNUäÉíäü ÉíEäíæE-3

Y T g Yci ^ %o

: \_\_\_\_\_ W^CEt

UŠ\ \ "c \ cW.Y' ŽŠ %w X „~%„ [ Štw ĩ ŽI U^ Y's ^ ŠT:%o u•ŠW[^ [ X'c.TX •g f'"] [ Y,"i s %O  
: YI WL vMMV ^ [

« Objectifs et champs de l'étude »: 3/Š† • { R&U

" ~ \ "c ĩ "t[.TY'†w X •i "l ..Y Ž Y'ci ^ " • • f'"] .T." ~q • f .T. I gW.Y'ci ^ " •  
Yi x • \_S[Š ĩ •c X „~%„ [

Z ŠJ %Of .h, • ŪWYŠ' .T.YS.T.f.h. • ŪMML • Y Tg.T.gWMr [ %b.V ` " V/ RgR{ R&J •  
Z Ū Tg •LY Tg Tk Š.. XgW %WWS Ū Xg %e„ [

Œg •• Œ'•t • } "i x [ €i s %w k •i g .T.Ū Št. Ū'g Ūp • %or [ " %b.V ` ~V/ RgR 3/Š†  
.ŒŒŒ?ç äıŪŒŒæĀāāā ÉıŒŒŒ ŒŒŒç YçăŌı ĩÉŒŒŒŒŒŒ ĩăăăĀĀĀ Băăăæ ÉıŪŪæđ

Ū ŠT. Y'•t • k Ū » • Y' " « Unité fonctionnelle » Y'• » t •.T. Xg c •.T.

YŠ Ū .T.Y.Œ " ~ gWŪ I [ • Yg Y,"g Y' „ ĩ ] [ «La fonction du système »

: É É ÉŒŒŒŒŒŒ Y'ŒŪŒŒ

(Unité de produit) \_[Š.TXg •

(Unité de service) Xg •

(Unité de temps) Xg •

2- جرد مدخلات و مخرجات دورة الحياة: « Inventaire de cycle de vie »

بواسطة تعريف و بيان كمية التدفقات العابرة للنظام و حسابها و مراقبها عن طريق بناء إطار للعمل يتضمن جمع المعطيات في مرحلة أولى ثم التحقق منها و اعتمادها في مرحلة لاحقة.

3- تقييم الآثار البيئية: « Evaluation des impacts »

تهدف إلى تحويل مدخلات ومخرجات التدفقات إلى مجموعة الآثار البيئية القابلة للتعريف بوضوح، إن هذه العملية تتم بالمرور على المراحل الأربعة التالية:

(1) الإختيار: وتضم تعريف وتحديد فئات الآثار البيئية ومؤشراتها ونماذجها بطريقة تتلائم وأهداف الدراسة.

(2) التصنيف: وتتضمن تصنيف العناصر المختلفة لعملية جرد المدخلات والمخرجات داخل كل فئة من فئات الآثار الناتجة السابق اختيارها.

(3) تعريف وتحديد الآثار البيئية بشكل رقمي باستعمال معاملات تحديد مخرجات عملية الجرد المحولة إلى مؤشرات رقمية.

4) **النمذجة:** والتي تتم بأخذ الآثار البيئية المحسوبة ذات القيمة المتصاعدة المعروفة بحيث تسهل عملية محاكاتها.

إن كلا من مرحلتين **جرد مدخلات و مخرجات دورة الحياة و تقييم الآثار البيئية** تقوم باستعمال وسائل المحاكاة أين تكون قواعد البيانات مندمجة و المؤشرات معرفة جيداً.

**4- عرض النتائج:** والتي تسمح باستخلاص نتائج الدراسة التي يمكن استعمالها كوسيلة مساعدة لاتخاذ القرارات.

من الممكن اضافة مرحلة اختيارية تسمح بترجمة النتائج الصادرة عن إطار التحليل و التي تعتمد على النتائج المحصل عليها من أجل دعم الحلول التكنولوجية الحديثة.

## خطة الدراسة :

### الفصل الأول : الإطار النظري والمفاهيمي:

- 1- مقدمة
- 2- التنمية المستدامة
- 1-2. نبذة تاريخية حول التنمية المستدامة
- 2-2. سيرورة التنمية المستدامة
- 3-2. معايير ومقاييس التنمية المستدامة
- 3- تقييم الأبنية
- 1-3. التقييم
- 2-3. أنماط التقييم
- 3-3. طرق التقييم
- 4- الأبحاث السابقة حول تقييم دورة الحياة الأبنية
- 5- أدوات ووسائل تقييم دورة الحياة الأبنية
- 6- خلاصة

### الفصل الثاني: تقييم دورة الحياة

- 1- مقدمة
- 2- تعريف تقييم دورة الحياة
- 3- نبذة تاريخية حول تقييم دورة الحياة
- 4- مجالات تطبيق تقييم دورة الحياة
- 5- منهجية تقييم دورة الحياة
- 1-5. وصف منهجية تقييم دورة الحياة
- 2-5. مراحل عملية تقييم دورة الحياة
- 3-5. الأشكال النمطية لنتائج تقييم دورة الحياة
- 4-5. أنماط البيانات
- 5-5. حدود طريقة تقييم دورة الحياة
- 6- المعايير الدولية لطريقة تقييم دورة الحياة
- 7- كيفية خلق نظام معقد بطريقة تقييم دورة الحياة
- 1-7. تقييم الآثار
- 2-7. سيناريوهات الاستعمال ونهاية حياة المنتجات
- 3-7. الفرضيات المطروحة

8- برمجيات تنفيذ طريقة تقييم دورة حياة المنتجات

9- نتائج الدراسة

10- خلاصة

### الفصل الثالث: استراتيجية البناء المستدام

1- مقدمة

2- البناء المستدام

1.2- أهداف إستراتيجية البناء المستدام

2.2- إيجابيات إستراتيجية البناء المستدام

3.2- الأبنية المتكاملة

4.2- التقنيات البنائية

5.2- نحو بناء مستدام

3- مراحل حياة بناء

4- التخطيط البيئي

1.4- مراحل التخطيط البيئي

2.4- وسائل التخطيط البيئي

5- خلاصة

### الفصل الرابع: تقييم دورة حياة الأبنية

1- مقدمة

2- تقييم دورة حياة الأبنية

1.2- آثار المنتج وآثار الأبنية

1.1-2- سلم الآثار

2.2- المدخل المنهجي

1.2-2- نمذجة بناء

2.2-2- المؤشرات المعتمدة

3.2-2- نظام: "البناء - المستعمل"

3.2- طريقة تقييم دورة حياة الأبنية في مراحل حياتها

1.3-2- مراحل دورة حياة بناء

2.3-2- عملية إنشاء بناء

3.3-2- تطبيق طريقة تقييم دورة حياة خلال مرحلة تخطيط ودراسة بناء

4.3-2- إمكانية دمج طريقة تقييم دورة الحياة في عملية إنشاء بناء

4-2. الوسائل المتوفرة للمحترفين في البناء

5-2. المشاكل المطروحة نظرا لخصوصية الأبنية

3- خلاصة

## الفصل الخامس: تطبيق طريقة تقييم دورة الحياة على مشاريع مدارس ابتدائية

1- مقدمة

2- تقييم دورة حياة مشاريع المدارس الابتدائية

1-2. تعيين أهداف ومجال الدراسة

1-1-2. تحديد أهداف الدراسة

2-1-2. تحديد حدود النظام المدروس

2-2. جرد مدخلات ومخرجات دورة الحياة

1-2-2. تحديد السيناريوهات من أجل مدة الحياة

2-2-2. تعيين القيم المرجعية

3- اختيار أدوات المحاكاة

1-3. عرض برمجيات المحاكاة

1-1-3. ALCYONE

2-1-3. PLEIADES+COMFIE

3-1-3. EQUER

2-3. تقييم الآثار البيئية:

1-2-3. وصف البناءات

2-2-3. مواد البناء المستعملة

3-3. منهجية المحاكاة

1-3-3. المحاكاة الحرارية

2-3-3. المحاكاة الضوئية

3-3-3. تقييم الآثار الصحية

4- خلاصة

## الفصل السادس: المحاكاة

1- مقدمة

2- التحليل الطاقوي

1-2. المحاكاة الحرارية

1-1-2. سيناريو التواجد

2-1-2. سيناريو التسخين

3-1-2. سيناريو الطاقة المستهلكة

4-1-2. تبيان الخصائص الجوية

5-1-2. نتائج المحاكاة بـ: COMFIE

6-1-2. عرض المخطط البياني Sankey لكل مشروع

7-1-2. جداول

8-1-2. المخططات البيانية

2-2. عرض الحواجز الضوئية

3- التحليل البيئي

1-3. النتائج الرقمية

2-3. النتائج البيانية

3-3. الرسوم البيانية ذات الأعمدة

4-3. المخططات البيانية بصيغة الرصد الردارية

4- خلاصة.

الفصل السابع: النتائج والتوصيات

1- مقدمة

2- عرض مختلف التوصيات

3- تطبيق التوصيات على المشاريع الأربعة

4- ملخص لنتائج التوصيات

5- خلاصة

الفصل الثامن: الاستنتاجات و الآفاق

## الجزء التطبيقي للبحث:

إن الطريقة المتبعة في هذا العمل المتواضع تتجه بصفة عامة دراسة مؤسسات التعليم المدرسي وبالتحديد مؤسسات التعليم الابتدائي الموجهة لاستقبال تلاميذ الطور الأول بين 6- 12 سنة، التي من المفروض أنها توفر الشروط المناسبة واللائقة لدراسة الأطفال والعمل داخل الإطار التعليمي.

إن طريقة تقييم دورة الحياة تهدف إلى زيادة التكامل البيئي فيما يخص استهلاك الطاقة و طرح الغازات المنبعثة من أجل الحد من استنزاف المصادر الطبيعية و إنقاص رمي النفايات في المحيط الطبيعي ، مع مراعاة الاستعمال الصحي والرفاه الحراري والمرئي و استبعاد الجوانب التالية من الدراسة :

الجانب المتعلق بالصوت وحاسة الشم لأنهما يتطلبان طرائق تقييم وبرمجيات محاكاة أخرى ،

الجانب الجمالي ومستوى المعيشة الذين يعدان غير قابلين للقياس والتقييم ويخضعان للذاتية.

الجانب الاقتصادي نظراً لأن طريقة تقييم دورة الحياة لا تتناوله لأنه يتطلب طرقاً أخرى مثل طريقة التكلفة الشاملة.

تتمحور دراسة الحالة هذه حول أربعة مشاريع محددة تتمثل بالمدارس الابتدائية المقترحة من طرف ثلاث

مكاتب للدراسات الهندسية والتقنية، إن هذه المدارس من أنواع مختلفة وهي كالتالي :

النوع الأول : يحتوي 3 أقسام.

النوع الثاني : يحتوي 6 أقسام.

النوع الثالث يحتوي 9 أقسام.

النوع الرابع يحتوي 12 أقسام.

إن هذه المشاريع تحتوي كلها على جناح بيداغوجي وإدارة ، بالإضافة إلى فناء المدرسة وسكن وظيفي ما

عدا المشروعين الأولين منها فيضمان مطعماً داخلياً .

من البديهي أن تعد وحدة القياس لهذه المدارس هي قسم الدراسة التي تمثل الوحدة الوظيفية للدراسة ومن

الممكن تعريف هذه الأخيرة كالتالي :

قسم الدراسة : (وحدة الإنتاج ) تستعمل لاستقبال 36 تلميذ ومدرس ضمن أفضل شروط الراحة والصحة والأمن

( وحدة الخدمة) لمدة 9 ساعات في اليوم حيث يتناوب على استعمالها فوجان : الأول من 10.30- 12.30

والثاني من 15.00- 17.00 طيلة 5 أيام من أصل 7 أيام أسبوعياً، وهذا مايعني 190 يوماً من 365 يوماً، مع

حساب أواخر الأسبوع ، العطل و أيام الأعياد .

يعتبر فناء هذه المدارس في إطار المحاكاة باعتباره فضاءً خارجياً بالنسبة للأقسام الدراسية، أما بقية

البنيات فتلعب دوراً حاجزاً لصالح الأخيرة التي تمثل الوحدة الوظيفية وموضوع التحليل الذي تتم محاولة

إعطائه الجو الأفضل لخدمة تعليم التلاميذ .

## تحديد مجال الدراسة :

بافتراض أن مدة حياة هذه المدارس هي 80 عاماً على الأقل، حيث تتضمن الدورة الكاملة لحياة هذه البنايات ابتداء من بناءها وصولاً هدمها وإزالتها نهائياً.

ستتم محاولة تطبيق طريقة تقييم دورة الحياة في هذه الدراسة في مرحلة التخطيط التي تهدف إلى بيان التفاصيل المتوقعة ليكون إنجازها لمعرفة وضعية ووجهة المشروع .

كما لحدد فيها كل من مواد البناء ، تقنيات البناء ، التسخين والتهوية ، الإنارة ، الحاجات الطاقوية التي من الواجب أن تكون متوفرة، تعتبر هذه المدارس تابعة للمناطق الحضرية قريبا من السكان وعلى هذا لن تكون هناك حاجة لدراسة نقل مستخدميها ونقل مواد البناء واليد العاملة.

كذلك الحال بالنسبة للتجهيزات والمكونات الصغيرة للبنية تمثل جزءاً ضعيفاً مثل انبعاث الغاز وخصائصها يمكن اعتبارها ثابتة بالنسبة الى الاقتراحات المطروحة ، وعليه فهي لا تؤثر على عملية اتخاذ القرار ولذلك لن تؤخذ بعين الاعتبار مستقبلاً في هذه الدراسة،

بالنسبة إلى كل المشاريع يمكن اعتبار العمل الوظيفي منتظماً لمدة 80 سنة .

إن أقسام الدراسة تستخدم لمدة 100 يوم في الفصل البارد بداية من شهر نوفمبر إلى شهر مارس أين تتزايد الحاجة إلى التدفئة يومياً بمعدل 9 ساعات يومياً من 8.00 – 17.00 مع حرارة داخلية تصل الى 20 درجة مئوية مع وجود حرارة خارجية متوسطة تصل إلى 5 درجات تحت الصفر .

بالإضافة إلى مدة عشر دقائق لتهوية الطبيعية بواسطة النوافذ وفترات التداول بين الأفواج وهو ما يدفع إلى الإنارة الصناعية طوال هذا الفصل.

أما في بقية السنة الدراسية التي تضم 3 اشهر ساخنة ستكون بحاجة للتهوية والانتعاش داخل الأقسام والإنارة الاصطناعية في حالة وجود حواجز تؤثر مباشرة على الراحة البصرية .

طوال فترة استعمال المدارس من الممكن اعتبار ان استهلاك الماء البارد سيكون بحدود 5 لتر يومياً للشخص الواحد ، وعليه فإن النفايات التي عادة ما تكون ورقية ستصل إلى 1 كيلو غرام للشخص الواحد في اليوم .

## وسائل طريقة تقييم دورة الحياة .

### عملية المحاكاة:

لقد تم استعمال برنامج للإعلام الآلي يسمى EQUER حيث يقوم بتسهيل مقارنة المتغيرات ويساعد على اتخاذ القرار وعلى هذا فهو وسيلة موجهة أكثر للمختصين في مجال البناء ، وبالتحديد المهتمين بطريقة تقييم دورة الحياة، وتعتمد عملية المحاكاة الرقمية على الحسابات من اجل تمثيل الواقع بطريقة أكثر دقة من الوسائل البسيطة الأخرى.

إن هذا البرنامج مرتبط ببرنامجي ALCYONE و PLEAIDES+COMFIE بواسطة ملفات نصية تضم معطيات البناء (الهندسة، حاجات الطاقة، كميات و أنواع مواد البناء) حيث تكون مكتوبة بواسطة البرنامج الأول و قابلة للقراءة لاحقاً في البرنامج الذي يليه.

حيث أن برنامج ALCYONE: هو نموذج للحجز البياني و الوصف الهندسي للبناء. أما برنامج PLEAIDES+COMFIE: يمكن استعماله للتخطيط الملائم للبيئة و تحليل الرفاهية الحرارية حيث أن COMFIE هو نواة الحساب أما PLEAIDES فهو واجهة حيز البيانات و المعطيات.

وبرنامج EQUER هو وسيلة تقييم دورة حياة البناء في برنامج EQUER يمكن تمثيل البناء كهيكلي شبيهي، أما عملية حساب المدخلات و المخرجات فهي تتم بفضل طرق مشتركة بين هذه البرامج.

إن عملية محاكاة البناء في مرحلة الاستعمال حيث تمثل الخطوة الأولى عاماً واحداً أما تعويض المكونات فإنه تنتج آلياً بفضل حسابات الأعمال المتضمنة داخل الأشياء بعد عملية الحجز البياني للمشاريع في برنامج ALCYONE و تصديرها نحو برنامج PLEAIDES+COMFIE مثل تعريف الخصائص المختلفة لمواد البناء المبرمجة لتنفيذها مما يحدد الخصائص الجوية للأماكن بمساعدة برنامج Météocalc.

### التحليل الطاقوي:

لتحديد السيناريوهات الخاصة بأقسام الدراسة فقط التي تمثل الوحدة الوظيفية من أجل ربح الوقت في عملية حيز البيانات والحسابات، فحسابات التهوية تأخذ وقتاً طويلاً في عملية المحاكاة وعليه لا نقوم بتحديد التهوية غير المجدية.

### المحاكاة الحرارية:

### سيناريو الاستخدام:

في كل قسم دراسي يتواجد على مدار الأسبوع من يوم الأحد إلى الخميس من الساعة 8:00 - 17:00، 36 تلميذاً و مدرساً واحداً حيث أن كل فرد ينتج طاقة متوسطة تقدر بـ: 80 واط.

### المحافظة على الحرارة الداخلية (الدفع):

إن الطاقة المطلوبة داخل أقسام الدراسة هي 20 درجة مئوية أثناء الفصل البارد طيلة وقت الاستخدام الدراسي. أما بالنسبة لفترة قطع التدفئة نضع 20 درجة مئوية تحت الصفر لكي لا يحاول البرنامج التدفئة في درجات حرارة عالية.

### سيناريو الطاقة المستهلكة:

يمكن اعتبار أن 600 واط ساعي يتم استهلاكها بواسطة مصابيح مضيئة بطول 90 سم Tubes Fluorescents ذات طاقة تقدر بـ 30 واط ساعي حيث يوجد منها داخل كل قسم دراسي 10 أزواج.

### جداول التلخيص:

يظهر في برنامج PLEIADES جدولان بطريقة تركيبية يحتويان مؤشرات تسمح بإلقاء نظرة سريعة على نقاط القوة والضعف على حد سواء لكل مكان محاكى في البناء المدروس. إنطلاقاً من القراءة الأولية يبدو أن لأقسام الدراسة رقم 8 و 6 من المشروع الأول نسبة مرتفعة من الاحتياجات الحرارية، وكذلك الأمر بالنسبة لأقسام الدراسة رقم 3 من المشروع الثاني، و4 من المشروع الثالث، و5 و9 من المشروع الرابع.

### احتياجات التسخين والتبريد:

إن مؤشر هذه الاحتياجات يمثل الحاجات الكلية الحجمية لمكان بالكيلواط الساعي في المتر المكعب أثناء فترة المحاكاة ، إذ كلما كان هذا الأخير منخفضاً تناقصت الحاجة للتزويد بطاقة التسخين والتبريد . إذا انعدم المؤشر فإن البناء ذاتي الاكتفاء بالطاقة حيث ان الشمس والسكان والأجهزة كفيكون بتوفير الطاقة اللازمة لتسخينه ولا يحتاج الى تبريد .

إذا كان مؤشر قاعة الدراسة رقم 8 من المشروع الأول يصل إلى 9.55 هذا يعني أن تجهيزات التسخين والتبريد يجب أن توفر طاقة قدرها 9.55 كيلو واط ساعي في المتر المكعب من اجل ضمان الحرارة المبرمجة في السيناريوهات الوظيفية .

### نسبة عدم الرفاهية (الارتياح):

من المجمع عليه أنه يمكن اعتبار حالة عدم وجود رفاهية في مكان عندما تكون درجة حرارته أكبر من 27 أو أصغر من 16 درجة مئوية ، وعليه فإن مؤشر نسبة عدم الارتياح يمثل النسبة المئوية للوقت المستغل ودرجة الحرارة أكبر من 27 أو أصغر من 16 درجة مئوية.

إن مؤشر نسبة عدم الارتياح 50 بالنسبة للقاعة 4 من المشروع الأول يعني أنها غير مريحة حرارياً خلال نصف وقت استخدامها.

بالنسبة للمشروعين الأخيرين مؤشرات عدم الارتياح لقاعات الدراسة بالطابق الأرضي مرتفعة على عكس قاعات الطابق الأول التي توفر فترة أكبر من الراحة.

### متوسط الزيادة الحرارية القصوى:

ويمثل متوسط زيادة الحرارة على عتبة درجة الراحة القصوى 27 درجة مئوية و يعبر عنها بعشر الدرجة. وعلى هذا فمؤشر الزيادة الحرارية المقدر بـ 92 للحجرة رقم 10 من المشروع الأول يعني أن درجة حرارتها ستكون في المتوسط مرتفعة بـ 9.2 درجة فوق درجة الارتياح المساوية لـ 27 درجة أثناء فترة زيادة الحرارة القصوى أي أنه تساوي 36.2 درجة.

### مؤشر التزايد:

إن مؤشر التزايد يمثل النسبة المئوية للزيادة والنقصان في درجة حرارة المكان موضوع الدراسة.

إن مؤشر التزايد 124 بالنسبة للقسم الدراسي رقم 12 من المشروع الأول يعني أن المتوسط في فترة المحاكاة تكون درجة الحرارة الداخلية أكبر من درجة الحرارة الخارجية بـ 1.24 مرة أثناء فترة المحاكاة وعليه ستتقصر حرارة المكان.

فيما يخص المشروعين الأخيرين فإن مؤشرات التزايد في أقسام الطابق الأول فهي مرتفعة أكبر من 100 مما يعني أن حرارتها الداخلية تنقص بالنسبة للخارج، أما أقسام الطابق الأرضي مؤشراتنا أصغر من 100 وهذا يعني أن حرارتها الداخلية أثناء فترة المحاكاة تزيد بالنسبة للخارج.

### الوضعية الطاقوية:

يمكن تمثيلها بمخطط بياني يسمى Sankey حيث يتم حساب الاحتياجات الحرارية الأساسية. بالنسبة للمشروع الأول فإن الحاجات الحرارية الأساسية تكون بقيمة 14635 كيلواط ساعي، أما بالنسبة للمشروع الثاني فتكون 4904 كيلواط ساعي، بالنسبة للثالث فهي 5621 كيلواط ساعي وتكون 13058 كيلواط ساعي بالنسبة للمشروع الأخير.

فيما يخص درجات الحرارة أثناء الشتاء فإن الأقسام رقم 8 من المشروع الأول و5 من المشروع الأخير على التوالي تكون ثابتة ومساوية لدرجة التسخين المبرمجة في السيناريوهات الوظيفية و هذا ما يضمن الارتياح الحراري في هذا الفصل، أما في الصيف فإن كل الأقسام تكون غير مريحة وتحتاج للتبريد.

## التحليل البيئي:

إن مباشرة الحساب بواسطة برنامج EQUER يعطي نتائج رقمية يمكن تحويلها إلى برنامج EXCEL و هناك نتائج وأعمدة ذات طبيعة بيانية وهو يسمح أيضا بعرض مخططات بيانية بصيغة رصد رادارية تسهل مقارنة المتغيرات.

## مخططات التأثير:

إن التأثيرات المقدرة تمكن من تجميع ثلاث أنواع تبعا لطبيعة بحيث يمكن التفريق بين التأثيرات من طابع طاقوي تتضمن الطاقة المستهلكة، الماء المستغل، استنزاف المصادر المعطلة ونفايات المنتجات غير المفيدة، والتأثيرات من طابع بيئي تتضمن النفايات المشعة، غازات الانبعاث، زيادة معدلات الحموضة وزياد معدلات الأملاح المعدنية في المياه. التسمم الإنساني، إنتاج غاز الأوزون الكيميائي و الروائح المنبعثة تعتبر تأثيرات ذات طابع صحي.

إن المشاريع الأربعة تحتاج استهلاكاً للطاقة والماء بدرجة كبيرة في مرحلة الاستعمال، أما فيما يخص استنزاف المصادر المعطلة ونفايات المنتجات غير المفيدة فهي تمثل بالفعل قيماً مقبولة. إن التأثير البيئي الأكثر بروزاً هو غازات الانبعاث في مرحلة الاستعمال بالنسبة لكل المشاريع، أما التأثيرات ذات الطابع الصحي فتظهر في مراحل البناء و الاستعمال بقيم متباينة.

## النتائج الرقمية:

تحتوي الجداول على نتائج رقمية حيث تشير الأعمدة إلى مراحل حياة البناء ومجموع التأثيرات على كل دورة الحياة وتمثل الأسطر التأثيرات منفردة .

إن البيانات الحسابية لهذه المشاريع تلخص التأثيرات خلال دورة حياتها حيث يمكن ملاحظة أن نفايات المنتجات غير المفيدة، النفايات المشعة، غازات الانبعاث، غاز الأوزون الكيميائي تمثل كلها نسباً مرتفعة .

إن تقييمات دورة الحياة المنجزة تشير إلى أن لهذه المشاريع تأثيراً لا يمكن إهماله سواء على البيئة أو على صحة مستعملها وهذا ما يحتاج إلى تدخل على مستوى التخطيط من أجل جعلها أكثر احتراماً للبيئة ومستعملها، وعليه فإن التوصيات تقود إلى تخطيط بناءات مستدامة تهدف إلى إزالة آثارها كلياً، وهذا ما يتم بواسطة العزل المعزز للجدران واستعمال الزجاج الأكثر عزلاً والإنقااص من الجسور الحرارية، التهوية الطبيعية بمساعدة مبدل هواء التربة (تقنية البئر الكندي) وتنصيب لوحات طاقة شمسية لتغطية الحاجات الكهربائية .

هذه هي النقاط الأساسية التي يمكن إدماجها في المشاريع المختلفة بهدف المقارنة بين أربع اقتراحات أو بدائل من أجل الوصول إلى بناء مستدام .

إن المخططات المقترحة من طرف مكاتب الدراسات الهندسية نرّمز لها ب BET بينما نرّمز للمخططات المقترحة بناء على استعمال مواد البناء ذات الاستهلاك الطاقوي المنخفض بالرمز BBC

أما BET-T و BBC-T بالنسبة للاقتراحين السابقين على الترتيب على الترتيب ولكن مع إضافة تقنية البئر الكندي وتنصيب لوحات طاقة شمسية، إذ إن تقنية البئر الكندي تستخدم التربة كمخزن حراري حيث يستبدل الهواء العابر له حرارته مع التربة .

على برنامج PLAIDES يمكن تحديد خصائص اللوحات الشمسية المنصبة ومكان وضعها ومساحتها ، وقد تم وضع هذه الأخيرة في اقتراحاتنا فوق السطح حيث تكون مساحة كل لوحة 2.8 متر مربع وطاقتها 400 واط وتكون موجهة نحو الجنوب من زيادة كمية الطاقة الشمسية المستقبلية .

بالنسبة للمشروع الأول نلاحظ أن مخطط BBC يمثل أقل نسبة من الحاجات الحرارية الأساسية ويضمن الراحة الشتوية بالمقارنة مع المخططات الأخرى، لكنها لا توفر حرارة في فصل الصيف.

إن هذا المشروع يمثل قيمة مرتفعة من استهلاك الماء بالنسبة لكل البدائل في مرحلة الاستعمال كما يظهر المخططان BBC- BBT أقل قيم التأثيرات.

إن إضافة التقنيات البنائية لم يلعب دوره المتوقع حيث مخطط BBC ساهم في تحسين حالة أغلبية التأثيرات ماعدا التسمم الإنساني ، زيادة معدلات الحموضة ، استنزاف المصادر المعطلة .

بالنسبة للمشروع الثاني فإن الأقسام تصبح أكثر توفيراً للراحة في BET- -BBC بعد إضافة التقنيات البنائية بالنسبة للمشروع الثالث فتتزايد الحرارة مثيراً للقلق في المخطط BBC حيث يصبح المجال غير قابل للاستعمال وتتراوح درجة حرارته بين 45-51 درجة مئوية.

إن للاقتراحات الأربعة تأثيرات متقاربة في مرحلة الاستعمال . بالنسبة للمشروع الأخير فإن إضافة نظام التهوية يلعب دوره المتوقع حيث ان درجة تخفض لتتراوح بين 24-29 درجة مئوية بالرغم من زيادة الحاجات الحرارية الأساسية .

إن غاز الانبعاث يتزايد عند إضافة التقنيات البنائية في مرحلة الاستعمال وكذلك الأمر بالنسبة للطاقة المستهلكة وإنتاج غاز الأوزون الكيميائي .

بالنظر إلى النتائج المحصلة عليها لمختلف البدائل يبدو ان المخطط الذي يظهر تحسناً في النوعية البيئية لا يوفر نوعية الفضاء المنشودة مما يدعو الى أخذ بعين الاعتبار اقتراحاً جديداً يهدف الى تحسين نوعية الفضاء دون إيذاء البيئة .

إن قاعدة البيانات المدمجة داخل برنامج EQUER تشمل التأثيرات بعض مواد البناء مما ساعد في اختيار أقلها تأثيراً.

إن المخطط BBC هو الوحيد الذي استطاع التقليل من الآثار البيئية بطريقة بارزة لكن دون ضمان مستوى الارتياح المطلوب وعليه تم إعداد تغييرات في تركيبات العناصر البنائية لمخطط BBC المدمجة في قاعدة بيانات PLAIDES

بالنسبة للمشاريع الأربعة في الاقتراح الجديد يبدو أن هناك تحسناً وانخفاضاً في الحاجات الحرارية الأساسية وكذلك الأمر بالنسبة للآثار البيئية على سبيل المقارنة.

## الخلاصة:

بالنظر إلى النتائج غير المرغوبة لطريقة تقييم دورة الحياة لهذه المشاريع تمت محاولة تحسين هذه الأخيرة بواسطة تبديل مواد البناء وإضافة التقنيات البنائية لكن هذا التدخل لا يؤدي إلى النتائج المرجوة خاصة فيما يتعلق بالرعاية الحرارية وهذا ما دعا إلى تدخل آخر حيث كانت النتيجة أكثر إرضاءً .

إن طريقة تقييم دورة الحياة تقيم الآثار البيئية فقط التي تم تنظيمها إلى ثلاث فئات من أجل الوصول إلى نظرة أكثر شمولاً لمفهوم الاستدامة حيث يكون الجانب البيئي والاجتماعي الثقافي مدروسين بواسطة الآثار من منظور طاقي بيئي وصحي .

أما الجانب الاقتصادي لا يمكن أخذه بعين الاعتبار من طرف طريقة تقييم دورة الحياة حيث أنها تحتاج إلى وسائل أخرى مثل طريقة تحليل التكلفة الشاملة .

وعليه فإن طريقة تقييم دورة الحياة تساعد في توجيه التخطيط نحو الخيارات الأفضل وحتى الآثار التي لا يمكن إزالتها نهائياً لكنها تتناقض بدرجة ملحوظة بواسطة المحافظة على نوعية الفضاء المستهدف والتحسين الذي لا يمكن تحقيقه بوسيلة مشابهة للتقييم مثل طريقة تقييم دورة الحياة .

## آفاق:

يبدو أن البحث المتكامل سواء لضمان تقوية المقاربة: تمثل النقاط التالية آفاق هذا البحث

- تعميم استعمال طريقة تقييم دورة الحياة التي تمثل وسيلة للمساعدة في اتخاذ القرار بداية من مرحلة التخطيط من طرف الفاعلين في مجال البناء مثل مكاتب الدراسات التقنية، البلديات، المقاولون... الخ .
- طريقة تقييم دورة الحياة تسمح بالمقارنة بين البدائل المختلفة التي يمكن إدماجها في قانون الهندسة والتخطيط العمراني من أجل اختيار الاقتراحات الأفضل أثناء المناقشات حيث أن هذا البحث حدوداً بحيث تكون ممهداً لإطلاق أبحاث جديدة.
- يطور واجهة مدعمة للبرمجيات التي تساعد في تأهيل طبيعة الفضاء المستهدف بجانب تحسين طرق تقسيم دورة الحياة والتي تسمح كذلك برؤية نتائج مختلف الاقتراحات في نفس الوقت .
- سيكون من المهم أن يتم إقامة بحث حول إمكانية بناء توليفة بين طريقة تقييم دورة الحياة ومختلف الاختصاصات في الهندسة مثل المورفورجيا .
- وأخيراً كمهد أخير للبحث يعمل على توسيع استعمال طريقة تقييم في كل أنواع البناءات ويتعداها إلى المدن .