

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE
Centre universitaire de formation en environnement

LES MÉTHODES D'ÉVALUATION DU BÂTIMENT ET DU CADRE BÂTI DURABLE

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de maîtrise en environnement (M. Env.)
de l'Université de Sherbrooke**

Alec DERGHAZARIAN

Directeur: Arezki TAGNIT-HAMOU

Jury: Hubert CABANA, André POTVIN

Le 12 août 2011

Sherbrooke, Québec, Canada



Library and Archives
Canada

Published Heritage
Branch

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Bibliothèque et
Archives Canada

Direction du
Patrimoine de l'édition

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence

ISBN: 978-0-494-88915-2

Our file Notre référence

ISBN: 978-0-494-88915-2

NOTICE:

The author has granted a non-exclusive license allowing Library and Archives Canada to reproduce, publish, archive, preserve, conserve, communicate to the public by telecommunication or on the Internet, loan, distribute and sell theses worldwide, for commercial or non-commercial purposes, in microform, paper, electronic and/or any other formats.

The author retains copyright ownership and moral rights in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

AVIS:

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque et Archives Canada de reproduire, publier, archiver, sauvegarder, conserver, transmettre au public par télécommunication ou par l'Internet, prêter, distribuer et vendre des thèses partout dans le monde, à des fins commerciales ou autres, sur support microforme, papier, électronique et/ou autres formats.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this thesis.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the thesis.

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de cette thèse.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.

Canada

Résumé

Les méthodes d'évaluation du développement durable dans le cadre bâti visent entre autres le bâtiment, ses composantes et le quartier. Elles évaluent ces systèmes au regard de principes environnementaux et du développement durable et permettent aux concepteurs, aménageurs et autres acteurs d'intervenir de manière durable dans le cadre bâti. Ce document explore les méthodes d'évaluation du développement durable et en particulier celles qui visent les bâtiments, dont la popularité croissante se traduit par leur influence considérable sur le bâtiment durable et le milieu de la construction. Il vise à améliorer l'évaluation du bâtiment durable en explorant sa mécanique, en extrayant ses axes constitutifs et en présentant ses pistes d'évolution.

Mots-clés:

Méthode d'évaluation, Développement durable, bâtiment, analyse du cycle de vie, LEED

Remerciements

J'aimerais remercier mon directeur de recherche Arezki Tagnit-Hamou, ainsi que les membres du jury d'évaluation, dont les suggestions et recommandations ont contribué à améliorer ce document. J'aimerais également souligner la contribution, quoique écourtée par leur départ de l'Observation de l'environnement et développement durable, d'Olivier Thomas et de Guillaume Junqua. Les organismes à but non lucratif Écohabitation et Archibio et leurs directeurs respectifs Emmanuel Cosgrove et Pascal Morel m'ont grandement aidé dans la compréhension de l'état du bâtiment durable et de l'évolution de la méthode LEED au Québec et au Canada. Enfin je tiens à remercier ma conjointe Julia Monkman pour son soutien moral pendant la rédaction de mon mémoire, et ma fille Anouk.

Table des matières

Introduction	1
Problématique	1
Définition du projet de recherche	2
Objectif	3
Contributions originales	5
Plan du document	5
Chapitre 1 - Les méthodes d'évaluation du développement durable dans le cadre bâti ...	6
1.1 Les méthodes d'évaluation du bâtiment durable	8
Choix des quatre MEBD à l'étude.....	11
Une comparaison	14
BREEAM	16
LEED	17
HQE.....	18
SBTool.....	19
Comparaison des caractéristiques.....	20
Indicateurs	20
Cibles	22
Pondération.....	25
Résultats	27
Vérification.....	28
Appui à l'implantation de SBTool: Processus de conception intégrée	29
Système de management des opérations de la méthode HQE.....	31
Discussion.....	32
1.2 Outils d'évaluation environnementale de matériaux et autres aspects du bâtiment	34
Les outils	39
Outils de type I, Évaluation de produits et matériaux	40
BEES	41
<i>EcoConcrete</i>	43
Outils de type II: aide à la décision pour composantes du bâtiment	44
Athena Impact Estimator for Buildings.....	44
<i>Invest</i>	47
Discussion.....	48
1.3 Méthodes d'évaluation du quartier durable	52
LEED-ND et HQE Aménagement	55
Conclusion du chapitre	59
Chapitre 2 : Analyse.....	60
2.1 L'intégration de la philosophie du DD dans les MEDD	61
La démarche Agenda 21 Local et le développement durable.....	62
Le DD et le bâtiment	65
Le bâtiment-démarche	65
Discussion.....	67
Le bâtiment-produit	69
La qualité esthétique ou la beauté de l'ouvrage	76
Autres visions	77

Conclusion de la section	78
2.2 La rigueur de l'évaluation du bâtiment durable.....	79
Rapprocher les indicateurs du « dommage ».....	80
Indicateurs matériaux	80
Énergie opérationnelle.....	82
Performance projetée vs la performance réelle.....	83
Pondération ou l'importance relative des indicateurs.....	84
Adaptation des cibles à des enjeux environnementaux régionaux	86
Barrières et limites.....	87
ACV et conception d'un bâtiment	88
Conclusion de la section	89
Chapitre 3 : Projections et recommandations	91
Le choix de LEED	91
Rétroaction pour une évaluation plus rigoureuse et plus durable.....	91
L'affichage des résultats : un changement est nécessaire.....	94
Intégrer les indicateurs du <i>bâtiment-produit</i>	96
LEED et énergie : GES, isolation et mesures de performance	98
LEED, ACV et matériaux.....	101
Conclusion de la section	102
Conclusion du document.....	103

Liste de figures

Figure 1.1 Développement durable et développement urbain durable.....	6
Figure 1.2 Méthode BREEAM.....	16
Figure 1.3 Méthode LEED.....	17
Figure 1.4 Méthode HQE.....	18
Figure 1.5 Méthode SBTool.....	19
Figure 1.6 Un exemple de la présentation des indicateurs formant le fond des MEBD.	21
Figure 1.7 Type d'indicateur et distance par rapport à l'impact environnemental.....	22
Figure 1.8 Exemple du mécanisme d'étalonnage de SBTool.....	24
Figure 1.9 La pondération des catégories de BREEAM.	26
Figure 1.10 Un aperçu du tableau des mesures quantitatives dans SBTool.....	27
Figure 1.11 Principe du PCI.....	30
Figure 1.12 Le processus de conception intégré (<i>Integrated Design Process</i>).....	31
Figure 1.13 Une représentation du cycle de vie du béton.	37
Figure 1.14 Les étapes d'ACV résumées.	37
Figure 1.15 Le dommage, en catégories d'impact, associé à la construction et à l'opération sur 50 ans d'un bâtiment conventionnel.....	41
Figure 1.16 Vue d'ensemble de l'outil BEES.....	42
Figure 1.17 Vue d'ensemble de l'outil <i>EcoConcrete</i>	44
Figure 1.18 Vue d'ensemble de l'outil <i>Athena IEB</i>	46
Figure 1.19 Fenêtre d'entrée de données l'outil <i>Athena IEB</i>	46
Figure 1.20 Vue d'ensemble de l'outil <i>Invest</i>	47
Figure 1.21 Un quartier durable?.....	52
Figure 1.22 Émissions annuelles de GES attribuables aux déplacements selon les différents scénarios de quartier, par ménage.	53
Figure 1.23 Cadre pour le développement de communautés durables.....	55
Figure 1.24 Un aperçu des indicateurs et de leur pondération dans LEED-ND.....	57
Figure 2.1 Niveau d'approches du DD.....	61
Figure 2.2 Les conflits fondamentaux de la mise en œuvre du DD dans le cadre bâti.....	64
Figure 2.3 Les éléments du bâtiment durable.....	69
Figure 2.4 Les éléments du bâtiment durable selon Larsson.....	70
Figure 2.5 Présentation de choix de matériaux selon le <i>Green Guide to specification</i>	82
Figure 2.6 Consommation énergétique par unité de surface, projection vs performance réelle.....	84
Figure 2.7 Impact bénéfique normalisé des indicateurs LEED.....	85
Figure 2.8 Pondération des catégories LEED sur les bases d'une approche cycle de vie.....	85
Figure 2.9. Rapport schématique entre les options de conception et la disponibilité de données permettant d'améliorer la précision de l'ACV pendant le processus de conception.....	88
Figure 3.1 Affichage d'un système informatisé de gestion énergétique.....	93
Figure 3.2 Affichage des résultats dans LEED (gauche) et SBTool (à droite).....	95
Figure 3.3 Affichage des résultats d'une version antérieure de SBTool.....	96
Figure 3.4 Offre énergétique en Amérique du Nord.....	99
Figure 3.5 Éventail de solutions pour réduire les émissions de GES, en fonction du coût associé.....	100

Liste des tableaux

Tableau 1.1 Quatre méthodes d'évaluation du bâtiment durable.	10
Tableau 1.2 MEBD retenus suite à la mise en place des critères	12
Tableau 1.3 Les quatre dimensions du système de management des opérations de la méthode HQE.	32
Tableau 1.4 Masse de quelques matériaux de construction associés au cycle de vie d'un bâtiment universitaire de 7300m ²	38
Tableau 1.5 Quelques impacts environnementaux associés à la consommation énergétique annuelle d'une maison de référence en Grèce selon la méthode Eco-Indicator 95.	39
Tableau 1.6 Quatre outils d'évaluation environnementale des produits et composantes du bâtiment	51
Tableau 1.7 Catégories et exemples d'indicateurs du projet BedZED	54
Tableau 1.8 Les méthodes d'évaluation du quartier durable.	56
Tableau 1.9 Grandes catégories et indicateurs dans LEED-ND	57
Tableau 1.10 Les thèmes de la méthode HQE Aménagement	58
Tableau 1.11 Des champs d'action suggérés par HQE Aménagement sont associés à chaque thème.	58
Tableau 2.1 Thèmes et actions du plan Agenda 21.	62
Tableau 2.2 Indicateurs de la méthode <i>LEED</i> découlant d'enjeux d'urbanisme.	76
Tableau 2.3 Les cercles-de-lois de Dooyeweerd et les enjeux du développement du cadre bâti qui y sont associés.	77
Tableau 2.4 Axes de développement de l'évaluation selon la philosophie du DD	79
Tableau 2.5 Quelques barrières compliquant la poursuite d'une plus grande rigueur dans l'évaluation du bâtiment durable par la méthodologie de l'ACV.	87
Tableau 2.6 Axes de développement des méthodes dans une perspective de rigueur scientifique	90

Liste des acronymes

ACCV	Analyse du coût du cycle de vie
ACV	Analyse du cycle de vie
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
Athena IEB	<i>Athena Impact Estimator for Buildings</i>
Athena SMI ...	<i>Athena Sustainable Materials Institute</i>
BEES	<i>Building for Environmental and Economic Sustainability</i>
BEQUEST	<i>Building Environmental Quality Assessment for Sustainability through Time</i>
BOMA BEST..	<i>Building Owners and Managers Association Building Environmental Standards</i>
BRE	<i>Building Research Establishment</i>
BREEAM	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>
CASBEE	<i>Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency</i>
CBDCa	Conseil du bâtiment durable du Canada
CC	Changements climatiques
CEPAS	<i>Comprehensive Environmental Performance Assessment Scheme</i>
CIRAIG	Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services
CMED	Commission mondiale sur l'environnement et le développement
CNU	<i>Congress for New Urbanism</i>
CSTB	Centre scientifique et technique du bâtiment
DD	Développement durable
EIE	Évaluation des impacts environnementaux
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
GBC	Green Building Challenge
GBCI	Green Building Certification Institute
GBTool	<i>Green Building Tool</i>
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
HQE	Haute qualité environnementale
ICV	Inventaire du cycle de vie
ISO	Organisation internationale de normalisation
LBC	<i>Living Building Challenge</i>
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
LEED-ND	<i>LEED for Neighborhood Development</i>
MEBD	Méthode d'évaluation du bâtiment durable
MEDD	Méthode d'évaluation du développement durable
MEQD	Méthode d'évaluation de quartiers durables
NABERS	<i>National Australian Built Environment Rating System</i>
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
NRDC	<i>Natural Resources Defense Council</i>
ONU	Organisation des nations unies
PCAM	Prévention du crime par l'aménagement du milieu
PCI	Processus de conception intégré
PP	Parties prenantes

PU Polyuréthane
SBC..... *Sustainable Building Challenge*
SBTool..... *Sustainable Building Tool*
SCHL..... Société canadienne d'hypothèque et de logements
SMO Système de management des opérations

Introduction

« C'est dans les villes que va désormais se jouer pour l'essentiel notre capacité de développement économique, le devenir de notre société, et jusqu'à l'avenir écologique de la planète » Cavalier [1].

Problématique

Le développement durable (DD) et la réduction des impacts environnementaux et en particulier des gaz à effet de serre sont d'importants objectifs qui mobilisent des gouvernements de tous les niveaux, des collectivités, des entreprises et des individus, entre autres. Le DD, grand projet sociétal, étend son emprise sur le cadre bâti - ville, quartiers, bâtiments – qui constitue même un domaine privilégié pour le mettre en œuvre [2]. Le pôle environnemental du DD est particulièrement discuté au niveau international. Plusieurs conférences internationales - dont celle de Kyoto en 1997 et celle de Copenhague en 2009 – enjoignent les nations à gérer leurs émissions de gaz à effet de serre (GES), dont surtout le gaz carbonique (CO₂). Le dernier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) prédit de graves menaces à de nombreuses zones dotées d'une grande diversité biologique [3] si la température planétaire augmentait de 1,5 à 2,5 °C. Une d'augmentation de 2°C est par ailleurs citée dans les ententes internationales ou nationales [4,5] comme seuil au-dessus duquel les impacts environnementaux seraient irréversibles. La pression pour diminuer les émissions de GES s'exprime par conséquence chez la plupart des secteurs de l'économie, dont celui de la construction [6,7] responsable d'une part importante des impacts environnementaux à l'échelle planétaire [8]. Par ailleurs, les bâtiments sont identifiés comme importants consommateurs d'énergie [9], de matériaux et générateurs de matières résiduelles [7]. Aux États-Unis et en Europe, ils accaparent en effet près de 40% de l'énergie primaire nationale [9].

Au-delà du bâtiment, les villes ont un impact environnemental important si l'on se fie à leur empreinte écologique, leur consommation d'énergie et leurs émissions de GES [10]. Par exemple, la ville de Vancouver requiert un territoire 200 fois supérieur à son emprise géographique pour subvenir à ses besoins [11]. Or, les villes attirent une proportion de plus en

plus importante d'habitants mondialement [12], phénomène également observé au Canada, dont le taux d'urbanisation atteignait 80% en 2006 [13].

Ainsi, pour attaquer de front les enjeux associés du DD et à l'environnement, des interventions au niveau du cadre bâti constituent une opportunité privilégiée. Les parties prenantes qui œuvrent dans ce milieu complexe doivent se baser sur une définition commune du quartier, bâtiment ou matériaux durable et écologique pour que leurs interventions contribuent de manière optimale à la réduction de leurs impacts environnementaux et à leur développement durable.

Définition du projet de recherche

Comment créer des bâtiments qui constitueraient des lieux de vie ou de travail agréables et sains, tout en diminuant leur impact environnemental? L'efficacité énergétique serait certainement au rendez-vous, tout comme la réduction de la consommation d'eau, mais autrement? Et si plusieurs bâtiments étaient construits, tant commerciaux que résidentiels, pour former une trame urbaine, comment concevoir ce quartier durable? À l'inverse, si l'on observe des aspects individuels d'un bâtiment, tel que sa performance énergétique ou ses matériaux, comment statuer sur un choix écologique? Les réponses ne sont pas simples, mais les méthodes d'évaluation du développement durable du cadre bâti¹ (MEDD) en fournissent une partie.

Ces méthodes servent à évaluer les produits, bâtiments et quartiers au regard de principes environnementaux et du développement durable. Plus que de simples outils d'évaluation écologique, les méthodes sont utilisées par des acteurs du milieu de la construction [14], pour appuyer les décisions visant à aligner leurs interventions dans le cadre bâti avec les principes environnementaux et de DD. Elles ont une structure propre adaptée à l'échelle qu'elles évaluent, tout en présentant entre elles des similarités et divergences.

¹ *En anglais: Sustainability assessment methods in the built environment*

Les MEDD les plus connues et populaires s'adressent aux bâtiments; nous les appelons dans ce texte les méthodes d'évaluation du bâtiment durable (MEBD). Les MEBD encadrent la construction de bâtiments verts ou durables et se sont imposées dans l'industrie de la construction, surtout en Angleterre et aux États-Unis. Ces dernières sont volontaires, mais paradoxalement de plus en plus enchâssées dans des politiques institutionnelles, des règlements municipaux voire des orientations nationales. Apparues dans les dernières années, les méthodes d'évaluation de quartiers durables (MEQD) intègrent des principes d'urbanisme durable et, dans certains cas, des enjeux de participation publique. En ce qui a trait aux matériaux de construction et aux composantes du bâtiment, la terminologie utilisée est celle d'outils d'évaluation [15]. Basées sur la méthodologie de l'analyse du cycle de vie (ACV), ces outils visent à quantifier l'impact environnemental potentiel d'un produit ou d'un aspect du bâtiment de la genèse au tombeau.

Les méthodes d'évaluation peuvent toucher plusieurs enjeux associés au développement durable comme elles peuvent impliquer des échelles spatiales ou de temps variables, ce qui rend en ardue la recherche d'une définition générale [16]. La structure du premier chapitre de ce document est donc basé sur l'échelle spatiale, référent intuitif inspiré des travaux du réseau européen de recherche en développement urbain durable *Building Environmental Quality Assessment for Sustainability through Time* (BEQUEST), qui a recensé puis classé près d'une soixantaine de méthodes d'évaluation de développement urbain durable en 2002 [16]. Les échelles spatiales vont du petit (le simple matériau de construction en brique ou en asphalte) jusqu'au grand (le quartier avec ses bâtiments, espaces verts et infrastructure). Chacune de ces échelles présente des particularités et des caractéristiques propres qui seront explorées dans ce document.

Objectif

L'objectif général du projet de recherche est l'amélioration de l'évaluation du bâtiment durable. Nous souhaitons également que ce texte permette à toute personne ou organisme de comprendre les fondements des MEBD pour les améliorer ou les adapter à leurs besoins. La recherche intéressera les parties prenantes impliquées dans l'évaluation du bâtiment durable [17], entre autres les promoteurs écologiques, constructeurs, fabricants de matériaux de

construction et agences gouvernementales qui doivent composer avec l'importance croissante des MEBD et leur passage, dans certains cas, de programmes volontaires à obligatoires. Cinq objectifs spécifiques sont associés à l'objectif principal.

- **Présenter de manière simple et claire les méthodes bâtiment, composante et quartier.** L'amélioration des méthodes passe par leur compréhension; or leur complexité est telle qu'il est facile de se perdre dans les détails – les référentiels et guides d'utilisation des méthodes et outils analysés dans ce texte comptent plusieurs centaines de pages. Les informations communiquées sont pertinentes et offertes entre autres sous forme de figures qui expliquent le déroulement global d'une méthode d'évaluation et qui présentent plusieurs de leurs caractéristiques en un coup d'œil.
- **Révéler les différences entre les MEBD et autres méthodes et outils visant d'autres échelles spatiales.** La recherche ne se limite pas au bâtiment, ouvrant grand son regard vers les échelles spatiales adjacentes : les composantes du bâtiment et le quartier. La ville et le quartier sont explorés pour révéler les enjeux d'évaluation qui leur sont propres. Le texte adopte aussi un objectif macro pour observer les éléments constitutifs du bâtiment : ses matériaux et processus. Il adhère à l'idée que l'exploration multi-échelle améliore la compréhension du contexte de l'évaluation du bâtiment durable.
- **Souligner les aspects complémentaires de MEBD spécifiques.** Cette exploration donnera un portrait global des orientations qu'empruntent les MEBD au niveau international. Les méthodes d'utilisation courante au Canada et aux États-Unis seront comparées à des méthodes spécifiques.
- **Présenter les courants fondamentaux dans l'évaluation du bâtiment durable.** Les courants dans l'évaluation du bâtiment durable seront décodés et les résultats seront exprimés sous forme de tableau synthèse. Ces tableaux expriment de manière succincte les courants fondamentaux des MEBD, condition préalable à leur adaptation ou amélioration.
- **Recommander l'implantation de pistes d'évolution de l'évaluation du bâtiment durable.** Des recommandations d'amélioration de la méthode LEED, soit la MEBD prédominante au Canada et au Québec seront faites.

Contributions originales

Les contributions originales du texte sont résumées ci-dessous:

- Dans la partie introductive, des **figures de présentation** originales présentent une vue sommaire des méthodes
- **L'analyse des méthodes HQE Bâtiment et HQE Aménagement**, qui n'ont pas de référentiels disponibles en anglais. La littérature scientifique nord-américaine n'a donc que des mentions sommaires de celles-ci, même si certaines de ses caractéristiques méritent d'être connues.
- **Les deux courants fondamentaux des MEBD** sont inspirés d'une dichotomie qui n'a pas, à la connaissance de l'auteur, été appliquée au domaine de l'évaluation du bâtiment. L'analyse de l'axe développement durable rassemble des conceptions disparates qui n'avaient pas été articulées dans un même argumentaire.
- **Les recommandations d'améliorations** et l'identification sommaire des impacts de découlent de l'analyse faite dans le cadre du projet de recherche.

Plan du document

Le texte est divisé en trois chapitres.

Le premier présente les MEDD et leurs caractéristiques en trois sections correspondant au système qu'elles évaluent : le bâtiment, la composante du bâtiment et le quartier. Ces trois sections se pencheront sur les enjeux de l'échelle concernée, analyseront les méthodes-clés de l'échelle et révéleront les contrastes entre les méthodes, soulignant lorsque pertinent leurs aspects complémentaires.

Le deuxième chapitre analyse les courants fondamentaux des méthodes l'évaluation du cadre bâti : d'un côté, elles progressent vers une meilleure intégration de la philosophie du développement durable et de l'autre, vers une rigueur accrue.

Enfin, le troisième chapitre fait des projections et recommandations en lien avec l'évolution des méthodes d'évaluation de bâtiments durables.

Chapitre 1 - Les méthodes d'évaluation du développement durable dans le cadre bâti

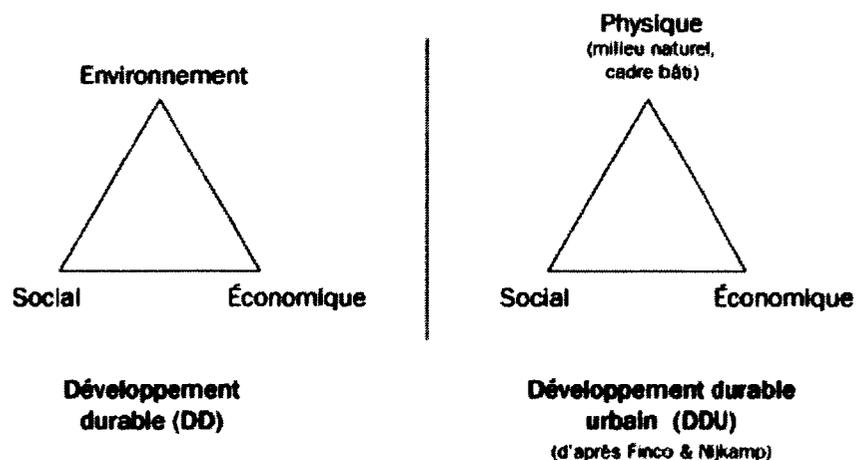
Les MEDD étudiées dans ce texte visent le quartier, le bâtiment et les composantes du bâtiment. Avant d'analyser les méthodes, il y aurait lieu de présenter la philosophie du DD.

La philosophie du développement durable (DD) est apparue pendant les années 80, faisant suite à l'éveil écologique entamé 20 ans plus tôt, ponctué par la publication du « Printemps silencieux » de Rachel Carson [18] et « Halte à la croissance » du Club de Rome [19], ainsi que l'éclatement de la crise du pétrole de 1973. Le concept est une tentative de concilier d'une part les inquiétudes relatives aux impacts environnementaux découlant de l'activité humaine, et d'autre part, les inquiétudes sociopolitiques liées aux enjeux du développement humain [20]. L'envol du DD à l'international est attribuable à la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (CMED), et la publication du rapport « Notre Avenir à Tous » [21], dit rapport «Brundtland». La définition qui s'y trouve demeure la plus citée dans la littérature:

Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs [17].

La philosophie du DD est souvent représentée comme l'intersection d'enjeux sociaux, économiques et environnementaux, ce dernier pôle pouvant être scindé en deux - le milieu naturel et le cadre bâti (figure 1.1) [22].

Figure 1.1 –Développement durable et développement urbain durable. Redessiné d'après Finco & Nijkamp [22]



Le terme est aujourd'hui utilisé à profusion, faisant partie du vocabulaire courant des journaux, gouvernements et individus. Par ailleurs, le DD fait l'objet de critique par des groupes écologiques, entre autres, qui soutiennent que la référence au « développement » est une aberration, préférant le terme viabilité (*sustainability*), qui exclut la notion de croissance [20]. Le texte qui suit ne s'immisce pas dans ce débat. Il prend toutefois pour acquis que le DD est un grand projet sociétal qui modifie et forme les politiques, la réglementation et les initiatives au niveau mondial, national et local.

Ce sont les bâtiments qui accaparent la majorité de la discussion impliquant les méthodes d'évaluation. Au Canada, les mentions de projets *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) se multiplient et l'enchâssement de cette MEBD dans la réglementation municipale est de plus en plus courant [23]. Ces facteurs contribuent à l'impact financier des bâtiments verts: mondialement, la valeur de ce marché atteint au moins 60 milliards de dollars en 2010 [24]. Les outils d'évaluation environnemental des composantes du bâtiment sont basés sur l'analyse du cycle de vie (ACV), reconnue comme l'outil le plus évolué dans l'évaluation des impacts environnementaux globaux d'un produit ou d'une activité [25]. Son utilisation est de plus en plus répandue - des entreprises manufacturières telles que des fabricants de tapis, des associations d'industriels, comme celle du béton, et même des détaillants de matériaux de construction font valoir des arguments de vente en évoquant l'ACV [26,27,28,29]. Cette prise de conscience n'est pas étrangère à la valeur croissante du marché des produits de construction écologique, évalué à 49 milliards de dollars (en devise américaine) aux États-Unis en 2008 [30].

Les MEQD sont récents, de sorte qu'il est difficile d'évaluer leur impact sur l'élaboration et la construction de quartiers durables. Toutefois, la proportion de la population vivant en zone urbaine est en augmentation constante, et plusieurs collectivités entreprennent des déjà démarches de développement durable [31]. Les MEQD pour leur part, ont été appliquées dans quelques collectivités en France, un bon nombre aux États-Unis et quelques-unes au Canada [32,33,34].

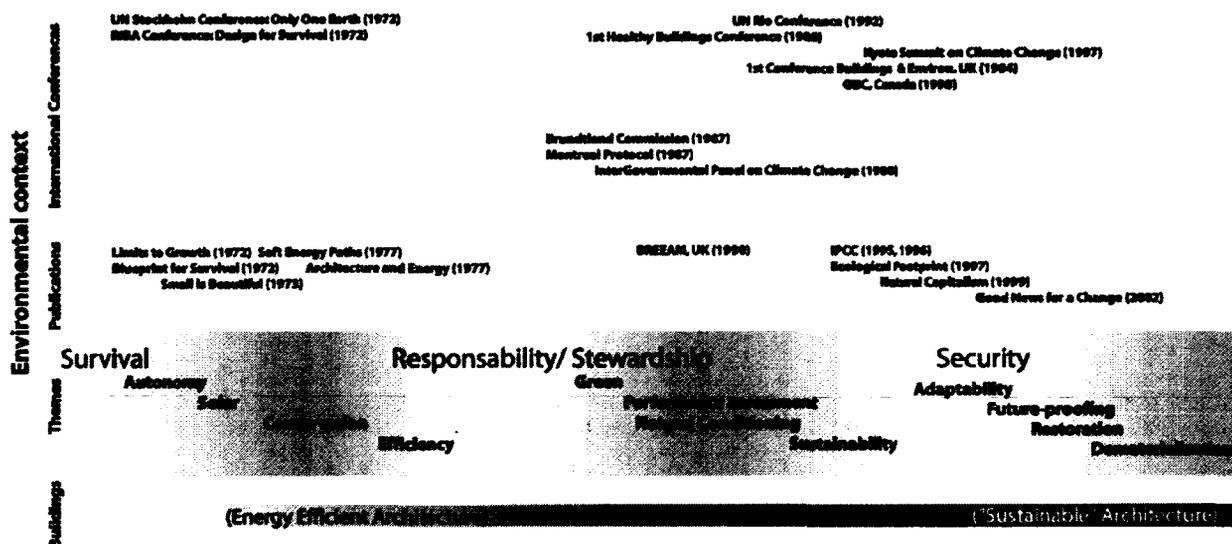
La section qui suit présentera d'abord les MEBD, avant de se pencher sur des outils pour l'évaluation de composantes du bâtiment.

1.1 Les méthodes d'évaluation du bâtiment durable

Qu'est ce que le bâtiment durable? La section débutera avec une mise en contexte du bâtiment durable avant d'explorer sa définition.

La notion du bâtiment durable tient ses origines du bâtiment efficace en énergie, et du bâtiment écologique [35] (Figure 1.2), et évolue actuellement vers celle du bâtiment régénérateur ou restaurateur (voir [199]).

Figure 1.2 L'évolution du bâtiment dans le contexte global de l'environnement. Source: Cole [35]



En effet, l'efficacité énergétique a longtemps été le seul aspect du bâtiment durable qui soit pris en compte. Abstraction faite du transport des usagers pour se rendre au bâtiment et en revenir [36], l'énergie opérationnelle est le plus grand responsable des impacts environnementaux associés aux bâtiments [37,38] et elle continuera de croître [39]. Le seul critère d'efficacité énergétique ne suffit pas pour concevoir un bâtiment écologique, tel qu'en témoignerait toute personne ayant fréquenté un bâtiment mal ventilé ou éclairé. La définition d'un bâtiment durable sera explorée plus en détail au chapitre 2. Il est possible de reformuler la question posée à l'introduction de cette section pour demander « Comment est évalué le bâtiment durable? ».

Les méthodes d'évaluation analysées ci-dessous ont certes des thèmes qui leurs sont communs. Bien qu'il soit difficile de généraliser, les grands thèmes sont la *consommation de ressources* : l'énergie, l'eau et les matériaux; la *génération de polluants* : matières résiduelles issues du chantier, eaux usées et émissions de GES, et la *qualité de l'environnement intérieur* : qualité de l'eau, de l'air ainsi que le confort thermique. En effet, un bâtiment durable se veut sain et confortable pour ses usagers ou habitants; le pari semble gagné: les usagers sont plus satisfaits d'un bâtiment durable que d'un bâtiment conventionnel [40], en particulier en ce qui a trait à la qualité de l'air et au confort thermique [41]. La plupart des méthodes intègrent également des enjeux liés à l'emplacement du bâtiment comme par exemple son accessibilité en transport en commun et son aménagement paysager.

Il est donc possible de mettre en commun certains aspects des méthodes, mais des différences significatives peuvent y être notées, entre autres, en ce qui a trait à la mécanique d'évaluation. Cette dernière est caractérisée par des *indicateurs*, des *cibles*, une *pondération* et des *résultats* et le *processus de vérification*. La complexité des MEBD se vérifie en feuilletant leurs référentiels : celui de la nouvelle version de LEED comporte 113 pages présentant 8 critères obligatoires et 110 points optionnels [42] tandis que le référentiel HQE quant à lui dénombre plus de 230 pages [43].

La simplicité et le pragmatisme doivent néanmoins constituer des aspects fondamentaux des MEBD, selon Cole [15], sans quoi elles ne peuvent être adoptées à grande échelle. Les preuves de la popularité des MEBD s'accumulent tout de même. Depuis le lancement de *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM), la première MEBD à avoir été lancée, celles-ci connaissent un succès considérable qui s'observe par la quantité de bâtiments certifiés (près de 200,000 en Angleterre) [44,45] et par l'écologisation des pratiques dans l'industrie du bâtiment et de la construction [15]. Au Canada, les mentions de projets *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) se multiplient et son enchâssement dans la réglementation municipale est de plus en plus courant [46]. Le tableau 1.1 témoigne de la grande popularité de la méthode LEED aux États-Unis. Un saut de l'autre côté de l'Atlantique confirme la popularité de la MEBD anglaise et, dans une moindre mesure, française. En outre, une évaluation écologique des maisons individuelles est obligatoire pour toute nouvelle construction en Angleterre [47].

Tableau 1.1 Quatre méthodes d'évaluation du bâtiment durable. Sources: BRE [44], Building Design and Construction [48], USGBC [49,50], Certivéa [78], Cole [51]

Méthode d'évaluation	Date de lancement	Projets certifiés	Projets enregistrés	Marché
BREEAM	1990	200 000	1 000 000	Surtout au Royaume-Uni.
LEED	1998	6920	22 197	Surtout Amérique du Nord
Haute qualité environnementale (HQE) – bâtiments tertiaires	2001	574	s.o.	France
Sustainable Building Tool (SBTool)	1998	s.o.	s.o.	International

Cette popularité s'explique entre autres par la pertinence des avantages d'une certification par l'entremise d'une MEBD, en outre [52] :

- d'établir un langage commun qui permet aux promoteurs désireux de démontrer leur engagement environnemental de le faire sur un pied d'égalité.
- de donner aux propriétaires un moyen de communiquer aux locataires les qualités environnementales de l'immeuble.
- de contribuer à l'établissement d'un savoir et d'une expertise au sein de l'industrie du bâtiment pour faciliter l'assimilation des questions environnementales dans la pratique.
- Par ailleurs, les MEBD sont utilisées par des équipes de conception (architectes, ingénieurs, etc.) qui cherchent un cadre de référence pour structurer leurs efforts dans un projet de bâtiment durable.

L'évaluation intègre donc plusieurs aspects du bâtiment – choix du site, consommation d'énergie et d'eau, confort intérieur, etc. Chacun de ces grands thèmes est décliné en indicateurs spécifiques, qui, lorsque implantées et vérifiées, assurent au bâtiment une certification. L'évaluation du bâtiment durable est de plus en plus populaire et procure des avantages aux projets certifiés. La section qui suit approfondit l'analyse des quatre MEBD retenues et en justifie le choix.

Choix des quatre MEBD à l'étude

Un nombre important de MEBD ont été développées, surtout dans la dernière décennie. Devant cette abondance, des critères de sélection judicieux se sont avérés essentiels pour que les méthodes retenues dans le cadre de ce projet de recherche contribuent à en atteindre les objectifs. Aussi, le nombre de MEBD a été fixé à quatre, compromis qui reflète l'importance du travail qu'exige l'étude de ces systèmes complexes, mais qui permettrait un niveau adéquat de complémentarité. Il convient de noter que Fowler et Rauch [82] ont recensé et caractérisé de manière exhaustive les MEBD, et leurs travaux ont servi de référence à la sélection du présent document. Les paragraphes qui suivent révèle le processus de sélection ou d'élimination et justifie ensuite le choix de chacune des MEBD retenues à la lumière des critères de sélection.

Le premier critère de sélection concerne la typologie du bâtiment et de l'activité associée au bâtiment (rénovation, construction, exploitation, etc.). Ainsi, le projet de recherche s'est penché sur les MEBD qui évaluent les nouveaux bâtiments commerciaux et institutionnels, et l'activité visée est celle de la construction. Ce choix s'explique par le fait que les premières versions de plusieurs MEBD s'adressaient à ce type de bâtiment [48]. Par conséquent, elles ont subi un plus grand nombre de mises à jour ou de refontes comparés aux variantes pour d'autres typologies de bâtiment, variantes qui, de surcroît, constituent des adaptations de ces versions originales. Par ailleurs, des MEBD qui servent exclusivement à évaluer des bâtiments particuliers comme des écoles, des hôpitaux [53,54], ou encore des hôtels n'ont pas été retenues. Ont également été exclus les méthodes qui évaluent l'exploitation de bâtiments existants comme par exemple le *Building Owners and Managers Association Building Environmental Standards* (BOMA BEST) [55], *LEED for Existing Buildings* [56], *BREEAM In Use* [57], *NF Bâtiments tertiaires en exploitation – démarche HQE®* [58]. Bien qu'elles ne soient pas abordées dans le document suivant, leur influence potentielle sur la gestion durable du parc immobilier existant confirme leur intérêt. De plus, l'étude se penche sur la notion de bâtiment *durable*, forcément multicritère, ce qui écarte d'emblée des méthodes évaluant un aspect précis du bâtiment, comme par exemple la certification « PassivHaus » [59,60] dont la préoccupation est la basse consommation énergétique.

Ces grands critères appliqués, il fallait effectuer un choix de MEBD individuelles qui permette d'atteindre l'objectif principal de présenter les courants fondamentaux dans l'évaluation du bâtiment durable. En premier lieu, les MEBD devaient avoir suivi un développement original [80], et non être le résultat de l'adaptation d'une méthode existante. Certes, plusieurs MEBD ont influencé de manière indirecte le développement et les mise à niveaux d'autres MEBD, en particulier lorsqu'elles cohabitent un même pays [102]. C'est plutôt un lien de parenté direct qui a conduit à des éliminations: certains organismes notent que leur MEBD ont comme point de départ une autre [61, 62] et d'autres constituent simplement des adaptations nationales d'une MEBD d'origine comme par exemple la version de LEED utilisée au Canada qui est presque entièrement calquée sur son homologue américain [63]. Deuxièmement, les MEBD devaient être soutenues et développées par des organismes d'envergure qui soient actifs dans le domaine du développement durable, du bâtiment ou encore du bâtiment durable. Des méthodes visant une seule municipalité [64], découlant d'un projet de recherche n'ayant pas été renouvelé ou dont la documentation récente s'est avéré difficile (par ex. [65]) voire impossible à trouver, n'ont pas été retenus. Le tableau 1.2 montre les MEBD qui ont été retenus suite à la mise en place de ces critères.

Tableau 1.2 MEBD retenus suite à la mise en place des critères. Source: Adapté de Fowler et Rauch [80]

MEBD (bâtiments à vocation commerciale)	Méthode ayant servi à son élaboration [102]	Région
BREEAM	Original	Royaume-Uni
Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency (CASBEE)	Original	Japon
Comprehensive Environmental Performance Assessment Scheme (CEPAS)	Plusieurs MEBD internationales [102]	Hong-Kong
SBTool	Original	International
HQE	Original	France
Leadership in Energy and Environmental Design (LEED®)	Original	Surtout l'Amérique du Nord
National Australian Built Environment Rating System (NABERS)	inconnu	Australie
Green Rating for Integrated Habitat Assessment	Original	Inde
Total Quality Building Assessment System	Original	Autriche

Enfin, le projet de recherche est ancré dans le contexte canadien et plus particulièrement québécois, soit la seule société majoritairement francophone de l'Amérique du Nord [66]. Les méthodes asiatiques (Japon, Hong-Kong et Inde) ont donc été écartées puisqu'il a été jugé qu'elles s'adressent à un contexte de cadre bâti fort différente de celui qui prévaut au Québec. Enfin, la méthode française HQE a été préférée à celles développées en Australie et en Autriche puisque, en plus d'être la seule MEBD à part LEED dont la documentation est disponible en français, elle faisait l'objet d'une expertise au sein de l'équipe originale de recherche. Ainsi, quatre méthodes ont été retenues, soit BREEAM, LEED, SBTool et HQE; ces choix sont justifiés dans l'ordre, ci-dessous.

La MEBD anglaise BREEAM est la première à avoir vu le jour, en 1990; son développement a donc été soustrait à toute influence d'autre MEBD [102]. BREEAM est géré par la *Building Research Establishment Global* (BRE Global) [67], filiale du plus grand organisme de bienfaisance anglais qui soit dédié à la recherche et la sensibilisation dans le domaine du cadre bâti, soit le BRE Trust [68]. BREEAM demeure aujourd'hui la MEBD associée au plus grand nombre de certifications au niveau mondial.

Aussi le choix de LEED s'est-il révélé incontournable : deuxième MEBD en importance sur la base du nombre de certifications (cf. tableau 1.1), LEED, lancé en 1998, est chapeauté par le *US Green Building Council* (USGBC), organisme à but non lucratif qui compte plus de 16,000 membres et qui organise la plus grande conférence en bâtiment durable au monde, soit *Greenbuild* [69]. Le Conseil du bâtiment durable du Canada (CBDCa) est l'organisme canadien sœur du USGBC et inclut une section québécoise reconnue en 2005 [70]. Le nombre de professionnels formés pour appliquer la méthode LEED a dépassé le seuil des 130,000 aux États-Unis en 2011 [69,71].

La création de SBTool (autrefois *Green Building Tool* ou « GBTool ») fait suite aux premières rencontres mondiales sur le thème du bâtiment vert en 1996 et 1998, baptisées *Green Building Challenge (GBC)* et initiées par Ressources Naturelles Canada [72,73]. En plus du Canada, qui a assumé le rôle prédominant de l'élaboration de cette MEBD, treize pays y ont contribué leur expertise [73]. SBTool, aussi bien que les rencontres mondiales,

renommés *Sustainable Building Challenge* (SBC) et qui rassemblent des représentants de dizaines de pays, sont aujourd'hui gérées par le *International Institute for a Sustainable Built Environment* (iiSBE) [74].

La MEBD française Haute Qualité Environnementale - bâtiment (HQE bâtiment ou HQE) est soutenue par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) [75], organisme public d'envergure associé à trois ministères français et qui contribue à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable [76]. L'ADEME participe à définir le concept de la haute qualité environnementale (HQE) dès le début des années 1990 [77]; la définition servira à l'élaboration de la MEBD HQE bâtiment, lancé en 2001. La méthode, qui compte 550 bâtiments certifiés [78], est gérée par l'Association HQE qui « rassemble les représentants de la quasi-intégralité des acteurs de la construction » [77] en France. Son influence pourrait bientôt dépasser les frontières de la France et se faire sentir à l'échelle de l'Europe grâce à l'alliance entre ses organismes porteurs et ceux de BREEAM, annoncée en 2009, et dont le but serait développer une MEBD harmonisée à l'échelle de l'Europe [79].

Les quatre méthodes retenues, qui évaluent des nouvelles constructions de bâtiments durables, ont été développées de manière originale et sont soutenues par des organismes actifs dans le domaine. Elles font également preuve d'une bonne complémentarité : une MEBD nord-américaine, anglaise, française et internationale. La comparaison des caractéristiques et des méthodes sélectionnées est détaillée dans la section qui suit.

Une comparaison

Plusieurs études comparatives dissèquent les MEBD d'un point de vue technique [80,81,82]. Les sections qui suivent sont plus générales : elles expliquent les mécanismes d'évaluation des méthodes, en souligne les différences générales, et révèlent les aspects complémentaires des MEBD retenues. En premier lieu, chacune des méthodes sera résumée et illustrée par une figure qui comporte trois colonnes. La colonne de gauche représente le déroulement typique d'une opération de construction d'un bâtiment. La deuxième indique les étapes associées au

déroulement de la méthode, dont la vérification et la certification, et la troisième illustre l'appui à l'implantation de la méthode. Finalement, le bas de la figure illustre la présentation des résultats de l'évaluation.

La première colonne, donc, représente le déroulement d'un projet typique de construction d'un nouveau bâtiment durable :

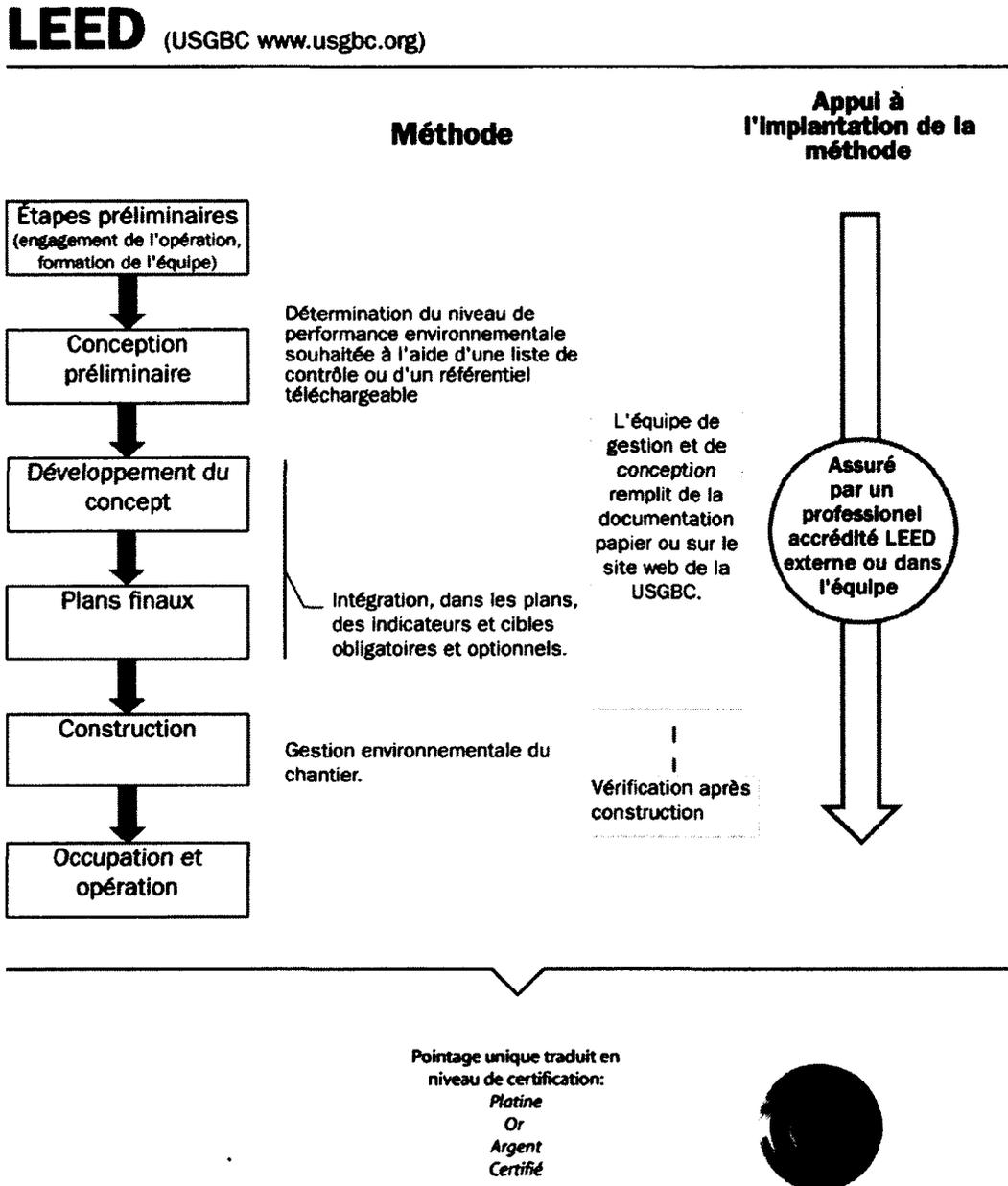
- suite à l'analyse du site, les acteurs impliqués dans le projet (ingénieurs, architectes, promoteur, propriétaire) élaborent un concept préliminaire du bâtiment, en y intégrant des principes et critères environnementaux ou du DD.
- Le concept retenu est ensuite raffiné jusqu'à production de plans et devis finaux. En chantier, une gestion environnementale s'impose – préservation de zones sensibles, gestion des déchets, etc.
- La phase de construction achevée, le bâtiment est sujet à une vérification par un tiers. Advenant la réussite de cette dernière lors de la vérification, le bâtiment est certifié.

Les figures servent d'introduction à la chronologie et au déroulement d'une méthode d'évaluation et se veulent des compléments à la discussion qui suivra, laquelle exposera la mécanique interne des MEBD.

LEED

Les indicateurs de la démarche LEED sont groupés en cinq catégories principales: aménagement écologique du site; gestion efficace de l'eau; énergie et atmosphère; matériaux et ressources, ainsi que qualité des environnements intérieurs [84,85]. Elle est présentée à la Figure 1.3.

Figure 1.3 Méthode LEED

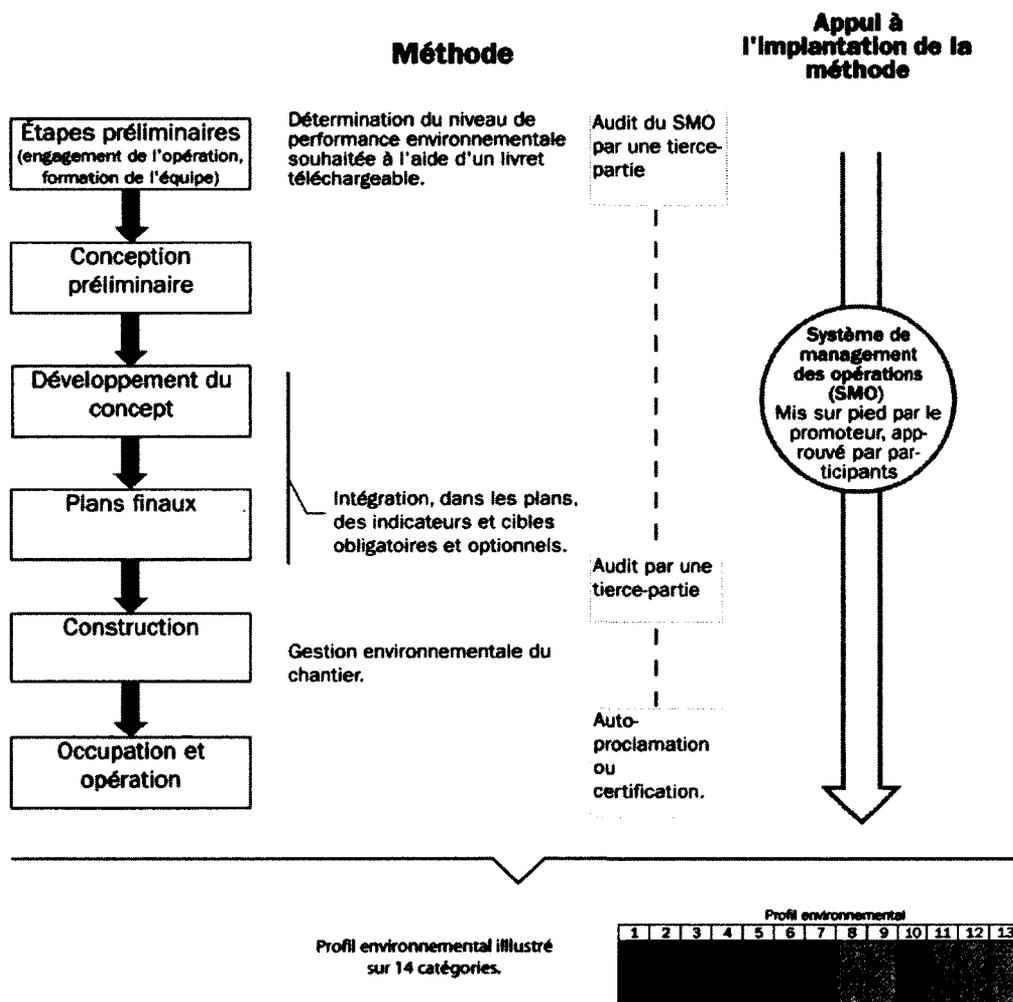


HQE

La méthode d'évaluation HQE Bâtiment (figure 1.4) est construite autour de 4 thèmes : écoconstruction, éco-gestion, confort et santé. Chacun des thèmes contient une structure hiérarchique de cibles, sous-cibles et préoccupations. L'évaluation finale est présentée sous forme de profil environnemental sur les 14 cibles¹ du système [43,86].

Figure 1.4 Méthode HQE

HQE (Association HQE)

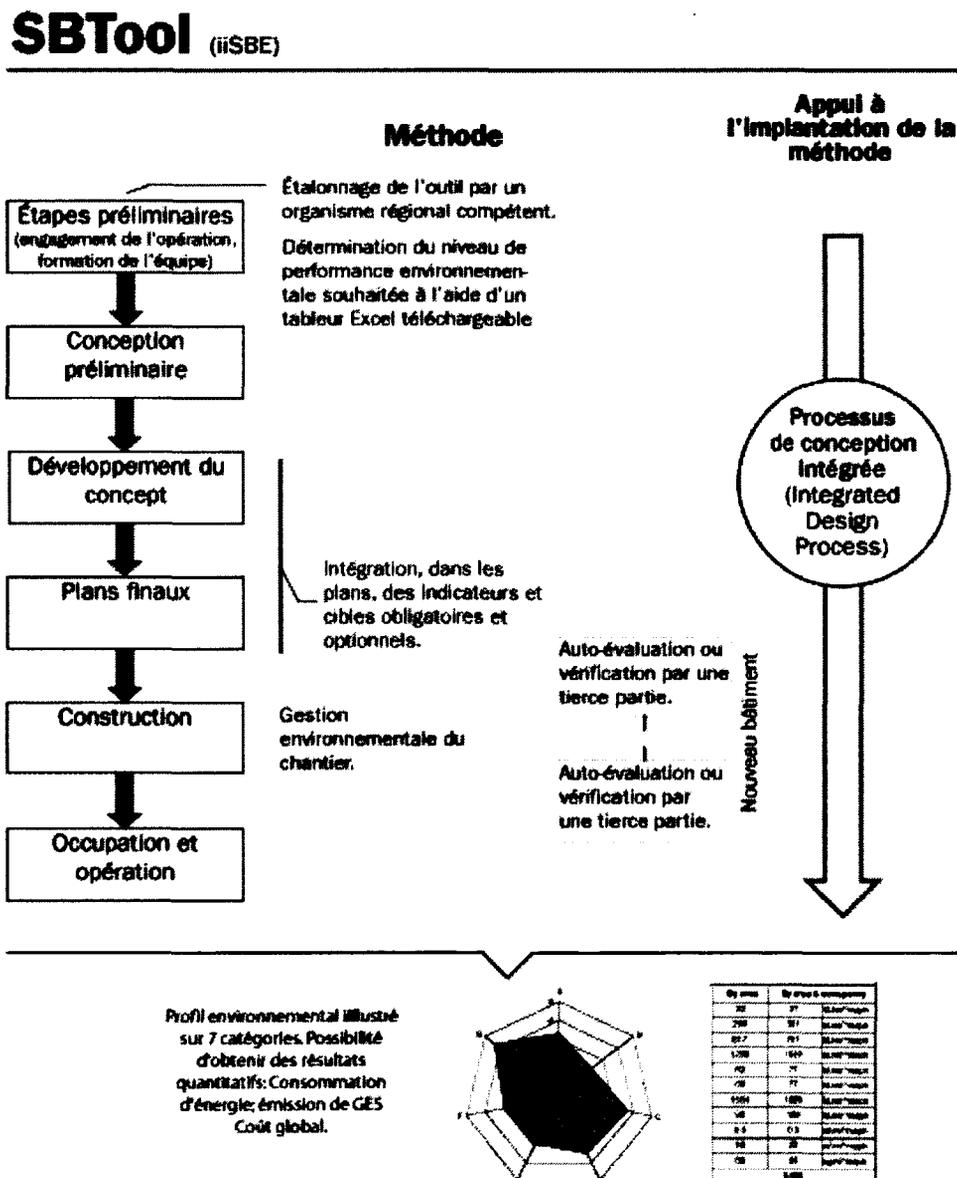


¹ Il convient de noter que l'expression « cible » tel qu'employée dans le référentiel HQE [43] ne correspond pas à l'usage que nous en faisons dans le reste du document. Elle pourrait être remplacée ci-dessous par les expressions « catégorie » et « sous-catégorie ».

SBTool

Les catégories de SBTool sont: énergie et consommation de ressources; charges environnementales; qualité de l'environnement intérieur; aspects socio-économiques; qualité des services qu'offre le bâtiment à ses usagers (sécurité, fonctionnalité, maintien de la performance, etc.) et finalement, aspects culturels et de perception [87]. SBTool est modulaire – il peut être adapté à des échelles spatiales plus grandes, et permet d'évaluer de nouvelles constructions ainsi que des bâtiments existants. La Figure 1.5 présente la méthode.

Figure 1.5 Méthode SBTool



Comparaison des caractéristiques

La présentation visuelle des méthodes d'évaluation sera complétée par une analyse de leur mécanique: indicateurs, pondération, cibles, résultats, processus de vérification et de certification seront abordés (ces catégories s'inspirent de Todd *et al.* [88]) suivi de l'appui à l'implantation. Ce texte ne vise pas une comparaison intégrale des indicateurs; l'exercice ne serait pas utile pour révéler les approches complémentaires, en plus d'être laborieux pour le lecteur. Il présente plutôt la typologie commune des indicateurs ainsi que d'autres caractéristiques de leur mécanique. Une discussion des avantages et inconvénients de chacune des MEBD complétera la section.

Indicateurs

Chaque catégorie des méthodes est déclinée en indicateurs, qui constituent le fond des MEBD et forment des listes exhaustives contribuant à évaluer les bâtiments durables. Les indicateurs de la grande partie des MEBD sont disponibles sous forme de listes de contrôle (*checklist*) téléchargeables. La Figure 1.6, extrait de la liste de contrôle de la méthode BREEAM, illustre une forme de présentation des indicateurs, ainsi que d'autres caractéristiques communes des méthodes qui sont décrites dans le paragraphe qui suit.

Figure 1.6 Un exemple de la présentation des indicateurs formant le fond des MEBD. Source : BRE [83]

WATER		Points	Overall Measurement
W01	Credits are awarded based on the improvement over standard specification of water fittings. A standard specification would include 6 litre flush toilets, urinals with no controls, a shower that uses 12-15 litres per minute, standard taps with no flow restrictors. In a formal BREEAM assessment the predicted water consumption will be calculated using the BREEAM water calculator, as a guide the following can be used as a rough estimate of likely number of credits:		
	• where some of the fittings use less water than a standard fitting	0.83	
	OR • where all of the fittings are low water or, where only some of the fittings are low water, rainwater or grey water systems are specified.	1.67	
	OR • where the water fittings are all low water and rainwater or greywater fittings have been specified.	2.5	
NOTE: These point scores are not cumulative, simply award the appropriate points score corresponding to the predicted level of achievement			
W02	Where evidence is provided to demonstrate that a water meter with a pulsed output will be installed on the mains supply to each building.	0.83	
W03	Where evidence is provided to demonstrate that a leak detection system is specified or installed.	0.83	
W04	Where proximity detection shut off is provided to water supply for all urinals and WC's.	0.83	
Total points achieved to carry forward			

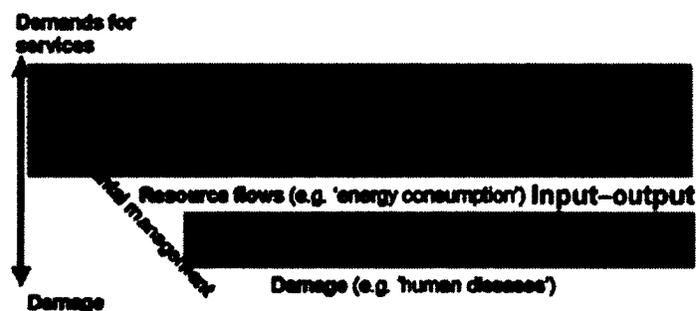
On y dénote la catégorie « Water » en partie supérieure de la figure; les *indicateurs*, qui sont décrites et délimitées par des rangées; les *cibles*, par exemple le premier indicateur exprime une amélioration vis-à-vis d'une consommation d'eau de référence; et finalement, la *pondération*, dans la colonne « points ». Les cibles et la pondération seront explorés plus loin; les quelques paragraphes qui suivent se pencheront plutôt sur les indicateurs, dont la formulation est différente selon la méthode. À titre d'exemple, voici des d'indicateurs associés à la consommation énergétique d'exploitation du bâtiment, précédés du nom de la méthode qui y réfère:

- SBTool : Évaluer l'émission des gaz à effet de serre (GES) attribuable au bon fonctionnement du bâtiment [89].
- HQE : Justifier les efforts déployés pour limiter les pollutions générées par la consommation d'énergie (calcul d'équivalent CO₂, équivalent SO₂ et déchets radioactifs) [43].

- BREEAM : Réduire les émissions projetées de CO₂ associées à la consommation énergétique du bâtiment [90].
- LEED : Améliorer la performance énergétique projetée du bâtiment vis-à-vis du code énergétique américain [84].

Il y aurait lieu de souligner que LEED n'exige pas un calcul du CO₂ ou gaz à effet de serre, s'en tenant plutôt à la consommation énergétique qui est projetée à partir des plans du bâtiment. Autre différence à noter, HQE demande une justification des efforts entrepris par le maître d'œuvre pour atteindre une cible donnée, et ce, avant la livraison du bâtiment. Ce faisant, la méthode introduit une évaluation qui s'appuie sur la bonne gestion du dossier ainsi que de ses résultats finaux. À défaut de comparer chaque indicateur, ce texte présentera leurs caractéristiques générales. La typologie environnementale des indicateurs se décline en 3 catégories [91] (Figure 1.7 ci-dessous). Le premier, « prescriptif », relève de l'application d'un principe (ex. Utiliser des robinets à faible débit en eau). Le deuxième type, intrant/extrant fait référence à des flux quantifiés et mesurés (ex. Réduire la consommation totale annuelle en eau à x m³). Le troisième type, ACV, mesure l'impact normalisé d'un aspect du bâtiment sur son cycle de vie. Le premier type est le plus courant mais demeure, du point de vue de l'évaluation environnementale, le moins précis et le plus éloigné de l'impact environnemental.

Figure 1.7 Type d'indicateur et distance par rapport à l'impact environnemental. Source : Dammann et Elle [91]



Cibles

Les cibles servent à établir si, et dans quelle mesure, les indicateurs ont été respectés. Pour faciliter l'utilisation des MEBD par les constructeurs et concepteurs, qui sont au courant des

exigences réglementaires en vigueur dans leur région, les cibles sont plus couramment fixées d'après des normes nationales. Par exemple, le code énergétique de l'*American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) sert de référence de base à l'indicateur énergétique de la méthode LEED [84]. Un autre mécanisme associé aux MEBD est l'atteinte *obligatoire* ou *optionnelle* d'une cible; par exemple, un bâtiment doit atteindre une performance énergétique minimum dans la méthode LEED, faute de quoi il ne pourrait faire l'objet d'une certification. Toutefois, plusieurs autres indicateurs ainsi que leurs cibles demeurent optionnels¹.

SBTool innove en étant la seule MEBD étudiée dont plusieurs cibles et le pointage associé peuvent être établies *sur mesure* par une agence d'après des pratiques ou des enjeux régionaux [92]. Le processus est résumé ci-dessous et illustré dans la figure 1.8.

- Une agence régionale entre les données pertinentes dans le module de programmation. Par exemple, la performance minimale et la meilleure pratique associées à la région en ce qui a trait au *volume d'eau potable utilisée à des fins d'irrigation de l'aménagement paysager du bâtiment, par unité de superficie* [89].
- Le module produit un intervalle entre les pratiques mauvaise, acceptable, bonne et supérieure contre lequel le projet est évalué et qui se traduisent en une attribution de -1, 0, 3 et 5 points respectivement². Les cases ombragées de la colonne deuxième colonne à partir de la droite identifie les données qui peuvent être modifiées, les cases blanches sont modifiées automatiquement.
- Ainsi, un bâtiment dont l'aménagement paysager requiert annuellement 3000 litres (1500L ou 3m³) d'eau potable par mètre carré (m²) de superficie de terrain se verrait attribuer une note différente dans une région où la consommation d'eau potable est plus importante (Région A : 3 points) comparé à une région où la pratique minimale serait plus sévère (Région B : 0 points).

¹ Une exception: *Living Building Challenge* (LBC), méthode développée par un chapitre du USGBC n'a que des indicateurs et cibles obligatoires.

² Ces points sont ensuite multipliés par le coefficient de pondération pour la catégorie, qui n'est pas illustré dans la figure.

Figure 1.8 – Exemple du mécanisme d'étalonnage de SBTool. Les données de pratique minimale et meilleure pratique peuvent être modifiées dans les cases ombragées de la deuxième colonne à partir de la droite. Les données des cases blanches de cette même colonne se mettent à jour automatiquement. Source : iisBE [89]

Région A			
Total Project or Building	Total project or building	M ³ / m ²	Score
Negative		4.8	-1
Minimum practice	The predicted gross annual potable water volume, in m3 per m2 of landscaped site area, used for the irrigation of areas landscaped with non-native species (excluding stored rainwater or greywater that will be utilised) :		0
Good Practice		1.6	3
Best Practice			5

Région B			
Total Project or Building	Total project or building	M ³ / m ²	Score
Negative		3.0	-1
Minimum practice	The predicted gross annual potable water volume, in m3 per m2 of landscaped site area, used for the irrigation of areas landscaped with non-native species (excluding stored rainwater or greywater that will be utilised) :		0
Good Practice		1.0	3
Best Practice			5

Le mécanisme permet d'étalonner la MEBD vis-à-vis d'une région donnée, et ce de manière transparente. Du côté de la convivialité, elle procure l'avantage de présenter des cibles à partir de la pratique minimale acceptable pour une région, ce qui permet d'animer la perception, chez les maîtres d'œuvre, que la cible est atteignable [220]. Mais elle permet également à l'organisme qui adapte la MEBD à une région donnée de resserrer, lorsque pertinent, une cible associée à un enjeu environnemental d'importance singulière [52]. Par exemple, plusieurs régions des États-Unis surexploitent la nappe phréatique, ce qui peut entraîner des conséquences néfastes d'un point de vue environnemental (réduction du débit d'eau de rivières), économique (coût plus élevés de traitement de l'eau potable) et social (détérioration de la qualité de l'eau potable) [93]. L'étalonnage permettrait donc, dans l'exemple de la Région B illustrée dans la figure 1.8, de fixer une pratique minimale plus sévère.

Dans l'esprit de refléter la pratique régionale, SBTool permet également l'étalonnage d'autres données, par exemple *les émissions de GES associées à l'ensemble des matériaux de construction utilisés lors de l'étape de construction*, calculées à l'aide d'un outil à base d'ACV ou encore un calcul approximatif. Cette donnée ne relève pourtant pas d'un enjeu régional, mais bien planétaire; c'est plutôt la convivialité et l'amélioration relative de la

performance des bâtiments de la région qui est visée, car il faut que les maîtres d'œuvre considèrent que les cibles soient réalisables.

Cela soulève néanmoins une question de fond : les MEBD ne devraient-elle pas viser des cibles absolues et faire fi des cibles relatives (telles que les cibles régionales), en visant, par exemple, une consommation nette-zéro énergie et eau [233]? L'équilibre n'a rien de simple, selon Cole: en plus de représenter un trop grand écart avec les pratiques de construction en vigueur, les cibles absolues sous-entendraient que l'autarcie énergétique ou en eau soit l'objectif ultime d'un bâtiment unique, principe qui fait abstraction des synergies pouvant découler d'une infrastructure collective [220].

Finalement, il y a lieu de noter que LEED a jeté les bases de la reconnaissance de différences régionales dans l'évaluation puisqu'elle accorde des points boni à des projets qui atteignent la cible d'un indicateur jugé d'intérêt particulier pour une région donnée [94]. Pour ce faire, le USGBC délègue à des organismes affiliés régionaux la tâche d'identifier les enjeux qu'ils considèrent prioritaires dans leur juridiction respective.

Pondération

La pondération décrit l'attribution de poids relativement à des catégories ou à des indicateurs individuels. Elle permet au résultat de l'évaluation (discuté dans la section qui suit) d'être agrégé et communiqué de manière simple. Dans le cas de LEED, on parlerait d'un bâtiment durable certifié « Platine » sans énumérer chaque indicateur qui y contribue. L'exercice de pondération s'avère délicat; il est difficile de pondérer un enjeu de confort, par exemple la qualité de l'éclairage, vis-à-vis un enjeu environnemental, par exemple la consommation de l'eau.

Les MEBD étudiées ont deux typologies distinctes de pondération, soit une pondération *explicite* et une pondération *implicite*. Selon la première, le référentiel de la MEBD associe un pointage chiffré à chaque indicateur (cf. figure 1.6). Par exemple, dans la méthode BREEAM, un éclairage naturel adéquat contribue 1,154 point au score final tandis que le transport en commun en assure 0,76 [90].

En l'absence d'un système chiffré de pondération, il en existe un tout de même, bien qu'il soit *implicite*. En effet, on attribue dans ce cas un poids équivalent à chaque indicateur individuel [88]. HQE bâtiment est la seule MEBD étudiée dont la pondération est implicite puisqu'elle n'accorde aucun point pour reconnaître l'atteinte d'une cible. En revanche, une mention *de base, performant* ou *très performant* est accordée, mentions qui sont agrégées par catégorie, mais non pour le bâtiment (cf. Figure 1.4). On parlerait par exemple d'un bâtiment atteignant une performance de base dans le *confort acoustique*, une très bonne performance dans la *gestion de l'énergie* et ainsi de suite pour chacune des 14 catégories.

La pondération peut sembler arbitraire si elle n'est inspirée d'une méthodologie rigoureuse, ou si elle n'est pas explicitée. BREEAM, par exemple, n'offre pas de justification de la pondération de ses catégories, représentée dans la figure 1.9. SBTool, de son côté, soutient que la pondération découle des impacts associés à la durabilité, sans préciser quelle méthodologie a été appliquée. Cette dernière permet également la modification de la pondération.

Figure 1.9 – La pondération des catégories de BREEAM. Source : BRE Global [83]

BREEAM Section	Weighting (%)
	New builds, extensions & major refurbishments
Management	12
Health & Wellbeing	15
Energy	19
Transport	8
Water	6
Materials	12.5
Waste	7.5
Land Use & Ecology	10
Pollution	10

En revanche, le USGBC explique que la refonte de la pondération de la version 2009 de LEED découle d'une méthodologie intégrant l'analyse du cycle de vie (ACV) [95], plus rigoureuse d'un point de vue scientifique. Le chapitre 2 présentera l'ACV et abordera de manière plus détaillée la pondération de LEED.

Résultats

Une des fonctions de base des MEBD est de produire une note pour un bâtiment, qui sert à afficher sa « cote » environnementale. Dans le cas de BREEAM et LEED, les résultats sont présentés sous forme agrégée, par exemple 72% (BREEAM) ou 45/100 (LEED). Ces résultats sont traduits en un niveau de performance qualitatif, par exemple, dans le cas de LEED, *Certifié, Argent, Or* ou *Platine*. À l'inverse, ni HQE ni SBTool ne présentent leurs résultats sous forme d'un pointage unique. Dans le cas de HQE, la performance du bâtiment est exprimée au regard de 14 cibles principales. Les résultats présentés par SBTool sont plutôt illustrés par un diagramme en toile sur 7 catégories. SBTool est la seule méthode qui exprime dans ses résultats les données quantitatives associées à la performance environnementale du bâtiment (cf. figure 1.10) par *unité de superficie* ainsi que par *unité de superficie et par usager*. Cette dernière sert à normaliser les données du bâtiment par rapport à l'intensité de son utilisation; par exemple, la consommation accrue d'un bâtiment peut être attribuable à un niveau d'activité plus important de ses usagers, et non uniquement à son efficacité énergétique, réalité qu'une *unité de superficie* ne permet pas de traduire [96].

Figure 1.10 Un aperçu du tableau des mesures quantitatives dans SBTool¹. Source : iiSBE [87]

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 ²	22	27	GJ/m ² maph
2	Net annualized consumption of embodied energy for envelope and structure, MJ/m ² *yr.	296	361	MJ/m ² maph
3	Net annual consumption of delivered energy for building operations, MJ/m ² *year	617	751	MJ/m ² maph
4	Net annual consumption of primary non-renewable energy for building operations, MJ/m ² *yr.	1258	1533	MJ/m ² maph
5	Net annual consumption of primary non-renewable energy per dwelling unit in project, MJ/m ² *yr.	63	77	MJ/m ² maph
6	Net annual consumption of primary non-renewable energy per dwelling unit in residential element, MJ/m ² *yr.	63	77	MJ/m ² maph
7	Net annualized primary embodied energy and annual operating primary energy, MJ/m ² *yr.	1554	1893	MJ/m ² maph
8	Total on-site renewable energy used for operations, MJ/m ² *yr.	90	109	MJ/m ² maph
9	Net annual consumption of potable water for building operations, m ³ / m ² * year	0.3	0.3	m ³ /m ² maph
10	Annual use of grey water and rainwater for building operations, m ³ / m ² * year	18	22	m ³ /m ² maph
11	Net annual GHG emissions from building operations, kg. CO ₂ equivalent per year	69	84	kg/m ² maph
12	Total present value of 25-year life-cycle cost for total project, CD per m ² .	6,886		
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%		

Les résultats agrégés et assortis d'un qualificatif ont l'avantage de simplifier la compréhension de la performance d'un bâtiment durable, en particulier pour les non-adeptes

¹ L'unité « maph » qu'on aperçoit dans la dernière colonne à droite représente l'acronyme de « million annual person hours » ou million d'heures-personne travaillées par année, soit le cumul des heures travaillées dans le bâtiment divisé par un million.

du domaine. Ils permettent, de plus, une comparaison sommaire de bâtiments certifiés entre eux: par exemple, un bâtiment coté « Très bien » (*Very Good*) par BREEAM aurait plus d'attributs écologiques ou durables qu'un bâtiment qu'il classe « Bien » (*Good*). Cette simplification se fait au profit d'un niveau de détails puisque les cibles atteintes et les catégories performantes n'y sont pas décrites. Ainsi, il n'est pas possible dans l'exemple précédent de déterminer si le premier bâtiment a une meilleure efficacité énergétique ou encore une meilleure ventilation naturelle que le deuxième. Seul l'affichage principal de HQE et SBTool permettraient de reconnaître la performance d'une catégorie ou d'un enjeu spécifique vis-à-vis d'autres bâtiments certifiés selon la même MEBD. Toutefois, même ces résultats par catégorie demeurent relatifs et empêchent une comparaison de bâtiments certifiés selon des MEBD *différentes*. D'où l'intérêt d'exprimer, comme le fait SBTool, certaines mesures quantifiables comme par exemple la consommation d'énergie, d'eau ou des émissions de GES [220].

Vérification

Une fois les indicateurs intégrés et leurs cibles atteintes, une vérification s'impose avant que le bâtiment ne puisse être certifié. La vérification se fonde sur la documentation soumise à l'organisme de certification par un vérificateur agréé [97,98].

L'Association HQE traduit bien l'intérêt de la vérification (elle y réfère grâce au synonyme *audit*): « grâce aux audits indépendants qu'elle implique, [la certification] a pour objet même d'attester de la conformité de l'opération à des règles précises, avec des niveaux de performance constatés » (Association HQE [99]). Le processus de certification requiert une gestion supplémentaire, qui se traduit forcément en coûts accrus ce qui peut soulever la grogne de ses utilisateurs [100,101] et constituer un frein à une plus grande adoption des MEBD [92]. Cela explique peut-être le choix qu'offre l'Association HQE aux maîtres d'œuvres, soit celui d'utiliser le référentiel HQE même s'ils ne souhaitent pas certifier leur projet de bâtiment, leur permettant d'autoproclamer un niveau de performance [99]. La stratégie en intéressera plusieurs si l'on se fie à l'expérience américaine : une part importante de projets de construction non-résidentielle ont suivi les indicateurs LEED sans pour autant entreprendre des procédures menant à la certification [102].

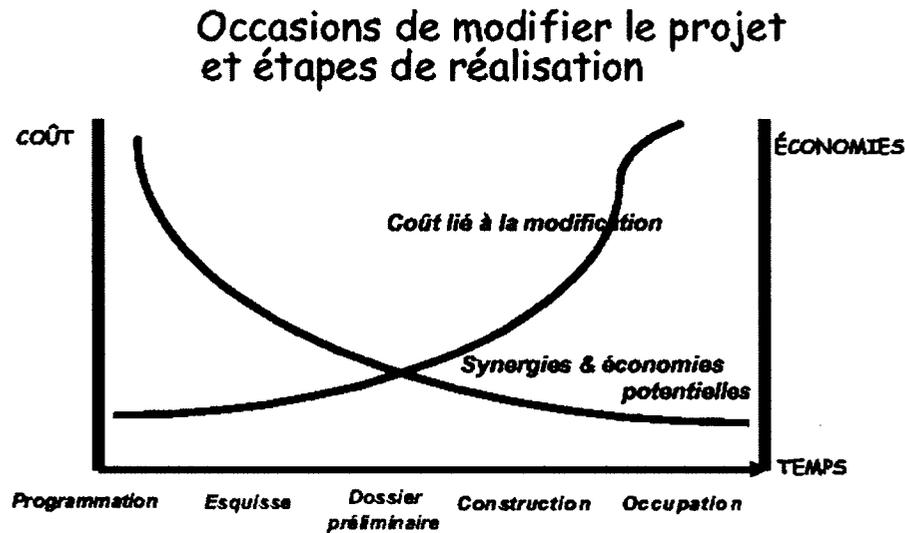
À noter, la vérification et la certification ne relèvent pas toujours de l'organisme qui gère la méthode. Ainsi, le USGBC s'est retiré, en 2009, de toute activité de certification de bâtiment et d'accréditation de professionnels, confiant cette tâche à un organisme indépendant, le *Green Building Certification Institute* (GBCI), pour satisfaire aux exigences de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) [103]. La certification de la méthode HQE bâtiments est également délivrée par un organisme indépendant, soit Certivéa, une filiale du *Centre scientifique et technique du bâtiment* (CSTB) [104]. L'indépendance des structures évite un conflit d'intérêt qui pourrait découler, par exemple, d'une vérification laxiste qui assurerait un plus grand nombre de bâtiments certifiés.

Les aspects relatifs aux indicateurs, pondération, cibles, résultats et vérification constituent la mécanique de fond des MEBD. Toutefois, la complexité de celle-ci impose un encadrement, un suivi. Dans le cas de LEED et de BREEAM, le projet peut être encadré par un professionnel accrédité dans la méthode, intégrée dans l'équipe de travail ou en tant que consultant externe. Chez SBTool et HQE, un module d'aide à la planification et à la hiérarchisation est intégré à la méthode même; celles-ci sont présentées dans la section qui suit.

Appui à l'implantation de SBTool: Processus de conception intégrée

Le processus de conception intégré ou PCI (*Integrated Design Process*) (cf. figures 1.11 et 1.12), a été développé au Canada dans les années 90, après une période de rodage impliquant 8 projets pilotes [105]. Le PCI n'est pas associé à une MEBD spécifique; au contraire, il est souvent utilisé par les praticiens du bâtiment durable [106] en particulier de l'Amérique du Nord sur des projets qui ne sont pas évalués par une MEBD [107]. Toutefois, SBTool assure son intégration complète en présentant, dans son tableau de bord électronique, une boîte à outils PCI qui inclut une liste chronologique des étapes qu'implique le PCI, les indicateurs de SBTool qui y sont associés, et des hyperliens de sources d'information connexes [108].

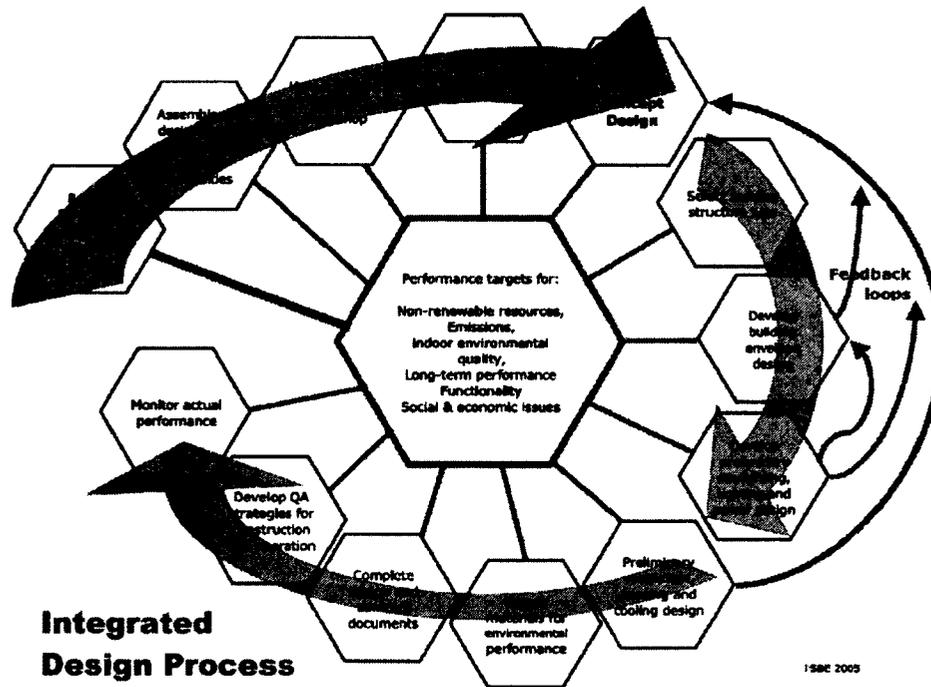
Figure 1.11 Principe du PCI : les modifications effectuées en début de projet encouragent des économies.
Source : SCHL [106]



Le PCI vise à régler des problèmes associés au déroulement typique d'un projet de bâtiment, soit entre autres :

- Les ingénieurs ne sont pas consultés en début de projet et doivent tenter d'optimiser les aspects écologiques d'un concept de bâtiment déjà défini par l'architecte et le client.
- Certains intervenants spécialisés en bâtiment durable (éclairage naturel, stockage thermique, etc.) sont absents de bureaux conventionnels d'architecture ou d'ingénierie.
- Au lieu de faire partie intégrante du projet de bâtiment dès son début, des technologies environnementales sont souvent greffées à un stade trop avancé, se soldant ainsi par des échecs.

Figure 1.12 Le processus de conception intégré (*Integrated Design Process*). Source : Larsson [105]



Pour pallier à ces faiblesses, le processus encourage l'adoption d'approches innovatrices, telles que le travail pluridisciplinaire, la combinaison d'enveloppes budgétaires typiquement indépendantes, la prise de décision par consensus et une procédure de révision continue des objectifs du projet.

L'effort d'arrimage du PCI traduit l'importance accordée par SBTool, non seulement au résultat de l'évaluation, mais aussi à la démarche d'un projet de bâtiment durable.

Système de management des opérations de la méthode HQE

Pour sa part, la méthode HQE enchâsse un système de management des opérations (SMO), déclinaison de la norme ISO 14001 [77, 99] dans ses exigences. Contrairement au PCI, qui encadre surtout la gestion du concept architectural, le SMO est une véritable méthode de management qui rend l'engagement du maître d'œuvre formel, tout en soutenant ce dernier dans la définition et la hiérarchisation des objectifs et cibles de l'opération (Tableau 1.3). De

plus, le SMO est une composante obligatoire de la méthode HQE faisant l'objet d'une vérification séparée.

Tableau 1.3 Les quatre dimensions du système de management des opérations de la méthode HQE. Source : Association HQE, [99]

Les quatre dimensions du SMO
Analyse approfondie du site
Objectifs de l'opération et enjeux environnementaux qui y sont associés
Besoins et souhaits des futurs utilisateurs
Orientation générale du maître d'ouvrage en matière de politique environnementale au-delà du projet.

Discussion

Quatre MEBD ont été explorées, pour en révéler l'approche générale et en souligner les aspects complémentaires. Les avantages et inconvénients de chaque seront discutés ci-dessous.

BREEAM, première MEBD à être lancée au niveau mondial, est surtout utilisée au Royaume-Uni où le nombre de bâtiments certifiés font état de son succès considérable. De structure plutôt classique, BREEAM présente peu d'inconvénients ou d'avantages marqués par rapport aux autres MEBD étudiées. Il y a lieu de souligner qu'elle est la seule méthode à l'étude dont la vérification n'est pas déléguée à un organisme tierce-partie [109], ce qui pourrait éventuellement poser un problème de conflit d'intérêt chez le vérificateur. De plus, sa pondération, qui n'est pas basée sur une méthodologie rigoureuse, mériterait d'être améliorée. Du côté des avantages, BREEAM inclut quelques indicateurs relevant d'enjeux sociaux, qui se font rares dans la plupart des MEBD, entre autres l'adoption d'une gestion socialement responsable du chantier, visant à assurer un milieu de travail sécuritaire mais aussi une réduction des nuisances pour les riverains. La méthode prône de plus la maîtrise de l'architecture et de l'aménagement pour réduire le risque de crimes et le sentiment

d'insécurité qui pourrait s'ensuivre [83]. Ces derniers aspects seront abordés dans le chapitre 2.

La MEBD nord-américaine LEED connaît également un succès important en plus de faire l'objet des refontes régulières. Elle présente quelques caractéristiques qui pourraient faire l'objet de critiques négatives, entre autres le fait qu'elle est la seule méthode étudiée dont la cible de l'indicateur énergétique ne prend pas en compte les émissions de gaz à effet de serre (GES). D'autres attributs positifs méritent d'être reconnus: sa refonte en 2009 a introduit une pondération basée sur une méthodologie rigoureuse et explicitée d'ACV.

De son côté, la MEBD française HQE se déploie à une allure plus modeste en France, mais la collaboration de son organisme porteur, l'Association HQE, et de BRE Global sur l'élaboration d'une MEBD paneuropéenne est de bonne augure pour son développement futur. La pondération, agrégation et résultats sont des faiblesses de HQE bâtiment; malgré qu'ils soient originaux par rapport aux autres MEBD, ils sont peu intuitifs ou pratiques. La pondération et agrégation basées sur des qualificatifs est difficile à cerner et, qui plus est, ne laisse pas entrevoir, sans refonte majeure, une transition vers une pondération scientifiquement plus rigoureuse. En ce qui a trait aux résultats, leur communication par catégories est certes pertinente mais elle devrait être optimisée. L'utilisation de quatorze bandes de couleurs plus ou moins foncées pour exprimer le niveau de performance des catégories est maladroite et rend laborieux l'exercice de comparaison de plusieurs bâtiments entre eux. Les aspects de gestion au sein de HQE est une caractéristique importante de cette méthode; elle est la seule qui impose un management environnemental des opérations au maître d'œuvre. Ce faisant, la méthode assure l'encadrement explicite de la démarche du projet de bâtiment, ainsi que l'évaluation du bâtiment lui-même.

La MEBD présentant le plus grand nombre d'innovations est sans doute SBTool, méthode internationale développée par des chercheurs en bâtiment durable. La différence marquée de SBTool est attribuable à son développement axé sur la rigueur scientifique, à l'abri des besoins ou attentes du marché. SBTool constitue un baromètre intéressant de ce vers quoi

pourraient évoluer les autres MEBD étudiées, et ses refontes occasionnelles méritent d'être suivies à cet effet.

Quelques-unes des innovations de cette méthode sont résumées ci-dessous :

- étalonnage régionale des cibles, permettant d'évaluer la performance du bâtiment par rapport à une zone géographique ou administrative et de présenter des cibles auxquelles adhèrent les maîtres d'œuvre;
- expression des résultats en diagramme en toile, offrant un aperçu simultané de la performance globale ainsi que par catégorie;
- intégration explicite du *Processus de conception intégrée*, qui encadre le développement du projet dans le but de faciliter l'adoption de stratégies et techniques durables;
- présentation des données quantitatives associées à la performance environnementale du bâtiment.

La section précédente s'est penchée sur les méthodes d'évaluation environnementale de bâtiments. Devenues incontournables dans le domaine de la construction, les MEBD formulent une définition globale de ce que devrait être un bâtiment vert ou durable pour les évaluer; elles ont une mécanique propre, incluant des indicateurs, des cibles, une pondération et un résultat final. Les méthodes imposent également une démarche supplémentaire à un projet de construction d'un bâtiment conventionnel, entre autres puisque les indicateurs doivent être intégrés à des moments opportuns, tout comme le processus de vérification. Enfin, chaque MEBD a des avantages et inconvénients au regard de cette mécanique.

Les MEBD ne permettent pas d'évaluer quantitativement certains aspects des bâtiments; il faudra alors se tourner vers les outils d'évaluation de matériaux et composantes du bâtiment, basés sur l'analyse du cycle de vie.

1.2 Outils d'évaluation environnementale de matériaux et autres aspects du bâtiment

L'évaluation du bâtiment durable, telle qu'explorée dans la section précédente, consolide un grand nombre d'enjeux touchant l'environnement, le confort intérieur et d'autres aspects associés au bâtiment et à ses usagers. Cette section s'intéresse à des outils d'évaluation

environnementale¹ axés sur des aspects précis du bâtiment : matériaux de construction, consommation énergétique, etc.

Ces outils se classent en 2 niveaux [110] d'après leur fonction et la phase du projet à laquelle ils sont utilisés.

- Niveau I : outils pour sélectionner les matériaux et produits du bâtiment générant le moindre impact environnemental. Ils sont typiquement utilisés pour choisir entre quelques options d'un produit ou matériau de fonction équivalente, et ce, une fois que les décisions principales quant à l'architecture et l'ingénierie du bâtiment sont déterminés. Ils fournissent une réponse à des questions du type : *serait-il préférable, d'un point de vue environnemental et économique, d'utiliser une peinture au latex recyclée ou vierge?*
- Niveau II : outils s'adressant à un aspect précis du bâtiment, par exemple la consommation énergétique, les impacts potentiels du cycle de vie et les coûts globaux et utilisés comme aide à la décision pendant les phases préliminaires de conception. Une question type serait : *est-ce que les impacts environnementaux d'un bâtiment de 650 m² construit avec des murs en coffrage isolant seraient plus élevés qu'un bâtiment de 720 m² construit en ossature de bois?* Ils peuvent être utilisés, de manière limitée, pour effectuer une comparaison entre matériaux et produits du bâtiment comme le permettent les outils de niveau I, mais ne sont pas conçus à cette fin. Ainsi, leurs résultats sont affichés à l'échelle du bâtiment et non à l'échelle du produit individuel.

Comment choisir un matériau (outils de niveau I) ou une stratégie de construction (outils de niveau II) écologique? La réponse est indissociable de l'analyse du cycle de vie (ACV). Avant de discuter des caractéristiques des outils sélectionnés, il y aurait donc lieu de se pencher sur les grandes lignes de l'ACV, dont l'utilisation à cette échelle est incontournable. En effet, tous les outils recensés plus loin dans ce document basent leur évaluation sur l'ACV.

Analyse du cycle de vie

L'ACV s'est imposé, depuis sa normalisation en 1997, comme l'outil le plus évolué dans l'évaluation des impacts environnementaux globaux d'un produit ou d'une activité [111]. Plus

¹ Dans ce cas, il est pratique courante de parler d'*outils* d'évaluation plutôt que de *méthodes*.

précisément, l'ACV est une: « compilation et évaluation des entrants et sortants, ainsi que des impacts potentiels environnementaux d'un système de produits au cours de son cycle de vie ». ISO cité par [112]

L'ACV prend en compte tous les entrants (énergie, matériaux, transport, etc.) et sortants (émissions de gaz, déchets solides, etc.) d'un système de produits ou d'un produit ou d'un service tout au long de son cycle de vie. L'expression « impacts potentiels environnementaux » contenue dans la définition citée plus haut, désigne le fait qu'une ACV projette l'impact environnemental et n'en constitue pas une mesure terrain¹.

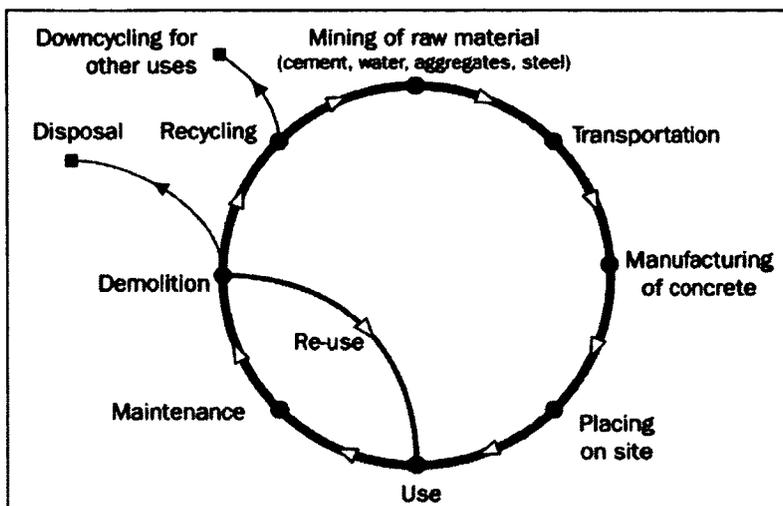
L'expression cycle de vie, quant à elle, signifie le parcours, du « berceau à la tombe » d'un produit ou d'une activité. Ce parcours comprend habituellement les phases suivantes [112]:

- L'extraction et la transformation des matières premières
- La fabrication
- L'emballage et la distribution
- L'utilisation
- La fin de vie

Le cycle de vie est souvent illustré à l'aide d'une figure, dont un exemple est présenté à la figure 1.13.

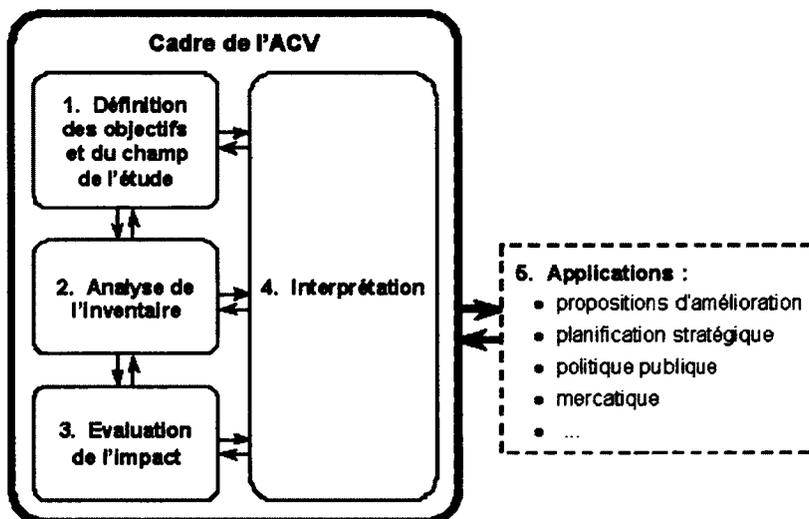
¹ Les expressions « impact » et « impacts potentiels » sont considérés équivalents dans le reste du texte.

Figure 1.13 Une représentation du cycle de vie du béton. Source : Josa *et al.* [113]



Régie par la famille de normes ISO 14040 à 14043, la méthodologie de l'ACV, illustrée à la figure 1.14, est sommairement présentée ci-dessous selon ses étapes constitutives.

Figure 1.14 Les étapes d'ACV résumées. Source: ADEME [111]



La première étape de la méthodologie est la détermination des objectifs et du champ de l'étude. Pendant cette étape préliminaire, l'équipe chargée de l'ACV doit décider des étapes du cycle de vie sur lesquelles elle se penchera ou à quelles catégories d'impacts elle se limitera [112]; par exemple, mesurer uniquement l'impact de la phase transport, ou encore estimer l'impact du cycle de vie uniquement en émissions de GES. C'est pendant la détermination du champ de l'étude que l'unité fonctionnelle, qui revêt une importance

particulière, est spécifiée. Celle-ci permet de quantifier la fonction remplie par le produit étudié [111]; par exemple, l'unité fonctionnelle 1115m² de toiture sert de base à une analyse comparative de différents toits végétalisés [114]. Un usage inadéquat de l'unité fonctionnelle peut déformer les résultats : il est ainsi maladroit de comparer les émissions de CO₂-équivalents associés à 1 tonne de bois et 1 tonne de béton [115] pour évaluer l'impact environnemental de leur utilisation dans la construction de bâtiment, puisqu'un mur construit en bois est plus léger qu'un mur en béton. Une unité fonctionnelle plus adaptée s'appuierait sur la quantité tantôt de bois, tantôt de béton utilisée pour construire deux murs de bâtiment de taille et fonction identique [116]. L'unité fonctionnelle la plus commune pour le bâtiment est 1m² de surface [117].

Les objectifs et champ de l'étude déterminés, un inventaire exhaustif des entrants et sortants de chacune des étapes du cycle de vie est effectuée; c'est l'inventaire du cycle de vie (ICV). L'ICV comprend les données relatives au flux énergie et matière : par exemple, l'utilisation de matières premières, la consommation d'électricité, la production de déchets solides et les émissions de CO₂. Résultat d'un ICV, le tableau 1.4 présente quelques données de l'inventaire du cycle de vie d'un bâtiment universitaire [37].

Tableau 1.4 Masse de quelques matériaux de construction associés au cycle de vie d'un bâtiment universitaire de 7300m². Source : Scheuer et al. [37]

Matériau	Masse (tonnes)
Sable	8030
Gravier	2350
Ciment (utilisé dans le béton)	1320
Eau (utilisée dans le béton, pâte pour colmater des trous dans les plaques de plâtre, la peinture)	622
Acier (fabriqué dans un four à arc électrique)	471
Brique	386

La troisième étape de l'ACV est celui de l'évaluation des impacts, qui vise à traduire les données de l'ICV en impacts potentiels sur l'environnement, et ce, sur plusieurs catégories d'impact, dont la santé humaine, l'effet de serre, l'acidification, l'épuisement des ressources naturelles et l'eutrophisation [111,118]. Par exemple, une maison étudiée en Grèce consommant 119 722 mégajoules d'énergie annuellement est associée à quelques impacts environnementaux, décrits dans le tableau 1.5.

Tableau 1.5 Quelques impacts environnementaux associés à la consommation énergétique annuelle d'une maison de référence en Grèce selon la méthode Eco-Indicator 95. Source : Koroneos & Kottas [119].

Catégorie d'impact environnemental	Quantité associée à la consommation électrique	Quantité associée à la consommation d'huile de chauffage
Potentiel de réchauffement climatique, kg CO ₂ équivalent	3 677,32552	11 884,590100
Destruction de l'ozone stratosphérique, kg CFC-11 équivalent	0,0009600	0,013440
Acidification, kg SO ₄	27,89511	182,454207
Eutrophisation, kg PO ₄	0,78657	3,930823

À chacune des étapes, l'interprétation des résultats doit être réalisée. Elle permet, par exemple, d'optimiser la consommation d'énergie et de matières premières associée à un procédé ou de comparer plusieurs produits entre eux (Figure 1.14) [112]. Aussi contribue-t-elle à s'assurer de la validité des résultats et d'en tirer des conclusions.

Qui se sert de cette méthodologie? Une quantité imposante de recherches d'ACV sont disponibles dans la littérature scientifique, recherches qui ne sont pas limitées au domaine de la construction. Une ACV complète est toutefois une recherche qui demande beaucoup de temps et de ressources. Le but de cette section est de se pencher sur des outils d'évaluation qui peuvent s'insérer dans des projets de construction, des outils avec « l'ACV sous le capot » permettant des entrées simplifiées et des résultats rapides [110]. Quatre de ces outils simplifiés seront étudiés ci-dessous.

Les outils

Complémentaires aux MEBD, les outils d'évaluation avec l'ACV « sous le capot » permettent à l'utilisateur (maître d'œuvre, l'ingénieur, etc.) d'avoir un aperçu rapide des impacts de cycle de

vie de certains aspects du bâtiment. La rapidité de l'évaluation fait en sorte que ces outils peuvent s'insérer dans l'échéancier souvent serré d'un projet de construction. L'étude est limitée à des outils d'ACV de base ou intermédiaire [120]. Les experts ou praticiens de l'ACV pourraient être à l'aise d'effectuer une ACV grâce à un outil avancé tel que SimaPro, mais il n'est pas vraisemblable d'en espérer autant d'un architecte par exemple, qui ne sont pas des adeptes de l'ACV et pour qui les outils simples et intermédiaires conviennent mieux [167].

Tel que mentionné en introduction, ces outils s'inscrivent dans deux grandes catégories. Les outils de la première catégorie visent à déterminer les produits et matériaux entraînant le moindre impact environnemental. Ceux-ci, dont l'outil BEES exploré plus loin, offrent parfois une estimation du coût du cycle de vie, soit une évaluation du coût initial et des dépenses d'exploitation et d'entretien du produit, et ce, pour la durée de vie économique du bâtiment [121,122]. Les outils de la deuxième catégorie sont utilisés pendant des phases préliminaires de conception du bâtiment pour aider aux grandes décisions architecturales, permettant d'en projeter l'impact environnemental ou encore le coût.

Tous les outils seront présentés d'après leurs caractéristiques principales, entre autres leur interface avec l'utilisateur, les calculs effectués et les résultats affichés. Une figure comprenant trois caractéristiques principales des outils est présentée. Celle-ci illustre les données que l'utilisateur doit entrer, le type d'évaluation et la manière dont l'outil exprime le résultat de l'évaluation. Une revue critique des outils complétera la section.

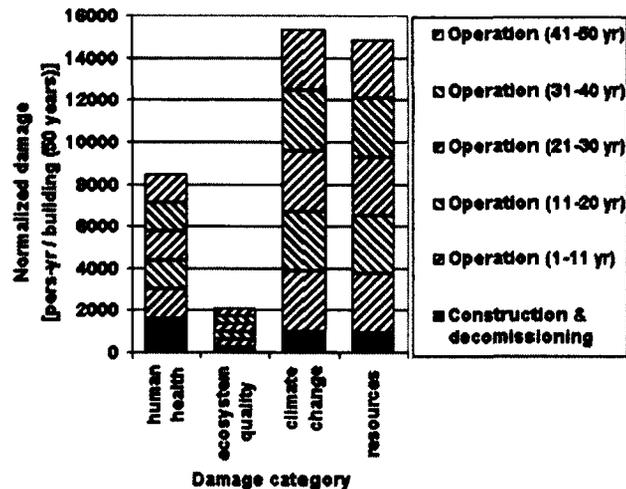
Outils de type I, Évaluation de produits et matériaux

Les outils de type I sont utilisés aux étapes avancées du projet de bâtiment, lorsque les grandes décisions quant à la forme, fonction, systèmes de chauffage du bâtiment sont donc déjà prises. Ils appuient des sélections de produits et matériaux afin de réduire leur impact environnemental.

Il s'ensuit qu'ils ont une portée limitée sur le bilan environnemental global du bâtiment, l'exploitation du bâtiment engendrant presque toujours un impact beaucoup plus important

que sa fabrication tel qu'illustré à la figure 1.15, malgré que les conclusions des ACV sur les bâtiments soient spécifiques au site où ils se trouvent [118,222].

Figure 1.15 Le dommage, en catégories d'impact, associé à la construction (en noir) et à l'opération (hachuré) sur 50 ans d'un bâtiment conventionnel. Source: Humbert *et al.* [36]



En effet, la part des produits et matériaux de construction dans l'impact global d'un bâtiment est variable : deux études [36, 37] y attribuent 5 % de l'impact total, tandis qu'une revue de la littérature [38] conclut que leur part varie entre 9 et 46 % de l'impact de bâtiments à haut rendement énergétique et entre 2 et 38 % dans le cas de bâtiments conventionnels.

Deux outils ayant l'ACV à la base sont comparés dans cette section- *Building for Environmental and Economic Sustainability* (BEES) et *EcoConcrete*. Le premier est communément cité et fait l'objet d'un développement continu; le deuxième est le résultat d'un projet de recherche européen et n'évalue que l'impact environnemental du béton [113].

BEES

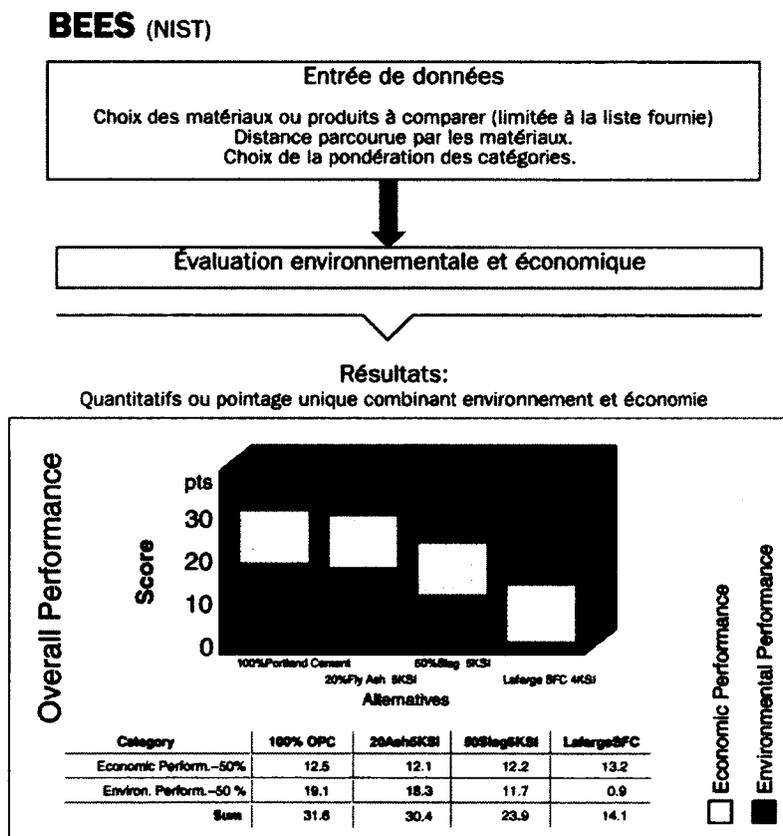
L'outil BEES, mis sur pied par le *National Institute of Standards and Technology* (NIST), financé en partie par un programme de l'agence américaine de protection de l'environnement (*Environmental Protection Agency* ou EPA), est disponible gratuitement soit sous forme de logiciel téléchargeable soit en consultation directe sur le web [123, 124].

L'utilisateur doit, grâce à des menus déroulants, préciser la zone du bâtiment - ex. murs de fondation, toiture, isolation puis les matériaux qu'il envisage employer pour chaque zone (ex.

un isolant cellulosique ou de la fibre de verre) et leur distance de transport du lieu de fabrication jusqu'au chantier. L'utilisateur peut modifier la pondération de chaque catégorie d'impact- par exemple, celui-ci peut attribuer un poids supérieur à la catégorie « Réchauffement climatique » et moins à « Eutrophisation ».

BEES calcule alors l'impact environnemental potentiel des matériaux et leur coût moyen d'utilisation sur une période de 50 ans. Les résultats sont exprimés par une figure synthèse qui peut être ventilée en différentes catégories d'impact (Figure 1.16) ou en pointage unique agrégé. Les données utilisées pour les calculs de BEES ont été recueillies chez des entreprises manufacturières américaines.

Figure 1.16 Vue d'ensemble de l'outil BEES



L'outil BEES est caractérisé par son accessibilité et sa facilité d'utilisation : en plus d'être téléchargeable gratuitement, il permet une entrée et une lecture aisées des impacts environnementaux associés à des matériaux de construction.

EcoConcrete

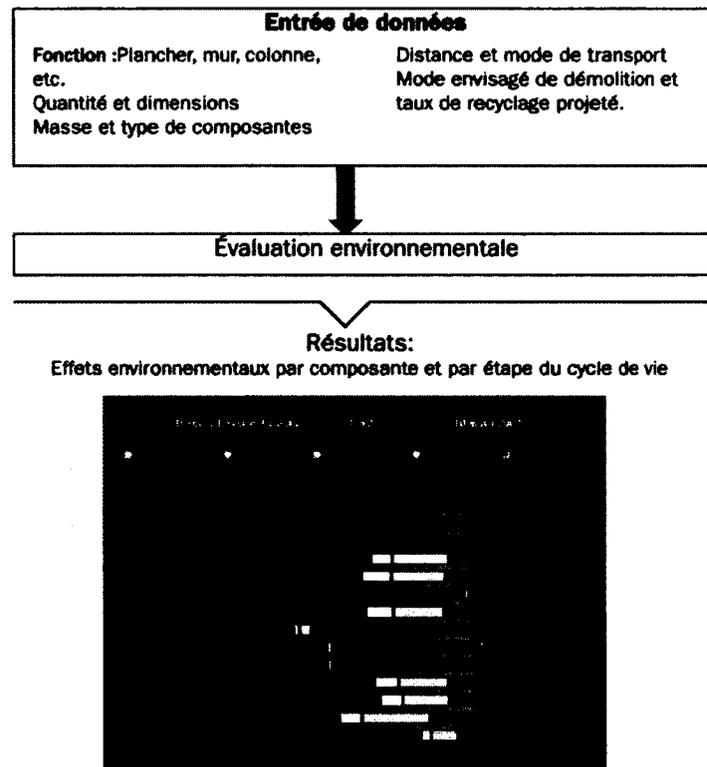
L'outil *EcoConcrete* est adapté à l'évaluation des impacts environnementaux potentiels du béton [125]. Contrairement à la plupart des matériaux de construction le béton est constitué de plusieurs composantes dont la présence et les proportions peuvent être adaptées selon les projets. Le béton est responsable de 5-8% des émissions mondiales de CO₂ [126]. Pour certains types de construction, il est responsable de 99% des émissions totales [127] associées aux matériaux, d'où l'intérêt d'améliorer son bilan environnemental.

EcoConcrete demande la connaissance de plusieurs détails de la composition du béton. À noter, l'outil évalue le béton – il peut donc être utilisé pour les fondations d'un bâtiment, aussi bien que la construction d'un pont, d'une route ou de trottoirs [128].

EcoConcrete propose plusieurs unités fonctionnelles adaptées au bâtiment et autres projets d'infrastructure, la composition détaillée du béton, la distance parcourue et le mode de transport (camion, bateau, train, etc.) de chacune des composantes. Les résultats sont alors calculés de manière très détaillée, présentant entre autres l'impact relatif des composantes, l'impact selon l'étape du cycle de vie et ce pour plusieurs catégories d'impact. L'utilisateur peut également afficher un résultat agrégé sous forme de pointage. Aucun comparatif de coûts n'est toutefois offert (Figure 1.17). Les calculs du logiciel *EcoConcrete* sont basés sur des données d'inventaire de cycle de vie recueillies chez des grands fabricants de béton européens.

Figure 1.17 Vue d'ensemble de l'outil *EcoConcrete*

EcoConcrete (Josa)



Cet outil est adapté à l'Europe puisque les données qui le composent proviennent de l'industrie européenne.

Outils de type II: aide à la décision pour composantes du bâtiment

Tandis que les deux outils analysés ci-haut, BEES et *EcoConcrete*, sont utilisés lors de la phase de sélection de matériaux, les outils de type II, présentés ci-dessous, appuient les décisions en amont du projet de construction, justifiant morphologie, structure, et autres grandes lignes du bâtiment.

Athena Impact Estimator for Buildings

Athena Impact Estimator for Buildings (Athena IEB) a été développé par l'institut Athena, établi au Canada. L'institut à but non-lucratif se consacre à l'évaluation des impacts environnementaux des bâtiments par la technique de l'ACV [129]. Son logiciel *Athena IEB*

[130], a été conçu pour être utilisé au stade de conception préliminaire afin d'évaluer l'impact environnemental de différentes combinaisons de matériaux, de structures et d'assemblages [131]. L'utilisateur doit entrer les données suivantes:

- Caractéristiques structurelles préliminaires du bâtiment: par ex. distance plancher-plafond, distance entre les colonnes, épaisseur et composition de la dalle de sous-sol.
- Localisation du projet, à partir d'une liste des villes principales canadiennes et américaines.
- La durée de vie présagée, le type de bâtiment et si le bâtiment est principalement locatif ou habité par le propriétaire.
- Énergie opérationnelle annuelle par type d'énergie, calculé grâce à une simulation énergétique qui aurait été préalablement effectuée.

Athena IEB propose des détails-types de construction permettant à l'utilisateur une modélisation rapide du bâtiment projeté. Pour décrire le plancher, par exemple, l'utilisateur choisi entre des techniques de construction conventionnelles et en précise les paramètres, dont la superficie (voir figures 1.18 et 1.19). L'utilisateur peut également décrire l'enveloppe extérieure du bâtiment pour obtenir une estimation de la consommation énergétique de ce dernier. Une fois les paramètres entrés par l'utilisateur, *Athena IEB* calcule et affiche l'impact environnemental selon plusieurs catégories du cycle de vie du bâtiment.

Figure 1.18 Vue d'ensemble de l'outil *Athena IEB*

Athena IEB (Athena Institute)

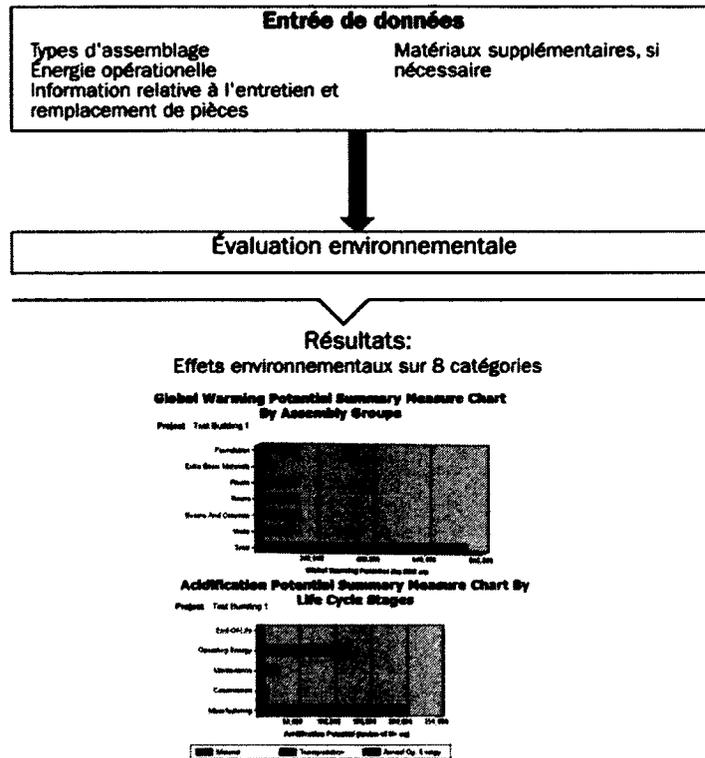
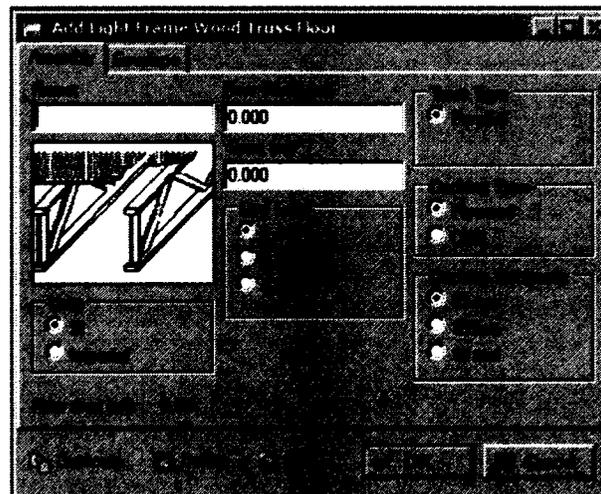


Figure 1.19 Fenêtre d'entrée de données l'outil *Athena IEB*



À la différence de BEES, l'outil n'offre toutefois pas d'évaluation financière du choix proposé et contrairement à ce dernier n'est pas diffusé gratuitement dans sa forme complète; une version simplifiée peut néanmoins être téléchargée sans frais.

Invest

Invest, outil d'aide à la conception de bâtiments à base d'ACV [132], est offert par l'organisme BRE Ltd sous forme d'un logiciel payant sur le web [133]. Il permet la conception de bâtiments à impact environnemental et à coût globaux réduits en identifiant les éléments et zones sujets à améliorations.

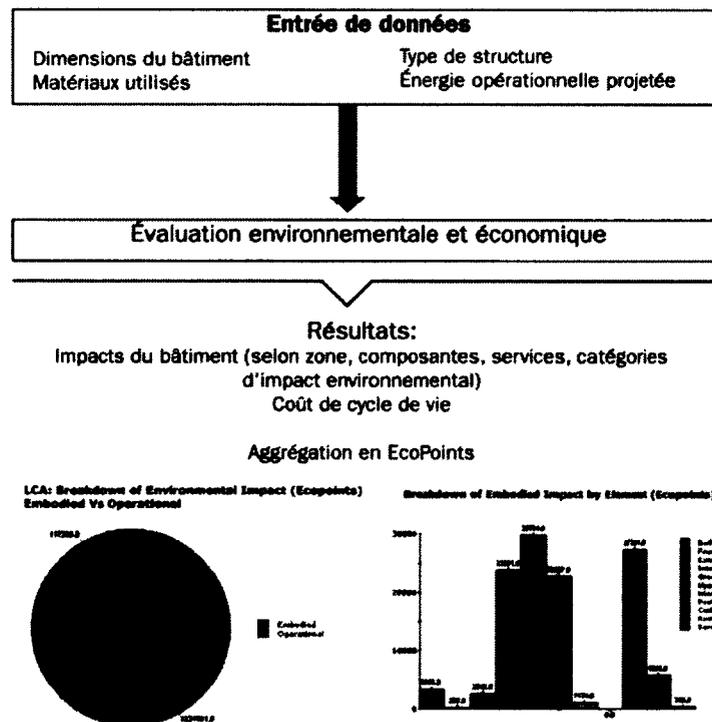
Invest requiert un nombre important d'entrées - quoique sommaires - de la part de l'utilisateur. Celles-ci sont axées sur la prise de décisions rapide en amont du projet :

- Modélisation dimensionnelle du bâtiment: nombre et hauteur des étages, hauteur totale, superficie des fenêtres, etc.
- Données d'utilisation : densité d'occupation, services offerts
- Matériaux dans zones précises du bâtiment: structure, murs extérieurs, murs intérieurs, etc.
- Données énergétiques: éclairage, chauffage, etc.

La Figure 1.20 résume l'outil.

Figure 1.20 Vue d'ensemble de l'outil *Invest*

Invest (BRE Ltd.)



Les résultats d'*Envest* sont agrégés en un pointage unique selon la méthodologie d'indicateur unique *UK Ecopoints* développée par BRE [134]; des données quantitatives d'impacts potentiels sont également affichées.

Discussion

Cette section a présenté quatre outils d'évaluation environnementale de matériaux de construction et d'autres composantes du bâtiment, outils se classant en deux grandes catégories. La première comprend des outils permettant de sélectionner des produits et matériaux à faibles impacts environnementaux, parfois accompagnés d'une évaluation financière. La deuxième englobe des outils utilisés de manière stratégique, en début de projet, comme appui décisionnel dans la conception de bâtiments plus écologiques et dans le cas d'*Envest*, plus économiques également. Les forces et faiblesses de chacun des outils sont abordées ci-dessous.

L'accessibilité de BEES est un des avantages importants de cet outil : sa gratuité pourrait favoriser son adoption dans le milieu de la construction de bâtiments durables, d'autant plus qu'il y a un manque d'outils avec ACV « sous le capot » adaptés et abordables pour des petits ou moyens projets de construction. Son accessibilité se manifeste aussi par l'effort qu'exige son utilisation, qui est à géométrie variable: BEES n'impose pas forcément un surplus important de travail, car il peut servir à projeter l'impact environnemental et financier d'un seul matériau, comme il pourrait servir à en évaluer un nombre plus important. La présentation des résultats est flexible : elle peut se faire sous forme agrégée ou non, l'utilisateur ayant la possibilité de modifier la pondération des catégories d'impact; finalement, les données d'ICV lui sont également accessibles. Parmi les inconvénients de l'outil, la plus importante est sans doute le nombre de matériaux qu'il peut évaluer, qui est limité à 230. Le chiffre peut paraître élevé, mais l'offre de produits dans le domaine de la construction est très grande. Par exemple, l'Amérique du Nord compte au moins une dizaine de fournisseurs importants de plaques de plâtre [135], produit couramment utilisé comme revêtement intérieur dans les projets de construction nord-américains; ces fournisseurs font appel à des procédés de fabrication et des taux d'intégration de contenu recyclé distincts [136,137]. Or, BEES ne présente que le choix « Plaque de plâtre générique », ce qui ne permettrait pas à un projet

donné de statuer sur un choix plus écologique. La collecte de données d'ICV pour 230 matériaux et produits représente un travail colossal, mais il faudra que ce chiffre soit beaucoup plus élevé pour représenter une masse critique des matériaux disponibles sur le marché afin d'aiguiller le maître d'œuvre vers un choix plus écologique et économique. Jusqu'à ce que ce changement se réalise, la sensibilisation des acteurs du bâtiment durable à l'ACV pourrait représenter la plus grande contribution de BEES. Un sondage des personnes ayant téléchargé l'outil a montré que seul un faible pourcentage (8%) des répondants se sont servis de BEES pour calculer les impacts d'un projet précis [138], une grande proportion s'y intéressant plutôt pour s'informer ou sensibiliser d'autres. Finalement, l'expression des coûts qu'offre le logiciel est un attribut intéressant qui peut sensibiliser l'utilisateur sur l'impact financier du produit envisagé vis-à-vis ses impacts environnementaux

EcoConcrete se différencie des autres outils étudiés par le fait qu'il évalue l'impact d'un seul matériau, soit le béton, l'importance duquel ne peut toutefois être négligé si l'on vise un bâtiment en béton à faible impact environnemental. Le logiciel fait preuve d'une flexibilité très élevée dans la définition des composantes du béton et dans l'expression des impacts environnementaux selon plusieurs méthodologies d'ACV. L'équipe de projet qui souhaite utiliser *EcoConcrete* à son plein potentiel devra s'informer du mode de transport et de la provenance de chaque composante du béton, et ce chez différents fournisseurs. Le temps requis pour l'obtention de ces informations, conjugué à la possibilité que les fournisseurs ne dévoilent pas toutes les données pertinentes pour cause de confidentialité, pourrait réduire la pertinence des résultats. Toutefois, une solution visant à rendre le logiciel plus accessible consisterait en sa programmation préalable grâce à données issues des fournisseurs d'une région donnée. Cette solution hybride rapprocherait l'outil *EcoConcrete* à la typologie de BEES, qui adapté aux matériaux et produits du marché. Puisque l'outil *EcoConcrete* exige une bonne connaissance de la composition du béton mais également de l'ACV, il n'est pas adapté à des projets de petite envergure. Il trouve sa pertinence dans des grands projets de construction dont le béton est une composante principale, par exemple des développements immobilier où plusieurs bâtiments sont érigés à la fois et sont accompagnés de travaux d'infrastructure.

Athena IEB est un logiciel convivial dont la typologie ne serait pas étrangère à des équipes de conception de bâtiment durable, car il requiert une entrée de données semblables à celles d'une simulation énergétique. Cependant, au lieu de décrire les attributs de l'enveloppe thermique du bâtiment, l'utilisateur décrit les attributs de ses principaux éléments structuraux grâce à des éléments-type de construction suggérés par le logiciel. L'utilisation d'éléments types, bien que permettant une modélisation plus rapide, présente le désavantages d'écarter des solutions qui sortent des sentiers battus, qui caractérisent un bon nombre de bâtiments écologiques, par exemple le Centre de l'environnement à Québec qui est isolé à l'aide de ballots de paille [139]. Le compromis semble toutefois raisonnable : l'institut Athéna soutient que le logiciel permettrait de modéliser fidèlement 95% des bâtiments en Amérique du Nord [129]. Une fois le bâtiment modélisé, les résultats sont affichées sur 8 catégories d'impact, qui ne peuvent être agrégés, contrairement aux autres outils étudiés. Pour qu'un professionnel non-adepte de l'ACV puisse se servir efficacement du logiciel pour concevoir un bâtiment à impacts environnementaux réduits, Horst et Trusty [140] suggèrent une directive selon laquelle le concept de bâtiment retenu devrait avoir un impact réduit sur la majorité des catégories comparé à un bâtiment de référence. *Athena IEB* constitue somme toute une proposition intéressante qui allie facilité d'utilisation et rigueur.

L'outil *Invest*, offert sur le web, permet à un maître d'œuvre de modéliser un bâtiment pour projeter son impact environnemental et son coût. L'interface conviviale du logiciel offre un retour d'information fort pertinent à l'utilisateur car plusieurs éléments *individuels* du bâtiment, comme par exemple le type de parement extérieur, sont adjacents à une case montrant l'impact environnemental en *UK Ecopoints* et une deuxième montrant son coût. La tension inhérente à la typologie d'expression des résultats des outils ACV pour bâtiments est qu'elle doit être simple et précis à la fois [132]. *Invest* est ouvert à la critique puisqu'il pencherait peut-être trop du côté de la simplicité en misant sur des résultats agrégés en *UK Ecopoints*. Les seules données non agrégées sont fournies dans le tableau des données d'ICV du bâtiment complet, et ne peuvent être distribuées ou ventilées selon l'étape du cycle de vie, par exemple.

Dans le cas d'*Invest* comme d'*Athena IEB*, l'utilisateur est limité dans la définition des paramètres précis des matériaux employés. Ces deux outils touchent à un nombre de

matériaux tellement important qu'il serait difficile d'imaginer qu'une flexibilité totale soit envisageable. Bien qu'*Envest* et *Athena IEB* visent à afficher à l'usager les impacts environnementaux du bâtiment projeté, ils s'y prennent différemment. *Athena IEB* demande plus de détails architecturaux et des entrées d'information qui relèvent d'un bâtiment dont le développement est plus avancé. *Envest* est mieux adapté à une évaluation sommaire des répercussions environnementales et financières associées au bâtiment à un stade préliminaire. Ces différences pourraient être le résultat de la culture de l'organisme mère, BRE Ltd, actif dans tous les domaines du bâtiment [141]. L'institut Athena, en revanche, s'intéresse principalement à l'ACV [129].

Le tableau 1.6 ci-dessous compare les outils abordés.

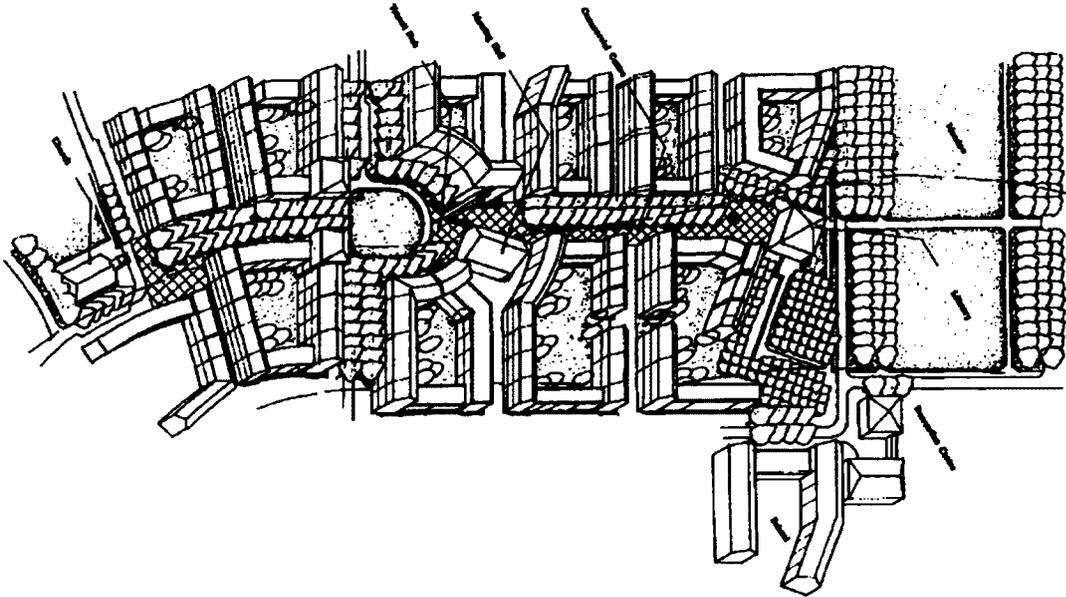
Tableau 1.6 Quatre outils d'évaluation environnementale des produits et composantes du bâtiment

Outil d'évaluation	But	Usage	Zone géographique d'application:	Utiles pour quels types de projets?
BEES	Évaluer les impacts environnementaux et coûts associés à des matériaux et produits de construction	Lors des plans finaux, pour choisir produits et matériaux	États-Unis	Bâtiments
EcoConcrete	Évaluer des impacts environnementaux du béton	Lors des plans finaux, pour déterminer la composition idéale du béton	Europe	Grands chantiers de bâtiments ET projets d'infrastructure
Athena IEB	Évaluer l'impact environnemental d'un bâtiment entier.	À la phase conception, comme appui décisionnel	Amérique du Nord	Bâtiments
Envest	Évaluer l'impact environnemental et le coût du cycle de vie d'un bâtiment entier.	À la phase conception, comme appui décisionnel.	Europe	Bâtiments

Ces outils, à l'ACV « sous le capot », ont un rôle important à jouer dans le DD du cadre bâti, puisqu'ils peuvent faciliter la réduction des impacts environnementaux associés au bâtiment. La réduction des impacts environnementaux des bâtiments a un impact limité sur le DD du cadre bâti, vu les limites inhérentes associées son échelle spatiale [15]. Certains des enjeux fondamentaux du DD ne peuvent qu'être abordés à une échelle spatiale plus grande [142]. La section qui suit se penche sur les méthodes qui évaluent le quartier durable.

1.3 Méthodes d'évaluation du quartier durable

Figure 1.21 Un quartier durable? Source : Paterson et Connery [143]



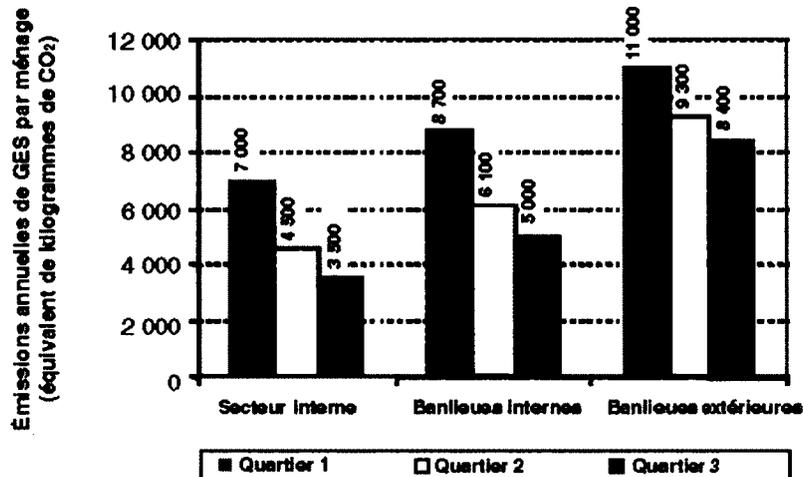
Un quartier est composé de bâtiments résidentiels et commerciaux, d'espaces publics et d'infrastructure (figure 1.21), mais représente bien plus que la somme d'éléments individuels du cadre bâti: c'est la toile de fond où se déroulent d'innombrables interactions entre acteurs, institutions et environnement. Les acteurs et de parties prenantes y sont plus nombreux que pour le bâtiment: urbanistes, ministère du transport, agences de transport en commun, compagnies d'électricité ou de gaz, architectes, promoteurs, riverains, futurs habitants, entre autres. [144]

La ville et le quartier sont des privilégiées pour mettre en œuvre le DD [1, 35], mais comment évaluer le quartier durable ou le concevoir? Cette section se penche sur la réponse que fournissent deux méthodes d'évaluation du quartier durable, et débute avec une exploration de la conception du quartier durable.

Quels sont donc les éléments-clés d'un quartier durable? Les conceptions nord-américaines de la ville durable misent sur la compacité, avec un design centralisé et à haute densité résidentielle [145]. La densité et la compacité sont perçues comme nécessaires pour freiner l'étalement urbain, diminuer les déplacements et conserver les terres agricoles dans la frange urbaine. La forme des quartiers et des villes a en effet une influence importante sur l'impact

environnemental de ses habitants. La figure 1.22 montre qu'un banlieusard peut émettre jusqu'à 7,5 tonnes de GES de plus qu'un citoyen habitant un secteur interne.

Figure 1.22 Émissions annuelles de GES attribuables aux déplacements selon les différents scénarios de quartier, par ménage. Quartier 1 : Aménagement conventionnel de type banlieue; Quartier 2 : Lotissement de densité moyenne; Quartier 3 : Lotissement néo-traditionnel. Source : SCHL [146]



La cité idéale serait donc “compacte, polyfonctionnelle, conviviale, verte, de petite taille, propice aux relations communautaires, dans le souci de l’esthétique et de la qualité des espaces publics” [145]. Trois autres visions issues de la littérature gouvernementale, scientifique et une étude de cas, présentés ci-dessous, vont dans le même sens.

La Société canadienne d’hypothèque et de logements (SCHL) offre des outils à l’intention des urbanistes et des concepteurs dont l’objectif est de favoriser des collectivités à impacts environnementaux réduits, tout en préservant leur habitabilité. Selon la SCHL, une collectivité durable serait définie par les caractéristiques suivantes [147] :

- Densité et esthétique urbaines
- Transport
- Collectivités axées sur la qualité de vie
- Économie locale
- Logements abordables
- Densification urbaine
- Centre-ville/village

- Protection du milieu naturel
- Énergie
- Eau
- Eaux usées et eaux de ruissellement
- Les 3R (réduction, réemploi, recyclage)

La SCHL met donc de l'avant des principes touchant globalement à l'environnement, la qualité de vie, l'économie et la trame urbaine.

BedZED est un éco-quartier de renommée internationale construit en 2001 dans la ville de Sutton, en Angleterre. L'ambitieux développement immobilier comprend 84 maisons et près de 300 habitants [148] et vise leur carbonneutralité. Les principes de sa conception sont présentés dans le tableau 1.7.

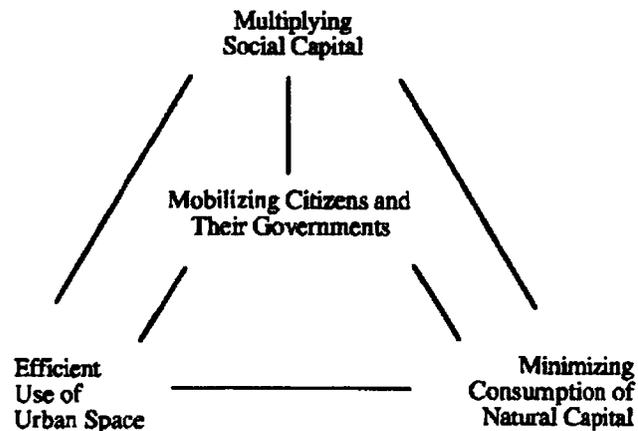
Tableau 1.7 Catégories et exemples d'indicateurs du projet BedZED. Source : *Housing Energy Efficiency Programme* [148]

Catégories d'indicateur	Exemple
Emplacement du quartier	Possibilité de cultiver des légumes dans un rayon de 150 m Distance piétonne du café ou pub le plus proche
Énergie	Émissions de CO ₂ - kilogrammes par mètre carré de surface habitable Capacité des systèmes de chauffage et d'eau chaude alimentés aux combustibles fossiles vs à l'électricité
Transport	Installations de chargement pour les véhicules électriques
Matériaux	Énergie intrinsèque des matériaux de construction par hectare de superficie construite.
Espaces verts et ouverts	Superficie ensoleillée de jardin par habitation
Eau	Réducteurs de débit sur tous les points d'eau Utilisation des eaux de pluie à l'intérieur
Coût et qualité de construction	Coût de la construction Vie projetée du développement immobilier

Les indicateurs BedZED et ceux suggérés par la SCHL accordent une place prépondérante à l'environnement et à la conception physique des lieux. Plusieurs des indicateurs relèvent de l'habitation (consommation énergétique, logement abordable, eau, énergie) et d'autres touchent à la trame urbaine (la compacité, l'esthétique et la proximité des services de base). Enfin, des aspects complémentaires comme la présence de transports alternatifs, le soutien de l'économie locale et la durée de vie des lieux sont abordés.

Quoique intégrant certains aspects relevant de la sphère sociale du DD, ces conceptions n'incluent pas les principes de la démocratie, de l'équité et la mobilisation citoyenne, que d'autres considèrent essentiels (voir par exemple la conception illustrée à la figure 1.23)

Figure 1.23 Cadre pour le développement de communautés durables. Source : Roseland [149].



Deux méthodes d'évaluation de quartiers durables (MEQD), soit *LEED for Neighborhood Development* (LEED-ND) et *HQE Aménagement*, dont les grandes lignes sont présentées ci-dessous, se basent globalement sur des conceptions du quartier durable.

LEED-ND et HQE Aménagement

Le USGBC traduit son intérêt pour le quartier en lançant en 2009 sa méthode d'évaluation LEED-ND [150]. Des quartiers et développements immobiliers, dont plusieurs au Canada et quelques-uns au Québec [32,33,151], y sont enregistrés. Pour sa part, l'association HQE présente *HQE Aménagement* sous forme préliminaire en 2006, et sous forme finale en 2010 [152] (cf. tableau 1.8). Entre ses versions préliminaires et finales, elle a été soumise à une période d'essai sur dix opérations [34].

Puisque les méthodes pour quartier durables sont apparues récemment, elles bénéficient de peu du retour critique de la littérature.

Tableau 1.8 Les méthodes d'évaluation du quartier durable. Source : USGBC [32], Association HQE [34]

Nom du MEQD	Date de lancement de la version finale	Projets en cours	Pays où elle est active
LEED-ND	2009	238	États-Unis et Canada
HQE- Aménagement	2010	10	France

LEED-ND a été élaborée conjointement avec le *Congress for New Urbanism (CNU)*, qui promeut l'urbanisme durable [153] et *Natural Resources Defense Council (NRDC)*, important organisme américain d'action environnementale [154].

La méthode HQE Aménagement vise « la réalisation d'opération intégrée à leur territoire, dont les impacts sur l'environnement, évalués sur l'ensemble du cycle de vie, sont les plus maîtrisées possibles et qui favorisent le développement économique et social. » Du côté de LEED-ND, les objectifs penchent plus du côté de l'environnement et de la technique; les pôles complémentaires du DD n'étant pas mentionnées de manière précise: « LEED-ND permet à un quartier de s'harmoniser avec milieu, son contexte local et régional en mettant l'accent sur la sélection de l'emplacement, l'aménagement et ainsi que la construction de ses bâtiments et son infrastructure» [155].

Si le bâtiment a des frontières bien définies dans l'espace, il n'en est pas autant pour le quartier. Sous LEED-ND, la définition du quartier est plutôt flexible, mais elle fixe tout de même la limite supérieure de ses interventions à 1,3 km². Pour sa part, HQE Aménagement s'adapte à toute opération d'aménagement qu'elle soit d'envergure ou de petite taille [152]. La méthode LEED-ND, suivi de la méthode HQE Aménagement sont résumées ci-dessous.

LEED-ND est constituée d'indicateurs obligatoires et optionnels, organisés en 3 catégories ou thèmes principales (cf. tableau 1.9).

Tableau 1.9 Grandes catégories et indicateurs dans LEED-ND. Source : CNU, NRDC et USGBC [155]

Catégorie	Indicateurs
Emplacement et liaisons	Indicateurs relatifs à l'emplacement, ex. proximité à une infrastructure municipale existante, conservation de terres agricoles, proximité des habitations et des lieux d'emploi
Aménagement et trame du quartier	Compacité, variété du type d'habitation, disponibilité du transport en commun.
Construction et technologies vertes	Lignes directrices pour la construction environnementale, ex. réutilisation de bâtiments, orientation solaire, matériaux recyclés dans l'infrastructure.

La mécanique de la méthode est identique à celle de la version bâtiment : elle inclut entre autres des indicateurs, une pondération, un résultat final chiffré et une certification (voir figure 1.24). À la différence de la version bâtiment toutefois, la certification finale se fait en deux étapes distinctes : la première suite à la réalisation des plans et devis et la deuxième, après la fin du chantier [156].

Figure 1.24 Un aperçu des indicateurs (à gauche) et de leur pondération (à droite) dans LEED-ND. La remarque « Required » indique qu'il est obligatoire d'atteindre une cible associée à cet indicateur. Source : USGBC [157]

Smart Location and Linkage		27 Points Possible
Prereq 1	Smart Location	Required
Prereq 2	Imperiled Species and Ecological Communities	Required
Prereq 3	Wetland and Water Body Conservation	Required
Prereq 4	Agricultural Land Conservation	Required
Prereq 5	Floodplain Avoidance	Required
Credit 1	Preferred Locations	10
Credit 2	Brownfield Redevelopment	2
Credit 3	Locations with Reduced Automobile Dependence	7
Credit 4	Bicycle Network and Storage	1
Credit 5	Housing and Jobs Proximity	3
Credit 6	Steep Slope Protection	1
Credit 7	Site Design for Habitat or Wetland and Water Body Conservation	1
Credit 8	Restoration of Habitat or Wetlands and Water Bodies	1
Credit 9	Long-Term Conservation Management of Habitat or Wetlands and Water Bod	1

LEED-ND peut s'avérer un outil intéressant de conception d'un quartier durable grâce aux solutions concrètes qu'il offre sous forme de cibles quantifiées, par exemple densité de 17 habitations par hectare, ou une distance maximale de services de proximité de 800 m. À noter, le référentiel intègre également des illustrations et schémas aériens de plusieurs concepts clés qu'il avance, ce qui contribue à l'assimilation des principes proposés.

La méthode HQE Aménagement est structurée différemment puisque à l'inverse de LEED-ND, aucun point n'est associé aux indicateurs et la certification n'est pas offerte. En effet,

HQE Aménagement est une méthode de planification aussi bien que d'évaluation. Ses dix-sept thèmes sont classés en trois grandes catégories (Tableau 1.10).

Tableau 1.10 Les thèmes de la méthode HQE Aménagement Source : Association HQE [152]

<i>Les catégories et thèmes de la méthode HQE Aménagement</i>	
Assurer l'intégration et la cohérence du quartier avec le tissu urbain et les autres échelles du territoire	Territoire et contexte local Densité Mobilité et accessibilité Patrimoine, paysage et identité Adaptabilité et évolutivité
Préserver les ressources naturelles et favoriser la qualité environnementale et sanitaire de l'aménagement	Eau Énergie Biodiversité Déchets Ressources Risques naturels et technologiques Santé
Promouvoir une vie sociale de proximité et conforter les dynamiques économiques	Économie du projet Fonctions de l'aménagement Ambiances et espaces publics Insertion et formation Attractivité, dynamiques économiques et filières locales

Chaque thème et champ d'action doivent se traduire en actions d'aménagement durable (tableau 1.11), mais la méthode ne fixe pas de cibles et ne restreint pas les indicateurs. La détermination de ces derniers est sujet à une concertation avec les parties prenantes, dont les élus, le public, les professionnels de l'aménagement et les partenaires [152], le tout régi par le système de management des opérations (SMO).

Tableau 1.11 Des champs d'action suggérés par HQE Aménagement sont associés à chaque thème.

Catégorie	Promouvoir une vie sociale de proximité et conforter les dynamiques économiques
Thème	#3: Ambiances et espaces publics
Champs d'action	Promouvoir une vie sociale de proximité et conforter les dynamiques économiques Ambiances sonores, visuelles ou climatiques Sécurité publique Animation Confort et partage des espaces publics

En ce sens, HQE Aménagement suit globalement la même logique que HQE bâtiment; son référentiel note que « la mise en place d'une approche de développement durable sur une opération d'aménagement est autant une question d'organisation qu'une question urbanistique, architecturale, économique, sociale, environnementale. » [152]. Le SMO

encadre la conduite efficace de l'opération, permet le dialogue entre les parties prenantes, l'optimisation de l'opération d'aménagement durable ainsi que la transparence et la traçabilité. De plus, HQE Aménagement énonce résolument la pertinence des pôles économique et sociale dans une démarche de quartier durable grâce à sa troisième catégorie : « promouvoir une vie sociale de proximité et conforter les dynamiques économiques »; thèmes qui sont quelques peu négligés dans LEED-ND dont les catégories principales relèvent surtout d'enjeux environnementaux.

Ce bref survol des méthodes LEED-ND et HQE Aménagement permet de noter des différences fondamentales dans leurs approches, qui reflètent leur adhésion à des visions complémentaires de l'urbanisme durable. Alors que la hiérarchisation des thèmes et la définition des actions est plus flexible et adaptée chez HQE Aménagement, LEED-ND n'intègre pas explicitement de mécanisme de consultation. Ainsi, ce dernier est plutôt axé sur la culture des aménageurs ou promoteurs qui souhaitent construire de nouveaux quartiers implantés dans de brefs délais [158,159].

Conclusion du chapitre

Plusieurs méthodes et outils d'évaluation ont été présentés dans ce chapitre. Les MEBD, bien déployées en Amérique du Nord et en Angleterre, intègrent surtout des indicateurs environnementaux mais prennent également en compte des aspects liés au confort et à la santé de l'utilisateur. Des outils avec l'ACV « sous le capot » permettent une évaluation strictement environnementale et parfois économique des matériaux de construction et d'autres aspects, tel que la consommation énergétique, du bâtiment. Finalement, les méthodes d'évaluation du quartier durable évaluent la conception et la planification d'un quartier à partir des principes d'urbanisme durable. Le chapitre qui suit prendra du recul pour observer les grands courants qui définissent les méthodes d'évaluation du bâtiment durable, sur la base de l'analyse multi-échelle complétée ci-haut.

Chapitre 2 : Analyse

Le chapitre précédent a présenté des MEDD visant le bâtiment, ses composantes et le quartier. La discussion qui suit vise à révéler les deux axes de développement qui ont formé, et qui continuent d'influencer, les méthodes d'évaluation des bâtiments. Le texte remonte à la source conceptuelle de l'évaluation du bâtiment durable puisque son amélioration, soit l'objectif principal de ce texte, doit passer par l'exploration des axes principaux qui la définissent. Ces axes sont d'une part, l'intégration du développement durable et d'autre part, l'amélioration de la rigueur scientifique. La dichotomie est inspirée de « l'hésitation permanente » décrite par Sénécal et Hamel [145], qui s'articule « entre la volonté de mesurer l'état d'avancement de la société face aux grands objectifs sociétaux ou environnementaux préalablement fixés et celle d'établir un état de la situation à partir d'une méthode scientifique rigoureuse ».

Un coup d'œil du côté de la littérature scientifique confirme l'existence de cette dichotomie. Plusieurs voix soulignent la philosophie du DD comme axe principal du développement des MEDD [160,161]. Cooper rappelle qu'une évaluation s'appuyant avant tout sur des calculs de flux matière/énergie ne peut être considérée comme « durable » puisqu'il néglige de prendre en compte les aspects socioéconomique et politiques du DD [162]. Beaucoup plus nombreux sont les textes plaidant pour l'instauration d'une plus grande rigueur scientifique dans l'évaluation, dont l'intégration de l'ACV ferait partie intégrante [163,164,165,166,167]. L'imposition potentielle de cibles d'émissions de CO₂ via des ententes internationales n'y est pas étrangère, tout comme l'abondance des acteurs scientifiques [91] soit des chercheurs, consultants et ingénieurs impliqués dans l'élaboration d'indicateurs environnementaux et qui veillent aux aspects techniques et à la rigueur de l'évaluation.

Deux questions s'ensuivent : comment atteindre une évaluation durable du bâtiment et du cadre bâti? Et, en deuxième lieu, comment améliorer la rigueur scientifique de l'évaluation du bâtiment et du cadre bâti?

Pour répondre à cette première question, il faut remonter à la source de la philosophie du DD et se pencher sur l'expérience des villes avec la démarche Agenda 21 Local (A21L), qui encadre et oriente la mise en œuvre le DD au niveau de collectivités locales et qui sera

présentée plus loin. Cette exploration débouchera sur une proposition de deux visions de l'intégration du DD à l'échelle du bâtiment: le *bâtiment-démarche*, caractérisée par une participation accrue des parties prenantes du bâtiment ainsi qu'un changement de la gestion de projet; et le *bâtiment-produit*, qui tient pour acquis que les principes du DD peuvent être respectés par une bonification d'indicateurs associés au bâtiment individuel.

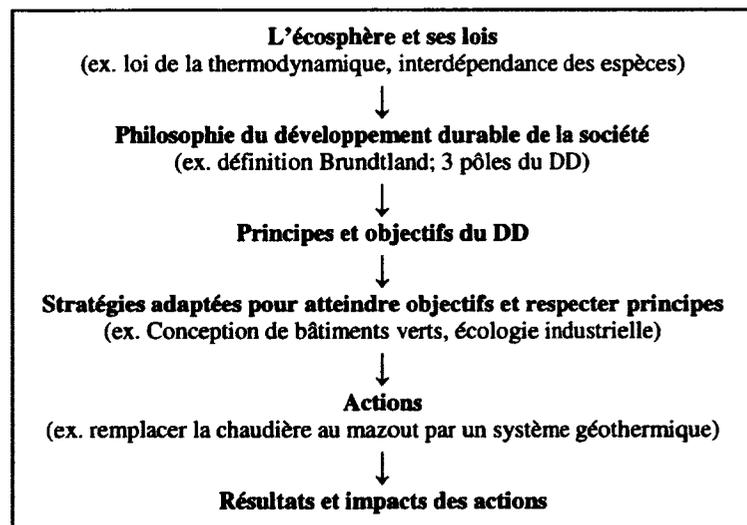
La deuxième question, soit comment la rigueur scientifique peut être améliorée dans les méthodes d'évaluation du bâtiment, sera explorée par la suite. Un tableau récapitulatif complètera chacune des sections.

2.1 L'intégration de la philosophie du DD dans les MEDD

Pour mettre en contexte le développement durable au niveau du bâtiment, il faut explorer la source du DD. Car au-delà d'éléments individuels pouvant être intégrés dans un bâtiment, le DD est avant tout une philosophie, qui peut être interprétée sous forme de *principes et objectifs* (premier pas conceptuel), ensuite en *stratégies* (deuxième pas) et finalement en *actions* (troisième pas).

Les indicateurs qui forment l'épine dorsale des méthodes d'évaluation se situent au niveau conceptuel des *actions* (Figure 2.1). Pour comprendre l'influence de la philosophie du DD sur l'évaluation du bâtiment durable, il faudra monter un peu plus haut sur l'échelle conceptuelle et revenir sur ses *principes et objectifs*.

Figure 2.1 Niveau d'approches du DD. Adapté de James & Lahti [168]



L'exploration en amont des actions du bâtiment individuel permettra de révéler des enjeux stratégiques de la traduction des principes et objectifs du DD en actions. Ces enjeux sont la participation des parties prenantes, l'équilibre entre les trois pôles du DD et le mode d'implantation de projets. L'expérience de villes implantant la démarche Agenda 21 Local permet de les mettre en contexte.

La démarche Agenda 21 Local et le développement durable

Ces quelques paragraphes exploreront de quelle manière la poursuite du DD s'articule dans A21L, démarche internationale visant à structurer chez des collectivités locales la poursuite du développement durable. Elle connaît un fort succès, étant implantée dans plus de 10 000 collectivités territoriales à travers le monde [169]. La première partie du nom « Agenda 21 » fait référence à un vaste plan d'action du même nom adopté au Sommet de la Terre à Rio, en 1992. Ce plan suggère quelques 2500 actions du DD à l'échelle mondiale, nationale et locale (cf. tableau 2.1).

Tableau 2.1 Thèmes et actions du plan Agenda 21. Sources : ONU [170] et RARE [171]

Thèmes	Exemples d'action proposée
Aménagement du territoire, maîtrise de la consommation d'espace	Lutter contre la dégradation des sols, notamment en intensifiant les activités de conservation des sols, de boisement et de reboisement
Gestion raisonnée des ressources naturelles et des déchets	Fournir une assistance technique à des opérations informelles de réutilisation et de recyclage des déchets
Développement social et culturel équitable et solidaire	Permettre aux femmes de participer pleinement à la prise des décisions
Modification des modes de consommation et de production	Orienter la consommation par le biais des marchés publics
Développement de transports propres et d'une mobilité durable	Adopter [...] des programmes de transport urbain qui privilégient les véhicules à forte densité d'occupation
Solidarité internationale et coopération décentralisée	Recourir plus fréquemment à des mécanismes de coopération à long terme entre [...] organismes publics et privés ayant leur contrepartie dans d'autres pays ou régions
Démocratie locale participative	<i>28e chapitre</i>

Des 40 chapitres d'Agenda 21, le 28^e est d'intérêt particulier, puisqu'il reconnaît le rôle déterminant des collectivités locales dans la mise en œuvre du développement durable :

« Il faudrait que toutes les collectivités locales instaurent un dialogue avec les habitants, les organisations locales et les entreprises privées afin d'adopter un programme Action 21¹ à l'échelon de la collectivité. » Organisation des nations unies (ONU) [170]

C'est le texte constitutif de la démarche d'Agenda 21 Local. La définition, raffinée cinq ans plus tard [172], y greffe les qualificatifs *multisectoriel*, incluant les dimensions environnementale, sociale, économique et de gouvernance, et *participatif*, soulignant l'importance de la participation des citoyens, élus et acteurs territoriaux.

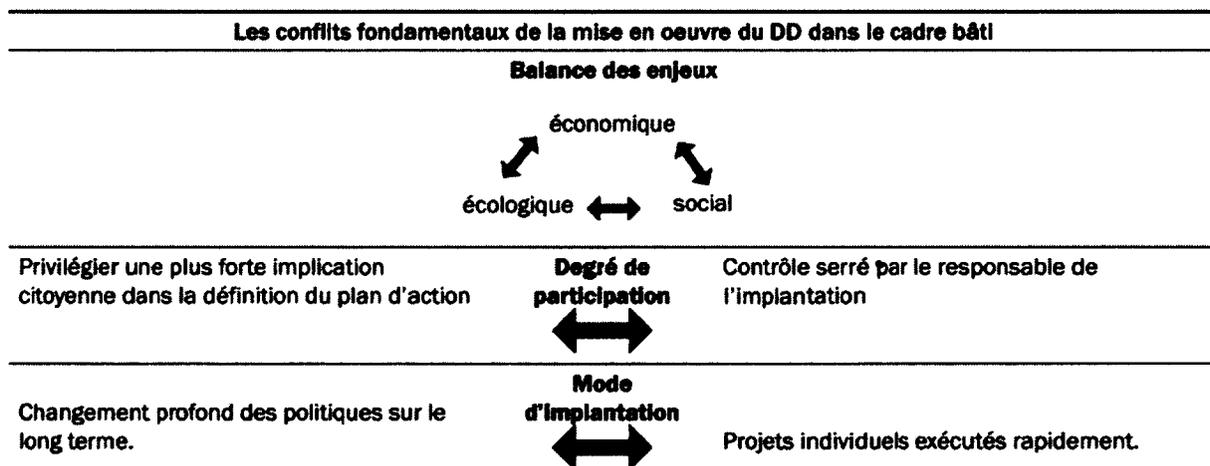
La définition originale d'A21L témoigne d'un double objectif [173]. Le premier objectif est celui de la *démocratie* : la collectivité doit entretenir un dialogue avec les citoyens et les autres parties prenantes. Selon le deuxième objectif, la collectivité doit fonder ses actions sur les trois pôles du DD : c'est l'objectif *durabilité*. À noter, les conceptions du quartier durable avancées par Roseland [149] et par la méthode HQE Aménagement, présentées dans la section précédente, reflètent ces objectifs. Une démarche réussie d'A21L poursuivrait donc les deux méta-objectifs *démocratie* et *durabilité* simultanément, bien que les villes, dans la pratique, privilégient soit l'un soit l'autre. Ce double objectif soulève une question de fond : est-ce que l'écologie a une valeur intrinsèque [174], ou doit-elle toujours être soumise à un processus démocratique?

En clair, la mise en œuvre du DD pose trois conflits principaux. Premièrement, l'équilibre entre les trois pôles constitutifs du DD est difficilement atteignable dans la pratique. Les sphères économiques, environnementales et sociales imposent toutes des priorités différentes dont l'adéquation peut s'avérer ardue. Deuxièmement, la participation des parties prenantes peut soit être privilégiée, ou encore être plus limitée et faire l'objet d'un contrôle serré. À Linköping, en Suède, par exemple, le comité municipal responsable de la démarche A21L n'a pas suffisamment impliqué les citoyens dans la définition des stratégies et actions de DD. Ceux-ci ont alors abandonné la démarche, la jugeant trop bureaucratique et ont imputé la responsabilité aux élus municipaux [175]. Le troisième conflit met en opposition la poursuite

¹ Les expressions « Action 21 » et « Agenda 21 » sont interchangeables.

d'objectifs à long terme et l'implantation de projets à court terme. Le développement durable ne peut être mise en œuvre du jour au lendemain, nécessitant plutôt un changement progressif et significatif des façons de faire [2]. Dans la pratique toutefois, des collectivités tendent à privilégier une implantation de projets individuels; stratégie assurant plus de rapidité et offrant des résultats immédiats, malgré qu'elle soit plus fragmentaire et superficielle [173]. A21L ne précise par d'orientation claire à cet égard [176]. La figure 2.2 résume ces conflits. La première rangée montre le conflit de la « balance des enjeux », soit le difficile équilibre entre enjeux économiques, écologiques et sociaux. La deuxième exprime le conflit du « degré de participation » qui oppose une démarche caractérisée par une forte implication citoyenne à une qui soit dominée par les autorités municipales. Finalement, la troisième rangée illustre le conflit du mode d'implantation, qui se manifeste par la recherche, d'un côté, d'une modification profonde des politiques, et de l'autre, de changements visibles et rapides.

Figure 2.2 Les conflits fondamentaux de la mise en œuvre du DD dans le cadre bâti, d'après Feichtinger et Pregernig, [173]



L'expérience des collectivités avec la démarche A21L reflète les défis associés de l'application de la philosophie du DD: la participation des parties prenantes, l'équilibre entre les trois pôles du DD et le mode d'implantation de projets. Ces tensions fondamentales se répercutent à l'échelle du bâtiment et seront explorées ci-dessous.

Le DD et le bâtiment

« [...] *urban designers and planners, architects, the makers of building materials - indeed, anyone associated with creating the built environment - have a major but as yet unrealized role to play in enhancing the sustainability of our cities in the 21st Century.* » Rees [177]

Le présent document postule que l'intégration du DD dans l'évaluation du bâtiment est un courant essentiel de son avenir. Comment la philosophie du développement durable peut-elle faire évoluer le bâtiment durable? Comment atteindre une balance entre les trois pôles du DD? Le bâtiment durable encourage-t-il un changement de vision chez les maîtres d'œuvre et concepteurs ou évalue-t-il uniquement les aspects de projets individuels?

La section précédente a indiqué que la démocratie est un des méta-objectifs du DD, tout en notant que la mise en œuvre du DD posait un conflit associé au degré de participation des parties prenantes. Interprété à l'échelle du bâtiment durable, ce conflit soulève la question : comment le projet de bâtiment durable peut-il être démocratique à l'égard de ses parties prenantes?

Les paragraphes qui suivent exploreront l'interprétation du DD à l'échelle du bâtiment, à la lumière des conflits fondamentaux révélés ci-dessus. Le texte propose deux grandes visions: la première est caractérisée par une participation accrue et un changement dans la gestion des projets - c'est le bâtiment qui devient durable par la démarche, ci-dessous appelé *bâtiment-démarche*; la deuxième tient pour acquis que les principes du DD peuvent être respectés par une bonification d'indicateurs associés au bâtiment individuel – une vision ci-dessous nommé le *bâtiment-produit*.

Le bâtiment-démarche

Selon la vision du *bâtiment-démarche*, l'aspect démarche doit trouver son compte dans toute évaluation du bâtiment durable. La plupart des villes privilégient l'approche « projet » tel que discuté plus haut; il n'est donc pas surprenant que la plupart des méthodes d'évaluation du bâtiment durable privilégient une conceptualisation du bâtiment comme produit, assurant une implantation plus rapide. Toutefois, concevoir le bâtiment comme produit, indépendamment

du projet qui mène à sa création –nuirait à son évaluation [160,178]. La gestion et la planification environnementales devraient alors constituer des éléments plus importants dans l'évaluation [179].

Dans un texte prônant cette vision Kaatz *et al.* [178] prônent, entre autres, les principes d'implication et de sensibilisation des parties prenantes (PP) dont l'équipe de conception, les gestionnaires de bâtiment et les usagers [161] :

- *Implication accrue des parties prenantes et intégration de leur savoir à des moments clés du processus décisionnel*
- *Sensibilisation des parties prenantes quant à l'importance des enjeux du DD.* Au-delà des résultats d'une consultation, l'acte même de les consulter permet leur sensibilisation aux enjeux du DD, contribuant au rayonnement et à la pérennisation de cette philosophie. Ceci est en opposition avec un projet de bâtiment durable typique, où ce ne sont qu'un nombre restreint de personnes qui y travaillent directement, et qui sont par extension sensibilisés au DD.
- *Communication et transparence de l'évaluation.* Les parties prenantes s'intéressent à différents types d'information découlant d'une évaluation du bâtiment. Ainsi, certaines cherchent à connaître le pointage final, et d'autres, la consommation énergétique ou la qualité de l'air de l'édifice [161]. Les résultats doivent donc être exprimés de manière à refléter cette diversité d'intérêt. Au-delà du résultat final, toutes les décisions et calculs associés à l'évaluation doivent également être accessibles facilement à qui le demande [160].

Une meilleure démarche rendrait *per se* un bâtiment plus durable selon Kaatz *et al.*, incarnant la vision du *bâtiment-démarche*, qui se positionne par rapport aux conflits fondamentaux de la mise en œuvre du DD présentés dans la section précédente. La vision est caractérisée par un *degré de participation* accru des parties prenantes à des moments-clés du processus décisionnel contribuant du coup à une meilleure démocratie participative, ainsi qu'un *mode d'implantation* privilégiant le long terme et visant le changement de fond, et ce grâce à une meilleure sensibilisation des parties prenantes aux principes du DD.

Pour améliorer la démarche associée à un projet de bâtiment durable, les chercheurs se sont inspirés de l'évaluation des impacts environnementaux (EIE)¹ et *Process Protocol*, deux méthodologies connues d'évaluation environnementale. Le premier, outil de gestion environnementale le plus employé au monde [180], a pour objet de prévoir les effets environnementaux d'interventions proposées avant qu'elles ne soient mises en œuvre [181]. Le processus de l'EIE met de l'avant l'importance de la consultation des parties prenantes et de la diffusion de l'information. Le deuxième, *Process Protocol*, est une procédure de gestion des projets de construction développée à l'Université de Salford pour l'industrie anglaise de la construction [182]. Celle-ci se fonde sur une définition globale d'un projet de construction - regroupé en 8 étapes, chacune divisée en 10 phases - pour permettre un niveau élevé de collaboration entre les participants [183]. La consultation et la collaboration qui caractérisent ces deux méthodologies contribuent à améliorer la démocratie participative au sein de la proposition des chercheurs.

Discussion

HQE bâtiment, HQE Aménagement et SBTool sont les méthodes étudiées qui respectent l'esprit des principes énoncés par Kaatz et al. Ce constat ne surprend pas, puisque ce sont les trois méthodes qui intègrent des composantes de gestion ou de planification. Même si absent des variantes LEED qui s'adressent à des bâtiments commerciaux, le CBDCa accorde des points si un processus de design intégré (PCI) est appliqué dans sa variante résidentielle [85]; processus dont un des objectifs est l'intégration des parties prenantes dans la conception. HQE bâtiment et Aménagement indiquent que l'implication des parties prenantes du bâtiment ainsi que l'analyse des attentes des futurs utilisateurs sont importantes. Le guide d'utilisation de HQE formule une critique des approches BREEAM et LEED qui exprime bien cette position:

« Les formules anglaises et américaines sont pour l'essentiel des méthodes de cotation [...] Il nous a semblé préférable de partir du projet, de décrire une méthode, une

¹ En anglais, *Environmental Impact Assessment (EIA)*.

organisation pour aller le plus loin possible sur certains objectifs. » Association HQE [99]

Du côté de SBTool les principes de communication et de transparence prônée par Kaatz *et al.* sont reflétées par l'intégration du PCI et la communication des résultats sous forme de *diagramme en toile* qui offre simultanément une vue globale de la performance du bâtiment, ainsi que celle de catégories individuelles.

L'aspect démarche passe donc, entre autres, par une intégration accrue des parties prenantes; cette piste pourrait toutefois mettre en évidence des tensions entre les objectifs DD, et ceux issus d'une consultation démocratique.

Une recherche portant sur 5 projets de développement immobilier en Angleterre dépeint l'enjeu. Les parties prenantes, fortement impliquées dans l'élaboration et la conception du projet, ont été sondées sur les raisons pour lesquelles ils n'avaient pas intégré certaines stratégies durables dans les bâtiments (conventionnels ou durables). La réponse la plus communément citée était que la stratégie ou l'option *durable* n'avait pas été prise en compte [184] ce qui indiquerait un manque de sensibilisation au regard des enjeux d'un bâtiment durable. Sénécal et Hamel [145] citent une démarche de verdissement des quartiers au Canada. « Le résident moyen, notent les chercheurs, préfère encore habituellement les aménagements à faible densité et les styles de vie axés sur l'automobile ». Ces résultats sembleraient traduire un manque de sensibilisation ou d'adhésion des parties prenantes au regard de la philosophie du DD, problème auquel les auteures de la recherche anglaise évoquent quelques des pistes de solution. Le manque de savoir et de savoir-faire des professionnels du cadre bâti devrait être pallié par une offre de formation, de développement professionnel et d'information sur les enjeux du DD; offre qui selon les auteures est bien existante mais dont les répercussions se manifesteront à plus long terme. Williams et Dair font également état des acheteurs de maison, qui dictent le marché, mais dont la demande ne reflète pas encore un intérêt marqué pour des bâtiments durables. Finalement, il faudrait que des politiques et lois favorables à l'essor du bâtiment durable soient mises en place et appliquées, estiment les auteures.

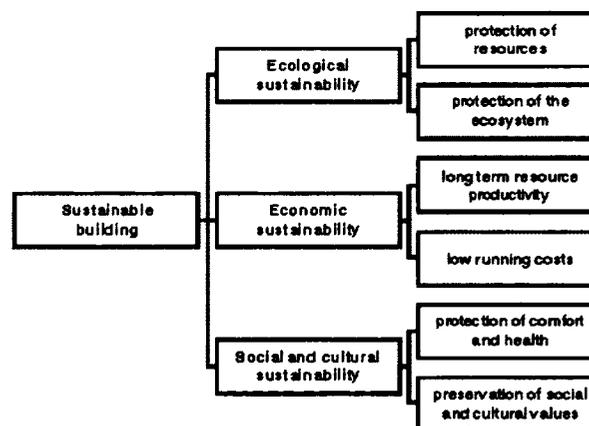
Le concept du *bâtiment-démarche* appuie les changements de fond des pratiques de construction, visant à transcender le bâtiment tel qu'unité. Il contribue à l'amélioration de l'évaluation au sein des MEBD grâce à un système de gestion du processus (PCI, SMO de HQE), de l'implication des parties prenantes et d'une meilleure communication et transparence de l'évaluation. La section qui suit s'intéresse au *bâtiment-produit*, qui propose une vision complémentaire tablant sur l'amélioration du bâtiment comme *produit*, en opposition à la *démarche*.

Le bâtiment-produit

Si l'on articule la vision du *bâtiment-produit* au regard des conflits fondamentaux discutés à l'introduction du chapitre, il serait possible d'affirmer que la poursuite du DD s'y exprime par un meilleur équilibre entre les trois pôles du DD. Cela se traduit par la bonification des indicateurs.

La conceptualisation du bâtiment durable de Kohler est un exemple de cette vision (figure 2.3). Selon ce dernier, un bâtiment atteint la durabilité sur trois aspects : l'écologie, l'économie ainsi que le social et culturel. Or, il appert que le pôle *écologie* est actuellement plus important dans l'évaluation. L'expression d'un meilleur équilibre entre les trois pôles du DD entraînerait donc un plus grand nombre d'indicateurs sociaux et économiques.

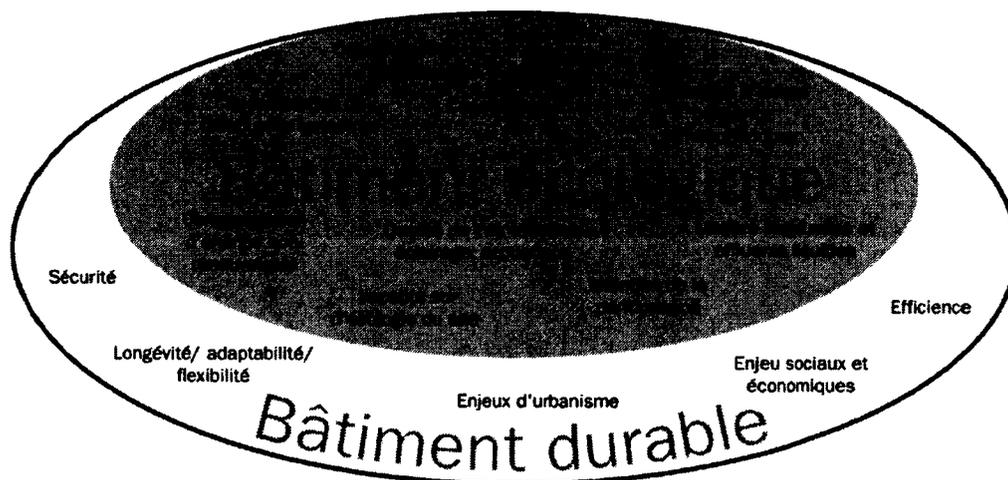
Figure 2.3 Les éléments du bâtiment durable. Source : Kohler [164]



C'est pourquoi Larsson, un des auteurs de SBTool, propose des principes additionnels qui devraient se greffer aux MEBD, dont la sécurité, la longévité/adaptabilité/ flexibilité, les

enjeux sociaux et économiques ainsi que l'efficacité (cf. figure 2.4). Il souligne enfin l'importance de prendre en compte l'urbanisme durable dans l'évaluation du bâtiment durable; un point de vue selon lequel la juxtaposition de bâtiments dont chacun intégrerait des actions découlant de principes d'urbanisme durable, par exemple leur construction à proximité d'une station de train, permettrait l'éclosion d'un quartier durable.

Figure 2.4 Les éléments du bâtiment durable selon Larsson. Redessiné d'après Larsson [92]



SBTool représente la vision du *bâtiment-produit* grâce à l'abondance des indicateurs qui permettraient d'améliorer la durabilité du bâtiment individuel, entre autres [89] :

- **Indicateurs sociaux, culturels et de perception** : Réduction des accidents de chantier, sécurité générale des habitants ou usagers, sécurité pendant les pannes de courant ou d'eau, tremblements de terre ou incendies, pertinence sociale de l'usage qui est fait du bâtiment.
- **Indicateurs économiques**: optimisation du coût du cycle de vie du bâtiment, viabilité financière du bâtiment, abordabilité des loyers résidentiels ou commerciaux, soutien de l'économie locale.
- **Longévité/ adaptabilité/ flexibilité** : adaptabilité du bâtiment à d'autres usages éventuels, adaptabilité et contrôlabilité des systèmes techniques, adaptation éventuelle à d'autres systèmes de chauffage.

- **Efficienc**e : efficience spatiale et volumétrique du bâtiment, schéma de circulation permettant une meilleure connectivité.
- **Enjeux d'urbanisme** : Proximité d'une offre de transport en commun adéquate, services de proximité, bâtiment s'intégrant dans la communauté.

Il y lieu de noter que certains indicateurs proposés dans SBTool relèvent aussi de la vision *bâtiment-démarche*. Par exemple, la *réduction des accidents de chantier* pourrait imposer un processus de gestion au constructeur, tel que discuté plus loin. La plupart des indicateurs sont peu intégrés à des méthodes autres que SBTool. Cette situation peut s'expliquer par le fait que cette MEBD découle d'un projet de recherche qui est à l'abri de compromis d'ordre pratique. Ainsi, certains indicateurs avancés par SBTool demanderaient un travail trop important pour que leur adoption soit envisageable dans le contexte actuel, par exemple : « *évaluer la pertinence sociale de la fonction principale du bâtiment, grâce à l'avis d'un panel d'experts qui inclurait un économiste et un sociologue* ». D'autres demeurent incomplets car ils manquent des explications ou une élaboration, ce qui semblerait indiquer qu'ils sont répertoriés en attendant un développement ultérieur, comme par exemple « *Réduction des champs électromagnétiques* ». Cela dit, d'autres indicateurs qu'inclut SBTool pourraient intégrer les MEBD étudiées. Les paragraphes qui suivent en présentent quelques-uns qui contribueraient à l'évolution de l'évaluation du bâtiment selon la vision *bâtiment-produit*.

Chantier sécuritaire et responsable

SBTool intègre un indicateur des accidents de chantier, qui représente le rapport du nombre de blessures nécessitant une visite à l'hôpital par tranche de cent mille heures travaillées. Exprimé ainsi, l'indicateur relève de la vision *bâtiment-produit* puisqu'il est associé à un bâtiment précis. Toutefois, BREEAM ou de HQE proposent une intégration qu'ils associent plutôt à la gestion. La MEBD française englobe la gestion responsable du chantier dans son SMO [86] en suggérant que les enjeux de confort et de santé, que les concepteurs s'efforcent d'instaurer au niveau du bâtiment, devrait inclure le personnel du chantier et les riverains. Il indique que le chantier devrait être géré de manière à offrir un milieu de travail sécuritaire aux travailleurs et visiteurs, mais aussi pour réduire les nuisances qui en découlent pour les riverains (niveau sonore, heures d'opération, etc.) et suggère des mesures que le maître

d'ouvrage peut mettre en place afin d'y remédier. BREEAM intègre un indicateur optionnel en lien avec la gestion responsable du chantier, demandant au constructeur ou maître d'ouvrage d'être accrédité au programme volontaire *Considerate Constructors Scheme* qui s'appuie entre autres sur la gestion écologique, responsable, respectueux et sécuritaire du chantier [185]. Finalement, LEED impose une gestion strictement environnementale du chantier, en préconisant le contrôle de l'érosion qu'il pourrait causer ainsi qu'une gestion écologique des déchets, sans que ces aspects sociaux ne soient pris en compte.

Sécurité et sentiment de sécurité chez les occupants ou usagers

L'enjeu de la sécurité des individus, indicateur avancé par SBTool, relève aussi de la sphère sociale du DD [186]. Dans les bâtiments, la sécurité peut être améliorée grâce à la méthodologie de la prévention du crime par l'aménagement du milieu (PCAM) [187] qui prône la mise en place de principes d'aménagement pour décourager les actes criminels et augmenter le sentiment de la sécurité des usagers ou habitants. Par exemple, BREEAM [83] accorde des points pour l'application d'une norme développée par la police anglaise nommée « Secured by Design » [188]. Elle suggère plusieurs principes de conception, par exemple un éclairage adéquat dans des lieux plus susceptibles de présenter des risques de crime (garage, stationnements, etc.) et la plantation d'éléments d'aménagement paysager de faible hauteur en périmètre des chemins piétonniers afin d'optimiser la possibilité d'une surveillance naturelle ou formelle des lieux. [189]. LEED et HQE n'intègrent pas ces principes et SBTool énonce l'indicateur sans le développer; seul BREEAM évoque un justificatif qui appuie son utilisation.

Optimisation du coût du cycle de vie du bâtiment

L'inclusion de cet indicateur économique, avancé par SBTool, semblerait être une évidence. Si l'ACV projette les impacts environnementaux des bâtiments sur leur cycle de vie, l'analyse du coût du cycle de vie (ACCV) est son homologue économique, qui applique la pensée « cycle de vie » pour évaluer les coûts de construction, d'exploitation, d'entretien et de fin de vie du bâtiment. L'ACCV présente l'avantage d'exprimer un résultat en monnaie, référent familier à tous [190], mais son utilisation n'est pas exigée de manière formelle dans une MEBD. Il s'immisce plutôt dans les MEBD en tant que principes associés entre autres à la

longévité¹. La variante canadienne de LEED intègre un indicateur optionnel qui accorde des points pour un bâtiment caractérisé par la longévité des matériaux et systèmes qui le composent, ainsi qu'un plan de leur remplacement [191]. En stipulant la longévité des éléments du bâtiment, LEED Canada suggère que la réduction des coûts de cycle de vie s'ensuivra, ce qui est vrai dans la plupart des cas [192]. HQE met de l'avant un indicateur semblable qui évoque la « prise en compte de la durée de vie des produits, systèmes et procédés par rapport à leur usage dans le bâtiment » mais contrairement à LEED qui réfère à une norme nationale, la MEBD française laisse au maître d'œuvre le soin de justifier ses efforts. Cette dernière stipule également des dispositions techniques pouvant être mises en œuvre à l'étape de la conception, par exemple une simplicité de conception, une facilité de réparation et un accès simple à des fins de nettoyage et d'entretien qui sous-entendent une exploitation moins coûteuse.

Pourquoi pas un indicateur, comme le suggère SBTool, du coût de cycle de vie exprimé en dollar par mètre carré pour 25 ans d'existence du bâtiment? L'absence d'un indicateur spécifique concernant l'ACCV trahit sa faible adoption dans le milieu, dû à un manque général de motivation des acteurs, des problèmes d'ordre contextuels et méthodologiques, ainsi qu'un manque de données fiables [193]. Les dépenses court-terme l'emportent par exemple sur des préoccupations que les maîtres d'œuvre appréhendent comme étant éloignées, tel que les budgets de fonctionnement [194]. Par conséquent, au lieu de se fier de manière objective sur le résultat d'une ACCV du bâtiment, les maîtres d'œuvre sont portés à favoriser les solutions qu'ils préconiseraient de toute façon, préférant ne pas s'investir dans des solutions dont les inconnus sont nombreux et les avantages sont incertains [190]. Plusieurs bâtiments durables sont néanmoins caractérisés par des stratégies cohérentes avec l'ACCV, comme par exemple une meilleure isolation ou la longévité, tel que discuté plus haut.

Un outil comme Invest, présenté dans la section précédente, constituerait une manière conviviale et rapide d'effectuer une ACCV sommaire du bâtiment complet, en autant que

¹ Le terme *longévité* est utilisé comme synonyme de *durabilité* pour éviter toute association au développement durable.

l'utilisateur soit conscient des limites de l'outil [190]. Finalement, l'indicateur durabilité, proposée dans la variante canadienne de LEED qui réfère à une norme externe, est une manière simple, quoique moins rigoureuse qu'une ACCV, de rendre compte de cet enjeu économique.

D'autres indicateurs socioéconomiques intéressants suggérés par SBTool seraient *l'abordabilité des loyers résidentiels ou commerciaux du bâtiment*, indicateur qui n'est pas inclus dans une MEBD commerciale, et dont l'intention serait de reconnaître des efforts visant à rendre les loyers résidentiels (par exemple [195]) et commerciaux abordables pour démocratiser l'accès au bâtiment écologique et décourager le phénomène des bâtiments écologiques « de luxe ». De plus, l'indicateur *soutien de l'économie locale*, également pertinent, pourrait s'exprimer par une exigence liée à la mise en place d'une politique d'achat de matériaux et produits locaux. LEED préconise l'achat de matériaux extraits et transformés dans un rayon de 800 km du chantier du bâtiment... mais la justification de l'indicateur a trait à la réduction appréhendée de l'impact environnemental et non à l'aspect économique [84]. Les autres MEBD étudiées n'incluent pas cet indicateur.

SBTool propose aussi des indicateurs relevant des principes de longévité/adaptabilité/flexibilité et d'efficacité, explorés ci-dessous. Les principes de flexibilité et l'adaptabilité visent, entre autres, la prévision d'un changement d'utilisation dès la conception en préconisant par exemple de distances plancher-plafond plus grandes, ce qui permet la conversion d'une typologie résidentielle en commerciale et vice-versa, ou encore une structure capable de supporter un poids supplémentaire qu'imposerait le prolongement éventuel du bâtiment en hauteur afin d'y rajouter des étages [196]. Il s'avérerait difficile d'exiger qu'un bâtiment engage des coûts supplémentaires pour ces compromis puisque les changements d'usage du bâtiment peuvent survenir une décennie voire un demi-siècle après la construction de l'ouvrage. Dans le domaine résidentiel, le principe serait toutefois intéressant si l'adaptation se faisait non pas sur l'architecture de la structure, mais sur des éléments d'architecture intérieure, tel que préconisé par le concept Bâti-Flex [197] élaboré par la SCHL et qui précise des stratégies de conception permettant à un logement d'être adapté avec le temps afin de subvenir aux besoins changeants des habitants. Par ailleurs, le principe

d'adaptabilité est souvent associé aux changements climatiques, dont les impacts sur les bâtiments pourraient se manifester par un risque élevé d'inondations ou encore d'attaques de termites, pour ne nommer que quelques impacts. Les stratégies pour y faire face sont demeurent à un stade préliminaire [198]. Finalement, le principe d'efficience tel que suggéré par Larsson concerne l'aménagement et le fonctionnement efficace du bâtiment, mais les indicateurs de SBTool en lien avec principe sont peu explicités. L'efficacité de l'aménagement spatial et volumétrique sont certes intéressants puisqu'ils encouragent une occupation plus dense et donc moins gourmande en énergie et ressources, mais les MEBD à l'étude n'intègrent actuellement pas d'indicateurs qui en relèvent. Cela pourrait être attribuable au fait que l'impératif économique impose de manière naturelle l'optimisation de la superficie fonctionnelle du bâtiment vis-à-vis de sa superficie totale. HQE prône néanmoins une disposition efficace des espaces, mesure qui concerne toutefois le confort des usagers, et qui vise la réduction des nuisances acoustiques attribuables aux déplacements et à des locaux qui seraient adjacents mais incompatibles sur le plan acoustique.

Les principes énoncés par Larsson qui caractérisent le bâtiment durable selon la vision du *bâtiment-produit*, explorés ci-haut, ne sont pas intégrés de manière systématique dans les MEBD à l'étude. Le thème de l'urbanisme durable fait exception car il est bien pris en compte par les méthodes LEED, BREEAM et HQE. Les indicateurs qui en découlent encouragent la densification urbaine et la réduction des impacts liés à l'infrastructure. De plus, ils favorisent un cadre bâti susceptible d'engendrer des comportements durables : proximité d'espaces verts, services de proximité. Le tableau 2.2 en relève quelques-uns dans la méthode LEED.

Tableau 2.2 Indicateurs de la méthode *LEED* découlant d'enjeux d'urbanisme. Source : CBDCa, [191]

Objectif cité	Exemple d'indicateur
Concentrer le développement dans des secteurs urbains déjà dotés d'infrastructures, protéger les terres inexploitées et conserver les habitats et les ressources naturelle	<p>Construire un bâtiment sur un terrain qui est situé à l'intérieur d'un rayon de 800 mètres d'au moins 10 services de base</p> <p>Construire sur un terrain déjà aménagé</p> <p>Sur un terrain nivelé qui répond à l'exigence d'une densité minimale de 13 800 mètres carrés à l'hectare</p>
Réduire la pollution et les impacts du développement des terrains qui résultent de l'utilisation de l'automobile	<p>Implanter le projet à une distance de marche d'au plus 800 mètres d'une gare de train, d'un train de banlieue ou d'une station de métro existants.</p> <p>Implanter le projet à une distance de marche d'au plus 400 mètres d'au moins un arrêt d'au moins deux trajets d'autobus publics, scolaires ou privés</p>
Réduire la pollution et les impacts du développement des terrains qui résultent de l'utilisation de l'automobile	Fournir des espaces de stationnement couverts pour les bicyclettes en quantité suffisante pour au moins 15 % des occupants du bâtiment

Des propositions d'indicateurs autres que celles avancées par SBTool, faites dans le cadre d'une MEBD récente, ainsi qu'un projet de recherche sur l'évaluation du cadre bâti durable seront abordées ci-dessous.

La qualité esthétique ou la beauté de l'ouvrage

La MEBD *Living Building Challenge* (LBC) fournit un argument éloquent quant à l'inclusion d'un indicateur relevant de l'esthétique du bâtiment dans son évaluation. Les fondateurs de cette dernière prônent la vision du bâtiment *régénérateur* ou *restaurateur* qui contribue à améliorer son milieu [199]. Tout bâtiment devrait exister comme une fleur, argumentent-ils, en ce sens qu'il doit utiliser les ressources qui sont à sa disposition, s'adapter aux conditions environnantes, produire de lui-même sa propre énergie et son eau. La beauté des lieux, un indicateur associé à une conception plus holistique du bâtiment [91] y est incluse : « La beauté est un élément préalable à la prise en charge de notre milieu pour le préserver, le conserver et l'utiliser à son meilleur » Living Building Institute [199]. Pour l'instant, ce critère ne fait pas partie des autres méthodes étudiées, bien que SBTool encourage « l'adéquation du bâtiment avec son entourage » [89]. Au-delà de la beauté, l'indicateur

pourrait entraîner un impact positif sur la fréquentation d'un lieu et l'utilisation de ses services (Carmona et al., 2003 cité par [200]).

Autres visions

Certains chercheurs soutiennent que la philosophie du DD n'est pas adaptée à l'évaluation du cadre bâti. Dans un livre sur le sujet, Brandon et Lombardi [2] notent les problèmes liés à l'interprétation du DD, en particulier son manque de cohérence à l'égard de l'évaluation, son vocabulaire trop diversifié, la faible justification théorique qui la sous-tend et la vue réductrice qu'elle impose. Le cadre d'évaluation qu'ils avancent est composé de 12 cercles-de-lois inspirés du philosophe Dooyeweerd, exprimés dans le tableau 2.3. Les cercles-de-lois sont des noyaux irréductibles qui représentent différents aspects de la réalité [201].

Tableau 2.3 Les cercles-de-lois de Dooyeweerd et les enjeux du développement du cadre bâti qui y sont associés. Source : Brandon et Lombardi [2]. Traduction anglais-français basée sur Courthial [202]

Cercle-de-lois	Lien dans le cadre d'une démarche de développement durable	Exemples de questionnement soulevé
Numérique	Aspects chiffrés	Quelle est la durée de l'intervention?
Spatial	Espaces, formes et aspects connexes	La densité envisagée est-elle adaptée à chacune des parties prenantes?
Kinématique	Transport, mobilité	L'intervention permet-elle d'améliorer la mobilité de la zone, et ce, à long terme?
Physique	Cadre physique; masse et énergie	Existe-t-il un plan de gestion environnementale pour la zone?
Biotique	Santé, Biodiversité, éco-protection	Quelle est la capacité portante de la zone visée?
Sensitif	Perception des gens au regard de l'environnement	Une planification de l'aspect sécurité est-elle possible pour la zone?
Logique	Analyse et les connaissances formelles	L'intervention découle-t-elle d'une analyse scientifique?
Historique	Créativité et développement culturel	L'intervention inclue-t-elle un programme de préservation de l'héritage culturel de la zone?
Symbolico-linguistique	Communications et média	Les infrastructures de communication seront-elles améliorées?
Social	Climat et cohésion sociaux	L'intervention favorise-t-elle la coopération et les associations entre individus et institutions?
Économique	Efficiency et évaluation économique	Quelles sont les retombées financières pour les parties prenantes?
Esthétique	Attrait visuel et architecture	L'intervention améliore-t-il le caractère esthétique des bâtiments à court et à long terme?
Juridique	Droits et responsabilités	Est-ce que les droits des promoteurs, propriétaires, utilisateurs ont été pris en compte à long-terme?
Moral	Enjeux éthiques	Est-ce que le plan de développement réduit les inégalités sociales?
Pistique	Engagement, intérêt et vision	L'intervention rencontre-t-elle les exigences des plan régionaux-nationaux?

Nijkamp juge que les auteurs proposent un cadre qui a beaucoup de mérite, entre autres puisqu'il aide à mieux comprendre l'interaction complexe des enjeux de l'évaluation du DD dans le cadre bâti [203]. Deakin n'est pas du même avis, faisant même une critique musclée de la proposition qui selon lui est accablé de problèmes fondamentaux [204]. Il souligne qu'elle est subjective puisque tiré d'une philosophie trop éloignée voire méfiante du milieu scientifique et technique; le vocabulaire des cercles-de-loi n'évoquerait par exemple que très peu aux urbanistes ou autres concepteurs du cadre bâti, et ces manquements feraient donc dérailler la proposition.

Le caractère holistique de la proposition des chercheurs ne fait pas de doute : l'attrait visuel, la cohésion sociale, le cadre juridique sont des exemples d'aspects qui ne sont pas toujours associés au trois pôles plutôt générales du développement durable. Elle pourrait alors trouver son utilité non pas au niveau pratique, mais conceptuel, pour éveiller de nouvelles pistes dans l'évaluation du cadre bâti.

Conclusion de la section

Cette section du texte a exploré de quelle manière la philosophie du DD influence l'évaluation du bâtiment durable. Il s'est d'abord penché sur l'*Agenda 21 Local*, démarche au niveau des collectivités qui vise à opérationnaliser le DD, analyse qui a mis en évidence trois enjeux principaux du DD, soit l'équilibre entre ses trois pôles, le niveau d'implication des parties prenantes et le mode d'implantation des projets. Traduits à l'échelle du bâtiment, ces enjeux définissent deux axes d'intégration du DD dans l'évaluation du bâtiment durable : la première mise sur la qualité de la démarche qui y est associée, privilégiant le long terme, la participation des parties prenantes et leur sensibilisation.

La deuxième vision promeut la bonification des indicateurs d'évaluation du bâtiment individuel, par la recherche d'un équilibre des trois pôles du DD et l'intégration d'indicateurs sociaux et économique, et associés entre autres à des principes de longévité/adaptabilité/flexibilité pour atteindre une meilleure balance des trois sphères du DD dans l'esprit de la vision *bâtiment-produit*. Contrairement à la vision *bâtiment-démarche*, il ne contribue pas à augmenter le degré de participation des parties prenantes, et vise surtout un mode d'implantation privilégiant l'exécution de projets individuels.

Ces deux visions sont complémentaires puisqu'elles peuvent toutes deux contribuer à améliorer l'évaluation du bâtiment durable. Sans qu'une vision soit favorisée plus que l'autre, il faudra que toute évolution des MEBD soit située par rapport aux conflits fondamentaux afin de mieux s'enligner avec la philosophie du développement durable. Quelques-unes des évolutions pouvant en découler seront discutés plus loin dans la section « Projections et Recommandations ».

Le tableau 2.4 résume la section:

Tableau 2.4 Axes de développement de l'évaluation selon la philosophie du DD

Axe « développement durable »				
Visions	Impact sur l'évaluation	Mots clés	Outils	MEDD intégrant ces principes
Le bâtiment démarche	Mise en place de systèmes de gestion, intégration de la sensibilisation, qualité du processus, communication, consultations, démocratie	participation, long-terme, profond, méthode, processus, sensibilisation	Évaluation des impacts environnementaux, (SMO), Process Protocol, PCI	HQE Aménagement, HQE bâtiment
Le bâtiment produit	Évaluation plus holistique avec des indicateurs relevant d'aspects sociaux et économiques, et issus de l'urbanisme durable.	holistique, social, économique, urbanisme	SBTool, indicateurs sociaux, économiques, longévité, adaptabilité, flexibilité, sécurité, urbanisme durable	SBTool

2.2 La rigueur de l'évaluation du bâtiment durable

La section précédente a exploré de quelle manière la philosophie du DD s'articule dans l'évaluation du cadre bâti et en particulier des bâtiments. Tel que discuté en introduction, le pôle environnemental du DD est communément abordé sous l'angle des changements climatiques (CC) attribuables à l'activité humaine. Puisque les CC sont associés aux émissions de GES, la réduction de ces derniers impose leur suivi et quantification; et qui dit quantification dit rigueur et approche scientifique. D'autre part, il y a lieu de rappeler que la forte présence d'acteurs scientifiques dans le domaine de l'évaluation du bâtiment durable

contribue à renforcer l'idée que seuls des aspects mesurables et quantifiables méritent d'être inclus à l'évaluation du bâtiment, comme le soutiennent Trusty et Horst [166]. Le texte qui suit explorera de quelle manière une rigueur accrue peut être opérationnalisée au sein des MEBD. La dernière section en exposera les barrières.

Rapprocher les indicateurs du « dommage »

Les indicateurs sont l'épine dorsale des méthodes d'évaluation, et permettent de tracer un portrait du bâtiment durable. Ils peuvent relever de principes, comme aussi de critères plus proches de la projection de l'impact environnemental selon la méthodologie de l'ACV. Plus ils s'approchent de ce dernier, plus la rigueur se trouve améliorée, tel qu'exploré au chapitre précédent. Deux grandes catégories d'indicateurs dans le MEBD existantes peuvent être reformulées pour glisser le long de l'axe présenté à la figure 1.7 en passant d'une typologie intrant-extrant à une typologie ACV et ainsi s'approcher, au niveau conceptuel, du « dommage ». Ces indicateurs sont ceux en lien avec la consommation énergétique projetée et les matériaux de construction [167], et seront explorés ci-dessous. D'autres, relevant par exemple du confort intérieur (bâtiment), ne peuvent par encore faire l'objet d'indicateurs associés à l'impact environnemental.

Indicateurs matériaux

Un indicateur éloigné du dommage peut engendrer un impact environnemental incertain; c'est le cas de LEED, dont l'indicateur matériaux engendre un taux de réduction d'émissions de GES entre -0,5% et -25,2% [205]. Pourtant, certaines études attribuent aux matériaux un impact considérable, qui se situerait selon le type de construction et d'autres variables, entre 40 et 60% de celui du bâtiment sur son cycle de vie [206]; leur sélection judicieuse s'avère donc essentielle pour améliorer la rigueur de l'évaluation.

Dans la pratique, un rapprochement du dommage des indicateurs « matériau » se traduit par la nécessité d'utiliser des outils spécialisés.

Deux types d'outils sont prévus pour faciliter une prise de décision rapide: ceux avec l'ACV « sous le capot » (par exemple BEES, *EcoConcrete*, Athena et *Envest*) et des guides de

sélection élaborés sur les bases de l'ACV. Certaines MEBD s'appuient déjà sur ce premier type d'outil, dont SBTool et Green Globes [207], cette dernière étant une méthode nord-américaine compétitrice de LEED.

BREEAM privilégie le deuxième type, en alloue des points si les choix de matériaux sont faits d'après le barème environnemental du *Green Guide to specification*. Ce guide, disponible aux acteurs du projet un guide, est offert sur internet ou en version imprimée et contient des profils environnementaux de produits et matériaux de construction élaborés selon une méthodologie d'ACV conforme aux normes ISO [208, 209]. La figure 2.5 illustre la manière principale dont sont affichés les résultats du guide. La première et la deuxième colonne montrent respectivement le type de produit ou de matériau de construction et le code interne qui leur est attribué. La troisième colonne représente quant à elle la performance environnementale relative du matériau au sein d'une catégorie donnée, soit dans le cas de la figure, les fenêtres commerciales. Pour calculer ces performances relatives, BRE Global rassemble des données fournies par des manufacturiers ou leurs associations commerciales, les interprète selon sa propre méthodologie d'indicateur unique *UK Ecopoints* [134], créant une plage de résultats contre laquelle est évalué le matériaux ou produit [210]. À noter, l'impact environnemental du cycle de vie peut être ventilé par catégorie d'impact, mais les unités sont relatives et exprimées selon ce même barème (lettres A à E). L'émission de GES attribuable au cycle de vie est la seule donnée absolue disponible. Le guide réussit à allier convivialité et rigueur méthodologique, mais la transparence des données mériterait d'être améliorée.

Figure 2.5 Présentation de choix de matériaux selon le *Green Guide to specification* Source : BRE Global [209]

	Element number	Summary rating
<u>Aluminium curtain walling system</u>	831500016	
<u>Aluminium window (profile <1.2 kg/m) with redwood timber internal frame, water based stain to timber, double glazed</u>	831500021	C
<u>Aluminium window (profile >1.2 kg/m) with redwood timber internal frame, water based stain to timber, double glazed</u>	831500003	
<u>Aluminium window, (profile mass <1.25kg/m), double glazed</u>	831500018	
<u>Aluminium window, (profile mass <1.5kg/m), double glazed</u>	831500017	C
<u>Aluminium window, (profile mass >1.75kg/m), double glazed</u>	831500006	
<u>Aluminium windows with redwood timber internal frame, solvent borne gloss paint to timber, double glazed</u>	831500004	
<u>Aluminium window (profile <1.75kg/m), double glazed</u>	831500020	
<u>Durable hardwood frame, solvent borne gloss painted inside and out (TWAS), double glazed</u>	831500008	
<u>Durable hardwood window, solvent borne gloss painted inside and out (non-TWAS), double glazed</u>	831500009	
<u>Durable hardwood window, water based stain inside and out (non-TWAS), double glazed</u>	831500012	

D'autres méthodes comme LEED se basent sur des indicateurs matériaux relevant de principes. Cette dernière stipule qu'un constructeur doit privilégier des matériaux locaux (extraits, transformés et achetés à l'intérieur d'un rayon de 800 km du chantier), à teneur recyclée et causant peu d'émanations de composés organiques volatils [82,83].

Énergie opérationnelle

La catégorie de l'énergie opérationnelle est celle qui est la plus importante dans les MEBD si l'on se fie à sa pondération¹. Ceci est cohérent avec des études ACV [36, 37, 38] de bâtiment individuels. Toutefois, si l'on prend en compte le transport des usagers, ce dernier aspect peut s'avérer très important [36], en particulier dans des milieux à faible densité [211].

Pour rapprocher l'indicateur de la consommation énergétique du dommage, il doit être associée à l'émission de GES, ce qui pourrait être réalisée grâce à des logiciels de simulation énergétique.

En effet, l'énergie opérationnelle est un aspect du bâtiment qui est étudié systématiquement dans le cadre de projets de construction. Les simulations énergétiques projettent la consommation d'énergie du bâtiment et sont effectuées grâce à des logiciels tels que EE4 [212], REM Rate [213] et plusieurs autres (voir le répertoire du département américain de

¹ À l'exception de la méthode HQE dont la pondération est intrinsèque.

l'énergie [214]). Les paramètres du bâtiment, tels que l'étanchéité à l'air du bâtiment, la résistance thermique de son enveloppe ainsi que son système de chauffage y sont saisis. Ces paramètres peuvent alors être modifiés pour optimiser la consommation et les coûts énergétiques projetés.

Un calcul des émissions de CO₂-équivalent est effectué par le logiciel de simulation homologué par BREEAM [215]. La méthode HQE exige du maître d'œuvre le calcul des émissions de GES à partir d'un tableau d'équivalence énergie-GES [43]. SBTool intègre un indicateur d'émissions de GES sans préciser d'outil de calcul. Finalement, dans LEED, l'indicateur est associé à la consommation énergétique mais pas à des émissions de GES, ces deux indicateurs n'étant toutefois pas directement proportionnels puisque la génération d'électricité varie selon les régions d'Amérique du Nord, entre options comme le nucléaire, le charbon ou l'hydraulique, enjeu qui sera discuté plus loin.

Performance projetée vs la performance réelle

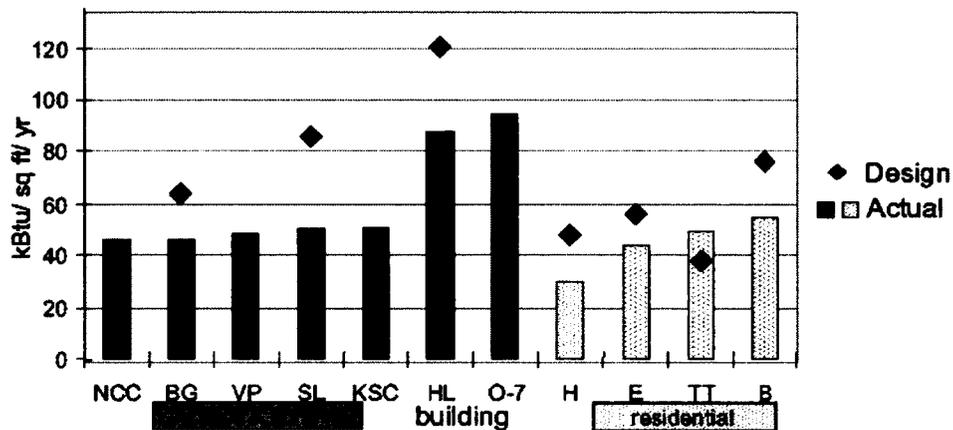
L'élaboration d'une simulation énergétique, bien que fondamentale, demeure néanmoins une projection ne représentant pas les conditions réelles d'utilisation du bâtiment, qui sont par définition imprévisibles.

Il y a une forte correspondance entre consommation projetée et réelle, si l'on effectue une moyenne des données à l'échelle d'un parc immobilier [216]. Toutefois, à l'échelle du bâtiment individuel, le portrait n'est pas reluisant : entre 28–35% des bâtiments certifiés LEED¹ utilisent plus d'énergie qu'un bâtiment conventionnel. La figure 2.6 illustre cette double-réalité à partir de l'étude de la consommation réelle (*Actual*) et la consommation projetée (*Design*) de 11 bâtiments certifiés LEED [217], identifiés par un code qui se trouve sous l'axe horizontal. La correspondance est globalement forte, mais pour le bâtiment O-7 par exemple, la consommation réelle s'est révélé être beaucoup plus élevée de celle qui était projetée. À l'échelle du bâtiment individuel, des impondérables feraient donc en sorte que les simulations énergétiques ne concordent pas avec la consommation mesurée; qui de plus est, la

¹ Échantillon de 100 bâtiments certifiés selon la version 2.x de *LEED for New Construction* jusqu'en 2006 inclusivement.

consommation mesurée dépasserait dans près du tiers des cas celle d'un bâtiment conventionnel sans aucune prétention écologique. Ce constat mine considérablement la crédibilité de LEED mais également de toute MEBD qui ne validerait pas la consommation par un mesurage.

Figure 2.6 Consommation énergétique par unité de surface, projection vs performance réelle. Source : Turner [217]



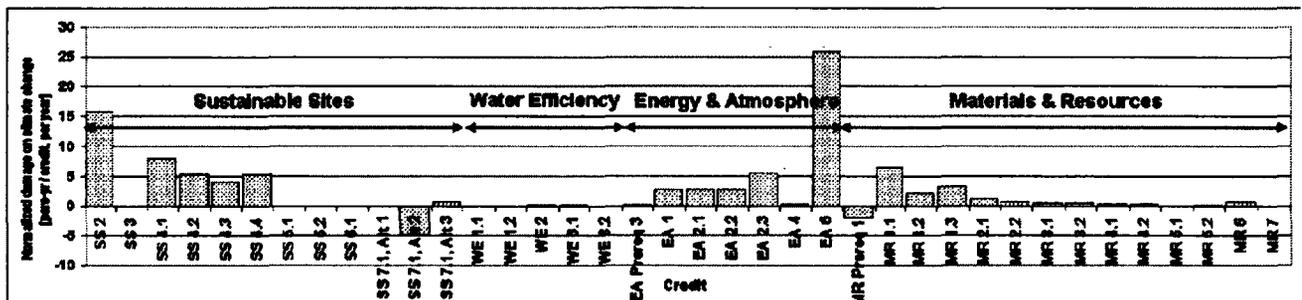
Quelques-unes des MEBD explorées demandent un suivi des performances réelles. Par exemple, HQE bâtiment [43] dicte au maître d'œuvre de « mettre à disposition les moyens nécessaires pour le suivi et le contrôle des performances pendant l'exploitation de l'ouvrage » et renchérit en suggérant « une simplicité de conception pour faciliter la maintenance et limiter la gêne occasionnée aux occupants durant les interventions de maintenance ». SBTool dédie une sous-catégorie au maintien et à l'optimisation de la performance liée à l'exploitation [89]. LEED a introduit dans sa refonte de 2009 une exigence optionnelle liée au suivi de la performance énergétique pendant 1 an [84]. Elle impose de plus aux gestionnaires de bâtiments certifiés la transmission de données de consommation d'énergie et d'eau au USGBC pour une période de pendant 5 ans [218]. Il y a fort à parier que cette mesure servira à créer une base de données sur la performance des bâtiments après certification.

Pondération ou l'importance relative des indicateurs

Les paragraphes précédents ont expliqué que la rigueur scientifique s'exprime par le rapprochement des indicateurs du « dommage ». La rigueur d'une méthode d'évaluation peut

aussi être améliorée par son mécanisme de pondération, qui devrait refléter le fait que certains indicateurs sont associés à des impacts environnementaux plus importants que d'autres. Une étude a montré que l'indicateur énergétique de LEED était associé à un impact beaucoup plus important que d'autres (voir figure 2.7) [36]. Depuis cette étude, LEED a refondu sa pondération et en la basant sur des données ACV provenant de l'*Environmental Protection Agency* (EPA) ainsi que du *National Institute of Standards and Technology* (NIST). Toutefois, tel que discuté dans la section précédente, BREEAM et HQE ont encore des systèmes de pondération déficients car ils ne sont pas basés sur une méthodologie d'ACV; le premier utilise une pondération dont la méthodologie n'est pas explicitée, et la deuxième utilise des qualificatifs.

Figure 2.7 Impact bénéfique normalisé des indicateurs LEED. L'axe horizontal énumère les indicateurs LEED. L'axe vertical exprime leur impact normalisé bénéfique en termes de changement climatique relativement à une valeur de référence. Source : [36]



La nouvelle pondération de LEED accorde plus d'importance à la réduction de la consommation énergétique, aux transports, ainsi qu'à l'énergie intrinsèque de l'eau, des matériaux et des déchets solides [218] (figure 2.8). L'énergie demeure la catégorie ayant le plus grand poids, soit à peu près le tiers de la méthode. Par ailleurs, la catégorie matériaux a perdu des plumes; elle passe de 19 % à 11 % du poids global de la méthode [243].

Figure 2.8 Pondération des catégories LEED sur les bases d'une approche cycle de vie. Source : USGBC [219]

LEED® for New Construction

Total Possible Points 110***

● Sustainable Sites	26
● Water Efficiency	10
● Energy & Atmosphere	35
● Materials & Resources	14
● Indoor Environmental Quality	15

* Out of a possible 100 points + 10 bonus points

** Certified 40+ points, Silver 50+ points,
Gold 60+ points, Platinum 80+ points

● Innovation in Design	6
● Regional Priority	4

Adaptation des cibles à des enjeux environnementaux régionaux

L'enjeu de l'adaptation régionale de l'évaluation n'est pas nouveau [52,88,220,221]. Todd note que celle-ci est pertinente pour des méthodes d'évaluation qui s'appliquent à un pays dont les climats et la géographie sont grandement variables [52].

Tel que discuté dans le chapitre précédent, cette approche pourrait servir à rendre plus contraignantes les cibles associées à des enjeux environnementaux prioritaires dans des régions spécifiques, ce qui permet une meilleure rigueur scientifique. SBTool incorpore à cette fin un module de calcul qui produit une pente selon laquelle est évalué le bâtiment. La version 2009 de LEED met en œuvre le principe d'une autre façon: elle rend plus exigeante certaines cibles d'indicateurs jugés de grande importance dans sa région [94] et attribue des points boni si le projet les atteint. Ce mécanisme est pertinent pour refléter des enjeux régionaux comme par exemple la préservation de milieux humides et la réhabilitation de terrains contaminés dans des zones qui en comptent beaucoup. Même dans le cas des enjeux environnementaux planétaires, tels que l'émission de GES, cette approche d'étalonnage privilégiant l'écart à partir de la pratique courante a le mérite de constituer un référent familier pour les acteurs du domaine de la construction.

Barrières et limites

L'ACV, outil permettant le rapprochement des indicateurs matériaux et énergétiques, en plus d'une pondération globale plus rigoureuse se heurte à quelques barrières techniques. Lorsqu'appliquée au bâtiment, cette méthodologie est sujette à des inconnus dont la durée de vie du bâtiment et l'hétérogénéité de ses matériaux et composantes. Qui plus est, la quantification par l'ACV a des limites intrinsèques, dont l'incapacité de prendre en compte les impacts locaux, comme par exemple l'îlot de chaleur urbain ou la qualité de l'air à l'intérieur du bâtiment (cf. tableau 2.5). Des développements récents pourraient cependant permettre de remédier à ces lacunes [222].

Tableau 2.5 Quelques barrières compliquant la poursuite d'une plus grande rigueur dans l'évaluation du bâtiment durable par la méthodologie de l'ACV. Source : *International Energy Agency* [118]

Barrière	Détail
Longue durée de vie	La vie d'un bâtiment est longue, ce qui augmente l'imprécision de son évaluation. Des inconnus sont attribuables à cette durée de vie, dont la nature de la source d'énergie et l'évolution de l'efficacité énergétique.
Impacts locaux non-comptabilisés	Chaque bâtiment entraîne un impact spécifique au site où il se trouve et plusieurs impacts sont ressentis localement, ce qui n'est pas pris en compte dans l'ACV, bien que des travaux en ce sens aient été entrepris [222]
Hétérogénéité	Les bâtiments sont des ensembles hétérogènes de composantes et produits. Une quantité imposante d'information est donc nécessaire pour une évaluation précise et les processus de fabrication peuvent grandement varier d'un site à l'autre.
Variabilité	Les étapes de la vie d'un bâtiment sont sujettes à des facteurs inconnus qui occasionnent une grande variabilité dans l'impact global du bâtiment, par exemple le comportement des usagers ou du gestionnaire des lieux.
Confort vs. impact	Il y a possibilité de conflit entre le confort intérieur du bâtiment, tel qu'évalué par ses usagers, et son impact environnemental.

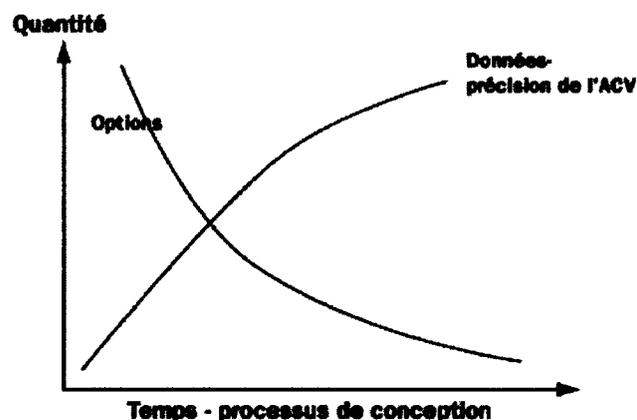
Par ailleurs, les données nécessaires pour élaborer des inventaires fiables de cycles de vie restent difficiles à obtenir pour certaines régions, dont le Canada [205] et l'ACV doit faire face à des préjugés selon lesquels la méthodologie est compliquée et que ses résultats sont arbitraires [222]. D'autre part, des indicateurs se rapprochant de l'ACV s'éloignent des stratégies de conception et ne sont pas facilement vérifiables [88]. Trusty [166] juge que l'utilisation d'outils à base d'ACV, aussi imparfaits soient-ils, sont un pas dans la bonne

direction puisqu'ils sensibilisent les concepteurs aux impacts environnementaux de leurs choix de matériaux.

ACV et conception d'un bâtiment

En dépit de ces barrières, il serait possible d'affirmer que d'un point de vue théorique, une ACV du bâtiment complet serait la seule manière de projeter son impact environnemental de manière fiable. On pourrait alors se poser la question : ne serait-il pas préférable d'évaluer le bâtiment uniquement sur la base d'une ACV complétée après sa construction? Cette approche promettrait certes plus de rigueur, mais elle négligerait un des rôles importants de MEBD, soit celle de structurer l'effort des équipes de conception [52]. En effet, le processus de conception du bâtiment est de nature itérative, où les éléments se définissent progressivement. Au début du projet, il n'est pas possible de savoir à quoi ressemblera le bâtiment final puisque le champ d'options pouvant mener à un bâtiment est beaucoup plus vaste (tel qu'illustré à la figure 2.9) et les éléments précis du bâtiment demeurent inconnus. Plus les éléments se définissent avec l'avancement du projet, plus la précision d'une ACV augmenterait, mais elle a alors forcément moins d'influence sur la modification des choix de conception.

Figure 2.9. Rapport schématique entre les options de conception et la disponibilité de données permettant d'améliorer la précision de l'ACV pendant le processus de conception. Source : traduit de Malmquist *et al.* [120]



Il faut donc que le concepteur ait à sa disposition des outils pour l'aiguiller dans la diminution de ses impacts sur l'environnement, tout en répondant au cahier de charge du client, et ce, au début du projet. Par exemple, pour améliorer la qualité des eaux qui ruissellent du bâtiment, il pourrait mettre en œuvre une stratégie de perméabilité qui inclurait un toit végétalisé, un

pavage perméable, ou encore installer une citerne d'eau de pluie qui puisse stocker l'eau de ruissellement pour ensuite l'utiliser à des fins d'irrigation, principes tous rapportés dans LEED [84]. En revanche, un indicateur qui suggérerait, par exemple, de réduire le potentiel d'eutrophisation du bâtiment (indicateur suggéré par ISO [17]), même si plus rigoureux, ne se traduirait pas, aux yeux du concepteur, en des solutions de construction. Il y a donc une tension dynamique entre l'objectif de la structuration de l'effort et celui de la rigueur, tension qui peut en partie être résolue par l'utilisation d'outils d'aide décisionnel avec ACV sous le capot, actuellement disponibles pour évaluer l'énergie et les matériaux du bâtiment. En ce qui a trait aux autres indicateurs uniques, par exemple ceux qui relèvent de la réduction des eaux de ruissellement, ils pourraient faire l'objet d'un rapprochement d'une typologie AVC éventuellement, mais les besoins des concepteurs du bâtiment devront faire partie intégrante de ces propositions, en tant compte du rôle des MEBD.

Enfin, pour améliorer la rigueur de l'évaluation, quelques chercheurs expriment le potentiel de l'utilisation d'un seul indicateur d'impact environnemental du bâtiment, telle que l'empreinte écologique ou les émissions de GES [160], Lowe, 1996 cité par [51]. Le recours à un indicateur unique encouragerait des solutions innovatrices mais serait difficile à opérationnaliser [160], entre autres parce qu'il ne fournirait que très peu d'indices sur la manière d'optimiser le bâtiment vis-à-vis de l'indicateur.

Conclusion de la section

La rigueur accrue de l'évaluation peut être mise en œuvre de cinq façons principales. Il est possible de rapprocher les indicateurs matériaux du dommage en les associant à des guides de sélection ou des logiciels avec l'ACV « sous le capot ». Les indicateurs « énergie » quant à eux devraient être traduits en GES. Finalement, une pondération reflétant l'impact environnemental des indicateurs, le suivi de la performance réelle et l'adaptation régionale sont des mécanismes pour mettre en œuvre une évaluation plus rigoureuse.

Les MEBD étudiées intègrent ces principes permettant d'améliorer la rigueur de l'évaluation à divers degrés. Le choix rapide de *matériaux sélectionnés sur la base d'ACV* est bien implanté dans BREEAM, qui accorde des points aux projets dont la sélection de matériaux est

faite à partir du guide contenant des profils environnementaux élaborés à l'aide de la méthodologie de l'ACV. Les *indicateurs énergétiques* sont exprimés en émissions de GES dans HQE, BREEAM et SBTool mais pas dans LEED. Cette dernière méthode se démarque toutefois grâce à une *pondération basée sur l'ACV*, beaucoup plus rigoureuse que celle de HQE qui est basée sur des qualificatifs. Finalement, deux méthodes permettent *l'adaptation des indicateurs et cibles à des enjeux environnementaux d'importance régionale*. Ainsi, LEED délègue à des associations régionales affiliées le soin d'identifier les indicateurs du système qui relèvent d'enjeux environnementaux prioritaires, les cibles desquels peuvent être plus contraignantes et dont l'atteinte permet au projet de se qualifier à des points bonus. SBTool permet quant à lui un étalonnage de plusieurs indicateurs par un organisme régional compétent. Finalement, seule la MEBD Living Building Challenge intègre de manière obligatoire le mesurage de la *consommation énergétique d'exploitation*. Ces résultats sont exprimés dans le tableau 2.6.

Tableau 2.6 Axes de développement des méthodes dans une perspective de rigueur scientifique

Axe « rigueur scientifique »				
Pistes d'évolution	Impact sur l'évaluation	Mots clés	Outils	MEBD intégrant ces principes
Indicateurs matériaux	L'approche cycle de vie comme seule méthodologie valable de sélection des matériaux	ACV	BEES, Athena, Envest, Green Guide, EcoConcrete	SBTool
Indicateurs énergétiques	Expression de l'impact environnemental, entre autres les GES.	Proximité du dommage, changements climatiques	Athena, Envest, Green Guide	SBTool, BREEAM, HQE
Pondération basée sur une approche ACV	Le poids des indicateurs puis des catégories est justifié par une approche de cycle de vie.	Agrégation	LEED	LEED, SBTool
Performance réelle	Mesures des performances réelles effectuées sur les bâtiments - les projections sont insuffisantes.	Mesurable, existant	Après emménagement bâtiment existant	Living Building Challenge
Adaptation de certaines cibles à des enjeux régionaux	Indicateurs supplémentaires pour régions, cibles dépendant des régions.	Régional, relatif	SBTool	SBTool, LEED

Chapitre 3 : Projections et recommandations

Le chapitre précédent a analysé les axes constitutifs des MEBD; nous faisons ici des recommandations sur l'évolution de la méthode LEED. Nous expliquerons le choix de cette MEBD, traiterons des pistes d'évolution et aborderons de manière sommaire l'impact de nos recommandations qui incluront, nous l'espérons, la réduction de l'impact environnemental des bâtiments et leur alignement avec les principes du développement durable

Le choix de LEED

Ce document a examiné quatre MEBD mais des recommandations d'améliorations se feront à partir de LEED; choix qui s'explique par la forte présence et influence de cette MEBD au Canada et au Québec, où se déroule ce projet de recherche. La présence nationale de la méthode et de ses variantes est assurée par le CBDCa, organisme qui a une section québécoise, comptant elle-même un sous-groupe [223]. LEED jouit d'une bonne crédibilité dans le milieu du bâtiment durable, témoigné notamment par son enchâssement dans des politiques de construction comme celle de la Ville de Montréal qui exige que ses nouveaux bâtiments municipaux atteignent le niveau de reconnaissance « Or » [224]. LEED s'immisce dans la définition du concept du bâtiment durable, non seulement pour ses adeptes, mais également pour les non-initiés. Ainsi, la municipalité de Victoriaville, a développé en 2011 une MEBD sur mesure, visiblement inspirée de LEED, qui sera assortie d'un incitatif financier offert au propriétaire qui réussit l'évaluation [225,226]. Nous espérons que nos recommandations par rapport à LEED, décrites dans les paragraphes qui suivent, puissent non seulement améliorer les aspects environnementaux et durables des bâtiments certifiés mais aussi niveler par le haut le concept d'un bâtiment durable chez des acteurs du milieu, au Québec et au Canada.

Rétroaction pour une évaluation plus rigoureuse et plus durable

Nous croyons que l'amélioration la plus significative dans LEED serait l'intégration du principe de rétroaction, puisqu'elle permet d'améliorer simultanément les deux axes constitutifs des MEBD, soit la rigueur dans l'évaluation et l'intégration des principes du

développement durable. Nous expliquons ci-dessous comment mettre en œuvre la rétroaction dans LEED et de quelle manière elle contribue à améliorer cette méthode.

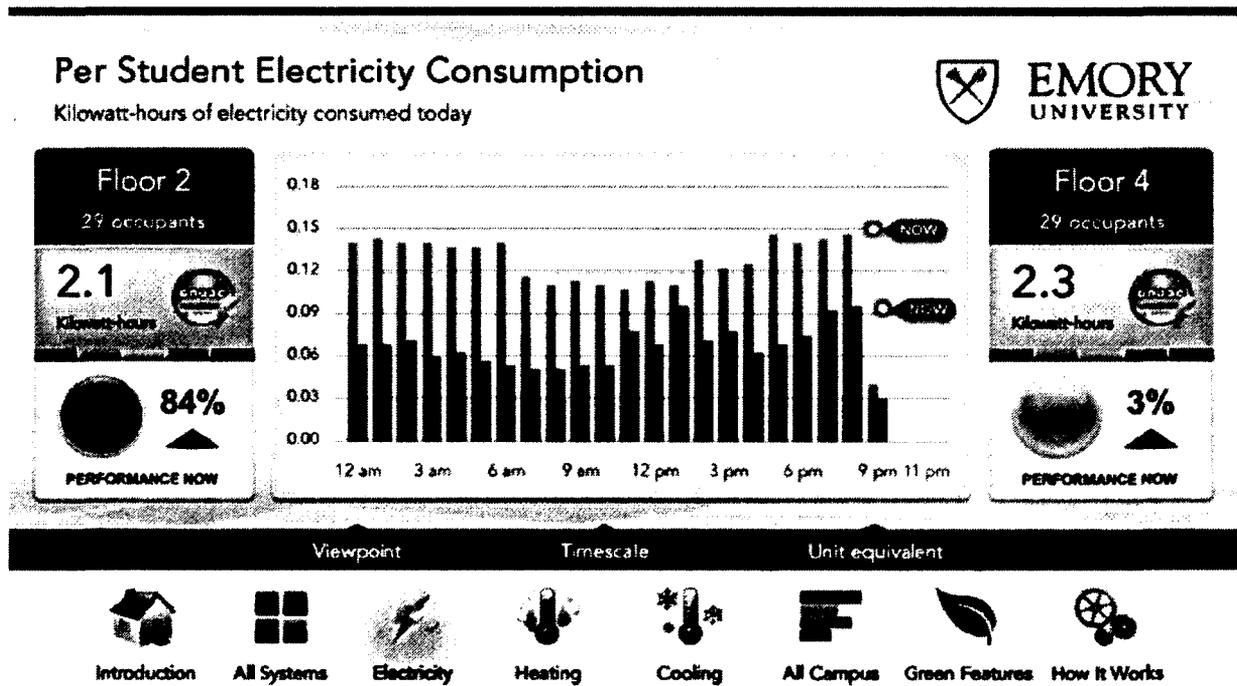
Pour mettre en œuvre la rétroaction, nous suggérons premièrement que l'indicateur énergie reflète la consommation énergétique *mesurée* et que les émissions de GES dues à l'exploitation du bâtiment soient projetés à partir de cette mesure. Ce constat découle du manque de concordance noté, dans la section précédente, entre la simulation et la performance environnementale validée de bâtiments durables. En effet, même une simulation énergétique parfaite ne peut pas prendre en compte les impondérables inhérents au bâtiment : installation et calibrage des systèmes, comportement du gestionnaire d'immeuble et des usagers.

Ainsi nous suggérons que la simulation énergétique soit utilisée comme étalon, mais de manière provisoire, et que ce ne soit qu'après un audit de la performance réelle du bâtiment, mesurée sur les lieux, que l'atteinte de la cible de performance puisse être admise. La mécanique de certification devrait être modifiée: à la livraison du bâtiment, un certificat provisoire serait émis, et ce n'est qu'après une validation obligatoire de la performance environnementale que la certification deviendrait officielle. La méthode Living Building Challenge (LBC) intègre déjà une certification conditionnelle à la validation de la performance sur une période d'au moins un (1) an après la mise en service du bâtiment [227]. Pour pérenniser la bonne performance du bâtiment, le gestionnaire du bâtiment pourrait envisager une certification sous une méthode de gestion du bâtiment durable comme LEED *pour bâtiments existants : exploitation et entretien* [228] ou BOMA BEST [55], dont la maîtrise de la consommation de l'énergie est un aspect important.

Certes, cette évolution permettrait une meilleure rigueur de l'évaluation, mais nous croyons que, si bien implantée, elle respecterait les principes du *bâtiment-démarche* puisqu'elle impliquerait des parties prenantes, les sensibiliserait à l'importance des enjeux du DD et améliorerait la communication et la transparence de l'évaluation. La validation de données de performance réelles, lorsque transmises aux architectes, ingénieurs et autres parties prenantes développera leur savoir et leur permettra de peaufiner leurs futurs projets et d'en améliorer la performance environnementale. Au-delà des acteurs impliqués dans la *conception* du bâtiment, cette évolution encouragera l'engagement du gestionnaire du bâtiment et de ses usagers, qui ont un rôle important à assumer pour atteindre la cible environnementale visée.

Pendant la période où la certification est provisoire, leur sensibilisation pourrait prendre la forme d'une stratégie de communication (site web, panneaux explicatifs, kiosque d'information etc.), implantées par les maîtres d'œuvres, stratégie qui s'avère efficace dans l'amélioration de performance environnementales des communautés durable [229]. Nous proposons que cette stratégie inclue l'utilisation d'un système informatisé de gestion de l'énergie et de l'eau, qui afficherait également les impacts en GES associé à l'utilisation du bâtiment. Ce type de système, appelé *energy dashboard* en anglais, permette en effet une lecture en temps réel de la consommation énergétique, du coût, des émissions de CO₂ et de l'empreinte écologique associé aux usagers ou habitants (figure 3.1) [230]. Les résultats sont affichés sur un écran et peuvent être téléchargés à partir d'un ordinateur; *Energy Star* a développé un tel outil [231] et le géant informatique Google offre même un accès à ses données de consommation énergétique à distance [232]. Le gestionnaire et les usagers, en ayant accès à ces données seraient alors en mesure d'évaluer l'impact de leurs efforts visant à atteindre une performance énergétique; impact qui peut être exprimé en GES puis grâce à une conversion sur la base de l'approvisionnement électrique de la région. [233]

Figure 3.1 Affichage d'un système informatisé de gestion énergétique. Source :[233]



Le retour d'information ne devrait pas, selon nous, se limiter à la performance environnementale au sens strict (soit la consommation d'énergie et d'eau), mais inclure la perception des usagers du bâtiment vis-à-vis de la qualité de l'air, du confort thermique, visuel, la qualité de l'éclairage et l'efficacité des mesures antibruit, entre autres [234]. L'évaluation de la satisfaction des usagers devrait demeurer optionnelle mais contribuer à l'obtention de points. Le SMO de la méthode HQE bâtiment suggère une procédure : « *établir un bilan des retours de satisfaction (ou de non satisfaction) des clients et des autres parties intéressées, que le maître d'ouvrage recueille et enregistre. [...] L'objectif de ce bilan est d'accroître la pertinence et l'efficacité des dispositions mises en œuvre, à partir de l'expérience concrètement vécue sur le terrain.* »

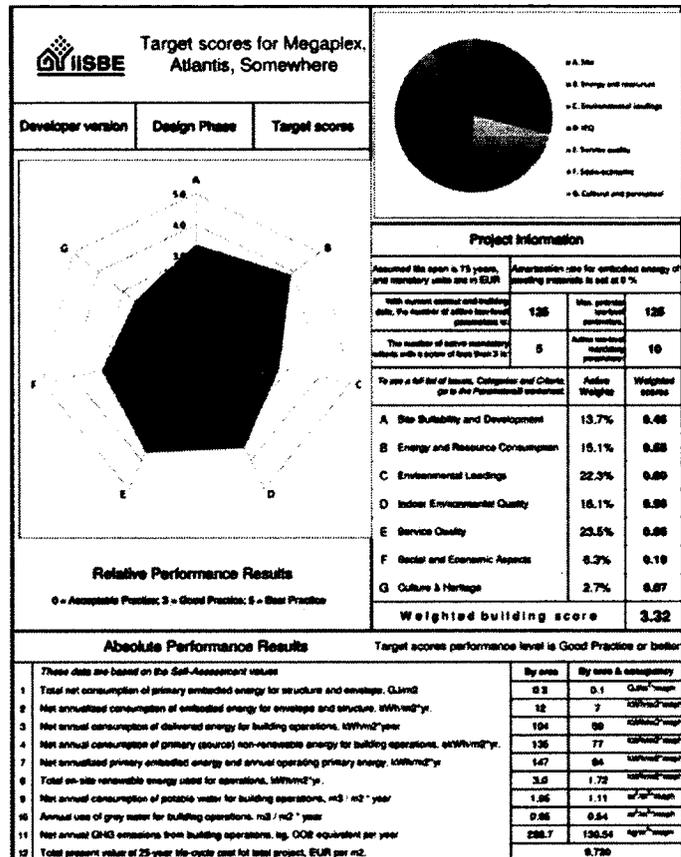
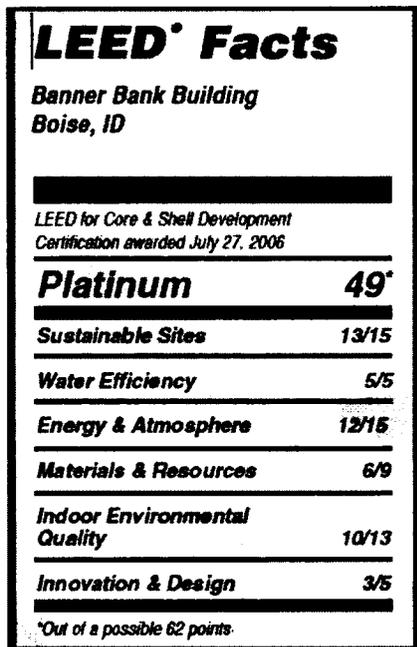
La rétroaction est certes importante... mais il faut aussi être *proactif*. C'est pourquoi le processus de conception intégré, qui augmente la communication entre les acteurs du bâtiment dont ceux responsables de la mise en service, de l'exploitation et de l'entretien, tout en permettant aux parties prenantes, dont les futurs utilisateurs de s'exprimer, devrait selon nous intégrer la méthode LEED de manière formelle. La qualification « formelle » réfère au constat que plusieurs projets visant une haute performance écologique y font déjà appel, par exemple le Théâtre Séville [235] et la Maison du Développement Durable [236] à Montréal. Toutefois, le PCI en est encore en évolution [237,238] et les ressources comme des boîtes à outils pour les animer [237] sont récents. Ainsi, nous espérons qu'un indicateur dont l'atteinte demeurerait optionnelle permettra de développer cette offre pratique. Son intégration dans LEED pour bâtiments commerciaux pourrait être calquée sur l'indicateur déjà intégré dans LEED *pour les habitations*. L'approche de SBTool, qui associe à chaque indicateur une étape correspondante du PCI avec des ressources externes est utile, mais requiert selon nous une expertise externe pour l'implanter puisqu'elle serait trop complexe si pris en charge par l'équipe de conception.

L'affichage des résultats : un changement est nécessaire

Nous croyons que la présentation des résultats de LEED, telle qu'explorée dans les figures du premier chapitre, est déficiente vis-à-vis de celle de SBTool. Cette dernière MEBD fait appel

à un diagramme en toile qui offre une vue de la performance globale et par catégorie, et exprime aussi des données quantitatives absolues, caractéristiques qui reflètent les principes de communication et de transparence prônée par Kaatz *et al.* et qui font partie intégrante de la conception *bâtiment-démarche*.

Figure 3.2 Affichage des résultats dans LEED (gauche) et SBTool (à droite) Sources : USGBC [239], iISBE [108]



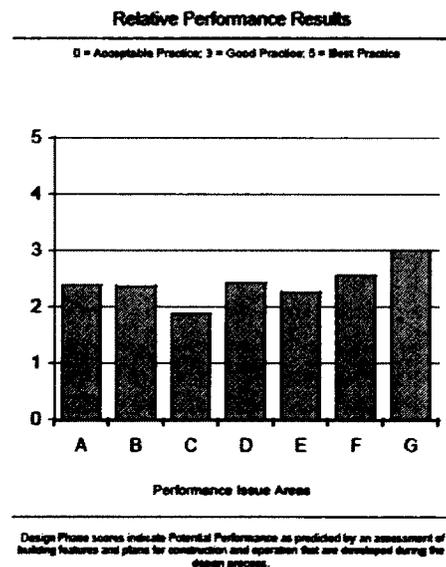
LEED exprime le résultat de l'évaluation de manière qualitative, par une mention *Certifié, Argent, Or* ou *Platine*. Un affichage plus détaillé sous forme de tableau inspiré de l'étiquette d'information nutritionnelle [240] est employé lorsque le USGBC présente un dossier particulier d'un bâtiment (par exemple : [239]), quoique cette pratique ne soit pas adoptée de manière systématique. (cf. figure 3.2).

L'expression des résultats dans SBTool offre plusieurs avantages sur celle de LEED : premièrement, elle permet une lecture visuelle rapide des catégories les plus performantes. Par exemple, une personne lisant le tableau des résultats de SBTool de la figure 3.2 saisisrait

très rapidement que la catégorie B, « consommation d'énergie et de ressources » est la plus performante; et en revanche, celle représentée par la lettre G, soit Culture et Héritage est la moins performante. En lisant l'étiquette LEED, le lecteur doit effectuer un calcul mental s'il souhaite connaître la performance relative par catégorie. De plus, aucune donnée quantitative absolue n'y est offerte, ce qui est en opposition avec SBTool [241].

L'affichage des résultats de SBTool représente à nos yeux une inspiration pour améliorer celui de LEED, mais avec quelques nuances. Premièrement, le diagramme en toile est peu courant en dehors de la littérature scientifique; nous croyons par conséquent que, dans l'esprit d'atteindre l'utilisateur ou l'habitant typique d'un bâtiment, il doit être adapté pour le rendre plus convivial. La solution pourrait consister à présenter les résultats sous forme d'un diagramme à bandes (cf. figure 3.3) tel que suggéré dans la version précédente de SBTool [242]. Nous croyons enfin qu'en plus des données quantitatives absolues projetés, les résultats de performance mesurée devraient être affichés.

Figure 3.3 Affichage des résultats d'une version antérieure de SBTool. Source: iiSBE [242]



Intégrer les indicateurs du *bâtiment-produit*

Nous pensons que LEED devrait intégrer plus d'indicateurs associés à la vision de *bâtiment-produit*, en priorité ceux qui sont identifiés dans le chapitre précédent, entre autres la gestion

responsable du chantier, l'abordabilité des loyers résidentiels ou commerciaux, le soutien de l'économie locale et la sécurité personnelle des occupants ou usagers.

L'implantation de ces indicateurs est relativement simple à réaliser d'un point de vue du mécanisme d'évaluation, mais ils relèvent d'une vision plus holistique du bâtiment. La vision peut se réaliser à condition que les acteurs scientifiques (ex. ingénieurs) impliqués dans l'évaluation de bâtiments durable voient le mérite d'y greffer des critères associés aux sciences sociales, qui ne relève pas de leur champ d'expertise; le scénario est envisageable, mais il doit entre autre être appuyé par les ordres professionnels [91].

Les enjeux d'urbanisme, qui font également partie de la vision *bâtiment-produit*, sont selon nous bien intégrés, situation qui peut pourrir être attribuable aux activités du USGBC dans l'évaluation du quartier durable, tel que discuté au premier chapitre. La nouvelle mouture de LEED pour bâtiment fait doubler le poids de la catégorie « Transport » qui passe de 7 % à près de 17 % du poids total de l'évaluation, ce qui en fait la catégorie ayant subie la plus forte variation positive [243]. Et au sein même de la catégorie, ce sont les indicateurs en lien avec l'accessibilité des transports en commun ainsi que l'emprise au sol réduite du bâtiment dont le poids est le plus important. Ce changement cadre avec l'étude d'Humbert et al. [36] qui identifiait le transport des usagers du bâtiment comme ayant un impact environnemental considérable. Toutefois, même si la prise en compte d'enjeux d'urbanisme peuvent réduire l'impact environnemental associé au bâtiment, et que la compacité et la densité sont généralement considérées comme souhaitables d'un point de vue écologique, cette orientation risque d'engendrer des répercussions inattendues : la densification peut entraîner des hausses de valeurs foncières, réduire l'offre de loyers à prix abordable, ce qui a pour résultat pervers d'encourager l'exode vers la banlieue [145]. Ces répercussions pourraient donc perturber l'équilibre des trois pôles du DD, qui est pourtant un aspect fondamental du *bâtiment-produit*. Il faudra alors que les indicateurs socio-économiques, en particulier l'abordabilité des loyers commerciaux et résidentiels, trouvent une place dans l'évaluation du bâtiment pour mieux refléter l'équilibre entre abordabilité et densité.

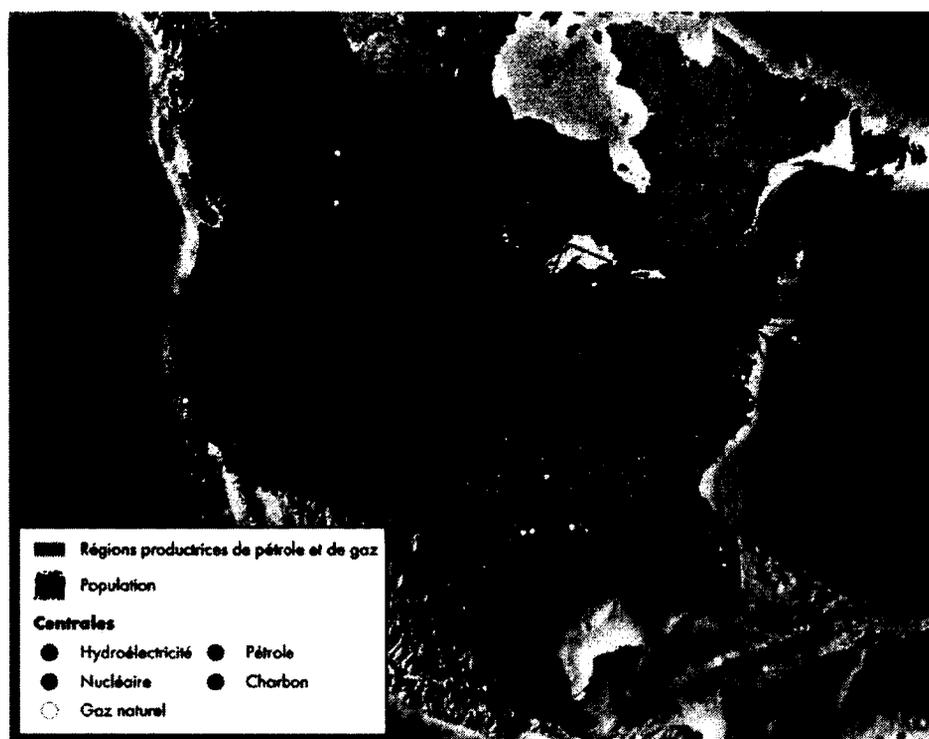
LEED et énergie : GES, isolation et mesures de performance

Nous proposons une amélioration de la rigueur de l'évaluation de LEED par l'intégration d'indicateurs énergie qui tiennent compte des GES en tenant compte de la génération d'électricité dans la région où se fait l'évaluation. Nous justifions notre recommandation ci-dessous.

Le premier chapitre a introduit le principe du « proximité du dommage », selon laquelle un indicateur est d'autant plus scientifiquement rigoureux qu'il exprime le dommage à l'environnement ou la santé. Ainsi, un indicateur de consommation énergétique est moins rigoureux qu'un indicateur des GES attribuables à la consommation énergétique. Or, LEED est la seule méthode étudiée dont l'attribution de points se base sur l'efficacité énergétique sans égard pour les émissions de GES qui en découlent. Cette situation selon nous doit évoluer, et puisque la catégorie Énergie est toujours la plus importante dans LEED les impacts de cette évolution pourraient être importants.

Projetons la construction de deux bâtiments écologiques à performance énergétique identique, construits en Ontario et au Québec. Selon la méthode LEED actuelle, les deux bâtiments, à condition de dépasser la cible énergétique de la méthode, se verraient attribuer le même nombre de points. Le résultat serait très différent si LEED prenait en compte les émissions de GES des mêmes bâtiments. Ainsi, celui construit au Québec recevrait un plus grand nombre de points puisque dans cette province, les bâtiments commerciaux et institutionnels sont chauffés à l'électricité provenant presque exclusivement de barrages hydrauliques. En revanche, 54% de l'énergie dédiée au secteur commercial et institutionnel ontariens provient du gaz naturel, [244] source dont les émissions GES sont plus importantes [245].

Figure 3.4 - Offre énergétique en Amérique du Nord Source : Office national de l'énergie [246]

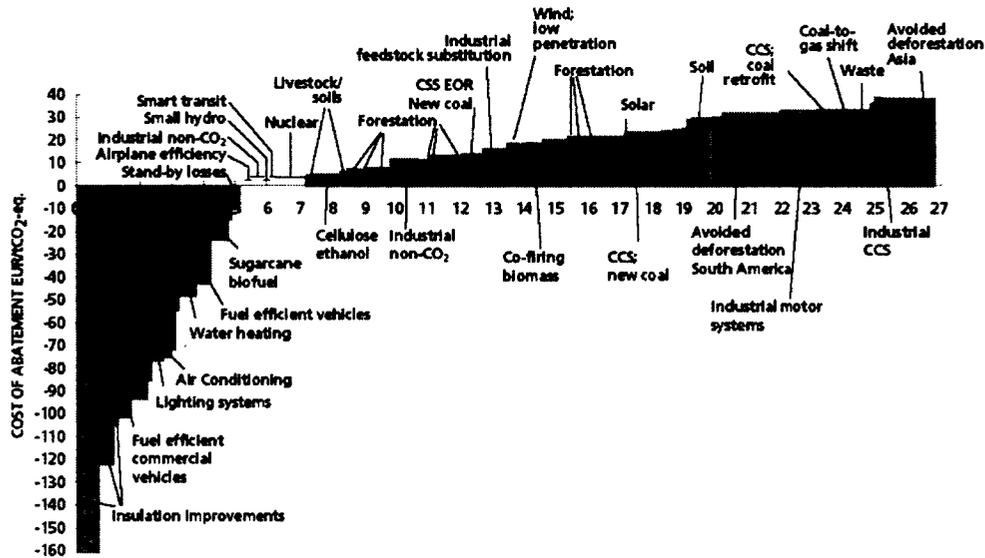


Cet exemple illustre la conséquence la plus importante de l'évolution des indicateurs énergie vers des indicateurs GES : les projets de bâtiment durable seront incités à s'alimenter en électricité dite propre, issue de barrages hydroélectriques [247] ou d'éoliennes par exemple, au profit d'un approvisionnement plus émettrice de GES, provenant entre autres de centrales au gaz naturel ou au charbon [245]. Toutefois, puisque LEED est un programme national, la diversité des sources d'énergie de chauffage au Canada (figure 3.4) complique la donne : est-ce que tous les bâtiments misant sur un chauffage électrique issu de barrages hydrauliques devraient atteindre les cibles nationales de GES éventuels de LEED, et ce sans effort quelconque?

Il est évident qu'une mécanique particulière devra être considérée pour encourager une amélioration continue des pratiques d'isolation et d'efficacité énergétiques et ce indépendamment du calcul des GES. En effet, la stratégie de l'augmentation de l'isolation a récemment été identifiée comme celle qui permettrait la réduction optimale des GES par rapport à son coût [248] comparé à un éventail de solutions pour réduire les émissions de GES, ce qui inclut des panneaux photovoltaïques et des installations d'éoliennes (figure 3.5).

Figure 3.5 Éventail de solutions pour réduire les émissions de GES, en fonction du coût associé. Source : Kammen [248]

La largeur des bâtons indique le potentiel de réduction des GES, tandis que la hauteur représente le coût. Dans le cas de l'isolation, le coût du cycle de vie est négatif puisque les économies dépassent largement les coûts d'installation.



Nous croyons que la mécanique de l'adaptation régionale des cibles, expliquée dans la section précédente, s'impose puisqu'elle permettrait de reconnaître l'amélioration de performance relativement à une région. Ainsi, des bâtiments québécois, par exemple, devraient améliorer leur performance relativement à un barème québécois des émissions de GES ce qui serait nécessairement plus contraignant que des cibles nationales.

Tel qu'expliqué dans le chapitre précédent, l'adaptation régionale des cibles n'entraîne pas forcément de répercussions environnementales directes au niveau régional si elles relèvent d'enjeux planétaires comme les émissions de GES. Le mécanisme permet alors d'encourager une amélioration continue des pratiques de construction durable en proposant de cibles auxquelles les acteurs de l'industrie de la construction adhèrent.

Les promoteurs et concepteurs qui cherchent à certifier un projet devront donc continuer à poursuivre un objectif de diminution de la consommation énergétique en augmentant les niveaux d'isolation, par exemple, mais ils devront de surcroît miser sur un approvisionnement

en énergies propres ou renouvelables. Les promoteurs pourront alors évaluer l'intérêt de stratégies qui incluraient l'installation de systèmes solaires thermiques ou photovoltaïques (comme l'installation sur un bâtiment de l'Université Concordia [249]) ou encore géothermiques. Des quartiers pourraient tabler sur la production locale d'énergie de chauffage, comme l'ont tenté BedZED [250], *Dockside Green* à Vancouver [251] (certifié LEED-ND Platine) ou encore *Benny Farm* [252]. Les problèmes importants rencontrés par deux de ces développements immobiliers [253] indiquent que ces solutions n'en sont qu'à leurs débuts.

Nous espérons que cette évolution, si implantée, incitera en parallèle les fournisseurs d'énergie à développer une plus grande offre de sources d'énergie renouvelables.

LEED, ACV et matériaux

Nous croyons que l'ACV devrait s'imposer plus systématiquement dans LEED dans les indicateurs matériaux et ce malgré les barrières identifiées à la section précédente, entre autres le manque de données fiables pour le Canada. La situation évoluera forcément au Canada et au Québec puisque dès 2011, le Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services (CIRAIG) travaillera au développement d'une base de données du cycle de vie adaptée au Canada et au Québec [254]. Ces développements pourraient à leur tour enrichir la rigueur d'outils rapides de calcul d'ACV, tels qu'Athena IEB ou BEES, dont l'arrimage avec LEED est selon nous une voie très prometteuse. Ces outils suivent en effet un développement parallèle au sein d'organismes respectés, notamment l'*Athena Sustainable Materials Institute* (Athena SMI) et le *National Institute of Standards and Technology*.

Les manufacturiers sont les acteurs du milieu du bâtiment durables qui pourraient être les plus touchés par ce changement. Nous estimons que ceux-ci auraient intérêt à améliorer leurs processus de fabrication voire même les réviser fondamentalement en fonction de données d'ACV, s'ils visent à intégrer le marché des produits ou matériaux de construction écologiques. Nous croyons de plus que les arguments de vente faisant valoir des aspects écologiques difficiles à valider ou à justification douteuse, phénomène très répandu [255] connu sous l'expression « écoblanchiment », seront jugés insuffisants par une clientèle sensibilisée à l'ACV par l'entremise de LEED. Pour avoir une plus forte crédibilité dans le débat, les manufacturiers pourront alors tenter de se qualifier sous des écolabels reconnus tels

que ÉcoLogo [256] ou Green Seal [257] ou encore s'appuyer sur des associations commerciales présentant des arguments en lien avec l'ACV et le LEED, telle que la Coalition Bois [258].

Si l'industrie manufacturière ne s'adapte pas, elle risque de voir révélé au grand jour des bilans écologiques peu flatteurs; c'est ce qu'a vécu l'industrie de l'isolant polyuréthane (PU) giclé¹. Une revue américaine respectée dans le milieu du bâtiment durable montrait, sur la base de recherches de Harvey [259], que les isolants de PU giclé à cellules fermées nécessitent un agent de gonflement qui est un puissant gaz à effet de serre [260]. Dans certains cas, les émissions de GES découlant de son application ne seraient compensées qu'après des décennies de réduction de consommation énergétique. La nouvelle a fait réagir l'industrie du PU giclé [261]. Si les données ACV étaient intégrées dans LEED, ce ne serait pas une publication qui proscrirait l'utilisation d'un isolant spécifique mais bien la méthode elle-même, ce qui pourrait entraîner des conséquences financières considérables sur l'industrie concernée.

Conclusion de la section

Cette section nous a permis, grâce à l'analyse de la section précédente, de proposer des pistes d'amélioration de la méthode LEED. Nous recommandons l'implantation de la rétroaction pour que l'évaluation du bâtiment durable soit plus rigoureuse et plus durable; nous proposons un affichage des résultats qui permette une meilleure transparence et communication; nous mettons de l'avant la pertinence d'intégrer les indicateurs du *bâtiment-produit*, entre autres pour équilibrer les trois pôles du DD dans LEED; nous suggérons une évolution des indicateurs énergie pour qu'elle évaluent les GES, qu'elles continuent de privilégier l'efficacité énergétique et qu'elles soient adaptés à la région. Finalement, nous recommandons l'arrimage de LEED avec un outil d'ACV sous le capot. Ces recommandations proposent d'améliorer l'évaluation du bâtiment durable par la méthode LEED, et ce, en la faisant évoluer selon ses deux axes constitutifs, soit la l'intégration du DD, et celle d'une meilleure rigueur de l'évaluation.

¹ Ce produit isolant est d'usage courant dans des constructions écologiques puisqu'il possède un haut coefficient d'isolation thermique en plus d'être efficace pour contrôler des infiltrations d'air.

Conclusion du document

Ce mémoire a présenté et disséqué les méthodes d'évaluation environnementale de bâtiments (MEBD) dans le but de permettre leur amélioration. Pour ce faire, il a présenté, au premier chapitre, les méthodes d'évaluation du développement durable dans le cadre bâti (MEDD) et en particulier ceux du bâtiment de manière simple à partir leur mécanique : indicateurs, cibles, pondération, certification et appui à l'implantation. La méthode prépondérante en Amérique du Nord, soit LEED, a été comparé à deux méthodes européennes et une méthode internationale, soit respectivement HQE, BREEAM, et SBTool. Leur mécanisme d'évaluation n'est pas simple, s'appuyant sur des indicateurs plus ou moins proches du "dommage"; des cibles de performance fixes ou régionales; une pondération inspirée de l'ACV ou encore implicite; des résultats agrégés présentés sous forme d'un score qualitatif, graphique ou de données quantitatives. Nous estimons avoir simplifié la compréhension de ces méthodes tout en soulevant des caractéristiques complémentaires et novatrices de MEBD spécifiques.

Nous croyons que l'étude des échelles adjacentes s'avère importante pour comprendre et améliorer les MEBD. C'est pourquoi le texte a présenté quatre outils d'évaluation environnementale de composantes du bâtiment, tous fondés sur l'ACV, ainsi que deux méthodes à l'échelle du quartier. Cette exploration multi-échelle a expliqué que les enjeux étudiés varient selon l'échelle spatiale. Le quartier rime avec urbanisme durable, et dans le cas de certaines conceptions, la participation et la mobilisation. Les composantes du bâtiment intègrent rigueur scientifique, quantification, réponses exactes. Le bâtiment combine ces deux mondes en conjuguant critères techniques, de santé et de bien être et d'autres parfois liés à la qualité de la démarche.

L'état des lieux de cette première grande partie de texte a préparé le terrain à un approfondissement du sujet, soit l'identification des courants fondamentaux des MEBD. Nous postulons que le premier courant intrinsèque est la poursuite d'un développement durable et que cet axe s'articule en deux voies complémentaires que nous baptisons le *bâtiment-démarche* et le *bâtiment-produit*. Le deuxième axe de développement concerne l'amélioration de la rigueur scientifique dans l'évaluation qui exerce, selon nous, une pression sur cinq

aspects des MEBD, soit les indicateurs matériaux, les indicateurs énergétiques, la pondération, la performance mesurée et l'adaptation régionale.

Cette caractérisation nous permet de faire des recommandations sur l'évolution de LEED, MEBD prépondérante en Amérique du Nord. Ainsi, en nous basant sur les axes constitutifs des méthodes, nous proposons des évolutions importantes et en faisons état des répercussions. Ces évolutions concernent le principe de rétroaction, un affichage des résultats plus développé, l'intégration d'indicateurs issus de la vision du *bâtiment-produit*, des indicateurs énergie reflétant les GES et adaptés à la région. Finalement, nous recommandons l'arrimage de LEED avec un outil informatisé de sélection de matériaux et de techniques de construction sur base d'ACV. L'outil Athena IEB constitue un candidat idéal pour cette fonction. Les répercussions de cette évolution concernent les manufacturiers de matériaux de construction.

Nos contributions originales sont réparties dans le texte. Dans le premier chapitre, nous avons étudié des méthodes françaises, qui malgré leur pertinence sont très peu explorées dans la littérature scientifique, particulièrement vis-à-vis LEED, son homologue nord-américain. Nous avons également cherché une manière de représenter le déroulement du processus d'évaluation de manière succincte : c'est ce que nous estimons avoir réussi avec les figures présentant les MEBD ainsi que les outils d'évaluation environnementale. Nos contributions les plus importantes sont toutefois l'analyse des courants fondamentaux des MEBD que nous effectuons selon la dichotomie *développement durable* et *rigueur scientifique*. Cette conceptualisation aboutit sur deux tableaux synthèse qui résume les grands enjeux de la mécanique et du développement des MEBD. C'est à partir de ce travail que nous statuons finalement sur les évolutions de la méthode LEED que nous considérons prioritaires.

Les recommandations que nous faisons tiennent compte des fondements même des MEBD et font abstraction des procédures décisionnelles du CBDCa et de l'USGBC. En effet, plusieurs chercheurs respectés participent à l'amélioration continue de LEED par l'entremise, entre autres, de comités techniques ou de consultation, dont les décisions doivent être entérinées par les membres. Or, nous avons abordé rapidement la différence de perception entre acteurs dans l'évaluation du bâtiment durable [91]. Est-ce que les membres qui sont ingénieurs seraient

d'accord pour intégrer des indicateurs de satisfaction des usagers? Est ce que les membres qui sont architectes voudraient voir leur créativité limitée par l'imposition de matériaux dont l'impact de cycle de vie est faible? Est ce que les membres qui sont promoteurs accepteraient une certification provisoire? Le développement de LEED est sujet à ces tensions dynamiques qu'il y aurait lieu d'explorer dans le contexte d'un autre projet de recherche. Nous aimerions également examiner dans quelle mesure et pour quelle variante de LEED les recommandations que nous faisons pourraient être le plus efficacement intégrées. Nous croyons que la méthode *LEED Canada pour les habitations* serait un candidat intéressant pour ces évolutions puisqu'elle est indépendante du LEED s'adressant à des bâtiments commerciaux et son processus décisionnel est conséquemment plus léger.

Si LEED constitue un fondement solide nous permettant de proposer des pistes d'amélioration, nous croyons néanmoins que nos recherches pourraient alimenter la création de méthodes d'évaluation plus modestes, adaptées à des cas particulier. Par exemple, des municipalités qui voudraient offrir des mesures financières incitatives sans pour autant les associer à la certification LEED pourraient en s'inspirant de notre texte et développer une méthode d'évaluation sur mesure. Il serait intéressant de cibler une municipalité québécoise pour ce travail, ou encore de collaborer à améliorer une MEBD développée par une municipalité, comme par exemple Victoriaville.

Nous espérons que le cadre bâti évolue vers le développement durable et la réduction des impacts environnementaux et que les méthodes d'évaluation puissent refléter, encadrer et soutenir ce mouvement. Grâce à ce projet de recherche nous souhaitons avoir aidé, un tant soit peu, cette évolution.

-
- 1 Cavallier, G. (1996). De la ville à l'urbain. *Urbanisme*, volume 288, p. 65-80
 - 2 Brandon, P. et Lombardi, P. (2005). Evaluating sustainable development in the built environment. Wiley Blackwell Publishing, Oxford, 240 p.
 - 3 Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (2007). *Changements Climatiques 2007: Rapport de synthèse*. GIEC, Genève, Suisse, 106 p. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_fr.pdf
 - 4 United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (2009). *Convention-cadre sur les changements climatiques*. Nations Unies, 1-46 p. <http://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/fre/11a01f.pdf>
 - 5 Meinshausen, M., Meinshausen, N., Hare, W., Raper, S. C. B., Frieler, K., Knutti, R., Frame, D. J. et Allen, M. R. (2009). Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2°C. *Nature*, volume 458, numéro 7242, p. 1158-1162.
 - 6 EPA (2008). *Quantifying Greenhouse Gas Emissions from Key Industrial Sectors in the United States (Working Draft)*. EPA, 132 p. <http://www.epa.gov/sustainableindustry/pdf/greenhouse-report.pdf>
 - 7 EPA (2009). *Potential for reducing greenhouse gas emissions in the construction sector*. EPA, 49 p. <http://www.epa.gov/ispd/pdf/construction-sector-report.pdf>
 - 8 Spence, R. et Mulligan, H. (1995). Sustainable development and the construction industry. *Habitat International*, volume 19, numéro 3, p. 279.
 - 9 Pérez-Lombard, L., Ortiz, J. et Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, volume 40, numéro 3, p. 394-398.
 - 10 UNHabitat (2008). Europe & North America at a glance. *Dans State of the World's Cities 2008/2009 - Harmonious Cities*. <http://www.unhabitat.org/downloads/docs/presskitsowc2008/regional%20updates.pdf> (page consultée le 24 juin 2011)
 - 11 Rees, W. et Wackernagel, M. (1996). Urban ecological footprints: Why cities cannot be sustainable—And why they are a key to sustainability. *Environmental Impact Assessment Review*, volume 16, numéro 4-6, p. 223-248.
 - 12 ONU (2009). World Urbanization Prospects: The 2009 Revision. File 2: Percentage of Population Residing in Urban Areas by Major Area, Region and Country, 1950-2050. *Dans United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division, Population estimates and projections Section*. http://esa.un.org/unpd/wup/CD-ROM_2009/WUP2009-F02-Proportion_Urban.xls (page consultée le 24 juin 2011)
 - 13 Statistiques Canada (2007). *Population urbaine et rurale, par province et territoire (Canada)*. <http://www40.statcan.gc.ca/102/cst01/demo62a-fra.htm>. (page consultée le 3 mars 2011)
 - 14 Haapio, A. et Viitaniemi, P. (2008). A critical review of building environmental assessment tools. *Environmental Impact Assessment Review*, volume 28, numéro 7, p. 469.
 - 15 Cole, R. J. (2005). Building environmental assessment methods: redefining intentions and roles. *Building Research and Information*, volume 33, numéro 5, p. 455-467.
 - 16 Deakin, M., Huovila, P., Rao, S., Sunikka, M. et Vreeker, R. (2002). The assessment of sustainable urban development. *Building Research and Information*, volume 30, numéro 2, p. 95-108.
 - 17 Organisation internationale de normalisation (ISO) (2006). *ISO/TS 21931-1:2006 Sustainability in building construction, Framework for methods of assessment for environmental performance of construction works, Part 1: Buildings*. Organisation internationale de normalisation, Genève, Suisse, 19 p.
 - 18 Carson, R. (1962). *Silent Spring*. First Mariner Books, États-Unis, 378 p.
 - 19 Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., Behrens, W. (1972). *The limits to growth*. Universe Books, New York, États-Unis, 205 p.

-
- 20 Robinson, J. (2004). Squaring the circle? Some thoughts on the idea of sustainable development. *Ecological Economics*, volume 48, numéro 4, p. 369-384.
- 21 Commission mondiale sur l'environnement et le développement (CMED) (2009). *Notre avenir à tous*. Dans - Rapport Brundtland. http://fr.wikisource.org/wiki/Notre_avenir_%C3%A0_tous_-_Rapport_Brundtland (page consultée le 03/15 2010).
- 22 Finco, A. et Nijkamp, P. (2001). Pathways to urban sustainability. *Journal of Environmental Policy and Planning*, volume 3, numéro 4, p. 289-302.
- 23 USGBC (2007). *LEED® Initiatives in Government by Type*. USGBC, 2 p. <http://www.usgbc.org/ShowFile.aspx?DocumentID=1741>
- 24 McGraw Hill Construction (2007). *Greening of Corporate America Smart Market Report*, cité par USGBC, (2009).
- 25 Boeglin, N., Veuillet, D. (2006). *Introduction à l'Analyse de Cycle de Vie (ACV), Note de synthèse externe : mai 2005*. ADEME, 13 p.
- 26 The Green Standard (sans date). *Environmental product declaration in accordance with ISO 14025: Convert Design Platform by InterfaceFlor*. 20 p. http://www.interfaceflor.ca/pdf/Brief_InterfaceFLOREPDSummary_US%20English_10_2009.pdf
- 27 Sustainable Concrete (sans date). *Measuring Sustainability* http://www.sustainableconcrete.org.uk/measuring_sustainability.aspx (page consultée le 03/15 2010).
- 28 Syndicat Français de l'Industrie Cimentière (SFIC) (2011). *Béton et développement durable : analyse du cycle de vie de structures routières*. <http://www.infociments.fr/route/routes-autoroutes/beton-developpement-durable-analyse-cycle-vie-structures-routieres-> (page consultée le 02/16 2011).
- 29 RONA (2009). *Rona introduit de nouveaux produits à la gamme Rona éco sélectionnés avec l'aide d'experts indépendants en analyse du cycle de vie (Communiqué de presse)* 3 p. <http://www.rona.ca/rona/img/ATTACHMENT1238692947235.pdf>
- 30 Green Building Alliance (2009). *Green Building Products & Services Market Analysis for Pennsylvania and Benchmark States*. Green Building Alliance, 53 p.
- 31 ICLEI (A Worldwide Movement of Local Governments). *ICLEI Local Governments for Sustainability*. <http://www.iclei.org/index.php?id=798> (page consultée le 02/10 2011).
- 32 USGBC (2010). *List of LEED for Neighborhood Development pilot projects by state/province*. 6 p.
- 33 CBDCA, (2011). *LEED Canada pour l'aménagement des quartier, - projets et plans pilotes inscrits*. http://www.cagbc.org/AM/PDF/Canadian_LEED-ND_Pilot_Projects_110627_fr.pdf 1 p.
- 34 Association HQE, (2006). Communiqué de presse de l'Association HQE - Expérimentation HQE Aménagement. 1p. (http://www.assohqe.org/docs/communique_experimentation_aménagement.pdf)
- 35 Cole, R. J. (2004). Changing context for environmental knowledge. *Building Research and Information*, volume 32, numéro 2, p. 91-109.
- 36 Humbert, S., Abeck, H., Bali, N. et Horvath, A. (2007). Leadership in Energy and Environmental Design (LEED): A Critical Evaluation by LCA and Recommendations for Improvement. *International Journal of Life Cycle Assessment*, numéro Special Issue, p. 46-57.
- 37 Scheuer, C., Keoleian, G. A. et Reppe, P. (2003). Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications. *Energy and Buildings*, volume 35, numéro 10, p. 1049.
- 38 Sartori, I. et Hestnes, A. G. (2007). Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. *Energy and Buildings*, volume 39, numéro 3, p. 249.
- 39 United States Department of Energy (2009). Chapter 1, Section 1.1: Buildings Sector Energy consumption. Dans *Buildings Energy Data Book*. United States Department of Energy, p. 1-1.

-
- 40 Pacific Northwest National Laboratory (2008). *Assessing Green Building Performance: A Post Occupancy Evaluation of 12 GSA Buildings*. Pacific Northwest National Laborator, Richland, Washington, 120 p.
http://www.gsa.gov/graphics/pbs/GSA_Assessing_Green_Full_Report.pdf
- 41 Abbaszadeh, S., Zagreus, L., Lehrer, D. et Huizenga, C. (2006). Occupant Satisfaction with Indoor Environmental Quality in Green Buildings. Dans *Proceedings of Healthy Buildings 2006*, volume III. UC Berkeley: Center for the Built Environment., p. 365-370.
- 42 Conseil du bâtiment durable du Canada (CBDCa) (2010). *LEED® Canada pour les nouvelles constructions et les rénovations importantes 2009*. CBDCa, Ottawa, Canada, 1-113 p.
http://www.cagbc.org/AM/PDF/LEED_Canada_NC_CS_2009_Rating_System-Fr-Jun2010.pdf
- 43 Certivea, (2007). *Référentiel technique de certification Bâtiments Tertiaires – Démarche HQE®*. 239 p.
- 44 BRE Global (2010). *What is BREEAM?* <http://www.breeam.org/page.jsp?id=66> (page consultée le 03/07/2011).
- 45 BRE (2007). *BREEAM Fact File Version 5* BRE, 32 p. http://www.breeam.org/filelibrary/breeam_Fact_File_V5_-_Oct_2007.pdf
- 46 USGBC (2007). *LEED® Initiatives in Government by Type*. USGBC, 2 p.
<http://www.usgbc.org/ShowFile.aspx?DocumentID=1741>
- 47 Communities and Local Government (sans date). *Code for Sustainable Homes*
<http://www.communities.gov.uk/planningandbuilding/sustainability/codesustainablehomes/> (page consultée le 02/01 2011).
- 48 Building Design and Construction (2003). *White Paper on Sustainability: A Report on the Green Building Movement*. BD&C. 47 p. <http://www.usgbc.org/Docs/Resources/BDCWhitePaperR2.pdf>
- 49 USGBC (2011). Certified Projects List. Dans USGBC, *Projects and Case Studies Directory*.
<http://www.usgbc.org/LEED/Project/CertifiedProjectList.aspx> (page consultée le 03/10/2011).
- 50 USGBC (2011). Registered Projects List. Dans USGBC, *Pprojects and Case Studies Directory*.
<http://www.usgbc.org/LEED/Project/RegisteredProjectList.aspx> (page consultée le 03/10/2011).
- 51 Cole, R. J. (1999). Building environmental assessment methods: clarifying intentions. *Building Research and Information*, volume 27, numéro 4-5, p. 230-246
- 52 Cole, R. J. (1998). Emerging trends in building environmental assessment methods. *Building Research and Information*, volume 26, numéro 1, p. 3-16.
- 53 USGBC (2011). Schools. Dans USGBC, *Home, LEED Rating systems*.
<http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=1586> (page consultée le 05/07/2011).
- 54 BRE Global (2011). BREEAM New Construction: Healthcare. Dans BRE Global, *Home, Schemes, UK, BREEAM New Construction, Healthcare*. <http://www.breeam.org/page.jsp?id=105> (page consultée le 05/07/2011).
- 55 Building Owners and Managers Association (2011). *Accueil*. http://www.bomabest.com/fr/index_f.html (page consultée le 03/07/2011).
- 56 USGBC (2011). LEED for Existing Buildings. *Existing buildings: Operations and maintenance*.
<http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=221#v2008> (page consultée le 02/10/2011).
- 57 Building Research Establishment (sans date). *BREEAM In Use: Frequently asked questions*. 7 p.
(http://www.breeam.org/filelibrary/BREEAM_In-Use_FAQs_6.pdf)
- 58 Certivéa (2010). *La certification NF Bâtiments tertiaires en exploitation: Les étapes-clés*. Certivéa, 16 p.
http://www.certivea.fr/documentations/Etapes_clés_Certification_NF_Batiments_Tertiaires_en_Exploitation-Demarche_HQE.zip

-
- 59 La Maison Passive France (2003). *Certification en tant que « Maison Passive certifiée » Critères pour les maisons passives en tant que bâtiment d'habitation.*
- 60 La Maison Passive France (2007). *Certification en tant que « Maison Passive certifiée » Supplément relatif aux bâtiments non résidentiels.*
- 61 Green Globes (s.d.). *What is Green Globes?* <http://www.greenglobes.com/about.asp> (page consultée le 03/07/ 2011)
- 62 Green Building Council Australia (2010). *What is the history behind Green Star?* <https://www.gbca.org.au/faq/green-star/23/what-is-the-history-behind-green-star/> (page consultée le 04/07/ 2011).
- 63 Canadian Green Building Council (2004). *Green Building Rating System For New Construction and Major Renovation LEED® Canada-NC Version 1.0.* CaGBC. 91p.
- 64 City of Scottsdale, Arizona (2011). *Green Building Program.* <http://www.scottsdaleaz.gov/greenbuilding> (page consultée le 04/07/ 2011).
- 65 Council for Scientific and Industrial Research (2007). *The Sustainable Building Assessment Tool (SBAT®).* http://www.csir.co.za/Built_environment/Architectural_sciences/sbat.html
- 66 Gouvernement du Québec (2011). *Culture.* <http://www.gouv.qc.ca/portail/quebec/pgs/commun/portrait/culture/?lang=fr> (page consultée le 03/07/ 2011).
- 67 BRE (2011). *BRE Global.* <http://www.bre.co.uk/page.jsp?id=383> (page consultée le 03/07/ 2011).
- 68 BRE Trust (2010). *About the BRE Trust.* <http://www.bre.co.uk/bretrust/page.jsp?id=2052> (page consultée le 03/07/ 2011).
- 69 USGBC (2011). *About USGBC.* <http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=124>. (page consultée le 07/07/2011).
- 70 Conseil du bâtiment durable du Canada (CBDCa) (2011). Accueil. Dans CBDCa, *Conseil du bâtiment durable du Canada, Section Québec.* <http://cagbc.smallboxsoftware.net/sections/quebec/accueil.php> (page consultée le 02/28 2011).
- 71 USGBC (2009). *Green building by the numbers.* USGBC, 3 p. <http://www.usgbc.org/ShowFile.aspx?DocumentID=3340>
- 72 Office de l'efficacité énergétique (2009). Bâtiments neufs : Bâtiments écologiques. Dans Ressources Naturelles Canada, *OEE, Rapport au Parlement en vertu de la Loi sur l'efficacité énergétique, 2005-2006, Chapitre 4 : bâtiments* <http://oee.nrcan.gc.ca/publications/statistiques/parlement05-06/chapitre4.cfm?attr=0>. (page consultée le 03/07/ 2011).
- 73 Cole, R. et Larsson, N. (1999). GBC '98 and GBTool: background. *Building Research and Information*, volume 27, numéro 3/4, p. 221-229.
- 74 iiSBE (2011). About iiSBE. Dans iiSBE, *International Initiative for a Sustainable Built Environment.* <http://iisbe.org/about> (page consultée le 02/10 2011).
- 75 ADEME (s.d.). Haute Qualité environnementale – Définition. Dans ADEME, *Domaines d'intervention; Bâtiment ; Environnement – santé; Qualité environnementale des bâtiments* <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&p2=2004&catid=16140> (page consultée le 03/07/ 2011).
- 76 ADEME (s.d.) *Qui sommes-nous / Notre carte d'identité / En bref.* Dans ADEME, <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=13089> (page consultée le 03/07/ 2011).
- 77 ADEME (2007). *Bâtiment et démarche HQE®.* ADEME, 23 p. (<http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=7E58DFAE7A7DA8509DD4FE9E3204D6221178782715636.pdf>)
- 78 Certivéa (2011). *Liste des opérations certifiées NF Bâtiments Tertiaires associée à Démarche HQE et/ou BBC-Effinergie avec ou sans label HPE et classement Afilog, Mise à jour du 11/02/2011.* 17 p. (http://www.certivea.fr/op_certifiees/HQE.pdf)

- 79 Certivea (2009). *Certification de la Qualité Environnementale des Bâtiments; Accord BRE TRUST, CSTB, BRE GLOBAL et CERTIVEA*. 2 p.
http://www.certivea.fr/ressource/data/presse/CP_Accord_CSTB_BRETRUST_BREGLOBAL_Certivea_170609.pdf
- 80 Fowler, K. M., Rauch, E. M. (2006). *Sustainable Building Rating Systems Summary*. Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), 47 p.
- 81 Institut universitaire sur l'environnement urbain et les ressources humaines (2006). *Améliorer la transférabilité des techniques, des outils, des méthodes et des dispositifs innovants afin de mettre en place une « construction durable » dans la région méditerranéenne, Etude méthodologique « SB-MED » PHASE II*. Université de Panteion, 55 p.
- 82 Bunz, K. R., Henze, G. P. et Tiller, D. K. (2006). Survey of Sustainable Building Design Practices in North America, Europe, and Asia. *Journal of Architectural Engineering*, volume 12, numéro 1, p. 33-62.
- 83 BRE Environmental & Sustainability Standard, (2008). *BREEAM Offices 2008 Assessor Manual*. BRE, 350 p.
- 84 USGBC, (2009). *LEED 2009 for New Construction and Major Renovation Rating System*. USGBC, 88 p.
<http://www.usgbc.org/ShowFile.aspx?DocumentID=8868>
- 85 CBDCa, (2009). *Système d'évaluation des bâtiments durables LEED, LEED Canada pour les Habitations version 1.0*. CBDCa, 158 p. http://www.cagbc.org/AM/PDF/LEED_Canada_for_Homes_2009_RS.pdf
- 86 Certivea, (2008). *Référentiel du système de management de l'opération, Bâtiments Tertiaires*. 22 p.
- 87 iiSBE, (2007). *Rating systems and SBTool (Diapositives de présentation)*. 51 p.
http://www.iisbe.org/sites/default/files/SBTool_overview.
- 88 Todd, J., Crawley, D., Geissler, S. et Lindsey, G. (2001). Comparative assessment of environmental performance tools and the role of the Green Building Challenge. *Building Research & Information*, volume 29, numéro 5, p. 324.
- 89 iiSBE (2011). SBTool parameter list 27Jan11. *Dans iiSBE, Home SBTool 2010*.
<http://www.iisbe.org/system/files/private/SBTool%20master%20parameter%20list%2027Jan11.xlsx> (page consultée le 2 mars 2011)
- 90 Building Research Establishment, (2006). *BREEAM Offices 2006 Design & Procurement Pre-Assessment Estimator*. 15 p.
- 91 Dammann, S. et Elle, M. (2006). Environmental indicators: establishing a common language for green building. *Building Research & Information*, volume 34, p. 387-404.
- 92 Larsson, N. (2009). *Sustainable Building State-of-the-art* (Diapositives de présentation). iiSBE, 51 p.
[http://www.intendesign.com/oslo/Intend.nsf/Attachments/D38C014867D59B60C125763C0039EB8F/\\$FILE/Sustaiable+building+state+of+art,+Nils+Larsson,Iisbee.pdf](http://www.intendesign.com/oslo/Intend.nsf/Attachments/D38C014867D59B60C125763C0039EB8F/$FILE/Sustaiable+building+state+of+art,+Nils+Larsson,Iisbee.pdf)
- 93 US Geological Survey (2003). *Ground-Water Depletion Across the Nation*. USGS Fact Sheet-103-03. 4 p.
- 94 USGBC (2009). *Regional Priority Credits Frequently Asked Questions*
<http://www.usgbc.org/ShowFile.aspx?DocumentID=5732> (page consultée le 6 mars 2011)
- 95 USGBC, (2008). *LEED 2009 Credit Weighting*. 10 p. http://www.usgbc-ncc.org/storage/usgbcncc1/documents/leed_2009_-_weightings_overview.pdf
- 96 iiSBE (sans date). *Manitoba Hydro Head Office, Winnipeg Manitoba*.
http://www.iisbe.org/iisbe/sbc2k8/teams/canada/Manitoba_Hydro/Man_Hydro_perf_ind.htm (page consultée le 3 août 2011)
- 97 Green Building Certification Institute (sans date). *About GBCI*. <http://www.gbci.org/org-nav/about-gbci/about-gbci.aspx> (page consultée le 02 mars 2011.)
- 98 BRE (sans date). *Standard certification*. <http://www.breeam.org/page.jsp?id=40> (page consultée le 16 mars 2010)

-
- 99 Association HQE. (2006). HQE Mode d'emploi. 19 p. (http://www.assohqe.org/docs/HQE_mode_d%27emploi.doc)
- 100 GreenSource, (2005). How is LEED faring after five years in use? *Architectural Record* volume 193, numéro 6, p.135-138,140,142.
- 101 Grist (2005). *LEEDing us astray? Top green-building system is in desperate need of repair.* <http://www.grist.org/article/leed/> (page consultée le 16 mars 2010.)
- 102 Cole, R. J. (2006). Shared markets: coexisting building environmental assessment methods. *Building Research and Information*, volume 34, numéro 4, p. 357-371.
- 103 Emery, Erin (2010). LEED Professional Credential Holders Can Look for a New Logo to Identify CMP. Dans GBCI, *News and Announcements*. <http://www.gbci.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=19>. (page consultée le 19 mars 2011)
- 104 Association HQE™ (sans date). *La certification NF Bâtiments tertiaires - Démarche HQE.* <http://assohqe.org/hqe/spip.php?rubrique62>. (page consultée le 8 mars 2011)
- 105 Larsson, N. (2004). *The Integrated Design Process*. iiSBE, Ottawa, Canada. 7p.
- 106 Zimmerman, A. (sans date). Guide sur le processus de conception intégré. SCHL. 18 p. (http://www.cmhc-schl.gc.ca/fr/prin/coco/toenha/peinar/upload/Integrated_Design_GuideFRE.pdf)
- 107 Lewis, M. (2004). Integrated Design for Sustainable Buildings. *ASHRAE Journal*, volume 46, numéro 9, p. S22-S30.
- 108 iiSBE (2011). SBT-10 B Project Info and Assessment file. Dans *iiSBE, Home SBTool 2010*. [http://www.iisbe.org/system/files/private/SBT10_Generic_20Nov10.zip] (page consultée le 15 juillet 2011)
- 109 BRE Global (s.d.). BREEAM Assessor (UK). Dans *BREEAM, Home, Training & Events, Training Options, BREEAM Assessor (UK)*. <http://www.breeam.org/page.jsp?id=357> (page consultée le 15 juillet 2011)
- 110 Trusty, W. (2000) *Introducing an Assessment Tool Classification System* dans *Advanced Building Newsletter # 25*, p.18. (<http://www.athenasmi.ca/publications/publications.html>)
- 111 Boeglin, N. & Veillet, D. (2005). *Introduction à l'Analyse de Cycle de Vie, Note de synthèse externe : mai 2005*, ADEME Département Eco-Conception & Consommation Durable, 14 p.
- 112 CIRAIG (sans date). *ACV : Définitions et objectifs*. <http://www.ciraig.org/fr/acv.html> (page consultée le 15 janvier 2008.)
- 113 Josa, A., Gettu, R., & Aguado, A. (2005) Environmental assessment of cement based products: life cycle assessment and the Ecoconcrete software tool dans Dhir, R., Dyer, T. et Newlands, M. *Proceedings of the International Conference on Achieving Sustainability in Construction*, Univesity of Dundee, Écosse. p 281-290.
- 114 Kosareo, L. et Ries, R. (2007). Comparative environmental life cycle assessment of green roofs. *Building and Environment*, volume 42, numéro 7, p. 2606-2613.
- 115 Sustainable Concrete (sans date). *Embodied carbon dioxide (ECO2) and construction materials*. <http://www.sustainableconcrete.org.uk/PDF/Table%20-%20Embodied%20CO2%20and%20construction%20materials%20version%201.1.pdf>. (Page consultée le 13 juin 2010)
- 116 Gustavsson, L. et Sathre, R. (2006). Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials. *Building and Environment*, volume 41, numéro 7, p. 940-951.
- 117 Ortiz, O., Castells, F. et Sonnemann, G. (2009). Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. *Construction and Building Materials*, volume 23, numéro 1, p. 28-39.
- 118 International Energy Agency (2001). *LCA Methods for Buildings - Annex 31- Energy related environmental impact of buildings*. 38 p.

-
- 119 Koroneos, C. et Kottas, G. (2007). Energy consumption modeling analysis and environmental impact assessment of model house in Thessaloniki--Greece. *Building and Environment*, volume 42, numéro 1, p. 122-138.
- 120 Malmqvist, T., Glaumann, M., Scarpellini, S., Zabalza, I., Aranda, A., Llera, E. et Díaz, S. (2011). Life cycle assessment in buildings: The ENSLIC simplified method and guidelines. *Energy*, volume 36, numéro 4, p. 1900.
- 121 CNRC (1980). *Le bâtiment et le coût du cycle de vie (Digests de la construction au Canada CBD-212-F.)* (<http://www.nrc-cnrc.gc.ca/fra/idp/irc/dcc/digest-construction-212.html>)
- 122 Gluch, P. et Baumann, H. (2004). The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision-making. *Building and Environment*, volume 39, numéro 5, p. 571-580.
- 123 Lippiatt, B.C. (2007). *Building for Environmental and Economic Sustainability (BEES) Technical Manual and User Guide*. NIST, 327 p. (<http://fire.nist.gov/bfrlpubs/build07/PDF/b07018.pdf>)
- 124 NIST (2011). *BEES Online*. <http://ws680.nist.gov/Bees/Default.aspx> (Consulté le 27 février 2011.)
- 125 The Right Environment (2003). *EcoConcrete software tool*. <http://www.therightenvironment.net/EcoConcrete.htm> (page consultée le 20 février 2011)
- 126 Scrivener, K. L. et Kirkpatrick, R. J. (2008). Innovation in use and research on cementitious material. *Cement and Concrete Research*, volume 38, numéro 2, p. 128-136.
- 127 Asif, M., Muneer, T. et Kelley, R. (2007). Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland. *Building and Environment*, volume 42, numéro 3, p. 1391.
- 128 Oliver-Solà, J., Josa, A., Rieradevall, J. et Gabarrell, X. (2009). Environmental optimization of concrete sidewalks in urban areas. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, volume 14, numéro 4, p. 302-312.
- 129 Athena Sustainable Materials Institute, (sans date). *About the institute*. <http://www.athenasmi.org/about/index.html> (page consultée le 29 septembre 2008.)
- 130 Athena Sustainable Materials Institute (2010). Athena Impact Estimator for Building version 4.1. Logiciel de démonstration. [https://athena.morrisonhershfield.com/DNET_Athena/download/Athena4Trial4113.zip]
- 131 Athena Sustainable Materials Institute, (2008). *Athena Institute Releases New Version of the Acclaimed Impact Estimator for Buildings Software*. http://www.athenasmi.org/tools/impactEstimator/pressRelease_200812.html; (page consultée le 2 novembre 2009.)
- 132 Peuportier, B., et Putzeys, K. (2005) *PRESCO, WP2 intercomparison and benchmarking of LCA-based environmental assessment and design tools for buildings*. Final report, <http://www.etn-presco.net/generalinfo/index.html> (page consultée le 20 juillet 2011)
- 133 BRE (sans date). *Envest 2 Environmental impact and Whole Life Costs analysis for buildings*. <http://envestv2.bre.co.uk/> (page consultée le 1 juin 2010)
- 134 BRE (sans date). *Ecopoints: a Single Score Environmental Assessment*. 2 p. <http://www.bre.co.uk/pdf/076.pdf>.
- 135 Gypsum Association (sans date). *Association Members*. Dans Gypsum Association, *About*. <http://www.gypsum.org/members.html> (page consultée le 20 juillet 2011)
- 136 CGC Inc. (sans date). *Matières recyclées*. Dans CGC Inc., *Durabilité*. <http://www.cgcinc.com/fr/durabilit%C3%A9/mati%C3%A8res-recycl%C3%A9es.aspx> (page consultée le 20 juillet 2011)
- 137 CertainTeed (2009). *Tech Update: CertainTeed Gypsum Sustainable Material Data Sheet*. http://www.certainteed.com/resources/CTG_ProRoc_Board-LEED.pdf (page consultée le 20 juillet 2011)

-
- 138 Hofstetter, P. et Mettier, T. M. (2003). What Users Want and May Need. *Journal of Industrial Ecology*, volume 7, numéro 2, p. 79-101.
- 139 Centre de l'environnement (sans date). *Ballots de paille*. <http://www.centreenvironnement.org/ballots.html> (page consultée le 25 juillet 2011)
- 140 Horst, S. et Trusty, W. (sans date). Integrating LCA Tools in LEED: First Steps. http://www.usgbc.org/Docs/Archive/MediaArchive/410_Horst_PA815.pdf (page consultée le 25 juillet 2011)
- 141 BRE ltd (sans date). *Our history*. <http://www.bre.co.uk/page.jsp?id=1712> (page consultée le 16 mars 2010)
- 142 Curwell, S. et Cooper, I. (1998). The implications of urban sustainability, *Building Research and Information*, Volume 26, Numéro 1, 1998, Pages 17 – 28
- 143 Paterson, D. et Connery, K. (1997). Reconfiguring the edge city: The use of ecological design parameters in defining the form of community. *Landscape and Urban Planning*, volume 36, numéro 4, p. 327-346.
- 144 Criterion Planners, (2009). *Designing Low Carbon Neighborhoods With LEED-ND* (Diapositives de présentation) (<http://www.usgbc.org/ShowFile.aspx?DocumentID=6557>)
- 145 Sénécal, G. et Hamel P. (2001). Ville compacte et qualité de vie : discussions autour de l'approche canadienne des indicateurs de durabilité. *Le géographe canadien*, volume 45, numéro 2, p.306-31
- 146 SCHL (sans date). *Aménagement de collectivités durables* <http://www.schl.ca/fr/prin/dedu/amcodu/> (page consultée le 24 février 2010)
- 147 SCHL, (2009). *Sauriez-vous reconnaître une collectivité durable?* <http://www.schl.ca/en/prin/dedu/amcodu/sqceusvevu/index.cfm> (page consultée le 24 février 2010)
- 148 Housing Energy Best Practice Programme, (2002). *BedZED – Beddington Zero Energy Development, Sutton (General information report 89)*. BRE, Watford. 36 p.
- 149 Roseland, M. (2000). Sustainable community development: integrating environmental, economic, and social objectives. *Progress in Planning*, volume 54, numéro 2, p. 73-132.
- 150 USGBC (sans date). *LEED for Neighborhood Development*. <http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=148> (page consultée le 16 mars 2010.)
- 151 Conseil du bâtiment durable du Canada (sans date). *LEED Canada pour l'aménagement des quartiers (AQ)*. CBDCa, 3 p. <http://www.cagbc.org/AM/PDF/aaq%20outline%20092209%20Fra.pdf>
- 152 Association HQE (2010). *Pour la réalisation d'opérations d'aménagement durable: La démarche HQE(TM)-Aménagement*. Association HQE, Paris, France, 50 p.
- 153 CNU (sans date). *What is CNU?* http://www.cnu.org/who_we_are (page consultée le 26 juillet 2011.)
- 154 NRDC (sans date). *Who we are*. http://www.nrdc.org/about/who_we_are.asp (page consultée le 26 juillet 2011.)
- 155 CNU, NRDC et USGBC (2009). *LEED 2009 for neighborhood development*. USGBC. Washington DC, États-Unis, 144 p.
- 156 USGBC (2010). *LEED for neighborhood development 2009 Frequently asked Questions*. 11 p. <http://www.usgbc.org/ShowFile.aspx?DocumentID=7188>
- 157 USGBC, (2009). LEED for Neighborhood development project checklist. Dans USGBC, *LEED for Neighborhood development* <http://www.usgbc.org/ShowFile.aspx?DocumentID=6407> (page consultée le 6 mars 2011)
- 158 Hurley & Home, sans date. Review and Analysis of Tools for the Implementation and Assessment of Sustainable Urban Development <http://mams.rmit.edu.au/pkyhfgx8nhq3.pdf>

-
- 159 Greensource, (2009). *Won't You Be My Neighbor?* http://greensource.construction.com/features/other/2009/01_LEED-ND.asp (page consultée le 24 février 2010.)
- 160 Kaatz, E., Root, D. S., Bowen, P. A. et Hill, R. C. (2006). Advancing key outcomes of sustainability building assessment. *Building Research and Information*, volume 34, p. 308-320.
- 161 Lützkendorf, T. et Lorenz, D. (2006). Using an integrated performance approach in building assessment tools. *Building Research & Information*, volume 34, p. 334-356.
- 162 Cooper, I. (1999). Which focus for building assessment methods – environmental performance or sustainability? *Building Research & Information*, volume 27, numéro 4, p. 321.
- 163 Crawley, D. et Aho, I. (1999). Building environmental assessment methods: applications and development trends. *Building Research & Information*, volume 27, numéro 4/5, p. 300-308.
- 164 Kohler, N. (1999). The relevance of Green Building Challenge: an observer's perspective. *Building Research and Information*, volume 27, p. 309-320.
- 165 Trusty, W. (2006). *Integrating LCA into LEED Working Group A (Goal and Scope) Interim Report #1*. USGBC, 7 p.
- 166 Trusty, W et S. Hortst (sans date). *Integrating LCA Tools in Green Building Rating Systems*. 7p.
- 167 Zabalza Bribián, I., Aranda Usón, A. et Scarpellini, S. (2009). Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. *Building and Environment*, volume 44, numéro 12, p. 2510-2520.
- 168 James, S. & T. Lahti, (2004). *The Natural Step for Communities- How cities and towns can change to sustainable practices*. New Society Publishers, Canada. 279 p.
- 169 ICLEI (2009). *Local Governments for Sustainability: Local Solutions to Global Challenges*. ICLEI, 20 p.
- 170 Nations Unies Développement Durable (sans date). *Action 21* <http://www.un.org/french/ga/special/sids/agenda21/> (page consultée le 23 juin 2008).
- 171 Réseau des agences régionales de l'énergie et de l'environnement, (2005). *Objectif développement durable : comprendre et agir sur son territoire – retours d'expériences et recommandations pour l'Agenda 21 local*. Groupe de travail "Développement Durable" du RARE, Toulouse, France. 116 p.
- 172 Brassard, et al. (2007). Les étapes d'un Agenda 21e siècle local. Adapter la démarche à sa collectivité. Dans Gagnon, C. et Arth., E. *Guide québécois pour des Agendas 21e siècle locaux : applications territoriales de développement durable viable*. http://www.a211.qc.ca/9574_fr.html (page consultée le 25 juin 2008).
- 173 Feichtinger, J. et Pregernig, M. (2005). Participation and/or/versus sustainability? Tensions between procedural and substantive goals in Two Local Agenda 21 processes in Sweden and Austria. *European Environment*, volume 15, numéro 4, p. 212-227.
- 174 Saward, M. 1993. Green democracy? Dans Dobson, A. et Lucardie, P. *The Politics of Nature: Explorations in Green Political Theory*, édition électronique 2003, Routledge, Londres, Angleterre, p. 63-77.
- 175 Gooch, G. D. (2002). Linköping and Local Agenda 21: Sustainability, Technocracy or Democracy? dans Svedin, U & Aniansson, B. H., *Sustainability, local democracy and the future: the Swedish model*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Pays-Bas, p. 129-151.
- 176 Jörby, S. A. (2002). Local Agenda 21 in Four Swedish Municipalities: A Tool towards Sustainability? *Journal of Environmental Planning and Management*, volume 45, numéro 2, p. 219-244.

-
- 177 Rees, William E. (sans date). The Coming Age of the 'Built Environment'. Dans iisBE, *Green Building Challenge '98 Conference Retrospective*. <http://www.iisbe.org/gbc98cnf/speakers/rees.htm#AGE> (page consultée le 6 mars 2011)
- 178 Kaatz, E., Root, D. et Bowen, P. (2005). Broadening project participation through a modified building sustainability assessment. *Building Research & Information*, volume 33, p. 441-454.
- 179 Zimmerman, A. et Kibert, C. J. (2007). Informing LEED's next generation with The Natural Step. *Building Research & Information*, volume 35, numéro 6, p. 681.
- 180 Noble, B. (2005). *Introduction to Environmental Impact Assessment: Guide to Principles and Practice*, édition 2006. Oxford University Press Canada, Don Mills, Canada, 216 p.
- 181 Agence canadienne d'évaluation environnementale (sans date). *Éléments de base de l'évaluation environnementale* <http://www.ceaa.gc.ca/default.asp?lang=Fr&n=B053F859-1#1> (page consultée le 1er mars 2010)
- 182 Wu, A. Fleming, G. Aouad & R. Cooper. (sans date). *The Development of the Process Protocol Mapping Methodology and Tool*. 12p. (<http://www.processprotocol.com/pdf/ProcessProtocol%20Methodology%20and%20tool.pdf>)
- 183 University of Salford (sans date). *Process Protocol* <http://www.processprotocol.com/background.htm> (page consultée le 20 février 2011)
- 184 Williams, K. et Dair, C. (2006). What is stopping sustainable building in England? Barriers experienced by stakeholders in delivering sustainable developments. *Sustainable Development*, volume 15, numéro 3. p. 135-147.
- 185 Considerate Constructors Scheme Ltd (2011). *Company Code of Considerate Practice*. 1p. <http://www.ccscheme.org.uk/images/stories/company-registration/downloads/2011companycodeofpractice.doc>
- 186 Glasson, J. et Cozens, P. (2011). Making communities safer from crime: An undervalued element in impact assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, volume 31, numéro 1, p. 25-35.
- 187 Gendarmerie Royale du Canada (2003). *Pour des communautés plus sécuritaires*. Dans GRC, *Rapports et publications, Services de police contractuels et autochtones* <http://www.rcmp-grc.gc.ca/pubs/ccaps-spcca/safecomm-seccollect-fra.htm> (page consultée le 27 juillet 2011)
- 188 Association of Chief Police Officers (sans date). *About us*. <http://www.securedbydesign.com/about/index.aspx> (page consultée le 27 juillet 2011)
- 189 Association of Chief Police Officers (2004). *Secured By Design Multi-Story Dwellings*. <http://www.securedbydesign.com/pdfs/multistory.pdf> (page consultée le 27 juillet 2011)
- 190 Gluch, P. et Baumann, H. (2004). The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision-making. *Building and Environment*, volume 39, numéro 5, p. 571.
- 191 CBDCa (2010). *LEED Canada pour les nouvelles constructions et les rénovations importantes, LEED Canada pour les projets de noyau et enveloppe, système d'évaluation*. 113 p. http://www.cagbc.org/AM/PDF/LEED_Canada_NC_CS_2009_Rating_System-Fr-Jun2010.pdf
- 192 Athena Sustainable Materials Institute (2006). *Service Life Considerations In Building Rating Systems, an Exploratory Study*. 37 p. http://www.athenasmi.ca/publications/docs/Service_Life_Expl_Study_Report.pdf
- 193 Cole, R. J. et Sterner, E. (2000). Reconciling theory and practice of life-cycle costing. *Building Research and Information*, volume 28, numéro 5-6, p. 368-375.
- 194 Galibourg, J. M. (2006). *Ouvrages publics et coût global. Une approche actuelle pour les constructions publiques. Guide à l'attention des maîtres d'ouvrages, pour une approche en 'coût global' des constructions publiques*, Paris: Mission Interministérielle pour la Qualité des Construction Publique. 100 p.

-
- 195 Beauchemin, P. (2011). *L'ancien hôpital Bellechasse devient logements communautaires*. Journal de Rosemont La Petite-Patrie. <http://www.journalderosemont.com/Societe/Vie-communautaire/2011-03-02/article-2290245/L%26rsquo%3Bancien-hopital-Bellechasse-devient-logements-communautaires/1> (page consultée le 27 juillet 2011)
- 196 Russell, P. et Moffatt, S. (2001). *Assessing Buildings for Adaptability*. International Energy Agency. 12 p. <http://annex31.wiwi.uni-karlsruhe.de/pdf/PDF%20version%20%20Background%20Reports-%20Annex%2031%20Assessing%20Building.pdf>
- 197 Société canadienne d'hypothèque et de logement (sans date). *Les quatre principes du Bâti-Flex(mc)*. Dans SCHL, Achat d'un logement, Bâti-Flex. http://www.cmhc-schl.gc.ca/fr/co/aclo/bafl/bafl_004.cfm#1 (page consultée le 27 juillet 2011)
- 198 Larsson, N. (2003). Adapting to climate change in Canada. *Building Research & Information*, volume 31, numéro 3-4, p. 231-239.
- 199 International Living Building Institute (2010). *Living Building Challenge (tm) 2.0*. International Living Building Institute, Seattle, USA, 1-45 p.
- 200 Williams, K. et Dair, C. (2007). A framework of sustainable behaviours that can be enabled through the design of neighbourhood-scale developments. *Sustainable Development*, volume 15, numéro 3, p. 160-173.
- 201 Basden, A. (2010). On using spheres of meaning to define and dignify the IS discipline. *International Journal of Information Management*, volume 30, numéro 1, p. 13.
- 202 Courthial, Pierre (1980). Le mouvement réformé de reconstruction chrétienne. *Revue Hokhma*. 14/1980, p.44-70. http://www.vbru.net/src/divers/divers/courthial_mrcc.html#_ftnref58 (page consultée le 11 mars 2010)
- 203 Nijkamp, P. (sans date). Review: *Peter S. Brandon & Patrizia Lombardi Evaluating Sustainable Development in the Built Environment*. 2p. http://www.blackwellpublishing.com/content/BPL/Images/Content_store/Sample_chapter/0632064862/Review%20PN%20Brandon%20Lombardi.pdf (page consultée le 11/07/2011)
- 204 Deakin, M. (2005). Evaluating sustainability: is a philosophical framework enough? *Building Research & Information*, volume 33, numéro 5, p. 476-480.
- 205 Optis, M. B. (2008). *Incorporating Life Cycle Assessment into the LEED Green Building Rating System*. Mémoire de maîtrise. Université de Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada. 163 p.
- 206 Thormark, C. (2006). The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building. *Building and Environment*, volume 41, numéro 8, p. 1019-1026
- 207 Green Building Initiative (sans date). *LCA and the Green Globes™ Rating System* <http://www.thegbi.org/commercial/life-cycle-assessment.asp> (page consultée le 11 mars 2010)
- 208 BRE Global (2008). *Environmental Profiles for Construction Products*. http://www.bre.co.uk/filelibrary/greenguide/PDF/SD028-4_EnvironmentalProfiles_SchemeDocument.pdf. 10 p.
- 209 BRE Global Ltd. (sans date). *Green Guide 2008 Ratings, Building type : Commercial, Category : Commercial Windows, Element type: Windows*. Dans BRE Global, *Home, Green Guide To Specification, Login/Register for Ratings* <http://www.bre.co.uk/greenguide/ggelement.jsp?buildingType=Offices&category=31&parent=0&elementType=10150> (page consultée le 11 mars 2010)
- 210 BRE Global (2009). *Environmental Profiling Explained. (Diapositives de présentation)*. http://www.bre.co.uk/filelibrary/greenguide/presentations/Presentation_HowGreenIsGreen_EnvironmentalProfilesExplained.pdf (page consultée le 30 juillet 2011)
- 211 Norman, J., MacLean, H. L. et Kennedy, C. A. (2006). Comparing High and Low Residential Density: Life-Cycle Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions. *Journal of Urban Planning and Development*, volume 132, numéro 1, p. 10-21.

-
- 212 Ressources naturelles Canada (2009). *Outils logiciel : EE4*. http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-mcan.gc.ca/fra/outils_logiciels/ee4.html (page consultée le 3 mars 2011)
- 213 Architecture Energy Corporation, (2010). *REM/Rate™*. http://www.archenergy.com/products/rem/rem_rate/ (page consultée le 16 mars 2010)
- 214 USDoE (2011). *Building Energy Software Tools Directory*. http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/ (page consultée le 3 mars 2011)
- 215 DEFRA (2005). *The Government's Standard Assessment Procedure for Energy Ratings of Dwellings*. BRE, Watford, Angleterre. 157 p. http://projects.bre.co.uk/sap2005/pdf/SAP2005_9-82.pdf
- 216 Newsham, G.R., Mancini, S., Birt, B. (2009). *Do LEED-certified buildings save energy? Yes, but.* (NRCC - 5114). CNRC, Canada. 20 p. <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/obj/irc/doc/pubs/nrcc51142.pdf>
- 217 Turner, C. (2006). *LEED Building Performance in the Cascadia Region: A Post Occupancy Evaluation Report*. Cascadia Region Green Building Council, 16 p. http://cascadiagbc.org/resources/POE_REPORT_2006.pdf
- 218 USGBC, (2009). *LEED 2009 for New Construction and Major Renovation Rating System*. 88 p.
- 219 USGBC (sans date). *How to achieve certification*. <http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=1991> (page consultée le 18 mars 2010)
- 220 Cole, R. J. (2001). Lessons learned, future directions and issues for GBC. *Building Research and Information*, volume 29, numéro 5, p. 355-373.
- 221 Kohler, N. (2002). The relevance of BEQUEST: an observer's perspective. *Building Research & Information*, volume 30, p. 130-138.
- 222 Finnveden, G., Hauschild, M., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koehler, A., Pennington, D. et Suh, S. (2009). Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of environmental management*, volume 91, numéro 1, p. 1-21.
- 223 CBDCa (sans date). *Bâtisseurs écologiques de l'avenir (BEAs)*. <http://www.cagbc.org/Content/NavigationMenu2/Sections/Quebec/btisseurscologiquesdelavenirBEAs/default.htm>
- 224 Direction des immeubles et Direction des stratégies et transactions immobilières (2009). *Politique de développement durable pour les édifices de la Ville de Montréal*. Ville de Montréal. 10 p. http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/page/d_durable_fr/media/documents/POLITIQUE%20DD%20EDIFICES.PDF
- 225 Ville de Victoriaville (2011). *Nouvelle Construction édition 2011 : Demande d'attestation, concept personnalisé*. 11 p. <http://www.habitationdurable.com/images/stories/pdf/concept-perso.pdf>
- 226 Ville de Victoriaville (2011). *Nouvelle Construction édition 2011 : Guide explicatif*. 27 p. <http://www.habitationdurable.com/images/stories/pdf/guide-explicatif.pdf>
- 227 International Living Building Institute (2010). *Living Building Challenge (tm) 2.0*. International Living Building Institute, Seattle, USA, 1-45 p.
- 228 CBDCa (sans date). *Bâtiments Existants*. <http://www.cagbc.org/Content/NavigationMenu2/Programmes/LEED/systmesdvaluationdeLEEDCanada/Btimentsexistants/default.htm> (page consultée le 19 juillet 2011)
- 229 Hostetler, M., Swiman, E., Prizzia, A. et Noiseux, K. (2008). Reaching Residents of Green Communities: Evaluation of a Unique Environmental Education Program. *Applied Environmental Education & Communication*, volume 7, numéro 3, p. 114.
- 230 Granderson, Jessica. (2009). *Preliminary Findings from an Analysis of Building Energy Information System Technologies*. Lawrence Berkeley National Laboratory. 22 p. (<http://www.escholarship.org/uc/item/4n39t1rc>)

-
- 231 Energy Star (sans date). *Portfolio Manager Overview*. http://www.energystar.gov/index.cfm?c=evaluate_performance.bus_portfoliomanager_benchmarking (page consultée le 3 août 2011)
- 232 Google Inc. (2011). *What is Google PowerMeter?* <http://www.google.com/powermeter/about/about.html> (page consultée le 11 mars 2011)
- 233 Lucid Energy Group Inc. (2010). *Building Dashboard Kiosk*. <http://www.luciddesigngroup.com/kiosk/features.php> (page consultée le 3 août 2011)
- 234 Vischer, J. (2004). *Revaluing Construction: Building Users' Perspective*. Université de Montréal, 25 p. http://www.gret.umontreal.ca/images/Vischer_Users%20Perspective_Revaluing%20Construction%20Oct04.pdf
- 235 SCHL (2003). *Processus de conception intégré au projet de redéveloppement du Théâtre Séville*. Le Point en recherche, série technique 03-102. 12 p. <https://www03.cmhc-schl.gc.ca/catalog/productDetail.cfm?cat=37&itm=64&lang=fr&fr=1312494986833>
- 236 Équiterre (sans date). *Conception intégrée*. Dans Équiterre, *Fiches d'information*. <http://www.equiterre.org/fiche/conception-integree> (page consultée le 4 août 2011)
- 237 Cole, Lindsay (2007). *Integrated Design Process: Facilitation Resource Guide*. Sustainability Solutions Group. 78 p.
- 238 Pearl, D. (2004). An Integrated Design Process (IDP). *Canadian Architect*, volume 49, numéro 6, p. 32-35
- 239 USGBC (2006). *Project Profile Banner Bank Building, Boise, Idaho*. 2 p. <http://www.usgbc.org/ShowFile.aspx?DocumentID=2057>
- 240 US Food and Drug Administration (2004). *How to Understand and Use the Nutrition Facts Label*. Dans USFDA, *Food, Labeling & Nutrition, Consumer Information*
- 241 iiSBE (sans date). *Manitoba Hydro Head Office, Winnipeg Manitoba*. http://www.iisbe.org/iisbe/sbc2k8/teams/canada/Manitoba_Hydro/Man_Hydro_perf_ind.htm (page consultée le 3 août 2011)
- 242 iiSBE (2006). *An Overview of the GBC Method and SBTool*. 16 p.
- 243 USGBC, (2009). LEED 2009- NC Weightings Overlay Tool-Static.xls. Dans USGBC, *LEED 2009: Technical advancements to the LEED rating system* <http://www.usgbc.org/ShowFile.aspx?DocumentID=5716> (page consultée le 3 mars 2011)
- 244 Office de l'efficacité énergétique (OEE) (2007). *Enquête sur la consommation d'énergie du secteur commercial et institutionnel*, Rapport sommaire – Juin 2007. Publications Éconergie, Ottawa, Canada, 49 p.
- 245 OEE (2010). Émissions de GES du secteur de la production d'électricité par source d'énergie. Dans Ressources Naturelles Canada, *Émissions de GES du secteur de la production d'électricité par source d'énergie*. http://oee.nrcan.gc.ca/organisme/statistiques/bnce/apd/tableauxguide2/egen_00_2_f_4.cfm?attr=0 (page consultée le 02/10 2011).
- 246 Office national de l'énergie (2010). Figure 1.1 - Offre d'énergie et répartition de la consommation en Amérique du Nord. Dans ONE, *Avenir énergétique du Canada - Évolution de l'infrastructure et enjeux à l'horizon 2020 - Évaluation du marché de l'énergie*. <http://www.neb-one.gc.ca/clf-nsi/rnrgynfntn/nrgyprtr/nrgyfr/2009/nfrstrctrhngchllng2010/nfrstrctrhngchllng2010-fra.html> (page consultée le 11 mars 2011)
- 247 St. Louis, V. L., Kelly, C. A., Duchemin, É., Rudd, J. W. M. Et Rosenberg, D. M. (2000). Reservoir Surfaces as Sources of Greenhouse Gases to the Atmosphere: A Global Estimate. *Bioscience*, volume 50, numéro 9, p. 766-775.
- 248 Kammen, Daniel. (2009). The Benefits of Decarbonising the Economy dans Richardson et al. *Synthesis Report. Climate Change: Global Risks, Challenges & Decisions 2^e édition*. Université de Copenhague, Copenhague, Danmark, 39 p.
- 249 Université Concordia (2009). *Concordia's New John Molson School of Business Incorporates State of the Art Solar Technology*. http://www.concordia.ca/now/media-relations/press-releases/20090115/concordias_new_john_molson_sch.php (page consultée le 19 juillet 2011)

-
- 250 Bioregional (2009). *BedZED seven years on: The impact of the UK's best known eco-village and its residents*. Bioregional, Angleterre. 43 p.
- 251 Ressources Naturelles Canada (2009). *Synopsis de projet Bâtiment neuf ; Dockside Green, Victoria, Colombie-Britannique* <http://oe.nrcan.gc.ca/publications/commerciaux/oe2009-03f.cfm?attr=20> (page consultée le 19 mars 2010)
- 252 SCHL (2006). *Innovation dans l'habitation : Réaménagement de Benny Farm à Montréal*. SCHL, Canada. 8p. (<http://www.cmhc-schl.gc.ca/fr/prin/coco/toenha/inim/upload/65181.pdf>)
- 253 The Hour (2007). *Montreal Matters: Learning from Benny Farm's mistakes; Lessons from Benny*. <http://www.hour.ca/news/news.aspx?iIDArticle=13160> (page consultée le 15 février 2010)
- 254 CIRAIG (2011). Base de données d'inventaire canadienne du cycle de vie –Ecoinvent s'associe au CIRAIG. <http://www.ciraig.org/CommuniqueBD230311VersionFinale.pdf>. (page consultée le 29 juillet 2011)
- 255 TerraChoice (2010). *Les péchés de mascarade écologique: Édition familiale 2010*. Underwriters Laboratories, 1-31 p. http://sinsofgreenwashing.org/?dl_id=105
- 256 Programme ÉcoLogo (sans date). *À propos d'ÉcoLogo*. <http://www.ecologo.org/fr/> (page consultée le 30 juillet 2011)
- 257 Green Seal (sans date). *About Green Seal*. <http://www.greenseal.org/AboutGreenSeal.aspx> (page consultée le 30 juillet 2011)
- 258 Coalition Bois (2011). *Le bois et l'environnement - Le bois et la construction écologique* http://www.cecobois.com/index.php?option=com_content&view=article&id=92&Itemid=101 (page consultée le 19 mars 2010).
- 259 Harvey, L. D. D. (2007). Net climatic impact of solid foam insulation produced with halocarbon and non-halocarbon blowing agents. *Building and Environment*, volume 42, numéro 8, p. 2860.
- 260 Wilson, A. (2010). *Avoiding the Global Warming Impact of Insulation*. Environmental Building News, Vermont, USA, 1-9-14 p.
- 261 Environmental Building News (EBN) (2010). *Global Warming Problems with Spray Polyurethane Foam Insulation Questioned*. (page consultée le 02/01 2011).