

**Université de Montréal**

**Analyse comparative de l'approche bioclimatique et de la méthode LEED en  
architecture**

**Par :  
Jhonny Gamboa**

**Faculté de l'aménagement  
Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures  
en vue de l'obtention du grade de Maîtrise en Sciences Appliquées (M.Sc.A.)  
en aménagement**

**Juin 2016  
© Jhonny Gamboa, 2016**

Université de Montréal  
Faculté des études supérieures et postdoctorales

Ce mémoire intitulé :  
**Analyse comparative de l'approche bioclimatique et de la méthode LEED en  
architecture**

Présenté par :  
Jhonny Gamboa

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Juan Torres, président-rapporteur  
Marie Lessard, directrice de recherche  
Sylvain Plouffe, co-directeur de recherche  
Isabelle Thomas, membre du jury

## Remerciements

Je tiens à remercier sincèrement Madame Marie Lessard, ma directrice de maîtrise, je la remercie pour ses conseils, pour ses encouragements et commentaires, pour m'avoir guidé dans cette démarche, pour son écoute attentive, sa patience et son accompagnement tout au long de l'élaboration de ce mémoire. Vous avez cru en moi.

Je veux remercier ma famille et mes amis, notamment mes amis Yenny Lozano et Benjamin Herazo pour leur appui soutenu, ainsi que mes amis réviseurs Claire Simonneau et Sylvain Bertin pour leur patience et leur compréhension.

## Citation

### *Ithaque*

*Lorsque tu mettras le cap sur Ithaque,  
fais de sorte que ton voyage soit long,  
plein d'aventures et d'expériences.  
Les Lestrygons et les Cyclopes,  
et la colère de Poséidon ne crains,  
ils ne se trouveront point sur ton chemin  
si ta pensée reste élevée, si une émotion de qualité  
envahit ton esprit et ton corps. Lestrygons Cyclopes,  
et la fureur de Poséidon tu n'auras à affronter  
que si tu les portes en toi,  
si c'est ton âme qui les dresse devant toi.*

*Fais de sorte que ton parcours soit long.  
Que nombreux soient les matins  
où - avec quel délice et quelle joie! -  
tu découvriras des ports inconnus,  
des ports nouveaux pour toi, et tu iras  
t'arrêter devant les échoppes Phéniciennes  
pour acquérir les belles marchandises  
nacres, coraux, ambres, ébènes  
et des parfums voluptueux,  
surtout beaucoup de parfums voluptueux;  
et tu iras d'une ville Egyptienne à l'autre  
pour apprendre, et encore apprendre, de la bouche des savants.*

*La pensée d'Ithaque ne doit pas te quitter.  
Elle sera toujours ta destination.  
Mais n'écourte pas la durée du voyage.  
Il vaut mieux que cela prenne des longues années  
et que déjà vieux tu atteignes l'île,  
riche de tout ce que tu as acquis sur ton parcours  
et sans te dire  
qu'Ithaque t'amènera des richesses nouvelles.*

*Ithaque t'a offert le beau voyage.  
Sans elle, tu n'aurais pas pris la route.  
Elle n'a plus rien à te donner.*

*Et si tu la trouvais pauvre, Ithaque ne t'a pas trompé.  
Sage à présent et plein d'expérience,  
tu as certainement compris  
ce que pour toi Ithaque signifie.*

Poème de Constantin Cavafy écrit à Alexandrie en 1911.

Traduit par François Sommaripas.

## Résumé

Motivé par l'évolution de la production architecturale durable dans les pays d'Amérique latine, et plus particulièrement en Colombie, mon projet de recherche porte sur l'adaptation de l'architecture à ce nouveau contexte. L'approche architecturale traditionnelle à la prise en compte de l'énergie et du climat est l'architecture bioclimatique : reproduite à partir de connaissances et techniques ancestrales remontant à la conception de l'abri, cette dernière étudie les phénomènes physiques associés au confort thermique afin de les reproduire dans une nouvelle architecture.

De nouvelles méthodes d'évaluation environnementale se sont développées dans les dernières décennies pour améliorer l'intégration environnementale des bâtiments. Ces méthodes privilégient la normalisation des solutions et utilisent des systèmes de certification pour reconnaître la performance environnementale et énergétique des bâtiments. Le résultat visé est la conformité aux standards internationaux de durabilité.

Ce mémoire porte sur l'analyse comparative de l'architecture bioclimatique et de la certification environnementale à partir de la structure des sujets abordés par LEED, une des méthodes les plus connues d'une telle certification. Cette comparaison permet de constater que les deux approches sont motivées par les mêmes préoccupations environnementales mais que leurs méthodes d'intégration de ces préoccupations diffèrent, en particulier quant à la prise en compte des facteurs locaux et globaux.

**Mots-clés :** méthodes de certification, durabilité, architecture bioclimatique, LEED.

## **Abstract**

Motivated by the development of sustainable architectural production in the countries of Latin America, particularly in Colombia, my research focuses on the adaptation of architecture to this new context. The traditional approach to the integration of energy and climate is bioclimatic architecture. This way is based on the reproduction of knowledge through the use of ancestral techniques that were acquired over time, and which evolved from shelter design. The bioclimatic architecture studies the physical phenomena in relation to thermal comfort to reproduce in a new architectural style.

New environmental assessment methods have been developed in recent decades to improve environmental integration in buildings. These methods give priority to standardization of solutions and use certification systems to recognize the environmental and energy performance of buildings. The expected results are in compliance with international sustainability standards.

This thesis focuses on the comparative analysis of bioclimatic architecture and environmental certification using the structure and the topics addressed by LEED, one of the best-known methods of such certification. This comparison shows that the two approaches are motivated by the same environmental concerns but their methods of integration of these concerns differ, particularly with regard to the consideration of local and global factors.

**Keywords:** environmental assessment methods, sustainability, bioclimatic architecture, LEED.

# Table des matières

<b>Résumé.....</b>	<b>V</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>VI</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>Contexte .....</b>	<b>1</b>
<b>Problématique.....</b>	<b>7</b>
<b>Objectif et méthodologie.....</b>	<b>12</b>
<b>Plan du mémoire .....</b>	<b>14</b>
<b>1. Évolution des théories et pratiques architecturales par rapport à l'environnement .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1 L'architecture bioclimatique traditionnelle .....</b>	<b>15</b>
1.1.1 L'architecture vernaculaire.....	15
1.1.2 L'architecture bioclimatique .....	22
1.1.3 La réduction de la consommation énergétique.....	23
1.1.4 Les conceptions de l'architecture et la dimension climatique.....	26
<b>1.2 Les innovations technologiques et l'architecture internationale.....</b>	<b>26</b>
<b>1.3 L'harmonisation entre architecture locale et internationale .....</b>	<b>31</b>
1.3.1 Une approche plus globalement environnementale : le développement durable .....	32
<b>1.4 L'architecture certifiée durable .....</b>	<b>33</b>
<b>1.5 La méthode de certification LEED.....</b>	<b>34</b>
Conclusion .....	37
<b>2. ANALYSE COMPARATIVE DE L'APPROCHE BIOCLIMATIQUE ET DE L'APPROCHE LEED.....</b>	<b>38</b>
<b>2.1 Analyse comparative.....</b>	<b>41</b>
2.1.1 Aménagement écologique des sites .....	42
2.1.2 Gestion efficace de l'eau .....	57
2.1.3 Énergie et atmosphère.....	61
2.1.4 Matériaux et ressources .....	69
2.1.5 Qualité des environnements intérieurs.....	77
2.1.6 Innovation et processus de design .....	92
2.1.7 Priorité régionale .....	94
<b>2.2 Conclusions .....</b>	<b>95</b>
2.3.1 Premières observations.....	95

<b>3. Conclusions générales</b> .....	<b>103</b>
<b>3.1 Limites de l'analyse</b> .....	<b>104</b>
<b>Bibliographie :</b> .....	<b>106</b>
<b>Annexes</b> .....	<b>110</b>
<b>Annexe 1</b> : Bâtiment Accion Plus à Cali en Colombie. ....	<b>110</b>
<b>Annexe 2</b> : Diagramme de la charte bioclimatique d'Olgyay.....	<b>112</b>
<b>Annexe 3</b> : Variante de la « charte bioclimatique du bâtiment » de Givoni.....	<b>113</b>
<b>Annexe 4</b> : Glossaire.....	<b>114</b>

# Liste des figures

Figure 1 Rue (calle) de Barichara, Santander (kardona Kamilo, 2009) .....	17
Figure 2 construction vernaculaire d'un Rancho en la Guajira Colombienne (London López Dora Alicia, 2006) .....	18
Figure 3 Finca (domaine) zone cafetière en Colombie (Camilo Hdo, 2012) .....	19
Figure 4 Hacienda Valle del Cauca (Quintana Rojas Hernando et Vadicchino Luigi Salvatore, 2010).....	19
Figure 5: centre Jean-Marie Tjibaou, figure 6 maisons traditionnelles Kanaks (Schertzer Fanny, 2012; Schertzer Fanny, 2007) .....	21
Figure 7 et figure 8 : Casa Posada Moreno, image prise de (Fundacion tierra viva, 2013) .....	21
Figure 9 Le Solarsiedlung, lotissement solaire de maisons (Mangan02, 2014) .....	25
Figure 10 et Figure 11 Maison Dom-ino (Curtis, 2001, p. 428; Dalbéra Jean-Pierre, 2014) .....	27
Figure 12 Modèle du Centrosoyuz à Moscou (Curtis, 2001, p. 155).....	28
Figure 13 La Cité de Refuge de l'Armée du Salut à Paris. (Jencks, 2000, p. 216).....	28
Figure 14 et 15 La façade sud de la Cité de Refuge, juste après l'achèvement en 1933 et tel qu'il est aujourd'hui, avec le brise-soleil et les fenêtres coulissantes (Curtis, 2001, pp. 192, 196). .....	30
Figure 16 : Bâtiment Accion Plus plan 01 (production personnel) .....	110
Figure 17 : Bâtiment Accion Plus plan 02 (production personnel) .....	111
Figure 18 : Charte bioclimatique d'Olgyay. (Olgyay 1963, p.22) .....	112
Figure 19 : Variante de la « charte bioclimatique du bâtiment » de Givoni. (Givoni 1978 p. 329).....	113

# Introduction

## Contexte

Dans le contexte global actuel de crise environnementale et de crise énergétique<sup>1</sup>, on peut observer un accroissement des préoccupations pour la consommation énergétique, hydrique, l'utilisation de matériaux et ressources, la qualité des environnements construits. Parmi ces préoccupations, de nouveaux paradigmes<sup>2</sup> comme l'architecture bioclimatique et les méthodes d'évaluation environnementale occupent une place importante dans la conception des bâtiments et l'intégration des considérations environnementales dans cette conception.

Dès les années 1970 et la crise énergétique en Europe et en Amérique du Nord, puis dans les années 1990 en Amérique du Sud, se développe une nouvelle pratique de l'architecture appelée architecture bioclimatique. C'est dans cette période que l'architecture bioclimatique a étudié les phénomènes physiques concernant le confort thermique de l'architecture traditionnelle afin de les comprendre et les reproduire dans une nouvelle architecture. C'est en effet à partir de l'architecture traditionnelle locale que l'architecture bioclimatique développe certaines techniques apprises sur la conception de l'abri et qui ont évolué par la suite. Ce type d'architecture tire le meilleur parti des conditions d'un site et de son environnement (climat, matériaux, technologies, savoir-faire).

---

<sup>1</sup> Crise environnementale comprise ici comme les manifestations de déséquilibre ou de rupture environnementale (Beck, Luginbühl et Muxart, 2006), elle peut être de différents types, par exemple les huit crises environnementales globales actuelles sont : 1) L'érosion de la diversité biologique, 2) la dégradation des océans, 3) le réchauffement planétaire et les changements climatiques (incluant la hausse du niveau des océans), 4) l'altération des cycles biogéochimiques, 5) la diminution de la qualité des sols, 6) la déforestation, 7) la désertification, 8) raréfaction de l'ozone stratosphérique (Lefèvre, 2013). Ces changements peuvent être dus à des processus intrinsèques à la terre, à des influences extérieures ou aux activités humaines. Selon GIEC la production d'énergie (d'électricité, de chaleur), est la principale source d'émission de gaz à effet de serre causante des déséquilibres comme le réchauffement planétaire et les changements climatiques. Cette crise énergétique, débuta avec le choc pétrolier des années 1970, mais aussi est une crise énergétique à conséquences climatiques, à cause de l'utilisation des énergies fossiles et leur production et accroissement considérable de gaz à effet de serre (GES) (GIEC, 2015).

<sup>2</sup> Compris ici comme un modèle de pensée, ou conception théorique dominante en cours à une certaine époque dans une communauté scientifique (Antidote 9 (Dictionnaire), 2015).

Parallèlement au développement de l'architecture bioclimatique en Amérique du Sud, se développent sur le plan international (au sein de l'Organisation des Nations Unies), et national (dans chaque pays d'Amérique du Sud) des protocoles, agendas, politiques et outils pour résoudre des problèmes tels que le réchauffement climatique. Ces stratégies sont de différents types : « réglementaires » (lois, normes), « économiques » (taxes, marchés de permis d'émission ou marché de quotas d'émissions de CO<sub>2</sub>, s'agissant d'un pays n'ayant pas utilisé tous ses quotas d'émissions, pourra vendre le surplus aux pays ayant trop émis) ainsi qu'un troisième type, appelé les « accords d'autolimitation » (codes de bonne conduite, régulation par la bonne volonté, civisme) (Lipietz, 2003). C'est dans ce dernier groupe que se trouvent les méthodes de certification durables. Ces méthodes servent à évaluer les produits, bâtiments et quartiers au regard de principes environnementaux et du développement durable.

C'est avec l'apparition et la diffusion du concept de développement durable que de nombreuses activités ayant une incidence sur l'écologie ont été revues (*Les 27 Principes de la Déclaration de Rio*, 1992), notamment, dans le cas de la construction et de la gestion des logements, qui correspond à 50% de la consommation des ressources énergétiques (Edwards, 2004). C'est avec ce concept que l'architecture bioclimatique et les méthodes de certification de l'architecture durable arrivent à une approche plus globale environnementale, où des questions climatiques et énergétiques sont posées, et complétées avec de nouvelles questions telles que la santé des occupants, la gestion des ressources (énergie et matières) et l'élimination des pollutions. Il est donc considéré comme essentiel de développer des solutions architecturalement efficaces et intégrées aux cycles naturels afin d'atténuer les impacts négatifs sur l'environnement. Pour répondre à ces exigences, des normes et méthodes appliquées au projet ont été développées afin de garantir la préservation de l'environnement tout en offrant un confort (thermique, acoustique, lumineux et esthétique), de bonnes conditions d'hygiène et d'assainissement, une utilisation de matériaux au cycle de vie inoffensif (*innocuous*), une rationalisation de l'usage de l'eau, une réduction et une organisation des déchets à recycler, une minimisation de la consommation d'énergie conduisant à une réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Les méthodes de certification durables ont été créées sous l'impulsion d'une préoccupation quasi universelle pour le changement climatique généré par l'activité humaine sur l'atmosphère et les ressources hydriques (Brundtland, 1987b), entre autres la construction, l'utilisation et la démolition des bâtiments. Ces méthodes sont adoptées en réponse à la croissance des impacts négatifs sur l'environnement. Elles contribuent également à une transformation culturelle qui amène les utilisateurs à adopter un nouveau mode de vie. D'abord adoptées par choix, ces certifications peuvent aussi aboutir à des normes : ainsi, la certification Ecohome, qui est la version dédiée à l'habitation du label britannique BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), est devenue en 2007 le Code for Sustainable Homes (Élie M., 2009). En Colombie, la certification LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) est en train de s'imposer dans la construction des bâtiments publics, ainsi que dans le secteur privé. Selon la USGBC (United States Green Building Council), depuis 2009 plus de 90 bâtiments sont en attente de certification et 21 l'ont déjà; c'est un nombre important par rapport à la construction en Colombie.

Malgré la direction qu'est en train de prendre la construction verte en Colombie, il y a des critiques sur la certification LEED, notamment au niveau du contexte local. À titre d'exemple, on retrouve le document « *Aplicabilidad del sistema LEED en el entorno colombiano / Application du système LEED dans le contexte colombien* », lequel fait référence à des éléments de difficile adaptation comme la réglementation environnementale américaine, les procédures, les normes et les méthodologies. En contrepartie, le système environnemental colombien étant organisé à partir des « sociétés autonomes régionales », il représente les intérêts environnementaux locaux à partir desquels émergent des possibilités – au niveau régional – de proposer des méthodologies et des normes (Espinosa et Echeverry, 2002). D'autres critiques sont les surcoûts dus à la documentation<sup>3</sup> durant le processus de conception et de construction. Se trouve aussi être le nombre restreint de matériaux locaux avec un sceau. Ce dernier certifie le caractère environnemental et durable des matériaux, il aboutit, dans ce contexte, à l'importation de matériaux certifiés durables, à la diminution des économies locales, comme la main-d'œuvre, ainsi qu'à la substitution

---

<sup>3</sup> Cela correspond aux nombreux documents à fournir pour obtenir la certification LEED.

des systèmes de construction locaux et d'une architecture contemporaine fondée sur des éléments traditionnels (Stagno Bruno, 2012) (Castro, Sefair, Flórez et Medaglia, 2009).

Suite à l'introduction du BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) en 1990 au Royaume-Uni et à la conférence des Nations Unies à Rio de Janeiro (Brésil) en juin 1992, où l'on commence à parler du concept de développement durable, le nombre de méthodes appliquées ou en cours de développement n'a cessé d'augmenter dans le monde entier (Ding, 2008). Cole (2005) constate que les méthodes les plus connues sont le LEED, le BREEAM et le GBC ou GBTool (Green Building Challenge).

L'implantation de méthodes de certification de l'architecture durable dans des pays où le climat, le savoir-faire de la conception et de la construction sont différents des milieux où ces méthodes ont été conçues peut soulever des enjeux d'ordre culturel. Par exemple, les exigences de ces standards concernant les matériaux, la technologie et les normes ne sont pas nécessairement adaptées au contexte économique des pays en développement comme nous le verrons plus loin. De plus, le fait que les nouveaux standards internationaux ne soient pas assez connus par les architectes locaux soulève les problèmes de l'interprétation des codes internationaux et de la standardisation de l'architecture par rapport aux normes étrangères. Par exemple, ces méthodes de certification et d'évaluation de la durabilité sont utilisées comme des « gabarits de conception » (toits verts sur 75% de l'empreinte du bâtiment, murs verts, % des ouvertures, etc.) quand leur but est d'évaluer la durabilité du bâtiment. Ce type d'usage peut générer des problèmes d'interprétation de l'architecture autant locale que certifiée durable. En outre, un bâtiment certifié durable conçu dans une ville comme Bogota où la température moyenne pendant toute l'année est entre 12°C et 20°C doit intégrer la climatisation pour respecter la norme américaine ASHRAE, ce qui implique plus de consommation énergétique.

À part les méthodes déjà nommées, il existe de nombreuses méthodes et outils de certification durable dans le monde. La plupart ont été créés pour des contextes spécifiques et sont parfois utilisés dans des contextes différents de ceux pour lesquels ils ont été créés.

Par ailleurs, les méthodes pour l'évaluation de la durabilité des bâtiments ont été conçues, pour la plupart, pour des climats tempérés, mais il existe des méthodes de certification

durables qui ont été développées afin de pouvoir être appliquées dans d'autres contextes. Tel est le cas de BREEAM, GBTool, l'évaluation des impacts sur l'environnement (EIE), HQE<sup>2R</sup>, HQE, AccuRATE. D'autres méthodes d'évaluation environnementale telle que LEED sont utilisées dans plusieurs pays, mais suivant les normes américaines des bâtiments. C'est dans ce dernier cas qu'il peut exister des problèmes concernant l'architecture, la façon de construire et le développement de normes créées à partir de besoins propres au lieu, comme c'est le cas pour le confort. Dans ce sens, de nombreux auteurs mettent en évidence les différences dans les conceptions architecturales et urbaines pour l'obtention du confort et de l'efficacité énergétique dans un climat tropical. Dans l'article « Conceptual differences between the bioclimatic urbanis for Europe and for the tropical humid climate » (Corbella et Magalhaes, 2008), les auteurs montrent qu'il existe des différences fondamentales telles que l'excès de rayonnement solaire absorbé et dissipé à partir de mécanismes comme l'émission d'ondes longues, les rayonnements émis par les surfaces environnantes, les matériaux de conduction de la chaleur, l'évaporation et la convection de l'air. Une conception adaptée aux tropiques permet d'assurer le confort thermique et de réduire la consommation d'énergie. Le concept de ville durable, créé dans le cadre de la vision des pays développés et qu'on vise à utiliser dans les villes qui ont des conditions climatiques différentes et des problèmes de pauvreté, comme ceux d'Amérique latine, est un autre exemple d'inadaptation.

Dans un contexte local comme celui de la Colombie, tant les praticiens de l'architecture bioclimatique que ceux de l'architecture durable (*architectes bioclimatiques, ingénieurs, professionnels accrédités pour les méthodes d'évaluation durable tels que LEED, etc.*) se questionnent sur la pertinence de ces deux approches différentes. Les architectes bioclimatiques soulèvent le manque d'adaptation des méthodes d'évaluation durables par rapport aux facteurs sociaux (problèmes sociaux spécifiques de chaque pays), culturels (savoir-faire, matériaux, normes étrangères, climat, etc.) et économiques (accessibilité), tandis que les praticiens de l'architecture durable mettent en question les indicateurs de durabilité des projets bioclimatiques.

Mon expérience comme architecte ayant utilisé ces deux approches de conception en Colombie m'amène à croire qu'elles abordent différemment le contexte culturel, climatique, technologique et économique. Par exemple les méthodes de certification

durables sont basées sur une performance des normes étrangères comment l'ASHRAE, dont la pertinence pour le contexte culturel local n'a pas été démontrée pendant que l'architecture bioclimatique est créée à partir de conditions environnementales locales, mais pourrait ne pas prendre en compte les besoins de durabilité à une échelle mondiale.

Des constats personnels concernant la certification LEED et l'utilisation de la norme ANSI/ASHRAE 55-2004, intitulée « Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy » dans le cas du bâtiment Accion Plus (voir l'annexe 1) à Cali en Colombie peuvent permettre de comprendre l'usage inapproprié des labels et normes. Dans le processus de certification de ce bâtiment, il a été difficile de faire comprendre que la construction traditionnelle en Colombie n'utilise pas d'isolation dans son enveloppe extérieure, car les écarts de température entre l'intérieur et l'extérieur ne dépassent pas 10°C. Au contraire de ce qui est prescrit dans la norme, on ne s'exprime pas en termes de pertes thermiques, mais de gains thermiques apportés par le soleil, donc pour ce cas il suffit de les atténuer par des brise-soleil et non par un mur opaque avec de l'isolation.

De plus, une caractéristique technique de ce bâtiment est le taux très élevé de renouvellement d'air intérieur tout en maintenant un minimum de consommation énergétique. Le bâtiment possède un système de quatre cheminées solaires qui garantissent l'extraction de l'air intérieur et un système d'humidification d'air pour le refroidir. À Cali, lors de pics de chaleur, l'air est sec et ne dépasse pas 40 % d'humidité relative sans vent. Donc la combinaison des deux stratégies (cheminées de ventilation et humidification de l'air) garantit un confort au moment critique du besoin en froid avec un minimum de consommation énergétique. Mais la norme ASHRAE pénalise le taux de renouvellement d'air intérieur élevé. Le bâtiment a connu d'autres difficultés dues à l'utilisation d'une norme de confort créée pour un contexte différent, mais les questions de la ventilation et de gains thermiques en climat chaud sont les plus explicites.

Dans un contexte plus international, il y a des préoccupations concernant l'impact environnemental de l'industrie de la construction comme secteur d'activité, mais cela dépend du niveau de développement du pays. L'*Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries* affirme que cet impact est probablement plus élevé dans les pays en développement que dans les pays développés. Cela est dû au fait que les pays en

développement sont presque toujours en construction et qu'ils ont un degré relativement faible d'industrialisation, ce qui rend le secteur de la construction un des plus grands facteurs qui influent sur le milieu biophysique. Dans ce but, des recherches comme « Optimization model for the selection of materials using a LEED-based green building rating system in Colombia » (Castro-Lacouture, Sefair, Flórez et Medaglia, 2009) visent à faire une sélection de matériaux qui intègrent les contraintes de conception et de budget, tout en maximisant le nombre de crédits obtenus dans le cadre du programme Leadership in Energy and Environmental Design (LEED).

Une des réponses à ces préoccupations du secteur de la construction dans les pays en développement se trouve dans un des objectifs de l'*Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries* : « Stimuler le débat et (...) encourager l'échange de connaissances sur la construction durable dans le monde en développement, attirant ainsi les pays en développement dans le débat international en tant que partenaire égal » (UNEP-IETC, 2002). Une des propositions de cet agenda est de construire des méthodes et normes à partir des racines culturelles et climatiques propres à chaque contexte afin de minimiser cette problématique et de proposer des solutions adaptées et non imposées. Le défi consiste maintenant à trouver les moyens de mettre en œuvre ces suggestions au niveau local en développant des plans d'action régionaux et nationaux (Plessis, 2007).

## **Problématique**

Selon la définition du « développement durable » telle que proposée par la Commission « Brundtland », les bases de cette nouvelle éthique environnementale reposent sur deux notions : celle de besoins et celle de limites (De Myttenaere, 2007), ce qui donne lieu à une divergence de perspectives. Pour les uns, le développement durable, c'est un développement respectueux de l'environnement, l'accent est alors mis sur la préservation des écosystèmes. Pour les autres, l'accent est mis sur le bien-être et la qualité de vie. Le développement a donc évolué d'un qualificatif de croissance économique jusqu'à être plus ou moins comme le présente Rist (1996) : le « bonheur universel ». Boutaud (2005) distingue les théories sur le développement durable en deux catégories, « écocentriques » et « anthropocentriques », selon qu'elles se donnent pour objectif essentiel la protection de la vie en général ou le bien-être de l'homme.

L'importance de cette divergence est mise en évidence dans le rapport Meadows remis au Club de Rome en 1972 prédisant un avenir catastrophique au monde d'ici à 2100 si l'Humanité persiste dans la croissance actuelle de l'industrialisation accélérée, la croissance de population rapide, la malnutrition, l'épuisement des ressources non renouvelables et un environnement détérioré (Boutaud, 2005; Meadows, 2013). Cette vision reconnaît que les modes de vie actuels, les techniques et les modes d'organisation peuvent aussi bien consommer nos écosystèmes au-delà de leur limite de régénération tout comme ils peuvent optimiser cette consommation afin de respecter ces limites. Pour que chacun puisse définir ses propres besoins, aujourd'hui et demain, il s'agit de respecter équitablement les limites du système. Cela dit, la planète a un caractère fini, elle est à même de fournir une certaine quantité de biens et d'absorber une certaine quantité de pollution (De Myttenaere, 2007).

Selon cette même préoccupation, Georgescu-Roegen (1979), utilisant l'analogie des sciences exactes intégrant les principes thermodynamiques et notamment le second principe, celui de l'entropie, dans le système économique, arrive à démontrer qu'aucune technologie ne réussira à éliminer totalement les aspects entropiques de la transformation et de l'utilisation de matières premières. Il distingue dans un système l'entrée où l'énergie est de « basse entropie » (énergie libre, ce sont les ressources naturelles de valeur, l'énergie solaire par exemple) de la sortie où l'énergie est de « haute entropie » (énergie liée, non renouvelable). Dans un système comme la terre actuellement, l'énergie libre baisse et l'énergie liée augmente de façon irréversible. L'auteur met l'accent sur l'absolue nécessité, non pas d'une croissance zéro, mais d'une décroissance économique (Boutaud, 2005).

D'autre part, certains économistes questionnent les liens de causalité entre croissance économique et environnement. Pour Rosnay (1975) dans (Boutaud, 2005), il existe une relation d'égalité de forme entre économie et écologie, où le système économique se comporte comme l'écosystème, dans lequel il doit y avoir un équilibre, notamment en ce qui concerne les flux entrants/sortants de matière et d'énergie. À ce sujet, la notion de développement durable génère le débat depuis les années 1970 avec le rapport Meadows où les auteurs recommandent un état d'équilibre entre croissance économique et ressources naturelles. Ce concept peut être apparenté à la notion « d'état stationnaire ». Cette notion est actuellement reprise comme possible solution au conflit entre, d'une part, la croissance économique traditionnelle et d'autre part, la protection environnementale, ou encore, entre

la durabilité économique et la stabilité internationale, car les ressources sont déjà surexploitées et le modèle de croissance actuel aboutira à terme à un conflit sur les ressources (Commission européenne, 2013).

Cependant dès les années 1980, la notion de développement durable redirige son discours en estimant qu'il s'agit moins de diminuer la croissance, mais d'en changer sa nature en destinant une partie de ses fruits à la protection de l'environnement (De Myttenaere, 2007), « *Ce n'est donc plus la croissance qui est mise en cause, mais la façon dont elle se fait* » (De Myttenaere, 2007, p. 63). Donc, deux types de conceptions apparaissent : la durabilité forte et la durabilité faible.

Dans le cas de la durabilité faible, il peut y avoir substitution entre capital artificiel (richesse créée) et capital naturel (ressource naturelle). Ainsi, si l'une des composantes baisse, une autre pourra toujours compenser le manque. Cette conception repose sur une confiance dans un progrès technique qui pourrait toujours compenser la disparition des ressources naturelles non renouvelables (Comelgau, 1994; De Myttenaere, 2007). Cette approche est promulguée par la Banque Mondiale et l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques); elle est basée sur la croissance économique, mais cette croissance repose sur l'exploitation des ressources, une pratique non viable dans un monde marqué par la croissance démographique et des ressources limitées (Commission européenne, 2013). L'approche est aussi connue comme approche technico-économiste.

Au contraire du point de vue du développement actuel – matériel – il y a le discours écologique et anti-développement mettant en relief les limites de la croissance économique. Il est basé sur l'incompatibilité entre les limites physiques de l'écosystème terrestre et la croissance économique démographique industrielle (Boutaud, 2005); c'est ce qu'on appelle la durabilité forte.

La durabilité forte exige que le patrimoine naturel ou stock de capital naturel reste constant ; il ne doit pas baisser. Cette conception repose sur la forte complémentarité entre les trois types de capital (technique, humain et naturel); ils doivent être complémentaires et non substituables (Comelgau, 1994; De Myttenaere, 2007). L'approche est aussi connue comme approche éco-systémique; et au contraire de l'approche technico-économiste, cette

approche tend à considérer l'environnement comme facteur prioritaire et limitant, tel qu'exprimé par Boutaud :

*« Cette perception environnementaliste s'inscrit dans la lignée d'un paradigme scientifique apparu à la fin des années 1960 et qui est entré par certains aspects en conflit direct avec le paradigme rationaliste analytique dominant : l'analyse systémique. Un discours basé sur un paradigme systémique : pas de croissance infinie dans un monde aux dimensions écologiques finies » (Boutaud, 2005, p. 75).*

Mais, l'ambivalence entre les systèmes économique et environnemental va augmenter au cours des dix-neuvième et vingtième siècles, donnant notamment naissance au courant naturaliste (Boutaud, 2005). Pour Lipietz (2003), les crises écologiques modernes résultent d'un dysfonctionnement du système socio-économique, ou plus exactement : *« d'une impossibilité de soutenir la dynamique du système actuel concernant l'environnement hérité du passé » (Lipietz, 2003, p. 87).*

En revanche, comme présenté par (De Myttenaere, 2007; Droz et Lavigne, 2006), la scène internationale propose de réorienter la notion de développement vers une notion non plus purement économique, mais bien éthique : une éthique capable de faire vivre ensemble sur Terre ces différents peuples dans le respect de leurs différences culturelles et environnementales.

Le terme développement a été utilisé pour la dimension écologique des inégalités Nord-Sud et pour la dénomination politique, culturelle et économique des pays, similaire à la colonisation géographique du monde qui l'a précédée. C'est un rapport de force entre pays développés et prétendument supérieurs et pays en voie de développement supposés inférieurs (Boutaud, 2005; De Myttenaere, 2007). Cette notion a évolué depuis les années 50, comme le présente De Myttenaere (2007) :

*« des pays « sous-développés » en 1952, on passe aux pays du « tiers monde » dans les années 60, aux pays du « sud » fin des années 70, puis aux pays « en voie de développement », pour introduire ensuite une nouvelle distinction entre les pays « les moins avancés » et les pays « en transition ». Plus tard encore, la question du développement est progressivement devenue celle de l'auto développement, de l'éco-développement, pour ensuite être qualifiée de durable dans le rapport Brundtland de 1987, remettant en question la délimitation géographique du développement. » (De Myttenaere, 2007, p. 67).*

Pour le philosophe des sciences Edgar Morin (2002), ce modèle « idéal » de développement

est un sophisme, un mauvais chemin ou la mauvaise voie, qu'il vaudrait reconcevoir. Il met en question l'individualisme de la civilisation occidentale et le technicisme générant de l'entropie dans la transformation de la nature :

*« Enfin, le développement, dont le modèle, l'idéal, la finalité sont : la civilisation occidentale, ignore que cette civilisation est en crise, que son bien-être comporte du mal-être, que son individualisme comporte clôtures égocentriques et solitudes, que ses épanouissements urbains techniques et industriels comportent stress et nuisances et que les forces qu'a déchaînées son « développement » conduisent à la mort nucléaire et à la mort écologique. Nous avons besoin non de continuer, mais d'un nouveau commencement ». (Morin, 2002, pp. 48-49)*

Dans un autre ouvrage, Morin ne dit pas seulement que le développement actuel est insoutenable, mais encore, il donne des pistes sur comment il conçoit un développement vraiment soutenable pour le futur : *« Conçu de manière seulement technico-économique, le développement est à terme insoutenable, y compris le développement durable. Il nous faut une notion plus riche et complexe du développement qui soit non seulement matérielle, mais aussi intellectuelle, affective, morale... » (Morin, 2000, p. 37)*

Les approches proposées du développement durable divergent notamment selon le degré de domination de l'homme sur la nature et ses ressources, aussi selon la priorité donnée à l'approche écologique, au respect du monde vivant en général.

L'analyse comparative que nous nous proposons de faire entre l'architecture bioclimatique et les méthodes de certification durables s'inscrit dans la complexité des interprétations et approches du développement durable. D'une part, à partir de notre expérience comme architecte et consultant dans ces deux types d'architecture, nous pensons que l'architecture certifiée durable agit directement sur des préoccupations environnementales globales, par exemple la contribution dans la diminution des gaz à effet de serre, la pollution des eaux, la pollution lumineuse. De plus, nous estimons que les méthodes de certification prennent la position de la durabilité faible où il peut y avoir substitution entre capital artificiel (richesse créée) et capital naturel (ressource naturelle), c'est à dire création de nouveaux matériaux à partir de matériaux recyclés, de nouveaux produits dits écologiques, de nouveaux besoins de confort (domotique et systèmes de contrôle), de standards santé et de performance énergétique, entre autres. D'autre part, nous pensons que l'architecture bioclimatique agit d'abord pour résoudre les problèmes locaux et du site, comment est une bonne adaptation

au site, par exemple obtention du confort avec une basse consommation énergétique, une bonne orientation face au soleil et vent, choix des matériaux de construction, etc., qui finalement vont contribuer aux préoccupations environnementales globales. De plus, nous considérons que l'architecture bioclimatique est dans une position de durabilité forte où le patrimoine naturel et culturel doit rester constant, où les ressources énergétiques et de matériaux sont prises dans la nature, par exemple le stockage et l'utilisation de l'énergie du soleil, l'usage de la ventilation naturelle et des matériaux peu industrialisés, etc.

Enfin, la problématique s'inscrit dans un contexte de développement durable international tel que proposé par les pays développés où les questions locales semblent rester à l'écart. De plus, sur les sujets de l'architecture bioclimatique et la méthode de certification LEED, peu de connaissances existent encore sur leurs similarités et leurs différences. En conséquence, nous croyons que l'application de ces méthodes reste encore déterminée par des choix peu éclairés, des obligations réglementaires ou des habitudes régionales. Ce sont ces idées de départ nous allons développer dans cette analyse.

### **Objectif et méthodologie**

Comprendre les différences et similitudes entre l'approche bioclimatique qui travaille à partir des connaissances ancestrales du lieu et les méthodes de certification durable, telle que la méthode de certification LEED, produite pour être conforme aux standards internationaux de durabilité.

À cette fin, nous allons :

- Comparer les origines, les valeurs et points de vue des deux approches.
- Approfondir la vision de la nature et de l'environnement de chacune des approches.
- Faire ressortir les facteurs culturels et les facteurs de standards internationaux des deux approches.

C'est à partir des écrits sur le sujet que nous allons étudier la portée et les limites des approches d'architecture bioclimatique et de la méthode de certification durable LEED. La comparaison sera effectuée en trois étapes : (1) un survol des écrits pour comprendre l'évolution des aspects culturels, contextuels et méthodologiques quant à la prise en compte de l'environnement et du climat en architecture ; (2) le choix des critères et paramètres

d'analyse et la constitution de la grille d'analyse ; et (3) l'analyse comparative des deux approches.

1) Les écrits examinés concernent l'architecture traditionnelle, l'architecture bioclimatique, l'architecture internationale, le concept de développement durable, l'architecture certifiée durable et la méthode de certification LEED. Cette revue des écrits présente des aspects contextuels de crise énergétique et de crise environnementale ainsi que des stratégies, des techniques et des outils de design. La façon de présenter le sujet est basée sur une ligne temporelle des différents moments importants de chaque approche et concept tout en soulevant des tensions, différences et similitudes entre l'architecture bioclimatique et la méthode de certification durable LEED.

Cette partie conceptuelle est incontournable pour s'approprier les concepts d'architecture bioclimatique et d'architecture certifiée durable et comprendre comment ils arrivent à un concept plus global environnemental.

2) Le choix des critères et paramètres d'analyse et la constitution de la grille d'analyse visent à comparer et faire une réflexion plus précise et exhaustive sur la comparaison entre l'architecture bioclimatique avec la méthode de certification durable LEED de façon équitable. Par l'analyse comparative, nous avons déterminé si, pour chaque critère, l'approche bioclimatique et la certification LEED visent :

- a) Le résultat
- b) La performance
- c) La procédure à suivre

L'explication de chacune de ces cibles se trouve plus loin à la page 41.

3) Pour réaliser notre analyse, nous avons suivi la structure des chapitres et crédits ou thèmes de la méthode LEED, une soixantaine de thèmes, afin d'établir un ordre précis de comparaison. Ces thèmes nous les explorons au sein de l'approche bioclimatique, en nous basant sur quatre ouvrages que nous considérons majeurs dans le domaine (nous allons justifier le choix dans le chapitre II). Nous avons cherché des références à ces thèmes ou crédits du guide LEED dans la bibliographie proposée pour l'architecture bioclimatique. L'analyse comparative réfère à la fois au thème abordé et à la manière de le traiter. Si nous avons choisi comme étude de cas la méthode LEED, c'est parce qu'elle est la plus utilisée

en Colombie. Nous nous basons sur le guide LEED NS 2009 : Système d'évaluation pour les nouvelles constructions et les rénovations importantes 2009 (U.S. Green building Council, 2014) qui est le plus récent.

### **Plan du mémoire**

Le texte est divisé en trois chapitres.

Le premier chapitre porte sur une revue de littérature de la pratique de l'architecture, par rapport à l'environnement depuis l'architecture bioclimatique traditionnelle, passant par l'architecture internationale et ses innovations technologiques, jusqu'à l'architecture certifiée durable et la méthode de certification LEED.

Le deuxième chapitre présente l'analyse comparative entre l'architecture bioclimatique et la méthode de certification LEED. La grille de comparaison est structurée en fonction des sujets abordés par LEED, que nous avons utilisé pour explorer les principes d'aménagement proposés par quatre auteurs dans le domaine de l'architecture bioclimatique. Le chapitre culmine avec un tableau résumé et les conclusions de cette comparaison.

Enfin, le troisième chapitre présente les conclusions générales concernant les positions, différences et similitudes de la méthode LEED d'un côté, et de l'architecture bioclimatique de l'autre. Dans cette partie nous évoquons aussi les limites de la recherche.

# **1. Évolution des théories et pratiques architecturales par rapport à l'environnement**

Dans cette première partie nous allons situer l'architecture bioclimatique face à l'évolution de l'architecture eu égard : du contexte climatique-culturel (local – international), de préoccupations environnementales et de crise énergétique. La façon de présenter le sujet est basée sur un fil conducteur historique, afin de montrer l'évolution de l'architecture, depuis l'abri jusqu'à nous jours, en abordant des aspects culturels et contextuels de chaque étape ainsi que les concepts alors créés et des exemples.

## **1.1 L'architecture bioclimatique traditionnelle**

Dans le contexte actuel, on peut observer un accroissement des préoccupations en architecture pour la consommation énergétique, hydrique et l'utilisation de matériaux non polluants. Parmi ces préoccupations, l'architecture bioclimatique occupe une place importante, surtout sur le plan culturel des régions, car elle a un héritage culturel fort. C'est en effet à partir de l'architecture traditionnelle que l'architecture bioclimatique développe certaines techniques apprises et évoluées depuis la conception de l'abri. Dans les années soixante-dix, l'architecture bioclimatique a étudié les phénomènes physiques concernant le confort thermique de l'architecture traditionnelle afin de les comprendre et les reproduire dans une nouvelle architecture.

En outre, avec l'émergence du développement durable, des concepts tels qu'architecture durable ainsi que de nombreuses méthodes d'évaluation environnementale ont été créés, donnant ainsi différentes approches et façons d'aborder la problématique environnementale actuelle.

### **1.1.1 L'architecture vernaculaire**

Pour Olgyay (1963) l'architecture traditionnelle ou vernaculaire joue un rôle important dans l'évolution de l'architecture, car elle représente le contexte culturel, social et politique d'une société. La conception de l'abri a reflété, tout au long de son histoire, différentes solutions pour chaque période et contexte afin de résoudre les problèmes déterminés par exemple par les forces adverses du froid, chaleur, vent, eau et soleil. Chaque époque et chaque milieu ou culture semble avoir eu sa propre philosophie ou vision de la conception

de l'habitat. Le passé nous offre ainsi une riche expérience, symbolisée dans les différents types d'architecture.

*“As the shelter evolved, accumulated experience and ingenuity diversified it to meet the challenges of widely varying climates (Olgyay V., 1963, p. 3)”.*

L'architecture vernaculaire évolue dans le contexte technique en prenant les matériaux, la technique de mise en œuvre et des codes esthétiques avoisinant le site d'implantation. Elle peut être définie comme l'architecture propre à un pays, à un territoire, à une aire donnée et à ses habitants.

L'architecture traditionnelle peut être un guide de conception important, surtout dans les régions qui offrent des références sur la façon de répondre à des conditions climatiques locales. Un exemple représentatif de ces adaptations aux inclemences du climat est l'iglou, solution bien connue au problème de la survie dans un froid extrême, créée par les Inuits, peuples autochtones de l'extrême nord du Canada ; il présente des caractéristiques particulières telles que la conservation de la chaleur, grâce à sa forme compacte, avec un minimum de surface d'exposition. Ces abris hémisphériques construits en blocs de neige bénéficient de sa valeur isolante. La doublure de glace lisse qui se forme sur sa surface intérieure est une étanchéité efficace contre les infiltrations d'air, et les sorties de tunnel sont orientées loin des vents dominants afin de réduire les courants d'air et empêcher la fuite de l'air chaud (Olgyay, 1963).

L'une des principales raisons des différences régionales dans l'architecture est la réponse au changement climatique. Si nous regardons les bâtiments dans les climats chauds et humides, dans les climats chauds et secs, et dans des climats froids, nous trouvons qu'ils sont très différents les uns des autres. Prenons le cas des villes latino-américaines bâties à partir de principes des « *leyes de Indias* », postulés par les Espagnols à l'époque de la colonie, afin de réguler la vie sociale, politique et économique des peuples de la monarchie hispanique en Amérique. Les « *leyes de Indias* » constituent une compilation de différentes normes en vigueur dans les royaumes des Indes, faites pendant le règne de Carlos II, promulguées en 1680.

Entre autres, elles établissent des stratégies pour la fondation des premières villes par rapport au climat du lieu. Ces stratégies répondent à une localisation tropicale, caractérisée

par une relative stabilité des températures pendant l'année, et une différence en fonction de l'altitude. Un extrait de ces lois est :

*« Les quatre rues principales sortent de la place principale... les quatre coins doivent être orientés avec les points cardinaux ... les rues qui sortent de la place ne seront pas directement exposées aux quatre vents principaux... les rues sont larges dans les régions froides et étroites dans les régions chaudes » (Archivo digital de la legislación del Perú, 2013).*

Mais ces formes urbaines ont évolué dans les diverses régions, avec le savoir-faire acquis et l'adaptation des constructions aux difficultés environnementales propres du lieu. Une prise de conscience des facteurs du climatique a été intégrée à l'artisanat pour résoudre les problèmes de confort et de protection. Les résultats ont été la construction des expressions du véritable caractère régional.



Figure 1 Rue (calle) de Barichara, Santander (kardona Kamilo, 2009)

Dans la figure 1, on observe un exemple des « *leyes de indias* » dans une rue typique de la ville de Barichara. C'est une ville où la plupart du temps il fait entre 30°C-35°C. Les bâtiments produisent des ombres sur la rue, pour protéger le piéton du soleil, dans le matin d'un côté et l'après-midi de l'autre. Les bâtiments ont aussi des gouttières pour la protection du bâtiment, dont les murs sont faits de pisé, qui est un système constructif en terre crue, ainsi que la protection du piéton au moment de la pluie. D'autres exemples d'architecture traditionnelle en Colombie sont présentés plus loin.



Figure 2 construction vernaculaire d'un Rancho en la Guajira Colombienne (London López Dora Alicia, 2006)

La zone de la Guajira en Colombie est aride, caractérisée par une chaleur excessive et un soleil éclatant. La figure 2 est un exemple des constructions vernaculaires de cette zone. Ces constructions sont conçues pour réduire les effets de la chaleur. Elles ont des toits en paille qui permettent la circulation d'air chaud. Les murs en terre, qui ont une bonne valeur isolante et une capacité de retarder les effets de la chaleur pendant de longues heures, réduisent ainsi les pics de chaleur quotidienne. Ces murs ont également de petites fenêtres ou pas de fenêtres. La quantité de surface exposée au soleil est réduite, car les structures de ce type sont orientées habituellement sur un axe est-ouest, réduisant ainsi la surface d'exposition au soleil le matin et l'après-midi sur les deux parois latérales plus courtes.



Figure 3 Finca (domaine) zone cafetière en Colombie (Camilo Hdo, 2012)

Le climat de la région cafetière en Colombie se caractérise par de fréquentes pluies et températures d'environ 25°C la journée et entre 10 et 15 °C la nuit. La toiture à quatre versants inclut des gouttières pour la protection de la pluie, les murs sont faits en adobe ou brique de terre compressée, pour éviter les écarts de température entre le jour et la nuit dans l'intérieur de la maison.



Figure 4 Hacienda Valle del Cauca (Quintana Rojas Hernando et Vadicchino Luigi Salvatore, 2010)

La zone du *Valle del Cauca* se caractérise par sa topographie plane, avec un climat environnant entre 25°C et 30°C, une grande humidité et des pluies occasionnelles fortes. Les constructions de cette zone s'étendent sur la vallée (voir figure 4), avec de grands toits fortement inclinés pour l'évacuation des eaux des pluies torrentielles et pour jeter de

grandes zones d'ombre sur le logement, et les couloirs sont disposés autour de la maison. Les murs en pisé donnent une sensation de fraîcheur à l'intérieur. Plusieurs portes et fenêtres permettent le mouvement de l'air libre et l'évacuation de l'humidité.

Dans notre contexte actuel, l'architecture doit aussi prendre en compte la connexion entre lieu, climat et vie humaine, car ce n'est pas seulement le confort climatique qui importe, mais la vie humaine qui est influencée par plusieurs contraintes sociales, culturelles, politiques, économiques qui ont évolué avec cette architecture (Torben Dahl, 2010).

En étudiant l'architecture traditionnelle et les principes d'adaptation climatique et de contrôle retrouvés dans ces bâtiments, il est possible de comprendre et d'exploiter les connaissances et l'expérience cachée derrière le bâtiment vernaculaire comme une source d'inspiration pour l'architecture contemporaine.

Dans l'architecture actuelle, il existe plusieurs exemples de l'évolution des techniques et matériaux traditionnels interprétés dans une architecture contemporaine. Voici deux exemples :

Le premier est le centre Jean-Marie Tjibaou réalisé par l'architecte Renzo Piano, à Nouméa en Nouvelle-Calédonie (fig.5). Il s'agit d'un bâtiment dédié à la culture Kanak qui respecte formellement et techniquement les constructions traditionnelles (fig.6). La structure reprend les techniques des maisons Kanaks et la forme conséquente afin d'exploiter les courants d'air et maximiser la ventilation dans un climat humide. Le concept et la conception du centre ont été générés par la nécessité d'exprimer la tradition de ce type de maison avec une langue moderne. Il tire parti de la topographie du terrain, la végétation et la brise de la lagune afin de créer des courants ascendants (Wines et Jodidio, 2000).



Figure 5: centre Jean-Marie Tjibaou, figure 6 maisons traditionnelles Kanaks (Schertzer Fanny, 2012; Schertzer Fanny, 2007)

Le deuxième exemple est la « *Casa Posada Moreno* » située à de Medellín en Colombie (fig.7 et 8). Ce bâtiment peut être associé aux notions vernaculaires, car la conception du bâtiment reprend les techniques locales, comme le mur pisé avec de la terre du lieu. Du point de vue esthétique, l'emploi de cette technique rappelle les murs de l'architecture coloniale, ce qui mène à une intégration naturelle et historique du site dans son environnement. Ce projet répond d'une manière contemporaine à la notion de vernaculaire (Fundacion tierra viva, 2013).



Figure 7 et figure 8 : Casa Posada Moreno, image prise de (Fundacion tierra viva, 2013)

Cependant, selon Torben (2010), les problématiques globales, comme pour la réduction de la consommation énergétique des bâtiments, font négliger la connaissance accumulée au fil des générations dans la façon dont les différentes traditions architecturales se sont adaptées à leur environnement.

*« The subject of low-energy buildings, passive solar houses, solar energy utilization and super-insulation is well documented in architectural journals and books. However, very few are based on an analysis of local climatic conditions or seek to explain the silent knowledge accumulated over generations in the way different architectural traditions are adapted to climate » (Torben, 2010, p. 5).*

L'importance de l'architecture vernaculaire tient à son savoir-faire ancestral de l'évolution des connaissances des techniques, matériaux, codes esthétiques. Ces connaissances ont été prouvées au fil du temps en construisant des habitations alliant caractéristiques permettant la durabilité de la construction ainsi que la protection de l'environnement, tout en préservant les valeurs et les traditions du lieu. Il est possible penser que ces caractéristiques de l'architecture traditionnelle par son adaptation aux critères sociaux, climatiques et techniques aille évolue aussi vers une approche bioclimatique.

### **1.1.2 L'architecture bioclimatique**

L'architecture bioclimatique peut être définie comme une architecture sensible aux problèmes environnementaux en visant à concilier efficacité énergétique et confort des occupants et usages de manière naturelle. Elle a pour but de tirer le meilleur parti des conditions d'un site (le climat et le microclimat, la géographie et la morphologie) et de son environnement, avec un ensemble de stratégies, solutions et techniques architecturales qui font appel le moins possible aux énergies non renouvelables et réduisent les impacts sur le milieu naturel et sur les coûts d'investissement et de fonctionnement du projet (Liébard, 2006). Ce type d'architecture a évolué en intégrant des préoccupations globales comme les problématiques écologiques des années 1960 qui cherchent d'un mode de vie plus autonome et proche de la nature, le choc pétrolier de 1973 et la crise énergétique en Europe et en Amérique du Nord, qui aboutit à une « préoccupation pour réduire, sinon supprimer la dépendance aux formes d'énergie non renouvelable dans l'architecture », en développant l'architecture solaire passive, solaire active. L'architecture bioclimatique est aussi influencée par d'autres préoccupations globales comme l'écodéveloppement cité pour la

première fois en 1972 dans la première conférence des Nations Unies sur l'environnement à Stockholm (Lipietz, 2003). Dans cette conférence, l'environnement est présenté comme un patrimoine mondial essentiel à transmettre aux générations futures. En 1980, l'union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources (UICN) fait référence à la notion de « *développement durable* » à l'occasion de la publication de sa « Stratégie mondiale pour la conservation » concept qui va être adopté à Rio en 1992 où il s'agissait de prendre des décisions fermes concernant principalement le changement climatique.

Ainsi, on peut constater que l'architecture bioclimatique et l'architecture durable sont deux approches différentes. En effet l'architecture durable se définit par rapport à des préoccupations **environnementales globales**, par exemple la contribution de la construction dans la diminution des gaz à effet de serre, pollutions des eaux, pollution lumineuse. **Quant à l'architecture bioclimatique, elle agit d'abord pour résoudre les problèmes locaux** : une bonne adaptation au site (par exemple l'obtention du confort avec une basse consommation énergétique, une bonne orientation face au soleil et vent, des matériaux de construction locaux et appropriés, etc.). Elle se rapproche néanmoins de l'architecture durable en ce que les solutions adoptées vont contribuer à des objectifs environnementaux globaux.

### **1.1.3. La réduction de la consommation énergétique**

#### ***1.1.3.1 L'architecture solaire passive***

L'architecture solaire passive fait référence à l'utilisation passive directe de l'énergie solaire sans systèmes mécaniques. Elle est étroitement liée à l'architecture bioclimatique, bien que cette dernière ne travaille pas seulement avec l'énergie solaire, mais avec d'autres éléments climatiques tels que ventilation, radiation, humidification. Bien que les deux soient dans la même direction, l'architecture solaire passive peut être considérée comme architecture bioclimatique, mais pas l'inverse, car le terme bioclimatique est plus général que le terme architecture solaire passive.

L'architecture solaire passive fait référence à un système qui recueille, stocke et redistribue l'énergie solaire sans l'utilisation de ventilateurs, pompes, ou des contrôleurs complexes. Elle s'inscrit dans une approche intégrée de la conception du bâtiment, où les éléments de construction de base, tels que les fenêtres, les murs et les planchers, servent à

autant de fonctions différentes que possible. Par exemple, les murs ne soutiennent pas seulement le toit et protègent du mauvais temps, mais ils agissent également comme accumulateurs de chaleur ou comme éléments de rayonnement thermique. De cette façon, les différents composants d'un bâtiment satisfont simultanément l'architecture, la structure et les besoins énergétiques. Chaque système de chauffage solaire passif aura au moins deux éléments : un collecteur, composé de vitrage orienté vers le soleil et un élément de stockage d'énergie qui, généralement, est composé de la masse thermique, par exemple des roches ou de l'eau (Lechner, 2001) (Panorama energetico, 2013).

### **1.1.3.2 L'architecture solaire active**

L'expression architecture solaire active fait référence à l'utilisation de l'énergie solaire à travers des systèmes mécaniques ou électriques. Premièrement, il s'agit des capteurs solaires (pour produire de l'air chaud ou de l'eau chaude. L'air chaud est utilisé principalement pour le chauffage des locaux, tandis que l'eau chaude peut être utilisée pour un certain nombre de fins différentes : l'eau chaude sanitaire, le chauffage, chauffage piscine, etc.). Deuxièmement, on retrouve les panneaux photovoltaïques (PV), utilisés pour la production d'énergie électrique non polluante de haute qualité. Cette énergie peut soutenir toutes sortes de travaux (produire de la lumière, déplacer des ascenseurs, etc.), mais il n'est pas raisonnable de convertir l'énergie produite par des panneaux photovoltaïques pour produire de la chaleur ; car c'est un système encore coûteux qui peut être remplacé par des capteurs solaires qui sont moins chers et n'ont pas besoin de batteries ni d'inverseur de courant, dans ce sens les deux systèmes sont complémentaires (Lechner, 2001).

Un exemple de cette architecture se trouve dans la ville de Fribourg en Brisgau Allemagne. Cette ville est celle d'un des principaux fabricants de panneaux solaires d'Allemagne, de Solar-Fabrik ainsi que l'Institut Fraunhofer, spécialisé dans la recherche sur l'énergie solaire. Ces organismes ont créé un programme appelé Fribourg région solaire, avec des systèmes photovoltaïques et des capteurs solaires thermiques : le Solarsiedlung (fig. 9), lotissement solaire de maisons à énergie positive, qui produisent plus d'énergie qu'elles n'en consomment (Gauzin-Muller, 2001).



Figure 9 Le Solarsiedlung, lotissement solaire de maisons (Mangan02, 2014)

À la fin des années 1980, avec le concours du concept de développement durable<sup>4</sup>, l'architecture bioclimatique est associée à l'architecture écologique, verte, environnementale et durable. Dans cette gamme de nuances concernant la terminologie la plus appropriée pour décrire l'environnement et les caractéristiques des conceptions et de réalisations, se trouvent : 1) **l'architecture écologique**, terme plutôt général ayant pour préoccupation de concevoir une architecture respectueuse de l'environnement et de l'écologie. Elle a de multiples facettes, certaines s'intéressant à la technologie, la gestion, et d'autres privilégiant la santé de l'homme, ou encore d'autres, plaçant le respect de la nature au centre de leurs préoccupations. 2) **L'architecture verte** (ou construction verte) réfère à une structure utilisant un processus responsable de l'environnement et de ressources tout au long du cycle de vie d'un bâtiment : depuis l'implantation à la conception, la construction, l'exploitation, l'entretien, la rénovation et de la démolition. Cela nécessite une étroite coopération de l'équipe de conception, les architectes, les ingénieurs et le client à toutes les étapes du projet. (Ji et Plainiotis, 2006). 3) **L'architecture environnementale** : qui a trait à l'environnement, c'est-à-dire l'ensemble des éléments (biotiques ou abiotiques) qui entourent un individu ou une espèce et dont certains contribuent directement à subvenir à ses besoins, par exemple les questions d'énergie fossile, d'énergie en général; pollution de

---

<sup>4</sup> « Un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. »(Brundtland, 1987a).

l'air, de l'eau, des terres, gestion des ressources, etc., et 4) **L'architecture durable** : qui inclut les questions environnementales certes, mais aussi les questions sociales et économiques telles que les disparités sociales, la pauvreté, les ressources, et les questions culturelles telles que le patrimoine, le culturel, l'intergénérationnel, les modes de « vivre ensemble », etc. Cette distinction sert à situer l'architecture bioclimatique parmi ces catégories ou concepts dans l'architecture durable.

#### **1.1.4 Les conceptions de l'architecture et la dimension climatique**

En principe, l'architecture vernaculaire et l'architecture internationale ont des démarches différentes de lieu et universel par rapport au contexte climatique et culturel. C'est à partir des particularités culturelles, géographiques et climatiques que l'architecture locale a accumulé son savoir ancestral alors que l'architecture internationale est créée dans le contexte des nouvelles technologies, des techniques et matériaux qui peuvent être utilisés dans tous les contextes climatiques et géographiques, mais dans certains cas ne s'adaptent pas au contexte culturel local ou reflètent une vérité partielle, comme exprimée par Williamson (2002) :

*“Thus we cannot design a building to fully reflect a regional culture which we do not share. We can, though, seek to reflect our (admittedly partial) understanding and values of architectural sustainability” (Williamson et al., 2002, p. 26).*

Cependant, c'est dans la pratique de l'architecture que l'architecture locale et internationale vont dans la même direction, c'est-à-dire dans l'expérimentation, la recherche des nouvelles techniques, technologies, dans la construction des projets et pratiques écologiques, durables et environnementalement responsables que ces deux types d'architecture retrouvent un terrain commun.

## **1.2 Les innovations technologiques et l'architecture internationale**

Le Style international est issu du Mouvement moderne, qui s'est élargi sur l'échelle internationale après la Première Guerre mondiale, avec l'apparition de nouvelles possibilités techniques offertes par des matériaux comme le verre, l'acier et le béton armé.

L'architecture moderne voulait rompre avec la tradition, en fondant une architecture nouvelle. Donc, un nouveau paradigme est présenté en 1923 dans un ensemble d'articles appelés « Vers une architecture » publiés dans la revue d'architecture « l'Esprit Nouveau », qui présentent la naissance d'un nouveau paradigme : l'ère de la technologie.

Le nouveau mouvement prend inspiration de l'école de Chicago qui affirmait dès 1896 « *Form follows function. This is the law* », « *la forme suit la fonction. C'est la règle* ». Le Corbusier, l'un des principaux théoriciens du mouvement moderne, interprète ce discours en comparant le logement à une « machine à habiter », où les éléments architectoniques doivent avoir une fonction, telle que la technologie de l'architecture mobile (voiture, bateau, avion) (ASA, 2013). Grâce à l'électrification des villes, des nouvelles technologies comme la climatisation prennent place dans la machine à habiter. C'est ainsi que les premières œuvres de Le Corbusier présentent des solutions industrialisées qui peuvent être exportables partout, par exemple les maisons Dom-ino (fig. 10 et 11) et Citrohan avec leur structure sériée et industrialisée. En 1929 avec le projet de la Villa Savoye, Le Corbusier intègre l'indépendance des conditions de l'emplacement avec une température constante de confort obtenu grâce à la climatisation, la caléfaction et la rénovation mécanique de l'air. Le Corbusier a été convaincu de pouvoir faire une maison pour tous les pays et tous les climats, comme il l'expose dans une conférence le 5 octobre de 1929 à Buenos Aires (ASA, 2013).

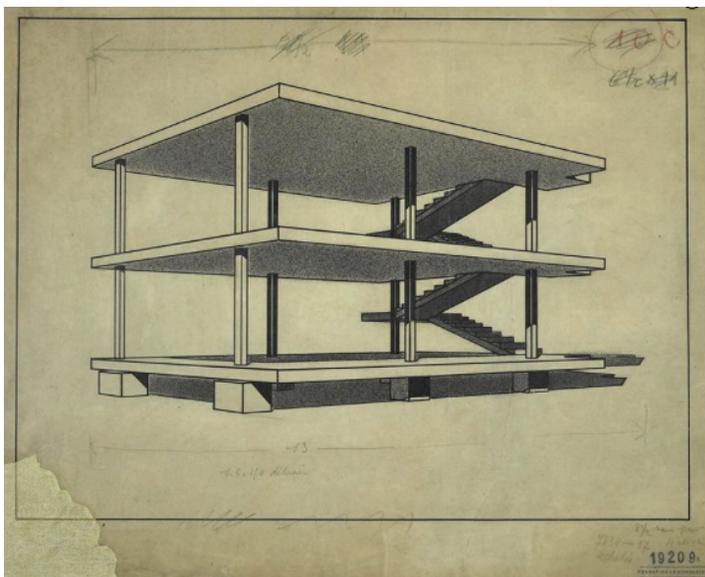


Figure 10 et Figure 11 Maison Dom-ino (Curtis, 2001, p. 428; Dalbéra Jean-Pierre, 2014)

*« La situation toute particulière des poteaux permet d'innombrables combinaisons de dispositions intérieures et toutes prises de lumière imaginables en façade » (Fondation Le Corbusier, 2013).*

Des autres projets comment Centrosoyuz (1928) à Moscou et la Cité de Refuge (1929) à Paris étaient projetés pour être des bâtiments hermétiques avec deux concepts actifs, complémentaires, que Le Corbusier appelait « Mur neutralisant » et « Respiration exacte ». Le mur neutralisant est constitué de deux couches de verre ou de pierre à circuit fermé d'air au milieu : chaud en hiver ou froid en été. La respiration exacte est ce qu'on appelle aujourd'hui « ventilation mécanique contrôlée ». En 1929, la totalité des plans d'exécution du projet Centrosoyuz (fig.12) ont été mis à Moscou pour sa construction ; malheureusement les autorités russes n'ont pas accepté d'appliquer le principe de la "respiration exacte" ; il a fallu attendre la construction de la Cité de Refuge de l'Armée du Salut (fig.13), pour pouvoir appliquer, pour la première fois, les deux systèmes complémentaires. Toutefois, le bâtiment avait des problèmes de condensation, des températures trop élevées, manque de ventilation et rayonnement solaire excessif, donc des suggestions d'amélioration ont été ajoutées (ASA, 2013; Fondation Le Corbusier, 2013).

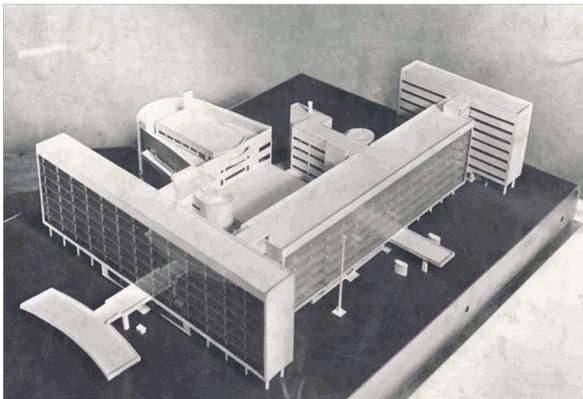


Figure 12 Modèle du Centrosoyuz à Moscou (Curtis, 2001, p. 155)

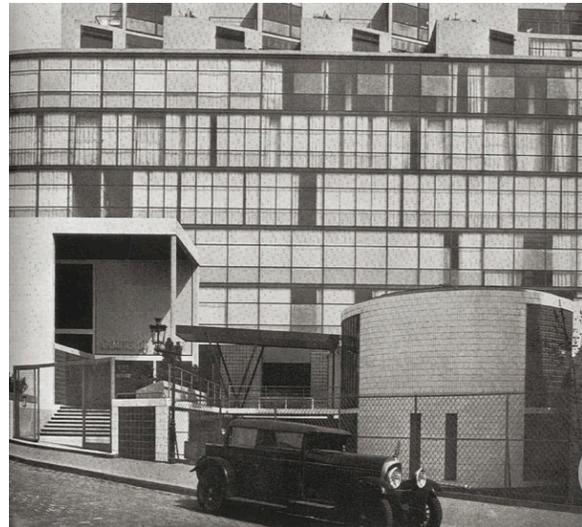


Figure 13 La Cité de Refuge de l'Armée du Salut à Paris. (Jencks, 2000, p. 216).

Avec l'expérience acquise dans ces deux bâtiments, Le Corbusier en 1930 projette le bâtiment Clarté à Genève, avec un système d'auvents extérieurs afin de donner de l'ombre aux façades, ainsi que le Pavillon suisse de la cité universitaire de Paris avec un système de protection textile à l'intérieur du mur-rideau, donnant de meilleurs résultats et exaltant les bienfaits de la lumière naturelle et la ventilation pour l'activité humaine. Ces expériences ont amené Le Corbusier à faire un virage vers la récupération de systèmes de construction traditionnels dans une perspective contemporaine (Fondation Le Corbusier, 2013).

C'est ainsi qu'en 1937 est présenté le projet pour le nouveau ministère de l'éducation publique à Rio de Janeiro, signé par un groupe d'architectes brésiliens avec la collaboration de Le Corbusier. Il s'agissait d'un bâtiment de 15 étages sur pilotis, avec les façades protégées du soleil par des brises-soleil dans toute leur surface assurant la protection solaire pendant toute l'année. Les brise-soleils définitifs consistent en des montants verticaux fixes et des groupes de lattes horizontales et mobiles.

Les reconstructions après la Deuxième Guerre mondiale ont permis à Le Corbusier d'appliquer ses recherches sur le brise-soleil au logement collectif tel que l'unité d'habitation de Marseille (1946-1952). En même temps, il reçoit la mission de reconstruire la façade sud de la Cité de Refuge complètement détruite. Cette fois, après ses expériences en Algérie, en Argentine et au Brésil, il propose un écran solaire externe ou «brise-soleil» (Fig.11), mesure passive, qui contrairement au «Mur neutralisant et à la «Respiration exacte», deviendra une partie intégrante de l'architecture de Le Corbusier jusqu'à la fin de sa carrière (Fernández Ignacio 2012).

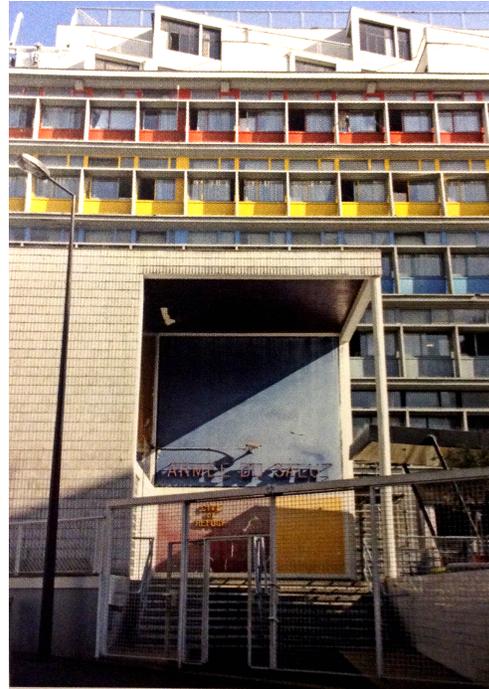


Figure 14 et 15 La façade sud de la Cité de Refuge, juste après l'achèvement en 1933 et tel qu'il est aujourd'hui, avec le brise-soleil et les fenêtres coulissantes (Curtis, 2001, pp. 192, 196).

Le brise-soleil va constituer un élément représentatif de l'architecture de Le Corbusier ainsi que des autres architectes dits modernes il constitue un élément conçu et calculé en prenant en compte les caractéristiques d'insolation du site. Cela fait un divorce du style international issu du Bauhaus et de ses théories de l'esprit nouveau dans le quelle des autres grands architectes contemporains (Gropius, Mies Van de Rohe, etc.) sont restés fidèles. Ces dernières vont opter pour l'implémentation de la Technologie et des solutions industrialisées qui peuvent être exportables partout telles que bâtiments hermétiques avec des murs rideaux et systèmes de climatisation actifs.

Avec le style international, le modernisme et l'ère de la technologie sont nés deux tendances de l'architecture : le low-tech et le high-tech. Celles-ci vont se développer quelques années plus tard avec la prise de conscience de la nécessité d'une architecture écologique. L'architecture low-tech se développe dans la période de la contreculture en Amérique du Nord et mai 68 en France, avec le rejet de la rigidité et la froideur des constructions modernistes. La revendication de l'architecture low-tech affirme la volonté de s'opposer aux modes technologiques, considérées comme mercantiles, et déraisonnables écologiquement. Elle utilise des techniques apparemment simples, économiques et

populaires. Un des grands architectes de low-tech est Paolo Soleri créateur d'Arcosanti, une nouvelle forme d'architecture écologique. L'architecture high-tech émergea dans les années 1970, incorporant des éléments industriels hautement technologiques dans la conception des bâtiments. Les figures importantes du high-tech sont : Renzo Piano, Richard Rogers, et Norman Foster. À la fin de 90 certains de ces architectes high-tech se disent éco-tech, employant la haute technologie afin de produire l'énergie, et optimiser l'utilisation des ressources. Ils ont été considérés comme la première évolution Eco-tech du mouvement en tant que high-tech. Les bâtiments représentatifs de l'éco-tech sont la tour de la Commerzbank à Francfort et la coupole du Parlement allemand de Berlin dans le Reichstag, les deux de l'architecte Norman Foster (Gauzin-Muller, 2001).

### **1.3 L'harmonisation entre architecture locale et internationale**

La façon d'interpréter visuellement l'architecture, du point de vue de la tectonique des formes, des préoccupations climatiques et environnementales, peut surgir de la compréhension autant locale que globale. Des panneaux solaires, des brise-soleils, des murs en pisé, des serres, etc. sont exploités comme des éléments de conception dans les bâtiments contemporains climatiquement adaptés, de sorte que l'expression architecturale de leurs fonctions devient une partie importante de l'esthétique et du caractère du bâtiment, qui à leur tour sont rationalisés et justifiés par ses fonctions de caractère environnemental.

De cette façon, la recherche et l'application de nouvelles technologies comme la double façade vitrée, de nouveaux matériaux comme les isolants et de nouvelles techniques comme la structure de poteaux de béton armé, l'ont été pour des projets d'architecture internationale, mais ont été aussi appliquées et popularisés dans des projets vernaculaires où ils se sont révélés très efficaces. C'est ainsi qu'entre l'architecture vernaculaire et l'architecture moderne se crée une fusion de techniques, matériaux, savoir-faire applicables aux interprétations d'architecture à la fois moderne et vernaculaire, tel que nous l'avons montré en amont avec les projets du centre Jean-Marie Tjibaou, de la casa Moreno et les projets d'après-guerre de Le Corbusier.

En effet, si l'expansion des populations et les communications modernes ont accéléré l'échange d'idées et des technologies, c'est avec le concept du développement durable que les architectes préoccupés par le climat, quelle que soit leur approche, arrivent à une vision

plus globale de l'environnement. C'est ainsi que non seulement des questions climatiques et énergétiques sont posées, mais aussi qu'elles sont complétées par de nouvelles préoccupations quant à la santé des occupants, la gestion des ressources (énergie, et matières) et l'élimination des pollutions.

### **1.3.1 Une approche plus globalement environnementale : le développement durable**

C'est en 1983 que se constitue une Commission mondiale sur l'environnement à l'Assemblée générale des Nations Unies présidée par Madame Brundtland. Le célèbre rapport « *Notre avenir à tous* » a été remis quatre ans plus tard en 1987 (Brundtland, 1987a), il a été une base importante pour la deuxième conférence des Nations Unies à Rio en 1992 où le concept de « développement durable », qui commençait à être largement médiatisé devant le grand public, a été défini comme : « *Le développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins* » (Brundtland, 1987a). Partie I. Préoccupations communes, Item 2. Vers le développement durable, Sub-item I. Le concept de développement durable.

Le développement durable peut être vu comme une solution à la problématique personne – nature ou développement – environnement (Boutaud, 2005; Latouche, 1994). De plus il permet d'apporter une solution aux conflits d'intérêts et antagonismes entre pays du Nord et du Sud, de trouver des alternatives aux nécessités de développement socio-économique (revendication du Sud) et celles du respect de l'environnement (revendication du Nord, ou pays industrialisait) (De Myttenaere, 2007). Mais cette réponse universelle est contestée comme réponse aux problèmes venant de contextes différents, tel qu'exprimé par Latouche : « *Une clef qui ouvre toutes les portes est une mauvaise clef. Un concept qui satisfait le riche et le pauvre, le Nord et le Sud, le patron et l'ouvrier, etc., est un mauvais concept* » (Latouche, 2003, p. 29).

Néanmoins, la problématique sur le développement durable met l'accent sur la consommation de ressources non renouvelables et la responsabilité sociale (Latouche, 2003, p. 29). Certaine se demandent toutefois si ce n'est pas tant la nature que l'on cherche ainsi à rendre durable, mais bien le développement économique et consommateur de ressources (Latouche, 1994).

C'est dans le contexte général des préoccupations pour le développement durable qu'il y a

introduction et développement des premières méthodes de certification durable des bâtiments, telles LEED et BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), méthode anglaise, la première dans le monde et LEED la plus populaire.

#### **1.4 L'architecture certifiée durable**

Les méthodes de certification durable ont été créées sous l'impulsion d'une préoccupation quasi universelle pour le changement climatique généré par l'activité humaine sur l'atmosphère et les ressources hydriques (Brundtland, 1987b) entre autres la construction, l'utilisation et la démolition des bâtiments. À partir de concepts comme le développement durable, de nombreuses activités ayant une incidence sur l'écologie ont été retraitées (*Les 27 Principes de la Déclaration de Rio*, 1992). Notamment, dans le cas de la construction et de la gestion des logements, qui correspondent à 50 % de la consommation des ressources énergétiques (Edwards, 2004), on considère de plus en plus qu'il est essentiel de développer des solutions architecturalement efficaces et intégrées aux cycles naturels afin d'atténuer les impacts négatifs sur l'environnement. Pour répondre à ces exigences, des normes, méthodes et outils appliqués au projet ont été développés dans le monde afin de garantir la préservation de l'environnement et une responsabilité sociale.

Même si ces méthodes ont été nommées dans la littérature anglaise comment « *Building Environmental Assessment Methods* », leurs préoccupations vont au-delà des questions purement environnementales pour inclure des questions de durabilité. En effet, d'une part, le terme environnemental comporte des éléments (biotiques ou abiotiques) qui entourent un individu ou une espèce, par exemple les questions d'énergie fossiles, d'énergie en général, de pollution de l'air, de l'eau, des terres, de gestion des ressources, etc. D'autre part, le terme durable, faisant aussi référence à des questions environnementales, inclut d'autres objectifs de responsabilité sociale, envers le patrimoine, la culture, les disparités sociales, la pauvreté, l'économie, et autres (Cole, 2003).

La plupart des méthodes d'évaluation ont des thèmes de durabilité qui leurs sont communs, comme : 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).

Outre l'évaluation à partir des critères de base, la méthode comporte une vérification, effectuée par une tierce partie, c'est-à-dire un spécialiste externe qui réalise la vérification. C'est sur cette base qu'est délivré un « label » de performance ou une étiquette. Les méthodes d'évaluation sont gérées par un opérateur connu dans les contextes organisationnels ; par exemple BREEAM est exploité par le Royaume-Uni Building Research et LEED par le US Green Building Council. Ces méthodes incluent souvent l'utilisation d'un certain nombre d'outils, par exemple l'utilisation des logiciels de simulation de performance énergétique, ou de codes ou de normes.

L'outil d'évaluation est souvent le terme générique utilisé pour décrire toutes les techniques d'évaluation qui ont été conçues pour aider à l'accomplissement d'une intention spécifique, incluant : la technique de prédiction, d'estimation ou de calcul d'une ou plusieurs caractéristiques de performance environnementale (par exemple, la consommation d'énergie). Les outils peuvent être consultés ou achetés par les professionnels (Cole, 2005).

Jusqu'ici nous avons fait une rétrospective historique du développement et de l'évolution des principales méthodes d'évaluation de la durabilité. Par la suite nous allons décrire et analyser la méthode choisie pour notre étude de cas, c'est-à-dire LEED.

### **1.5 La méthode de certification LEED**

LEED est un programme de certification de construction écologique qui reconnaît les stratégies et les procédures de construction. Cette méthode constate si un bâtiment est vert en attribuant des points dans plusieurs catégories : aménagement écologique des sites, gestion efficace de l'eau, énergie et atmosphère, matériaux et ressources, et qualité des environnements intérieurs, innovation et processus de design et priorité régionale (Greenwashaction.org, 2014).

En 1998, l'USGBC (U.S. Green Building Council) a lancé la version pilote du LEED ; depuis ce temps LEED a été élargi pour répondre à une grande variété de types de bâtiment et a été régulièrement mis à jour et révisé pour tenir compte de nouvelles questions et élever le niveau de performance. LEED 2009, la version actuelle, comprend une famille de systèmes de notation qui traitent de différents types de bâtiments à différents stades de développement (Todd, Pyke et Tufts, 2013).

La méthode LEED agit sur une check-list accordant des crédits ou points pour l'utilisation de produits ou pratiques qui répondent aux normes les plus élevées qui existent sur le marché, ainsi que des crédits pour aborder différentes facettes de la construction écologique (Greenwashaction.org, 2014).

Par exemple, des crédits sont accordés pour l'utilisation d'un certain nombre de matériaux et ressources qui répondent aux impacts environnementaux en amont de l'approvisionnement et la fabrication de matériaux de construction. D'autres crédits encouragent le recyclage et la réutilisation. Le nombre de points obtenus pour un projet détermine le niveau de certification LEED. Il existe quatre niveaux de certification : agrée (40-49 points), argent (50-59 points), or (60-79 points), platine (plus de 80 points) (U.S. Green building Council, 2014). De plus, LEED a un système de classification de différents types de construction et de projet. Ce sont cinq systèmes de notation qui ciblent six types de projets (Green Council Canada, 2015):

1. Nouvelle construction et rénovation majeure
2. Noyau et enveloppe
3. Aménagement d'intérieurs commerciaux
4. Bâtiment existant
5. Aménagement de quartiers
6. Habitations

Chacun de ces systèmes de notation est constitué d'une combinaison de catégories de crédit qui répondent aux besoins uniques des différents types de construction. Dans chacune de ces catégories, il y a des conditions préalables spécifiques que doivent satisfaire les projets ainsi que des crédits permettant de gagner des points supplémentaires (U.S. Green building Council, 2014).

Cole Cole (2005) affirme, à partir d'études comparatives des trois méthodes les plus connues, soit BREEAM, LEED et GBTool, qu'il existe des points de convergence et de distinction au moment du départ pour générer des méthodes applicables dans d'autres régions ou pays qui cherchent à développer de nouveaux systèmes d'évaluation. Une des différences est le contexte organisationnel ou de marché dans lequel les méthodes fonctionnent. Cela représente un sérieux problème puisque le contexte dans lequel une

méthode d'évaluation a été conçue pour fonctionner affecte profondément la portée effective, l'accent et la rigueur d'une évaluation.

Par exemple le GBC (Green Building Challenge) avait pour but de faire progresser l'état de l'art de l'évaluation de la performance des bâtiments, par le développement, les essais et la discussion sur le cadre d'évaluation, les critères et les outils. Son rôle de système de référence est devenu moins important pour de nombreux participants qui créent leurs propres systèmes nationaux d'évaluation (Todd, Crawley, Geissler et Lindsey, 2001).

Au contraire, des méthodes telles que LEED pour déterminer le confort thermique se fondent sur des normes développées dans des contextes climatiques spécifiques, mais qui, appliquées à autres contextes, peuvent ne pas être appropriées au moment de prévoir le confort thermique. À titre d'exemple, les indices de confort de la norme ASHRAE de l'*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc* combinent de diverses manières des facteurs internes (métabolisme) et des facteurs externes (vêtements, température, humidité relative, la vitesse de l'air et de l'échange par rayonnement avec l'environnement). Les plus importants sont : 1) l'échelle de sensations thermiques, 2) l'indice de stress thermique, 3) la température de globe humide, 4) la température de globe de bulbe humide, 5) le taux de transpiration, 6) la température effective, 7) l'indice de refroidissement éolien et l'indice de Fanger (ASHRAE, 2005). Dans cette liste, l'indice de Fanger constitue l'indice jugé le plus acceptable. En effet, contrairement aux autres, ce dernier intègre tous les paramètres. Mais dans leur article « *Optimization of architectural design elements in tropical humid region with thermal comfort approach* », (Prianto, 2003), jugent nécessaire d'ajuster l'indice de Fanger, car le modèle original PMV n'est pas suffisant pour prévoir le confort thermique en climat chaud et humide dans un espace naturellement ventilé ou dans des bâtiments sans air conditionné. Les auteurs démontrent également qu'il est possible d'obtenir du confort avec des stratégies architecturales adaptées au climat tropical humide.

Une autre position est l'indépendance des méthodes de certification durable, c'est-à-dire que finalement la pratique de l'architecture en général doit intégrer les stratégies et les procédures de construction durable, pour faire des bâtiments en équilibre avec leur environnement, comme le stipule Thibaudeau dans son article « *Integrated Design is Green* » (Thibaudeau et Thibaudeau, 2008). L'auteur affirme que le caractère intégré dû au

processus de conception, ainsi que les valeurs du projet, c'est-à-dire la passion pour l'excellence du design, la sensibilité aux sites, aux ressources, à l'efficacité, aux technologies d'économie d'énergie et à la conscience de l'usage du matériel, débouchent sur une conception de la qualité qui va au-delà des exigences normatives et des méthodologies durables. L'intégration de tous ces éléments dans le processus de conception est devenue un élément fondamental et une partie essentielle de la conception de bâtiments durables et deviendra probablement le processus standard pour la conception de tous les immeubles de bonne qualité à l'avenir (Mazza, 2007).

### **Conclusion**

La pratique de l'architecture a évolué à partir des caractéristiques et contextes autant locaux qu'internationaux. Donc, depuis le savoir-faire local des constructeurs concernant les techniques, les matériaux, les aspects socio-économiques, qui ont fait évoluer l'architecture vernaculaire en une architecture savante du climat ; passant par l'architecture bioclimatique qui étudie les caractéristiques du lieu, et à la lumière des phénomènes physiques qu'y interviennent, comme la thermique du bâtiment, la ventilation naturelle, l'ensoleillement et éclairage naturel, ainsi que les caractéristiques et le savoir-faire concernant l'utilisation du climat repris dans l'architecture vernaculaire. Et d'autre part, l'architecture internationale, qui crée de nouvelles solutions et technologies afin d'adapter l'architecture à tous les contextes du point de vue climatique ; l'architecture aujourd'hui combine des stratégies techniques et technologies selon principes et courants qui ont évolué avec elle, par exemple on retrouve : l'architecture, solaire active, solaire passive, low-tech, high-tech et éco-tech.

Cependant cette évolution a transcendé le contexte climatique environnemental pour aller dans le contexte d'un nouveau paradigme celui du développement durable, avec des nouveaux questionnements, des nouveaux défis, de nouvelles préoccupations et exigences environnementales à niveau global. C'est dans cette évolution que se retrouvent, aussi des courants de l'architecture comme sont : l'architecture écologique, l'architecture verte, l'architecture environnementale et l'architecture durable.

## 2. ANALYSE COMPARATIVE DE L'APPROCHE BIOCLIMATIQUE ET DE L'APPROCHE LEED

Pour réaliser notre analyse de l'approche bioclimatique et de l'approche LEED, nous avons suivi la structure des chapitres et crédits (thèmes) de la méthode LEED (à partir du guide LEED NS 2009 du (U.S. Green building Council, 2014). Pour le volet bioclimatique, nous nous basons sur quatre ouvrages reconnus, soit : 1) *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism* de Olgyay (1963), 2) *Man, climate and architecture* de Givoni (1978), 3) *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques* de Liébard (2006) et 4) *Concevoir des bâtiments bioclimatiques* de Fernandez et Lavigne (2009).

1) *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*, Olgyay (1963)

Dans le domaine de l'architecture, Victor Olgyay (1963) est le premier à décrire la zone de confort, c'est-à-dire à interpréter la gamme de conditions environnementales dans lesquelles une personne moyenne se sentirait confortable. Pendant et après la Seconde Guerre mondiale, de nombreuses recherches sur le confort thermique ont été faites dans différentes disciplines comme l'ingénierie, la physiologie, la médecine, la géographie et la climatologie. Ainsi, Olgyay a été le premier à rapprocher les résultats concernant le confort thermique de ces différentes disciplines sur un graphique appelé « charte bioclimatique » (voir l'annexe 2) (Aucliciens et Szokolay, 2007).

La Charte bioclimatique d'Olgyay (1963) est la base d'une méthode de conception climatique décrite dans son livre *Design with climate*. Dans cette méthode, le concepteur superpose les données climatiques locales sur la charte bioclimatique afin de déterminer les modifications climatiques nécessaires pour assumer le confort des occupants, par exemple : le contrôle solaire, la circulation d'air et le refroidissement par évaporation. Il s'agit d'une procédure de conception fondée sur le climat extérieur et les exigences de confort des occupants à l'intérieur, soit une alliance étroite entre l'extérieur et les occupants (Arens, Gonzalez et Berglund, 1986).

Selon Szokolay (1985), avant Olgyay, il y avait deux approches concernant la conception en architecture :

- La première considérait les facteurs thermiques en termes seulement qualitatifs, de sorte que la performance quant au contrôle thermique de la conception du bâtiment ne garantissait pas les conditions de confort intérieur.

- La deuxième approche était basée sur la conception technique d'ingénierie, des installations mécaniques, des équipements de contrôle thermique. Cette approche était fondée sur des « températures de conception » afin d'établir la capacité mécanique requise pour les pires conditions de froid ou de chaleur. Ces températures figuraient dans les règlements, les normes réglementaires, des codes de pratiques ou d'ingénierie comme ASHRAE Handbook of Fundamentals.

Avec la charte bioclimatique, Olgyay synthétise les éléments de la physiologie humaine, de la climatologie et de la physique du bâtiment, avec une forte sensibilisation du régionalisme architectural et une conception sensible avec l'environnement (Szokolay, 2008). Cette nouvelle approche basée sur des facteurs thermiques quantitatifs pouvait garantir, selon les conditions climatiques extérieures, un confort thermique sans faire appel aux installations mécaniques ni équipements de contrôle (Szokolay, 1985).

## 2) *Man, climate and architecture*, Givoni (1978)

Avec Givoni la performance thermique du bâtiment peut être prédite avec une bonne précision et le bâtiment peut lui-même contrôler les conditions intérieures par des moyens passifs. Givoni réalise un couplage étroit entre l'extérieur et dans les bâtiments « de l'enveloppe contrôlée » à partir d'une variante de la « charte bioclimatique du bâtiment » (voir l'annexe 3) qui prend en compte non seulement les conditions climatiques extérieures, mais aussi les conditions climatiques intérieurs du bâtiment disponibles sous la forme du soleil à travers les fenêtres, de la ventilation naturelle, et du transfert thermique à travers les murs et le toit. La tâche de calcul est devenue non seulement le dimensionnement du système, mais également la prédiction de la consommation d'énergie, tout en visant à sa performance. (Arens et al., 1986). Le texte classique *Man, climate and architecture* de Givoni (1978), est considéré comme le volume ayant la plus grande autorité dans le domaine de la construction en lien avec la climatologie.

## 3) *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques*, Liébard (2006)

Liébard (2006) positionne l'architecture bioclimatique dans le contexte global du développement durable, l'entrée en vigueur du protocole de Kyoto, et les nouvelles exigences législatives et réglementaires. Le *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique* est un ouvrage de référence concernant les exigences de confort, de santé et les nouvelles technologies, aussi bien pour les bâtiments (neufs ou existants) que l'aménagement urbain. Il propose une conception bioclimatique cohérente avec les nouvelles réglementations thermiques, l'amélioration du confort thermique de la construction durable, tout en privilégiant les dispositifs passifs plutôt que les systèmes de climatisation active. De plus, cet ouvrage cherche un niveau de qualité et de performance dans la construction bioclimatique.

#### 4) *Concevoir des bâtiments bioclimatiques* Fernandez et Lavigne (2009)

*Concevoir des bâtiments bioclimatiques* est conçu pour les architectes. Il présente les connaissances scientifiques fondamentales du milieu physique et la compréhension des phénomènes en jeu, afin de créer une authentique conception architecturale du lieu. Cet ouvrage s'écarte d'une approche focalisée sur l'optimisation des performances et questions seulement énergétiques, pour aller dans le sens d'une approche professionnelle multidisciplinaire plus globale, c'est-à-dire visant l'intégration de la démarche climatique et des principes physiques universels. Son but est d'influencer les habitudes des métiers de la conception avec une approche multicritère et l'intégration des préoccupations environnementales. Il touche toutes les échelles spatiales, de l'échelle des matériaux et technologies à l'échelle de la vie ou du fragment urbaine, dans une approche écosystémique.

Une caractéristique commune de ces ouvrages est leur approche basée sur les bases fondamentales de la physique et non sur l'approche énergétique. On constate que même si finalement l'énergie est une des variables principales à mesurer, ces ouvrages basent la conception bioclimatique sur l'obtention des conditions de vie, et de confort (températures, taux d'humidité, insalubrité, luminosité, etc.) les plus adéquates et agréables de manière la plus naturelle possible. Une autre caractéristique commune de ces ouvrages est le recensement des stratégies bioclimatiques afin d'aboutir à un choix associant des aspects architecturaux et thermiques. C'est à partir de ces ouvrages que nous allons décrire

l'approche bioclimatique, afin de comparer cette dernière avec la méthode de certification durable LEED.

Pour la méthode LEED, nous nous basons sur le guide *LEED NS 2009 : Système d'évaluation pour les nouvelles constructions et les rénovations importantes 2009* (U.S. Green building Council, 2014).

On retrouve trois moyens de mise en œuvre préconisés permettant de comparer l'architecture bioclimatique et la méthode de certification durable LEED.

1. **Le résultat visé** : on décrit les attributs souhaités, les solutions à apporter, les résultats, par exemple, végétalisation du toit sur au moins 50 % de sa surface.
2. **La performance visée** : on indique les objectifs à atteindre, sans spécifier les moyens pour y parvenir, par exemple, réduction de 20 % de la consommation d'eau potable.
3. **La procédure à suivre** : on indique comment atteindre une performance ou un résultat. Généralement, la procédure est une information additionnelle accompagnant le résultat ou la performance visée, par exemple, élaborer un plan de gestion des eaux pluviales (procédure) qui permette de traiter les eaux pluviales dans une proportion de 90 % (performance).

L'analyse comparative réfère à la fois au thème abordé et à la manière de le traiter. Nous avons suivi la structure des thèmes de la méthode LEED (une soixantaine de thèmes), afin d'établir un ordre précis de comparaison. Ces thèmes dans la méthode LEED sont nommés crédits. Nous avons tenté de trouver des équivalents de ces thèmes dans les ouvrages choisis pour l'architecture bioclimatique, mais il faut tenir en compte que chaque auteur développe sa propre structure thématique ainsi que sa propre approche sur ces thèmes, tel que nous l'avons indiqué dans la description des quatre auteurs choisis.

## **2.1 Analyse comparative**

Les thèmes à étudier sont groupés sous sept grandes catégories ou chapitres, selon la structure de la guide LEED, désignant les thèmes de durabilité, qui sont communs autant pour l'architecture bioclimatique que pour la méthode LEED. Chaque chapitre a un nombre différent thèmes comme suit :

### **2.1.1 Aménagement écologique des sites (16 thèmes)**

- 2.1.2 Gestion efficace de l'eau (4 thèmes)
- 2.1.3. Énergie et atmosphère (9 thèmes)
- 2.1.4 Matériaux et ressources (9 thèmes)
- 2.1.5 Qualité des environnements intérieurs (17 thèmes)
- 2.1.6 Innovation et processus de design (2 thèmes)
- 2.1.7 Priorité régionale (2 thèmes)

Nous allons faire cette comparaison d'abord en introduisant chacune de ces sept grandes catégories, d'abord pour a) la méthode LEED et en suite pour b) l'architecture bioclimatique. Puis nous comparons les deux approches thème par thème.

### **2.1.1 Aménagement écologique des sites**

#### a) LEED

La méthode LEED, au chapitre de l'aménagement écologique des sites, a une approche qui correspond à la prévention, au bon usage et à la récupération des sites. Concernant la prévention elle stipule qu'il faut éviter de construire sur des sites qui ne sont pas appropriés et réduire l'impact environnemental de l'implantation d'un bâtiment sur un site; limiter la perturbation de l'hydrologie des eaux naturelles en réduisant les surfaces perméables, en augmentant l'infiltration d'eau sur le site, en réduisant ou en éliminant la pollution provenant de l'écoulement des eaux pluviales et en éliminant les contaminants; limiter la perturbation et la pollution de l'écoulement naturel des eaux en gérant le ruissèlement des eaux pluviales; réduire les îlots de chaleur pour minimiser leur impact sur le microclimat et sur les habitats humains et fauniques.

Concernant le bon usage, LEED propose de réduire la pollution provenant des activités liées à la construction par le contrôle de l'érosion des sols, de la sédimentation des voies d'eau et de la production de poussière en suspension dans l'air; concentrer le développement dans des secteurs urbains déjà dotés d'infrastructures, protéger les terres inexploitées et conserver les habitats et les ressources naturelles; réduire la pollution et les impacts du développement des terrains qui résultent de l'utilisation de l'automobile, promouvoir l'accès aux transports en commun, stationnement pour bicyclettes, véhicules à faibles émissions et à haut rendement énergétique, ainsi que les vestiaires pour les utilisateurs de bicyclettes; promouvoir la biodiversité en fournissant un ratio élevé d'espaces verts par rapport à la superficie au sol du développement; sensibiliser les

locataires à la mise en œuvre de caractéristiques de conception et de construction durable dans leurs projets d'amélioration des locaux loués.

Pour le volet récupération des sites, LEED prescrit de protéger ou de restaurer les habitats, de conserver les secteurs naturels existants et de restaurer les secteurs endommagés. Cela afin de fournir des habitats et de favoriser la biodiversité, de réhabiliter les sites endommagés, de réduire la pollution lumineuse à l'extérieur du bâtiment et du site (U.S. Green building Council, 2014).

#### b) Architecture bioclimatique

L'architecture bioclimatique concernant le bon aménagement écologique des sites cherche à exploiter le potentiel du lieu et à contourner les contraintes défavorables. Pour cela, elle procède à une collecte de l'information par une analyse du site et à une estimation des interactions entre le projet et le site. C'est avec une bonne interprétation des contraintes que la conception va assurer une approche plus naturelle d'obtention du confort. Selon Fernandez et Lavigne (2009), pour concevoir un bon aménagement écologique des sites, l'architecture bioclimatique prend comme base :

1) Le fonctionnement thermique global de la planète : le principe de l'équilibre thermique – qui comprend le rayonnement solaire en fonction de la latitude, de la saison, de la nébulosité du lieu ; la couche atmosphérique ; l'effet thermique du magma ; les échanges de chaleur entre différentes régions ; la circulation atmosphérique des vents ; la circulation thermohaline des océans ; et l'humidité des lieux ainsi que la température qui décroît avec l'altitude.

2) L'implantation du bâtiment, qui dépend des caractéristiques de l'environnement proche du bâtiment, telles que : le contexte urbain d'implantation (la forme urbaine modifie l'ensoleillement disponible et la pression du vent sur les façades) ; le relief (l'orientation de la pente conditionne fortement les paramètres du microclimat) ; le type de terrain ; la végétation ; la direction ; la vitesse et la fréquence des vents (facteurs qui vont influencer sur le type de construction).

Ces interactions devront assurer le confort et l'abri de l'utilisateur, mais devront également faire en sorte que l'impact du bâtiment sur l'environnement soit minimisé (Fernandez et Lavigne, 2009).

### **2.1.1.1 Prévention de la pollution pendant la construction**

#### a) LEED

Il s'agit de : 1) réduire la pollution provenant des activités liées à la construction, telles que l'érosion des sols, et la production de poussière en suspension ; 2) créer un plan de contrôle de l'érosion. Ces objectifs sont très concrets et dirigés vers des tâches spécifiques de la construction.

Moyen préconisé : résultat visé et procédure à suivre.

#### b) Architecture bioclimatique

Pour Fernandez (2009), l'approche bioclimatique concernant le réaménagement de sites contaminés met l'accent sur la santé des occupants ainsi que sur la gestion des ressources (énergie et matières) à partir d'études sur les cycles de vie, tout en limitant les pollutions. Afin d'établir des mesures correctives concernant la prévention de la pollution pendant la construction, Fernandez se base sur une étude détaillée produite par le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment). Cette étude répertorie les impacts du bâtiment sur son environnement en les classifiant sur trois échelles – généralement considérées comme pertinentes pour une bonne pratique environnementale. Ces échelles sont les suivantes :

- *l'échelle globale ou planétaire, liée aux phénomènes atmosphériques globaux et à la gestion globale des ressources* ; par exemple, l'accroissement de l'effet de serre et l'épuisement des ressources naturelles.

- *l'échelle régionale, qui concerne la zone géographique et souvent climatique* ; par exemple, le « smog » et autres pollutions de l'air ; la pollution de l'eau, qui concerne les eaux de surface et les eaux souterraines.

- *l'échelle locale, relative au bâtiment, à sa parcelle d'implantation et à son environnement proche*, par exemple : la destruction, l'assèchement ou la modification de la végétation ; les gênes urbaines comme la modification du vent,

l'ombre créée par les bâtiments, le bruit généré par le bâtiment durant les phases de chantier et d'utilisation ; les gênes pour les ouvriers de chantier et les agents d'entretien ; la pollution des sols due à la présence de produits toxiques.

Moyen préconisé : performance visée.

La différence entre les approches LEED et bioclimatique concerne les échelles. Alors que LEED se concentre sur les activités de construction associées à l'échelle du projet – avec des procédures spécifiques sur l'érosion, la sédimentation et la prévention de la pollution de l'air –, l'approche bioclimatique, elle, va de l'échelle globale planétaire à l'échelle du projet et se concentre sur la santé des occupants.

### **2.1.1.2 Sélection de l'emplacement**

#### **a) LEED**

Il s'agit d'éviter de construire sur des sites qui peuvent générer un impact environnemental ou un changement d'usage, par exemple construire sur une terre agricole de grande qualité, un terrain désigné comme habitat d'une espèce menacée. La méthode LEED analyse le site du point de vue des normes d'usage, des sites ou de l'habitat classifié comme protégé.

Moyen préconisé : résultat visé.

#### **b) Architecture bioclimatique**

L'approche bioclimatique cherche à préserver les espaces naturels et le paysage, mais elle n'est pas très spécifique sur les moyens d'y parvenir.

*« Aussi sachant que la nature et l'espace ne sont plus des biens illimités, sachant le coût des infrastructures nécessaires à ce mode de vie, non seulement se pose la question de sa gestion et de son organisation spatiale, mais aussi celle de sa pérennité. Car ce processus est en puissance son propre prédateur, puis qu'il détruit le paysage vide dont il rêve de jouir » (Liébard 2006, p. 321a).*

L'architecture bioclimatique analyse le projet depuis le site sélectionné, elle prend en compte les enjeux liés au site, soit du site vers le projet et/ou du projet vers le site. Dans cette partie, il s'agit davantage d'un travail de terrain que de calcul.

Moyen préconisé : résultat visé.

Les approches LEED et bioclimatique vont dans le même sens : perturber le moins possible les zones naturelles ou réduire l'impact environnemental de l'implantation d'un bâtiment sur un site. La différence entre les deux approches est que LEED spécifie les techniques – ou les stratégies – pour la sélection du site, alors que l'approche bioclimatique, elle, reste très générale quant aux moyens d'y parvenir.

### **2.1.1.3 Densité de développement et lien avec la communauté**

#### **a) LEED**

LEED donne des directives très claires pour concentrer le développement dans les secteurs urbains déjà dotés d'infrastructures, afin de conserver les habitats et les ressources naturelles.

Moyen préconisé : résultat visé.

#### **b) Architecture bioclimatique**

L'architecture bioclimatique cherche à : 1) adapter le patrimoine existant aux conditions de vie contemporaines, en renforçant l'attractivité des quartiers anciens, en accueillant une population nouvelle sans pour autant exclure les populations résidentes; 2) maîtriser l'extension urbaine, lors de projets de renouvellement de quartiers anciens en combinant des enjeux sociaux (confort, salubrité, mixité sociale, etc.), culturels (patrimoine, services, etc.), économiques (activités, commerces, etc.) et environnementaux (énergie, transports, etc.) (Fernandez et Lavigne, 2009).

*« D'une part il serait vain de prétendre œuvrer pour un développement urbain durable en intégrant les considérations environnementales dans la seule création ex nihilo de quartiers, d'équipements et de logements, alors que cette dynamique favorise souvent l'étalement urbain et son cortège de réseaux coûteux, d'énergies volatilisées et de déplacements polluants. D'autre part, c'est dans la gestion du patrimoine que les questions environnementales peuvent réellement se poser, dans une recherche d'équilibre avec les questions économiques et socioculturelles, c'est-à-dire dans le cadre du développement durable » (Fernandez et Lavigne, 2009, p. 40).*

Moyen préconisé : performance visée.

Les deux approches vont dans le même sens : accorder la préférence aux sites urbains déjà dotés d'infrastructures. Elles ne le font toutefois pas de la même manière : la méthode LEED propose des exigences et des critères spécifiques par rapport à la densité minimale des secteurs et/ou de l'infrastructure existante.

Contrairement à la méthode LEED, l'approche bioclimatique ne fixe pas d'objectifs précis.

#### **2.1.1.4 Réaménagement de sites contaminés**

##### a) LEED

Il s'agit de réhabiliter ou d'assainir les sites endommagés ou contaminés sur le plan environnemental. Ce crédit est focalisé sur l'équilibre ou sur une bonne négociation entre le prix du site contaminé, l'investissement de la décontamination et le fait de récupérer un site pour la communauté.

Moyen préconisé : résultat visé.

##### b) Architecture bioclimatique

L'architecture bioclimatique prescrit des procédures afin de réaménager et d'exploiter le potentiel du site :

*« L'architecte soucieux d'une insertion réussie cherche en effet à exploiter le potentiel du site, à contourner ses contraintes défavorables et à accorder les ambiances dans et hors de son bâtiment au microclimat du lieu. Pour ce faire, il procède à la collecte de l'information par une analyse du site et à une estimation des interactions entre le projet et le site, selon le filtre de concepts architecturaux caractérisant l'implantation ».* (Fernandez et Lavigne, 2009, p. 29).

Moyen préconisé : procédure à suivre.

La différence entre les approches LEED et bioclimatique concerne la façon d'agir face au problème de contamination d'un site. La méthode LEED cherche l'équilibre entre le prix de décontamination et la récupération du site. L'approche bioclimatique, elle, cherche un équilibre davantage orienté vers l'utilisation créative, les bienfaits et les contraintes du site ; toutefois, celle-ci n'est pas très spécifique quant aux moyens d'y parvenir – contrairement à la méthode LEED.

#### **2.1.1.5 Transport collectif et actif : accès aux transports en commun**

##### a) LEED

Le but est ici de réduire la pollution liée à l'utilisation de l'automobile. Pour y arriver, l'implantation du bâtiment doit prendre en compte son accessibilité aux transports en commun (proximité d'une gare, d'une station de métro ou arrêt d'autobus) ou

proposer un plan de gestion en matière de transport. À titre d'exemple on retrouve la réduction de 25 % du nombre de déplacements dans des véhicules à passager unique.

Moyen préconisé : résultat visé, performances visées, procédure à suivre.

#### b) Architecture bioclimatique

L'approche bioclimatique concernant l'accès aux transports en commun propose une vision davantage liée au projet urbain<sup>5</sup> qu'au projet architectural. Elle cherche une implantation des projets qui soit abordable en milieu urbain, accessible par transport en commun, ou la création des projets périurbains compacts intégrant un plan de gestion en matière de transport, par exemple, transports partagés, et réseaux conçus pour le télétravail.

*« Favoriser les conditions propices à la réalisation des grands logements abordables en milieu urbain (pour répondre aux désirs des familles qui se retrouvent en périurbain faute des grands logements accessibles) et au développement de tissus périurbains compacts qui n'imposent pas à leurs habitants la dépendance automobile (pour permettre aux non motorisés de ne pas être entravés dans leurs activités) » (Liébard, 2006, p. 347a).*

*« L'aménagement urbain peut agir en faveur des modes de déplacements respectant l'environnement, en travaillant sur les manières d'utiliser l'espace public. L'enjeu principal est de favoriser l'accessibilité de l'espace urbain à tous que cette accessibilité soit géographique (réseau de transports, usage des sols), économique-social (allocations, tarifs réduits) ou encore physique : cette dernière peut s'élaborer au moyen de micro aménagement » (Liébard, 2006, p. 367a).*

Moyen préconisé : résultat visé, performance visée.

Les approches LEED et bioclimatique possèdent des orientations similaires, soit réduire la pollution liée à l'utilisation de l'automobile par l'accessibilité au transport en commun et par la création d'un plan de gestion en matière de transport. La différence est que l'approche bioclimatique se préoccupe en plus de la capacité financière réduite de certains ménages à l'égard de l'accessibilité au transport en commun.

---

<sup>5</sup> Tel que le définit par Liébard (2006) : *le projet urbain se caractérise par la prise en compte dans la conception des lieux, d'une pluralité d'acteurs, d'échelles et de temporalités. Mais il désigne aussi un projet « défini par la communauté ».* ( Liébard, 2006, p.328b)

### **2.1.1.6 Transport collectif et actif : stationnement pour bicyclettes et vestiaires**

#### **a) LEED**

L'usage de la bicyclette est mis de l'avant afin de réduire l'utilisation de l'automobile et la pollution que celle-ci cause. À titre d'exemple on retrouve des services tels que des supports à bicyclettes, des vestiaires et des douches pour au moins 5 % de l'équivalent temps plein des occupants.

Moyen préconisé : résultat visé, performance visée.

#### **b) Architecture bioclimatique**

L'approche bioclimatique concernant le stationnement pour bicyclettes et les vestiaires propose des hangars à vélo à côté des stations de bus et la mise à la disposition des usagers de vélos devant les gares. Il s'agit de développer un lien complémentaire entre les modes de transport collectif et les déplacements de proximité (Liébard, 2006).

Moyen préconisé : résultat visé.

La différence entre les approches LEED et bioclimatique concerne les échelles. Lors de la conception du bâtiment, l'approche LEED se concentre sur le design de services complémentaires permettant l'usage de la bicyclette. L'approche bioclimatique, elle, se centre sur l'aménagement urbain plutôt que sur l'édifice lui-même.

### **2.1.1.7 Transport collectif et actif : véhicules à faibles émissions et à haut rendement énergétique**

#### **a) LEED**

Comme dans le cas du crédit précédent, le but de LEED est de promouvoir l'usage du transport alternatif ou de remplacement, notamment par l'usage de véhicules à faible émission pour le 3 % du nombre d'occupants du bâtiment ou à l'aide d'un programme de partage de véhicule.

Moyen préconisé : résultat visé, performance visée.

#### **b) Architecture bioclimatique**

L'approche bioclimatique concernant les véhicules à faibles émissions et à haut rendement énergétique propose l'utilisation des moteurs électriques ou hybrides, ou des programmes de partage de véhicules en ce qui concerne les usages urbains. Liébard (2006) donne l'exemple de cette pratique à travers les « plans de déplacements urbains (PDU) » mis en place en France pour les villes de plus de 100K habitants, notamment avec des propositions telles que : des flottes de véhicules propres (électriques, au gaz, biocarburants, etc.), la location de véhicules électriques, ou encore, des stationnements gratuits pour les véhicules électriques.

Moyen préconisé : résultat visé.

La différence entre les approches LEED et bioclimatique concerne les échelles. L'approche LEED se concentre sur des services complémentaires du bâtiment pour l'usage de véhicules à faible émission alors que l'approche bioclimatique possède davantage une vision de services complémentaires liés à l'aménagement urbain.

#### **2.1.1.8 Transport collectif et actif : capacité de stationnement**

##### a) LEED

Le but de LEED est ici aussi de promouvoir l'usage du transport alternatif ou de remplacement pour le 3 % du nombre d'occupants du bâtiment ou d'offrir un rabais sur le tarif de stationnement pour les véhicules de covoiturage. Dans ce cas, il doit y avoir une préférence de stationnement pour les véhicules de covoiturage.

Moyen préconisé : résultat visé, performance visée.

##### b) Architecture bioclimatique

L'approche bioclimatique concernant la capacité de stationnement promeut la préférence générale de stationnement pour les véhicules de covoiturage et les véhicules à faibles émissions et à haut rendement énergétique.

*« Les objectifs généraux sont donc avant tout de diminuer le nombre et la distance des déplacements, et d'orienter les pratiques vers un usage accru des transports collectifs et des modes de déplacement de proximité (marche, vélo, roller) » (Liébard, 2006, p. 346a).*

Tel que nous l'avons mentionné précédemment, un exemple de cette pratique au niveau de projet urbain sont les « plans de déplacements urbains (PDU) »,

notamment avec des propositions comme : les stationnements gratuits pour les véhicules électriques, les flottes de véhicules propres (électriques, au gaz, biocarburants, etc.), ou la location de véhicules électriques.

Moyen préconisé : résultat visé.

Ce thème, du point de vue de la méthode LEED, n'est pas abordé du même point de vue que celui de la conception bioclimatique d'un bâtiment. En effet, la conception bioclimatique d'un bâtiment, ne traite pas de la limite des superficies des garages ou des terrains de stationnement, ni même de la préférence de stationnement pour les véhicules de covoiturage. Elle s'inscrit dans le projet urbain plutôt que dans le projet de bâtiment.

#### **2.1.1.9 Aménagement des sites : protéger ou restaurer les habitats**

##### a) LEED

Dans le cas présent, le but de LEED est de conserver les habitats naturels et de favoriser la biodiversité. Une liste de critères très précis vise à limiter toute perturbation des habitats ou à restaurer les sites déjà exploités. À titre d'exemple, on retrouve la conservation des secteurs naturels existants au-delà de 12 mètres du périmètre du bâtiment ou restaurer d'au moins 50 % de la superficie du site.

Moyen préconisé : résultat visé, performance visée.

##### b) Architecture bioclimatique

La démarche bioclimatique, concernant la protection et la restauration des habitats, met l'accent sur le respect de l'environnement, mais elle reste très générale sur les moyens d'y parvenir.

Selon Fernandez (2009), les préoccupations environnementales, ainsi que les autres critères de conception, tant à l'échelle du projet architectural qu'à celle du projet urbain, doivent s'intégrer dans un système d'acteurs élargi et se trouver dans le processus de projet. Il ne s'agit pas d'une méthode, mais plutôt d'une série de démarches qui nécessitent une approche multidisciplinaire. Pour chaque discipline, il s'agit de suivre une logique de projet, de s'écarter d'une recherche seulement focalisée sur l'optimisation des performances pour aller dans le sens d'une approche plus

multidisciplinaire au niveau professionnel et plus globale. « *Le système d'acteurs, les temporalités, mais aussi les enjeux environnementaux du développement urbain durable interpellent en effet des facteurs qui se situent également en amont et en aval du processus de conception, et qui ne peuvent être maîtrisés par les seuls professionnels de la conception* » (Fernandez et Lavigne, 2009, p. 38).

Moyen préconisé : procédure à suivre.

La différence entre les approches LEED et bioclimatique concerne les limites spatiales. En effet, l'approche LEED établit ces limites afin de protéger ou de restaurer les habitats. En ce qui concerne l'approche bioclimatique, celle-ci laisse la possibilité aux différents professionnels – spécialistes de l'habitat –, de faire le diagnostic, d'établir les limites, ainsi que de formuler les propositions.

#### **2.1.1.10 Aménagement des sites : maximiser les espaces verts**

##### a) LEED

Il s'agit ici de maximiser les espaces verts sur le site et de déterminer un pourcentage par rapport à la superficie du développement (par exemple, excéder de 25 % les exigences locales de zonage concernant les espaces verts ou fournir un espace vert végétalisé égal à 20 % de la superficie du site du projet).

Moyen préconisé : performance visée.

##### b) Architecture bioclimatique

L'architecture bioclimatique prétend conserver la pérennité des espaces naturels du site. Pour *Liébard (2006)* la conception des espaces extérieurs fait partie de la mission de l'architecte, mais encore le traitement de la végétation et de l'eau doit être intégré dans la conception de l'habitat bioclimatique. L'auteur décrit quelques caractéristiques du rôle de la végétation concernant le bâtiment : la végétation protège le bâtiment contre le vent et l'excès d'ensoleillement en été (haies et ranges d'arbres). La végétation grimpante quant à elle, contribue à réduire les pertes par convection de l'enveloppe du bâtiment ainsi que par la vapeur émise par évapotranspiration des feuilles – laquelle permet de rafraîchir l'air ambiant. Une couverture végétale atténuée

les effets d'éblouissement dus au contraste entre les zones d'ombre et les zones ensoleillées.

Moyen préconisé : performance visée.

La différence entre les approches LEED et bioclimatique concerne les pourcentages de performance. En ce qui concerne ceux établis par LEED, il s'agit de maximiser les espaces verts, alors que pour ce qui est de l'approche bioclimatique, il s'agit d'utiliser de la végétation comme solution ainsi que comme caractéristique liée à la conception.

#### **2.1.1.11 Gestion des eaux pluviales : contrôle de la quantité**

##### a) LEED

Il s'agit ici, de mettre en place un plan de gestion afin de respecter un certain taux de surface perméable existante (soit inférieur égale à 50% ou supérieur de 50%), de façon à maintenir l'écoulement de l'eau, le cycle naturel de l'eau ou à limiter la perturbation hydrologique des eaux naturelles du site.

Moyen préconisé : procédure à suivre.

##### b) Architecture bioclimatique

Tel que mentionné dans le point précédant ; en bioclimatique, le traitement de l'eau doit être intégré dans la conception de l'habitat. L'importance de l'infiltration de l'eau de pluie dans l'architecture bioclimatique a différentes motivations : les surfaces perméables aux précipitations, et avec la topographie du terrain, peuvent créer des poches humides (zones de teneur en humidité élevée) qui auront des températures plus fraîches en été. L'utilisation des plans d'eau pour rafraîchir l'air ambiant, grâce à la consommation de l'énergie par l'évaporation. Au contraire, la nature des surfaces construites imperméables empêchent l'eau de percoler vers le sous-sol, et ont une influence dans le microclimat par le stockage la chaleur (Liébard, 2006).

Moyen préconisé : Résultat visé.

Les approches LEED et bioclimatique vont dans le même sens : limiter la perturbation hydrologique des eaux naturelles. Toutefois, LEED établit ses pourcentages de performance alors que l'approche bioclimatique, elle, reste très générale, notamment en ce qui concerne la surface perméable à atteindre.

### **2.1.1.12 Gestion des eaux pluviales : contrôle de la qualité**

#### a) LEED

Il s'agit ici de proposer un plan de gestion des eaux pluviales qui permet, soit de traiter les eaux pluviales à 90% - ceci, en enlevant 80 % de la charge de particules solides en suspension -; soit de suivre les critères et les spécifications d'un programme provincial, territorial ou local.

Moyen préconisé : procédure à suivre.

#### b) Architecture bioclimatique

Ce thème est traité par l'architecture bioclimatique par des techniques qui proposent l'utilisation de plusieurs niveaux de filtration. Par exemple : un premier filtrage grossier est fait avant l'entrée de l'eau de pluie dans le réservoir, cela peut se faire dans la gouttière. D'autres niveaux de filtration peuvent s'opérer à la sortie du réservoir (filtre sur sable, sur charbon actif) en fonction des différents usages. Par exemple, l'utilisation pour l'arrosage du jardin ou l'eau du lave-linge.

Moyen préconisé : résultat visé.

Les approches LEED et bioclimatique vont dans le même sens, limiter la pollution de l'écoulement naturel des eaux pluviales. Elles sont toutefois différentes en ce que LEED établit ses pourcentages de performance alors que l'approche bioclimatique décrit certains attributs souhaités sans toutefois fixer des objectifs précis.

### **2.1.1.13 Aménagement du site visant à réduire les îlots de chaleur : éléments autres que les toitures**

#### a) LEED

Il s'agit ici de l'aménagement des surfaces extérieures selon des critères techniques et des pourcentages spécifiques, ceci afin d'éviter la concentration de la chaleur dans les matériaux. À titre d'exemple, il peut s'agir : de fournir de l'ombre sur 50% des surfaces de stationnement par un couvert forestier, d'implanter des structures couvertes avec des panneaux solaires ou d'installer des structures avec un « *indice de réflectance* » ou « *facteur de réflexion* » solaire (IRS) d'au moins 29.

Moyen préconisé : résultat visé.

## B) Architecture bioclimatique

Il s'agit ici d'utiliser plusieurs stratégies de conception afin de réduire les îlots de chaleur, par exemple : choisir des matériaux et revêtements du bâtiment adaptés, des revêtements de sol, prévoir des plantations d'arbres, prévoir des puits de fraîcheur (contrairement aux îlots de chaleur, les puits de fraîcheur sont des jardins, des zones vertes ou des parcs publics).

Moyen préconisé : résultat visé.

La différence, entre les approches LEED et bioclimatique, concerne les quantités à atteindre de matériaux adaptés (contrairement à la méthode LEED, l'approche bioclimatique ne fixe pas d'objectifs précis). Les techniques et stratégies pour réduire les îlots de chaleur sont toutefois les mêmes.

### **2.1.1.14 Aménagement du site visant à réduire les îlots de chaleur : toitures**

#### a) LEED

Il s'agit ici de l'aménagement des surfaces de toiture selon des critères techniques et des pourcentages spécifiques, ceci afin d'éviter la concentration de chaleur dans les matériaux des toitures. Par exemple, il peut s'agir d'installer un toit végétalisé sur au moins 50% de la surface des toits.

Moyen préconisé : résultat visé.

#### b) Architecture bioclimatique

Les techniques et solutions pour éviter les îlots de chaleurs sont bien décrites dans les ouvrages consultés. Dans l'architecture bioclimatique, l'usage de ces techniques répond à un but général de concevoir le bâtiment en fonction du climat et d'obtenir du confort autant à l'intérieur qu'autour du projet.

Moyen préconisé : performance visée.

Comme dans le cas du crédit précédent, la différence entre les approches LEED et bioclimatique concerne les quantités à atteindre de matériaux adaptés. Contrairement à la méthode LEED, l'approche bioclimatique ne fixe pas d'objectifs précis. Les techniques et stratégies pour réduire les îlots de chaleur sont toutefois les mêmes.

### **2.1.1.15 Réduction de la pollution lumineuse**

#### a) LEED

LEED dispose d'une liste de critères en ce qui a trait l'éclairage à l'extérieur du site. Ces critères permettent d'éviter ou de limiter la pollution lumineuse sur le lieu, ainsi que maintenir des niveaux d'éclairage sécuritaires (norme IESNA RP-33).

Moyen préconisé : résultat visé, procédure à suivre.

#### b) Architecture bioclimatique

En bioclimatique ce phénomène n'est pas abordé dans les ouvrages consultés dans le cadre de la recherche.

### **2.1.1.16 Lignes directrices pour la conception et la construction à l'intention des locataires**

#### a) LEED

Il s'agit de produire un document qu'illustre et décrit les caractéristiques de conception et de construction du bâtiment durable, afin d'aider à concevoir et à construire des intérieurs durables, ainsi que de sensibiliser les locataires sur le fonctionnement et les pratiques durables de l'ensemble du bâtiment.

Moyen préconisé : résultat visé.

#### b) Architecture bioclimatique

Selon Fernandez (2009), une phase d'appropriation des lieux est essentielle concernant les enjeux environnementaux du projet. Il s'agit d'un guide d'utilisation destiné aux occupants du bâtiment, afin de faire un bon usage des dispositifs bioclimatiques, leur influence sur les performances énergétiques et sur le confort, afin de tirer le meilleur parti de son bâtiment. « *Avec la participation éventuelle de techniciens sur des aspects restreints, les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'œuvre ont à tenir un rôle pédagogique afin d'expliquer aux usagers comment utiliser au mieux et durablement le bâtiment qui devient le leur* » (Fernandez et Lavigne, 2009, p. 40).

Moyen préconisé : procédure à suivre.

Les approches LEED et bioclimatique vont dans le même sens : sensibiliser les habitants aux caractéristiques de conception, de fonctionnement et de bon usage du

bâtiment. La différence de l'architecture bioclimatique par rapport à la méthode LEED réside dans le moyen préconisé : procédure à suivre plutôt que résultat visé.

### **2.1.2 Gestion efficace de l'eau**

#### a) LEED

Le but de la gestion de l'eau dans la méthode LEED est l'utilisation plus intelligente ou performante, de l'eau potable ou des eaux naturelles de surface ou souterraines, à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment (aménagement paysager efficace en eau). Mais encore, la réduction de la consommation d'eau potable, ainsi que la réduction, la réutilisation et le traitement innovant des eaux usées.

#### b) Architecture bioclimatique

Selon Liébard (2006), la gestion de l'eau peut avoir des conséquences positives sur l'environnement. L'économie de l'eau permet de ménager les nappes phréatiques, de diminuer les coûts d'infrastructure concernant le captage, le transport et traitement de l'eau, ainsi que d'économiser de l'énergie dans ce processus. De plus économiser de l'eau permet de moins polluer, et par conséquent, contribue à préserver son cycle naturel.

Dans l'architecture bioclimatique, l'utilisation de l'eau découle des études du site (celles-ci peuvent concerner les besoins liés au climat et l'accessibilité du site), ceci principalement afin d'obtenir un confort thermique. Par exemple, les étendues d'eau (comme les bassins, et les étangs) jouent le rôle de tampons thermiques et permettent d'atténuer les variations journalières de température à l'échelle du microclimat. Dans la construction, l'eau a aussi été utilisée pour ses capacités de stockage de la chaleur; par exemple, des murs de bidons d'eau sur une façade ensoleillée, des réservoirs d'eau constituant la dalle de toiture utilisée comme réservoir de chaleur (Liébard, 2006). Une autre application dans l'architecture bioclimatique, est l'utilisation de systèmes d'aspersion permettant de rafraîchir l'air ambiant. « (...) *l'eau trouve dans l'air ambiant la chaleur nécessaire pour passer de l'état liquide à l'état vapeur; la température de l'air se voit ainsi réduite et l'humidité relative de l'air augmente* » (Liébard, 2006).

En outre, comme nous l'avons déjà mentionné dans le cas de l'architecture bioclimatique dépendamment des opportunités et des besoins du site, l'eau peut être récupérée. Cette récupération peut se faire de plusieurs manières : à partir de la récupération des eaux de pluie, ou à travers la condensation par le refroidissement et par rayonnement des surfaces donnant vers le ciel. Ou dans le cas contraire, la déshumidification de l'air convient aux climats chauds et humides (Fernandez et Lavigne, 2009). L'utilisation de l'eau dans l'architecture bioclimatique va avec le principe de travailler avec les ressources du lieu ; les techniques qu'elle peut utiliser sont la climatisation par évaporation, les murs et les toits végétalisés, ou l'inertie thermique, entre autres.

#### **2.1.2.1 Réduction de la consommation d'eau**

##### a) LEED

Il s'agit d'arriver à une réduction de la consommation d'eau de 20% par rapport à la consommation de référence calculée pour le bâtiment.

Moyen préconisé : performance visée.

##### b) Architecture bioclimatique

Il s'agit de réduire la pression exercée sur les cours d'eau ou les nappes phréatiques entre autres, afin de répondre aux besoins de la population.

Moyen préconisé : performance visée.

Les deux méthodes ont la même préoccupation, réduire l'usage de l'eau. La différence est que les objectifs à atteindre de la méthode LEED se font par rapport à une référence, qui elle, est quantifiée.

#### **2.1.2.2 Aménagement paysager économe en eau**

##### a) LEED

Il s'agit de réduire de 50% l'usage d'eau potable, ou d'éliminer les besoins d'utilisation d'eau potable à des fins d'irrigation. Plusieurs exemples sont cités dans le guide LEED.

Moyen préconisé : performance visée.

## b) Architecture bioclimatique

L'architecture bioclimatique travaille avec les conditions du site, incluant les éléments végétaux, afin de conserver la pérennité des espaces naturels et de maîtriser l'équilibre de l'écosystème sur lequel le projet s'appuie et dans lequel il s'implante.

Moyen préconisé : résultat visé.

La différence entre les deux méthodes réside dans le moyen préconisé : LEED indique des pourcentages maximum de réutilisation d'eau potable et l'architecture bioclimatique travaille avec les conditions locales. Les techniques peuvent être les mêmes pour atteindre le même objectif, c'est à dire, limiter l'utilisation de l'eau disponibles sur le site, à des fins d'irrigation.

### **2.1.2.3 Technologies innovatrices de traitement des eaux usées**

#### a) LEED

Il s'agit de réduire de 50% la consommation d'eau potable servant à véhiculer les matières usées du bâtiment. Les technologies proposées par LEED sont : soit de remplacer l'eau potable par de l'eau de pluie ou des eaux grises, soit de traiter 50% des eaux usées.

Moyen préconisé : performance visée.

## b) Architecture bioclimatique

La littérature consultée pour cette étude concernant les « technologies innovatrices de traitement des eaux usées » fait de référence à différents types d'assainissements des eaux usées : l'épuration naturelle, l'épuration artificielle et l'épuration individuelle domestique. Les techniques proposées par Liébard (2006) sont basées sur le principe de: « *consommer moins d'eau pour rejeter moins d'eau polluée. Polluer moins en quantité et en qualité. Ne pas diluer les eaux usées avec l'eau de pluie propre. Séparer les types d'eaux usées pour mieux les traiter* » (Liébard, 2006, p. 219b).

Moyen préconisé : résultat visé.

Comme dans le cas du crédit précédent, la différence entre les deux méthodes réside dans le moyen préconisé : LEED vise une performance et l'architecture bioclimatique

un résultat. Les techniques peuvent être les mêmes pour atteindre le même objectif, réduire le rejet d'eaux usées.

#### **2.1.2.4 Réduction de la consommation d'eau**

##### **a) LEED**

Il s'agit d'arriver à une réduction de la consommation d'eau de 30%, 35% ou 40 % par rapport à la consommation de référence calculée pour le bâtiment. Plusieurs solutions sont présentées dans le guide LEED afin d'atteindre cet objectif :

*« Utiliser des appareils et des robinets certifiés WaterSense. Utiliser des appareils sanitaires très économes en eau (toilettes et urinoirs), des appareils sanitaires fonctionnant à sec (toilettes dotées de systèmes de compostage). Envisager l'utilisation d'autres sources d'eau, telles que les eaux pluviales, les eaux de ruissellement, les eaux de condensat produites par les appareils de climatisation et les eaux grises, comme eaux non potables servant à la chasse des toilettes et des urinoirs ou à l'entretien du bâtiment. Installer un compteur d'eau au niveau du bâtiment pour calculer et contrôler la consommation d'eau totale du bâtiment » (U.S. Green building Council, 2014, p.36).*

Moyen préconisé : performance visée.

##### **b) Architecture bioclimatique**

Il s'agit de réduire la pression exercée sur les cours d'eau des nappes phréatiques, entre autres, afin de répondre aux besoins de la population. Les moyens pour y parvenir selon Liébard (2006) sont :

- 1) Le comportement des utilisateurs, l'économie d'eau par son attention dans la manière d'utiliser l'eau, par le choix de savons et de détergents écologiques ;
- 2) Des mesures techniques : utiliser des appareils économes en eau comme ; les robinets spéciaux, les toilettes à eau réduite, des machines à laver économes en eau, etc. ;
- 3) La diversité de la qualité de l'eau en fonction des besoins : utiliser de l'eau recyclée ou de l'eau de pluie pour certains usages domestiques.

Moyen préconisé : résultat visé.

Les deux approches ont la même préoccupation : réduire l'usage de l'eau. La différence est que l'objectif à atteindre pour la méthode LEED se fait par rapport à un pourcentage de réduction de consommation d'eau, alors qu'en ce qui concerne l'architecture bioclimatique, il s'agit d'utiliser le moins d'eau possible.

### **2.1.3 Énergie et atmosphère**

#### **a) LEED**

Ce chapitre est un des plus importants selon son pointage. Il porte sur le contrôle et la vérification des systèmes énergétiques, sur la performance énergétique, sur l'utilisation des systèmes d'énergie renouvelable (sur le site ou de l'utilisation d'électricité verte, c'est-à-dire l'électricité non polluante, tirée de sources d'énergie renouvelables, mais distribuée par le réseau).

LEED fixe une norme de référence ou une performance énergétique minimale du bâtiment. Elle propose aussi d'optimiser la performance énergétique pour obtenir des niveaux de performance supérieurs à la norme de référence fixée, et ce, afin de réduire les impacts environnementaux et économiques résultants d'une consommation d'énergie excessive.

Les crédits sur l'énergie incluent aussi la gestion de l'entreposage et du recyclage des déchets produits par les occupants du bâtiment. Ils incluent aussi la réduction de l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique par des stratégies comme la gestion fondamentale des frigorigènes.

Il faut mentionner que LEED se base sur la norme ASHRAE (organisation internationale technique dans le domaine des génies thermiques et climatiques, tels que ; chauffage, ventilation, air climatisé, production de froid).

#### **b) Architecture bioclimatique**

Le premier souci de l'architecture bioclimatique est d'obtenir du confort tout en utilisant les forces de la nature et en évitant l'utilisation des énergies non renouvelables. L'architecture bioclimatique concentre l'usage de l'énergie sur 3

aspects : 1) le fonctionnement thermique global – ou système terre-soleil – qui est la base de la conception bioclimatique, stipule qu’il faut comprendre les caractéristiques du système solaire et leurs influences sur les variations saisonnières affectant l’évolution de l’ensoleillement et les températures. 2) Les dispositifs architecturaux ou outils architecturaux portent principalement sur le chauffage et la climatisation des bâtiments par les énergies naturelles, c’est-à-dire les sources d’énergie qui ne sont pas dérivées de combustibles fossiles ou nucléaires. Pour Givoni (1978), les énergies naturelles qui peuvent être utilisées pour le chauffage et la climatisation sont : le rayonnement solaire, le rayonnement de grande longueur d’onde, le refroidissement nocturne par convection et l’évaporation de l’eau. Aussi appelés dispositifs architecturaux de contrôle des ambiances, ces dispositifs dans l’architecture bioclimatique, au-delà de leur valeur technique, ont également une valeur d’usage et une valeur esthétique, et font à ce titre partie intégrante de l’architecture (Fernandez et Lavigne, 2009). 3) La morphologie du bâtiment, dans la conception de ce dernier, permet de passer d’une appréciation du site intégrant les contraintes de programme à une idée de la forme globale. Le discours sur la forme du bâtiment avec toutes ses composantes – géométrique, topologique, fonctionnelle, structurelle, esthétique, énergétique et environnementale – est donc au centre du discours architectural (Fernandez et Lavigne, 2009). La forme du bâtiment détermine la technique constructive à utiliser, les coûts des matériaux de surface, les économies d’énergie, ainsi que les potentiels de ventilation et d’illumination naturelle, entre autres.

#### **2.1.3.1 Mise en service de base des systèmes énergétiques du bâtiment**

##### a) LEED

Il s’agit de créer un plan de mise en service, ainsi qu’une équipe de mise en service, afin de vérifier que les systèmes énergétiques du projet soient installés et étalonnés en accord avec les principes de base de la conception. Une description détaillée pour cette mise en service est décrite dans le guide LEED.

Moyen préconisé : procédure à suivre.

##### b) Architecture bioclimatique

La conception bioclimatique propose d'intégrer les connaissances scientifiques dans un système d'acteurs élargi à tout le processus du projet. Cette intégration peut se faire à travers des guides de bon usage comme la présente (Liébard, 2006).

Moyen préconisé : procédure à suivre.

Les approches LEED et bioclimatique vont dans le même sens : vérifier les systèmes énergétiques du projet, leur fonctionnement, ainsi que leur bon usage dans le bâtiment.

### **2.1.3.2 Performance énergétique minimale**

#### **a) LEED**

Afin d'établir une performance énergétique minimale de référence du bâtiment, LEED propose le choix entre trois procédures :

- 1) Code modèle national de l'énergie pour les bâtiments (CMNÉB);
- 2) ASHRAE advanced energy design guide;
- 3) Advanced Buildings™ Core Performance™ du New Buildings Institute.

Le but est d'établir le niveau d'efficacité énergétique minimal du bâtiment et de concevoir leur enveloppe et leurs différents systèmes de façon à satisfaire aux exigences des normes.

Moyen préconisé : procédure à suivre.

#### **b) Architecture bioclimatique**

Afin d'établir la *performance énergétique minimale*, et à la différence de la méthode LEED, l'approche bioclimatique se base sur la compréhension des phénomènes physiques en jeu, l'analyse des mécanismes élémentaires et l'utilisation du principe de la superposition (somme des différents phénomènes intervenant). En plus d'établir la performance énergétique minimale, ces méthodes servent à établir la conception des différents systèmes bioclimatiques du bâtiment.

*« De même que les formes sont représentées par différents types de dessins, de même les phénomènes physiques sont formalisés par des relations entre les paramètres concernés. Nous ferons parfois des calculs d'ordre de grandeur afin d'être à même de prendre un parti en vrai concepteur. ... Enfin, nos préoccupations n'étant pas celles des calculateurs, les architectes ne*

*trouveront pas dans ce chapitre de relations systématiquement présentées sous la forme utilisée par les documents règlementaires » (Fernandez et Lavigne, 2009, p. 173).*

Moyen préconisé : procédure à suivre.

La différence entre les approches LEED et bioclimatique concerne la façon d'établir l'efficacité énergétique minimale du bâtiment. Pour LEED, le calcul de la référence à satisfaire est basé sur des normes, alors que pour l'approche bioclimatique, l'établissement de l'efficacité énergétique minimale se fait à partir du calcul des phénomènes physiques intervenant dans l'ensemble du bâtiment.

### **2.1.3.3 Gestion fondamentale des frigorigènes**

#### **a) LEED**

Le but ici est de ne pas utiliser les frigorigènes à base de CFC (chlorofluorocarbures, couramment appelés Fréons) dans les systèmes de CVCA (chauffage, ventilation et conditionnement d'air) et de réfrigération des nouveaux bâtiments, ou de planifier leur substitution (dans le cas d'un bâtiment existant), afin de réduire l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique.

Moyen préconisé : résultat visé.

#### **b) Architecture bioclimatique**

Le but principal de l'architecture bioclimatique est de ne pas utiliser les systèmes de climatisation et de chauffage. L'enjeu est d'assurer le confort thermique à partir d'une architecture passive, c'est-à-dire par les caractéristiques de son enveloppe et les techniques de climatisation passives. Mais lorsque les dispositifs architecturaux sont insuffisants pour obtenir les conditions de confort, des systèmes de CVCA peuvent être utilisés, mais tout en assurant la non-utilisation de frigorigènes à base de CFC ni les gaz de substitution HCFC (hydrochlorofluorocarbures) (Fernandez et Lavigne, 2009).

Moyen préconisé : résultat visé.

Les deux approches partagent la même préoccupation : la non-utilisation de frigorigènes à base de CFC. Toutefois, la différence est que l'architecture

bioclimatique, en plus de la non-utilisation de ces frigorigènes, recommande aussi la non-utilisation de gaz de substitution HCFC.

#### **2.1.3.4 Optimiser la performance énergétique**

##### **a) LEED**

Après avoir établi le niveau de référence minimal de consommation énergétique, le but de LEED ici est d'obtenir une performance énergétique supérieure à ce niveau de référence. Pour pouvoir établir cette performance, LEED propose un choix entre trois procédures :

- 1) Code modèle national de l'énergie pour les bâtiments (CMNÉB);
- 2) ASHRAE advanced energy design guide;
- 3) Advanced Buildings™ Core Performance™ du New Buildings Institute.

Moyen préconisé : procédure à suivre.

##### **b) Architecture bioclimatique**

Le but ultime de l'architecture bioclimatique est d'obtenir le confort thermique de la manière la plus naturelle possible, c'est-à-dire la plus haute performance possible. L'estimation de la performance obtenue se fait à partir de calculs des caractéristiques théoriques (géométrie, matériaux, orientation et climat local) qui permettent de déterminer les gains solaires, l'isolation, la compacité, le degré d'inertie et le type de chauffage (si nécessaire).

L'optimisation de la performance énergétique correspond tout à fait avec la définition de l'architecture bioclimatique faite par Fernandez (2009).

*« Cette expression vise principalement l'amélioration du confort qu'un espace bâti peut induire de manière naturelle, c'est-à-dire en minimisant le recours aux énergies non renouvelables, les effets pervers sur le milieu naturel et les coûts d'investissement et de fonctionnement. L'intérêt du bioclimatique va donc du plaisir d'habiter ou d'utiliser un espace à l'économie de la construction, ce qui en fait un élément fondamental de l'art de l'architecte. » Fernandez (Fernandez et Lavigne, 2009, p. 22).*

Moyen préconisé : performance visée.

La différence entre les approches LEED et bioclimatique concerne la façon d'optimiser la performance énergétique de référence. Pour LEED, l'obtention de cette

performance est basée sur des normes, alors que pour l'approche bioclimatique, elle est basée sur l'interprétation du contexte et l'utilisation des forces de la nature.

#### **2.1.3.5 Système d'énergie renouvelable sur place**

##### a) LEED

Il s'agit d'encourager l'usage des systèmes de génération d'énergie renouvelable dans le projet tel que le solaire, l'éolienne, l'hydroélectrique et la géothermique à faibles impacts, la biomasse et les stratégies de biogaz. Toutes ces stratégies sont bien décrites dans le guide LEED.

Moyen préconisé : résultat visé.

##### b) Architecture bioclimatique

Comme nous l'avons déjà mentionné, le but de l'architecture bioclimatique est d'obtenir un confort thermique de la manière la plus naturelle possible, c'est-à-dire par l'utilisation de systèmes de conservation, de transmission et d'évacuation de l'énergie. Pour Givoni (1978), les énergies naturelles qui peuvent être utilisées pour le chauffage et la climatisation dans un bâtiment bioclimatique sont le rayonnement solaire, le rayonnement de grande longueur d'onde, le refroidissement nocturne par convection et l'évaporation de l'eau. Mais l'architecture bioclimatique a évolué avec les préoccupations globales, comme la crise énergétique, vers la recherche de l'autonomie énergétique ou la non-dépendance des formes non renouvelables d'énergie, en considérant l'usage des systèmes de génération d'énergie renouvelable.

Moyen préconisé : résultat visé.

Les approches LEED et bioclimatique vont dans le même sens : l'utilisation d'énergie renouvelable sur place.

#### **2.1.3.6 Mise en service amélioré**

##### a) LEED

Il s'agit de mettre en marche la procédure établie par le crédit préalable « *mise en service de base des systèmes du bâtiment* », consistant à créer un plan de mise en service, ainsi qu'une équipe de mise en service, afin de vérifier que les systèmes

énergétiques du projet soient installés et étalonnés en accord avec les principes de base de conception.

Moyen préconisé : procédure à suivre.

#### b) Architecture bioclimatique

Selon Fernandez (2009), il s'agit de faire la coordination des critères de conception et des préoccupations environnementales avec un système d'acteurs pendant le processus de projet. Ce système d'acteurs doit générer de nouvelles pratiques pédagogiques et professionnelles afin d'intégrer les connaissances scientifiques dans les pratiques pour de les rendre opératoires (Fernandez et Lavigne, 2009).

Moyen préconisé : procédure à suivre.

Les approches LEED et bioclimatique ont le même objectif : utiliser une procédure établie afin de vérifier que les systèmes énergétiques du projet fonctionnent correctement.

### **2.1.3.7 Gestion améliorée des frigorigènes**

#### a) LEED

Le but est de réduire l'appauvrissement de la couche d'ozone et de soutenir la conformité au Protocole de Montréal. La façon d'y arriver est de ne pas utiliser de frigorigènes.

Le Protocole de Montréal a prévu l'élimination progressive des chlorofluorocarbures (CFC), car ils contiennent des molécules de chlore qui détruisaient la couche d'ozone au niveau de la stratosphère. Ainsi, les hydrochlorofluorocarbures (HCFC) ont été développés dans le but de remplacer les CFC (chlorofluorocarbures), car ils ont un potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone (PACO) plus faible que les CFC. Toutefois, les HCFC contiennent des molécules de chlore avec un potentiel de réchauffement planétaire (PRP) élevé. (Environnement et Changement climatique Canada, 2013)

Moyen préconisé : résultat visé.

#### b) Architecture bioclimatique

Tel que nous l'avons dit dans le cadre du thème « *Gestion fondamentale des frigorigènes / bioclimatique* », l'approche bioclimatique veut éviter l'usage de tous les frigorigènes, même ceux de substitution comme le HCFC, dans l'optique du principe de précaution. Le but principal de l'architecture bioclimatique est de ne pas utiliser de systèmes de climatisation.

Moyen préconisé : résultat visé.

Dans le cas présent – comparativement à la section « 2.1.3.3 Gestion fondamentale des frigorigènes » – les approches LEED et bioclimatique ont la même préoccupation, laquelle se traduit par l'atteinte d'un résultat : la non-utilisation des frigorigènes, même ceux de substitution.

#### **2.1.3.8 Contrôle et vérification**

Il s'agit d'établir une des deux procédures de contrôle et de vérification de la performance énergétique du bâtiment, décrites dans le protocole IPMVP (International Performance Measurement & Verification Protocol) Volume III.

Les deux choix sont :

- l'Option D : Calibrated Simulation (Savings Estimation Method 2);
- l'Option B : Energy Conservation Measure Isolation.

Moyen préconisé : procédure visée.

#### **b) Architecture bioclimatique**

L'approche bioclimatique n'a pas une procédure spécifique pour faire le contrôle et la vérification du bâtiment, mais selon Liébard (2006), elle peut utiliser des systèmes de contrôle tels que des calculs de la performance énergétique, l'utilisation de produits dont la mise en œuvre a déjà prouvé son niveau de performance (l'enveloppe du bâtiment avec matériaux de haute performance reconnue), l'utilisation des instruments de mesure de température et humidité relative, etc.

Moyen préconisé : procédure à suivre.

La différence entre les approches LEED et bioclimatique est que, pour l'architecture bioclimatique, il n'y a pas de protocole spécifique de vérification de la performance énergétique du bâtiment ; le type de vérification dans ce cas-là dépend du projet.

### **2.1.3.9 Électricité verte**

#### a) LEED

Il s'agit de l'utilisation d'électricité non polluante distribuée par réseau. Ce type d'électricité est appelée *verte* ; elle est soit générée à partir de sources solaire, éolienne et hydroélectrique à faibles impacts, soit à partir de la biomasse.

Moyen préconisé : résultat visé.

#### b) Architecture bioclimatique

L'utilisation de l'électricité verte va tout à fait dans le même sens que l'approche bioclimatique, c'est-à-dire qu'elle minimise le recours aux énergies non renouvelables, ou qu'elle fait le choix d'énergies renouvelables (Liébard, 2006, p. 95a).

Moyen préconisé : résultat visé.

Même si l'architecture bioclimatique est plus axée sur l'utilisation des énergies renouvelables disponibles sur le site et qu'elle utilise le moins possible les moyens techniques mécanisés – qui sont consommateurs d'énergie – elle va dans le même sens que la méthodologie LEED et les approches durables, notamment en ce qui concerne l'utilisation d'énergies vertes.

### **2.1.4 Matériaux et ressources**

#### a) LEED

Ce chapitre porte sur la gestion des matériaux de construction. Il s'agit de prolonger le cycle de vie du parc de bâtiments existants, d'utiliser des matériaux recyclés, d'utiliser des produits et des matériaux de construction – d'extraction et de fabrication régionales – d'utiliser des matériaux rapidement renouvelables et d'utiliser du bois certifié. Les matériaux rapidement renouvelables sont faits de plantes qui sont typiquement récoltées au maximum tous les dix ans, par exemple : le bambou, la laine, l'isolant de coton, l'agrofibre, le linoléum, les panneaux de paille de blé ou de carton-paille, et le liège.

La méthode LEED fait une distinction dans la *conservation des éléments de construction* et la *réutilisation des matériaux de construction* : soit ces éléments sont structuraux (structure, enveloppe et d'autres éléments), soit ils sont non structuraux (murs intérieurs, portes, revêtements de plancher et systèmes de plafonds).

De plus, LEED prescrit la réduction de la quantité de déchets produits par les occupants pendant la vie utile du bâtiment.

#### b) Architecture bioclimatique

Parce que la matière a une certaine capacité à accumuler la chaleur, le choix des matériaux permet, dans une certaine mesure, d'adapter le bâtiment aux variations du climat local (Liébard, 2006).

Les échanges de chaleur dans les bâtiments peuvent s'effectuer selon quatre voies : la conduction, la convection, le rayonnement, l'évaporation et la condensation. C'est la raison pour laquelle l'architecture bioclimatique, plutôt que de se concentrer sur les matériaux, elle se focalise sur les caractéristiques thermiques des matériaux, le niveau d'isolation, l'étanchéité, l'inertie thermique, le niveau d'émissivité et la réflectivité.

Selon Fernandez (2009), la recherche de matériaux sûrs, bon marché, à faible contenu énergétique et à faible impact environnemental, aboutit souvent à l'utilisation des matériaux locaux (bois, pierre, terre, etc.). L'architecte est donc souvent conduit à analyser les matériaux utilisés dans les bâtiments existants et leur mise en œuvre, même si c'est pour procéder à leur réinterprétation dans le nouveau contexte du projet considéré.

#### **2.1.4.1 Collecte et entreposage des matériaux recyclables**

##### a) LEED

Il s'agit d'établir les conditions nécessaires pour garantir la collecte, l'entreposage et le recyclage de déchets produits par les occupants, pendant la vie utile du bâtiment.

Moyen préconisé : résultat visé.

##### b) Architecture bioclimatique

Dans ce cas, la collecte et l'entreposage des matériaux recyclables concerne la gestion de ressources en termes de matières et d'énergie. Le but est d'économiser au maximum les matières et l'énergie, ainsi que de réduire au maximum la quantité de déchets produits. Ainsi, cela permet de réduire le coût de leur traitement, tout en produisant un minimum de déchets et de pollution.

Moyen préconisé : résultat visé.

On peut constater qu'à la différence de LEED (qui s'occupe de la gestion des matières après leur utilisation), le but de l'approche bioclimatique est de réduire les déchets depuis la production et ce, par la gestion des ressources en matière et en énergie (Liébard, 2006) (Fernandez et Lavigne, 2009).

#### **2.1.4.2 Réutilisation des bâtiments : conserver les murs, les planchers et les toits existants**

##### a) LEED

Il s'agit d'atteindre les pourcentages maximum de réutilisation et de conservation de la structure, ainsi que de l'enveloppe du bâtiment existant. Par exemple : conserver au moins 55 % de réutilisation de la structure du bâtiment, ceci est requis pour satisfaire aux exigences de ce crédit (% déterminé selon la superficie).

Moyen préconisé : performance visée.

##### b) Architecture bioclimatique

En bioclimatique, la *conservation des murs, planchers et toits existants*, ne consiste pas à créer un bâtiment en utilisant la structure d'un bâtiment existant comme le propose LEED, mais il s'agit d'utiliser des solutions bioclimatiques pour rénover un bâtiment existant. Des études sur ce sujet ont déjà été faites, par exemple, voir : « *Modélisation et positionnement de solutions bioclimatiques dans le bâtiment résidentiel existant* (Flory-Celini Caroline, 2008) ».

Selon Fernandez (2009), dans le cadre du développement durable, l'architecture bioclimatique doit « *Équilibrer la dynamique de mutation et le respect du patrimoine existant* » (Fernandez, 2009, p.40). C'est-à-dire, il doit y avoir une convergence des objectifs communs entre les préoccupations environnementales et les dynamiques

patrimoniales. Si un projet architectural ou urbain permet des travaux de restauration ou de réhabilitation du patrimoine historique, il doit s'inscrire dans la dynamique de mutation et le respect du patrimoine existant, tout en envisageant la revitalisation et la reconversion.

*« D'une part il serait vain de prétendre œuvrer pour un développement urbain durable en intégrant les considérations environnementales dans la seule création ex nihilo de quartiers, d'équipements et de logements, alors que cette dynamique favorise souvent l'étalement urbain et son cortège de réseaux coûteux, d'énergies volatilisées et de déplacements polluants. D'autre part, c'est dans la gestion du patrimoine que les questions environnementales peuvent réellement se poser, dans une recherche d'équilibre avec les questions économiques et socioculturelles, c'est-à-dire dans le cadre du développement durable » (Fernandez, 2009, p. 40).*

Moyen préconisé : résultat visé.

Les approches LEED et bioclimatique ont le même objectif : obtenir un équilibre entre la conservation du patrimoine et l'intégration des considérations environnementales. Leur différence réside dans le moyen préconisé : la performance dans le cas de LEED et le résultat visé pour l'architecture bioclimatique.

#### **2.1.4.3 Réutilisation des bâtiments : conserver les éléments intérieurs non structuraux**

##### a) LEED

Il s'agit d'atteindre des pourcentages minimales de réutilisation d'éléments intérieurs non structuraux (murs intérieurs, portes, revêtements de plancher, etc.) d'un bâtiment existant.

Moyen préconisé : performance visée.

##### b) Architecture bioclimatique

Tel que présenté dans le thème « *collecte et entreposage des matériaux recyclables en bioclimatique* », le but est d'économiser au maximum les matières et l'énergie, ainsi que de réduire au maximum la quantité de déchets produits. Ainsi, cela permet de réduire le coût de leur traitement, tout en produisant un minimum de déchets et de pollution.

Moyen préconisé : performance visée.

Les approches LEED et bioclimatique vont dans le même sens : réduire les déchets depuis la production et ce, par la gestion des ressources en matière et en énergie. La méthode LEED précise par ailleurs un pourcentage de réutilisation à atteindre.

#### **2.1.4.4 Gestion des déchets de construction**

##### **a) LEED**

Il s'agit d'atteindre des pourcentages maximum d'acheminement des déchets de construction et de démolition non dangereux. Par exemple rediriger les ressources recyclables récupérées vers le processus de fabrication et les matériaux réutilisables vers les sites appropriés.

Moyen préconisé : performance visée.

##### **b) Architecture bioclimatique**

En bioclimatique, selon (Liébard, 2006), la gestion des déchets de construction prend en compte une procédure qui commence avec un pré-tri des déchets, organisé par chaque entrepreneur participant à la construction. Des bennes sont mises à disposition sur le chantier, et les déchets sont ensuite dirigés vers des filières de valorisation.

Les déchets sont séparés au moins en quatre catégories :

- *Emballages (verre, métaux, bois non traité)*
- *Déchets inertes (gravois, céramiques béton, propres)*
- *Déchets industriels banals (PVC, isolant, plâtre)*
- *Déchets industriels spéciaux (silicones, huiles, peintures, amiante, ciment)*  
(Liébard, 2006, p. 206a).

Moyen préconisé : procédure à suivre.

La différence entre les approches LEED et bioclimatique réside dans le moyen préconisé : LEED indique une performance à atteindre (un pourcentage de déchets à recycler) et l'architecture bioclimatique précise des procédures à suivre pour la gestion des déchets. Les techniques peuvent toutefois être les mêmes pour atteindre le même objectif. C'est à dire, adopter un plan de gestion des déchets de construction afin de détourner les déchets de construction et de démolition de l'élimination dans des sites d'enfouissement et des installations d'incinération, de rediriger les

ressources recyclables récupérées vers le processus de fabrication, et de rediriger les matériaux réutilisables vers les sites appropriés.

#### **2.1.4.5 Réutilisation des matériaux**

##### a) LEED

Il s'agit de respecter les pourcentages minimaux de réutilisation de matériaux, de produits de construction, de démolition, ou d'acheter des matériaux récupérés. Plusieurs moyens pour y parvenir sont décrits dans le guide LEED. Par exemple : incorporer au projet des matériaux récupérés, remis à neuf ou réutilisés au moins 5 % ou 10 % du coût total des matériaux de construction.

Moyen préconisé : résultat visé et performance visée.

##### b) Architecture bioclimatique

La démarche bioclimatique propose une sélection de matériaux qui favorisent l'utilisation de matières renouvelables, recyclables ou recyclées.

Moyen préconisé : résultat visé.

Les approches LEED et bioclimatique ont le même objectif : la réutilisation de matériaux de construction. La différence est que la méthode LEED indique un seuil de référence.

#### **2.1.4.6 Contenu recyclé**

##### a) LEED

Il s'agit d'atteindre des pourcentages maximum de réutilisation de matériaux, de produits de construction, et de démolition contenant des matières recyclées, ou d'acheter des matériaux à contenu recyclé.

Moyen préconisé : performance visée.

##### b) Architecture bioclimatique

Tel que pour le thème précédent, « *réutilisation des matériaux* », la démarche bioclimatique propose une sélection de matériaux qui favorisent l'utilisation de matières renouvelables, recyclables ou recyclées.

Moyen préconisé : résultat visé.

Comme dans le cas du crédit précédent, les approches LEED et bioclimatique vont dans le même sens : l'utilisation de matériaux de construction contenant des matières recyclées. La méthode LEED propose toutefois une performance à atteindre (soit un pourcentage de réutilisation) et l'architecture bioclimatique un résultat (des matériaux).

#### **2.1.4.7 Matériaux régionaux**

##### a) LEED

Il s'agit d'atteindre les pourcentages maximum d'utilisation de matériaux qui ont été : extraits, recueillis, récupérés, traités et fabriqués localement. Les moyens pour y parvenir sont spécifiés dans le guide LEED.

Moyen préconisé : résultat visé et performance visée.

##### b) Architecture bioclimatique

Tel que le thème précédent, « *réutilisation des matériaux* », la démarche bioclimatique propose une sélection de matériaux qui favorisent l'utilisation de productions locales afin de réduire l'empreinte écologique générée par le transport des matières premières et des produits finis vers le chantier. D'autre part, l'architecture bioclimatique oriente la pratique vers l'utilisation de matériaux ainsi que le recours à des techniques ancestrales liées au lieu, elle implique donc aussi le savoir-faire qui y est affilié.

Moyen préconisé : résultat visé.

Comme dans le cas des deux crédits précédents, les méthodes LEED et bioclimatique partagent le même but : l'utilisation de matériaux locaux de construction. La différence est que la méthode LEED fixe un pourcentage de réutilisation des matériaux afin d'atteindre le but visé.

#### **2.1.4.8 Matériaux rapidement renouvelables**

##### a) LEED

Il s'agit d'atteindre des pourcentages maximum d'utilisation de matériaux rapidement renouvelables. Les moyens pour y parvenir sont spécifiés dans le guide LEED. Il s'agit des matériaux faits de plantes lesquelles sont typiquement récoltées tous les dix

ans (au maximum). On retrouve : le bambou, la laine, l'isolant de coton, l'agrofibre, le linoléum, les panneaux de paille de blé ou de carton-paille, et le liège.

Moyen préconisé : résultat visé.

#### b) Architecture bioclimatique

En bioclimatique, il n'y a pas de distinction entre les « *matériaux rapidement renouvelables* » et les « *matériaux renouvelables* ». L'architecture bioclimatique favorise l'utilisation de matériaux contenant des matières renouvelables, ainsi que des matériaux locaux adaptés aux conditions climatiques. Elle cherche aussi des matériaux sûrs, bon marché, à faible contenu énergétique et à faible impact environnemental. Cela aboutit souvent à l'utilisation de matériaux locaux qui peuvent être rapidement renouvelables.

Moyen préconisé : résultat visé.

Comme dans le cas des trois crédits précédents, les approches LEED et bioclimatique vont dans le même sens : l'utilisation de matériaux rapidement renouvelables ou matériaux renouvelables de construction. L'approche bioclimatique se différencie en ce qu'elle ne fait pas de distinction entre les « *matériaux rapidement renouvelables* » et les « *matériaux renouvelables* ».

#### **2.1.4.9 Bois certifié**

##### a) LEED

Il s'agit d'atteindre des pourcentages minimum d'utilisation de matériaux produits à partir de bois certifié FSC (Forest Stewardship Council), par exemple : utilisation de 50 % minimum, établi sur la base du coût, de matériaux et de produits à base de bois FSC. Les moyens pour y parvenir sont spécifiés dans le guide LEED.

Moyen préconisé : résultat visé.

##### b) Architecture bioclimatique

En bioclimatique, dans thème « *choix des procédés non pénalisants pour l'environnement* », dans les produits utilisés pour la structure, l'enveloppe ou les partitions du bâtiment, Liébard (2006) favorise l'utilisation du bois provenant des

forêts locales correctement gérées, par rapport aux autres choix de produits de construction comme l'acier, et le béton. L'avantage du bois est qu'il stocke le carbone, ce qui régule le cycle d'émissions de gaz à effet serre pendant la vie utile du bâtiment. Le fait que la provenance soit locale réduit l'empreinte écologique due au transport.

Moyen préconisé : résultat visé.

Alors que l'approche LEED recherche la certification FSC ainsi que le seuil de référence à atteindre – c'est-à-dire, un pourcentage établi par cette méthode – l'architecture bioclimatique cible des matériaux à utiliser.

## **2.1.5 Qualité des environnements intérieurs**

### ***2.1.5.1 Condition préalable 1 - Performance minimale en matière de QAI (Qualité de l'air intérieur).***

#### **a) LEED**

Il s'agit de satisfaire aux exigences minimales des sections 4 à 7 de la norme ASHRAE 62.1-2007 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.

La ventilation, selon le Standard 62.1, consiste en l'approvisionnement en air ou son contraire dans le but de contrôler les niveaux de pollution de l'air, l'humidité et la température d'un lieu. Elle prend en compte la ventilation technique, les systèmes de HVAC (*Heating, Ventilation and Air-Conditioning*) et la ventilation naturelle. De plus, ces systèmes doivent garantir un contrôle des contaminants (solides, liquides ou gaz) dans l'air, et déterminer le taux de ventilation. À titre d'exemple on retrouve, le nombre de renouvellements d'air par heure ( $\text{pi}^3/\text{min}$ )x60 ; la sélection des filtres du système de HVAC ; ou des autres méthodes de réduction de contaminants.

Moyen préconisé : résultat visé.

#### **b) Architecture bioclimatique**

En bioclimatique, le thème « *performance minimale en matière de QAI* » se retrouve sous différents chapitres. Il concerne le confort et la santé. Par exemple, Liébard (2006) les a organisés de la manière qui suit :

***-Habitat et les paramètres du confort :***

*Le confort thermique*

*La température*

*L'hygrométrie*

*La vitesse de l'air*

*Le confort d'hiver*

*Le confort d'été*

*Le confort respiratoire*

*La composition de l'air et les besoins physiologiques*

*Les sources de pollution extérieure et intérieure*

*Le gaz carbonique comme indice de pollution intérieur*

*Le renouvellement de l'air*

*Les déperditions par renouvellement de l'air*

*La ventilation*

*Le renouvellement de l'air et la ventilation naturelle*

*La récupération d'énergie sur l'air vicié extrait*

***-Construire en climats chauds / Le confort :***

*L'approche du confort thermique par ventilation naturelle*

*Le confort physiologique et psychosensoriel*

*Le confort dans les bâtiments*

*La ventilation naturelle*

*La climatisation complémentaire*

***-Construire avec le développement durable / Confort sain :***

*Confort hygrothermique*

*Confort olfactif*

***-Hygiène et santé :***

*Gestion des risques de pollution de l'air par les équipements*

*Gestion des risques de pollution de l'air par le radon*

*Gestion des risques d'air neuf pollué*

*Gestion de renouvellement d'air*

Moyen préconisé : résultat visé.

Les approches LEED et bioclimatique vont dans le même sens : améliorer la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments, contribuant ainsi au confort et à la santé des occupants. La différence est que les objectifs à atteindre pour la méthode LEED réfèrent à une norme alors que pour l'approche bioclimatique, la qualité de l'air est basée sur l'analyse du site et du projet ainsi que sur l'utilisation des forces de la nature.

### **2.1.5.2 Contrôle de la fumée de tabac ambiante (FTA)**

#### a) LEED

Il s'agit de créer les conditions nécessaires pour réduire au maximum l'exposition des occupants à la fumée de tabac ambiante. Des stratégies concrètes doivent être mises en place pour y parvenir. Dans certains cas, comme les immeubles résidentiels à logements multiples, les hôtels, les motels et les dortoirs ; la norme ANSI/ASTM-E 779-03 (Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate By Fan Pressurization), doit être respectée.

Moyen préconisé : résultat visé, procédure à suivre.

#### b) Architecture bioclimatique

En bioclimatique, la fumée de tabac est traitée par Liébard (2006), dans le chapitre « *confort respiratoire* ». La fumée de tabac est considérée comme une source de production de monoxyde de carbone (CO). Une cigarette fumée émet 50mg de CO. Les moyens pour garantir un meilleur confort respiratoire et un confort sain, sont la ventilation et la réduction des pollutions à la source.

Moyen préconisé : résultat visé.

Les approches LEED et bioclimatique vont dans le même sens : prévenir ou réduire au minimum l'exposition des occupants à la fumée du tabac. Les techniques pour atteindre cet objectif peuvent être les mêmes ; la différence est que les objectifs à atteindre pour la méthode LEED réfèrent à une norme alors que l'architecture bioclimatique recommande des moyens de réduire la fumée du tabac.

### **2.1.5.3 Contrôle de l'apport d'air extérieur**

#### a) LEED

Il s'agit ici d'installer des systèmes de contrôle permanents permettant de mesurer les concentrations de dioxyde de carbone et le débit d'air dans le bâtiment. Le contrôle se fait pendant la vie utile du bâtiment avec l'aide de systèmes mécaniques pour réguler le débit de l'air.

Moyen préconisé : résultat visé.

#### b) Architecture bioclimatique

En bioclimatique le contrôle se fait surtout au moment de la conception. Il est basé sur des conditions de ventilation naturelle. Dans le livre de Givoni (1978), se trouve une description détaillée des méthodes, critères d'évaluation et des conditions de ventilation. Par exemple, on retrouve l'utilisation de maquettes dans les études de ventilation comme système de contrôle à l'aval du projet réel. Givoni propose aussi des critères d'évaluation des conditions de ventilation et des exigences de ventilation en relation avec le climat.

Moyen préconisé : résultat visé.

La différence entre les approches LEED et bioclimatique concerne les solutions envisagées. LEED propose l'utilisation de systèmes de contrôle électromécaniques et l'approche bioclimatique l'utilisation des stratégies d'évaluation de la ventilation en aval de la construction.

#### **2.1.5.4 Augmentation de la ventilation**

##### **a) LEED**

Il s'agit, soit d'augmenter le taux de renouvellement d'air par des systèmes mécaniques ou naturels, de manière à ce qu'ils soient supérieurs d'au moins 30% au taux minimaux requis par la norme ASHRAE 62.1-2007; soit, de respecter et de démontrer que la conception des systèmes de ventilation naturelle respecte les recommandations contenues dans les manuels de la CIBSE (*Chartered Institution of Building Services Engineers*).

Moyen préconisé : performance visée et procédure à suivre.

##### **b) Architecture bioclimatique**

Les manières d'utiliser la ventilation naturelle en bioclimatique sont très bien expliquées par les quatre auteurs étudiés.

À titre d'exemple : Lièbard (2006) aborde le sujet de la ventilation naturelle autour des thèmes suivants :

##### **-Le confort**

*L'approche du confort thermique par ventilation naturelle*

*La ventilation naturelle*

##### **-L'insertion dans le site**

*Les caractéristiques du vent*  
*La ventilation traversante*  
**-Le traitement du bâtiment**  
*Les auvents*  
*Les percées*  
*La ventilation du toit*  
*Les écopés*  
*Les tours à vent*

Moyen préconisé : résultat visé.

La différence entre les approches LEED et bioclimatique concerne le seuil de référence à atteindre et la manière d'aborder les solutions. LEED propose comme référence, un pourcentage établi par une norme, ainsi que l'utilisation de systèmes mécaniques. L'architecture bioclimatique n'établit pas de référence, de plus, elle cible l'augmentation de la ventilation, par des moyens comme l'analyse du site, et techniques architectoniques à l'égard de l'utilisation des forces de la nature.

#### **2.1.5.5 Plan de gestion de la QAI (Qualité de l'air intérieur) : pendant la construction**

##### a) LEED

Il s'agit d'élaborer et de mettre en œuvre un plan de gestion de la qualité de l'air intérieur pendant la construction.

À titre d'exemple LEED propose : 1) protéger le système de CVCA des sources polluantes pendant la construction. 2) utiliser les appareils de traitement de l'air temporaires pour le chauffage ou le refroidissement pendant la construction. 3) prévoir l'installation, à la fin du chantier, des matériaux absorbants, tels que les isolants, les tapis, de façon à éviter les contaminer.

Moyen préconisé : procédure à suivre.

##### b) Architecture bioclimatique

Liébard (2006) fait référence à différentes solutions et moyens afin de mettre en place un chantier moins nocif pour l'environnement et pour la santé. Il apparaît dans le chapitre sur la « *réduction de la pollution des sols, des eaux et de l'air sur le chantier* ». À titre d'exemple Liébard (2006) propose : « *interdiction de brûler des déchets sur chantier ; choisir des produits et techniques moins nocifs pour l'environnement et la santé des ouvriers tels que colles à base de résines acryliques*

*en dispersion et sans solvant organique, les peintures à phase aqueuse... » (Liébard, 2006, p. 208).*

Moyen préconisé : résultat visé.

La différence entre les approches LEED et bioclimatique concerne les solutions envisagées. LEED propose de réduire les problèmes de qualité de l'air intérieur résultant des travaux de construction pouvant être nuisibles pendant et après le chantier. L'approche bioclimatique favorise davantage le confort et le bien-être des ouvriers pendant la construction.

#### **2.1.5.6 Plan de gestion de la QAI (Qualité de l'air intérieur) : avant l'occupation**

##### a) LEED

Il s'agit d'élaborer et de mettre en œuvre un plan de gestion de la qualité de l'air intérieur après le nettoyage complet et avant l'occupation du bâtiment. LEED propose, soit un nettoyage du bâtiment avec des critères spécifiques et des objectifs à atteindre décrits dans la guide LEED,

*par exemple : l'installation de nouveaux matériaux filtrants et nettoyage du bâtiment en fournissant un volume d'air total de 4 300 mètres cubes d'air extérieur par mètre carré de superficie de plancher à une température intérieure d'au moins 16 °C et un taux d'humidité relative n'excédant pas 60 %.* (U.S. Green building Council, 2014, p.84) ;

soit de suivre des protocoles d'analyse conformes au « *Compendium of Methods for the Determination of Air Pollutants in Indoor Air* » de l'Environmental Protection Agency (EPA) aux États-Unis.

Moyen préconisé : résultat visé avec l'option de procédures à suivre.

##### b) Architecture bioclimatique

De manière générale, Liébard (2006) fait référence aux concentrations des polluants à l'intérieur du bâtiment dans le chapitre « *gestion des risques de pollution de l'air par produits de construction aux composés organiques volatils (COV)* ». Il propose comme solution, afin de diminuer au maximum ces concentrations des polluants, de prévoir une ventilation forcée pendant une dizaine de jours - au moment de la réception ou avant la mise à disposition des lieux.

Moyen préconisé : résultat visé.

Les approches LEED et bioclimatique ont la même préoccupation : réduire les problèmes de qualité de l'air intérieur résultant des travaux de construction. Elles se différencient en ce que l'approche LEED utilise des protocoles et des critères spécifiques pour atteindre ses objectifs alors que la solution de l'approche bioclimatique reste très générale.

#### **2.1.5.7 Matériaux à faibles émissions : adhésifs et produits d'étanchéité**

##### a) LEED

Il s'agit de limiter la quantité de contaminants de l'air intérieur. LEED propose une liste de COV (composés organiques volatils) qui doit satisfaire aux exigences de la norme : *South Coast Air Quality Management District (SCAQMD) Rule #1168*. On retrouve par exemple : les adhésifs pour tapis d'intérieur, avec une limite de COV [g/L moins l'eau] de 50.

Moyen préconisé : résultat visé et procédure à suivre.

##### b) Architecture bioclimatique

De manière générale, Liébard (2006) fait référence aux composés organiques volatils (COV) dans le chapitre « *gestion des risques de pollution de l'air par produits de construction aux composés organiques volatils (COV)* ». Il soulève le problème de l'insuffisance d'information concernant la composition exacte des produits utilisés dans le secteur de la construction. Il propose comme solution, afin de diminuer au maximum les concentrations de polluants à l'intérieur du bâtiment, de prévoir une ventilation forcée pendant une dizaine de jours.

Moyen préconisé : résultat visé.

La différence entre les approches LEED et bioclimatique concerne les solutions envisagées. LEED propose une liste de matériaux à faible teneur en COV tout en se référant à une norme. L'approche bioclimatique propose d'éviter les produits étiquetés dans sa composition à teneur en COV, et comme moyen préventif, une ventilation forcée.

### **2.1.5.8 Matériaux à faibles émissions : peinture et enduits**

#### a) LEED

Il s'agit de limiter la quantité de contaminants de l'air intérieur. LEED propose de suivre les procédures suivantes :

- La norme *Green Seal GS-11, Paints, première édition, 20 mai 1993*, pour les peintures et enduits architecturaux appliqués sur les murs et les plafonds intérieurs.
- La norme *Green Seal GC-03, Anti-Corrosive Paints, deuxième édition, 7 janvier 1997*, pour les peintures anticorrosives et anti-rouille appliquées sur des substrats intérieurs en métal ferreux.
- La norme *South Coast Air Quality Management District (SCAQMD) Rule 1113, Architectural Coatings, en vigueur le 1er janvier 2004*, pour les revêtements de finition du bois qui sont transparents, les revêtements de sol, les teintures, les apprêts et les vernis.

Par exemple les peintures anticorrosives et anti-rouille appliquées sur des substrats intérieurs en métal ferreux ne doivent pas excéder la limite du contenu en COV de 250 g/L.

Moyen préconisé : résultat visé et procédure à suivre.

#### b) Architecture bioclimatique

Liébard (2006) fait référence aux produits de substitution des peintures et de finition du bois, par exemple, il réfère aux traitements du bois au sel de bore (fongicide et insecticide), aux solvants à base d'agrumes, aux peintures à l'eau ou à l'huile, aux résines naturelles, aux laques, aux colles sans solvant ou encore des produits d'entretien à base d'huiles essentielles de plantes.

Moyen préconisé : résultat visé.

La différence entre les deux méthodes réside dans l'approche. La méthode LEED se réfère à des normes afin de réduire la quantité de contaminants liés aux peintures et enduits et l'architecture bioclimatique se base principalement sur la substitution des peintures et matériaux de finition par des produits naturels.

### **2.1.5.9 Matériaux à faibles émissions : revêtements de sol**

#### a) LEED

Il s'agit de limiter la quantité de contaminants de l'air intérieur. Plusieurs stratégies sont décrites ainsi que les moyens d'y parvenir. LEED propose les procédures suivantes :

- Les essais des matériaux des revêtements de sol doivent satisfaire la *California Department of Public Health Standard Practice for The Testing Of Volatile Organic Emissions From Various Sources Using Small-Scale Environmental Chambers*, incluant l'addenda de 2004 ;
- Les revêtements de sol doivent être certifiés par le programme *Green Label Plus* ou le programme *FloorScore* ;
- Les revêtements de finition, tels que les produits d'étanchéité, les teintures et les finis, doivent satisfaire aux exigences de la *Rule 1113, Architectural Coatings du South Coast Air Quality Management District (SCAQMD)* en vigueur depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2004 ;
- Les adhésifs et les coulis pour carreaux doivent satisfaire à la *Rule 1168 de la South Coast Air Quality Management District (SCAQMD)*.

À titre d'exemple, selon la *Rule 1113 SCAQMD*, les revêtements de finition transparente des planchers en bois, ne doivent pas excéder la limite des concentrations de COV de : vernis 350 g/L; vernis-laque 550 g/L.

Moyen préconisé : résultat visé et procédure à suivre.

#### b) Architecture bioclimatique

Comme dans le cas des « *matériaux à faibles émissions : adhésifs et produits d'étanchéité* », Liébard (2006), fait référence de manière générale, aux composés organiques volatils (COV) dans le chapitre « *gestion des risques de pollution de l'air par produits de construction aux composés organiques volatils (COV)* ». Afin de diminuer aux maximum les concentrations des polluants à l'intérieur du bâtiment, il propose comme solution, de prévoir une ventilation forcée pendant une dizaine de jours.

Moyen préconisé : résultat visé.

L'approche bioclimatique se différencie de la méthode LEED, car elle n'a pas de procédures à respecter – comme c'est le cas de la méthode LEED –, mais elle donne une solution : la ventilation forcée.

#### **2.1.5.10 Matériaux à faibles émissions : produits de bois composite et produits à base de fibres agricoles**

##### a) LEED

De la même façon que les autres crédits sur les matériaux à faibles émissions, il s'agit ici de limiter la quantité de contaminants de l'air intérieur, et dans ce cas précis, d'éviter les résines d'urée et les formaldéhydes. Plusieurs stratégies sont décrites dans le guide LEED, ainsi que les moyens pour y parvenir.

On retrouve par exemple : les produits de bois composite et les produits à base de fibres agricoles comme les panneaux de particules, les panneaux MDF (panneau de fibres à densité moyenne), le contreplaqué, les panneaux de paille de blé, les panneaux de carton-paille, les substrats de panneaux et les âmes de portes, ne doivent contenir aucune résine d'urée formaldéhyde ajoutée.

Moyen préconisé : résultat visé.

##### b) Architecture bioclimatique

Afin de diminuer aux maximum les concentrations des polluants à l'intérieur du bâtiment, et en ce qui concerne les émissions gazeuses de formaldéhydes, Liébard (2006) recommande d'utiliser des panneaux contenant moins de 10mg de formaldéhydes (HCHO) par 10g de panneaux sec, ou des panneaux avec le label E1 de la norme Norme EPF (European Panel Federation) au lieu des panneaux de particules ou MDF.

Moyen préconisé : résultat visé.

Les approches LEED et bioclimatique vont dans le même sens : réduire la quantité de produits contenant des contaminants de l'air qui sont odorants, irritants et/ou nocifs pour les occupants. LEED se différencie en ce qu'elle propose comme solution de ne pas utiliser des matériaux contenant des formaldéhydes, alors que l'approche

bioclimatique propose de ne pas dépasser certaines quantités de formaldéhydes dans les matériaux et/ou d'utiliser produits labélisés.

#### **2.1.5.11 Contrôle des sources intérieures d'émissions chimiques et des polluants**

##### a) LEED

Le but est de réduire le plus possible l'entrée des particules et des polluants potentiellement dangereux par des systèmes architecturaux et mécaniques comme des grilles gratte-pieds et des systèmes de filtration de grande efficacité dans le système de ventilation mécanique. LEED propose une liste complète des solutions et moyens à apporter afin d'y parvenir.

À titre d'exemple, on en retrouve dans les endroits comme les garages où des gaz dangereux peuvent être présents. Il s'agit d'évacuer l'air vicié à un taux d'au moins 2,5 L/s/m<sup>2</sup> pour créer une pression négative par rapport aux espaces contigus. La différence de pression avec les espaces environnants doit être d'au moins 5 Pascals (Pa), les portes de la pièce doivent être fermées et posséder un système de fermeture automatique.

Moyen préconisé : résultat visé.

##### b) Architecture bioclimatique

En bioclimatique ce thème n'est pas pris en compte. De plus, comme la bioclimatique priorise la ventilation naturelle plutôt que mécanique, il est plus difficile d'atteindre ce résultat.

#### **2.1.5.12 Contrôle des systèmes par les occupants : éclairage**

##### a) LEED

Il s'agit de l'installation des dispositifs de contrôle (commandes individuelles des espaces) d'éclairage pour que les occupants puissent faire des ajustements. LEED exige que les dispositifs de contrôle soient conformes aux prescriptions de la section 9.4.1.2 (*Lighting*) de la norme *ASHRAE/IESNA 90.1-2007*, pour permettre des ajustements qui conviennent aux besoins et aux préférences des groupes de personnes.

Par exemple, il s'agit de prévoir l'utilisation de commandes d'éclairage, de même qu'un éclairage direct pour les postes de travail.

Moyen préconisé : résultat visé.

b) Architecture bioclimatique

En bioclimatique, ce thème est un aspect traité autant du point de vue de l'éclairage naturel qu'artificiel. Dans le chapitre « *lumière artificielle comme complément à la lumière naturelle* », Liébard (2006) divise en deux le thème de « *Contrôle des systèmes par les occupants : éclairage* » :

- *Zonage de l'éclairage artificiel* : il s'agit de la répartition de l'éclairage artificiel en fonction du positionnement des fenêtres ou des sources d'éclairage naturel. Par exemple, la commande d'éclairage permet la mise en service distincte des luminaires situés dans les zones plus éloignées de la fenêtre;

- *Régulation de l'éclairage artificiel* : le contrôle des lampes peut se faire à partir de différents modes de gestion. L'on peut retrouver la gestion horaire (horloges et minuteries), la gestion en fonction de la présence (détecteur de présence), la gestion en fonction des disponibilités de l'éclairage naturel (avec cellules d'éclairement).

Moyen préconisé : résultat visé.

Les approches LEED et bioclimatique ont le même objectif : permettre aux occupants de contrôler les systèmes d'éclairage. La différence entre les deux approches est que l'architecture bioclimatique agit afin de créer une synergie entre l'éclairage naturel et l'éclairage artificiel, alors que la méthode LEED, elle, se contente de proposer un système de contrôle de l'éclairage artificiel.

**2.1.5.13 Contrôle des systèmes par les occupants : confort thermique**

a) LEED

Il s'agit de l'installation des dispositifs de contrôle (commandes individuelles des espaces) du confort thermique pour que les occupants puissent faire des ajustements. LEED exige que les dispositifs de contrôle soient conformes aux prescriptions des normes *ASHRAE 62.1-2007-Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, paragraphe 5.1 Natural Ventilation* et *ASHRAE 55-2004 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*.

On retrouve par exemple des ajustements individuels du contrôle des panneaux radiants, à l'aide de commandes et thermostats séparés.

Moyen préconisé : résultat visé.

#### b) Architecture bioclimatique

Les quatre auteurs consultés proposent différentes stratégies et dispositifs afin d'obtenir un confort thermique. Il ne s'agit pas de systèmes mécaniques ni de systèmes automatisés comme dans le cas de LEED, mais plutôt de critères de confort pour construire des espaces répondants aux besoins des occupants. De plus les auteurs proposent de concevoir systèmes de contrôle, comme des systèmes d'ouverture facilitant l'usage (cloisons coulissantes, pare-soleil).

Moyen préconisé : résultat visé.

Les approches LEED et bioclimatique ont le même objectif : l'implantation de systèmes de contrôle pour le confort thermique des occupants. La différence entre les deux approches est que la méthode LEED propose des systèmes de contrôle mécaniques conformes à une norme, alors que l'architecture bioclimatique mise sur des systèmes de réglage manuels et des solutions architecturales.

### **2.1.5.14 Confort thermique : conception**

#### a) LEED

Il s'agit de concevoir des systèmes de CVCA et l'enveloppe du bâtiment conformément aux exigences de la norme *ASHRAE 55-2204, Thermal Comfort Conditions for Human Occupancy*.

Moyen préconisé : performance visée et procédures à suivre.

#### b) Architecture bioclimatique

On trouve dans les quatre ouvrages consultés des informations concernant différentes stratégies et dispositifs afin d'obtenir un confort thermique, mais à la différence de LEED qui se concentre sur les systèmes de CVCA, en bioclimatique les dispositifs sont plutôt des systèmes qui fonctionnent avec les forces de la nature, telles que le vent, le soleil, l'eau.

À titre d'exemple, le chapitre « *La conception bioclimatique* », dans Liébard (2006), décrit plusieurs stratégies et dispositifs de conception thermique. On y retrouve :

*Le coefficient de forme, les déperditions thermiques et l'isolement, les ponts thermiques, les apports internes, les apports énergétiques solaires, le facteur solaire, la transmission lumineuse, la déperdition thermique des vitrages, l'inertie thermique et stockage d'énergie, le stockage thermique, la régulation et la programmation du chauffage, la climatisation* (Liébard, 2006, pp. 83-94).

Moyen préconisé : résultat visé.

La différence entre les deux approches est que pour l'approche LEED il s'agit de concevoir les systèmes mécaniques de CVCA et l'enveloppe du bâtiment conformément aux exigences d'une norme, alors que l'approche bioclimatique, elle, propose des systèmes et des dispositifs architectoniques fonctionnant avec les forces de la nature du lieu, tels que le vent, le soleil et l'eau.

#### **2.1.5.15 Confort thermique : vérification**

##### a) LEED

Il s'agit de faire une évaluation de la satisfaction par rapport à la performance thermique de chaque zone du bâtiment. Cette évaluation doit satisfaire les exigences de la norme *ASHRAE 55-2204, Thermal Comfort Conditions for Human Occupancy*.

Moyen préconisé : performance visée, procédure à suivre.

##### b) Architecture bioclimatique

L'architecture bioclimatique se base dans la vérification par le calcul; à titre d'exemple, on retrouve les indices thermiques à respecter.

Moyen préconisé : performance visée

La différence entre les deux approches est que l'approche LEED se base sur une norme pour faire l'évaluation de la performance thermique du bâtiment, alors que l'architecture bioclimatique, elle, se base sur les calculs et les indices thermiques.

### **2.1.5.16 Lumière naturelle et vues : lumière naturelle**

#### a) LEED

Il s'agit de concevoir le bâtiment de façon à maximiser l'éclairage naturel à l'intérieur. Plusieurs stratégies sont décrites dans le guide LEED de façon détaillée afin d'y parvenir.

On trouve par exemple : *Démontrer, à l'aide de simulations par ordinateur, qu'au moins 75 % de tous les espaces régulièrement occupés offrent des niveaux d'éclairage naturel entre 250 lux et 5 000 lux sous un ciel clair à 9 h et à 15 h, le 21 mars ou le 21 septembre* (U.S. Green building Council, 2014, p.101).

Moyen préconisé : résultat visé.

#### b) Architecture bioclimatique

Dans le livre de Fernandez (2009), chapitre 5 « *Dispositifs architecturaux et techniques* » se trouve le sujet : *ouvertures, entrées solaires et éclairage naturel*, présente plusieurs techniques de conception de l'éclairage naturel des espaces. De plus, Liébard (2006) consacre le chapitre « *construire avec l'éclairage naturel et artificiel* », dans lequel on retrouve les thèmes suivants : *notions de base, perception visuelle et confort visuel, lumière naturelle, ce qui influence l'éclairage naturel, moyens techniques et architecturaux, techniques innovantes, le photovoltaïque une technique au service de l'éclairage naturel et artificiel* (Liébard, 2006, pp. 244-292).

Moyen préconisé : résultat visé.

Les approches LEED et bioclimatique vont dans le même sens : introduire de la lumière naturelle dans le bâtiment. Les stratégies et les techniques sont similaires.

### **2.1.5.17 Lumière naturelle et vues : vues**

#### a) LEED

Il s'agit de concevoir un bâtiment de façon à maximiser les vues sur l'extérieur pour 90 % de tous les espaces régulièrement occupés.

Moyen préconisé : performance visée.

## b) Architecture bioclimatique

Pour l'architecture bioclimatique, la relation visuelle satisfaisante avec l'extérieur n'est pas un aspect purement quantitatif, des phénomènes qualitatifs, ou une qualité environnementale ; mais plutôt des modes de perception des ambiances selon l'expérience sensible des personnes qu'y habitent. Liébard (2006) décrit une relation visuelle satisfaisante avec l'extérieur de la manière suivante : « *Il est notamment question de sentiment, d'émotions ressenties par les usagers autour des formes spatiales et temporelles, mais aussi des connaissances subjectives sur des valeurs morales dont tiennent compte les habitants* » (Liébard, 2006, p. 230).

C'est un aspect sensible, traité autant du point de vue de l'éclairage naturel, des vues vers l'extérieur, que comme un système thermique (effet de serre). Comme nous l'avons déjà mentionné dans le thème *lumière naturelle*, plusieurs stratégies sont décrites dans les différents ouvrages.

Moyen préconisé : résultat visé.

Le point de vue des deux approches sur les vues sur l'extérieur sont différents. Pour la méthode LEED, il s'agit d'une performance à atteindre alors que pour l'approche bioclimatique, il s'agit de créer des sensations, des perceptions et des expériences pour les usagers.

### **2.1.6 Innovation et processus de design**

#### **2.1.6.1 Innovation en design**

##### a) LEED

Il s'agit de réaliser des performances exceptionnelles, au-delà des exigences décrites dans tous les crédits LEED.

Moyen préconisé : performance visée.

##### b) Architecture bioclimatique

Il s'agit de créer de nouvelles techniques ou technologies qui vont dans le même sens que l'architecture bioclimatique.

Par exemple, Liébard (2006) décrit dans le chapitre « *construire avec l'éclairage naturel et artificiel* » des techniques innovantes, telles que : *les conduits solaires, les stores réfléchissants, les systèmes directionnels, les vitrages dynamiques* (Liébard, 2006, p. 285- 288).

Moyen préconisé : résultat visé.

La différence, entre les deux approches, est que la méthode LEED se base sur ses propres standards de mesure pour qualifier les performances exceptionnelles. L'architecture bioclimatique, elle, se base sur la création ou l'utilisation de nouvelles techniques.

#### **2.2.6.2 Professionnel agréé LEED**

##### **a) LEED**

Il s'agit d'intégrer et de sensibiliser les membres de l'équipe du projet à l'approche de conception LEED en vue de simplifier le processus de la demande de certification en vue d'une future évaluation et de certification elle-même. Pour parvenir à l'obtention de ce crédit, au moins un des participants de l'équipe du projet doit être un professionnel agréé (PA) LEED.

Moyen préconisé : procédure à suivre, résultat visé.

##### **b) Architecture bioclimatique**

L'architecture bioclimatique base ses choix, dans sa grande majorité, sur le jugement et les connaissances du concepteur. À ce propos, Fernandez (2009) dit que : « *Sans être très savantes, ces connaissances doivent être suffisantes pour que l'architecte respecte le milieu physique naturel dans lequel il agit en utilisant au mieux ses lois, comme il doit connaître celles du milieu humain afin de le servir* » (Fernandez, 2009, p.45).

Moyen préconisé : procédure à suivre.

Les approches LEED et bioclimatique vont dans le même sens : l'intégration d'un professionnel de l'architecture avec les connaissances suffisantes pour concevoir – tout en respectant au maximum l'environnement. La différence est que pour

l'approche LEED, le but principal est de simplifier le processus de demande et de certification et l'approche bioclimatique travaille afin de concevoir dans la meilleure intégration entre le milieu physique et humain.

### **2.1.7 Priorité régionale**

#### **2.1.7.1 Bâtiment durable**

##### a) LEED

Il s'agit d'utiliser des produits qui garantissent la durabilité ou empêchent la détérioration prématurée de la construction et de ses composantes tout au long du cycle de vie du bâtiment. Ce crédit doit satisfaire les exigences de la norme *CSA S478-95 (R2007) – Guideline on Durability in Buildings*.

Moyen préconisé : résultat visé et procédures à suivre.

##### b) Architecture bioclimatique

L'adaptabilité et la durabilité du bâtiment en bioclimatique, se traduisent par une conception du bâtiment qui prévoit d'allonger son cycle de vie. Pour ce faire, la conception doit prévoir l'évolution des besoins des usagers actuels et futurs, et le bâtiment doit être flexible afin de pouvoir être recyclé.

Moyen préconisé : résultat visé.

Les approches LEED et bioclimatique vont dans le même sens : la durabilité, dans le temps, du bâtiment. La différence est que l'approche bioclimatique introduit le concept de flexibilité afin d'allonger le cycle de vie du bâtiment, avec un possible changement d'usage et l'approche LEED se concentre sur la qualité du bâtiment, afin que celui-ci réponde au cycle de vie pour lequel il a été conçu.

#### **2.1.7.2 Priorité régionale**

##### a) LEED

Il s'agit de récompenser la prise en compte des initiatives qui traitent des priorités environnementales de la région géographique.

Moyen préconisé : performance visée.

##### b) Architecture bioclimatique

La priorité régionale en architecture bioclimatique concerne la valorisation des ressources locales comme : main d'œuvre, savoir-faire, matériaux de construction. Elle implique la connaissance approfondie du contexte dans lequel est conçu le bâtiment, par exemple les aspects qualitatifs et le coût de la construction. Au contraire le recours à des produits industriels importés ne valorisent pas le contexte socioéconomique du lieu de construction, impliquant la réduction de la valeur ajoutée locale et une déqualification des métiers.

Moyen préconisé : performance visée.

Pour LEED, il s'agit de déterminer dans la liste de crédits ceux qui priorisent des initiatives environnementales en fonction de l'emplacement du projet. Le projet doit obtenir ce crédit de base et ensuite le proposer comme crédit de priorité régionale. Pour l'architecture bioclimatique, il s'agit de la valorisation des ressources locales.

## **2.2 Conclusions**

Nous avons comparé, dans ce chapitre, la méthode de certification durable LEED et l'architecture bioclimatique à partir de la soixantaine de thèmes proposés par la méthode LEED pour assurer la prise en compte des matières, de l'énergie, du confort et de la santé dans les projets de construction. Nous avons centré cette comparaison sur leur approche et la façon de traiter ces thèmes.

Nous abordons cette partie dédiée aux premières observations par une comparaison entre les approches prônées pour l'évaluation des projets. Par la suite, nous présentons des réflexions concernant le pointage donné au projet, les résultats et performances attendus. Notre objectif n'est pas de conclure qu'une approche est meilleure que l'autre, mais de faire ressortir leurs différences.

### **2.3.1 Premières observations**

Avec cette comparaison, nous avons pu observer que l'architecture bioclimatique est sensible à la plupart des thèmes traités dans la méthode LEED. 97% du total des sujets ont été référés dans les ouvrages des quatre auteurs bioclimatiques choisis. Cette première observation nous permet de dire que les deux approches ont les mêmes objectifs quant à la très grande majorité des thèmes proposés par la méthode LEED.

Les deux approches sont néanmoins dissemblables à bien des égards. Une différence générale réside dans la manière d'évaluer la façon dont les projets prennent en compte

l'énergie, le climat, les ressources. À cet égard, nous avons fait un tableau-synthèse présenté sur la page suivante (Tableau 1 : Synthèse des résultats de l'analyse comparative LEED – Architecture bioclimatique quant aux moyens de mise en œuvre préconisés d'évaluation des projets) qui indique si l'évaluation des projets porte sur les résultats à atteindre, la performance visée ou les procédures à suivre.

Tableau 1 : Synthèse des résultats de l'analyse comparative LEED – Architecture bioclimatique quant aux moyens de mise en œuvre préconisés d'évaluation des projets.

THÈMES	LEED			BIOCLIMATIQUE			
	PERFORMANCE VISÉE	RÉSULTAT VISÉ	PROCÉDURE À SUIVRE	PERFORMANCE VISÉE	RÉSULTAT VISÉ	PROCÉDURE À SUIVRE	
<b>2.1.1 AMÉNAGEMENT ÉCOLOGIQUE DES SITES</b>							
2.1.1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.1.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.1.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.1.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.1.5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
2.1.1.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.1.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.1.8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.1.9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.1.10	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.1.11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.1.12	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.1.13	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.1.14	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.1.15	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.1.16	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>13</b>	<b>4</b>	<b>23</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>3</b>
<b>2.1.2 GESTION EFFICACE DE L'EAU</b>							
2.1.2.1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.2.2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.2.3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.2.4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>0</b>
<b>2.1.3 ENERGIE ET ATMOSPHÈRE</b>							
2.1.3.1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2.1.3.2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2.1.3.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.3.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2.1.3.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.3.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2.1.3.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2.1.3.8	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2.1.3.9	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
<b>2.1.4 MATÉRIAUX ET RESSOURCES</b>							
2.1.4.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.4.2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.4.3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.4.4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2.1.4.5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.4.6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.4.7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.4.8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.4.9	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>11</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>1</b>
<b>2.1.5 QUALITÉ DES ENVIRONNEMENTS INTÉRIEURS</b>							
2.1.5.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.5.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.5.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.5.4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.5.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.5.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.5.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.5.8	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.5.9	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.5.10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.5.11	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.5.12	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.5.13	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.5.14	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.5.15	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
2.1.5.16	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.5.17	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>12</b>	<b>9</b>	<b>25</b>	<b>1</b>	<b>15</b>	<b>0</b>
<b>2.1.6 INNOVATION EN PROCESSUS DE DESIGN</b>							
2.1.6.1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.6.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>2.1.7 PRIORITÉ RÉGIONALE</b>							
2.1.7.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.1.7.2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL</b>	<b>22</b>	<b>36</b>	<b>19</b>	<b>59</b>	<b>10</b>	<b>39</b>	<b>9</b>
<b>TOTAL THÈMES LEED (100%)</b>				<b>59</b>	<b>TOTAL THÈMES BIOCLIMATIQUE</b>		<b>57</b>
							<b>97</b>

1. Le résultat visé : on décrit les attributs souhaités, les solutions à apporter, les résultats, par exemple, végétalisation du toit sur au moins 50 % de sa surface.  
 2. La performance visée : on indique les objectifs à atteindre, sans spécifier les moyens pour y parvenir, par exemple, réduction de 20 % de la consommation d'eau potable.  
 3. La procédure à suivre : on indique comment atteindre une performance ou un résultat. Généralement, la procédure est une information additionnelle accompagnant le résultat ou la performance visée, par exemple, élaborer un plan de gestion des eaux pluviales (procédure) qui permette de traiter les eaux pluviales dans une proportion de 90 % (performance).

Comme le tableau 1 permet de le constater, la plupart des thèmes dans les deux approches LEED et bioclimatique évaluent les projets par rapport aux « résultats visés » (36/59 thèmes (61 %) pour LEED et 39/59 thèmes (66 %) pour l'architecture bioclimatique). Autrement dit, y sont décrits : la méthode de façon détaillée, les solutions à apporter, les seuils à respecter et les attributs souhaités. Cette première observation suggère une équivalence entre les deux approches, même si les spécifications diffèrent par rapport à la forme, à un produit ou à une norme, à un standard ou une directive spécifique à suivre pour chaque thème. En effet, dans l'approche LEED, contrairement à l'approche bioclimatique, on spécifie les résultats désirés, afin de pouvoir comptabiliser les résultats obtenus dans son système de liste de vérification pour donner une valeur déjà établie.

Une différence significative entre les deux approches concerne le nombre de thèmes abordés au niveau des « performances visées » (22/59 thèmes (37,3 %) pour LEED et 10/59 thèmes (17 %) pour l'architecture bioclimatique). C'est dans le chapitre « matériaux et ressources » qu'il y a le plus de différence entre les deux approches, alors que l'approche LEED préconise l'utilisation de différents types de matériaux (renouvelables, réutilisés, recyclés ou régionaux), et réfère à différents niveaux de performance (par exemple, par rapport à un pourcentage du bâtiment existant, au coût total des matériaux de construction, aux déchets recyclés ou récupérés). En ce qui concerne l'approche bioclimatique, il s'agit de faire de la gestion des ressources en matière et en énergie. C'est dans le chapitre « aménagement écologique des sites » que les deux approches abordent la plupart des thèmes en termes de performances visées. Ces thèmes sont en effet considérés comme des sujets sensibles par les deux approches, ils sont expliqués comme des problèmes à traiter, des solutions à aborder et des objectifs à atteindre, mais sans nécessairement spécifier les moyens pour y parvenir ou les seuils spécifiques à atteindre.

La différence la plus marquée entre les deux approches concerne le nombre de thèmes abordés au niveau des procédures à suivre (19/59 thèmes (32,2 %) pour LEED et 9/59 thèmes (15,3 %) pour l'architecture bioclimatique). La méthode LEED est davantage détaillée, notamment au niveau de la description de l'ensemble de règles à suivre pour parvenir aux résultats des thèmes étudiés. Au contraire, dans l'approche bioclimatique, les procédures sont moins précises ; elle ne prescrit presque pas de matériaux certifiés, qui soit sont trop coûteux pour le type de projet et le contexte ou encore parce qu'il faudrait les

importer. À titre d'exemple, la méthode LEED dans le chapitre « qualité des environnements intérieurs », prescrit dans la plupart des thèmes des procédures à suivre, c'est-à-dire qu'elle fait appel aux procédures externes comme normes, afin d'établir les seuils à atteindre pour obtenir le crédit désiré. Au contraire, dans ce même chapitre l'approche bioclimatique ne prescrit pas de procédures à suivre, mais les problématiques y sont bien expliquées et les principes universels pour arriver à des solutions concrètes et bien adaptées y sont décrits.

Par ailleurs, certaines solutions proposées par l'approche bioclimatique reposent presque entièrement sur le jugement et les connaissances du concepteur ou dépendent des problématiques spécifiques du contexte et du lieu du projet. En d'autres mots, en bioclimatique l'approche semble plus approfondie dans le sens que l'architecte concepteur doit comprendre les problématiques, donner et mettre en relation les principes universels afin de résoudre les enjeux du projet, ce qui laisse la place à de nouvelles propositions, parfois mieux adaptées aux contextes spécifiques. Nonobstant, cela nécessite que le concepteur soit attentif à ces aspects et qu'il ait les connaissances et le savoir-faire. En revanche, la méthode LEED, dans certains cas, n'explique pas d'où viennent ses propositions ni pourquoi elle propose ces solutions. Elle se limite, des fois, à affirmer les stratégies à adopter pour avoir la certification. Afin d'illustrer ces différences entre la méthode LEED et l'architecture bioclimatique, on retrouve à titre d'exemple les thèmes suivants :

- Dans le thème « Aménagement des sites : protéger ou restaurer les habitats », les deux approches vont dans le même sens, c'est-à-dire la protection conservation et restauration des habitats naturels, la manière de prendre les solutions est différente. L'approche LEED propose la même solution pour tous les projets, c'est-à-dire, elle établit des limites précises d'espacement (soit entre le périmètre du bâtiment et l'habitat à conserver, soit un % de superficie du site à restaurer). Et l'approche bioclimatique laisse au jugement et les connaissances du concepteur de faire le diagnostic, d'établir les limites, ainsi que proposer des solutions résultantes des problématiques spécifiques du contexte et du lieu du projet.

- Concernant le bois certifié, le but de LEED est « *d'encourager des pratiques forestières respectueuses de l'environnement. Utiliser un minimum de 50 % (établi sur la base du coût) de matériaux et de produits à base de bois certifié selon les principes et critères du Forest Stewardship Council (FSC)* » (U.S. Green building Council, 2014, p.72). L'architecture bioclimatique, selon Liébard (2006), favorise l'utilisation du bois provenant des forêts locales correctement gérées, par rapport aux autres choix de produits de construction comme l'acier, et le béton. Pour lui, l'avantage du bois est qu'il stocke le carbone, ce qui régule le cycle d'émissions de gaz à effet serre pendant la vie utile du bâtiment, ainsi que le fait que la provenance soit locale réduit l'empreinte écologique due au transport. Les deux approches vont dans la même direction, l'utilisation du bois environnementalement responsable, mais l'un favorise des produits certifiés et l'autre favorise une provenance locale.
- Concernant le thème « *Confort thermique : conception* », l'approche LEED vise à concevoir des systèmes de CVCA et l'enveloppe du bâtiment conformément aux exigences de la norme ASHRAE 55-2204, *Thermal Comfort Conditions for Human Occupancy*. Alors que l'approche bioclimatique vise à l'obtention du confort tout en utilisant les forces de la nature et en évitant l'utilisation des énergies non renouvelables. Le concepteur bioclimatique doit connaître et savoir intégrer : 1) le fonctionnement thermique global, ou système terre-soleil, 2) les dispositifs architecturaux de contrôle des ambiances comme : le rayonnement solaire, le rayonnement de grande longueur d'onde, le refroidissement nocturne par convection et l'évaporation de l'eau et 3) la morphologie du bâtiment, avec toutes ses composantes, laquelle détermine la technique constructive à utiliser, l'esthétique, les économies d'énergie, les potentiels de ventilation et d'illumination naturelle, ainsi que les coûts des matériaux de surface, entre autres. Même si les deux approches vont dans le même sens, c'est-à-dire l'obtention du confort thermique, la façon de traiter le sujet est différent. Pour LEED cela semble être une question de conception de systèmes mécaniques de CVCA conforme à une norme. Et l'approche bioclimatique cherche le confort thermique à travers l'équilibre thermique (conservation ou évacuation de l'énergie) entre l'intérieur et extérieur de la façon la plus naturelle possible.

- Concernant le thème « Professionnel agréé » le but pour la méthode LEED est de « *soutenir et encourager l'intégration de la conception requise par LEED en vue de simplifier le processus de demande et de certification* » (U.S. Green building Council, 2014, p.109). Pour l'architecture bioclimatique, comme Fernandez (2009) l'explique, l'importance d'un concepteur bioclimatique est d'avoir les connaissances suffisantes des lois du milieu physique naturel afin que ses propositions s'implantent avec pertinence dans l'environnement. Même si les deux approches ont des professionnels compétents par rapport aux connaissances requises, le but de ce thème dans la méthode LEED semble aller vers l'obtention du sceau de certification et non vers la protection et la conservation du milieu naturel.

Ces derniers exemples illustrent plusieurs différences des approches de la méthode LEED et de l'architecture bioclimatique. Cependant, au sujet des connaissances du concepteur, il faut mentionner aussi l'appel à des références externes prévu dans la méthode LEED et dans l'architecture bioclimatique, notamment à propos des procédures à suivre, c'est-à-dire des normes, règlements, codes, guides, produits certifiés, etc. Autrement dit, il peut y avoir des difficultés dans l'adaptation de certaines de ces normes dans un contexte comme la Colombie. Ces balises peuvent néanmoins être utiles dans l'encadrement des professionnels.

Nous avons constaté une différence entre la méthode LEED et l'approche bioclimatique dans la façon de traiter certains thèmes de la catégorie d'aménagement écologique des sites : *accès aux transports en commun, stationnement pour bicyclettes et vestiaires, véhicules à faibles émissions et à haut rendement énergétique, et capacité de stationnement*. Pour LEED, ces thèmes se manifestent dans les stratégies architecturales associées au site et au bâtiment, par exemple dans la sélection du site par rapport à l'accès au transport en commun ou dans la conception du bâtiment, par rapport à la capacité de stationnement et le stationnement pour bicyclettes. Pour l'approche bioclimatique, ces thèmes sont davantage reliés au contexte et parfois même traités dans l'optique d'un « projet urbain », par exemple : *hangars à vélo à côté des stations de bus et stationnements gratuits dans la ville pour les véhicules électriques*.

Selon Fernandez et Lavigne (2009), l'architecture bioclimatique s'écarte d'une approche focalisée sur l'optimisation des performances et des questions purement énergétiques, pour aller dans le sens d'une approche professionnelle multidisciplinaire plus globale visant l'intégration de la démarche climatique et des principes physiques universels. Le thème « *relation visuelle satisfaisante avec l'extérieur* » permet d'illustrer cette spécificité de l'architecture bioclimatique. Pour la méthode LEED, il s'agit de concevoir un bâtiment de façon à maximiser les vues sur l'extérieur pour 90 % de tous les espaces régulièrement occupés. Pour l'architecture bioclimatique, la relation visuelle satisfaisante avec l'extérieur n'est pas un aspect purement quantitatif, mais plutôt une dimension reliée aux modes de perception des ambiances selon l'expérience sensible des personnes qui y habitent. « *Il est notamment question de sentiment, d'émotions ressenties par les usagers autour des formes spatiales et temporelles, mais aussi des connaissances subjectives sur des valeurs morales dont tiennent compte les habitants* » (Liébard, 2006, p. 230).

En définitive, les deux approches vont dans la même direction, c'est-à-dire la construction des projets et le développement de pratiques écologiques, durables et environnementalement responsables. Dans cet exercice comparatif, nous avons pu voir des différences principalement dans la présentation des thèmes et la façon de les traiter.

### 3. Conclusions générales

L'architecture bioclimatique et les méthodes de certification de l'architecture durable convergent vers les mêmes préoccupations environnementales, mais différemment : LEED le fait à partir de références internationales et avec une préoccupation pour la finitude des ressources et la protection de la planète ; l'architecture bioclimatique mise sur les ressources et les caractéristiques locales.

L'architecture bioclimatique répond en effet à une vision vernaculaire du lieu tout en intégrant des connaissances scientifiques fondamentales. À partir de la compréhension des phénomènes en jeu dans l'environnement construit ainsi que des caractéristiques du site, elle crée une authentique conception architecturale du lieu, générant une augmentation de la valeur ajoutée locale et une qualification des métiers. La méthode de certification LEED prône l'usage de technologies et matériaux plus industrialisés et des stratégies mesurables à un niveau global (consommation énergétique, production de gaz à effet serre, etc.).

L'approche bioclimatique propose des solutions reposant presque entièrement sur le jugement, les connaissances et les compétences des concepteurs. Or, ces derniers ne possèdent pas toujours de telles connaissances et compétences, ce qui peut affecter leur jugement professionnel. Dans ce contexte, le recours aux balises, normes et standards pour encadrer l'intervention peuvent être particulièrement avantageux, malgré leurs limites. La méthode de certification LEED propose des solutions basées sur des normes et autres prescriptions précises que ne se traduisent pas nécessairement par une architecture sensible aux caractéristiques du lieu ou par des solutions ad hoc ; elles garantissent néanmoins une qualité des projets sur la base de standards prouvés.

Concernant l'approche énergétique, alors que l'architecture bioclimatique part du principe de la non-utilisation (0) ou de l'utilisation minimale des sources conventionnelles d'énergie ( $\geq 0$ ), tout en priorisant les sources naturelles et locales d'énergie, la méthode LEED part du principe de réduire la consommation énergétique à partir de seuils (X) qu'elle a elle-même établis ( $\leq X$ ).

Concernant les innovations technologiques, l'architecture bioclimatique privilégie les technologies les plus passives possibles, alors que la méthode LEED est ouverte la plupart du temps à utiliser des technologies passives et actives.

Concernant les matériaux et les notions de besoins et des limites, l'architecture bioclimatique a comme postulat fondamental la préservation des écosystèmes ; la méthode LEED, quant à elle, répond aux enjeux de bien-être et de qualité de vie satisfaisante, de croissance et d'industrialisation accélérée ainsi que de substitution du capital naturel par le capital artificiel.

Les représentations de la nature dans les deux approches diffèrent également : alors que l'architecture bioclimatique voit la nature à partir des représentations physiques universelles, la méthode de certification LEED la voit à partir des crises de la nature comme le réchauffement de la planète.

C'est dans les indicateurs de durabilité ou représentation de la nature que nous croyons qu'il peut y avoir des apports mutuels entre l'architecture bioclimatique et la méthode de certification LEED, notamment dans un contexte comme la Colombie. D'une part, les indicateurs devraient être mis en contexte ou des indicateurs adaptés au milieu devraient être inclus. Il s'agit de susciter une « valeur ajoutée locale ». D'autre part, l'architecture bioclimatique pourrait introduire un tel système d'indicateurs normalisés, afin mieux prendre en compte des dimensions comme celle de la finitude des ressources. Concernant les performances visées, il devrait y avoir des références locales à atteindre et non pas seulement des normes internationales, établies souvent en fonction de latitudes et de climats différents.

### **3.1 Limites de l'analyse**

La première limite de notre analyse concerne la méthode employée, c'est-à-dire la méthode comparative basée sur des sources documentaires. De plus, notre comparaison a été structurée selon les critères d'évaluation de l'approche LEED, ce qui peut générer un biais dans l'appréciation de l'approche bioclimatique.

Une deuxième limite de ce mémoire concerne la partie théorique. En effet, le développement théorique est limité par les lectures choisies. Les auteurs retenues sont certes reconnus pour leurs écrits sur le domaine, soit parus dans des revues spécialisées, soit parce qu'ils sont les premières références, à l'origine de l'approche (comme Olgyay 1963 et Givoni 1978). Or, le regard et les résultats pourraient être différents si l'analyse se faisait sur la base d'autres auteurs.

Troisième limite, la recherche met en relation plusieurs langues (espagnol, anglais, français) et cultures différentes. La traduction et la mise en contexte des données concernant la méthode LEED et l'architecture bioclimatique ont été effectuées avec rigueur, mais là aussi le risque de biais est bien présent.

Malgré ces limites, l'analyse comparative des approches LEED et bioclimatique contribue à la réflexion sur les principes d'aménagement préconisés internationalement et qui se traduisent localement par des pratiques assez variées. Mieux comprendre les forces et les faiblesses des différentes approches normatives est important, à la fois pour susciter une pratique en aménagement plus critique et pour mieux former les futurs praticiens.

## Bibliographie :

- Antidote 9 (Dictionnaire). (Dir.) (2015). Montréal: Druide informatique.
- Archivo digital de la legislación del Perú. (2013). Leyes de Indias Repéré 2013 à <http://www.congreso.gob.pe/ntley/LeyIndiaP.htm>
- Arens, E. A., Gonzalez, R. et Berglund, L. (1986). *Thermal comfort under an extended range of environmental conditions*. . ASHRAE Transactions.
- ASA. (2013). Evolución del Brise Soleil en la obra de Le Corbusier. Repéré 2013 à <http://www.sostenibilidadarquitectura.com/index.php/proyectos/26-referencias-significativas/34-evolucion-del-brise-soleil-en-la-obra-de-le-corbusier>
- ASHRAE. (2005). (American Society of Heating Ventilating and Air-conditioning Engineers) Standard 55 – Thermal Environment Conditions for Human Occupancy, . *I-P Edition*, pp.8.11.
- Aucliciens, A. et Szokolay, S. V. (2007). Thermal comfort (*Passive and Low Energy Architecture* (Vol. International Design Tools and Techniques, , p. 65): University Of Queensland, Department of Architecture.
- Beck, Luginbühl et Muxart. (2006). « Chapitre 9 - La crise environnementale : entre faits objectifs et construits sociaux ». *Temps et espaces des crises de l'environnement*, (Indisciplines), 416 Repéré à [www.cairn.info/temps-et-espaces-des-crisis-de-l-environnement--9782759201501-page-149.htm](http://www.cairn.info/temps-et-espaces-des-crisis-de-l-environnement--9782759201501-page-149.htm).
- Boutaud, A. (2005). *Le développement durable : penser le changement ou changer le pansement ?* (L'École nationale supérieure des mines de St-Etienne et l'Université Jean Monnet, Lyon).
- Brundtland, G. H. (1987a). World Commission on environment and development: our common future [brundtland1987world]. Repéré le 30/03 2014 à <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>
- Brundtland, G. H. (1987b). World Commission on environment and development: our common future.
- Camilo Hdo. (2012). Colonial House/Casa Colonial (Circasia, Quindio, Colombia) <https://www.flickr.com/photos/camilohdo/6821102403>. Flickr.
- Canguilhem, G. (1966). *Le normal et le pathologique*. Paris,: Presses universitaires de France.
- Castro-Lacouture, D., Sefair, J. A., Flórez, L. et Medaglia, A. L. (2009). Optimization model for the selection of materials using a LEED-based green building rating system in Colombia. *Building and Environment*, 44(6), 1162-1170. doi: DOI: 10.1016/j.buildenv.2008.08.009
- Castro, L. D., Sefair, J. A., Flórez, L. et Medaglia, A. L. (2009). Optimization model for the selection of materials using a LEED-based green building rating system in Colombia. *Building and Environment*, 44(6), 1162-1170.
- Cole, R. J. (2003). Building environmental assessment methods : A Measure of Success. *leJC*(Special Issue article in: The Future of Sustainable Construction).
- Cole, R. J. (2005). Building environmental assessment methods: redefining intentions and roles. *Building Research & Information*, 33(5), 455 - 467.
- Comeliau, C. (1994). Développement du développement durable, ou blocages conceptuels? *Tiers-Monde*, 35(137), 61-76.
- Commission européenne. (2013). Parvenir à un état stationnaire: entretien avec Herman Daly, pionnier de l'économie écologique. Repéré 30/03/2014 à [http://ec.europa.eu/environment/ecoap/about-eco-innovation/experts-interviews/02092013-an-interview-with-ecological-economics-pioneer-herman-daly\\_fr.htm](http://ec.europa.eu/environment/ecoap/about-eco-innovation/experts-interviews/02092013-an-interview-with-ecological-economics-pioneer-herman-daly_fr.htm)
- Comte Sponville, A. (2001). Presse universitaires de France.

- Corbella, O. D. et Magalhaes, M. A. A. A. (2008). Conceptual differences between the bioclimatic urbanism for Europe and for the tropical humid climate. *Renewable Energy*, 5.
- Curtis, W. J. (2001). *Le Corbusier: ideas and forms*. Phaidon.
- Dalbéra Jean-Pierre. (2014). La maison Dom-ino de Le Corbusier (Biennale d'architecture 2014, Venise) [https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ALa\\_maison\\_Dom-ino\\_de\\_Le\\_Corbusier\\_\(Biennale\\_d'architecture\\_2014%2C\\_Venise\)\\_14938729273.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ALa_maison_Dom-ino_de_Le_Corbusier_(Biennale_d'architecture_2014%2C_Venise)_14938729273.jpg) (p. CC BY 2.0).
- De Myttenaere, K. (2007). *Vers une architecture soutenable*. (Université catholique de Louvain Belgique ).
- Dey, A. K. (2001). Understanding and Using Context. *Personal Ubiquitous Comput.*, 5(1), 4-7. doi: 10.1007/s007790170019
- Ding. (2008). Sustainable construction--The role of environmental assessment tools. *Journal of Environmental Management*, 86(3), 451-464.
- Droz, Y. et Lavigne, J.-C. (2006). *Éthique et développement durable*. Genève, Suisse: KARTHALA Editions.
- Edwards, B. (2004). *Guía básica de la sostenibilidad*. Gustavo Gili.
- Élie M., M.-C. (2009). LEED et autres certifications vertes : un passage obligé ? . *Esquisses, Publications Quebec*, 20(2).
- Environnement et Changement climatique Canada. (2013). Ébauche du code de pratiques environnementales pour l'élimination des rejets dans l'atmosphère de fluorocarbures provenant des systèmes de réfrigération et de conditionnement d'air. Repéré 2016 à <https://www.ec.gc.ca/Air/default.asp?lang=Fr&n=1D653DD5-1>
- Espinosa, J. P. et Echeverry, D. (2002). *Aplicabilidad del sistema LEED en el entorno colombiano*. Research Memorandum No. ICYA.
- Fernandez et Lavigne (2009). *Concevoir des bâtiments bioclimatiques* Éditions du Moniteur.
- Fernández Ignacio (2012). Le Corbusier: a French lesson on "Murs neutralisants". Repéré le 14 octobre 2013 à <http://facadesconfidential.blogspot.ca/2012/04/le-corbusier-mur-neutralisant-and.html>
- Flory-Celini Caroline (2008). *Modélisation et positionnement de solutions bioclimatiques dans le bâtiment résidentiel existant*. (Université Lyon 1 Claude Bernard).
- Fondation Le Corbusier. (2013). Projets. Repéré 2013 à <http://www.fondationlecorbusier.fr>
- Fundacion tierra viva. (2013). Casa Posada Moreno. Repéré 2013 à <http://fundaciontierraviva.org/2009/11/la-aldea-casa-posada-moreno/>
- Gauzin-Muller, D. (2001). *L'architecture écologique, 29 exemples européens*. . Paris: Editions du Moniteur.
- Georgescu-Roegen, N. (1979). La décroissance. *Entropie-Écologie-Économie, Les éditions Sang de la Terre*.
- GIEC. (2015). (Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) 5ème rapport du GIEC sur les changements climatiques et leurs évolutions futures. Repéré à <http://leclimatchange.fr/attenuations-des-changements/>
- Givoni, B. (1978). *Man, climate and architecture*. Moniteur
- Green Council Canada. (2015). Bâtimentdurable / construction-developpement-durable / leed. Repéré à <http://batimentdurable.ca/construction-developpement-durable/leed>
- Greenwashaction.org. (2014). A Brief History of corporate resistance to the green building movement Repéré à <http://greenwashaction.org/wp-content/uploads/2014/05/Greenwash-History.pdf>
- Jencks, C. (2000). *Le Corbusier and the continual revolution in Architecture*. New York: The Monacelli Press.

- Jeuge-Maynard, I. (Dir.) (2009). *Le petit Larousse illustré en couleurs*. Paris: Larousse.
- Ji, Y. et Plainiotis, S. (2006). Design for sustainability. *Architecture and Building Press*.
- kardona Kamilo (2009). *CALLE 8. Barichara. SANTANDER.*  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ACALLE 8. Barichara. SANTANDER.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ACALLE_8_Barichara_SANTANDER.JPG).
- Latouche, S. (1994). Développement durable, un concept alibi. *Tiers-Monde*, 35(137), 77-94.
- Latouche, S. (2003). L'imposture du développement durable ou les habits neufs du développement. *Mondes en développement*, 1, 23-30.
- Latour, B. (1999). *Politiques de la nature : Comment faire entrer les sciences en démocratie*. Paris: Découverte.
- Lefèvre, T. (2013). Les activités humaines, leurs impacts, la crise environnementale globale et les crises humaines. Repéré à <http://planeteviable.org/activites-humaines-impacts-crise-environnementale-globale-crisis-humaines/>
- Les 27 Principes de la Déclaration de Rio.* (1992). Repéré à [http://www.agora21.org/rio92/A21\\_html/Delario/](http://www.agora21.org/rio92/A21_html/Delario/)
- Liébard, A. (2006). *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques*. Le Moniteur.
- Lipietz, A. (2003). *Qu'est-ce que l'écologie politique ? La grande transformation du XXIe siècle*. Paris: La découverte.
- Lomborg, B. (2001). *The skeptical environmentalist: measuring the real state of the world*. Cambridge University Press.
- London López Dora Alicia, L. (2006). Ranchería Wayúu. Dans R. Wayúu. (dir.), *Own work* (p. Cabo de la Vela (Colombia). aproximadamente a las 7:00 de la mañana con una camara Genius DV611.):  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ARancher%C3%ADa\\_Way%C3%BAu.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ARancher%C3%ADa_Way%C3%BAu.JPG).
- Mangan02. (2014). Solarschiff Solarsiedlung Freiburg im Breisgau. Dans S. S. F. i. B. s. 2014.jpg (dir.), *By Mangan02 (Own work) [CC BY-SA 4.0 via Wikimedia Commons* (p. Solarschiff (Solar ship) in the residential area Solarsiedlung in Freiburg im Breisgau in Germany):  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ASolarschiff Solarsiedlung Freiburg im Breisgau september 2014.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ASolarschiff_Solarsiedlung_Freiburg_im_Breisgau_september_2014.jpg).
- Mazza, R. (2007). Sustainable Design Has Changed Building Design. *Journal of green building*, 2(3), 12.
- Meadows, D. (2013). *Les limites à la croissance (dans un monde fini) : le Rapport Meadows, 30 ans après*.
- Morin, E. (2000). *Les sept savoirs nécessaires à l'éducation du futur*. Seuil Paris.
- Morin, E. (2002). Au-delà de la globalisation et du développement, société-monde ou empire-monde? *Revue du MAUSS*(2), 43-53.
- Olgyay V. (1963). *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton, N.J., Princeton University Press
- Olgyay, V. (1963). *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton, N.J., Princeton University Press
- Panorama energetico. (2013). La energía solar pasiva y su utilización. Repéré à [http://www.panoramaenergetico.com/archivo%20de%20arquitectura/la\\_energia\\_solar\\_pasiva\\_y\\_su\\_utili.htm](http://www.panoramaenergetico.com/archivo%20de%20arquitectura/la_energia_solar_pasiva_y_su_utili.htm)
- Plessis, C. D. (2007). A strategic framework for sustainable construction in developing countries. *Construction Management and Economics*, 25(1), 67.
- Prianto, E. (2003). Optimization of architectural design elements in tropical humid region with thermal comfort approach. *Energy and buildings*, 35(3), 273.
- Quintana Rojas Hernando et Vadicchino Luigi Salvatore. (2010). Hacienda el Paraiso Lodewijk Vadicchino at Italian Wikipedia [GFDL (<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>)

- Rist, G. (1996). *Le développement, histoire d'une croyance occidentale*. Presses de la Fondation nationale des sciences politiques.
- Rosnay, J. (1975). *Le Macroscopie : vers une vision globale*. Le Seuil.
- Schertzer Fanny. (2012). Tjibaou cultural center, centre culturel Tjibaou Nouméa, New Caledonia. (p. CC BY-SA 3.0): [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Tjibaou\\_cultural\\_center-Commons\\_transfer\\_2012-11-20.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Tjibaou_cultural_center-Commons_transfer_2012-11-20.jpg).
- Schertzer Fanny. (2007). Kanak house. Dans 398px-Kanak\_house (dir.), *self-made*: By Fanny Schertzer (Deutsch: selbst erstellt English: self-made) [GFDL (<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>), CC-BY-SA-3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)
- RESET (requirements for sustainable buildings in the tropics) (2012).
- Szokolay, S. V. (1985). Thermal Comfort and Passive Design. Dans Karl W. Böer & John A. Duffie (dir.), *Advances in Solar Energy. An Annual Review of Research and Development* (Vol. Volume 2, p. 257-296): Springer US.
- Szokolay, S. V. (2008). *Introduction to Architectural Science*. Architectural Press - Elsevier.
- Thibaudeau, P. et Thibaudeau. (2008). Integrated Design is Green. *Journal of green building*, 3(4), 78-94.
- Todd, J. A., 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*, 29(5), 324 - 335.
- Todd, J. A., Pyke, C. et Tufts, R. (2013). *Implications of trends in LEED usage: rating system design and market transformation*. Building Research & Information.
- Torben, D. (2010). *Climate and architecture*. Routledge Taylor & Francis Group.
- Torben Dahl (2010). *Climate and architecture*. Routledge Taylor & Francis Group.
- U.S. Green building Council. (2014). LEED Repéré le 09-01-2012 à <http://www.usgbc.org/leed>
- UNEP-IETC, T. I. C. f. R. a. I. i. B. a. C. C. U. N. E. P. I. E. T. C. (2002). Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries. 91.
- Williamson, T. J., Radford, A. et Bennetts, H. (2002). *Understanding sustainable architecture*. Taylor & Francis Group.
- Wines, J. et Jodidio, P. (2000). *L'architecture verte*. Taschen.

# Annexes

## Annexe 1 : Bâtiment Accion Plus à Cali en Colombie. Plans du projet présenté présenté au concours Holcim Awards 2011.

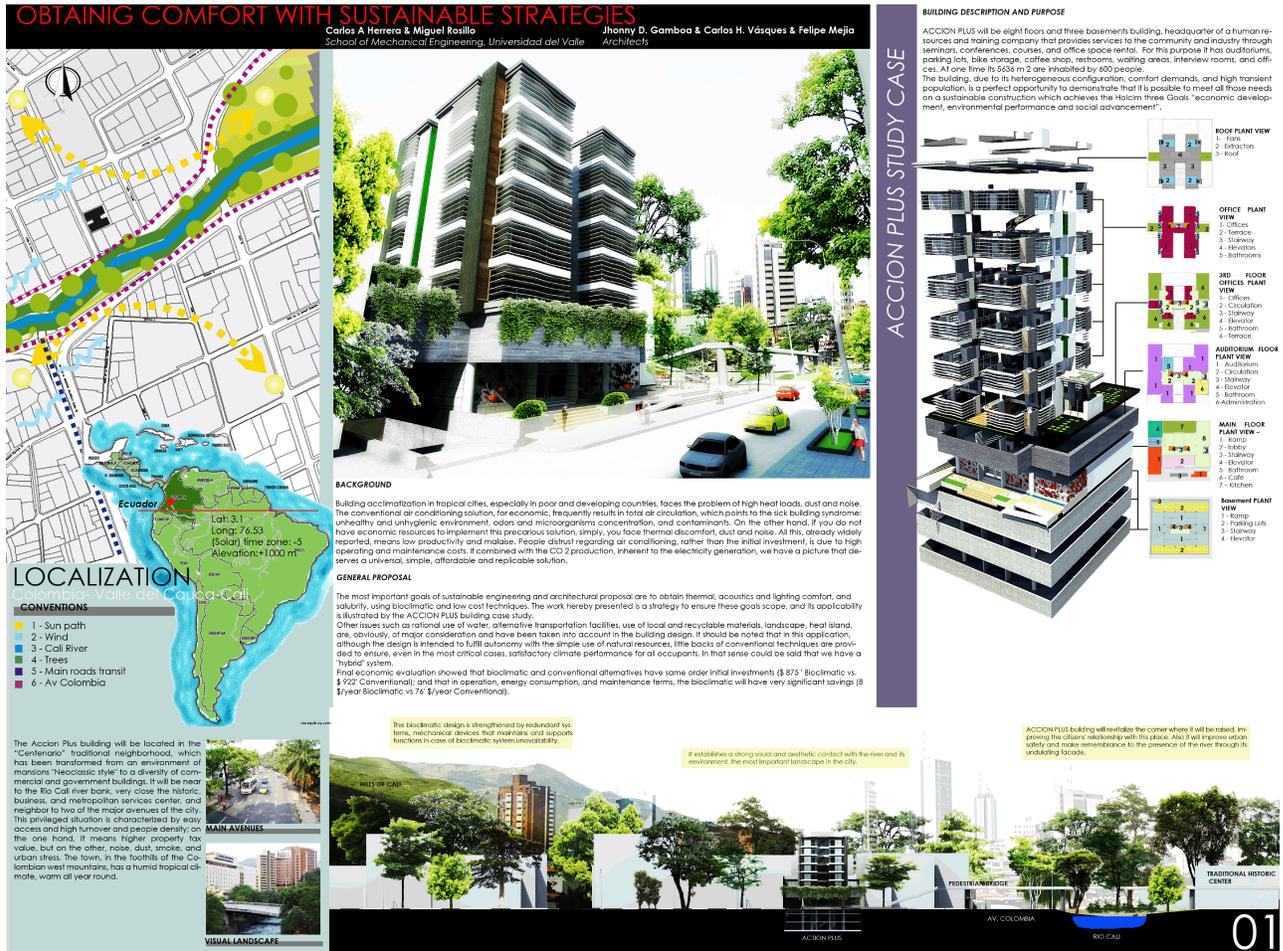


Figure 16 : Bâtiment Accion Plus plan 01 (production personnel).

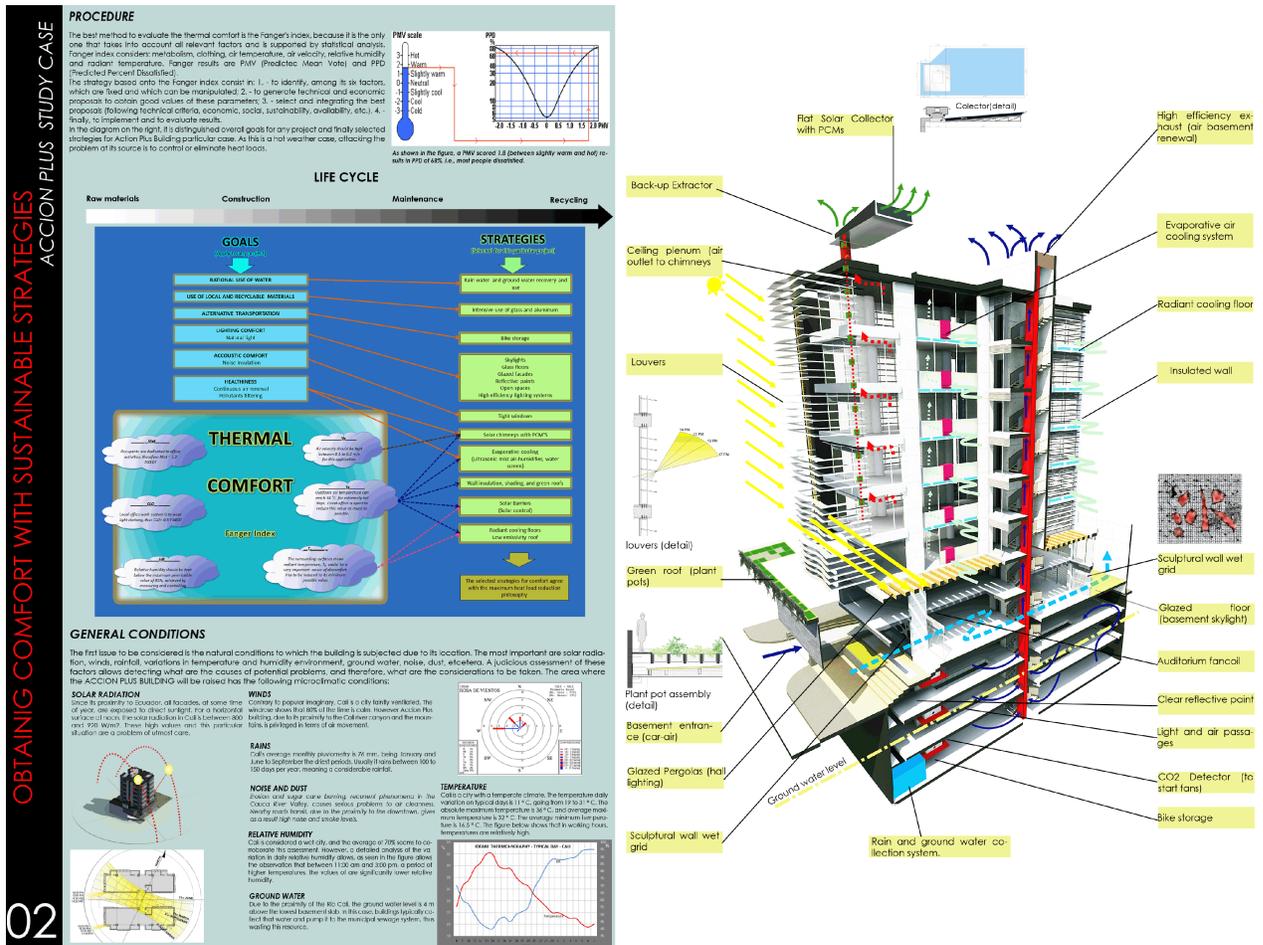


Figure 17 : Bâtiment Accion Plus plan 02 (production personnel).

Annexe 2 : Diagramme de la charte bioclimatique d'Olgay.

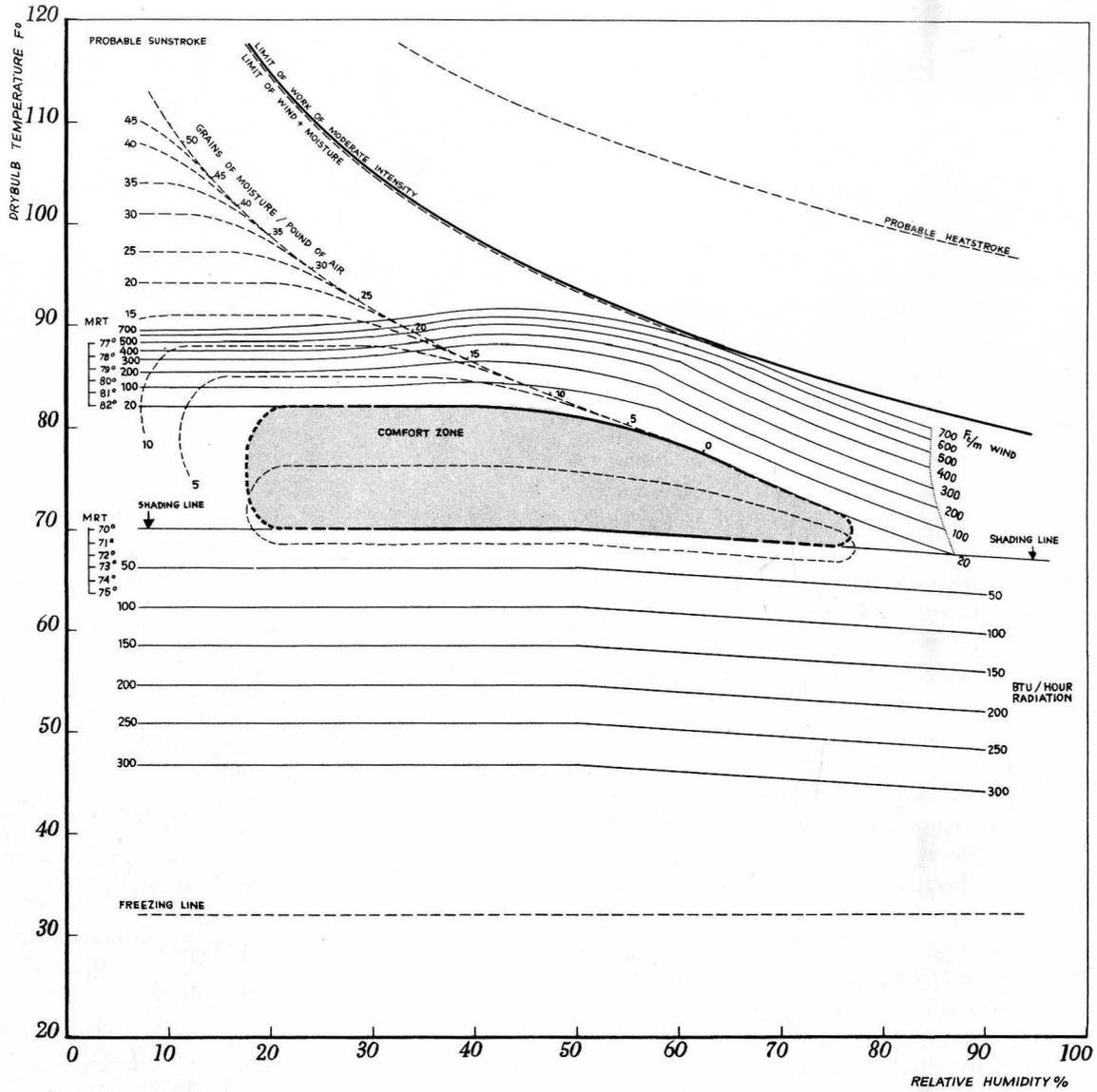


Figure 18 : Charte bioclimatique d'Olgay. (Olgay 1963, p.22)

**Annexe 3 :** Variante de la « charte bioclimatique du bâtiment » de Givoni, appelait aussi diagramme psychrométrique ou diagramme bioclimatique.

Fig. 71. — Diagramme bio-climatique du bâtiment

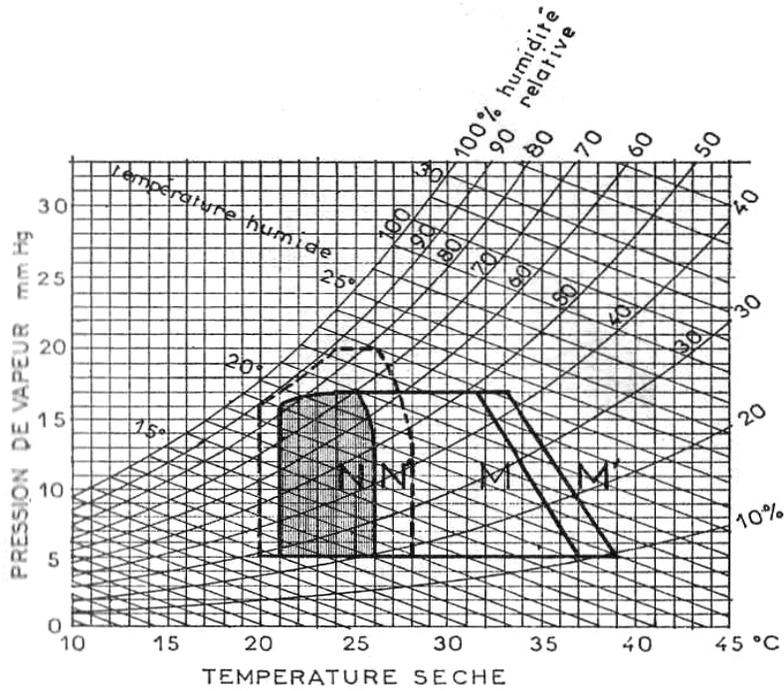


Fig. 71 a

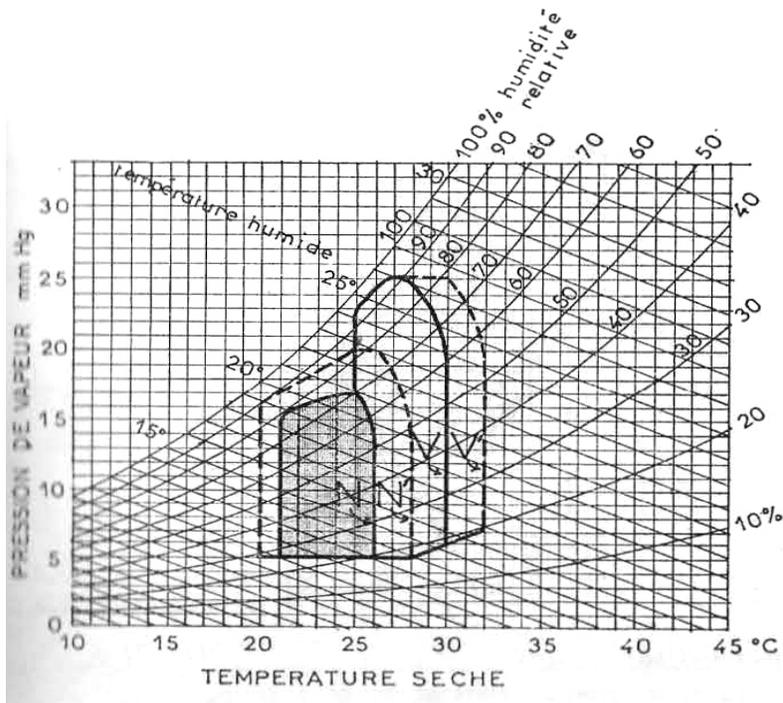


Fig. 71 b

Figure 19 : Variante de la « charte bioclimatique du bâtiment » de Givoni. (Givoni 1978 p. 329).

## Annexe 4 : Glossaire

- *Architecture bioclimatique* : peut-elle être définie comme une architecture respectueuse et sensible aux problèmes environnementaux en visant à concilier efficacité énergétique et confort des occupants et usages de manière naturelle.
- *Architecture durable* : peut être définie comme un mode de conception et de réalisation ayant pour préoccupation de concevoir une architecture respectueuse de l'environnement et de l'écologie. Une des préoccupations plus importantes de ce type d'architecture est l'efficacité énergétique de la totalité du cycle de vie d'un bâtiment.
- *Architecture écologique* : terme plutôt général ayant pour préoccupation de concevoir une architecture respectueuse de l'environnement et de l'écologie.
- *Architecture environnementale* : qui traite de l'environnement, c'est-à-dire l'ensemble des éléments (biotiques ou abiotiques) qui entourent un individu ou une espèce et dont certains contribuent directement à subvenir à ses besoins.
- *Architecture high-tech ou éco-tech* : emploie la haute technologie afin de produire l'enneige, optimiser l'utilisation des ressources, etc.
- *Architecture low-tech* : affirme la volonté de s'opposer aux modes technologiques, considérées comme mercantiles, et déraisonnables écologiquement. Utilise des techniques apparemment simples, économiques et populaires.
- *Architecture moderne* : courant de l'architecture rassemblant trois composantes principales de ces démarches sont : le fonctionnalisme, le rationalisme, la puissance de la forme par sa nouveauté hors du passé et par son épannelage simple.
- *Architecture solaire active* : fait référence à l'utilisation de l'énergie solaire à travers des systèmes mécaniques et/ou électriques.
- *Architecture solaire passive* : fait référence à la conception avec l'utilisation efficace de l'énergie solaire. Elle n'utilise pas de systèmes mécaniques.
- *Architecture traditionnelle* : représente le contexte culturel, social et politique d'une société.
- *Architecture vernaculaire* : Elle peut être définie comme l'architecture propre à un pays, à un territoire, à une aire donnée et à ses habitants.

- *Architecture verte* (ou construction verte) réfère à une structure utilisant un processus responsable de l'environnement et de ressources tout au long du cycle de vie d'un bâtiment.
- *Contexte* : Le contexte est toute information qui peut être utilisée pour caractériser la situation d'une entité. Dans ce cas-là, un lieu qui est considéré comme pertinent pour l'interaction entre un utilisateur et une application, y compris l'utilisateur et les applications elles-mêmes (Dey, 2001).
- *Développement durable* : « Un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. »
- *La contreculture* : remise en question de la société de consommation émergente des problématiques écologiques, comme la recherche d'un mode de vie plus autonome et proche de la nature.
- *Méthode d'évaluation* : ce mot est utilisé pour décrire une technique qui a l'évaluation comme fonction essentielle, mais qui peut faire référence à l'utilisation d'un certain nombre d'outils pour délivrer une étiquette ou un label. Les méthodes d'évaluation sont généralement reconnaissables " Framework " qui organisent ou classent les critères de performance environnementale de manière structurée avec des points ou des coefficients attribués (Cole, 2005).
- *Normatives* : Règle fixant les conditions de réalisation d'une opération, de l'exécution d'un objet ou de l'élaboration d'un produit dont on veut unifier l'emploi ou assurer l'interchangeabilité (Jeuge-Maynard, 2009).  
Pour Canguilhem « Une norme n'est la possibilité d'une référence lorsqu'elle a été instituée ou choisie comme expression d'une préférence » (Canguilhem, 1966)
- *Outils* : Ce mot est utilisé pour décrire une technique qui prévoit, calcule les estimations ou une ou plusieurs caractéristiques de performance environnementale d'un produit ou d'un bâtiment, par exemple d'exploitation de l'énergie, des émissions de gaz à effet de serre ou de l'énergie intrinsèque. Il existe une variété d'outils, de complexité variable et ayant différentes méthodologies sous-jacentes.
- *Paradigme* : Un exemple privilégié ou un modèle, qui sert à penser. Le mot, qu'on trouve chez Platon ou Aristote (*paradeigma*), sert surtout, aujourd'hui, en épistémologie ou en histoire des sciences. C'est un des concepts majeurs de Thomas

Kuhn, dans *La structure des révolutions scientifiques*. Un paradigme, c'est l'ensemble des théories, des techniques, des valeurs, des problèmes des métaphores, etc., que partagent, à telle ou telle époque, les scientifiques d'une discipline donnée : « c'est la matrice disciplinaire » qui leur permet de se comprendre et d'avancer. C'est aussi, et par là même, ce qui est transmis aux étudiants, à la même époque qui leurs permet de comprendre la science de leurs temps, de s'y reconnaître et d'y travailler (Comte Sponville, 2001).

Modèle théorique de pensée qui oriente la recherche et la réflexion scientifique. Procédure méthodologique que constitue un modèle de référence (Jeuge-Maynard, 2009).

- *Projet urbain* : se caractérise par la prise en compte dans la conception des lieux, d'une pluralité d'acteurs, d'échelles et de temporalités. Mais il désigne aussi un projet « défini par la communauté » (Liébard, 2006, p.328b).