UNIVERSITÉ DE LORRAINE

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

UNIVERSITÉ DE LORRAINE
ÉCOLE DOCTORALE : *IAEM Lorraine*
Laboratoire MAP-CRAI (UMR n°3495/CNRS : Modèles et simulations pour l'Architecture, l'urbanisme et le Paysage) École Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy.

THÈSE

Présentée et soutenue publiquement le 11/12/2012
pour l'obtention du grade de Docteur de l'UNIVERSITÉ DE LORRAINE
(Spécialité : Sciences de l'architecture)

par

Charline WEISSENSTEIN

Éco-profil : un outil d'assistance à l'éco-conception architecturale

Directeur de thèse :	M. Jean-Claude BIGNON	Professeur, Architecte, HDR ENSA-Nancy
<u>Composition du jury</u> :		
Président du jury :	Mme Sigrid REITER	Professeur, ingénieur civil architecte Université de Liège
Rapporteurs :	Mme Nadia HOYET	Professeur HDR, Architecte ENSA-Versailles
	Mme Marjorie MUSY	Ingénieur, HDR ENSA-Nantes
Examinateurs :		
	Mme Caroline LECOURTOIS	Maître assistante, Architecte ENSA-Paris La Villettes
	Mr Denis GRISON	PRAG, Ingénieur Université de Lorraine

« À moins que quelqu'un comme toi ne se sente vraiment concerné, jamais rien ne changera.

Jamais ».

Dr Seuss

Remerciements

Cette thèse, d'une durée de trois ans, est l'aboutissement d'un travail en collaboration entre le laboratoire du MAP-CRAI (Centre de Recherche en Architecture et en Ingénierie) et l'Université de Lorraine. Un financement alloué par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, sous la forme d'un contrat doctoral a contribué à la bonne conduite de cet exercice.

J'exprime mes profonds remerciements à mon directeur de thèse, le professeur Jean-Claude Bignon pour son aide et ses conseils avisés, qui m'ont permis de mener à bout ce travail.

Je remercie les directeurs successifs Jean-Pierre Perrin et Gilles Halin pour leur accueil chaleureux au sein du laboratoire MAP-CRAI.

J'adresse également mes remerciements à Pascal Humbert, ingénieur de recherche au MAP-CRAI, pour son aide précieuse lors du développement du prototype outil, permettant l'instrumentation de la méthode proposée.

Un grand merci à l'ensemble des professionnels, architectes[1] ayant participé à la démarche de recherche (entretiens, évaluations, collaborations, etc.).

Je remercie également mes parents et grands-parents pour leurs soutiens indispensables et pour leurs relectures précieuses.

Je remercie Nadia Hoyet et Marjorie Musy qui m'ont fait honneur d'être mes rapporteurs. Merci également à Sigrid Reiter, Caroline Lecourtois, et Denis Grison qui ont accepté de faire partie de mon jury.

[1] Manon Kern, Hervé Elleni, Bagard & Luron Architectes, Alain Fuchs, Jacques Simon, Damien Hanser, Aline Toussaint, Maryline Piquemil, Julien Maddalon, François Lausecker, Atelier d'architecture Alain Durand, Véronique Galmiche, Nicolas Depoutot, Stéphanie Belcourt, Atelier Ott et Collin, Gremillet & Falk Architectes, Lucien Colin, Regis Mury, Sutter et Labrute architectes, G-studio, Dubreu architecte, Carré d'architecte, Christophe Bergeolle, Damien Cordier, Roger Hemmerlé, Studiolada Architectes, Bernard Castiau, h2b architectures, Lampriere Solenn Architecte, Rayside Architecte, Riddel Architecture, c4architectes, Jan Tillinger, Snøhetta, Ekistics design, Crafford & Crafford, S-XL Architects, Tash Architects, Cuboverde, Atelier Léonard Bender, Vinicius Andrade, Marcelo Moretttin, AtlB.

Résumé

Cette recherche porte sur le développement d'une méthode d'estimation de la qualité environnementale afin d'assister l'éco-conception. Nous avons nommé cette méthode Éco-Profil. Nous nous sommes attachés plus singulièrement à développer un outil adapté aux particularités de la conception architecturale, l'objectif étant de favoriser une (re)mise en question environnementale le plus tôt possible dans le processus de conception.

Après avoir exploré différentes approches et outils d'assistance environnementale, nous avons identifié les limites qui expliquent, en partie, les difficultés de ces outils à être intégrés dans la conception architecturale. Certaines phases de conception semblent ne bénéficier que de peu d'assistance, notamment les étapes préliminaires. Pourtant nous savons qu'elles sont essentielles à l'intégration des enjeux environnementaux.

Nous proposons une méthode pour assister l'ensemble de la conception architecturale en réponse aux limites identifiées. Une approche estimative par référentiel est mise en place. Elle comporte la particularité d'être globale, qualitative, contextualisé et progressive et possède une instrumentation visuelle analysable. C'est notamment ces caractéristiques qui permettent l'utilisation de la méthode lors des phases de conception en proposant au concepteur le ou les profils environnementaux de son projet.

Le développement d'une application prototype nous a conduits à une expérimentation d'Éco-profil. Différents tests ont largement confirmé les hypothèses formulées et la pertinence de la méthode proposée.

Mots-clés : Conception architecturale, phases préliminaires, éco-conception, estimation environnementale, profil environnemental.

Abstract

This research concerns the development of a method to estimate the environmental quality to assist eco-design in architecture. We named this method « Éco-Profil ». We focused more particularly to develop o toot adapted the specificities of architectural design, the aim is to promote environmental challenge as early as possible in the design process.

After exploring various approaches and tools for environmental assistance, we have identified some limitations that explain, in part, the difficulties of integration in architectural design. Some phases of design seem appear to get that bit of assistance, including the preliminary stages. Yet they appear to be essential to the integration of environmental issues.

We propose a method to assist the overall architectural design in response to the identified limitations. A assessment method per referential is set up, which has the distinction of being comprehensive, qualitative, contextualized and progressive and which has a analysable visual instrumentation. This is particularly this features that allow the use of the method in the design phases and thus provide environmental profiles to the designer.

The development of visual tools and an application led us to experiment « Éco-Profil ». These tests have largely confirmed the assumptions made and the relevance of the proposed method.

Keywords: Architectural design, preliminary phases, eco-design, environmental assessment, environmental profile.

Laboratoire

MAP-CRAI

École Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy

2 rue Bastien-Lepage

BP 40435

54001 Nancy Cedex

Table des matières

INTRODUCTION 17

PROBLÉMATIQUE 19

PLAN DE RÉDACTION 21

PARTIE 1 : ÉCO-CONCEPTION ARCHITECTURALE 23

CHAPITRE 1: L'ARCHITECTURE ET LE DÉVELOPPEMENT DURABLE 25

1.1 Le développement durable 25

La naissance d'une problématique 25

Les enjeux actuels du développement durable 29

1.2 La démarche environnementale en architecture 31

Origine d'une préoccupation 32

Un défi actuel pour l'architecture 36

1.3 Conclusion du chapitre 38

CHAPITRE 2 : L'ASSISTANCE À L'ÉCO-CONCEPTION 39

2.1 De l'assistance à la conception architecturale à l'éco-conception 39

Conception architecturale et éco-conception 39

La conception, un processus réglementé 41

La formulation du problème 42

De la formulation à la concrétisation d'une proposition 43

Assistance à l'éco-conception 45

2.2 Assistance et qualité environnementale architecturale 48

La qualité environnementale en architecture 48

Les approches dynamiques 51

Les approches inventaires 53

Les approches par listes/référentiels 54

Les approches par matrices 55

Les approches par bases de connaissances 56

Les approches génératives 56

Conclusion 57

2.3 Conclusion du chapitre 58

CHAPITRE 3 : ÉTAT DE L'ART DES OUTILS D'ASSISTANCE À L'ÉCO-CONCEPTION 59

3.1 Pleiades+COMFIE 59

3.2 ArchiWIZARD 62

3.2 EQUER 63

3.4 ENVEST II *65*
3.4 Certification NF-Démarche HQE® *66*
3.6 Ecopass du Vorarlberg *69*
3.7 Bâtiments durables méditerranéens : BDM *72*
3.8 Table de Mahoney *74*
3.9 Éco.mod *76*
3.10 Le traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique *78*
3.11 Ec-Co-Gen *80*
Ec-Co-Gen-L 80
Ec-Co-Gen-N 81
3.12 Bilan des assistances à l'éco-conception *82*
Critique des approches estimatives 83
3.13 Conclusion du chapitre *86*
CONCLUSION DE LA PARTIE 1 88
PARTIE 2 : PROPOSITION D'UNE MÉTHODE ESTIMATIVE DE LA QUALITÉ ENVIRONNEMENTALE 89
CHAPITRE 4: MISE EN PLACE DE LA MÉTHODE ÉCO-PROFIL 91
4.1 Une méthode globale et qualitative *92*
Démarche de mise en place d'un référentiel de base 92
Modifications et évolutions du référentiel de base : étude de l'architecture vernaculaire et de l'architecture environnementale récente 94
Modifications et évolutions du référentiel de base : expérimentations, confrontations et études de cas. 96
4.2 Un référentiel contextualisé *96*
Notion de contexte 97
Études de cas 98
Contexte programmatique 99
Contexte climatique 102
Contexte local 106
Caractérisation des influences contextuelles sur les critères 107
Traduction des influences contextuelles en fonctions logiques 109
Valeur contextuelle d'un objectif 111
Conclusion 112
4.3 Une méthode progressive *112*
Caractérisation de l'avancement d'un projet 113
Identification de décisions architecturales nécessaire à l'évaluation d'un critère 115
Identification et organisation des tâches de conception architecturale 116
Identification des données utiles pour l'estimation d'un critère 118

Mise en place d'un système d'évaluation progressive....120
Conclusion....123
4.4 Estimation des critères....124
Modèle Éco-profil....125
Conclusion....127
CHAPITRE 5: PROPOSITION DE SUPPORTS AU MODÈLE....129
5.1 Des supports visuels à lecture de la qualité environnementale....129
Visualisation du diagramme radar....131
Un radar contextualisé....133
Un radar progressif....136
Tableau descriptif de l'estimation....137
Barre de progression générale....139
Conclusion....140
5.2 Application Éco-Profil....140
Besoins du prototype....141
Interface graphique....142
Informations du projet....146
Contexte du projet....146
États d'avancements du projet....148
Estimations du projet....150
Analyse des résultats....152
5.3 Conclusion du chapitre....153
CONCLUSION DE LA PARTIE 2....155
PARTIE 3 : EXPÉRIMENTATIONS....157
CHAPITRE 6 : EXPÉRIMENTATION « 1 », UN FOYER ÉTUDIANT SUR L'ÎLE DE CORSE À NANCY....159
6.1 Protocole d'expérimentation....159
Objectifs de l'expérimentation....159
Organisation des Séances....160
Analyse en tant qu'évaluateur....161
Analyse des résultats des estimations environnementales....161
Analyse du questionnaire....163
CHAPITRE 7 : EXPÉRIMENTATION « 2 », PRIX LQE 2012....167
7.1 Protocole d'expérimentation....167
Objectifs de l'expérimentation....167
Organisation de l'expérimentation....167
Retour d'expérience....168
Analyse du questionnaire « évaluateur »....170
7.3 Conclusion de l'expérimentation « 2 »....172

CHAPITRE 8 : EXPÉRIMENTATION « 3 », LA MAISON DES JARDINS PARTAGÉS.....173
8.1 Protocole d'expérimentation 173
Cadre de l'expérimentation 173
Organisation de l'expérimentation 173
Analyse des profils environnementaux 174
Comparaison des profils environnementaux aux notations des enseignants.....175
Retour du questionnaire « évaluateur » 176
Retour du questionnaire « concepteur » 178
CONCLUSION DE LA PARTIE 3 181
CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET PERSPECTIVES.....183
TABLES DES ILLUSTRATIONS 187
Figures.....187
Tableaux 191
BIBLIOGRAPHIE.....193
ANNEXE 1 : RÉFÉRENTIEL ÉCO-PROFIL.....201
ANNEXE 2 : TABLEAU D'INFLUENCES CONTEXTUELLES.....205
ANNEXE 3 : TABLEAU D'INFLUENCES CONTEXTUELLES TRADUITES EN FONCTIONS LOGIQUES.209
ANNEXE 5 : NOMENCLATURE DES TÂCHES DE CONCEPTION ARCHITECTURALE 217
ANNEXE 6 : TABLEAU DES DONNÉES UTILES » 219
ANNEXE 7 : QUESTIONNAIRE.....229
ANNEXE 8 : PROGRAMME EXPÉRIMENTATION 1, FOYER ÉTUDIANT DE L'ÎLE DE CORSE 231
ANNEXE 9 : PROGRAMME EXPÉRIMENTATION « 3 », MAISON DES JARDINS PARTAGÉS.....233
ANNEXE 10 : QUESTIONNAIRE « CONCEPTEUR » 237
ANNEXE 11: QUESTIONNAIRE « ÉVALUATEUR ».....239

Introduction

Problématique

Notre travail de recherche porte sur la mise en place d'une méthode d'estimation environnementale pour soutenir la conception architecturale. Nous nous sommes attachés plus particulièrement à identifier les caractéristiques essentielles d'une telle méthode pour la rendre intégrable dans l'ensemble du processus d'éco-conception architecturale.

Les débats actuels dont l'objectif est de réunir protection environnementale, pérennité économique et équité sociale caractérisent le « développement durable » comme transversal, systémique et global. C'est une richesse et une complexité qui influencent sur les démarches environnementales. Il est parfois nécessaire de trouver des consensus entre des enjeux souvent contradictoires. L'éco-conception architecturale, voisine de la conception architecturale du point de vie des processus cognitifs mis en œuvre, entraine cependant des modalités opératoires couvrant un champ d'investigation plus vaste. Cette spécificité de l'éco-conception, couplée avec une notion de qualité environnementale aux exigences transversales, collectives, contextuelles, culturelles et temporelles, a conduit à la nécessité de développer des outils d'assistance environnementale. Ces derniers, confrontés au caractère incertain des phases préliminaires, interviennent souvent tardivement dans le processus. Cette prise en charge, en phase avancée, conduit à des « rattrapages techniques », au détriment de solutions architecturales efficientes.

Nous aspirons à proposer et à tester une approche et un outil d'estimation environnementale susceptible d'assister l'ensemble de l'éco-conception architecturale. Nous tentons de comprendre quels attributs sont indispensables à l'adaptation d'une telle approche au caractère « confus » des phases préliminaires et permettent son intégration dans l'ensemble du processus de conception architecturale. Notre postulat repose sur le fait que des estimations environnementales récurrentes, dès la phase préliminaire de conception, conduisent vers des solutions architecturales plus efficientes.

Les différentes hypothèses émises à la suite d'une exploration d'outils et méthodes existantes sont notamment éprouvées à l'aide d'une application prototype.

Plan de rédaction

Notre rapport est structuré en trois parties.

Dans la première, nous formulons les différents concepts liés à l'éco-conception architecturale et nous exposons l'état de l'art des méthodes et outils d'assistance environnementale. Le chapitre « 1 » est consacré à la définition de la notion d'architecture et de développement durable. Nous introduirons nos propos par la présentation de l'évolution de la pensée environnementale de manière générale, puis en la ciblant vers le domaine de la construction. Nous mettons en avant l'intérêt de l'intégration des enjeux environnementaux pour l'architecture et plus particulièrement pendant la conception. Dans le chapitre « 2 », nous nous questionnons sur la notion d'assistance à l'éco-conception. En étudiant l'éco-conception, en parallèle à la conception architecturale, nous mettons en avant différentes phases clefs dans le processus. Nous associons, à chacune de ces étapes, des assistances particulières pouvant amener le concepteur vers une meilleure qualité environnementale. L'étude des outils et méthodes existantes, dans le chapitre « 3 », met en évidence certaines limites. Ces dernières expliquent notamment le défaut d'assistance dans la conception architecturale et plus particulièrement dans des phases préliminaires.

La deuxième partie est centrée sur notre proposition d'une méthode estimative de la qualité environnementale. Sur la base des limites énoncées dans la première partie, nous proposons une approche qui comporte la particularité d'être : globale, qualitative, contextualisée, et progressive et qui possède une visualisation analysable. Ces qualités, selon nos hypothèses, doivent permettre l'intégration de notre méthode d'assistance dans l'ensemble du processus de conception architecturale. Le chapitre « 4 » consiste à la présentation du développement de l'approche par les descriptions successives de chaque particularité. Le chapitre « 5 » expose l'instrumentation visuelle et fonctionnelle de notre méthode. Ainsi trois modes de visualisation et une application sont proposés.

La troisième partie est orientée vers la description de nos expérimentations. Nous présentons successivement trois tests, chapitre « 6 » « 7 » et « 8 ». Deux de ces tests sont mis en œuvre lors d'une situation de conception, dans un cadre pédagogique, et le troisième intervient dans un contexte de jury de concours. Ces trois cas d'étude permettent de valider nos différentes hypothèses émises et la pertinence de notre méthode.

Pour finir, nous présentons la conclusion de notre travail de recherche et nous exposons les perspectives.

Partie 1 : Éco-conception architecturale

Cette partie est consacrée à l'exploration de la conception architecturale et plus particulièrement l'éco-conception architecturale. Nous cernons dans un premier temps, la notion de « développement durable », afin de comprendre et de situer des enjeux environnementaux liés au monde de la construction. La phase de conception apparaît comme essentielle pour tendre vers une certaine qualité environnementale.

Nous avons identifié, dans un second temps, différents types d'assistance pouvant accompagner cette conception : approches par estimation et approches par suggestion. L'étude des méthodes et des outils existants a mis en avant un défaut d'assistance, en particulier dans les premières phases de conception. L'identification de limites dans ces outils actuels présente la base du développement de notre proposition « Éco-profil ».

Chapitre 1: L'architecture et le développement durable

1.1 Le développement durable

La notion de développement durable est de plus en plus présente dans notre quotidien. De nombreuses actions et mesures ainsi que des lois se mettent en place, dans tous les domaines, pour favoriser un développement appelé « soutenable » ou encore « durable ». En France, la RT2012 qui structure la réglementation thermique des bâtiments, de même « l'éco-participation » qui permet de considérer le coût du recyclage dès l'achat d'un produit électrique ou électronique, sont des exemples résultant de la prise en compte du développement durable.

Mais d'où vient la notion de « développement durable » ? Est-ce une préoccupation récente ? Concerne-t-elle le monde de la construction et plus particulièrement celui de l'architecture ?

La naissance d'une problématique

Le terme anglais de "Sustainable Development" a été proposé pour la première fois en 1980 dans le rapport de l'UICN (Union Internationale de la Conservation de la Nature) sur la stratégie Mondiale de la Conservation. Il sera repris par la suite dans la publication du rapport Brundtland « *Notre avenir à tous »* (COLLECTIF, 1989) de la commission Mondiale sur l'environnement et le développement, avec la définition suivante :

> *« Le développement soutenable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. Deux concepts sont inhérents à cette notion : le concept de besoins, et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité, et l'idée des limitations que l'état de nos techniques et de notre organisation sociale impose sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir. » (Longet, 2005)*

Le terme anglais sera traduit en Français par celui de « développement soutenable », de « développement durable », ou encore de « développement viable ». Nous adopterons, pour la suite de notre travail, le terme de développement durable. Bien que parfois contesté, il reste le plus usité en France.

Cette notion présente la caractéristique de rassembler trois enjeux longtemps séparés : **efficacité économique, équité sociale, et intégrité écologique**.

Bien que le terme de développement durable soit relativement récent, les interrogations sur le

développement, l'activité humaine et la protection de la nature ne sont pas des débats nouveaux. L'affrontement entre deux mouvements sur la nature, « conservationniste » et « préservationniste » à la fin du 19e siècle, ou encore les philosophies grecques et romaines et leurs écritures sur la nature, en sont le témoignage (Jacquard et al., 1991). Nous proposons de présenter quelques périodes clefs contribuant à la formation du concept du développement durable actuel.

La révolution agricole favorisant la révolution industrielle ou l'industrialisation apparue au XIXe siècle, en particulier en Europe occidentale (Montoussé, 2007) font passer les sociétés d'un système à dominante agropastoral vers un système commercial et industriel. Les innovations technologiques (moteur à explosion, automobile, avion, pétrochimie, électricité, etc.), le développement de l'industrie chimique (textile, agronomie, etc.) et l'apparition de nouveaux modes de transports (chemin de fer, etc.) entrainent le passage d'une croissance faible et discontinue vers une croissance continue et plus soutenue. Les premiers bilans environnementaux apparaissent, notamment avec le géographe américain George Perkins Marsh en 1864 dans son œuvre *« Man and Nature »*. Bien que la dégradation de l'environnement ait accompagné toutes les civilisations, (Guay, 2004) c'est sous les sociétés industrielles que les préoccupations des effets de la pollution industrielle et de l'utilisation des ressources naturelles vont prendre de l'ampleur.

> *« La dégradation accélérée des équilibres écologiques par l'industrialisation, l'accroissement démographique et l'urbanisation, conduit à l'idée selon laquelle l'homme ne peut se contenter de lutter contre la nature pour la dominer, mais doit aussi la défendre. » (Journes, 1979)*

Le courant « conservationniste » apparu à cette époque, largement conduit par Gifford Pinchot ou encore par John Stuart Mill, est une philosophie utilitariste où une vision gestionnaire de la nature est recommandée afin de prévenir la surexploitation. Au contraire le courant « préservationniste », basé sur une considération éthique, place en avant une critique de la société industrielle et une préservation de la nature dans son intégralité (Brahy et Louafi, 2004). Cette vision est portée par John Ruskin, considéré comme le fondateur du commerce équitable et de l'éthique économique (Larrère, 2006) et dont l'influence se ressent encore aujourd'hui.

La période de la fin du XIXe siècle et du début du XXe siècle, appelée aussi la « Belle époque », met fin aux « grandes dépressions ». Elle est propice à la paix, aux progrès économiques et techniques, et à une croissance économique, dans la continuité de l'industrialisation. Ralentie par la Première Guerre mondiale, cette croissance se poursuit entre les deux guerres (les années folles).

Bien que les guerres mondiales soient favorables essentiellement à l'économie de l'armement, et

que la croissance se soit trouvée perturbée, la dimension industrielle des conflits mondiaux a accéléré la modernisation de l'appareil productif. Cette période a été favorable aux découvertes et aux innovations, dans le domaine de la métallurgie, de la chimie ou de l'électricité. Nous prendrons deux exemples. En 1926, Vladimir I. Vernadsky met en avant l'idée de la biosphère. En 1935, Tansley développe le concept « d'écosystème » (Foulquier, 2009).

Les années après la Seconde Guerre mondiale vont donner lieu à un optimisme planétaire prônant la croissance économique et le changement mental et social. Le progrès technologique apparaît comme la solution, pour l'Homme, à son affranchissement de la nature, mais aussi à la réduction des coûts, à l'évolution des transports, à l'allègement du temps de travail, à la limitation des maladies, et donc à l'amélioration des conditions de vie. La consommation de masse est devenue un signe de développement.

Malgré cet élan d'optimisme, c'est bien à partir des années 1940 que les premiers ouvrages sur la fragilité de la terre apparaissent. Le développement providentiel ne se limite pas aux résultats annoncés, et s'accompagne d'effets secondaires insoupçonnés (pollutions de l'eau, épuisements des ressources, problèmes de santé, bombes atomiques, tensions politiques, inégalités, etc.). Fairfield Osborn publie notamment en 1948 « *Our Plundered Planet* » et fait émerger la possibilité que notre planète devienne inerte par nos activités humaines. Plusieurs ouvrages se présentent alors comme des ruptures importantes dans le questionnement qu'on qualifiera aujourd'hui d'écologique (Jacquard et al., 1991). Le livre d'Aldo Léopold publié en 1949 *« A stand Country Alamanach »* propose une éthique écologique plutôt que la domination d'une croissance destructrice. L'ouvrage de Rachel Carson en 1962 *« Silent Spring »* dénonce la pollution de l'environnement par les produits de l'industrie. Ce dernier ouvrage a notamment conduit à des réglementations environnementales aux États-Unis, actuellement toujours en vigueur (Rajni BAKSHI, WEB).

Parallèlement à ces questionnements sur le déséquilibre planétaire et sur la protection de l'environnement, c'est le sujet des sciences sociales qui se développe à partir des années 1950. William Kapp dans son ouvrage intitulé « *The Social Cost of Private Enterprise* » publié en 1952 s'interroge sur l'économie traditionnelle et de son impact sur les coûts sociaux. Des débats sur les inégalités et les disparités entre pays surgissent notamment avec les exigences du « droit au développement » dans les années 1960. Elles remettent en cause l'idée que les problèmes humains et de développement seraient résolus grâce à une croissance et un développement continu et illimité (Longet, 2005).

Les années 1970 marquent une diffusion plus large de ces réflexions environnementales (radio, journaux, télévisions. etc.). C'est l'ouvrage *« Halte à la croissance »* (Meadows, 1972) du Club de Rome qui va véritablement lancer le débat et ralentir l'optimisme de l'après-guerre. L'homme prend conscience de l'impact de son mode de vie et qu'une planète aux ressources limitées ne peut soutenir une croissance et une consommation exponentielles.

Les dangers d'une croissance économique et démographique explosive sont mis en avant et tenus responsables entre autres, de l'épuisement des ressources et des pollutions (sols, eaux, etc.). La « croissance zéro » ou encore la « décroissance » sont proposées, par certains auteurs comme Meadows (Meadows, 1972) et Nicholas Georgescu-Roegen (Georgescu-Roegen, 1979), comme la solution à la préservation de l'environnement.

Les deux problématiques qui avaient émergé plus en amont (développement humain et social et protection de l'environnement) vont être rassemblées. La pérennité des ressources et leurs accès équitables semblent être imbriqués. Lors de la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement Humain, à Stockholm en 1972, apparait un nouveau modèle de développement économique connu sous le nom « d'éco-developpement » alliant équité sociale et précaution environnementale, basé sur la satisfaction des besoins fondamentaux. Un changement de mode de vie est alors perçu comme nécessaire au retour de l'équilibre entre les pays. Bien que cette notion soit restée marginale, (Godard, 1994) elle a ouvert la voie à une troisième solution entre une croissance exponentielle et sauvage et une croissance zéro.

Le concept qui allie développement économique, protection de l'environnement et équité sociale va donc naître et prendra de l'importance en 1987 sous l'impulsion de la publication du rapport Brundtland *« Notre avenir à tous »* de La Commission Mondiale sur l'Environnement de 1983. Le rapport en rupture avec les visions pessimistes, est jugé « d'optimisme modéré ». Il propose un modèle où l'arrêt de tout développement n'est pas envisageable, cependant la reconnaissance que ce développement n'est pas sans effets sur l'environnement est acquise (Guay, 2004).

> *« Le monde international prenait ainsi acte de la nécessité d'inscrire le développement humain dans une perspective non seulement économique et sociale, mais soulignait qu'il fallait englober la dimension naturelle et générer un nouveau paradigme associant les approches sectorielles dans une dynamique d'ensemble. » (Longet, 2005)*

Cette nouvelle vision va être renforcée à partir des années 1980 par, entre autres, quatre facteurs. Premièrement, par la sensibilisation et la découverte du public de l'effet de serre, de la désertification, des pluies acides, ou encore du « trou » dans la couche d'ozone. Deuxièmement, par l'enchainement

de catastrophes industrielles, Seveso en 1976 et Tchernobyl en 1986. Troisièmement, par la baisse de la croissance économique et les successives crises pétrolières. Quatrièmement, par une meilleure compréhension des mécanismes de la planète grâce au développement des sciences biochimiques. La terre est alors perçue certes de manière plus complexe, mais également plus fragile.

Des conférences ont par la suite précisé la notion de développement durable, notamment par le renforcement du volet « social » lors du Sommet mondial sur le développement social en 1995, avec la volonté de valoriser les ressources économiques, sociales et cultuelles d'une société. Dès lors, de nombreux accords vont voir le jour à l'échelle nationale et internationale :

- La Convention-cadre sur le changement climatique en 1994, où les pays membres de l'OCDE (Oganisation for Economic Co-operation and Development) se sont engagés à stabiliser leurs émissions de gaz à effet de serre en 2000.
- La convention sur la diversité biologique en 1992, la reconnaissance d'une préoccupation commune à l'humanité (conservation de la diversité) permet de proposer des objectifs de protection et de partage.
- Le protocole de Kyoto signé en 1997, dans la continuité de la Convention-cadre qui fixe des exigences à plus long terme.
- Les réglementations thermiques successives, en France, dès 1974.
- La reconnaissance du droit à l'accès à une eau de qualité et des installations sanitaires en 2010.
- Etc.

Les enjeux actuels du développement durable

La définition du développement durable reste souvent peu précise et fait l'objet de multiples questions. Comment délimiter la notion de besoins ? Comment, et qui a le droit de définir les intérêts des générations futures ? Le manque de précision dans la définition permet des interprétations, et amène à des théories différentes.

Une première théorie, dite à « durabilité très faible » de Robert Solow en 1974, très proche de la conception économique classique, énonce que les ressources sont substituables entre elles. Le problème ne vient pas que nous puisons dans les ressources, mais que nous n'investissons pas les bénéfices pour trouver des alternatives à ces ressources. Cette vision est notamment défendue par Hartwick dans son ouvrage « *The Economics of Natural Resource Use »* (Hartwick et Olewiler, 1998) où le capital naturel est substitué par le capital artificiel.

D'autres travaux comme ceux de Gene Grossman et Alan Krueger tendent à démontrer que la croissance économique est une bonne chose pour l'environnement. La solution à l'augmentation de la

pollution est le développement de nouvelles technologies. Dans un premier temps, la pollution accroit avec la hausse des revenus, puis tend à la baisse (Bhagwati, 2010). Ces thèses sont appuyées par des constats tels que la diminution des nuages de pollution dans les grandes villes.

La théorie dite de « durabilité forte » considère au contraire que les ressources naturelles ne sont nullement substituables par les ressources artificielles. Les ressources naturelles doivent être maintenues dans un stock constant indépendant du capital artificiel (Cunha et Ruegg, 2003) (Zuindeau, 2000).

Malgré des avis divergeant, un consensus actuel tend vers la nécessité d'un développement qui harmonise, entre autres, **la protection environnementale, la pérennité économique et l'équité sociale**, indispensable à l'avenir de notre planète et à la qualité de nos vies (Vaillancourt, 1998). Un modèle est proposé, dont la conceptualisation est notamment inspirée des travaux de Sadler Barry et Jacobs Peter, fondée sur la théorie des ensembles (cf. Figure 1).

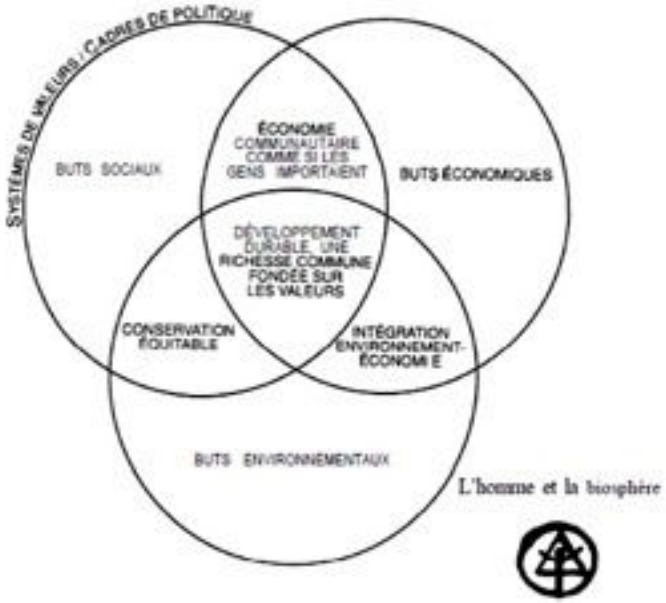


Figure 1 : Modèle du développement durable selon Sadler et Jacobs (Jacobs et al., 1988).

L'enjeu économique est de maintenir une croissance afin de créer des richesses et améliorer les conditions de vie. Les enjeux sociaux ont pour objectif de satisfaire les besoins essentiels pour l'homme (santé, logement, éducation, etc.). Les enjeux environnementaux consistent à préserver un équilibre écologique (climat, diversité biologique, etc.).

Ces trois dimensions sont étroitement liées, une mauvaise gestion de l'une peut entrainer des bouleversements dans les autres. Un juste équilibre est donc nécessaire, et là sont tous les enjeux du développement durable :

- Un changement de vision temporelle : penser sur **le long terme**.

- Une approche **transversale** et **systémique** qui tient compte des relations complexes entre les systèmes dans leur ensemble.
- Une démarche **interdisciplinaire** où la mobilisation de tous est requise, où les initiatives doivent s'effectuer au niveau **local**, régional, national et mondial, mais la responsabilité est **globale**.
- Une **contextualisation** des actions à entreprendre.

Ces problématiques interdisciplinaires, à la fois globales et locales, nécessitent une implication particulière de chacun des acteurs de la vie quotidienne. C'est un défi commun à l'ensemble des habitants de notre planète.

Une mobilisation de tous est nécessaire et indispensable. Les gouvernements et les collectivités locales dont les décisions politiques permettent de cadrer les démarches ; les citoyens par leurs actions quotidiennes ; les entreprises en raison de leurs choix de gestion et de conception. Etc.

1.2 La démarche environnementale en architecture

Le secteur de la construction est responsable en France, à titre d'exemple et selon l'Ademe[2], d'une consommation de soixante-dix millions de tonnes d'équivalents pétrole par an (43 % de l'énergie finale et totale nationale) et d'une émission de cent vingt millions de tonnes de $C0_2$ par an (25 % des émissions nationales). Il se positionne même comme un domaine clé pour pouvoir améliorer certaines pratiques favorables au développement durable (Gauzin-Müller et al., 2001).

La conception, la construction, la vie et la fin de vie d'un bâtiment ont des conséquences certaines sur l'environnement (épuisements des ressources, pollutions, consommations d'énergies, etc.), sur l'économie (mise en avant de certaines filières, etc.) et sur le social (implication sur la santé, la qualité de vie, etc.). En effet, les impacts environnementaux des édifices sont importants, car ces derniers affectent à la fois, l'air, la terre, les ressources naturelles, la faune, la flore et les êtres humains (Achard et al., 2000). Les considérations sont donc multiples :

- Les choix des matériaux utilisés déterminent l'épuisement des ressources premières et les pollutions engendrées pour leur fabrication ou leur transport.
- Les choix des matériaux et de leur mise en œuvre ont une incidence sur la fin de vie du bâtiment, les possibilités de démontage et de recyclage des matériaux.
- Les choix de conception se répercutent sur les consommations d'énergie lors de l'utilisation.
- Les choix des matériaux utilisés ont une incidence sur la santé des usagers.

[2] Ademe, agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie : http://www.ademe.fr

- Les choix d'implantation et de densité se répercutent sur la qualité de vie d'un quartier.
- Etc.

Depuis les années 1950, émergent des architectures dites bioclimatiques, alternatives, passives ou encore solaires, dont le point commun est une conception plus respectueuse de l'environnement et de l'homme (Oikos, 2002), des projets plus « écoresponsables ». Mais cette problématique environnementale ou bioclimatique est-elle nouvelle ? Et pourquoi devient-elle, actuellement, si importante pour l'architecture ?

Aujourd'hui, de plus en plus d'acteurs du secteur de la construction prennent conscience de leur responsabilité vis-à-vis des questions environnementales (Mayne et al., 2010). Ces enjeux s'imposent comme une donnée capitale pour l'architecture (Contal et al., 2009).

> *« Nous sommes parvenus aujourd'hui à un relatif consensus sur la nécessité d'économiser l'énergie et de prendre en compte les préoccupations environnementales dans la conception et la réalisation des constructions.»p 10 (Farel et al., 2006).*

Origine d'une préoccupation

La finalité d'un bâtiment est de protéger l'Homme des éléments hostiles de la nature (froid, chaleur, pluie, vent, bruit, etc.) et ainsi de proposer un espace sain afin de s'épanouir et de se reposer (Déoux et Déoux, 2004).

> *"Les bâtisseurs primitifs, à l'instar des animaux, ont d'abord assigné à leur habitat un rôle de médiation passive entre les forces extérieures du milieu naturel et leur confort ; ils ont su tirer parti, [...] des potentiels d'échanges thermiques entre le milieu extérieur et le milieu intérieur que constitue l'habitat. Cela en jouant sur la seule conformation physique et morphologique des volumes, des espaces et des masses." p11 (Oliva et Courgey, 2006).*

Le dialogue avec l'environnement n'est pas un principe récent, mais était une nécessité. L'architecture vernaculaire illustre bien ces problématiques où la forme des bâtiments, le choix du site, les matériaux utilisés dépendent grandement de l'environnement immédiat.

> *" Nous avons beaucoup à apprendre de ce que fut l'architecture avant de devenir un art de spécialistes. En particulier, les bâtisseurs autodidactes savent (dans le temps et dans l'espace) adapter avec un talent remarquable leurs constructions à l'environnement. Au lieu de s'évertuer, comme nous, à dominer la nature, ils tirent*

> *un profit extrême des caprices du climat, des obstacles de la topographie" (Rudofsky, 1977 ; p3).*

Des principes de construction se sont progressivement développés en profitant au maximum du site et du climat local (Gonzalo et al., 2008) (implantation harmonieuse, prise en compte des vents et de l'ensoleillement, etc.). Les exemples de systèmes de ventilation naturelle, comme les tours à vents d'Iran (Oliva et Courgey, 2006) ou encore les « bag-gir » (capteur à vent) du Paksitan (Rudofsky, 1977), illustrent bien ces propos.

> *« Dans les autres climats chauds et secs à grandes amplitudes, [...] essentiellement fondés sur la disposition architecturale et la grande inertie thermiques des parois ; à cela s'ajoutent les dispositifs d'occultation solaire et la facilitation de la ventilation nocturne (tours à vents d'Égypte ou d'Iran). » p 15-16 (Oliva & Courgey 2006, p15-16).*

Figure 2 : Toitures du quartier bas de Sind, au Pakistan. Installation dans chaque pièce des bag-gir ("capteur à vent"). (Rudofsky, 1977, p114).

À la suite de l'industrialisation, et de la mécanisation, l'architecture du XIXe siècle se voit transformée. Sous l'impulsion de nouveaux matériaux industriels (le béton armé, le fer, le fibrociment, les polymères, etc.) et de nouveaux équipements (l'ascenseur, les équipements sanitaires, l'électricité, etc.) de nouvelles techniques constructives et de nouvelles formes architecturales apparaissent. L'architecture s'affranchit de la construction traditionnelle pour acquérir une plus grande liberté (Fanelli et Gargiani, 2008), mais elle perd dans le même temps beaucoup de ce qui la reliait à son environnement.

Au début du XXe siècle, un courant dit « moderne » apparaît, avec le mouvement Bauhaus[3]. Ce mouvement est caractérisé, entre autres, par une architecture aux volumétries simples, aux plans fonctionnels, aux ornements minimaux. Par ailleurs, la notion de bien-être ambiant et d'hygiène se

[3] . Une école crée en 1919 par Walter Gropius à Weimar, dont le but était de susciter une conscience créative.

pose pour la première fois (ENEA et Istituto nazionale di architettura, 1992), et la qualité, entre autres, de la lumière et de l'air sont mis en relation avec les problèmes de santé (Overy, 2008).

Ce courant a été porté (COLLECTIF, 1975) notamment par les architectes tels qu'Adolf Loos, Auguste Perret, Walter Gropius, Ludwig Mies Van der Rohe ou encore Le Corbusier. Ce dernier annonçait, par ailleurs, l'arrivée d'une nouvelle « époque » :

> *« Une grande époque vient de commencer. Il existe un esprit nouveau ! L'industrie, envahissante comme un fleuve qui roule à ses destinées, nous apporte les outils neufs adaptés à cette époque nouvelle animée d'esprits nouveaux. » (Corbusier, 1958)*

À une époque propice aux théorisations et à la diffusion, des tendances et des visées communes appelées « style international » par Philip Johnson en 1932 lors de l'exposition d'architecture moderne au MoMa[4] , s'opposent aux solutions jusqu'alors locales basées sur des acquis.

Parallèlement à ce courant moderne, un mouvement parfois qualifié de régionaliste apparaît. Formulé notamment par Lewis Mumford dès 1918 comme une architecture en lien étroit avec son environnement, dans la continuité des pratiques régionales, il se construit en résistance à l'architecture internationale et prône un retour « aux théories contextualisées » déracinées par l'industrialisation (Lachance, 2012). Des architectes se démarquent de leurs contemporains du courant moderne. Nous pouvons citer notamment Wright qui s'inspire des formes environnantes, Alvar Aalto qui propose une vision plus humaniste et proche de la nature ou encore Walter Segal, pionnier de l'auto-construction.

> *« Donc, pour pallier à la détérioration des relations sociales dans la société industrielle, il faut selon Mumford reconstruire l'unité entre la nature et la culture, et cette entreprise commence à l'échelle régionale par la mise en valeur du lieu (en anglais place), entité à la fois matérielle et psychique autour de laquelle se construisent les identités collectives et les valeurs humanistes.»p1-2 (Lachance, 2012)*

Face aux besoins croissants de logements après la Deuxième Guerre mondiale, les procédés industriels et la standardisation vont faire émerger et prédominer le courant « moderne ». L'industrialisation est présentée, comme un moyen de résoudre les problèmes de confort dans l'habitat, et de libérer l'homme de la nature. Les standardisations et les facilités de transport des produits encouragent une architecture universelle déconnectée de son environnement et au détriment

[4] Museum of modern Art de New York

des traditions constructives. D'ailleurs, l'intérêt de profiter de l'environnement ne parait plus si évident par rapport, entre autres, au faible coût de l'énergie et à l'essor de machines thermiques (Oliva et Courgey, 2006).

Dans les années 1960, parallèlement à la prise de conscience des atteintes à l'environnement par l'industrialisation, l'architecture régionaliste, tombée dans l'oubli depuis une vingtaine d'année et jugée « anti-moderne », émerge à nouveau. La volonté d'une architecture plus humaine, face à la production de masse de l'après-guerre, redonne un second souffle à l'architecture régionale et traditionnelle. L'exposition, en 1964, de Bernard Rudofsky au MoMa, intitulée « Architecture without Architects » (architecture sans architecte) va mettre en avant l'importance de l'étude de l'architecture vernaculaire s'adaptant au climat, au site et aux méthodes de constructions traditionnelles (Magliozzi, 2011).

Les approches critiques du mouvement moderne vont se développer dans les années 1970, encouragées par le choc pétrolier et de la hausse de prix de l'énergie. Les éloges d'une architecture en connexion avec le monde naturel apparaissent notamment avec la publication de Kahn Lloyd « Shelter » en 1973 et de la publication de Peter Berg et Raymond Dasmann « Reinhabiting Califorina » en 1977. Les architectures solaires, alternatives, et les auto-constructions se développent. Bien qu'elles restent dans un premier temps marginales et limitées à quelques projets de militants, une prise de conscience s'opère (Gauzin-Müller et al., 2001).

> *« La construction d'habitats engloutit un sixième des ressources mondiales en eau douce, un quart de la production de bois et deux cinquièmes des combustibles fossiles et des produits manufacturés. L'architecture est donc devenue l'une des principales cibles de la réforme écologique » (Wines, 2002).*

Les premières réglementations thermiques concernant les nouvelles constructions apparaissent, en France, dès 1974 définissant des limites de déperditions. Les solutions sont inventées, par le biais de l'industrie, qui va fournir des matériaux avec lesquels les intérieurs des maisons vont être recouverts. À la suite de l'envolée du coût du pétrole, le problème énergétique prend de l'importance au sein du monde de la construction, légèrement freiné en France par le programme nucléaire de 1974.

À ce questionnement énergétique se rajoute le problème de la santé à l'intérieur du bâtiment. Bien que l'application des principes proposés par les hygiénistes ait peu à peu réduit les insalubrités, les conséquences sur la santé, de certains nouveaux matériaux et de nouvelles techniques de construction, ont souvent été négligées. L'apparition de maladies liées aux bâtiments fait prendre conscience de l'impact sur la santé de certains choix de conception (P. Déoux et S. Déoux, 2004).

Depuis les premières théories des années 1970, la notion d'édifice « environnemental » ou encore « écologique » s'est forgée. D'abord pensé comme un problème d'ordre énergétique et technique, ce concept s'oriente vers des enjeux plus globaux (Madec, 2002). On citera en exemple la démarche HQE® en France (Haute Qualité Environnementale), créée en 1997 sous la forme de quatorze cibles, allant de la gestion (énergie, eaux, etc.) au confort (acoustique, visuelle, etc.) ou encore à la qualité (air, eaux, etc.).

Face à ces nouvelles problématiques, différents courants apparaissent et s'affrontent. Par exemple, le « low-tech » prône le rejet de la rigidité du modernisme et du tout technologique et un retour aux matériaux locaux et traditionnels. Le « high-tech » ou l'« Eco-tech » visent une architecture écologique par l'emploi de la technologie, de l'informatique, de nouvelles techniques, dans le but d'une optimisation des consommations. Quant à « l'humanisme écologique », il se positionne comme un juste milieu entre « low-tech » et « high-tech », en proposant une approche contemporaine où se mêlent matériaux traditionnels et techniques innovantes.

Un défi actuel pour l'architecture

À l'heure actuelle, la recherche des alternatives écologiques dans le monde de la construction se développe à l'échelle internationale, où ces problématiques deviennent même un phénomène culturel et présentent des enjeux politiques et économiques (Gauzin-Müller et al., 2001).

> *« La perspective du développement durable est en voie d'acquérir la même importance que celle qu'avait acquise l'utopie du progrès scientifique et technologique à l'aube du XXe siècle.» (Lefèvre, 2002 ; p109).*

L'intégration du développement durable dans le monde de la construction n'est plus une question, c'est une « évidence et un impératif » (Mayne et al., 2010), les acteurs doivent prendre leur responsabilité au niveau culturel, politique, écologique et économique. L'architecture doit adopter une « démarche environnementale ». Les valeurs esthétiques et technologiques ne doivent plus être les sujets prioritaires. Elles doivent être mêlées avec les intérêts de santé, de confort ou encore de préservation des ressources. Les démarches environnementales ne supposent pas un retour en arrière, mais une remise en question des écritures architecturales et des manières de faire des projets, comme l'énonce l'architecte Françoise Hélène Jourda :

> *« Si l'on peut tirer de nombreuses leçons de cet habitat vernaculaire, les solutions employées ne peuvent être reconduites aujourd'hui telles quelles simplement par ce que l'usage des espaces a changé, même si les ressources locales sont toujours disponibles» p 77 (Jourda, 2011).*

Malgré une prise de conscience accrue, des obstacles à ces démarches apparaissent, rendant les réalisations trop peu nombreuses (AFEX, 2009). La durée de vie des produits et des bâtiments et l'évolution des technologies et des processus de conception peuvent rendre les changements longs et fastidieux. Le caractère **transversal, systémique et global** du développement durable impacte les démarches environnementales. La difficulté de telles approches est de trouver, des compromis, voire des **consensus**, entre tous ces **enjeux parfois contradictoires**.

Pour résumer, la démarche environnementale, dans le secteur de la construction, doit être réalisée en association étroite entre les collaborateurs, avoir des implications sociales, écologiques et économiques et faire l'objet d'une réflexion globale, objective et rationnelle comme l'énonce (Gauzin-Müller et al., 2001) :

> *« Elle est soucieuse, entre autres, du confort des usagers, de la protection du site et de la gestion de l'eau et de l'énergie dans le cadre de coût maîtrisé […] au-delà de la limitation de l'impact des bâtiments sur l'environnement, la démarche à une dimension sociale du fait de la participation des usagers à la planification, voire à la construction, et du soutien à l'économie locale grâce à la mise en valeur de matériaux et de techniques régionales »p29 (Gauzin-Müller et al., 2001).*

Si la démarche environnementale influence toutes les étapes d'un bâtiment (choix du site, programme, conception, mise en œuvre, utilisation, fin de vie, etc.), c'est bien pendant le processus de conception que les décisions sont cruciales (Jourda, 2011). En effet, pendant la phase de conception et plus particulièrement les premières phases, les libertés de choix sont maximales pour le concepteur. Lorsque la proposition progresse, les connaissances du projet augmentent, mais les possibilités de modifications deviennent de plus en plus difficiles et coûteuses (Ullman, 2009).

> *« On sait déjà que l'implantation et la configuration d'un plan-masse comptent pour 50 % dans l'économie de gestion du confort d'usage »p8 (Lefèvre, 2002).*

Les démarches environnementales ont un impact sur les choix tels que le positionnement dans le site ou encore l'orientation du bâtiment. Ces décisions peuvent difficilement être modifiées dans les phases avancées de conception et encore moins une fois la conception terminée.

Lorsque les données environnementales sont intégrées dès les phases de conception, cette démarche est alors appelée « éco-conception », ou encore « éco-design » (Gholipour, 2011).

Afin de structurer ces démarches environnementales et les objectifs à atteindre, le monde de la construction s'est peu à peu organisé pour promouvoir une architecture plus respectueuse de l'environnement. De nouvelles réglementations tendent à valoriser certaines démarches telles que la

réglementation thermique (RT2005 et RT2012[5]) qui imposent des exigences privilégiant l'aspect énergétique (Filloux, 2010). Des labels et certifications se sont développés, définissant des objectifs et garantissant une certaine qualité environnementale. Ou encore, d'autres méthodes telles que le bilan carbone[6] et l'analyse de cycle de vie[7] viennent structurer les démarches environnementales.

L'intérêt de ces outils et démarches est d'acquérir une culture élargie du développement durable, afin que celui-ci devienne un **réflexe**.

Ces outils et réglementations ne font pas toujours l'unanimité, et des critiques apparaissaient. Nous pouvons citer notamment les deux critiques suivantes. Des outils trop directifs ne laissent pas toujours le choix des moyens d'atteindre les objectifs et conduisent vers une perte de l'innovation. La valorisation des enjeux environnementaux peut mener vers une diminution des qualités architecturales.

> *« Mon rêve : ne plus entendre parler d'écoconception. Mais que l'architecture tienne enfin son rôle : celui d'offrir à l'habitat un lieu à vivre, ou il puisse s'épanouir dans un environnement apaisé, résultant d'une démarche globale, consensuelle et support d'émotions » Thierry Roche, Atelier Thierry Roche et Associées (Mayne et al., 2010) .*

1.3 Conclusion du chapitre

Nous avons vu dans ce chapitre l'évolution des considérations environnementales, qui nous a menés vers une réflexion générale sur notre modèle de développement. Le « développement durable » apparait comme une solution optimiste qui tend à préserver l'environnement tout en proposant un modèle social et économique durable.

Le domaine de la construction, qui se révèle comme un acteur clef pour le « développement durable », s'ouvre vers des considérations de plus en plus globales. Ce secteur s'organise peu à peu pour répondre à ces enjeux, en proposant des méthodes d'assistances. La phase de conception architecturale est alors mise en avant et un nouveau mode de conception se définit : l'éco-conception.

---

[5] RT2005 ou RT2012, réglementations thermiques françaises s'appliquant sur les bâtiments neufs, résidentiels et tertiaires (dont la température normale d'utilisation est supérieure ou égale à 12 °C). http://www.rt-batiment.fr/batiments-neufs/reglementation-thermique-2005/presentation.html

[6] Le bilan carbone d'un produit (ou d'un bâtiment) est un outil pour comptabiliser les émissions de gaz à effet de serre. http://fr.wikipedia.org/wiki/Bilan_carbone

[7] L'analyse de cycle de vie (ACV) fournit un moyen d'évaluer les impacts environnementaux d'un produit tout au long de son cycle de vie (de l'extraction des matières premières, jusqu'à son traitement en fin de vie). http://fr.wikipedia.org/wiki/Analyse_du_cycle_de_vie

Chapitre 2 : L'Assistance à l'éco-conception

2.1 De l'assistance à la conception architecturale à l'éco-conception

L'éco-conception, initiée dans les années 1970, consiste à intégrer les dimensions environnementales, dans la phase de développement d'un produit, au même titre que les notions d'économies, de techniques ou encore de marketing.

> *« […] nous définissons l'éco-conception comme un processus d'intégration des aspects environnementaux dans la conception et le développement de produits qui a pour objectif la réduction des impacts environnementaux des produits tout au long de leur cycle de vie. » (Berneman et al., 2009).*

C'est une approche développée, en premier lieu, pour les produits industriels, dont le concept s'étend désormais à l'architecture. Cependant, la conception architecturale, en raison de ses caractéristiques à la fois productives, cognitives, collectives, individuelles, créatives, et unitaires, (Laaroussi, 2007) basée sur le paradigme de la « pensée complexe » (Lecourtois, 2010) permet-elle d'intégrer une démarche d'éco-conception ?

Conception architecturale et éco-conception

L'éco-conception est décrite du point de vue de la recherche et des professionnels comme une approche qui doit répondre à des problèmes et des enjeux environnementaux globaux, multiples, (Le Pochat, 2005) caractérisés d'incertains (Gholipour, 2011), sans pour autant affecter les autres objectifs de l'architecture. Elle met en jeu une combinaison d'interactions ou de rétroactions entre les éléments qui constituent le projet et son environnement physique (Peuportier et al., 2006) nécessitant des ajustements délicats et progressifs, entre consensus et équilibre.

Mais qu'en est-il de la conception architecturale ? Qu'est-ce qui différencie l'éco-conception architecturale de la conception architecturale ?

Les sciences de la conception, la psychologie cognitive ou encore l'architecturologie ont établi des modèles théoriques de la conception architecturale qui ont permis une meilleure compréhension des processus qui la fonde.

Les sciences de la conception, portée notamment par Herbert A. Simon, ont mis en évidence des processus spécifiques aux concepteurs, ou l'activité de conception est décrite comme un processus de résolution de problèmes (Simon, 2004). Christopher Alexander propose une décomposition des problèmes en sous-problèmes à résoudre, (Raynaud, 1999) avec l'idée de phases et de séquences

itératives dans le processus. Cette décomposition, en sous-problèmes, a mis en avant les caractères multiples, imbriqués et parfois conflictuels de ces derniers (Raynaud, 2002).

De manière complémentaire, la psychologie cognitive explore les opérations mentales dans les situations de résolution de problème, en particulier, le rôle fonctionnel de l'image mentale dans la conception. Ces recherches ont également identifié que certains problèmes sont « mal définis » (Darses et al., 2001) ou encore « mal structurés » (Laaroussi, 2007).

L'architecturologie s'attarde moins à décrire le processus, que les opérations de conception architecturale. Phillipe Boudon, dans ce contexte, met en évidence les différences entre processus, de l'ordre du global et opération, de l'ordre de l'élémentaire (Boudon, 2005), introduisant la présence d'une « pensée complexe » (Morin, 2005) dans la conception architecturale. Le processus de conception est alors théorisé sous forme de jeu entre opérations « de modèles » et « d'échelles » formant ainsi les diverses modalités opératoires de l'activité de conception (Lecourtois et Guéna, 2007).

Les mécanismes de résolution de problèmes et les mécanismes cognitifs de l'éco-conception semblent être identiques à ceux de la conception. Les différences ne résident pas dans le processus cognitif mis en œuvre, mais dans les modalités opératoires déclenchées. Lecourtois et Guéna énoncent (Lecourtois et Guéna, 2009) que la pensée écologique en conception architecturale vient établir certaines « dominances » à l'égard de certaines « pertinences » de conception.

> *« […] l'éco-conception engendrait des complexités opératoires spécifiques. La pertinence qui paraît structurante au regard de la complexité construite autour des nombreuses cibles de la norme serait la géographie (qui dans le projet s'articule avec les pertinences dominantes que sont l'optique, la visibilité et la fonction). La géographie en tant que pertinence participe du concept architecturologique d'échelle géographique. »p 8 (Lecourtois et Guéna, 2009)*

Si l'éco-conception ne se substitue pas aux règles habituelles de conception, (Electric, 2007) on assiste à un déplacement, voire à un agrandissement du périmètre d'investigation (AFEX, 2009), par exemple sur les deux niveaux suivants. Au niveau des préoccupations, certains enjeux doivent être intégrés comme la réduction de la consommation énergétique ou encore l'impact social, sans pour autant négliger les données essentielles pour l'architecture (l'usage, les fonctionnalités, etc.). Au niveau de l'échelle du milieu physique, le bâtiment ne peut plus être pensé dans un contexte limité tel que la parcelle. Les impacts doivent être envisagés de manière plus vaste, à l'échelle de la ville, du pays, et même à l'échelle de la planète.

L'ajout de données environnementales dans la conception a pour conséquence d'accroître la complexité de départ, en amplifiant les interactions et les contradictions et en rendant plus difficiles l'équilibre et les consensus.

L'assistance à l'éco-conception doit donc permettre de mieux cerner les problèmes environnementaux, liés à la construction, ainsi que leurs conflits, tout en étant adaptée aux différentes phases habituelles de conception (Farel et al., 2006). Nous nous sommes attachés, dans un premier temps, sans faire une analyse détaillée, à détecter les étapes clés de la conception. Dans un second temps, nous avons identifié quels types d'assistances seraient nécessaires, à chacune de ces phases, pour tendre vers l'éco-conception architecturale.

La conception, un processus réglementé

En France, d'un point de vue réglementaire, l'activité de construction est divisée en trois grandes phases (ADEME, 2002). La pré-conception, souvent attribuée au maître d'ouvrage, consiste à la réalisation de l'étude de faisabilité et de la programmation. La conception, imputée au maître d'œuvre, démarre de la proposition d'un projet peu détaillé vers une étape de concrétisation du projet (esquisse, avant-projet sommaire, avant-projet définitif et projet). La post-conception, concerne le choix des entreprises, de déroulement de la construction du bâtiment et son entretien.

Selon la loi MOP[8], en France, la phase de conception architecturale commence à l'émergence d'une idée en phase d'esquisse jusqu'à la production de plans descriptifs validés en phase de projet. La pré-conception et la post-conception ne font donc pas partie de l'activité de conception architecturale.

La conception, du point de vue du cadrage réglementaire, est constituée d'un enchaînement de phases ponctuées par des approbations (cf. Figure 3) mettant en avant un cycle de **proposition/ validation** entre le concepteur et le maître d'ouvrage.

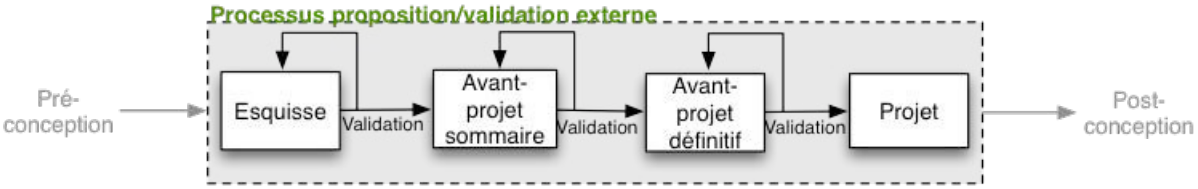


Figure 3 : Cycle Proposition/validation entre concepteurs et maître d'ouvrage. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

[8] Une loi relative aux missions de l'architecte en matière de marchés publics. Décrite notamment sur le site de l'ordre des architectes : http://www.architectes.org/exercer-la-profession/les-commandes/la-devolution-de-la-commande-publique/la-mission-de-l2019architecte-en-matiere-de-marches-publics-loi-mop/

Mais au-delà de ce processus d'échange et règlementaire entre maître d'œuvre et maître d'ouvrage, la recherche et les théorisations sur la conception architecturale mettent en évidence des séquences clés dans l'activité du concepteur et de l'équipe de conception. Ces séquences tentent de décrire l'activité de conception en tant que telle. Deux étapes sont mises en avant par Vinod Goël (Goel, 1995) ou encore par Robert Prost (Prost, 2000) nommées par ce dernier, la « formulation du problème » et la « formulation et concrétisation de la solution ». Ces deux phases conduisent à deux processus parallèles (Cavaillès, 1992).

La formulation du problème

La formulation du problème peut être assimilée, au premier regard, à la pré-conception, ne faisant, de ce fait, pas partie du processus de conception architecturale. Pourtant en étudiant plus en détail ce mécanisme, il semble plus complexe, ne relevant pas uniquement de l'ordre de la pré-conception et du maître d'ouvrage.

William Peña met en avant la nécessité de bien établir et d'analyser le programme, qui définit par la suite le problème de conception (Peña et Parshall, 2001).

> *« Almost all problem solving methods include a step for problem definition - stating the problem. »p 15 (Peña et Parshall, 2001)*
>
> *« La quasi-totalité des méthodes de résolution de problèmes comprennent une étape de définition du problème - poser le problème. »*

Les formulations du programme ne suffisent pas à poser le problème de conception, l'interprétation et l'enrichissement par le concepteur seront essentiels afin d'obtenir des éléments utiles (Kacher, 2008). Ces éléments sont constitués de multiples sous-problèmes, énoncés plus haut comme « mal définis » ou encore « mal structurés », faisant souvent appel à des données implicites et nécessitant d'être complétés et synthétisés par le concepteur (Djafi, 2005).

Bryan Lawson (Lawson, 1980) fait apparaître deux caractéristiques. Les problèmes sont de nature multidimensionnelle, l'architecture doit répondre à des exigences techniques, fonctionnelles, économiques, esthétiques et même environnementales, etc. Ces problèmes multidimensionnels sont interactifs et donc imbriqués et conflictuels. Philippe Boudon (Boudon, 2004) complète en énonçant que les problèmes de conception ne sont pas posés de manière précise et définitive avant la conception, mais ces derniers s'affinent tout au long du processus de conception, ce sont des problèmes « ouverts » (Fustier et Fustier, 1989).

> *« Il apparaît que l'étude successive des solutions proposées à un problème de conception amène par des chemins différents l'architecte et les clients à découvrir*

> *des conditions que l'objet doit remplir dans son contexte, auxquelles ils n'avaient pas pensé non seulement par ce qu'ils approfondissent au cours du processus de conception leur réflexion sur l'objet dans son contexte, mais aussi par ce qu'ils modifient l'idée qu'ils se faisaient du contexte lui-même, élargissant ainsi le champ des énoncés élémentaires qu'il est souhaitable de considérer. » p36 (Conan, 2000)*

L'activité de formulation et d'analyse du problème est donc une étape cruciale pour la conception. Elle doit permettre de clarifier les différents besoins et buts du projet et éventuellement leurs priorités et leurs interactions. Elle participe au processus de conception, dans le sens où le concepteur ne peut se satisfaire uniquement des données de la phase de pré-conception (programme, discussion avec le client, etc.). Il devra les synthétiser avec d'autres éléments tels que les contraintes de site ou encore les objectifs environnementaux, etc.

L'émergence d'objectifs, de contraintes, de priorités et d'éventuels conflits permet un point de départ pour la conception. Bien que la conception architecturale ne puisse se limiter à une activité simple de résolution d'un problème, mais relève d'une multiplicité de problèmes à énoncer et à résoudre (Scaletsky, 2003), la formulation de ces derniers oriente la conception et s'affine tout au long du processus.

De la formulation à la concrétisation d'une proposition

Les études de Jane Drake (Darke, 1979), par l'analyse des pratiques architecturales, mettent en avant un enchaînement de propositions de formes, soumises à la critique, qui est précédé par ce qu'elle nomme le « générateur primaire ». Ce dernier consiste à une prise de position de l'architecte qui permet de démarrer le processus d'exploration de conception.

Les théories sur la connaissance et les recherches de Karl Popper ont fait émerger, dans la thématique de résolution de problème, un schéma s'articulant en trois temps (cf. Figure 4). Ce dernier est appliqué par la suite dans la conception architecturale notamment avec John Zeisel (Zeisel, 1984).

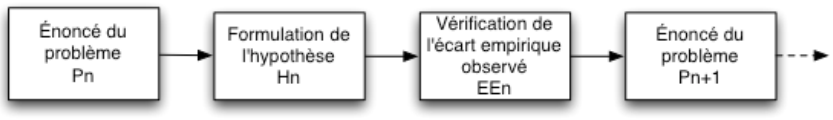


Figure 4 : Schéma de résolution de problème selon Karl Popper (Conan, 2000).

Ces recherches mettent en avant le caractère séquentiel de la conception architecturale. Sur la base de la « formulation du problème », le concepteur fait émerger une première solution, entraînant

un processus cyclique de formulation de solution, validation de solution et reformulation du problème, etc.

> *« L'architecte stabilise et objective, par ses dessins, des simulations de bâtiment qui peuvent être comparées, voire opposées, à d'autres représentations certaines ou possibles de bâtiment, qu'il élabore lui-même[...] Ce déroulement cognitif permet à l'architecte d'être juge et partit de ses propres hypothèses de conception » p109 (Lebahar, 2007)*

Ce processus cyclique amène le projet d'un état abstrait vers des spécifications de plus en plus concrètes passant selon Prost du « quoi faire » au « comment faire » (Prost, 2000). Scaravetti (Scaravetti, 2004) complète en distinguant deux étapes d'avancement : « conception préliminaire » et « conception détaillée » qui nécessitent des modes de validations différents.

Ce mécanisme qui mène d'une définition préliminaire vers un état concrétisé se passe rarement de manière linéaire. Selon Olivier Tric, les différentes validations des propositions qui amènent à la reformulation du problème peuvent entraîner un retour en arrière dans le processus de conception.

> *« Cette cascade d'événements et de retours en arrière […] manifestent les caractères dialogiques de la démarche de projet dans laquelle les systèmes d'acteurs primaires, maîtrise d'œuvre/maîtrise d'ouvrage se trouve tantôt en étroite collaboration, tantôt en opposition flagrante […] » p97 (Tric, 2000)*

Le projet n'est pas le résultat d'une unique démarche du maître d'œuvre, mais il est influencé aussi par d'autres acteurs (maître d'ouvrage, experts, etc.) qui viennent, par leur intervention, modifier la formulation du problème.

Nous voyons donc apparaître des étapes clés pour le processus de conception, que nous nommerons de la manière suivante (cf. Figure 5). La **formulation du problème** qui s'affine et se complète au fur et à mesure du processus de conception.

> *« Par définition, toute situation de conception, compte tenu de sa dimension dynamique implique une évolution conjointe de la représentation du problème et des solutions élaborées […] » p235 (Baker et al., 2006)*

L'émergence d'une proposition primaire présentant le concept mis en place par le concepteur.

Le **processus proposition/validation** dont on peut distinguer des **propositions préliminaires** et des **propositions détaillées,** pour finir avec **une proposition concrétisée.** Le cycle proposition/ validation est présent à la fois de manière **interne** (auto-validation du concepteur de son travail) et de manière **externe** (validation de la part du maître d'ouvrage). Une proposition jugée satisfaisante par le

maître d'œuvre est présentée au maître d'ouvrage dans la cadre d'une phase réglementaire, afin d'être validée.

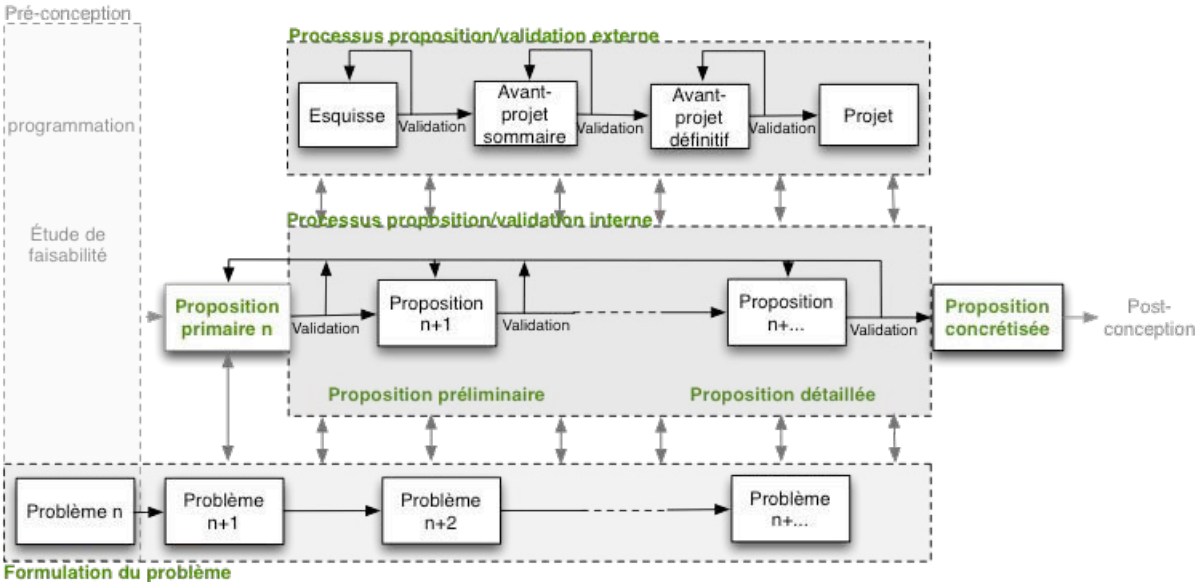


Figure 5 : schématisation du processus de conception. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

> *« […] la conception doit être envisagée comme un processus dynamique de formulation / résolution concomitante d'un problème implicite, jamais posé ni jamais résolu définitivement. »p21 (Siret, 1997)*

Assistance à l'éco-conception

Pour répondre à la foi à ce processus complexe de conception architecturale et à l'intégration des données environnementales, des assistances peuvent être apportées. Nous distinguerons les suivantes : l'assistance à la formulation de problème, l'assistance à l'émergence d'une solution primaire, l'assistance à l'évaluation d'une proposition.

> *« Comme il est souvent remarqué, la difficulté de la conception architecturale se situe alors dans le choix du « bon outil » au « bon moment ». Pour être adaptés, les outils d'aide à la conception doivent permettre la résolution des problèmes directs et des problèmes inverses qui se posent au concepteur dans le jeu des effets entre formes et intention » (Siret, 1997)*

L'assistance à la formulation du problème a pour but d'enrichir et d'élargir les acquis et les compétences des concepteurs, apportant ainsi des informations organisées et ciblées vers une problématique. Des méthodes, pour la plupart « orientées connaissances » (Chaabouni et al., 2009),

qui dans notre contexte d'éco-conception, tendent à définir et à clarifier les enjeux environnementaux. La clarification des considérations environnementales permet également d'identifier les éventuels conflits et interactions.

L'assistance à l'émergence d'une solution doit permettre au concepteur d'explorer des solutions susceptibles de répondre aux problèmes posés. Philippe Marin (Marin et al., 2009) énonce que l'émergence est composée de deux mécanismes cognitifs distincts, l'interprétation et la transformation. Ces deux mécanismes prennent essence notamment dans la notion de référence, appelée par Turkle (Turkle, 2007) « evocative objetcts » (« objets évocateurs ») permettant de stimuler la création par un transfert de connaissance d'un élément cible, vers un élément partiel. Ann Heylighen précise notamment que ce transfert passe par cinq types de procédures (l'heuristique, l'analogie, la métaphore, le type et le cas) définissant aussi une « stratégie conceptuelle ».

> *« Parmi les diverses stratégies de conception d'un projet d'architecture, notre travail entend privilégier le processus cognitif fondé sur l'utilisation des éléments externes qui stimulent et aident la conception initiale. Nous appelons ces éléments références au projet d'architecture. Les références pourront être des cas d'architecture, des types architecturaux, une odeur, un son ou une image, entre autres. »p19 (Scaletsky, 2003)*

Ces références peuvent être de l'ordre de l'idée ou d'une solution, répondant à des intentions du concepteur (dans notre étude, des éco-intentions). Elles sont suggérées au maître d'œuvre, elles servent de base créative à l'émergence de la proposition primaire.

L'assistance à l'évaluation d'une proposition doit permettre au concepteur de prendre du recul par rapport à sa solution pour en analyser les points forts et les points faibles. Pathernios met en avant, lors d'études de cas, la notion de « Critical Points of change » (points critiques de changement). Ces moments permettent de percevoir une dimension particulière sur le projet, propice aux décisions critiques et aux changements et fortement liée au mode d'instrumentations (Parthenios, 2008).

> *« Through the help of a new tool, the architect becomes able to "see" something that was not visible before and can decide to go back and a) alter the design idea, b) abandon it and begin from scratch, or c) abandon it and pick an idea that had been discarded […]. » (Parthenios, 2008) .*
>
> *« Grâce à l'aide d'un nouvel outil, l'architecte devient capable de « voir » quelque chose qui n'était pas visible avant et il peut décider de revenir en arrière et de modifier l'idée de conception, de l'abonner et recommencer à zéro, ou de*

> *l'abandonner et prendre une idée qu'il avait mise de coté […] » (Notre traduction).*

Les résultats de l'instrumentation ou de l'assistance (simulation, évaluation, etc.) peuvent être ce qu'appelle Alain Jeantet (Jeantet, 1998) « un objet intermédiaire » mettant en avant ainsi une vision nouvelle sur le projet. Une vision permettant au concepteur de prendre un recul vis-à-vis de la proposition tout en suggérant un support de discussion entre l'équipe de conception et le maître d'ouvrage.

Dans le cadre de notre étude, l'éco-conception, cet « objet intermédiaire » doit évoquer le bâtiment du point de vue environnemental. Un recul est nécessaire pour porter un jugement critique, permettant le bon déroulement du processus de proposition/validation. Nous considérons pour notre recherche que pour avoir le recul nécessaire, cette vision nouvelle doit être apportée par un élément tiers au projet (logiciel, expert externe, etc.). Les points de vue internes sont catalogués comme une assistance à la formulation des problèmes environnementaux du projet.

Dans le processus évoluant d'une proposition préliminaire à une proposition concrétisée, nous distinguerons, l'assistance à l'évaluation de solutions préliminaires, l'assistance à l'évaluation de solutions détaillées et l'assistance à l'évaluation de solutions concrétisées.

L'assistance à l'évaluation de solutions préliminaires semble avoir un intérêt particulier pour la conception. En effet, Scaravetti (Scaravetti, 2004) souligne l'importance et les enjeux des phases préliminaires de conception. Bien que les données à cette étape soient imprécises, les choix impactent à près de 70 % le coût global final du développement. McAloone complète en indiquant que 80 % de l'impact environnemental serait fixé lors de la création du concept, c'est-à-dire dans les phases amonts de la conception (McAloone et al., 2009).

L'Assistance d'une proposition détaillée apparaît comme une aide à l'optimisation. Dans un cadre où les éléments du projet sont déjà en grande partie définis et figés, cette assistance permet l'optimisation des choix effectués. Elle tend donc affiner en qualité et en dimensions les différents composants du projet.

L'assistance à l'évaluation d'une solution concrétisée ne permet pas directement d'aider à la conception, dans le sens où l'évaluation intervient après la conception. Néanmoins, cette évaluation a pour objectif, la plupart du temps, de valoriser les bâtiments et de ce fait, elle met en avant et diffuse certaines bonnes pratiques environnementales. Cette diffusion joue le rôle de référence pour les projets futurs et ainsi assistera l'éco-conception.

Pour conclure, nous avons mis en avant la possibilité d'assister la conception, permettant d'amener le concepteur à l'éco-conception, soit en aidant à la définition du problème, en proposant des solutions répondant à un ensemble de ces problèmes ou en assistant la validation des propositions. Cependant, il est important de rajouter que la pertinence de telles assistances, n'existe que si elles ne freinent pas l'activité de conception (Halin, 2004). L'assistance à l'éco-conception doit permettre de tendre vers une qualité environnementale du bâtiment, mais pour autant la qualité architecturale, les qualités d'usages ou encore la créativité ne devraient pas être minimisées.

2.2 Assistance et qualité environnementale architecturale

Nous avons identifié à quels moments et de quelles manières nous pouvons assister l'éco-conception pour tendre vers une qualité environnementale satisfaisante. Nos propos suivants portent sur l'analyse de la notion de qualité environnementale en architecture.

Nous définissons, dans un premier temps, la notion de qualité. Dans un second temps, nous mettons en avant les caractéristiques de la démarche de qualité environnementale pour l'architecture.

Nous finissons par une description des diverses approches d'accompagnement de la qualité environnementale. Nous clarifions notamment les différences entre les approches par suggestion et les approches par estimation.

La qualité environnementale en architecture

La démarche de qualité est une notion relativement complexe. Cruchant, dans son ouvrage (Cruchant, 2000), met en avant les divers aspects, parfois contradictoires, de cette notion. Il énonce que la qualité n'est pas forcément une performance maximale d'un produit, mais une réponse ajustée à un besoin donné, celui de l'utilisateur. Cependant, ce « besoin utilisateur » ne semble pas être toujours exprimé, il se trouve souvent « implicite » ou « potentiel ». Par ailleurs, la norme ISO 9001, relative à la gestion de la qualité, propose une définition centrée sur l'usage en prenant comme critère fondamental la satisfaction de l'utilisateur (Dehan, 1999).

La notion de qualité, en plus de répondre à un besoin de consommateur, semble avoir des obligations telles que le respect de la sécurité, du coût et du délai, etc. David A. Garvin dans son article (Garvin, 1987) différencie deux types de qualité complémentaire, la qualité du produit et la qualité du processus.

De plus, nous pouvons ajouter que cette notion semble être influencée également par le contexte socio-économique et culturel. En effet, toute communauté possède des valeurs propres qui façonnent la vision de la qualité (SAWADOGO, 2004).

Pour résumer, la qualité peut être définie comme une réponse aux besoins d'un client, souvent subjectif et contextualisé, s'intégrant dans un processus contraint, devant tendre lui-même à une certaine qualité. Mais qu'en est-il de la qualité environnementale, rentre-t-elle dans le même schéma ?

La qualité environnementale, en architecture, est rapprochée en France à la « haute qualité environnementale ». Elle a été définie et initiée par l'association HQE®[9] dans le but de limiter l'impact d'une opération sur l'environnement, tout en assurant un habitat sain et confortable (Vu, 2006). Selon l'association HQE®, c'est une démarche dont le but est de tendre vers une diminution des impacts de la construction sur l'environnement, tout en laissant la possibilité de conserver les qualités attendues d'une construction telles que le confort, l'usage ou encore la longévité.

> *« La Qualité Environnementale d'un Bâtiment est l'aptitude de l'ensemble des caractéristiques intrinsèques du bâtiment, des équipements et de la parcelle à satisfaire les exigences liées à la maîtrise des impacts sur l'environnement extérieur et la création d'un environnement intérieur confortable et sain. »(Association HQE, WEB)*

Il n'existe pas de référence « officielle » ou « internationale » du concept de qualité environnementale. En effet, les différentes cultures mondiales confèrent des visions variées. À noter également que cette notion est évolutive avec le temps. Cependant, de nombreux ouvrages tentent de définir des exigences. Sans voir un caractère exhaustif, nous en présentons trois familles, rencontrées couramment dans le contexte occidental actuel.

La notion de maîtrise de l'énergie est une première exigence qui tend à se développer : *« L'efficacité de mise en œuvre de l'énergie et des ressources devient un aspect central de la qualité d'un bâtiment » p9 (Hegger et al., 2011)*. Dans un contexte énergétique en pleine mutation (une demande mondiale de plus en plus forte et une prise de conscience de l'impact sur l'environnement et l'épuisement de certains types d'énergies), un changement de mode de consommation et de production paraît inévitable (Bréchet, 2007).

La notion de confort intérieur nous semble également intéressante à citer. Avec un temps moyen de douze heures passées à l'intérieur de locaux et le fait que ces derniers soient dix fois plus pollués que l'extérieur comme l'énonce Paul De Haut (Haut, 2011), les effets du bâtiment sur le bien-être deviennent une préoccupation de santé publique. Les gestions de la température, de l'humidité, de

[9] Créée en 1996, l'association HQE® (reconnue d'utilité publique par décret du 5 janvier 2004) propose de faire évoluer les cadres de références, mutualiser les connaissances, dans le but de développer la qualité environnementale des bâtiments. http://assohqe.org

l'ambiance acoustique ou visuelle ou encore de la qualité de l'air, présentent des enjeux majeurs pour limiter certaines maladies et assurer un environnement sain et confortable aux occupants d'un édifice.

La notion d'éco-construction est la troisième exigence énoncée. La réflexion porte sur les matériaux et les techniques constructives. Le choix de ces derniers peut avoir un impact sur la santé (habitants et ouvriers), mais également sur les dépenses énergétiques, l'épuisement des ressources et les pollutions engendrées (Lefèvre, 2002).

Pour résumer, la qualité environnementale doit prendre en considération un lot d'exigences transversales et dépendant du contexte physique, culturel et temporel du bâtiment.

> *« L'image de l'architecture écologique varie radicalement selon le relief, le climat, les ressources régionales, la culture locale, le niveau social des usagers et les choix politiques de ceux qui les gouvernent » p 12 (Gauzin-Müller, 2005)*

Ces exigences prennent en compte l'impact des choix de construction sur l'environnement au sens large, mais également les conséquences sur la population concernée par ces choix. Comme nous l'avons énoncé plus haut, la « démarche qualité » tend vers une réponse ajustée aux besoins du client. En est-il de même avec une démarche de qualité environnementale ? Pouvons-nous limiter les exigences environnementales aux seules aspirations du client ? Un bâtiment répondant, par exemple, uniquement aux enjeux énergiques, explicités par ce client, peut-il être considéré comme ayant une qualité environnementale ?

Nous notons également que la notion de client est à distinguer de la notion d'utilisateur ou d'usager. En effet, au sens économique du terme le client est celui qui achète ou qui commande un bien ou un service, alors que l'utilisateur est celui qui utilise ce bien ou service. Le terme d'usager, plus couramment utilisé en architecture, ne correspond donc pas toujours au client, il peut même être inconnu lors de la conception.

Hubérac énonce *« Le développement durable n'est pas une démarche qualité […] cependant, […] il en est le prolongement logique dont l'importance ne peut que croître. » p211 (Hubérac, 2001).* Cette démarche tend non pas à contenter uniquement le besoin de l'utilisateur, mais à satisfaire des intérêts collectifs. Les choix engendrés lors de la conception des bâtiments n'influencent pas seulement la vie des futurs habitants, mais modifient également le quotidien d'autres personnes (pollutions de l'air, de l'eau ou encore les épuisements des ressources, etc.).

> *« La mobilisation en faveur de ces aspects de l'environnement relève du civisme plus que de la recherche de la qualité de vie individuelle et c'est bien en accrochant les composantes collectives de l'environnement aux intérêts directs des*

> *usagers que l'on se donne le maximum de chances de succès. » (GEM-DDEN, 2008)*

Nous considérons, pour la suite de notre travail, que pour aspirer à une qualité environnementale **globale**, le concepteur doit répondre à un ensemble d'enjeux environnementaux, dépendant d'un contexte, en vue de satisfaire des intérêts collectifs. En revanche, nous parlerons de qualité environnementale **orientée** quand l'attention se porte uniquement sur quelques exigences environnementales.

Nous tenons à ajouter que si les préoccupations écologiques semblent inévitables, certains architectes ou certains acteurs engagés dans le développement durable attirent l'attention pour qu'il n'y ait pas de survalorisation de l'intérêt environnemental au détriment de la qualité architecturale.

> *« Chauffage ventilation, climatisation réactivent cette inclination naturelle de l'industrie du bâtiment au mercantilisme incroyablement prédateur de qualité architecturale […] La RT2005 comme des cibles HQE® génèrent surconsommation de matériaux, de volumes nécessaires et un enlaidissement effroyable » p14 (Ricciotti, 2009)*

Dans la littérature, nous trouvons différentes approches d'accompagnement des concepteurs vers une qualité environnementale. Dans leur recensement des outils utilisés, Nadine Adra et Fawar Maamari (ADRA et MAAMARI, 2007) mettent en avant plusieurs catégories : les bases de données, les guides, les check-lists, les logiciels, les méthodes d'évaluations, etc. Addelghani-Idrissin (Abdelghani-Idrissi et al., 2004), classe ces outils dans trois familles : les méthodes d'évaluation de cycle de vie, les méthodes de labélisation et les méthodes de type check-list.

Suite à notre travail d'analyse des différentes méthodes d'assistances à l'éco-conception et à leurs manières d'accompagner le maître d'œuvre vers une qualité environnementale, nous retenons six approches : les approches dynamiques, les approches inventaires, les approches par liste/référentiels, les approches par base de connaissances, les approches par matrice et les approches génératives. Ces différentes approches sont définies et explicitées ci-dessous.

Les approches dynamiques

Les approches dynamiques (Thiers, 2008) permettent d'anticiper le futur comportement du bâtiment par le biais d'une simulation dynamique (orienté vers un domaine spécifique comme la thermique ou la lumière). Le calcul s'appuie d'une part, sur les informations de surface et d'ouvrage qui ont été renseignées sur le projet (matériaux, équipements, etc.) et éventuellement d'une

modélisation, d'autre part, sur une base de données relative aux domaines spécifiques simulés. Le calcul dynamique reproduit l'interaction entre les éléments du bâtiment et les éléments extérieurs (cf. Figure 6). Cette simulation permet d'anticiper le futur comportement de l'édifice et ainsi estimer, dans un certain domaine, une qualité environnementale spécifique.

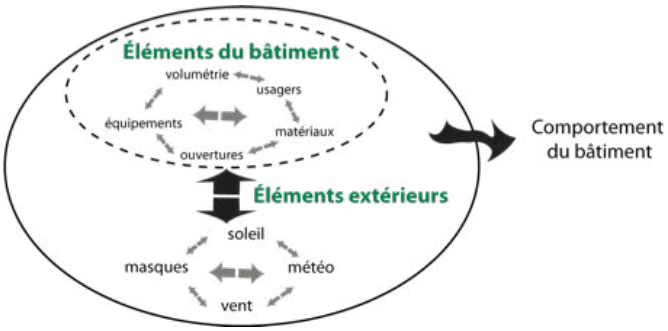


Figure 6 : schématisation des approches dynamiques. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

La simulation dynamique modélise, pour un pas donné, le comportement de l'édifice en fonction des hypothèses et des contraintes renseignées. Ces approches s'effectuent notamment en trois étapes. Premièrement, la définition des caractéristiques du bâtiment (volumétrie, matériaux, techniques, etc.) et de son site (masques, géographie, climat, etc.). La deuxième étape consiste à la simulation. Le modèle renseigné est ensuite transféré vers un moteur de simulation dynamique. Troisièmement**,** l'analyse des résultats ou comparaisons de différents scénarios, pouvant conduire à d'éventuelles modifications. Les algorithmes utilisés par les moteurs de simulation sont notamment confrontés à ceux d'autres logiciels, mais également comparés, lors d'expérimentations, aux données recueillies sur site (JOSEPH et al., 2011). Ces vérifications permettent de s'assurer de l'adéquation des modèles de simulation avec les réalités physiques. Nous retrouvons notamment dans cette catégorie d'approche, les logiciels suivants: Ecotect[10], TRNSYS[11] (Transient System Simulation Tool), ESP-r[12] , Pleiades+COMFIE[13] , ArchiWIZARD[14] , Eco Designer[15], etc.

[10] Développé par Autodesk : http://www.autodesk.fr/adsk/servlet/pc/index?siteID=458335&id=15062033

[11] Développé par l'université de Strathclyde en Écosse (Energy Systems Research Unit) : http://www.trnsys.com/

[12] http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r.htm

[13] Développé par le Centre Énergétique de l'École des Mines de Paris et par l'équipe IZUBA énergies : http://www.izuba.fr/logiciel/pleiadescomfie

[14] Développé par les sociétés HPC-SA et TBC : http://www.archiwizard.fr/societe

[15] Développé par Graphisoft : http://www.graphisoft.com/products/ecodesigner/

Les approches inventaires

Les approches inventaires, appelées aussi analyse de cycle de vie (ACV) ou encore éco-bilan (Jolliet et al., 2010), permettent d'effectuer une quantification précise des impacts environnementaux (Trocmé et Peuportier, 2007) des bâtiments, sur un certain nombre d'enjeux (l'épuisement des ressources, le réchauffement global, les déchets produits, etc.).

> *« L'analyse quantifie les flux de matières et énergies entrants et sortants à chaque étape du cycle de vie. À partir de ces données, on procède à l'évaluation d'un ensemble d'impacts environnementaux (consommation d'énergie, effet de serre, épuisement des ressources naturelles, acidification, eutrophisation, quantité de déchets générés...). » (ADEME, WEB)*

Le concepteur renseigne les choix de projet, par le biais d'une base de données ouverte ou fermée, telle que les matériaux ou encore les types d'équipements utilisés (sanitaire, chauffage, etc.). Un inventaire général est effectué (cf. Figure 7), des matières entrantes et sortantes de l'édifice, pour chaque enjeu environnemental et pour un certain temps donné, déterminant ainsi un scénario d'impact.

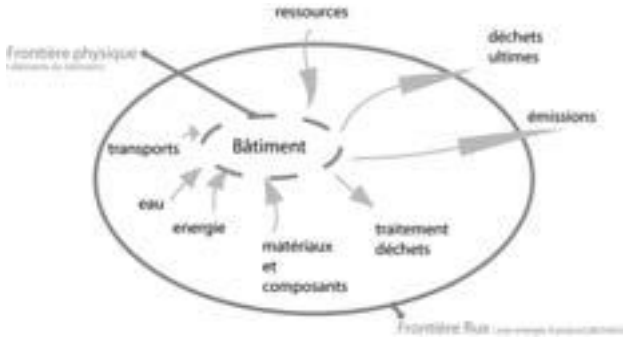


Figure 7 : Principe de calcul de l'inventaire général. Inspiré de (Trocmé et Peuportier, 2007).

Nous retrouvons une vingtaine d'outils et de méthodes énoncés dans les études sur les démarches d'analyses environnementales telles que (Abdelghani-Idrissi et al., 2004), (Lützkendorf et al., 2004),

(Thiers, 2008) ou encore (ADRA et MAAMARI, 2007). Les plus cités sont notamment : BEES[16] , ECOQuantum [17], Envest 2 [18], Equer[19] , TEAM[20] · LEGEP [21], Envionmental Impact Estimator[22], Etc.

Les approches par listes/référentiels

Les approches par liste ou référentiel sont des méthodes qui énumèrent un certain nombre d'enjeux environnementaux. Pierre André, dans son ouvrage sur l'évaluation de l'impact sur l'environnement (André et al., 2003) différencie notamment :

- Les listes simples : énumération simple d'enjeux à prendre en compte.
- Les listes descriptives : énumération avec des compléments de définitions.
- Les listes avec seuil : énumération avec des seuils de valeur.
- Les listes avec échelle et pondération : une pondération des enjeux environnementaux, les uns par rapport aux autres.
- Les listes questionnaires : composé de questionnements et de réponses associées, dont l'ensemble est organisé par enjeux environnementaux.

Ces listes peuvent aider, dans un premier temps, à définir des exigences écologiques, et éventuellement leur importance à prendre en compte pour tendre vers une qualité recherchée. Dans un second temps, elles peuvent servir de base pour une estimation de la qualité environnementale. Chaque enjeu énoncé par la liste constitue un critère d'évaluation. Cet ensemble de critères forme un référentiel où le mode d'appréciation est explicité.

---

[16]Développée par NIST (National Institue of Standards Technology) : http://www.nist.gov/el/economics/BEESSoftware.cfm

[17] Développé par IVAM University of Amsterdam : http://www.ivam.uva.nl/

[18] Développé par BRE : http://envest2.bre.co.uk/

[19] Développé par le Centre Énergétique de l'École des Mines de Paris et par l'équipe IZUBA énergies : http://www.izuba.fr/

[20] Développé par Écobilan : https://ecobilan.pwc.fr

[21] Développé par LEGEP Software GmbH. : http://www.legep.de

[22] Développé par Athena Sustainable Materials institute : http://www.athenasmi.ca

Les différentes approches de liste/référentiel peuvent être représentées par les méthodes suivantes : certification NF-Démarche HQE®[23], Certification LEED[24], Certification BREAM[25], Ecopass du Vorarlberg[26], Bâtiment durable méditerranéen (BDM)[27], Certification CASBEE[28], etc.

Les approches par matrices

Les approches par matrices sont des tableaux à doubles entrées (ou plus) mettant en avant des liens de causes à effets. C'est notamment Léopold (Leopold et al., 1971) qui propose en 1971 l'utilisation de ce système pour l'évaluation de l'impact des projets de construction.

> *« Le système proposé par Léopold et al. se fonde sur l'utilisation de matrices. On a sur un axe les actions causant un impact environnemental et sur l'autre, les conditions environnementales qui peuvent être affectées. » p218 (André et al., 2003)*

Les approches par matrices se sont développées, répondant à des besoins spécifiques. Nous trouvons notamment quatre types : simple, descriptive, numérique et à symboles (Galvez-Cloutier et Guesdon, 2011). Elles servent essentiellement à l'identification des impacts et des enjeux environnementaux liés à un contexte donné.

Le développement, dans notre domaine d'étude, de ce type d'approche s'étant estompé ces dernières années, les exemples contemporains sont peu nombreux. Cependant, quelques méthodes, bien que datant, nous semblent pertinentes et toujours d'actualités. Il nous paraît important donc de citer : « Mahoney tables » Les Tables de Mahoney[29] et Givoni bioclimatic chart [30].

---

[23] Une démarche tournée vers la certification française : http://assohqe.org/hqe/

[24] Une certification reconnue internationalement : http://www.usgbc.org

[25] Une certification reconnue internationalement : http://www.breeam.org/

[26] Une méthode d'incitation par la valorisation financière dans le Lad du Vorarlberg en Autriche : http://www.energieinstitut.at/

[27] Une assistance à la maitrise d'œuvre environnementale, développée dans le cadre méditerranéen : http://polebdm.eu/

[28] Une certification japonaise : http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/index.htm

[29] Une méthode composée d'une série de tables, guide pour une architecture bioclimatique. Développée par l'architecte Carl Mahoney, avec John Martin Evans et Otto Königsberger et publié en 1971 (United Nations. et al., 1971).

[30] Une méthode suggérée par Givoni, en 1963, déterminant en fonction du climat les orientations constructives, sur la base du digramme de confort (Givoni B, 1978).

Les approches par bases de connaissances

Les approches par bases de connaissances consistent en un ensemble d'informations plus ou moins ordonnées, apportant des connaissances spécialisées. Des indications de l'ordre de bonnes pratiques, de caractéristiques ou d'enjeux écologiques peuvent être renseignées. Ces bases de connaissances sont susceptibles d'apporter des informations utiles pour le concepteur afin de tendre vers une qualité environnementale. Elles peuvent se trouver sous forme de guides, de livres, ou encore de forums. Nous citons pour exemples: La maison des [nega]Watts [31] (livre), Le traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique [32] (livre), Energy and Environment in Architecure [33] (livre), Environmental design[34] (livre), Eco.mod [35](site), Forum « zoneVerte »[36].

Les approches génératives

Les approches génératives appelées « generative system » (système génératif) (Caldas, 2002) font appel à un « mécanisme évolutionnaire » dans le but d'une optimisation créative. Cette logique d'affinement est devenue récurrente depuis les années 1990 avec l'avènement de l'informatique et l'intérêt grandissant de l'optimalisation dans les domaines énergétiques, lumineux ou encore de coûts (Lamour, 2011).

> *« On entend par algorithme génétique, un processus informatique calqué sur le concept de sélection naturelle de Darwin : population, croisement, reproduction, sélection. Les concepts architecturaux sont exprimés sous forme de règles et leur évolution peut être testée rapidement. Un modèle numérique est transformé à partir de croisements successifs et évalué en fonction d'objectifs et de contraintes prédéfinies. L'intérêt des mécanismes évolutionnaires repose sur leurs capacités à parcourir un espace de solutions et à évoluer dans un système sous contraintes […] » (EcCoGen, WEB).*

Sous la forme de « Modélisation déclarative », le concepteur instance les propriétés environnementales auxquelles devraient répondre le projet. Le système génératif, sur la base de ces

---

[31] « Le guide malin de l'énergie chez soi » (Salomon et Bedel, 2001)

[32] « Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable » (Liébard et De Herde, 2006)

[33] « A Technical Design Guide » (N. Baker et Steemers, 2000)

[34] « an introduction for architects and engineers » (Randall Thomas, 2006)

[35] http://www.crai.archi.fr/eco.mod/eco.mod/N1Accueil.html

[36] http://www.zone-verte.info/modules/newbb/index.php?cat=11

déclarations et d'algorithmes, propose une grande diversité de configuration (architecturales, formelles, techniques, etc.). Ces dernières peuvent servir de références environnementales pour la conception du projet.

Nous citons pour exemples: Ec-Co-Gen[37], BEopt [38], GenOpt[39], JEplus[40].

Conclusion

Ces diverses approches envisagent de manières différentes la qualité environnementale. Certaines tendent à évaluer ou à estimer une pertinence à partir des choix effectués dans le projet, d'autres aspirent à orienter la proposition.

Dans le cadre de notre étude, nous adopterons la terminologie suivante, en distinguant les approches par suggestion des approches par estimation.

Les approches par bases de connaissances, génératives et à matrices, sont des approches par suggestion. La clarification des enjeux écologique et l'incitation vers des solutions adaptées permettent d'orienter le concepteur vers des choix architecturaux spécifiques. De meilleures intégrations et compréhensions des enjeux environnementaux peuvent aboutir à un projet ayant une qualité environnementale supérieure. Ce type de méthode peut donc assister lors de la conception, la formulation des problèmes et l'émergence d'une solution primaire.

Les approches dynamiques et inventaires sont des méthodes estimatives. Évaluer la qualité environnementale, c'est dire si le bâtiment possède une certaine propriété écologique, à quel niveau ou encore sur quels aspects ou enjeux. Cette appréciation permet de faire un bilan environnemental à un instant particulier de la conception, le concepteur détient alors la possibilité de modifier les éléments qui ne seraient pas satisfaisants afin de les améliorer. Ce type d'approche intervient donc dans l'assistance à l'évaluation d'une proposition.

Les approches par listes/référentiels, qui servent à clarifier les enjeux environnementaux et à proposer des bases éventuelles pour une appréciation, peuvent, par conséquent, demeurer à la fois des méthodes à suggestion et des méthodes à estimation. Certaines méthodes estimatives peuvent posséder un caractère labélisant.

---

[37] http://eccogen.crai.archi.fr/wordpress/

[38] https://beopt.nrel.gov/home

[39] http://simulationresearch.lbl.gov/GO/

[40] http://www.iesd.dmu.ac.uk/~yzhang/wiki/doku.php?id=software:java:jeplus

2.3 Conclusion du chapitre

Nous avons vu, dans ce chapitre, diverses méthodes d'assistance à l'éco-conception nous permettant de les classifier (cf. Figure 8). La classification s'opère d'après les éléments suivants :

- Le moment d'intervention dans le processus de conception.
- Le type d'approche (par suggestion ou par estimation), qualifiant la manière d'accompagner le concepteur.
- Les enjeux environnementaux considérés. Ils sont de l'ordre global ou orienté vers un domaine spécifique, tel que nous l'avons définie (cf. Chapitre 2.2).

Bien que ces différentes approches et leurs caractéristiques soient distinctes, elles peuvent demeurer complémentaires.

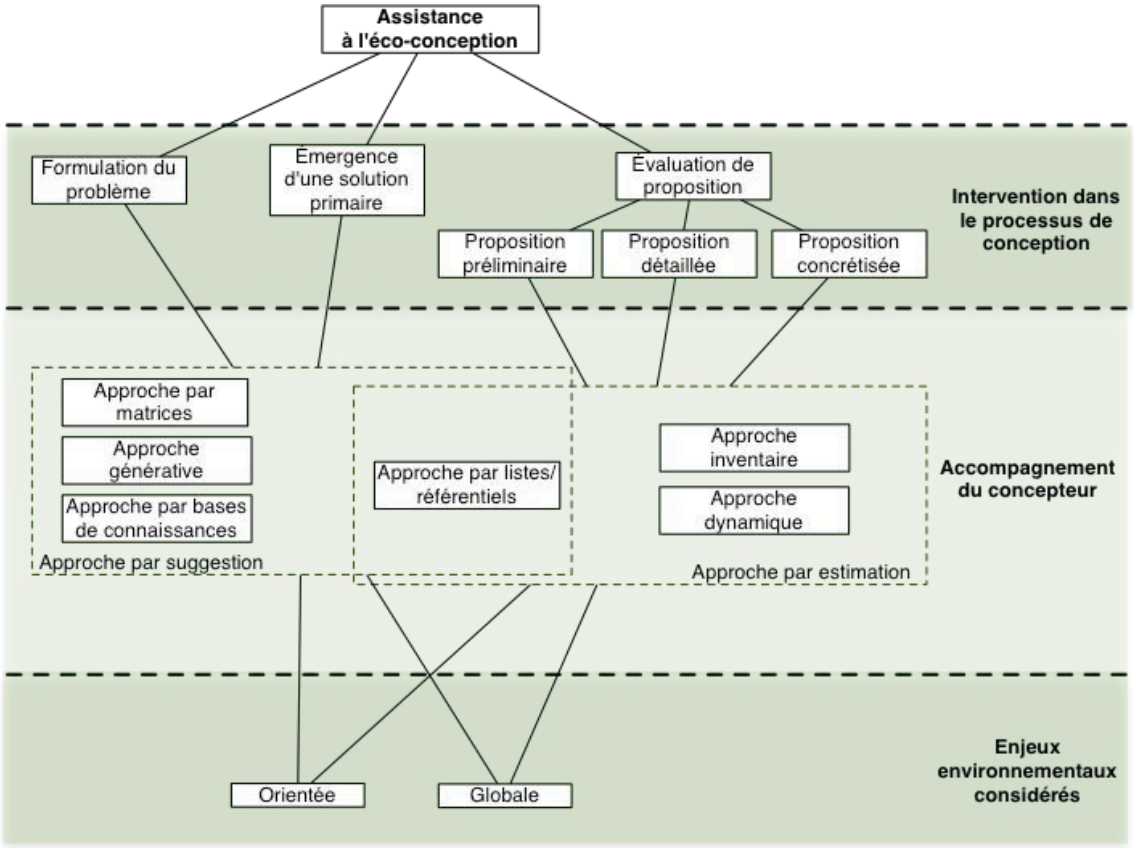


Figure 8: Classification des assistances à l'éco-conception. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Chapitre 3 : État de l'art des outils d'assistance à l'éco-conception

Ce chapitre s'attache à dresser l'état de l'art des outils d'assistance à l'éco-conception. Sans avoir un caractère exhaustif, nous essayons d'exposer un ensemble représentatif des différentes assistances, dont la finalité est d'illustrer notre classification (cf. Chapitre 2.2). Nous présentons en particulier deux approches dynamiques, Pleiades+Comfie et ArchiWIZARD, pour leurs caractéristiques respectivement, complète/détaillée et simple/intuitive, de la simulation thermique. Deux approches inventaires sont également exposées, Equer possède la particularité d'être associé à Pleiades+Comfie et ENVEST II un outil web indépendant. Les approches par listes/référentiels sont illustrées par une certification française : « NF-démarche HQE », par un système de subvention : « Eco-pass du Vorarlberg » et par une méthode d'assistance à la maîtrise d'ouvrage : « Bâtiment durable méditerranéen ». La méthode « Mahoney tables » illustre une approche par matrice. La méthode de bases de données relationnelles « Éco-mod » (Gholipour, 2011) et l'ouvrage (Liébard et De Herde, 2006) « Traité d'architecture bioclimatique » présentent deux exemples d'approches par bases de connaissances. Pour finir, nous avons choisi d'exposer la méthode Ec-Co-Gen représentative des approches génératives.

Certains exemples cités sont de l'ordre de l'outil tandis que d'autres sont de l'ordre d'une démarche. Pour l'ensemble des illustrations, nous précisons leurs buts et leurs objectifs en les situant dans notre classification. Pour les outils, nous apportons une description du fonctionnement global en détaillant les éléments d'entrées, de sorties et les éventuelles interfaces proposées aux utilisateurs. Pour les démarches, nous précisons la procédure générale en exposant éventuellement quelques cas de figure. Pour les approches à estimations, nous soulignerons également le mode de visualisation de la qualité environnementale estimée ou simulée du projet.

Par le biais de nos illustrations, nous proposons, en fin de chapitre, une critique des différentes approches identifiées. Cette critique contribue une première base dans la spécification du travail de développement de la méthode Éco-profil.

3.1 Pleiades+COMFIE

Pleidaes+Comfie est une plate-forme de logiciels de simulations dédiée à l'aide à la conception énergique, développée par le Centre Énergétique de l'École des Mines de Paris et par l'équipe IZUBA énergies. Ce logiciel permet de faire des simulations de la thermique et des ambiances d'une proposition, afin d'anticiper les performances futures.

Il est indiqué sur le site du développeur (IZUBA énergies), ou dans le travail sur les outils de simulation de Thierry Salomon (Salomon et al., 2005), que l'utilisation de ce logiciel est possible dès la phase d'esquisse jusqu'aux étapes les plus avancées de la proposition. Cependant certaines données à renseigner comme les types de techniques utilisés (chauffage, ventilation, etc.) ne sont pas toujours compatibles avec les périodes préliminaires d'un projet. Dans notre étude, nous cataloguons donc Pleiades+COMFIE dans les assistances à l'évaluation d'une proposition détaillée.

Pleiades+COMFIE propose trois modules aux utilisateurs, COMFIE (un noyau de calcul), Pleaides (une interface de saisie de bibliothèque, de gestion du projet et de résultats) et Alcyone (une interface de saisies et d'affichage du modèle de l'opération).

La simulation se base sur une modélisation dite simplifiée du bâtiment, effectuée grâce au module de saisie graphique Alcyone (cf. Figure 9). Par le biais d'une modélisation orientée objet, l'utilisateur associe les éléments pour former des objets complexes tels que des murs, des ouvertures, des zones thermiques, etc.

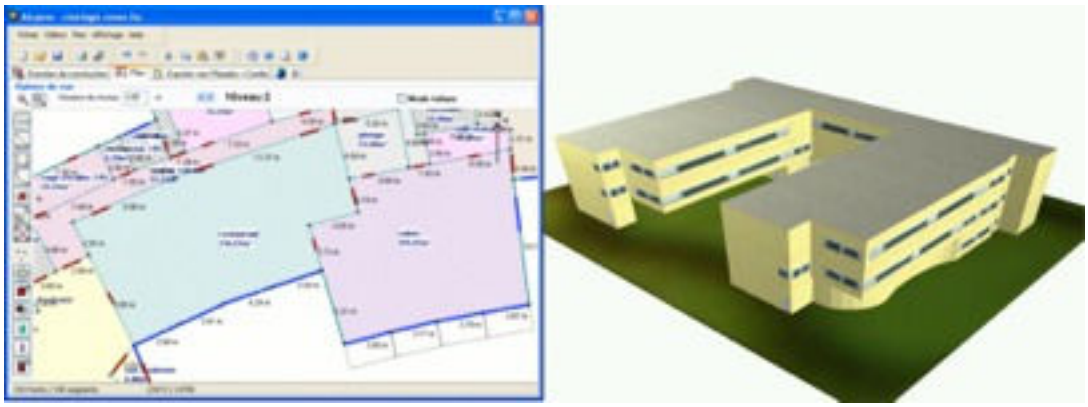


Figure 9 : Aperçu du module de saisie graphique Alcyone. (Images récupérées sur (IZUBA énergies, WEB)).

> *« Afin d'être accessible aux professionnels, et de réduire le temps de calcul à quelques minutes sur micro-ordinateur, les modèles ont été simplifiés ici grâce à une technique nommée "analyse modale". (Peuportier, 2006)*

La modélisation constitue une partie des données d'entrées nécessaires, elle est transférée vers le module Pleiades (cf. Figure 10). Elle est complétée par les caractéristiques du bâtiment telles que les scénarios (occupation, chauffage, etc.), les types de ventilations (naturelle, mécanique, etc.) ou encore les indications géographiques. Une fois toutes les propriétés informées, la simulation peut être effectuée, sur une période donnée et un pas déterminé.

« Dès que la simulation démarre, le cœur de calcul, à chaque pas de temps tn et pour chaque zone du bâtiment, calcule la température de zone au temps tn+1 à partir de la température au temps tn. Il active pour cela, séquentiellement, chacun des modules additionnels qui transmettent leur contribution sous la forme d'une puissance fournie à chaque zone thermique du bâtiment »p40 (Thiers, 2008)

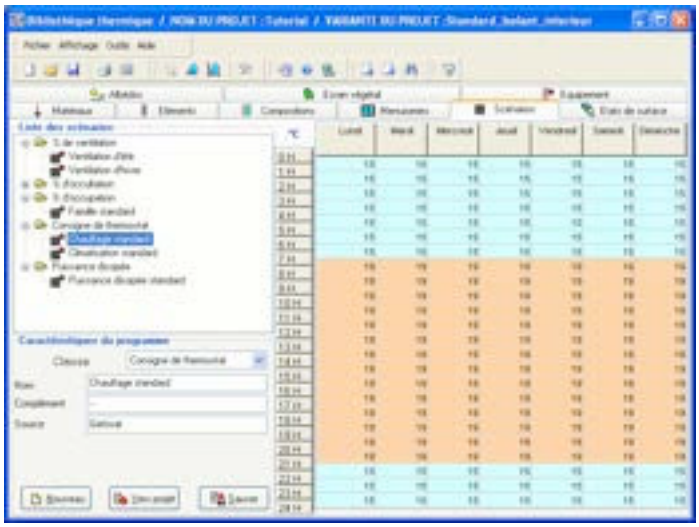


Figure 10 : Aperçu du module de saisie des données de scénarios Pleiades. (Image récupérée sur (IZUBA énergies, WEB)).

Les résultats de la simulation sont présentés sous forme de graphes (cf. Figure 11), de tableaux ou encore de diagramme de Sankey, renseignant les informations suivantes : températures des zones, rayonnements solaires, taux d'inconforts, besoins énergétiques (chauffages, climatisations), etc.

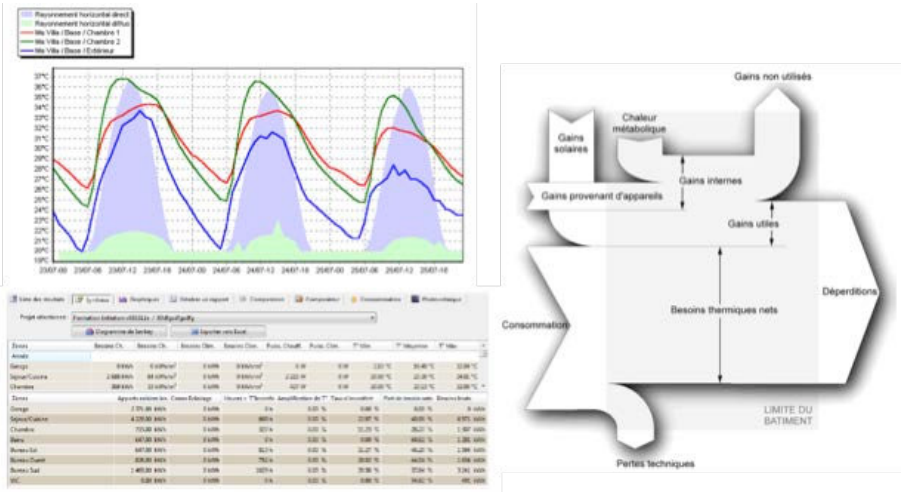


Figure 11 : Résultats de la simulation du logiciel Pleiades+Comfie. Image récupérée sur (IZUBA énergies , WEB).

3.2 ArchiWIZARD

Les sociétés HPC-SA et TBC, dans leur rapprochement technologique et dans le cadre du Grenelle de l'environnement, ont pour thème le développement de logiciels de simulation énergétique en environnent 3D. Autour de la problématique du bâtiment économe, le logiciel ArchiWIZARD est centré sur les démarches règlementaires françaises, par exemple la RT 2012.

Cet outil permet de déterminer les éléments suivants : les apports solaires précis et localisés, la thermique du projet, la lumière naturelle, les besoins d'éclairage artificiel, les besoins en eau chaude sanitaire, le potentiel de production énergétique intégrée, etc. Il propose ainsi une simulation de l'impact des choix architecturaux et techniques du bâtiment en temps réel.

Les développeurs ont centré ce logiciel sur une facilité d'intégration dans le processus de conception, par son aspect intuitif, sa rapidité et l'utilisation des outils de conception habituels (compatibilité de logiciel). Ils annoncent notamment son emploi dès les premières phases de conception. Cependant, tout comme le logiciel Pleiades+COMFIE plusieurs données à renseigner nécessitent un certain avancement dans la définition du projet. Dans notre étude, nous cataloguons donc ArchiWIZARD dans les assistances à l'évaluation d'une proposition détaillée.

Cet outil considère une qualité environnementale orientée principalement vers la performance énergétique et thermique du bâtiment, mais il analyse également la notion de qualité et quantité lumineuse.

> *« Les choix architecturaux et techniques étant les leviers majeurs pour améliorer la performance énergétique future d'un bâtiment, les Architectes et Bureaux d'études sont amenés à collaborer très en amont, dès les premières phases d'esquisse. ArchiWIZARD© est l'outil de dernière génération pour concevoir et rénover des bâtiments alliant performances éco énergétiques, intelligence créative et confort. » (ArchiWIZARD, WEB)*

Une donnée d'entrée essentielle à la simulation est la modélisation de la proposition, cependant le logiciel ne possède pas de modeleur pour définir la géométrie du bâtiment à simuler. Une plate-forme de transfert des modèles CAO 3D est intégrée. L'utilisateur importe l'une des « 3D » réalisée sur son modeleur habituel (sketchup, ArchiCAD, AutoCAD 3D, Revit, etc.) et l'outil détecte automatiquement les pièces, les parois, les ponts thermiques ou encore les baies. Des valeurs par défaut sont alors attribuées (nature des baies, de l'isolation, des parois, etc.). Dès l'importation d'un modèle géométrique, le logiciel propose une estimation énergétique (avec ces valeurs par défaut). L'utilisateur a ensuite la possibilité d'intervenir sur certains éléments : modification des données

techniques des parois, des baies, des planchers. Il pourra également ajouter des baies, des protections solaires et des équipements solaires, etc. Le modèle importé ne pourra être modifié dans sa géométrie. À chaque changement, une nouvelle simulation peut être effectuée.

Les résultats des simulations sont présentés sous forme de données chiffrées (cf. Figure 12), de graphiques ou de rapports (notamment les notes de calcul règlementaire RT 2012 avec le moteur du CSTB).

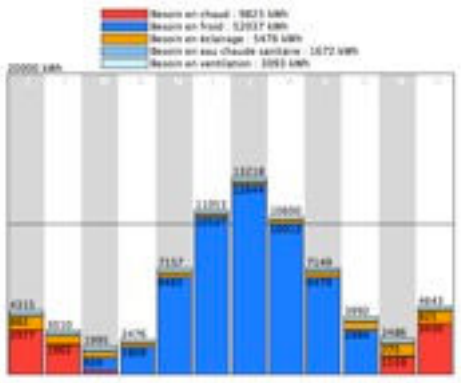


Figure 12 : Exemple de diagramme mensuel énergétique d'une zone, extrait d'un rapport PDF de la version d'évaluation du logiciel ArchiWIZARD.

3.2 EQUER

EQUER est un logiciel, basé sur un « inventaire », développé par le Centre Énergétique de l'École des Mines de Paris et par l'équipe IZUBA énergies. Il est associé à Pleiades+COMFIE (voir description page 59).

Tout comme Pleiades+COMFIE, le développeur (IZUBA énergies, WEB) indique une utilisation dès la période d'esquisse jusqu'aux étapes les plus avancées du projet. Ce logiciel étant lié et dépendant de Pleiades+Comfie, nous cataloguons donc EQUER dans les assistances à l'évaluation d'une proposition détaillée.

EQUER considère douze paramètres environnementaux sur les quatre phases du cycle de vie du bâtiment tels que l'effet de serre (t CO_2), les déchets radioactifs (dm^3), les déchets internes, etc. Ce logiciel s'oriente donc vers la mesure d'impacts quantifiables des choix architecturaux, techniques, et sociaux.

Les données informées sur Pleiades+COMFIE et les résultats de la simulation (quantité de matériaux, besoin de chauffage, etc.) servent de base pour EQUER. D'autres informations nécessaires sont ensuite renseignées par le concepteur (cf. Figure 13) comme le mode de gestion de déchets, les

comportements des occupants, les types de chaudières pour l'eau chaude sanitaire, les transports des usagers, la nature des énergies utilisées, etc. (IZUBA énergies, WEB).

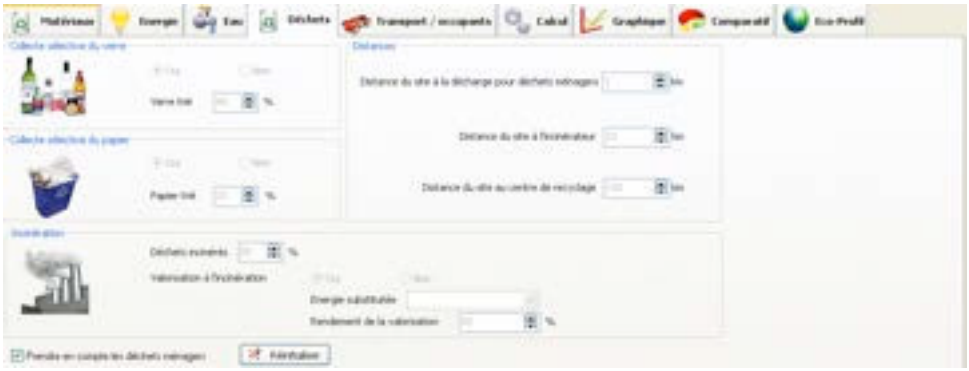


Figure 13 : Fenêtre de renseignement sur la gestion des déchets d'un projet dans EQUER. (Image issue du logiciel EQUER en mode démonstration).

L'outil se fonde sur les données renseignées ainsi que sur la base de données EcoInvent [41] pour effectuer l'inventaire des différents effets engendrés sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment (Peuportier, 2008) : la construction, l'utilisation, la rénovation et la démolition.

Les résultats des calculs inventaires sont présentés sous forme de tableaux, de graphiques à barres, ou de diagramme radar. Ces diverses visualisations permettent l'affichage des impacts sur le cycle de vie du bâtiment (cf. Figure 14) et une comparaison graphique entre projets ou variantes sur les critères d'impact.

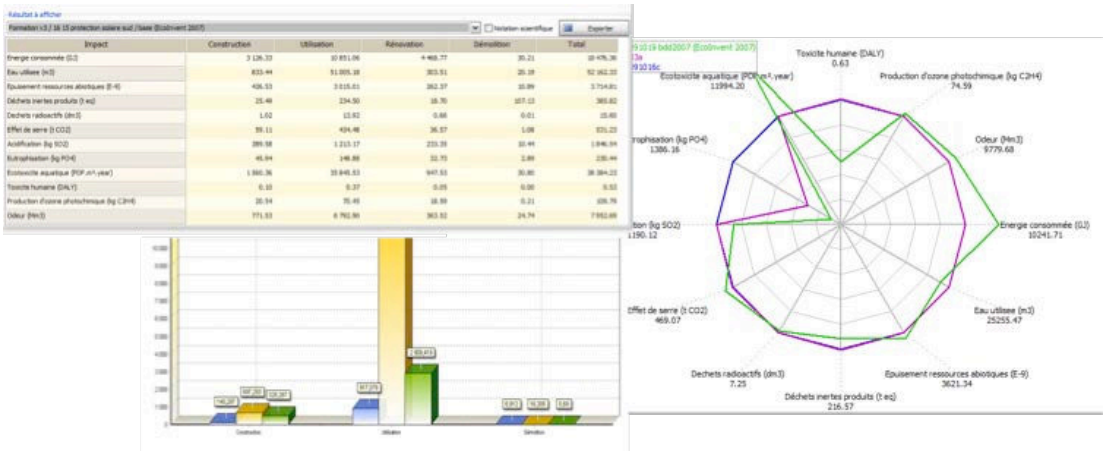


Figure 14 : Fenêtre de présentation des résultats du logiciel EQUER. Image issue du logiciel EQUER en mode démonstration ou du site développeur (IZUBA énergies).

[41] Une centre de base des données, d'analyse de cycle de vie : http://www.ecoinvent.ch/

3.4 ENVEST II

ENVEST II est un logiciel d'approche inventaire. Vijayam et Kumar (Vijayan et Kumar, 2005) précisent qu'il s'agit de l'un des premiers logiciels au Royaume-Uni pour explorer les moyens de réduire l'impact environnemental des bâtiments, au stade de la conception. Sous forme d'outil web, il permet d'expliciter les impacts environnementaux et les coûts de la maintenance et de l'exploitation de certains choix de construction : forme, matériaux, techniques constructives, équipements techniques, etc.

Cette méthode intervient dans l'assistance à l'évaluation d'une proposition détaillée et intègre douze critères énoncés notamment par »(Abdelghani-Idrissi et al., 2004) : changement climatique (Tonne éq . CO_2 sur 100ans), acidification (Tonne éq. SO_2), épuisement de l'ozone (Kg éq. CFC_{11}), etc. Ce logiciel s'oriente donc vers la mesure d'impacts quantifiables des choix architecturaux et techniques.

Il est proposé en deux versions, l'une estimant avec des données environnementales et financières par défaut (Estimator) l'autre autorisant une saisie de données propres (Calculator) (Envest II, WEB).

Des saisies de données simples sont proposées au concepteur (cf. Figure 15): forme du bâtiment, nombre d'étages, matériaux, composants, équipements techniques, etc.

Figure 15 : Fenêtres de saisie de données dans ENVEST II. Gauche saisie de forme, droite saisie des matériaux de l'enveloppe extérieure. Images récupérées sur (Thistlethwaite, s. d.)

> *« Ensuite, Envest 2 identifie ces éléments en prenant en compte le plus d'influence sur l'impact sur l'environnement et évalue le coût tout au long de la vie du bâtiment. Il montre également l'influence du choix des différents matériaux. Il prévoit également l'impact économique et environnemental pour diverses stratégies de chauffage, de rafraîchissement et de fonctionnement du bâtiment. »(Abdelghani-Idrissi et al., 2004)*

Les résultats sont présentés sous forme de graphiques et de rapports (cf. Figure 16), exposant la valeur obtenue pour chaque critère d'impact et laissant la possibilité de comparer plusieurs projets ou variantes. Pour faciliter la lecture, l'interprétation et les comparaisons, les résultats sont présentés sous forme d'« Ecopoint » (100 « Ecopoints » représentant l'impact moyen d'un citoyen britannique pendant un an). Plus le projet aura d'« Ecopoint » plus il aura d'impacts sur l'environnement (Envest II, WEB).

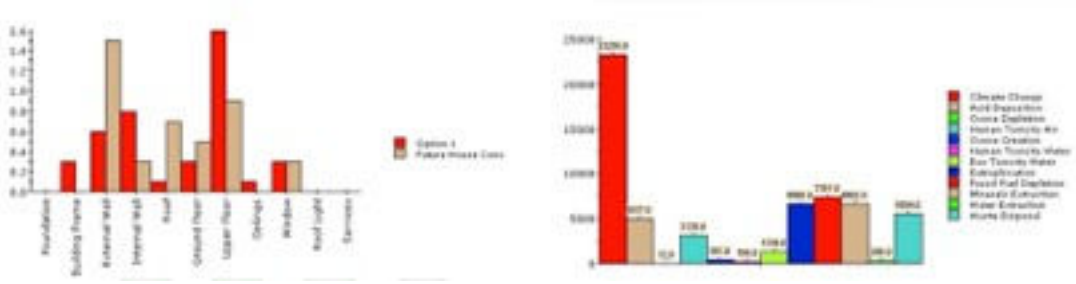


Figure 16 : Présentation des résultats sous ENVEST II. Gauche : comparaison de deux projets, droite : valeur des critères d'impact pour un projet. Images récupérées sur (Thistlethwaite, s. d.)

3.4 Certification NF-Démarche HQE®

La démarche HQE® a été initiée par « l'association HQE » créer en 1996, dans le but de promouvoir la qualité environnementale des bâtiments neufs et existants. Un regroupement d'institutions politiques, d'organismes officiels (PUCA[42], Ademe[43], CSTB[44], etc.) et d'associations professionnelles (artisans, architectes, industriels, etc.) a abouti à la formalisation d'une approche au moyen d'une grille de quatorze cibles organisées autour de quatre objectifs (éco-construction, éco-gestion, confort et santé) (cf. Figure 17) qui a été publié notamment en 2002 sous forme de référentiel. Ce dernier est composé de deux volets. Un volet relatif au système de management environnemental des opérations (SME) et un volet relatif à la qualité environnementale du bâtiment (QEB). Cette démarche n'est pas un outil en soi, mais propose une approche par estimations de la qualité environnementale.

La méthode considérant un ensemble varié d'enjeux environnementaux, nous la classons comme une approche environnementale globale. Nous mettons tout de même une réserve sur le choix des objectifs par le maître d'ouvrage, bien que la méthode soit à la base globale, la certification peut être quelque peu orientée. Les critères considérés sont pour certains quantitatifs et pour d'autres

[42] Plan Urbanisme Construction Architecture : http://rp.urbanisme.equipement.gouv.fr/puca/

[43] Agence de l'Environnement et de la maîtrise de l'Énergie : http://www2.ademe.fr

[44] Centre Scientifique et Technique du bâtiment : http://www.cstb.fr/

qualitatifs. Elle n'est pas une aide à la conception, mais une méthode d'aide à l'évaluation. Cette dernière étant effectuée (pour la phase de conception qui nous intéresse dans ce cadre d'étude) une fois la conception terminée, il s'agit donc d'une assistance à l'estimation d'une solution concrétisée.

Figure 17 : Les 14 cibles de la démarche HQE®.

En 2004, par la signature d'une convention entre « l'association HQE » et l'organisme AFNOR[45], une première certification « NF ouvrage-démarche HQE® » a été mise en place. Nous retrouvons aujourd'hui trois organismes de certifications mandatés par L'AFNOR. Cerqual propose « NF logement - démarche HQE® », relative aux bâtiments de logements collectifs neufs. Certivéa présente « NF bâtiment tertiaire - démarche HQE ®», concernant les opérations tertiaires neuves ou rénovées et « NF bâtiment tertiaire en exploitation- démarche HQE® », relative aux bâtiments tertiaires en exploitation. Cequami propose « NF maison individuel- démarche HQE® » et « NF maison rénovée - démarche HQE® », respectivement pour les maisons individuelles neuves et rénovées. Une certification « NF aménagement – démarche HQE® », relative aux aménagements urbains est en cours de développement par Certivéa.

Ces différentes labellisations françaises sont également utilisées, sans adaptation particulière, en Belgique, Luxembourg, Tunisie et en Algérie et d'autres référentiels sont en préparation pour le Liban, le Vietnam ou encore l'Argentine. (Association HQE, 2010)

L'ensemble de ces organismes de certification propose des référentiels multicritères (sur la base des travaux de « l'association HQE » et des quatorze cibles) et adaptés aux enjeux de l'opération. Pour illustrer cette démarche, nous avons choisi la certification « NF bâtiment tertiaire –démarche HQE » délivrée par Certivéa. Le domaine d'application est tous les bâtiments ou parties de bâtiments tertiaires (à l'exception des établissements de santé).

La démarche de certifications se déroule de la manière suivante. La demande est faite par le maître d'ouvrage, dès la phase de programmation. Elle est composée de deux référentiels (SME et

[45] Organisme de certification : http://www.afnor.org

QEB) articulés autour de trois audits. À la programmation, le maître d'ouvrage sélectionne les niveaux d'exigences souhaités (au moins trois cibles de niveau « très performant - TP », sept cibles maximum au niveau « base –B »). Il exécute les évaluations selon les référentiels en vigueur pour chacune des trois phases. Les audits sont des processus indépendants qui ont pour but de vérifier que les exigences sont respectées et que l'estimation de la qualité est bien effectuée.

Dans le cadre de notre étude, nous nous intéressons au référentiel « QEB » relatif à la mesure de la qualité environnementale du bâtiment. Il est composé d'une liste de quatorze cibles décomposées en sous-cibles, eux même décrits de critères d'évaluation. Chaque critère possède des descriptions d'exigences à atteindre pour valider un niveau : B, T ou TP. Certaines exigences sont de l'ordre du générique, d'autres de l'ordre de l'additionnel concernant une situation programmatique particulière.

Ainsi l'évaluation de la qualité environnementale se réalise selon un schéma bien déterminé. Afin d'illustrer nos propos, nous prenons pour exemple la sous-cible « 4.2 réduction de la consommation d'énergie primaire » de la cible « 4. Gestion de l'énergie ».

Le critère « 4.2.1 réduire la consommation d'énergie primaire due au chauffage, au refroidissement, à l'éclairage, à l'ECS, à la ventilation et aux auxiliaires de fonctionnement » possède deux procédures d'évaluation. L'une utilise un moteur de calcul thermique réglementaire en vigueur afin de calculer le coefficient de consommation conventionnelle d'énergie primaire (Cep en kWhep/an.m^2). L'autre utilise un logiciel de simulation thermique dynamique pour calculer les consommations des postes règlementaires. Le niveau atteint par le critère dépend ensuite de la comparaison entre les résultats obtenus et une valeur de référence, voir (cf. Figure 19).

Le résultat de l'évaluation des cibles et sous-cibles forme ainsi un profil environnemental (cf. Figure 18). Présenté soit de manière détaillée (note et remarque pour l'ensemble des sous cibles et des exigences) soit de manière globale (note des cibles). Si les exigences sont atteintes et après confirmation du comité d'application, l'opération obtient le label.

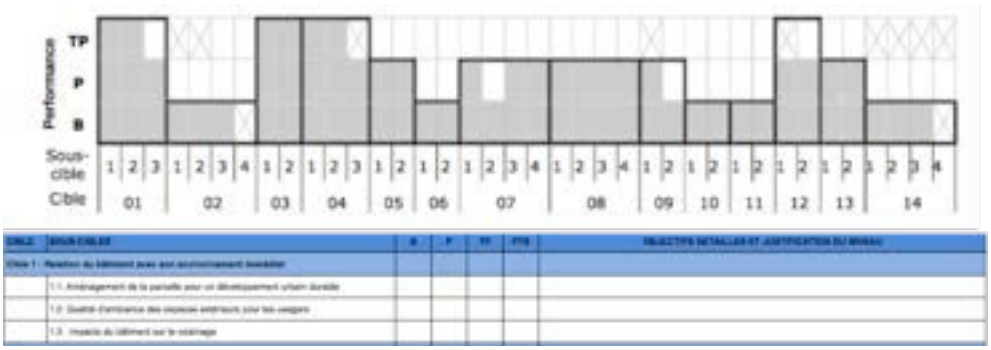


Figure 18 : Représentation de la Qualité environnementale de la certification NF bâtiment tertiaire –démarche HQE®. Image issue des référentiels Certivéa 2006 et 2012.

Critère d'évaluation	Performance	
	Niveau	Points en TP
4.2.1. Réduire la consommation d'énergie primaire due au chauffage, au refroidissement, à l'éclairage, à l'ECS, à la ventilation, et aux auxiliaires de fonctionnement (selon le type de bâtiment)		
Expression de la valeur absolue du coefficient de consommation conventionnelle d'énergie primaire Cep (en kWh-ep/an et kWhep/an.m²SHONrt) calculé **selon la règlementation thermique en vigueur** ([C] et [D]) pour le type de bâtiment considéré, détail par poste énergétique et **Cep ≤ Cep max**	B	
Justifier à l'aide du **moteur de calcul règlementaire** :		
• Cep ≤ 0,90 Cep max	P	
• Cep ≤ 0,70 Cep max	TP	10
• Cep ≤ 0,40 Cep max	TP	15
• Cep ≤ 0,10 Cep max	TP	20
OU		
Justifier à l'aide d'une Simulation Thermique Dynamique d'une performance énergétique atteinte :		
• Gain de 10%	P	
• Gain de 30%	TP	10
• Gain de 60%	TP	15
• Gain de 90%	TP	20
4.2.2. Mettre en œuvre un(des) système(s) innovant(s) ayant fait l'objet d'un agrément de Titre V « Projet »		
Relativement au projet, mise en œuvre d'un(de) système(s) innovant(s) ayant fait l'objet d'un agrément de **Titre V « Projet ».**	TP	4
4.2.3. Limiter les consommations de l'éclairage artificiel non pris en compte dans la réglementation thermique		
Dispositions justifiées et satisfaisantes prises pour limiter les consommations d'énergie primaire pour l'éclairage artificiel non pris en compte dans la réglementation thermique en vigueur(et/ou rédaction d'exigences dans le cahier des charges preneurs).	P	
4.2.4. Limiter les consommations des équipements électromécaniques		
Dispositions justifiées et satisfaisantes prises pour limiter les consommations d'énergie relativement aux équipements électromécaniques.	TP	1

Figure 19 : Extrait du référentiel de Certivéa "NF bâtiment tertiaire –démarche HQE"

3.6 Ecopass du Vorarlberg

La méthode « Ecopass », développée par le Land du Vorarlberg en Autriche, est une grille d'évaluation de la performance écologique (Energieinstitut Vorarlberg, WEB), déterminant des subventions pour l'habitat. Elle a été mise en place dans les années 2000.

Dans le cadre de notre étude, nous classons l'Ecopass du Vorarlberg dans les approches par listes/ référentiels considérant des enjeux environnementaux globaux quantitatifs ou qualitatifs. Par l'attrait

financier, cette méthode incite aux bonnes pratiques environnementales en proposant aux concepteurs des objectifs à atteindre. Elle assiste donc la formulation de problèmes environnementaux. L'évaluation effectuée, après la conception, grâce au référentiel d'Ecopass permet de valoriser les projets financièrement.

Le référentiel est composé d'environ cinquante cibles classées en cinq thèmes : l'implantation et la fonctionnalité du plan, les besoins en énergie, les installations techniques, le choix des matériaux et la qualité intérieure (cf. Figure 21). Chaque cible possède un barème de point maximum appelé « écopoint ». La note obtenue (sur 327) est l'addition des différents « écopoints » de chaque cible (Gauzin-Müller, 2007).

Chaque cible possède également sa procédure de notation, dont voici deux exemples issus de (Energieinstitut Vorarlberg et Harald Gmeiner, 2012). La cible « Bâtiment protégé contre la surchauffe estivale » sera notamment validée si l'un des cas suivants est apporté :

- Présentation d'un plan avec des brises-soleil extérieurs mobiles ou fixes, côté sud, est et ouest.
- Présentation de calcul selon la norme ÖNORM B 8110-3.
- Présentation de calcul dynamique, la température ne doit pas dépasser les 25 °C pendant plus de 10 % du temps annuel.

Pour la cible « Besoin en énergie pour le chauffage spécifique », le nombre « d'écopoints » validé dépend de la performance énergétique atteinte (cf. Figure 20).

Neuf - performances requises d'après la directive pour la subvention pour l'habitat 2010

Niveau	$Bch_{max,Ref}$ [kWh/(m^2_{EBGF}.an)] Ref. = 3600 Dj	Méthode de calcul
1 + 2	< 45,0	Directive 6 (OIB) [1]
3	< 41,0	
4	< 20,0	
5	< 10,0	

Ancien – performances requises d'après la directive pour la subvention pour l'habitat 2010

1	< 70,0	Directive 6 (OIB)
2	< 60,0	
3	< 50,0	
4	< 40,0	
5	< 30,0	

[1] Pour le niveau 5, le calcul peut-être effectué suivant la méthode de calcul PHPP actuelle. Dans ce cas, le besoin énergétique pour le chauffage maximal requis est de 15 kWh/m^2_{SU}/an

Figure 20 : Niveau de performance requise pour le critère « besoin en énergie pour le chauffage spécifique » dans l'Ecopass du Vorarlberg. (Energieinstitut Vorarlberg et Harald Gmeiner, 2012)

Référentiel 2012: neuf		points possibles :Max 327
A- Fonctionnalité du plan et intégration au site		
Confort et fonctionnalité		Max 14
A1. Planification par un concepteur habilité		4
A2a. Planification par un planificateur d'installations techniques habilité		2
A2b. La certification «Gebäudeausweis* » a-t-elle été réalisée par une personne habilitée		2
A3. Bâtiment protège contre la surchauffe estivale selon la norme ON B 8.1103		2
A4a. Enveloppe du bâtiment pauvre en ponts thermiques	un seul critère	2
A4b. Enveloppe du bâtiment sans pont thermique (obligatoire niveau 5)	éligible	6
A5a. Enveloppe du bâtiment - étanchéité standard	un seul critère	2
A5b. Enveloppe du bâtiment - étanchéité optimisée (obligatoire niveau 5)	éligible	6
Situation et utilisation du sol		max 14
A6. Redensification et densification urbaine		2
A7. Qualité des infrastructures		2
A8a. Place de stationnement de vélos standards	un seul critère	3
A8b. Place de stationnement de vélos optimisée	éligible	6
A8c. possibilité de raccordement électrique pour les vélos électriques (pas pour maison unifamiliale)		1
A9. Mise à disposition de places de stationnement pour l'auto-partage		4
B-Besoins en énergie		
B1. Besoin en énergie pour le chauffage spécifique		0-100
C-Installations techniques		
Alimentation en énergie		Max 32
C1. Système de chauffage innovant et pertinent pour le climat, basse température du chauffage,		obligatoire 7
C2. Réduction des polluants atmosphériques locaux		3
C3a. Pompe à chaleur comme système de chauffage central	un seul critère	13
C3b. Pompe à chaleur comme chauffage central avec courant écologique	éligible	18
C3c. Chauffage par biomasse ou branchement à un réseau de chaleur biomasse ou de		25
Distribution de la chaleur, production d'eau chaude sanitaire		max 55
C4.Optimisation du réservoir d'eau chaude et du réservoir tampon		5
C5.Optimisation du système de distribution		6
C6a.Production d'ECS par capteurs solaires thermiques	un seul critère	22
C6b. Production d'ECS par capteurs solaires thermiques avec intégration du chauffage	éligible	30
C7a Ventilation simple-flux	un seul critère	9
C7b Ventilation double-flux avec récupération de la chaleur	éligible	15
Eau et énergie électrique		Max 20
C8. Imperméabilisation du sol maximum 5m2 par logement		2
C9. Évacuation des eaux pluviales		2

Figure 21 : Extrait du référentiel 2012 de la démarche Ecopass du Vorarlberg. Image inspirée du référentiel 2012 disponible sur (Energieinstitut Vorarlberg, 2011). Traduction issue de (Energieinstitut Vorarlberg et Harald Gmeiner, 2012) et de notre recherche.

La notation sur l'ensemble des cibles présente le profil environnemental de l'opération. Selon le profil, un niveau de subvention « öko » est accordé par le Land du Vorarlberg sous réserve que les cibles obligatoires soient validées. Cette subvention réside sous la forme d'un prêt à taux avantageux. Par exemple, pour atteindre de niveau « öko 4 », le nombre « d'écopoints » obtenu doit être supérieur à cent soixante-quinze et en plus des cibles obligatoires, la cible « besoin en énergie pour le chauffage » doit avoir au maximum 20 KWh/m².an (cf. Figure 22).

max. 327 points	Neuf*		Rénovation*	
	Points	kWh/m²an	Points	kWh/m²an
Niveau 1	100	45,0	100	70,0
Niveau 2	125	45,0	125	60,0
Niveau 3	150	41,0	150	50,0
Niveau 4	175	20,0	175	40,0
Niveau 5	200	10,0	200	30,0
	200	15,0**		

* Pour S/V ≥ 0,8 et un climat de 3400 degrés jours (DJ)
**Méthode de calcul : PHPPBerechnungsmethode : PHPP

Figure 22 : Niveaux de subvention du Vorarlberg. Image issue de (Energieinstitut Vorarlberg, 2009).

3.7 Bâtiments durables méditerranéens : BDM

La démarche est développée par l'association Bâtiments Durables Méditerranéens (BDM) avec le soutien de la région P.A.C.A et de l'Europe. La démarche BDM est une approche d'accompagnement environnemental d'un projet (de la conception à l'utilisation), composée d'un référentiel d'auto-évaluation sur les aspects environnementaux, sociaux et économiques, d'un système d'accompagnement humain et technique et d'une validation finale par une commission.

Cette démarche balaye un ensemble d'enjeux écologiques liés à la construction (gestion de l'eau, des matériaux, du confort, de la santé, etc.), nous classons donc cette méthode comme une assistance à une qualité environnementale globale. Les critères sont soit quantitatifs soit qualitatifs. Le système de référentiel d'auto-évaluation et d'accompagnement permet d'assister le concepteur dans la formulation des problèmes environnementaux. Les estimations effectuées post-conception permettent de classer également cette démarche dans les assistances à l'évaluation d'une proposition concrétisée.

La démarche BDM propose un dispositif en trois phases : conception, réalisation et fonctionnement. Lors de la conception, le maître d'œuvre ou le maître d'ouvrage peuvent réaliser une auto-déclaration en ligne en déterminant le niveau de qualité souhaité par le biais de prérequis. La démarche propose quatre degrés de reconnaissance, allant du CAP DBM à vingt points minimum au niveau OR à quatre-vingts points, sur cent (cf. Figure 23).

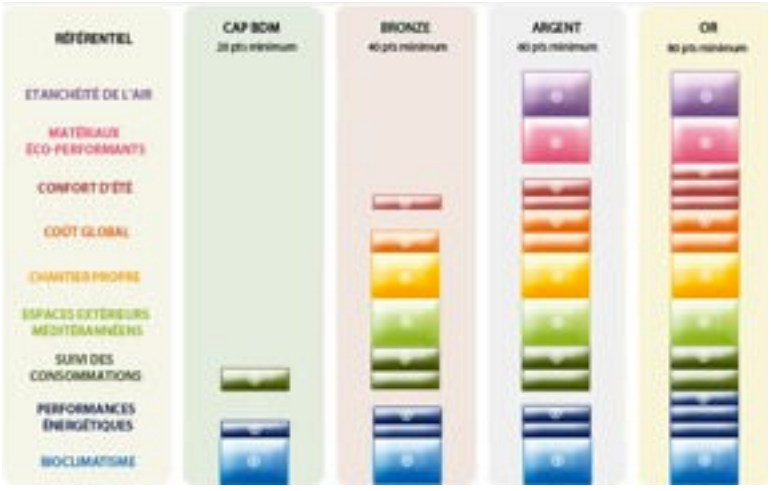


Figure 23 : tableaux des prérequis de la démarche BDM. Image issue de (BDM, WEB).

La démarche DBM met en place un système d'accompagnement par le biais d'un « accompagnateur BDM », mais également en proposant une plate-forme de gestion collaborative du projet, ainsi qu'une fiche d'aide à la conception (référentiel) et des outils de calcul (coût et bénéfices). Le référentiel est orienté pour le contexte méditerranéen, et disponible pour six programmes

particuliers : maison individuelle neuve, maison individuelle en réhabilitation, habitation collective neuve, habitation collective en réhabilitation, tertiaire neuf et tertiaire en réhabilitation.

Ce référentiel apparait sous forme d'un formulaire en ligne (cf. Figure 24), décomposé en sept thèmes (territoire et site, matériaux, énergie, eau, confort et santé, social et économique gestion de l'opération). Chaque thème possède une liste d'exigences à points. Une valeur indicative, sur cent, en fonction des exigences validées, représente la qualité environnementale auto-estimée du projet.

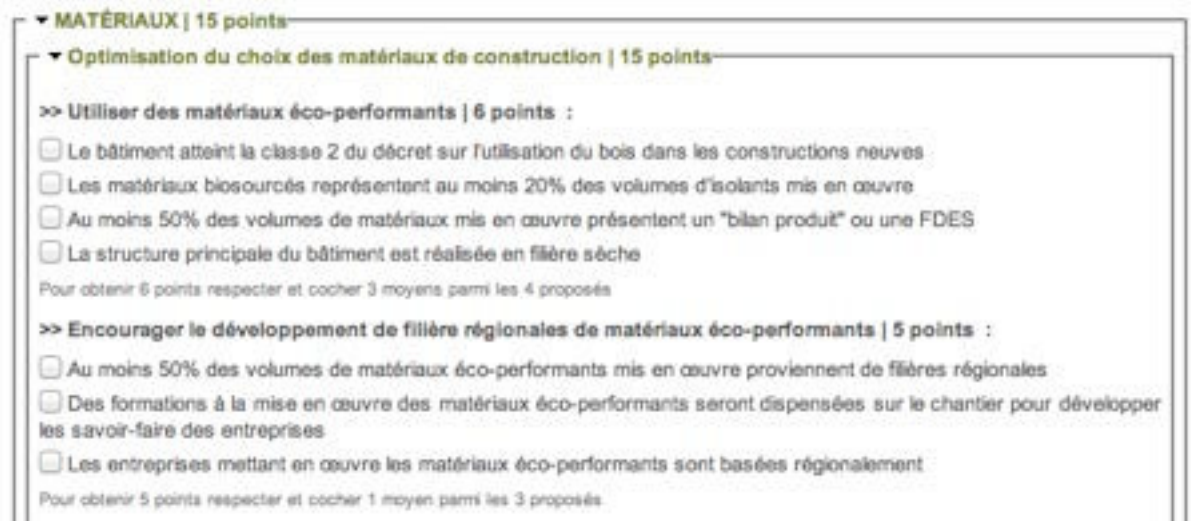


Figure 24 : Extrait du référentiel d'auto-évaluation en ligne de la démarche DBM. Image issue de (BDM, WEB).

Les résultats de l'évaluation formant le profil environnemental du bâtiment sont présentés sous forme d'une moyenne générale sur cent, ou par un diagramme radar organisé en cinq grandes thématiques (cf. Figure 25).

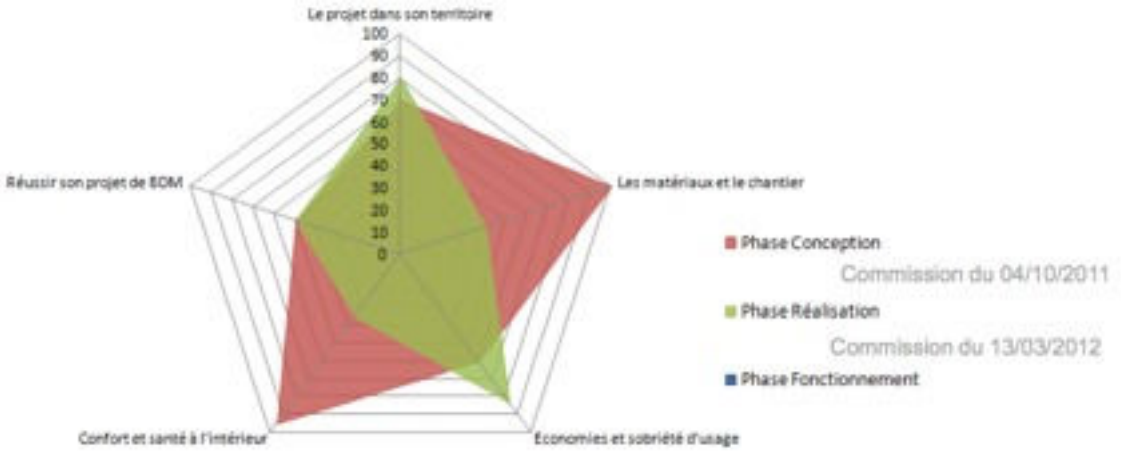


Figure 25 : Présentation de la qualité environnementale selon la démarche BDM. Image présentant le cas de l'opération Résidence Wisteria – Puget sur Argens (83) référencé sur le site BDM (BDM, WEB).

Dès la conception terminée et le chantier sur le point de démarrer, le projet est soumis à une commission inter-professionnelle qui détermine le nombre de points obtenus, en précisant les éventuelles préconisations à faire. L'évaluation se fait sur la base du référentiel précédant par une commission BDM. L'opération peut par la suite être valorisée sur le site du DBM.

Lors du chantier, des visites sont organisées afin de vérifier le bon déroulement des travaux. Dès réception, une seconde estimation est effectuée, sur la base du référentiel et complétée par des mesures sur chantier (test d'étanchéité à l'air, etc.).

Le bâtiment est ensuite suivi pendant deux ans, afin de vérifier qu'il fonctionne effectivement de la manière attendue. La démarche sera validée suivant un niveau de performance après une dernière évaluation relative à la qualité et l'usage du bâtiment en fonctionnement.

3.8 Table de Mahoney

Les tables de MAHONEY sont des recommandations de constructions (typologie de plan, type de matériaux, etc.) en fonctions des données climatiques renseignées du projet. Elles ont été développées par les architectes Carl Mahoney, John Martin Evans et Otto Königsberger et publiées en 1971 dans (United Nations. et al., 1971).

C'est une assistance orientée vers le confort thermique. Elle permet notamment d'aider le concepteur dans la formulation des problèmes environnementaux liés au contexte climatique. En proposant des recommandations, elle guide la formulation de la proposition primaire du projet.

En identifiant des attitudes essentielles en fonction du climat de chaque mois, la méthode oriente le concepteur, par le biais de dix-sept recommandations réparties en huit catégories.

Dans les premières tables, le concepteur renseigne les données climatiques correspondantes à la situation de son projet, les tableaux suivants retranscrivent les différentes recommandations (Liébard et De Herde, 2006). Le concepteur indique dans la table « 1 et 2 », la température de l'air moyenne (maximale et minimale), le taux d'humidité moyen (maximal et minimal) retranscrit sur quatre niveaux (0-30 % : niveau 1 ; 30-50 % : niveau 2, 50-70 % : niveau 3 ; + de 70 % : niveau 4) ainsi que la quantité de précipitation moyenne, pour chaque moins de l'année.

En fonction des températures, du taux d'humidité et des zones de confort (nuit et jour) définies par C. Mahoney, la table « 3 » (cf. Figure 26) de diagnostiques désigne, pour chaque mois, la contrainte thermique (« thermal stress ») : H (« hot ») au-dessus des limites de confort, C (« cold ») en dessous des limites de confort ou « - » dans la zone de confort.

table 3

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
humidity groupe		4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4
Temperature (°C)		13,95											
Monthly mean max.		7,2	8,4	12,3	15,6	19,7	22,7	25,2	25,2	21,1	16,3	10,8	7,3
day confort	max	24	24	24	26	26	24	24	24	24	24	24	24
	min	18	18	18	19	19	18	18	18	18	18	18	18
Monthly mean min.		2,7	2,8	5,3	7,4	10,9	13,8	15,6	15,5	12,7	9,6	5,8	3,6
night confort	max	18	18	18	19	19	18	18	18	18	18	18	18
	min	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
thermal stress													
day		c	c	c	c	-	-	h	h	-	c	c	c
night		c	c	c	c	c	-	-	-	-	c	c	c

Figure 26 : Tableau 3 de la méthode des tables de Mahoney relative au climat de Paris. Image inspirée des tableaux proposés par C. Mahoney (United Nations. et al., 1971)

En fonction des données renseignées décrites au-dessus, la table « 4 » propose les attitudes à préconiser pour chaque mois (cf. Figure 27): H1 mouvement d'air essentiel, H2 mouvement d'air désirable, H3 protection pluviale, A1 stockage thermique, A2 dormir en plein air, A3 saison froide. Par exemple, l'attitude H1 (mouvement d'air essentiel) sera activée notamment dans le cas où la température sera au-dessus des limites de confort et que le taux d'humidité sera élevé (contrainte thermique = H et taux d'humidité de niveau 4).

table 4

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
H1 Air movement (essential)	-	-	-	-	-	-	OK	OK	-	-	-	-	2
H2 Air movement (desirable)	-	-	-	-	-	OK	-	-	OK	-	-	-	2
H3 Rain protection	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
A1 Thermal storage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
A2 Outdoor sleeping	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
A3 Cold-season problems	OK	OK	OK	OK	-	-	-	-	-	OK	OK	OK	7

Figure 27 : Tableau 4 de la méthode des tables de Mahoney relative au climat de Paris. Image inspirée des tableaux proposés par C. Mahoney (United Nations. et al., 1971)

En fonction des attitudes à adopter chaque mois, la méthode désigne des préconisations à mettre en place vis-à-vis du plan-masse, de l'espacement entre bâtiments, de la circulation de l'air, des ouvertures, des murs, des toitures, du sommeil en plein air ou encore de la protection contre la pluie. Ces résultats sont présentés sous forme d'un tableau (cf. Figure 28).

L'exemple suivant montre la situation pour le climat de Paris (cf. Figure 28). La méthode met en avant dans ce cas les préconisations suivantes : orientation suivant l'axe est-ouest, espacement entre les bâtiments avec protection contre le vent froid, pièce traversante pour mouvement d'air permanent, ouverture moyennes 20-40 %, mur léger avec faible déphasage thermique et toiture légère isolée.

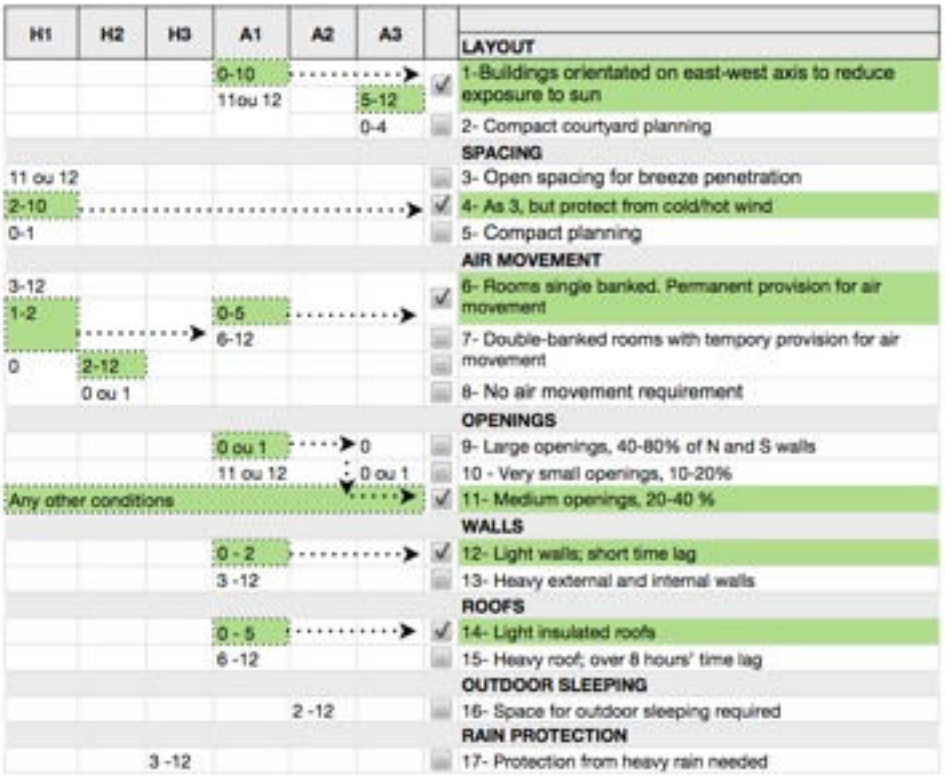


Figure 28 : Tableau des recommandations de la méthode des tables de Mahoney relative au climat de Paris. Image inspirée des tableaux proposés par C. Mahoney (United Nations. et al., 1971)

3.9 Éco.mod

Éco-mod est une approche développée dans le cadre du travail doctoral de Vida Gholipour (Gholipour, 2011), en collaboration entre l'ERPI[46] (Équipe de Recherche sur les Processus Innovatifs) et le CRAI[47] (Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie) de Nancy.

Le rôle principal de la méthode est d'assister la phase amont du processus de conception, en facilitant la prise en compte des enjeux environnementaux, en augmentant la certitude des stratégies environnementales visées. Nous classons éco-mod dans les méthodes d'assistance à la formulation du problème et d'assistance à l'émergence d'une solution primaire.

Éco-mod englobe des cibles variées dans l'objectif de répondre de manière générale à la problématique environnementale en architecture, elle est donc considérée comme une assistance aux enjeux environnementaux globaux.

[46] http://laboratoire-erpi.wikispaces.com

[47] http://www.crai.archi.fr

Éco-mod est fondée sur des patrons de conception, orientée environnement, inspirée de la méthode du « patterns language » de Christopher Alexander (Alexander et al., 1977). Ces patrons appelés « éco-modèles » sont des solutions architecturales types, éprouvées par la pratique, remplissant certains critères (cf. Figure 29) et répondant à des problèmes environnementaux. L'étude d'un corpus de bâtiments (contemporain ou vernaculaire), dont la qualité environnementale a été reconnue (revues spécialisées, lauréats de concours, labélisation, etc.) a permis l'identification d'environ quatre-vingt-dix éco-modèles, organisés dans une base de données relationnelle.

Critère	*Condition*
Opérationnel	Faire preuve de sa pertinence en étant utilisé dans au moins trois réalisations d'auteurs différents
Générique	Avoir un certain degré de généralité : être ni une solution simple, ni une stratégie globale
Holistique	Répondre en même temps à plusieurs problèmes fréquemment rencontrés sans dépasser un certain degré de particularité : répondre au minimum à trois exigences environnementales abordées parmi les cibles HQE®
Formalisable	Pouvoir être représenté par une illustration, un dessin
Adaptée au niveau de l'esquisse	Répondre aux questions posées en phase d'esquisse comme le positionnement, la volumétrie, l'organisation spatiale ou encore le système constructif général de bâtiments

Figure 29 : Critères de conditions de sélection des éco-modèles Illustration issue de (Gholipour, 2011).

Chaque éco-modèle défini est décrit par un problème environnemental qu'il résout, une solution générique et des contraintes éventuelles à prendre en compte (économiques, techniques, d'usages, etc.). Il est illustré par des exemples de réalisations contextualisées. Il entretient des relations typées (équivalence, combinaison, contradiction) avec d'autres éco-modèles et des relations avec des cibles environnementales (impact positif, neutre, négatif). Les cibles considérées sont les quatorze établies par l'association HQE, accompagnées d'une quinzième relative à la biodiversité.

Un support sous forme d'outil web[48] est proposé au concepteur, facilitant la navigation dans la base de données, la constitution de scénarios et la visualisation des conséquences. L'utilisateur a notamment le choix de définir sa recherche par les éco-modèles, par les cibles environnementales ou par les réalisations. L'entrée par la sélection des éco-modèles permet à l'utilisateur d'explorer l'ensemble des éco-modèles ainsi que leurs descriptions. Il a la possibilité d'en sélectionner plusieurs afin d'effectuer un scénario d'éco-modèles, définissant ainsi un comportement face aux cibles environnementales : favorable, sans conséquence, divergeant ou défavorable (cf. Figure 30). Cette

[48] http://www.crai.archi.fr/eco.mod

approche permet notamment de vérifier que les éco-modèles choisis satisfont les objectifs environnementaux visés.

L'entrée par la sélection de cibles environnementales, permet à l'utilisateur de trouver une liste d'éco-modèles en fonction de leur comportement vis-à-vis des cibles (à privilégier, à éviter, ou à utiliser avec précaution).

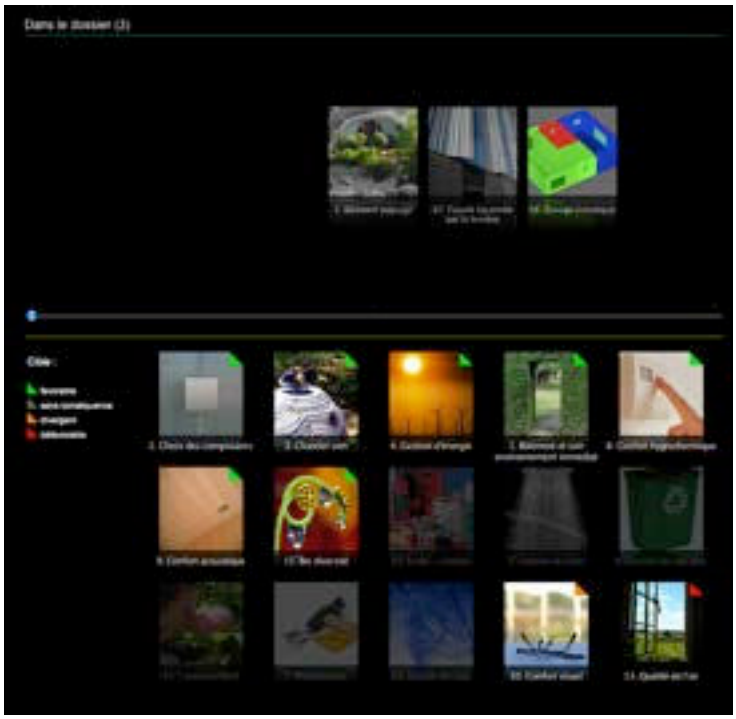


Figure 30 : Exemple de scénario de trois éco-modèles. Image issue de l'outil éco-mod (Éco.mod : WEB)

3.10 Le traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique

Il s'agit d'un ouvrage (Liébard et De Herde, 2006) traité, dans un premier temps, sous forme de guide de l'architecture bioclimatique, en six volumes. Il est édité dans le cadre du programme Learnet, avec l'appui du programme Altener[49], de la Direction générale Énergie et Transports de la Commission européenne et celui de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie. Il est disponible également en version navigable sur internet[50], grâce à la réalisation du navigateur Learnet (proposer par Obser'ER) suggérant plusieurs modes de recherche (rapide, avancée ou guidée).

Ce guide intervient premièrement, dans l'assistance à la formulation du problème. La communication des différents intérêts environnementaux, en fonction du contexte, peut permettre aux

[49] Programme visant à promouvoir les énergies renouvelables : http://www2.ademe.fr/servlet/doc?&id=33175&ref=16846

[50] http://www.energies-renouvelables.org/observ%2Der/learnet/learnet/accueil.asp

concepteurs de cibler les enjeux concernant leur projet. Deuxièmement, la mise en avant de solutions peut potentiellement aider le maître d'œuvre à exprimer une proposition. Cet ouvrage est également une assistance à la formulation d'une proposition.

Nous considérerons ce guide comme une assistance à la qualité environnementale globale. En effet, les auteurs tentent d'exposer un maximum d'enjeux environnementaux : des enjeux de conforts (pour les usagers, le voisinage, les ouvriers, etc.) des enjeux de pollution (à l'échelle locale et mondiale) ou encore des enjeux d'épuisement des ressources (matériaux ou énergétique, etc.).

Le guide est divisé en six grands chapitres : connaître les bases, construire avec le climat, construire en climats chauds, construire avec le développement durable, construire avec l'éclairage naturel et artificiel et aménagement urbain et développement durable (cf. Figure 31).

À travers les divers chapitres, cet ouvrage explore, sous forme de rappel, les phénomènes physiques, tels que l'énergie de la terre et du soleil, la notion de climat (différents climats mondiaux), le rayonnement solaire, le spectre de lumière ou encore la luminance, etc.

Ce traité met en avant également des enjeux liés au monde de la construction comme les enjeux dans les différents climats, les enjeux de confort (thermique, respiratoire, visuel, acoustique) et les enjeux des ressources et de pollutions.

Des solutions architecturales et techniques sont proposées aux lecteurs. Les auteurs énoncent notamment, comme réponses potentielles, la réflexion sur la forme de l'édifice (toiture, orientation, etc.), le zonage thermique, l'utilisation de la végétation, l'utilisation de brises-soleil ou encore l'utilisation de capteur solaire (actif ou passif), etc.

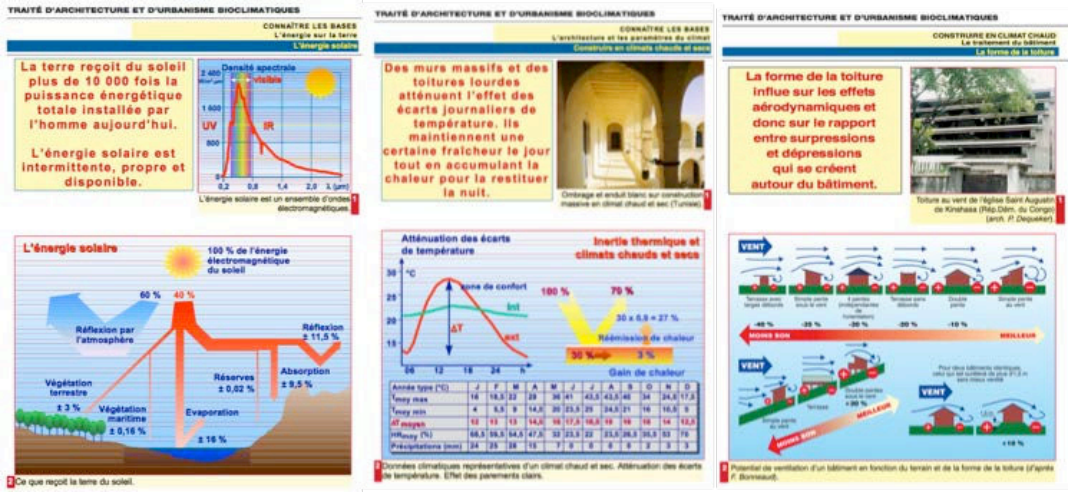


Figure 31 : Gauche : feuillet concernant l'énergie solaire. Milieu : feuillet sur les enjeux d'un climat chaud et sec. Droite : feuillet de l'impact sur l'aérodynamique de la forme de la toiture. Images issues de (Liébard et De Herde, 2006).

3.11 Ec-Co-Gen

Ec-Co-Gen (éco-conception générative) est un projet de recherche menée depuis janvier 2011, dans le cadre du programme Création-Processus, Acteurs, Objets, Contextes-édition 2012 de l'ANR[51]. Ce travail rassemble trois équipes : MAP-CRAI[52], MAP-ARIA[53] et Codisant-Sitcom[54]. La thématique de recherche repose sur les capacités des dispositifs numériques génératifs à stimuler une conception architecturale créative dans le contexte du développement durable.

> *« C'est l'instrumentation numérique de la conception architecturale qui est au centre de nos préoccupations. Nous cherchons à caractériser les mécanismes de la créativité dans une situation d'assistance générative, à travers laquelle l'outil numérique révèle une part d'autonomie et intègre des contraintes environnementales. » (EcCoGen, Web).*

Cette recherche a notamment abouti à deux méthodes : Ec-Co-Gen-L et Ec-Co-Gen-N. Elles interviennent dans les prémisses de la conception architecturale afin de définir les hypothèses formelles du projet. Dans notre étude, nous classons Ec-Co-Gen dans les assistances à la formulation d'une proposition primaire, orienté qualité énergétique.

Ec-Co-Gen-L

Ec-Co-Gen-L est destiné à aider les concepteurs à générer de solutions architecturales aux performances environnementales (économie d'énergie, confort thermique et minimisation de l'impact sur le voisinage). L'utilisateur renseigne certaines contraintes liées aux projets : le climat du site, les règles d'urbanisme (retrait, mitoyenneté, hauteur maximale, etc.), la forme du contexte urbain (pour les ombres et les masques solaires) et les surfaces objectives.

L'espace de construction est divisé en « unités fonctionnelles » en trois dimensions : VOXELS. Le logiciel, avec les données de contexte, fait varier la position du bâti sur ces « unités fonctionnelles » et ainsi génère un certain nombre de solutions. Ces solutions sont évaluées sur les critères environnementaux et celles jugées efficaces seront croisées pour déterminer d'autres solutions. L'utilisateur à la possibilité d'interagir avec l'outil en sélectionnant des propositions qui lui semblent intéressantes (pour l'esthétique, les performances, etc.). Le logiciel privilégiera ces suggestions pour les itérations et les générations suivantes. Ec-Co-Gen-L ne propose pas la solution la

[51] Agence nationale de recherche : http://www.agence-nationale-recherche.fr/

[52] http://www.crai.archi.fr/

[53] http://www.aria.archi.fr/

[54] http://www.univ-nancy2.fr/pers/gregori/Nicolas_Gregori.html

plus efficiente, mais des familles de solutions potentiellement efficaces pour des critères choisis (cf. Figure 32).

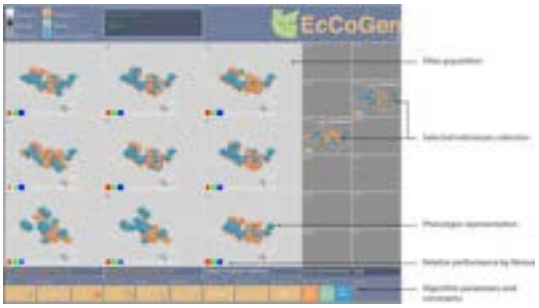


Figure 32 : Aperçu de l'outil Ec-Co-Gen-L. Image issue de (EcCoGen, Web).

Ec-Co-Gen-N

Ec-Co-Gen-N rassemble :

- Une plate-forme de modélisation paramétrique « Grasshopper » associée au modeleur « Rhinoceros ».
- Un moteur évolutionnaire « Galapagos ».
- Un moteur d'évaluation énergétique « EnergyPlus ».

Le lien entre « Grasshopper » et « EnergyPlus » est assuré par le plug-in DIVA.

L'utilisateur évolue dans un environnement paramétrique où il définit un premier modèle de conception, situé dans son contexte (bâtiments voisins, etc.), qu'il va soumettre à l'évolution et à l'optimisation (cf. Figure 33). Sur ce modèle paramétrique de départ, le concepteur sélectionne les éléments à faire évoluer (position d'un point, transformation géométrique, taille des ouvertures, position des masques solaires, etc.) appelés des gènes. Le moteur évolutionnaire fait varier ces différents gènes, proposant ainsi diverses solutions. L'ensemble de ces propositions est soumis à l'évaluation. La pertinence d'une solution appelée « fitness » est notamment mesurée sur quatre composantes : le respect d'une surface de plancher, le respect de la limite du terrain, l'unité du bâtiment et la performance énergétique.

L'interface développée permet la visualisation des meilleures solutions. L'utilisateur peut en sélectionner une qui lui semble intéressante et relancer ce processus.

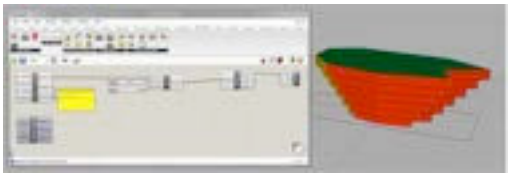


Figure 33 : Aperçu de l'outil Ec-Co-Gen-N. Image issue de (EcCoGen, Web).

3.12 Bilan des assistances à l'éco-conception

Ces différentes méthodes que nous avons exposées dans ce chapitre possèdent des caractéristiques variées que nous avons cherchées à clarifier. Elles sont représentées notamment dans le tableau de synthèse (cf. Tableau 1).

Tableau 1 : Tableau de synthèse des méthodes d'assistances présentées.

	Outils et méthodes	Type d'approches	Type d'assistance	Enjeux environnementaux
Approche à estimations	Pléiades- COMFIE AcrhiWIZARD	Dynamique	Évaluation d'une proposition détaillée	Orientés et quantitatifs
	ENVEST II Equer	Inventaire	Évaluation d'une proposition détaillée	Globaux et quantitatifs
Approche par suggestion / Approche par estimation	Démarche HQE BDM Ecopass du Vorarlberg	Liste/référentiel	Formulation du problème Évaluation d'une proposition concrétisée	Globaux quantitatifs ou qualitatifs
Approche à suggestion	Eco-Mod Le traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique	Base de connaissances	Formulation du problème Émergence d'une solution primaire	Globaux
	Mahoney tables	Matrice	Formulation du problème Émergence d'une solution primaire	Orientés
	Ec-Co-Gen	Générative	Émergence d'une solution primaire	Orientés

En dépit du fait que l'assistance à l'éco-conception paraisse bien instrumentée et bien diversifiée, l'étude de ces méthodes et outils a fait ressortir une discontinuité. La période préliminaire dans le processus de proposition/validation ne possède pas d'assistance adaptée (cf. Figure 34). Ce défaut s'explique notamment par la caractéristique spécifique de cette phase où les évaluations sont limitées par le manque d'informations disponibles sur le projet ou leur caractère incertain.

Nous avons énoncé dans le chapitre 2.1, l'importance de cette étape dans le processus d'éco-conception où les choix définissent à ce moment-là, près de 80 % de l'impact environnemental. Les approches environnementales devraient donc être fortement présentes, lors de cette phase. C'est à cette étape qu'il est possible de modifier la proposition. En effet, une évaluation trop tardive ne permet que de constater les éléments positifs ou négatifs sur l'impact environnemental.

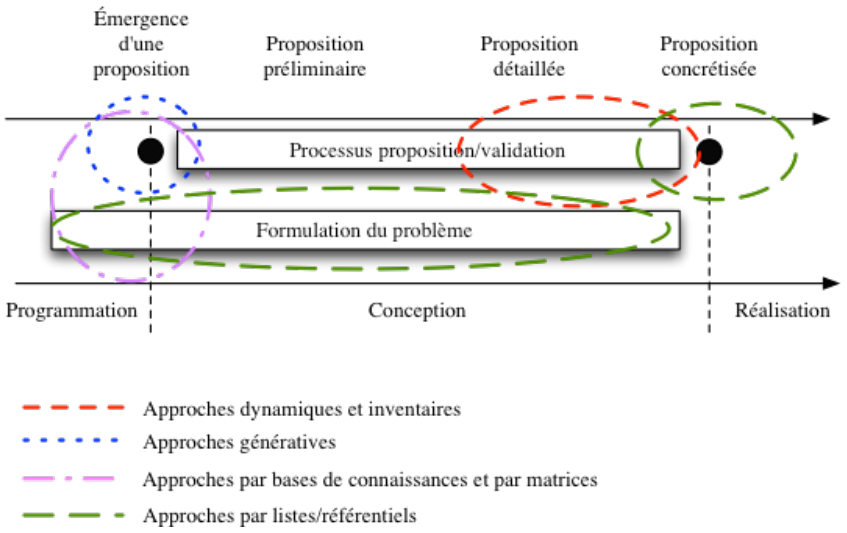


Figure 34: Schéma de positionnement des assistances dans le processus de conception architecturale. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Le principal risque encouru par ces évaluations tardives est le « rattrapage technique » à défaut de solutions architecturales efficientes. En effet, une estimation dans une phase avancée encourage l'emploi des solutions techniques, plus faciles à mettre en œuvre, surtout en fin de conception. Il parait donc essentiel de combler ce manque, en proposant une méthode adaptée pour la conception en général, s'adaptant également à cette phase.

Les approches par estimation existantes (dynamiques, inventaires ou liste/référentiels) peuvent-elles être adaptées ? Quelles sont les limites actuelles de ces approches pouvant expliquer les difficultés d'adaptation ?

Critique des approches estimatives

Pour les approches dynamiques et inventaires, bien qu'elles anticipent le futur comportement du bâtiment, et cela avant qu'il ne soit construit, nous avons identifié quelques limites qui semblent importantes pour notre étude, et qui freinent leur utilisation précoce.

Ces méthodes, pour la plupart, sont difficiles à prendre en mains. Elles sont souvent réservées et accessibles qu'aux ingénieurs, mais elles s'orientent peu à peu vers une utilisation par les architectes. Les interfaces plus visuelles telles qu'Alcyone pour Pleiades+COMFIE ou encore les relations facilitées entre les logiciels de conception architecturale (Eco Designer avec ArhciCAD ou ArchiWIZARD avec Revit et AutoCAD) permettent l'intégration de ces outils dans les agences d'architecture. Cependant, bien que les interfaces soient de plus en plus intuitives, une formation à l'utilisation et à l'interprétation des résultats reste indispensable.

Ces méthodes et leur précision de simulation dépendent, dans la majorité des cas, de la qualité et de la quantité des données renseignées. Certains outils laissent la possibilité d'évaluer sur la base de valeurs par défaut. L'évaluation des performances du bâtiment nécessite le plus souvent de renseigner un ensemble de données relativement ciblées. Les modèles de simulation présents peuvent également limiter la finesse de la simulation. En effet, pour anticiper les comportements des différentes techniques ou matériaux, le comportement de ces derniers doit être modélisé et donc implémenté par le développeur. Les techniques innovantes, nouvelles ou encore inhabituelles peuvent ne pas être considérées par le logiciel.

> *« Les outils de calcul, destinés, pour certains, à l'aide à la conception des bâtiments, ne sont pas encore totalement adaptés à l'étude des bâtiments à énergie positive. En effet, ces derniers peuvent comporter des équipements ou des techniques constructives relativement nouvelles ou innovantes que les outils de calcul n'ont pas encore intégrés. » p 43 (Thiers, 2008)*

L'utilisateur peut avoir des difficultés d'intervention sur le modèle du bâtiment à simuler. Si pour le logiciel Ecotect, le modeleur est intégré et permet donc une intervention facile sur le modèle 3D, ce n'est pas forcement le cas de l'ensemble des approches. Les passerelles entre modules de modeleur et modules de simulation ne sont pas toujours aisées. Une fois la modélisation 3D transférée vers le module de simulation, les modifications formelles restent difficiles.

Les analyses sont centrées sur les impacts quantifiables. Les différents enjeux envisagés dans ces approches (consommation énergétique, acidification, effet de serre, etc.) sont des impacts mesurables. Les aspects tels que les effets plus locaux souvent difficilement quantifiables (sur le voisinage par exemple) ne sont pas considérés.

L'interprétation des résultats peut être délicate. Les différents impacts environnementaux sont exprimés dans leur unité propre, ils ne sont pas toujours évidents à analyser pour une personne non initiée (Tittelein, 2008). Pour illustrer, si des résultats nous annoncent comme valeur pour l'eutrophisation[55], 418 kg PO_4 (kilogramme de phosphate), est-ce un résultat convenable pour un projet d'architecture ? Certaines approches tentent de compenser le problème en intégrant des repères, comme des valeurs de projets types, ou encore des « Ecopoints » comme ENVEST II.

La nécessité de formation et les difficultés de modification du modèle (et donc de comparaison formelle) peuvent rendre l'utilisation de ces logiciels assez lourde. Cette lourdeur tend à limiter le nombre de simulations pouvant être effectuées. De plus, cette difficulté de comparaison et la nécessité

[55] L'eutrophisation est la modification d'un milieu naturel aquatique, lors qu'il perçoit trop de matières nutritives. (http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/ecosys/eutrophisat.html)

de renseigner des éléments détaillés du projet peuvent amener à utiliser ces rares évaluations à la fin de la conception.

Bien que ces méthodes tendent de plus en plus de s'adapter à une conception préliminaire, l'état actuel des outils présents reste axé sur une optimisation orientée dans un domaine précis. Les modèles informatiques de modélisations et de simulations orientent vers une estimation quantitative nécessitant des données relativement précises, de ce fait l'adaptation en phase préliminaire semble délicate.

Les approches par listes/référentiels possèdent un certain nombre de qualités. Elles permettent notamment de fixer des objectifs environnementaux, avant la conception et ainsi, incitent le concepteur et le maître d'ouvrage à les atteindre. Malheureusement, certaines limites perturbent le bon déroulement de ces approches.

La phase de conception est trop peu considérée. Que ce soit pour les méthodes labélisantes ou les assistances à la maîtrise d'ouvrage, nous retrouvons souvent le même schéma de fonctionnement : à la programmation, mise en place d'objectifs à atteindre ; une évaluation en fin de conception ; une évaluation finale en fin de réalisation. Le suivi ne se fait pas pendant chaque phase, mais à la fin de ces dernières.

La contextualisation est trop sectorisée. Ces méthodes ont bien mis en évidence l'importance du contexte du projet qui influence les enjeux environnementaux, en proposant des référentiels adaptés à un domaine d'application. Cependant, une sectorisation trop forte limite la perméabilité des programmes. Par exemple, dans la méthode « NF-démarche HQE », l'organisme Certivéa est chargé de certifier les bâtiments tertiaires et Cerqual les habitats collectifs. Néanmoins si une opération possède à la fois une partie tertiaire et une partie de logements collectifs, aucune certification ne se sera adaptée à sa situation. Nous soulignons également que certains contextes sont rarement considérés, par exemple le milieu dans lequel s'inscrit le projet (urbain, isolé, village, etc.) qui influe pourtant grandement sur l'importance de certains enjeux environnementaux.

Les certifications sont souvent trop peu exigeantes, comme le souligne Ricciotti :

> *« […] il s'agira d'atteindre 30 points au minimum sur 110 au maximum pour obtenir la précieuse certification commerciale, soit 5 cibles au minimum sur 14 : c'est à dire que même un caniche saoul attaché à un arbre avec baillons dans la gueule énoncerait la solution à l'énigme HQE.NF. Finalement, le plus sérieux obtenant plus de points serait de dindon de la farce, car les constructeurs de maisons individuelles auront droit au fameux label commercial HQE.NF sans se*

casser le cul, avec quelques fenêtres double vitrage, une isolation thermique par l'extérieur et une VMC […] » p35 (Ricciotti, 2009)

Les méthodes d'aspects souvent simples et intuitives se trouvent parfois très complexes. Elles sont composées au minium d'une liste de critères environnementaux et éventuellement de leurs mécanismes d'évaluation. Néanmoins, dans les différentes approches explorées, certains référentiels comportent trois voire quatre niveaux hiérarchiques, accompagnés de procédures parfois contrastées. Certains critères s'évaluent de manière qualitative, d'autres font appel à des opérations quantitatives ou à des logiciels de simulation.

Le caractère labélisant de nombreuses méthodes entraine des visualisations de la qualité environnementale pas toujours très détaillées, souvent de l'ordre de la note moyenne. Bien que la vision globale soit utile pour exposer la qualité générale du projet, elle rend délicate l'analyse des points forts et points faibles du projet.

Ces approches semblent plus facilement adaptables aux phases préliminaires, cependant le développement actuel de ces dernières s'oriente vers des évaluations en fin de conception. Un recadrage de ces méthodes vers les phases de conception plus en amont nécessite de repenser certaines limites énoncées plus haut.

3.13 Conclusion du chapitre

Nous avons vu dans ce chapitre un échantillon d'outils d'assistance environnementale, illustrant notre classification. L'étude de ces derniers nous a conduits à conclure que certaines phases de conception semblent ne bénéficier que de peu d'assistance. En particulier, les phases préliminaires du processus de conception architecturale, qui pourtant paraissent essentielles à l'intégration d'enjeux environnementaux.

Pour tenter de combler ce manque et suggérer une méthode d'assistance englobant l'ensemble du processus de proposition/validation, nous avons identifié les limites pouvant expliquer en partie les difficultés d'intégration. Dans la mesure où les approches par listes/référentiels paraissent plus facilement adaptables, nous proposons le développement d'une méthode appelée Éco-profil qui se fonde sur une telle approche. Au vu des critiques évoquées, nous posons les cinq hypothèses suivantes pour que la méthode Éco-profil s'adapte à l'ensemble du processus de proposition/validation.

Elle doit être globale. Les divers critères d'évaluation qui composent le référentiel doivent englober l'ensemble des enjeux environnementaux lié au monde de la construction, permettant de considérer les interactions multiples qui peuvent exister entre les différents intérêts environnementaux.

Elle doit être adaptée à l'avancement du projet. Le référentiel et l'estimation doivent prendre en compte la qualité et la quantité de données disponibles influant sur la manière d'évaluer les critères environnementaux, et permettant ainsi d'apprécier des critères le plus tôt possible. L'estimation doit pouvoir s'effectuer tout au long du processus, en adéquation avec les données disponibles.

Elle doit être qualitative. La notion d'évaluation qualitative semble indispensable afin de renforcer les deux premiers points, pour considérer l'ensemble des critères environnementaux, même ceux n'étant pas quantifiables, et pour estimer le plus tôt possible les critères, même ceux qui ne seraient pas encore quantifiables.

Elle doit être contextualisée. Nous avons noté, plus haut, l'influence du contexte sur les enjeux environnementaux. La contextualisation doit être souple et permettre des variations et des combinaisons programmatiques afin de s'adapter aux situations propres de chaque projet.

Elle doit posséder une instrumentation visuellement analysable. La visualisation des résultats des estimations environnementales doit permettre l'analyse des points forts et faibles du profil environnemental du projet. Elle ne doit pas posséder uniquement un caractère général, mais elle doit présenter un certain niveau de précision, afin de guider le concepteur.

Conclusion de la partie 1

Le premier chapitre a été consacré à la notion de développement durable, nous nous sommes efforcés de montrer la place que cette notion prenait et prend dans le domaine de l'architecture. Bien que la pensée environnementale existe depuis longtemps, elle est à l'heure actuelle au centre de nombreux débats. L'effet des constructions sur l'environnement n'étant plus à démontrer, les concepteurs comme les maîtres d'ouvrage tentent aujourd'hui de l'intégrer. Nous avons également souligné l'importance de la conception architecturale sur les différents impacts environnementaux.

Cette influence nous a conduits à analyser dans le second chapitre, le processus de conception architecturale et d'éco-conception afin d'identifier des moments clés pour l'assister. Par l'exploration des méthodes et outils existants d'assistance à l'éco-conception, nous avons mis en avant que la phase préliminaire du processus de proposition/validation n'était pas ou que peu assistée. Cependant, elle apparaît comme une étape clé dans le processus de conception pour l'intégration d'une démarche environnementale.

Dans les approches estimatives, les approches dynamiques et les approches inventaires, par leurs caractéristiques complexes et quantitatives, paraissent peu adaptées à cette phase. Néanmoins, les approches par liste/référentiels se révèlent être une solution plus adaptable.

Ces conclusions nous ont permis de nourrir notre démarche et de proposer une méthode estimative de la qualité environnementale pour assister l'éco-conception, qui soit **globale, qualitative, progressive et contextualisée** et qui possède **une instrumentation visuelle analysable**.

Partie 2 : Proposition d'une méthode estimative de la qualité environnementale

Cette partie présente le développement d'une méthode estimative de la qualité environnementale pour assister l'éco-conception, en réponse aux limites énoncées dans la partie précédente (cf. Partie 1). Nous proposons d'adapter une méthode par listes/référentiels afin de suggérer un procédé d'évaluation permettant des estimations de la qualité environnementale lors de la conception architecturale, et plus particulièrement durant la phase préliminaire conception (cf. Chapitre 2.1). Nous posons le postulat que des estimations environnementales successives durant ces phases de conception amènent vers des solutions architecturales plus efficientes.

Nous aborderons, dans un premier temps, la mise en place de la méthode « Éco-profil ». Elle a pour caractéristiques d'être : globale, qualitative, contextualisée et progressive. Nous exposons, ensuite, le développement d'outils, tant visuels que fonctionnels, en présentant notamment trois échelles de visualisation de la qualité environnementale et une application prototype.

Chapitre 4: Mise en place de la méthode Éco-profil

Afin de développer une méthode d'assistance adaptée à la conception architecturale, nous avons choisi d'utiliser une méthode de type listes/référentiels. Notre travail se situe en continuité d'une première démarche de référentiel environnemental proposée par Manon Kern (Kern, 2004) dans le cadre d'un mémoire de formation Classe4[56]. Ce référentiel s'appuyant sur la notion de profils environnementaux de bâtiments a été utilisé notamment par le CRIT–architecture[57] et par l'association LQE[58]. Il sert à l'évaluation de projets, dans le cadre de prix environnementaux ou encore dans le cadre d'une base de données sur des édifices aux « fortes qualités environnementales ». Il est composé de vingt-quatre objectifs environnementaux (situation géographique du site, ressources, orientation, etc.) répartis sur les différentes phases chronologiques d'une opération (le management, la conception architecturale, le chantier et la vie du bâtiment). Chaque objectif est évalué par « dire d'expert » entre 0 et 4. La valeur moyenne des experts est retenue pour dessiner le profil environnemental de l'édifice, sous forme d'un diagramme radar (cf. Figure 35). Nous nommons « référentiel 0 » cette première approche.

Figure 35 : Exemple du profil environnemental développé par Manon Kern (Kern, 2004). Image issue du Crit-Architecture (Crit, WEB).

[56] Classe4 est une association proposant des formations professionnelles. Elle s'engage dans la promotion de la qualité environnementale dans la construction : http://www.archilink.com/~fm/ASSOCIATION%20CLASSE%204/

[57] Centre de ressources et d'informations techniques : http://www.crit.archi.fr/

[58] Lorraine Qualité Environnement http://www.lqe.fr/home/index.php

Dans le prolongement de ce travail, nous proposons une démarche en trois étapes présentées successivement dans ce rapport. La première étape permet la redéfinition du « référentiel 0 ». Ensuite, nous présentons la contextualisation de ce référentiel. Pour finir, nous proposons les bases de notre système d'évaluation progressive. Ces trois étapes s'insèrent dans une démarche globale, débouchant sur la définition de notre approche Éco-profil.

4.1 Une méthode globale et qualitative

Démarche de mise en place d'un référentiel de base

Dans ce premier chapitre, nous évoquerons la mise en place d'un référentiel composé de critères servant à l'estimation. Ce référentiel tentera de réunir les différents enjeux environnementaux liés au domaine de la construction, en faisant abstraction des contextes particuliers de chaque opération. Cet aspect sera abordé ultérieurement.

Les objectifs mis en place dans le *référentiel 0* serviront de base pour le développement de notre démarche. Nous avons décomposé ces objectifs en critères afin d'apporter une précision suffisante. Le manque de finesse faisait notamment l'objet des limites énoncées lors de l'utilisation du *référentiel 0*. Notons également que pour répondre à la critique avancée sur les approches par listes/ référentiels (une complexité apportée par une multiplication des niveaux hiérarchiques) et pour garder un caractère « accessible » (Farel et al., 2006), nous avons choisi de ne pas aller au-delà de deux niveaux hiérarchiques. Nous adoptons les terminologies suivantes : des « *objectifs environnementaux* », décomposés en « *critères d'évaluation* ».

Les *objectifs environnementaux* présentent différentes préoccupations liées au monde de la construction (gestion de l'énergie, qualité acoustique, etc.). Ils possèdent un caractère général. Les *critères d'évaluation* définissent les enjeux environnementaux liés à chaque objectif environnemental. Ils se positionnent comme un niveau hiérarchique dans la définition des préoccupations environnementales. Nous posons comme caractéristiques d'un *critère d'évaluation*, les éléments suivants : il doit être qualitatif, estimable lors de la conception et l'ensemble des *critères d'évaluation* d'un *objectif environnemental* doit décrire les enjeux de ce dernier. Chaque critère sera accompagné d'une définition générale permettant une compréhension plus juste de celui-ci.

Il faut noter que les différents *objectifs environnementaux* mis en place dans le *référentiel 0* ont été ciblés pour plusieurs étapes du cycle de vie des bâtiments, alors que notre approche porte sur la phase de conception. Nous préservons donc uniquement les *objectifs environnementaux* concernant cette phase.

On remarque que prendre en compte les *objectifs environnementaux* en phase de conception ne signifie pas que les impacts environnementaux des autres phases du cycle de vie ne seront pas envisagés. Les impacts environnementaux de ces stades seront estimés dans la mesure où ils seront déterminés lors de la conception.

Pour notre étude, nous avons donc retenu du *référentiel 0* les *objectifs environnementaux* suivants : les ressources, l'impact du bâti dans le site, l'orientation, le volume, la distribution et l'accessibilité, la flexibilité, la gestion, le système constructif, le choix des matériaux, la gestion de l'eau, la gestion de l'énergie, le confort de l'air intérieur, le confort acoustique et le confort visuel.

Notre démarche de proposition d'une liste de *critères d'évaluation* pour chaque *objectif environnemental* s'est appuyée sur les référentiels des méthodes existantes et sur la littérature relative aux enjeux environnementaux.

Prenons, pour illustrer nos propos, l'objectif « Choix des matériaux ». Le référentiel « NF bâtiment tertiaire-démarche HQE® » énonce à propos de cet enjeu les réflexions suivantes : *« Choisir des produits de construction faciles à entretenir »* ou encore « *Choisir les produits de construction pour limiter leur contribution aux impacts environnementaux ».* Le référentiel Japonais CASEBEE propose les critères suivants : *« Éviter l'utilisation de matériaux avec des contenus polluants »* et *« Réduction de l'utilisation des ressources non renouvelables ».* La certification LEED suggère : « Utilisation de matériaux régionaux ».

Les auteurs (Liébard et De Herde, 2006) dans leur ouvrage rajoutent également la notion d'énergie grise :

> *« - privilégier des produits de construction dont le contenu énergétique* [...] *est le plus faible possible sachant qu'il existe pour la plupart des matériaux une corrélation forte entre l'énergie grise et leurs émissions de gaz à effet de serre ; » article n° 205 (Liébard et De Herde, 2006)*

Nous retiendrons de ses approches différents concepts relatifs aux choix des matériaux. Un premier est celui de l'impact écologique ou environnemental des matériaux lors de leur extraction ou de leur fabrication (pollution de l'eau, pollution de l'air, dénaturation d'un site, etc.). Le second est relatif à l'épuisement des ressources non renouvelable. Il est donc préférable dans ce cadre de favoriser des matériaux renouvelables ou recyclés. Le troisième concerne la consommation énergétique d'un matériau pour sa production, appelé « énergie grise ». Le quatrième aborde l'impact sur la santé de certains matériaux, tant pour les ouvriers que pour les occupants. Le cinquième sera relatif à l'entretien des matériaux. Certains choix peuvent engendrer des surcouts d'entretien pas toujours compatible avec les moyens du maître d'ouvrage. Enfin, le dernier sera relatif à la réduction

des transports engendrés par le choix de matériaux locaux et des entreprises locales. Ce dernier point a également pour ambition de favoriser l'économie locale.

Nous avons donc défini, en fonction de cette exploration, les *critères d'évaluation* suivants :

- Utilisation de matériaux à faible énergie grise.
- Limitation de l'impact écologique.
- Limitation de l'impact sur la santé.
- Limitation de l'épuisement des ressources.
- Limitation de la maintenance et de l'entretien.
- Production et entreprises locales.

Ces explorations sur l'ensemble des objectifs nous ont conduits à proposer une première version du référentiel. Plusieurs variantes se sont succédé en raison des modifications engendrées à la suite d'études, d'expérimentations et de validations. Des exemples d'évolutions et de modifications sont notamment explicités par la suite.

La version finale de notre référentiel est composée de douze *objectifs environnementaux* et d'une soixantaine de *critères d'évaluation* (cf. annexe 1). Ce référentiel, appelé « *référentiel de base* », tente d'aborder les différents enjeux environnementaux à considérer, sans distinction de contexte particulier.

Modifications et évolutions du référentiel de base : étude de l'architecture vernaculaire et de l'architecture environnementale récente

L'architecture vernaculaire (définie dans le chapitre 1.2 comme ayant un fort dialogue avec l'environnement) et l'architecture « environnementale » récente ont également été analysées, afin d'enrichir ou de préciser la définition des *critères d'évaluation*. Nous avons cherché à identifier des attitudes communes et donc des besoins spécifiques. Les attitudes les plus visibles sont notamment celles vis-à-vis du climat où différents types architecturaux se détachent nettement.

Par exemple, l'architecture légère, ainsi que les larges toitures sont des caractéristiques de l'architecture d'un climat chaud et humide. Au contraire dans un climat chaud et sec nous retrouvons les attributs suivants : une architecture compacte et lourde ainsi qu'une toiture plate. L'architecture des climats ayant à la fois une période chaude et sèche ainsi qu'une période chaude et humide présente les caractéristiques des deux climats.

Nous avons donc pour chaque sorte de climat un type particulier d'architecture, donc des besoins bien particuliers. Ces besoins peuvent être analysés par une étude typologique.

Dans l'exemple des climats chauds et humides, le type « large toiture et structure légère surélevée » nous indique, entre autres, le besoin de se protéger de la pluie et du soleil, et le besoin d'une ventilation permanente (cf. Figure 36).

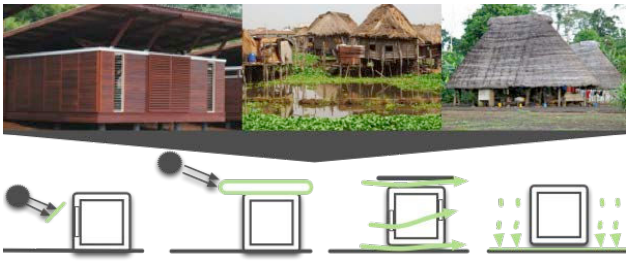


Figure 36 : Architecture type d'un climat chaud et humide et les besoins. Gauche : collège de Papaïchton en Guyane de l'agence d'architecture JAG (JAG, WEB). Milieu : village lacruste (Blog-écologie, WEB). Droite : habitat tribu achuar en Amazonie (Utexas, WEB).

Le type « architecture compacte, fermée et structure lourde », fréquente dans le climat chaud et sec, est le signe, entre autres, des besoins de protection thermique, de déphasage et de réflexion du soleil (cf. Figure 37).

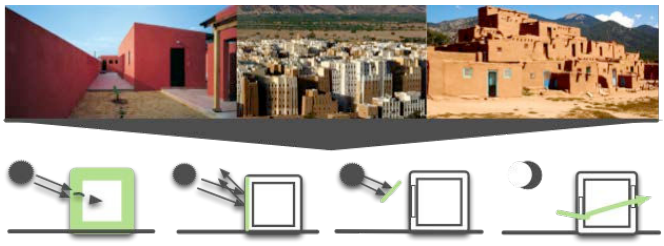


Figure 37 : Architecture type d'un climat chaud et sec et les besoins. Gauche, Centre communautaire pour femme à Rufisque au Sénégal des architectes Saija Hollmén, Jenni Reuster et Helena Sandman (HOLLMEN REUTER SANDMAN architects, WEB). Milieu, habitat au Yémen (Rahhala, WEB)/ Droite : Habitations représentatives de la culture des Indiens Pueblo de l'Arizona et du Nouveau-Mexique (UNESCO World Heritage Centre, WEB)

Ces différents besoins identifiés ont été transcrits en *critère d'évaluation*. Par exemple, les différentes attitudes relevées, notamment vis-à-vis des comportements thermiques, nous ont permis d'identifier et de clarifier les *critères d'évaluation* relatifs à l'objectif « Gestion de l'énergie et confort thermique », nous citerons pour exemple :

- Utilisation et gestion des apports solaires passifs.
- Limitation des déperditions.
- Protection du rayonnement solaire direct.
- Etc.

Modifications et évolutions du référentiel de base : expérimentations, confrontations et études de cas.

Les différentes versions du référentiel ont été régulièrement confrontées à un regard professionnel, lors d'entretiens semi-directifs ou lors de tests de la méthode. Les différents professionnels rencontrés se composent en majorité d'architectes pratiquant une architecture environnementale. Ces confrontations ont mené vers un renforcement et un affinement du *référentiel de base*.

L'affinement du référentiel s'est effectué par le biais d'ajout, d'ajustement, de suppression, de regroupement de *critères d'évaluation* ou *d'objectifs environnementaux*, dans le but de satisfaire au mieux aux remarques générales émises par les professionnels. Nous proposons notamment d'expliciter une des remarques rencontrées.

Les *objectifs environnementaux* « orientation » et « volume », présents initialement dans le référentiel, ont été supprimés. Ces derniers apportent une redondance (cf. Figure 38). En effet, les réflexions sur l'orientation et la volumétrie du bâtiment ne sont pas des objectifs en soi, mais des moyens d'atteindre certains objectifs. Les *critères d'évaluation* relatifs à l'objectif « orientation » se retrouvent donc dans d'autres *objectifs environnementaux.*

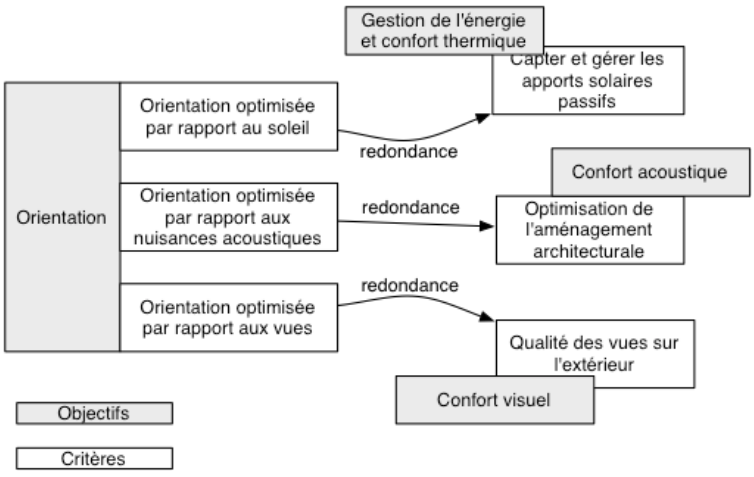


Figure 38 : Redondance pour l'objectif « Orientation ». Figure développée dans le cadre de notre recherche.

4.2 Un référentiel contextualisé

Le *référentiel de base* déterminé dans notre première démarche n'a pas la prétention d'être ajusté à un contexte particulier. Cette non-adaptation peut donc perturber l'estimation d'un projet. En effet, certains *critères d'évaluation* seront non-pertinents dans certaines situations, alors que d'autres le seront. Le but de notre approche est de pouvoir guider le concepteur, par le biais d'estimations

successives pendant la conception. Pour ne pas conduire le maître d'œuvre vers des non-sens, cette évaluation doit donc être adaptée au contexte de chaque projet.

Pour illustrer nos propos, prenons l'exemple du critère « Traitement spécifique des façades exposées aux nuisances ». Dans une situation géographique où aucune nuisance externe n'est présente, il n'est pas nécessaire de le considérer. À l'inverse, dans une situation riche en pollutions acoustiques externes ce critère nécessite d'être pris sérieusement en considération.

Nous proposons donc de contextualiser le *référentiel de base* par l'intégration d'une pondération des *critères d'évaluation* appelée « *coefficient de contexte* ». Le référentiel ainsi obtenu se nomme le « *référentiel projet* ». Notre parti-pris est de proposer un référentiel non contextualisé, tentant de regrouper l'ensemble des enjeux puis de le contextualiser, plutôt que de créer un référentiel projet pour chaque domaine bien déterminé. Ce système devant permettre une meilleure souplesse dans la contextualisation.

L'étude s'est effectuée en trois temps, l'identification et la définition de types de contextes, l'analyse de l'influence de ces derniers sur les *critères d'évaluation* et la retranscription de ces influences en fonctions logiques. Ces étapes se sont appuyées en partie sur la littérature relative aux enjeux environnementaux, mais essentiellement sur des études de cas menés avec des architectes.

Notion de contexte

Par contexte, nous entendons l'ensemble des données et des circonstances dans lequel émerge un projet. Cette notion est relativement étendue, car le contexte peut renvoyer à différents champs (le contexte social, le contexte économique, le contexte physique, le contexte programmatique, etc.) et à différentes échelles (globale, locale, et partagée).

Tous les ouvrages s'insèrent dans un contexte général où ils partagent en commun les mêmes objectifs et contraintes (données réglementaires, macro-économiques, etc.). Dans ce contexte global, un certain nombre de situations (usages, climat, etc.) peuvent être communes à un ensemble de projets. Il existe également des circonstances propres à chaque projet qui ne sont pas partagées et qui possèdent un caractère singulier (orientation du terrain, condition de production, etc.).

Le contexte d'un projet est donc défini par un ensemble d'informations et d'objectifs appartenant à différents champs et à différentes échelles. Plus le nombre de champs est important et plus les données d'échelles sont nombreuses ; plus le contexte est spécifique, plus il devient aussi complexe de le maîtriser. La délimitation d'un contexte n'est donc pas un fait objectif.

Nous cherchons donc à identifier les contextes d'édification influant sur les enjeux environnementaux, dans l'objectif de caractériser le contexte d'un projet. Nous nommerons *« contexte*

projet » le contexte général du projet et *« contexte influent »* chaque contexte qui agis sur l'importance des enjeux environnementaux. Chaque *contexte influent* est décomposé en type décrivant les différentes situations rencontrées.

L'identification des *contextes influents* a été faite en nous appuyant sur les méthodes existantes, sur la littérature relative aux approches environnementales du bâtiment (Jourda, F., 2009) (Liébard, A. Herde, A.D., 2006) (Peuportier, B., 2008) (Wines, J., 2002), ainsi que sur les études de cas. Nous avons retenu pour ce travail les éléments qui caractérisent d'une part la nature des édifices et du programme, les conditions climatiques du projet et pour finir, des contextes plus particuliers et locaux. Nous avons donc défini trois catégories : contexte programmatique, contexte climatique et contexte local.

Études de cas

Les études de cas se sont déroulées sous forme d'entretiens semi-directifs, avec des architectes pratiquant une « architecture environnementale ». L'objectif de ces rencontres était d'apprécier le poids relatif des *critères d'évaluation* dans le processus de conception, dans un contexte déterminé. Les entretiens portaient sur des opérations récentes conduites dans des contextes précis par ces professionnels.

Les rencontres se sont déroulées de la manière suivante :

- La sélection d'un ou deux projets environnementaux parmi les projets de l'architecte.
- L'identification des contextes pour chaque projet.
- L'appréciation par l'architecte de l'importance de chaque *critère d'évaluation* pour chaque cas étudié.

Les sélections de projets se sont effectuées avec l'architecte interrogé, les choix se sont portés sur des propositions ayant une réflexion environnementale, tout en essayant, dans la mesure du possible, de cibler des contextes variés. L'identification du contexte s'est notamment opérée sur une trame établie (usage, milieu urbain, ville, pays et type de construction). Un champ ouvert a tout de même été proposé pour laisser la possibilité au concepteur de définir d'autres contextes particuliers pertinents dans ce cadre d'étude, identifiés au début ou lors de l'entretien.

L'architecte a ensuite indiqué, selon lui et pour chaque contexte d'étude sélectionné, l'importance des différents *critères d'évaluation* proposés. Cette importance est estimée sur cinq niveaux : pas important (-), peu important (+), moyennement important (++), important (+++) et très important (++++). Un commentaire pouvait être apporté afin de compléter et de préciser ce niveau d'importance. L'ensemble des propos a été rapporté dans un tableau préétabli (cf. Tableau 2).

Cette étude de cas a servi de matériau de base à notre travail sur la contextualisation. Elle nous a permis, d'une part, de confirmer explicitement le besoin de contextualiser la méthode, en fonction des situations propres à chaque projet ; d'autre part, d'identifier des contextes influents et leur manière d'agir sur l'importance des *critères d'évaluation*.

Tableau 2 : Extrait de questionnaires remplis lors de l'étude de cas sur la contextualisation. (Tableau développé dans le cadre de notre recherche).

	+	++	+++	++++	-	Commentaires
Limitation de l'ombre portée sur le voisinage					X	Rien autour, en campagne
Limitation et gestion des déblais et remblais		X				Construction 1 mètre plus haut que le sol
Limiter l'effet d'îlot de chaleur urbain					X	Pas traité
Protection par rapport aux risques naturels	X					Surélévation du bâti pour cause d'inondation
Limitation de l'étalement sur le terrain					X	Bâtiment déjà existant, pas de possibilité de modifier le volume

Le corpus se compose de cinquante-sept projets étudiés, conçus par trente-six architectes. Il s'étend sur l'ensemble du monde (France, Australie, Brésil, Afrique du Sud, Guyane, Inde, Norvège, Suède, Québec, États-Unis, etc.). Des entretiens ont été organisés avec les architectes résidant en France. Pour les autres, des questionnaires à remplir ont été envoyés. Cette initiative nous a permis d'explorer le contexte d'un point de vue mondial bien que l'interprétation des propos d'architectes « distants » soit plus difficile par manque d'interactions et d'échanges directs.

Figure 39 : Exemples de projets étrangers explorés lors des études de cas. Gauche : nouvel opéra/ballet national de Norvège à Oslo de l'architecte Snohetta (Snohetta, WEB). Milieu : Surya school (Himalaya) en Inde, dirigée par Jan Tillinger (Surya Civic Association, WEB). Droite : loge de montagne en Afrique du Sud des architectes Crafford and Crafford (Crafford & Crafford, WEB).

Contexte programmatique

Nous avons vu dans le chapitre précédent (cf. Chapitre 2.2) que la certification « NF-démarche HQE® » propose un référentiel pour les logements collectifs neufs, un référentiel pour le tertiaire ou encore un référentiel pour les maisons individuelles en rénovation. D'autres approches, comme la certification BREEAM, présentent un référentiel pour les logements collectifs ou encore pour les

bâtiments d'éducation. De même, le référentiel Japonais CASEBEE propose une version pour les constructions neuves et une autre pour les constructions en rénovation.

Deux dominantes programmatiques ressortent dans les méthodes existantes : le type d'usage (habitat, tertiaire, éducatif, etc.) et le type de construction (neuf, rénovation, etc.) définissant ainsi deux *contextes influents*.

Les différents types abordés dans notre méthode ont été définis par le biais des études de cas, dont nous utiliserons les terminologies rencontrées, exposées dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Nomenclature des contextes d'usages et de construction (Tableau développé dans le cadre de notre recherche).

Usages	
Habitat collectif	Groupement de logements comportant des espaces communs et des espaces privatif (opération d'habitats en bande, immeubles collectifs, etc.).
Habitat individuel	Programme comportant uniquement un logement, abritant une seule famille.
Bureaux	Bâtiments de sorte tertiaire abritant des espaces de travail du type bureaux.
Enseignement	Bâtiments scolaires tels que les maternelles, primaires, collèges, lycées, universités, etc.
Culturel et loisir	Espaces tels que les centres d'activités, les complexes sportifs, les musées, etc.
Construction	
Neuve	Un bâtiment nouveau, sur un terrain non bâti, ou sur un terrain après démolition.
Restructuration	Un réaménagement interne, une transformation ou une amélioration d'un édifice.
Extension	Surélévation ou ajout d'un bâtiment, en lien avec le premier.

Nous avons souhaité compléter cette typologie de contextes programmatiques par le *contexte influent* « milieu urbain » dans lequel se construit le bâtiment (urbain dense, isolé, village, etc.). Bien qu'absent des certifications et des approches par listes/référentiels, la littérature fait émerger l'importance de ce contexte pour les enjeux environnementaux. Prenons, en particulier, l'exemple des nuisances acoustiques extérieures aux bâtiments, ou encore l'effet d'îlot de chaleur urbain. Les considérations de ces enjeux n'ont pas les mêmes incidences en milieu urbain et dense qu'en milieu isolé :

> *« Venant de l'intérieur du bâtiment ou de l'extérieur, le bruit est une vraie nuisance. À la ville comme, dans une moindre mesure, à la campagne […] » (Vuerich, 2008)*
>
> *« La température en ville est supérieure de quelques degrés à celle des campagnes avoisinantes. Cette élévation, qui atteint parfois 4 ou 5 degrés Celsius, est notamment causée par la concentration des rayons du soleil au cœur des rues à cause de leur réverbération sur la surface des bâtiments »(Messier et al., 2007)*

Le milieu urbain est caractérisé selon Vincent Fouchier (Fouchier, 1998) par la densité du bâti, mais également par la forme des bâtiments. La densité dépend du rapport entre éléments construits et non construits, sur un îlot, un quartier ou une ville. La forme urbaine dépend du rapport entre le bâti, la parcelle et les espaces publics (Michel Rouget et al., 2007). Nous retrouvons dans la littérature (Michel Rouget et al., 2007) (Bordes-Pagès et al., 1995) (Grand Avignon, 2009) (SABATIER, 2010) (Certu, 2004) entre autres, les distinctions et les définitions suivantes :

- Habitat rural, construction isolée : densité très faible (entre 1-5 log/ha) milieu rural, campagne.
- Habitat individuel : faible densité (environ 5 -20 log/ha), habitats individuels dominants bas et épars ou organisés.
- Individuel dense, continu bas : (environ 20 — 50 log/ha) habitat individuel ou intermédiaire, construction organisée, espaces privatifs extérieurs, rationalisation (cœur de village, faubourg, etc.).
- Collectif discontinu : une densité moyenne (environ 50-150 log/ha), une dominante d'habitats collectifs disposer de manière discontinue.
- Collectifs continus et denses : tissu dense organisé en limite d'îlot à fonction mixte (80-180 log/ha), centre historique ancien, centre-ville, etc.

Différents types de milieux ont été rencontrés lors des études de cas : urbain, périurbain, peu dense, cœur de village, campagne, centre urbain, technopôle, très dense, faubourg, périphérie, rurale, zone pavillonnaire, zone activité, habitat diffus, petite ville, campus industriel, lotissement, zone industrielle. Cependant, une terminologie explicite ne semble pas ressortir et ces différentes situations se trouvent souvent assujetties à des interprétations divergentes. Nous les avons organisés en fonction de perceptions essentiellement qualitatives pouvant influencer les enjeux environnementaux et en fonction des différentes classifications dans les littératures, énoncées plus haut (cf. Tableau 4).

Le contexte « milieu » tente de définir l'environnement proche dans lequel s'insère le projet, il sera défini dans son sens le plus local, et non à l'échelle du quartier ou de la ville. Un édifice peut donc se situer dans un milieu isolé, bien qu'il soit dans un quartier en centre-ville urbain, si celui-ci se trouve par exemple dans une large zone non construite (cf. Figure 40).

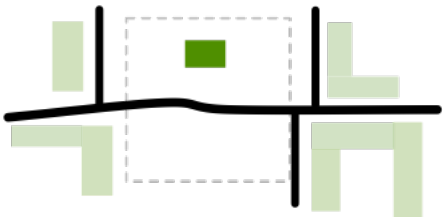
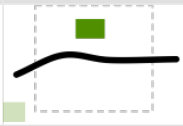
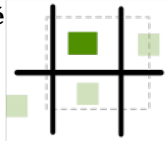
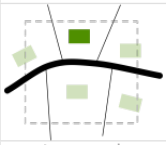
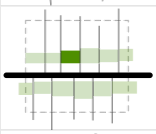
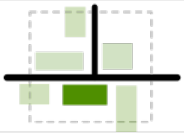


Figure 40 : Cadrage du contexte de milieu du bâtiment. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Tableau 4 : Nomenclature des typologies de milieux. Tableau développé dans le cadre de notre recherche.

Typologies de milieu	Schémas	descriptions	Terminologies rencontrées
Milieu isolé		•Très faible concentration urbaine. •Pas de risque d'impact direct sur le voisinage •Nuisances générales faibles.	•Campagne •Rural
Milieu d'activité		•Concentration urbaine faible-moyenne. •Un voisinage peu présent et souvent de qualité architecturale moyenne. •Pas de risque d'impact direct sur le voisinage. •Nuisances générales pouvant être fortes.	•Campagne industriel •Zone industrielle •Zone d'activité
Milieu diffus		•Faible concentration urbaine. •Quelques risques d'impacts sur le voisinage. •Nuisances générales faibles	•Zone pavillonnaire •Habitats diffus •Lotissement
Milieu intermédiaire		•Concentration de bâti moyenne. •Risques d'impacts sur le voisinage. •Nuisances générales moyennes	•Cœur de village •Petite ville •Habitat intermédiaire
Milieu urbain peu dense		•Forte concentration de bâti. •Risques d'impacts sur le voisinage. •Présence de zones collectives. •Nuisances générales moyennes-fortes.	•Peri-urbain •Faubourg •Périphérie
Milieu urbain dense		•Forte concentration de bâti. •Risque fort d'impact sur le voisinage. •Présence de zones collectives. •Nuisances générales fortes	•Urbain •Centre urbain

Les types (d'usages, de constructions ou de milieux) ont été définis à la suite des études de cas, certains types n'ayant pas été rencontrés, comme, l'usage commercial ou encore l'usage agricole, ils ne feront pas pour l'instant l'objet de notre recherche. Cependant, l'intégration de ces derniers dans la méthode reste ouverte.

Notons également que les contextes d'usage et de construction peuvent posséder plusieurs types. Par exemple, un projet peut être une rénovation accompagnée d'une extension pour un programme de logements et de bureaux. Afin de s'adapter aux mieux aux particularités des projets, la méthode peut considérer plusieurs types d'usages et de construction pour un même contexte. Les contextes « d'usage » et de « construction » sont donc des contextes à type multiples.

Contexte climatique

L'impact du contexte climatique sur les enjeux environnementaux n'est plus à démontrer. Les différentes méthodes d'assistance à l'éco-conception intègrent d'une manière ou d'une autre cette notion. Les logiciels de simulation incorporent ces données par le biais de modèles climatiques de la

région sélectionnée comportant les variations de température ou encore d'ensoleillement pour l'ensemble de l'année. La méthode de table de Mahoney (United Nations. et al., 1971) nécessite le renseignement de données moyennes, pour chaque mois (températures, humidité, etc.). Les approches par listes/référentiels sont adaptées pour une région particulière. Par exemple, la certification NF-démarche HQE® est ajustée pour la France. On remarque cependant que cette certification ne distingue pas les différents contextes climatiques en France.

Le contexte climatique peut être défini par la description des conditions météorologiques et atmosphériques moyennes d'une région. Cet état peut être établi grâce à différentes données : la température, la pluviométrie, l'ensoleillement, l'humidité, etc. Les données prises en compte pour ces classifications dépendent du but et de la précision que l'on souhaite avoir.

Différentes catégorisations de climats existent, elles consistent à typer et organiser, en zone, des régions dont les climats sont semblables. Par exemple, il existe une classification des grands climats, relativement admise : tropical, aride, tempéré et polaire. Ou encore, une autre catégorisation plus précise, mise en place par Wladimir Peter Köppen dans les années 1920 (Kottek et al., 2006) définit, en trois étapes, vingt-quatre déclinaisons climatiques différentes (cf. Figure 41). La première étape définit cinq grands climats, la seconde, les affine en fonction du régime pluviométrique et la dernière en fonction des variations de température. Pour illustrer cette démarche, nous présentons le climat catalogué « BWh », catégorisé dans les climats secs et désertiques avec une précipitation annuelle inférieure à deux cent cinquante millimètres avec une température moyenne annuelle chaude supérieure à dix-huit degrés celcus.

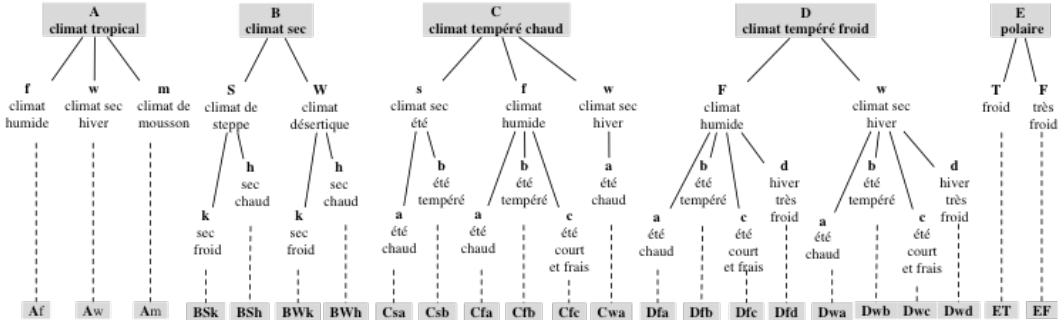


Figure 41 : Classification de Köppen. Figure développée dans le cadre de notre recherche avec les informations de (Kottek et al., 2006).

La méthode « The holdridge life zones », publiée par Leslie Holdridge (Holdridge, 1967), est une classification climatique associée à des types de végétation. Elle se présente sous la forme d'un graphique à trois axes, les précipitations, l'humidité, et le ratio du potentiel d'évapotranspiration (cf. Figure 42). Le système intègre également trois autres indicateurs qui sont la biotempérature, la latitude et l'altitude. Chaque zone correspond à des caractéristiques climatiques particulières et donc à

un type de végétation défini. Le système détermine trente-huit classes différentes telles que « polaire et désertique », « forêt sèche, tempérée chaude », « forêt sèche, subtropicale », etc. Par exemple, la catégorie « forêt sèche, subtropicale » est caractérisée de la manière suivante : une biotempérature entre douze et vingt-quatre degrés Celsius, un ratio de potentiel d'évaporation d'un à deux, un milieu humide, une précipitation moyenne et annuelle entre cinq cents et mille millimètres.

Figure 42 : Schéma « The holdridge life zones ». Figure récupérée sur (LEEMANS et al., WEB).

Deux possibilités peuvent être employées pour notre méthode, l'une serait d'utiliser une classification existante, en proposant une caractérisation en type de climats (polaire, tropical, tempéré, etc.), l'autre serait de suggérer une définition du climat en fonction de données climatiques particulières (températures, évaporation, etc.).

La caractérisation d'éléments en nombre fini pose la question du nombre de ces derniers. Définir un nombre limité d'éléments permet d'avoir un modèle simple, mais n'intègre que peu de cas de figure. Au contraire, déterminer un nombre élevé d'éléments permet de considérer plus de cas de figure, mais rend le modèle complexe.

Plutôt que de définir un nombre de climats types, nous nous sommes orientés vers les données climatiques mêmes, en nous posant cette question : quelles sont les données climatiques qui influencent l'importance des *critères d'évaluation* ? Un contexte climatique est alors défini, non pas par types, mais en fonction de données spécifiques. Cela permet de limiter les données d'entrées aux seuls éléments utiles pour la définition des *critères d'évaluation* tout en préservant l'efficacité du modèle. L'ensemble des climats pourra être considéré ainsi que les microclimats. En effet, la méthode prend en compte les données climatiques d'un point donné et non une moyenne d'une région. L'identification des données climatiques influant sur chaque *critère d'évaluation* a permis également une meilleure gestion de leurs influences.

Pour notre travail, nous nous sommes centrés sur les données influençant les différents critères mis en place et notamment ceux cités lors des études de cas, donc proches de la pratique architecturale. En effet, il n'est pas nécessaire, dans la pratique architecturale des premières phases de conception, de connaître des données climatiques détaillées. Ces dernières ne seront cruciales que pour optimiser les dimensionnements des éléments architecturaux et surtout techniques. En revanche, il est indispensable d'avoir une notion des conditions climatiques dans lesquelles s'insère le projet.

Parmi les différents commentaires rencontrés dans les études de cas, pouvant définir les données climatiques, nous pouvons citer comme exemples :

> *« Très forte pluviométrie », « Soleil très vite au zénith » Castieu (Guyane).*
>
> *« design of structure for maximizing thermal comfort of structure without any heating (even in -40°C) » (une conception de la structure afin de maximiser le confort thermique de la structure sans aucun chauffage (même à -40 ° C) » , « the rain in this area is very rare » (la pluie est très rare à cet endroit) Jan tillenger.*
>
> *« The site is located on the latitude 27°S, so it is a hot place in the most of the years, but it can be cold in the winter » (Le site est situé sur la latitude 27 °, c'est donc un endroit chaud la plupart du temps dans l'année, mais il peut faire froid en hiver) Cuboverde (Brésil).*
>
> *« pas assez chaud » Aline Martin de atelier Alain Durant (France)*
>
> *« -25°C in winter » Craffort & Crafford (Afrique du Sud)*

Trois données climatiques semblent indispensables à la définition du contexte climatique influençant les enjeux environnementaux préliminaires. Premièrement, la notion de températures hautes et basses, faisant référence aux sensations d'une période chaude (éventuelle) et d'une période froide (éventuelle). La définition de ces dernières sera basée sur les températures moyennes dites « maximales » (après-midi) du mois le plus chaud et du mois le plus froid. Ces données semblent correspondre, d'après une enquête, à la sensation du climat ressenti par une majorité de personnes. Deuxièmement, la notion de pluviométrie, traduite notamment par une quantité de pluies moyenne sur l'année, mais aussi la répartition de ces pluies dans l'année. Pour finir, nous avons la notion de latitude, décrivant la course du soleil.

Les diverses données climatiques ont été découpées comme suit (cf. Tableau 5) en fonction des cas d'études rencontrés et suite à l'analyse des différentes classifications climatiques.

Tableau 5 : Nomenclature des typologies de climat (tableau développé dans le cadre de notre recherche).

Température haute	
Très élevée	Supérieur à 30 °C : très au-dessus de la zone de confort. - Besoin fort de limiter l'entrée de la chaleur. - Besoin fort d'évacuer et de réduire la chaleur intérieure.
Élevée	De 26 à 30 °C : au-dessus de la zone de confort : - Besoin de limiter l'entrée de la chaleur. - Besoin d'évacuer et de réduire la chaleur intérieure.
Moyenne	De 21 à 25 °C : zone de confort : - Besoin fort de limiter l'accumulation de chaleur à l'intérieur
Basse	De 18 à 20 °C : zone de confort : - Besoin léger de limiter l'accumulation de chaleur à l'intérieur
Très basse	Inférieure à 18 °C : en dessous de la zone de confort, pas de période chaude
Température basse	
Très élevée	Supérieure à 18 °C : pas de période de température en dessous de la zone de confort
Élevée	De 11 à 18 °C : en dessous de la zone de confort - Besoin léger de conserver et d'accumuler la chaleur
Moyenne	De 6 à 10 °C - Besoin fort de conserver et d'accumuler la chaleur - Besoin faible d'apport de chaleur complémentaire
Basse	De 0 à 5 °C - Besoin fort de conserver et d'accumuler la chaleur - Besoin fort d'apport de chaleur complémentaire
Très basse	Inférieure à 0 °C - Besoin très fort de conserver et d'accumuler la chaleur - Besoin très fort d'apport de chaleur complémentaire
Pluviométrie	
Très pluvieux	Supérieur à 1500 mm, forte pluviométrie globalement repartie sur l'année
Très pluvieux avec période de sècheresse	Supérieur à 1000 mm, une période de forte pluviométrie, avec une période de très faible pluviométrie
Pluviométrie moyenne	De 500 à 1000 mm, pluviométrie moyenne globalement repartie sur l'année
Faible pluviométrie	De 500 à 300 mm, pluviométrie faible globalement repartie sur l'année
Très faible pluviométrie	Inférieure à 300, très faible pluviométrie globalement repartie sur l'année
Latitude	
Équateur	Inférieur à 10° : course du soleil haute
Tropique	Entre 10 et 55° : course du soleil haute et basse
Pôle	Supérieur à 55° : course soleil basse

Contexte local

Lors des études de cas, nous avons identifié des contextes très particuliers qui pouvaient influencer certains critères. Nous avons nommé cette catégorie : contexte local. Nous en avons identifié cinq, chacun influençant un ou plusieurs critères.

Ces contextes viennent affiner la contextualisation programmatique et climatique en apportant des informations supplémentaires ou complémentaires sur les particularités du projet et permettent ainsi d'implémenter des situations plus variées.

Par exemple, si un projet possède le contexte suivant « en campagne dans un milieu relativement isolé et situé proche d'une voie ferrée bruyante », il pourra être considéré dans la méthode. Le contexte « milieu isolé » étant défini de manière générale comme ayant une nuisance générale faible, il sera complété avec le contexte « nuisances acoustiques particulières » afin de cadrer au mieux possible avec la situation propre de ce projet.

Tableau 6 : Nomenclature des contextes locaux

Contexte local	
Extension non potentielle	Une impossibilité de par les particularités du site (morphologie, densité, etc.) de prévoir une extension.
Utilisation non permanente	Un bâtiment à usages non journalier (maison de vacances, etc.)
Nuisances acoustiques particulières	Présence d'une source sonore particulière proche du site.
Matériaux disponibles sur site	Présence de matériaux (de structure ou non) sur le site (déconstruction, récupération, etc.) pouvant être valorisés dans le projet.
Risques naturels	Site à risque naturel : tempête, sismique, minier, inondation

Caractérisation des influences contextuelles sur les critères

La première étape pour l'étude d'influence est d'identifier quels contextes influencent chaque *critère d'évaluation*, la seconde étant de comprendre la manière dont ils les influencent.

Les échanges et les discussions, effectuées lors des études de cas, ont permis d'interpréter les diverses données, d'apprécier les différentes influences et d'identifier les contextes pouvant influencer chaque *critère d'évaluation.* Nous pouvons notamment différencier les cas où le *critère d'évaluation* n'est pas important à cause du contexte, des cas où simplement il n'a pas été considéré par le maître d'œuvre ou d'ouvrage (budget, conviction, etc.). L'ensemble des données recueillies lors des études de cas a fait l'objet d'analyses et d'interprétations.

Afin d'illustrer nos propos, nous tentons d'expliciter quelques interprétations effectuées lors de notre étude. Elles sont notamment exposées dans le tableau (cf. Tableau 7). Ces interprétations présentées à partir de quelques entretiens n'exposent pas nécessairement un point de vue général.

- Le critère « limitation de l'ombre portée sur le voisinage » n'est pas important dans notre exemple, car le maître d'œuvre ne juge pas utile de se questionner sur cette notion dans le sens où il n'y a aucun bâtiment voisin. Ce *critère d'évaluation* est donc influencé par le milieu dans lequel s'insère le bâtiment.
- Le critère « limitation et gestion des déblais et remblais » ne semble pas, dans notre exemple, être influencé par un quelconque contexte.

- Le critère « limiter l'effet d'îlot de chaleur urbain » n'est pas un critère considéré par l'architecte, cette réponse ne fera donc pas partie de l'analyse contextuelle.
- Le critère « protection par rapport aux risques naturels » est jugé très important, car nous sommes en présence de risques d'inondations. Ce critère semble donc être influencé par un contexte « présence de risque naturel ».
- Le critère « limitation de l'étalement sur le terrain » n'est pas pris en compte dans ce contexte, car il s'agit d'une rénovation et que le volume du bâtiment ne pouvait être modifié. Ce critère est donc influencé par le type de construction du bâtiment.

Tableau 7 : Exemples d'interprétations des données de l'étude de cas.

	++++	+++	++	+	-	Commentaires du professionnel	Interprétations dans le cadre de notre étude
Limitation de l'ombre portée sur le voisinage					X	Rien autour, en campagne	Influencé par le milieu du bâtiment
Limitation et gestion des déblais et remblais		X				Construction 1 mètre plus haut que le sol	Pas d'influence spécifique
Limiter l'effet d'îlot de chaleur urbain					X	Pas traité	Pas pris en compte
Protection par rapport aux risques naturels	X					Surélévation du bâti pour cause d'inondation	Influencé par le risque naturel : inondation
Limitation de l'étalement sur le terrain					X	Bâtiment déjà existant, pas de possibilité de modifier le volume	Influencé par le type de construction du bâtiment

Ces interprétations ont été effectuées sur l'ensemble des entretiens et ainsi rassemblées pour être analysées. Nous avons identifié les *contextes influents* et apprécié la manière dont ils influencent chaque *critère d'évaluation*. Certains critères semblent n'être influencés par aucun contexte tandis que d'autres paraissent être influencés par un ou plusieurs contextes.

Suite à cette analyse, nous avons établi, pour chaque *critère d'évaluation*, la liste des contextes qui l'influencent et une définition qui décrit les conditions d'importance. Les importances seront déterminées sur les cinq niveaux, définies au préalable lors de l'étude de cas : pas important (-), peu important (+), moyennement important (++), important (+++) et très important (++++). Les critères n'ayant pas de *contexte influent*, leur importance dépend des impressions moyennes des architectes interrogés. Prenons comme exemple les quatre critères suivants :

- Le critère « accessibilité », relatif à l'accessibilité des personnes à mobilités réduites, ne semble pas être influencé par un contexte et il est considéré en moyenne chez les professionnels comme « important (+++) ».
- Le critère « qualité de la vue sur l'extérieur » paraît être constant et jugé « très important (++++) ».
- Le critère « limitation de l'ombre portée sur le voisinage » apparaît être influencé par le « milieu » dans lequel se situe le bâtiment, le « type de construction », ainsi que par la « température basse ». En effet, ce critère importe dans les cas de densité de bâti, cependant, dans le cadre d'une rénovation où il n'y a pas d'intervention sur le volume, ce critère ne peut être considéré. Le besoin de capter le soleil peut être inutile, et même déconseillé dans les climats n'ayant pas de période froide, l'ombre portée sur le voisinage dans ce cas ne sera pas préconisée.
- Le critère « traitement spécifique des façades exposées aux nuisances acoustiques » est influencé par le contexte « milieu » et par le contexte « nuisances acoustiques ponctuelles ». Il sera d'autant plus important que la concentration de bâtiments est dense et donc que les nuisances sont généralement plus présentes, ou que des nuisances ponctuelles soient déclarées.

Ce travail d'influence nous a permis de contextualiser l'ensemble des *critères d'évaluation* en fonction des appréciations des professionnels lors des études de cas. Le tableau récapitulatif de l'ensemble des influences contextuelles est disponible à l'annexe 2.

Traduction des influences contextuelles en fonctions logiques

Les conditions d'importances sont transcrites en fonctions logiques et conditionnelles. Pour chaque niveau d'importance (pas important, peu important, moyennement important, important et très important), les conditions contextuelles sont explicitées.

Illustrons le critère « limitation de l'ombre sur le voisinage » dont les conditions d'importance sont : « D'autant plus important quand le milieu est dense en construction. Le critère n'est pas important, si le besoin de capter le soleil est nul (climat peu froid) et si la volumétrie est déjà présente (rénovation) ». Sa valeur contextuelle sera, par exemple, de « très important » quand les trois conditions suivantes seront validées :

- le contexte de milieu sera de « urbain dense » (MD)
- le contexte de construction sera de « neuve » (CN) ou de « extension » (CE)
- le contexte climatique de température basse ne sera pas « très élevée » (TB1)

Ces conditions seront traduites de la manière suivante :

MD et (CN ou CE) et NON-TB1

L'ensemble de ces traductions des conditions d'importance en fonctions logiques et conditionnelles est rapporté dans un tableau (cf. annexe 3). Ce dernier permet la détermination des importances contextuelles sur chaque critère et pour un contexte donné. Le tableau (cf. Tableau 8) suivant expose, pour illustrer nos propos, la traduction de quatre critères.

Tableau 8 : Exemples de traduction des « conditions d'importances » en fonctions logiques et conditionnelles

	++++	+++	++	+	-
Accessibilité de l'édifice.	-	Tout	-	-	-
Qualité de la vue sur l'extérieur	Tout	-	-	-	-
limitation de l'ombre portée sur le voisinage	MD et (CN ou CE) et NON-TB1	MP et (CN ou CE) et NON-TB1	MV et (CN ou CE) et NON-TB1	MPD et (CN ou CE) et NON-TB1	MI ou MA ou CR ou TB1
Traitement spécifique des façades exposées aux nuisances acoustiques	MD ou NP1	MP ou MA et NP2	MV et NP2	MPD et NP2	MI et NP2
Contexte milieu (M) : urbain dense (MD), urbain peu dense (MP), intermédiaire (MV) pavillonnaire diffus (MPD) activité (MA) isolé (MI).					
Contexte construction : neuve (CN), extension (CE) réhabilitation (CR).					
Contexte climatique température basse (TB) : très élevée (TB1), élevée (TB2), moyenne (TB3), basse (TB4), très basse (TB5)					
Contexte local nuisances acoustiques ponctuelles (NP) : présent (NP1), pas présent (NP2)					

Les cinq niveaux d'importances sont ramenés sur une échelle numérique afin de pondérer les critères : *coefficient de contexte*.

- Très important « ++++ » : pondéré par 1.
- Important « +++ » : pondéré par 0,75.
- Moyennement important « ++ » : pondéré par 0,50.
- Peu important « + » : pondéré par 0,25.
- Pas important « - » : pondéré par 0.

Certains contextes étant « multiple » (usages et type construction) un *critère d'évaluation* peut se retrouver dans plusieurs situations contextuelles, le *coefficient de contexte* sera déterminé par la moyenne des cas validés.

Pour illustrer nos propos, nous utiliserons le cas de figure suivant : un projet de bureaux, en milieu urbain dense, en construction neuve, dans un climat nancéien et sans contexte local particulier. Selon le « tableau contextuel », le *critère d'évaluation* « Qualité de la lumière artificielle » sera

considéré comme « très important » et son *coefficient de contexte* sera donc de « 1 ». Dans les mêmes conditions contextuelles pour un projet d'habitats collectifs, le critère sera « moyennement important » et pondéré par « 0,50 ». Si ce projet possède un usage d'habitation et un usage de bureau, le *coefficient de contexte* sera de « 0,75 » (moyenne entre « 1 » et « 0,50 »).

Valeur contextuelle d'un objectif

Les *coefficients de contexte* sont attribués aux *critères d'évaluation*. Chaque *critère d'évaluation* appartient à un *objectif environnemental*, ce qui nous amène à nous questionner sur la valeur contextuelle d'un objectif. Différentes attitudes peuvent être alors adoptées. Une première serait d'effectuer la moyenne des *coefficients de contexte* des *critères d'évaluation* de *l'objectif environnemental* et ainsi considérer qu'à pondération égale des *critères d'évaluation*, deux *objectifs environnementaux* auraient la même valeur contextuelle. Cette solution mène à la conclusion que le nombre de *critères d'évaluation* appartenant à un *objectif environnementale* n'a pas d'influence sur l'importance de ce dernier.

Nos différentes expérimentations nous ont conduits vers une autre solution. En effet, le nombre de *critères d'évaluation* pour un objectif semble influencer son importance. Plus il aura de critères, plus il aura de l'importance. À *coefficients de contexte* égal, un objectif contenant deux fois plus de critères devra être deux fois plus important. Il semble que les *coefficients de contexte* et le nombre de critères influencent l'importance contextuelle d'un *objectif environnemental*.

La somme des différents *coefficients de contexte* d'un objectif paraît bien représenter la valeur contextuelle de ce dernier. Nous considérerons donc, pour notre modèle, que la valeur contextuelle d'un objectif sera la somme des *coefficients de contexte* des différents *critères d'évaluation* le composant. Ainsi, pour un contexte d'habitat individuel neuf, en milieu urbain dense et dans des conditions climatiques nancéiennes (température haute « 21-25 », température basse « 0-5 », pluviométrie moyenne), la valeur contextuelle de l'objectif « gestion du bâtiment » sera de « 1,50 » (cf. Tableau 9) :

Tableau 9 : Valeur contextuelle d'un objectif. Tableau développé dans le cadre de notre recherche.

		Coefficient de contexte	Valeur contextuelle de l'objectif
Gestion du bâtiment	**Dispositifs de locaux de gestion.**	0,25	1,50
	Accessibilité à l'entretien et à la maintenance de l'ouvrage.	0,25	
	Gestion des zones de confort.	1,00	

Conclusion

Cette étude contextuelle a permis de pondérer le *référentiel de base,* en évaluant l'importance de chaque critère en fonction du contexte particulier du projet. Elle permet ainsi à la méthode une meilleure adaptation aux situations propres de chaque projet. Cette analyse s'appuie en grande partie sur l'étude de cas effectuée. En effet, cette dernière a fortement orienté nos choix (choix des contextes, détermination des influences) et cadrée notre recherche vers les contextes rencontrés. Cette démarche de contextualisation n'a pas la prétention d'être adaptée, dans son état actuel, à tous les contextes existants, cependant elle présente un procédé qui peut être étendu. Le référentiel ainsi obtenu après la contextualisation est appelé *référentiel projet* (cf. Figure 43). Les critères et objectifs ayant une valeur contextuelle nulle seront des éléments à ne pas considérer pour le projet (critères inactifs et objectifs inactifs).

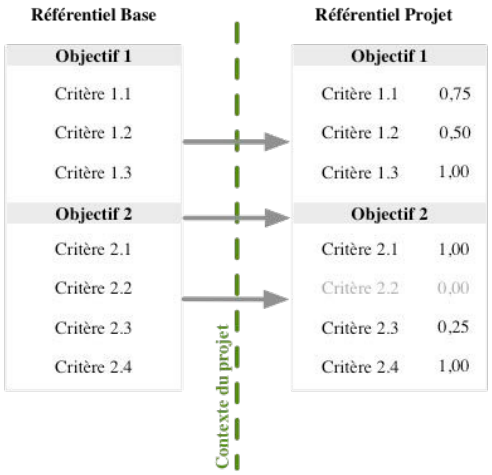


Figure 43 : Schématisation du passage du « Référentiel Base » au « Référentiel Projet ».

4.3 Une méthode progressive

De manière générale, une méthode d'assistance à l'éco-conception doit être adaptée aux phases habituelles du monde du bâtiment (Farel, 2006), et plus particulièrement à celles de la conception. La réflexion suivante porte sur l'adaptation de notre approche au caractère évolutif de la conception architecturale. De plus, notre méthode tente d'intégrer l'étape préliminaire de proposition/validation. Une phase qui se caractérise par une imprécision des données (cf. chapitre 2.1), une des causes du défaut d'assistance.

L'adaptation de notre méthode doit donc porter sur l'influence de l'avancement du projet et plus particulièrement sur les données disponibles pour l'évaluation. Nous nommons l'état de décision des différents éléments d'un projet : « *état d'avancement* ».

En fonction de *l'état d'avancement* de la conception, les *critères d'évaluation* n'ont pas la même portée. Par exemple, le critère « Privilégier les matériaux à faible énergie grise » dépend de la connaissance des composants du projet. Or, dans les premières phases de conception, la totalité des matériaux est rarement définie, le critère ne pourra être évalué que partiellement. En revanche à la fin de la conception, tous les matériaux seront connus et l'appréciation de ce critère pourra être complète. La prise en compte de chaque critère dépend donc de l'avancement du projet.

Cependant, l'anticipation dans l'évaluation des critères nous paraît essentielle afin d'intervenir et de guider le plus tôt possible les concepteurs, et cela même si toutes les données ne sont pas encore définies. Cette démarche prend racine, dans un premier temps, dans l'identification de la manière de caractériser *l'état d'avancement* d'un projet. Dans un second temps, nous avons apprécié l'influence de cet avancement sur les différents *critères d'évaluation* et leur manière d'être estimés. Ce travail nous a conduits à sélectionner des **«** *tâches de conception architecturale »,* permettant de caractériser *l'état d'avancement* d'un projet, et de détecter les données disponibles pour effectuer l'évaluation. L'identification de données utiles à l'estimation des critères et leur comparaison aux données disponibles permettent de proposer un système d'évaluation progressive.

Caractérisation de l'avancement d'un projet

Bien que les missions et les phases de conception architecturale soient réglementées (esquisse, avant-projet, projet, etc.), elles ne semblent pas bénéficier d'une précision assez forte pour définir des *états d'avancement*s identiques dans chaque projet. En effet, les réglementations, comme la loi MOP[59] en France, possèdent un niveau de définition ayant une marge d'interprétation assez élevée :

> *« De proposer une ou plusieurs solutions d'ensemble, traduisant les éléments majeurs du programme, d'en indiquer les délais de réalisation et d'examiner leur compatibilité avec la partie de l'enveloppe financière prévisionnelle retenue par le maître de l'ouvrage et affectée aux travaux [...] » Définition de la phase esquisse selon la loi MOP : http://www.marche-public.fr*

De plus, les nouveaux questionnements environnementaux, qui élargissent parfois le champ des investigations (chapitre 2.1), peuvent affecter le cheminement habituel de la conception.

Pour asseoir ce point de vue, nous avons mené, en collaboration avec des architectes, une étude comparative des phases de conception, sur des projets « environnementaux ». Nous avons analysé l'évolution d'une dizaine de projets environnementaux, afin d'identifier, éventuellement, des progressions similaires. Pour chaque projet, nous disposions des documents (graphiques ou écrits)

[59] Loi n° 85-704 du 12 juillet 1985 relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée. http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000006068913&dateTexte=20110726

relatant *l'état d'avancement* des différentes phases réglementaires. Pour chaque phase (cf. Tableau 10), nous avons apprécié le caractère estimable des critères environnementaux : pas estimable (aucune donnée), estimables (listes des données).

Bien qu'il soit possible de définir des attitudes similaires, il n'est pas évident pour une phase donnée de cerner avec précision les données disponibles d'un projet. En effet, l'étude nous a montré que les interprétations de la réglementation, les enjeux environnementaux ou encore les convictions personnelles confèrent une multitude de réponses d'avancement.

Tableau 10 : Extrait des études comparatives de l'état d'avancement des projets. Trois projets présentés en phases « esquisse ». Projet 1 : Construction d'une maison médicale à Void Vacon par l'agence Studiolada. Projet 2 : centre périscolaire de Tendon par l'agence HAHA. Projet 3 : construction d'une école maternelle à Luppy, par l'agence Bagard&Luron.

	Projet 1	**Projet 2**	**Projet 3**
Commodité et fonctionnalité	Estimable : Plan assez détaillé	Pas estimable	Pas estimable
Système de chauffage	Pas estimable	Estimable : Définition du système utilisé	Pas estimable
Utilisation de l'énergie renouvelable	Estimable : Énergie renouvelable en option	Estimable : Définition du système utilisé	Pas estimable
Qualité de la lumière artificielle	Pas estimable	Pas estimable	Pas estimable

Si nous connaissons le point de départ (pas de décision définie) de la conception et son point d'arrivée (toutes les décisions définies), le chemin entre les deux états est difficilement prévisible et dépend de nombreux facteurs (convictions du concepteur, habitudes de travail, etc.). Il est très délicat de proposer un scénario unique d'avancement de tous les projets architecturaux. Il faut donc pouvoir caractériser cet avancement projet par projet.

Nous avons opté pour la création d'une estimation adaptable à *l'état d'avancement* du projet, par l'identification de *tâches de conception architecturales* définissant des données disponibles et influençant l'évaluation de chaque *critère d'évaluation*. Pour caractériser les données disponibles lors de l'avancement d'un projet, nous avons procédé en deux étapes. La première a consisté à identifier les données nécessaires pour apprécier chaque *critère d'évaluation* (décisions architecturales). Dans la deuxième étape, nous avons regroupé et organisé ces données afin de pouvoir proposer une nomenclature pour définir *l'état d'avancement* d'un projet. Ces différentes décisions architecturales organisées sont nommées : *tâches de conception architecturale*.

Identification de décisions architecturales nécessaire à l'évaluation d'un critère

L'identification des données nécessaires à l'appréciation de chaque *critère d'évaluation* s'appuie sur la littérature relative aux enjeux environnementaux (cf. Tableau 11).

Ce travail d'identification de décisions architecturales intervenant dans les évaluations a permis, dans un premier temps, de mettre en place une nomenclature permettant la définition de *l'état d'avancement* d'un projet, par le biais d'éléments appelés *tâches de conception architecturale*. Dans un second temps, les travaux de référencement et de classification nous ont conduits à caractériser les différentes données utiles à l'évaluation de nos *critères d'évaluations*.

Tableau 11 : Extrait du travail d'identification des décisions architecturales pour quatre critères. Tableau développé dans le cadre de notre recherche.

Critères	Références	identification de décisions architecturales
Apport de lumière naturelle suffisant	« Tous les locaux de séjour prolongé doivent bénéficier d'un éclairement naturel satisfaisant par sa qualité et sa quantité.[...] **la taille des baies vitrées** doit être optimisée en fonction de **l'orientation de la façade** considérée, des effets de masque éventuels et de la **profondeur du local** » p 33 (Jourda, 2009). « Les performances visuelles dépendent de nombreux facteurs : la lumière naturelle disponible, la pollution locale qui réduit l'intensité lumineuse et dénature la composition spectrale, le rayonnement réfléchi par l'environnement extérieur, **l'orientation des locaux, l'architecture, les ouvertures, les vitrages, les occultations, la qualité des surfaces intérieures, la couleur des murs et du sol** la nature et la qualité de l'éclairage artificiel » (Déoux, 2009)	- Taille et orientation des pièces - Taille positionnement et protection des ouvertures - Couleur et qualité des murs - Nature des surfaces externe
Limiter l'effet d'îlot de chaleur urbain	« **Certaines surfaces de façade et de revêtement de sol** peuvent former des masses thermiques importantes absorbant l'énergie solaire et la resituant la nuit ou bien constituer des surfaces réfléchissantes inconfortables ou éblouissantes. Il est possible de créer, grâce aux **volumes bâtis**, **des espaces extérieurs** publics ou privés qui deviennent des lieux de vie confortables." p17 (Jourda, 2009). « Pour éviter les îlots de chaleur urbains, ou réduire leur importance [...] **- Éviter la trop grande proximité des bâtiments** (circulation de l'air…) - Préférer les **orientations de façades** N-S (les murs reçoivent une quantité d'énergie solaire minimale) **- Choisir des matériaux et revêtements adaptés** (toiture, revêtement de sol...) **- Prévoir des plantations d'arbres** " » p316-317 (Fernandez et Lavigne, 2009)	- Orientation des façades. - Revêtement de l'enveloppe et capacité d'absorption. - Nature des surfaces externes. - Densité du bâti

Limitation des déchets de chantier	« les architectes doivent, eux aussi, contribuer au management environnemental du chantier : - en pratiquant certains choix de nature à réduire à la source la production des déchets, en étudiant par exemple avec précision le **calepinage des matériaux**. -[…] » p 206 (Liébard, Herde 2006) « La construction sur site va générer plus ou moins de déchets selon la **géométrie du projet**. La question à ce niveau renvoie au problème du **calepinage** c'est-à-dire à la correspondance entre le dimensionnement du composant et celle du bâtiment qui de façon optimale devrait être un multiple de l'élément élémentaire. » p91 (Gobin, 2010)	- Trame et calepinage des matériaux
Utilisation et gestion des apports solaires passifs	« Le rayonnement solaire reçu par un bâtiment dépend [...] de **l'orientation du bâtiment**, de la nature de ses surfaces et de ses matériaux » p31 (Liébard, Herde 2006) « Dans la recherche d'une température moyenne la plus élevée possible, on peut être amené, en climat froid, **à augmenter les entrées solaires à travers les vitrages**. [...] Mais sans **une inertie** par absorption suffisante on obtient une forte variation intérieure de température "p229 (Fernandez et Lavigne, 2009)	- Orientation du bâtiment - Positionnement des vitrages - Nature des vitrages - Nature des matériaux

Identification et organisation des tâches de conception architecturale

Trois catégories de décisions ressortent de notre travail d'identification (cf. Tableau 12). Une catégorie relative aux choix d'organisation du bâtiment, une catégorie relative aux choix de mise en œuvre des matériaux, et une dernière concernant les choix et systèmes techniques et réseaux.

Tableau 12 : Liste des tâches de conception architecturale. Tableau développé dans le cade de notre recherche.

Organisation	Matériaux	Techniques et réseaux
Positionnement du bâtiment dans le site	Structures	Sanitaire/eaux
Volumétrie du bâtiment	Enveloppes	Chauffage/climatisation
Organisation interne	Séparations	Renouvellement d'air
Aménagement externe	Finition	Courant faible/fort
	Ouverture	

Ces *tâches de conception* ne suffisent pas à définir avec précisions *l'état d'avancement* d'un projet. Prenons les exemples énoncés dans le tableau (cf. Tableau 11), le critère « limitation de déchets de chantier » est en relation forte avec la tâche relative aux « matériaux d'enveloppe » et plus particulièrement au calepinage. Alors que le critère « limiter l'effet d'îlot de chaleur urbain », bien qu'influencé également par la tâche « matériaux d'enveloppe », semble être plus orienté vers la nature même des matériaux employés.

Les *tâches de conception architecturale* semblent posséder plusieurs états ou niveaux de définition. Nous les avons établis comme suit. Un niveau dit primaire a été identifié, correspondant à un état de « non-définition » d'un élément quelconque de la *tâche de conception*. Ainsi la tâche « sanitaire/eaux » sera dans son état primaire lorsqu'aucune décision, relative aux réseaux d'eau et aux équipements sanitaires, ne sera effectuée. Le niveau final d'une tâche équivaut à la définition totale et détaillée. Par exemple, la tâche « matériaux d'enveloppe » sera en état final lorsque tous les éléments servant à la description de l'enveloppe seront décidés : matériaux, dimensionnements, mises en œuvre, etc.

Des niveaux intermédiaires permettront de phaser le passage entre le niveau primaire et le niveau final. En effet, une *tâche de conception* ne passe pas forcément directement de son état sans aucune définition, à son état complètement défini. Différentes décisions peuvent ponctuer ce cheminement et définir ainsi des niveaux intermédiaires. Comme nous l'avons énoncé plus haut il est difficile de prévoir un cheminement exact en conception, les niveaux intermédiaires seront donc libres et indépendants dans leur ordre de définition.

Les niveaux intermédiaires des différentes *tâches de conception* ont été déterminés, pour correspondre aux besoins de chaque *critère d'évaluation* (cf. annexe 5). Ainsi, certaines tâches ne possèdent que deux niveaux (primaire et final), alors que d'autres peuvent posséder, un ou plusieurs niveaux intermédiaires (cf. Figure 44). Prenons pour illustrer les deux *tâches de conception architecturale* suivantes :

- La tâche « positionnement du bâtiment dans le site » est définie notamment par deux états. Le référencement ne semble pas mettre en avant des états intermédiaires entre « bâtiment pas positionné dans le site (état primaire) » et « bâtiment positionné dans le site (état final) ».
- La tâche « chauffage/climatisation » possède, dans notre méthode, quatre états. L'état « primaire » : correspondant à aucune prise de décision. Un premier état « intermédiaire » : relative au choix des équipements participant à l'ambiance thermique (chauffage/climatisation). Un deuxième état « intermédiaire » : correspondant au choix des systèmes de contrôles des équipements d'ambiance thermique (sonde, procédé manuel, etc.). Un état « final » définissant le détail de mise en œuvre de l'ensemble des choix précédant (gaines, réseaux, etc.).

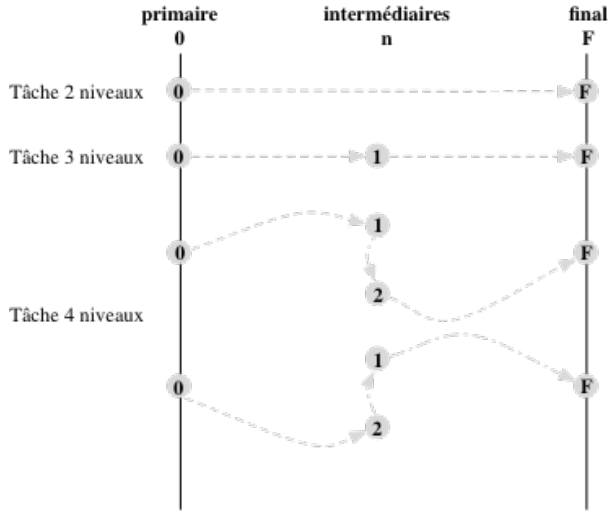


Figure 44 : Schéma des cheminements d'une tâche de conception entre l'état primaire et final. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

L'état d'avancement d'un projet peut donc être déterminé en fonction de *tâches de conception architecturale* possédant des niveaux de définition. Ce système permet, entre autres, une bonne définition de l'état de progression d'un projet. Cette définition est centrée notamment sur les besoins des *critères d'évaluation*, par le biais d'un référencement d'éléments utiles pour l'évaluation de chacun d'entre eux. Par conséquent, les *tâches de conception* ainsi avancées ne présentent pas nécessairement l'ensemble des décisions architecturales, mais présentent les décisions utiles pour le référentiel mis en place. Ainsi en définissant pour chaque *tâche de conception* ses niveaux de définition on détermine *l'état d'avancement* d'un projet, mais également les données disponibles pour effectuer l'évaluation.

Identification des données utiles pour l'estimation d'un critère

Nous avons établi, pour chaque *critère d'évaluation*, la liste des tâches et leurs niveaux de définition utiles pour son appréciation. Chaque élément (tâche et niveau de définition) correspondant à une donnée utile pour son évaluation. Chaque critère possède donc une liste de données utiles, rassemblant l'ensemble des données nécessaires pour son estimation. La liste des données utiles pour chaque critère est exposée dans un tableau (cf. annexe 6), représentée par les couples « *tâche de conception* et niveau de définition » et accompagnée d'un texte explicatif expliquant les enjeux de chaque couple. Cet ensemble de définitions vient compléter la définition générale de chaque critère d'évaluation.

Tableau 13 : Représentation des « données utiles » d'un critère. Tableau développé dans le cadre de notre recherche.

Critères	Données utiles
Critère 1	**- Tâche de conception, niveau de définition :** explication et définition. - **Tâche de conception, niveau de définition :** explication et définition. **- …**

Les *critères d'évaluation* possèdent au minimum une donnée utile, dans le sens où les enjeux de ces derniers découlent, à priori, au moins d'un choix de conception architecturale. Cependant, différents cas de figure peuvent être relevés. Certains critères ne possèdent qu'une seule donnée utile, comme le critère « optimisation ou mutualisation des circulations ». En effet, ce critère peut être estimé seulement si la répartition interne du ou des bâtiments est décidée (cf. Tableau 14).

Tableau 14 : Exemple de critère possédant qu'une seule « donnée utile ».

Critère	Données utiles
Optimisation ou mutualisation des circulations.	**- Organisation interne, répartition générale :** optimiser l'espace et la circulation.

Les autres critères sont composés de multiples données utiles, comme le critère « limitation des déperditions » (cf. Tableau 15).

Tableau 15 : Exemple de critère possédant de multiples « données utiles ».

Critère	Données utiles
Limitation des déperditions.	**- Volumétrie du bâtiment :** limiter l'échange en réduisant les surfaces en contact avec l'extérieur. **- Enveloppe, nature des matériaux :** choisir une enveloppe en fonction de sa capacité isolante. **- Enveloppe, nature des matériaux détaillés et dimensionnés :** choisir et dimensionner l'enveloppe en fonction de sa capacité isolante. **- Enveloppe, mise en œuvre :** choisir des dispositions de construction et de mise en œuvre limitant les ponts thermiques et favorisant l'étanchéité à l'air. **-Etc.**

Les critères ayant de multiples données utiles peuvent posséder des données qui sont liées. Par exemple, le critère « limitation des déchets de chantier » est estimable notamment sur la capacité à tramer certains éléments du projet afin de correspondre mieux aux dimensionnements des matériaux (limiter les chutes lors du chantier). La pertinence du tramage et du calepinage dépend dans ce cas de

la nature des matériaux choisis. Les données utiles, composées respectivement de la *tâche de conception* « finition » au niveau « nature des matériaux » (intermédiaire 1) et de la *tâche de conception* « finition » au niveau « trame » (intermédiaire 2), seront liées et notamment présentées de la manière suivante (cf. Tableau 16) :

Tableau 16 : Exemple de critère possédant des données utiles qui sont liées.

Critère	Données utiles
Limitation des déchets de chantier.	**- Enveloppe, mise en œuvre :** tramer l'enveloppe en fonction des matériaux choisis et de leur dimension disponible. **- Finitions, nature des matériaux/finitions, trame** : tramer les finitions en fonction des matériaux choisis et de leur dimension disponible.

L'identification de données utiles à l'estimation de chaque critère présente une première démarche pour mettre en place un système d'évaluation progressive. En effet, en identifiant *l'état d'avancement* des projets et les données utiles à l'évaluation d'un critère, il est possible de relever les données disponibles pour l'estimation de chaque critère.

Mise en place d'un système d'évaluation progressive

Nous nommons évaluation progressive, une estimation qui s'adapte à l'avancement d'un projet et donc aux données disponibles pour effectuer l'évaluation. La première démarche d'identification de *tâches de conception architecturale* permettant de caractériser l'avancement d'un projet, associée à la caractérisation des données utiles de chaque *critère d'évaluation*, permet de poser les bases du système progressif. En effet, grâce à ces travaux préparatoires, il est possible d'identifier pour un instant « T » du projet quelles données sont disponibles, de manière générale et plus particulièrement pour l'estimation de chaque *critère d'évaluation* (cf. Figure 45).

Dans l'exemple de la figure (cf. Figure 45) le « critère 1 » possède trois données utiles, mais seulement une seule est une donnée disponible. Le « critère 2 » possède deux données utiles qui sont toutes les deux des données disponibles. Chaque critère peut donc se trouver dans les cas suivants :

- Données complètes : données utiles = données disponibles.
- Données partielles : données utiles > données disponibles.
- Données vides : aucune donnée disponible.

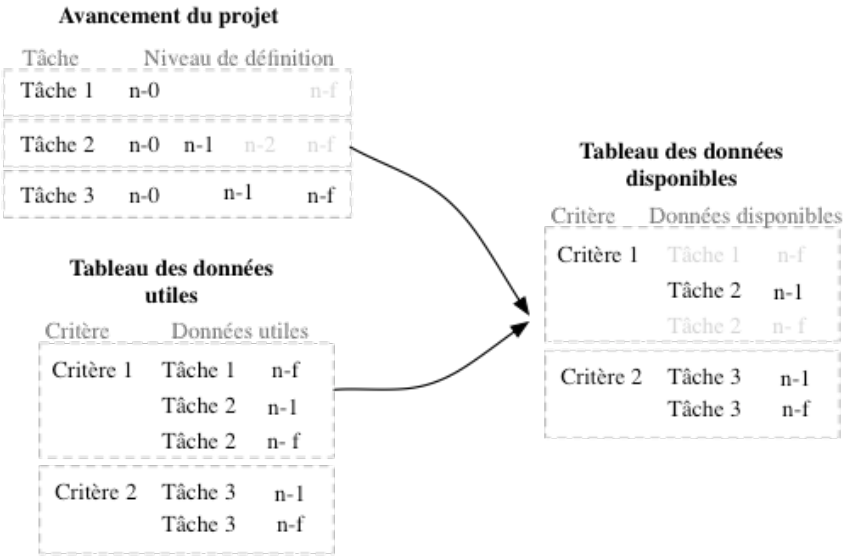


Figure 45 : Schéma relationnel entre avancement du projet, « données utiles » d'un critère et « données disponibles ». Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Faut-il évaluer des critères disposant de données partielles ? Prenons pour illustrer le cas du *critère d'évaluation* « Utilisation de matériaux à faible énergie grise » relatif au choix des matériaux. Plus un projet avance dans sa définition, plus les matériaux se précisent. Faut-il attendre que l'ensemble des matériaux soit décidé pour évaluer ce critère ? Ne pouvons-nous pas effectuer cette évaluation sur les éléments définis ? Il semble être possible d'avancer que les matériaux de « structure » répondent bien, ou pas, à cet enjeu, sans pour autant connaître les autres.

Chaque donnée utile d'un critère semble pouvoir faire l'objet d'une estimation indépendante, bien que souvent il y ait des interactions entre les éléments. À l'exception bien sûr des données utiles qui sont liées, qui nécessitent que l'ensemble des éléments liés soit défini pour effectuer l'estimation. Il est donc possible d'anticiper les estimations des critères en se basant uniquement sur les données disponibles. Un *critère d'évaluation* aux données complètes pourra être estimé de manière complète tandis qu'un *critère d'évaluation* aux données partielles ne sera estimé que partiellement. Un *critère d'évaluation* disposant de données vides ne pourra pas faire l'objet d'estimation.

Les données disponibles pour l'estimation d'un *critère d'évaluation* affectent le ratio d'évaluation. Si l'évaluation porte sur un élément partiel, la note ne pourra être complète. Notre parti-pris est de proposer une échelle de notation qui cadre l'estimation en fonction des données disponibles. Nous avons mis en place une « *notation maximum* », déterminée en fonction du ratio entre les données disponibles (DD) et les données utiles (DU) (cf. Figure 46). Une estimation dite complète sera effectuée entre « 0-5 ». Le ratio de données disponibles sera défini comme suit :

- DD/DU = 0 % : pas estimation, notation maximum de « 0 ».

- 0 % < DD/DU ≤ 20 % : notation maximum de « 1 ».
- 20 % < DD/DU ≤ 40 % : notation maximum de « 2 ».
- 40 % < DD/DU ≤ 60 % : notation maximum de « 3 ».
- 60 % < DD/DU ≤ 80 % : notation maximum de « 4 ».
- 80 % < DD/DU ≤ 100 % : notation maximum de « 5 ».

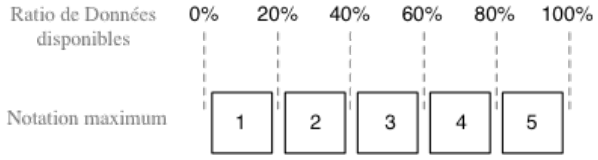


Figure 46 : Échelle de notation en fonction du rapport entre « donnée disponible » et « données utiles ». Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Prenons l'exemple du critère « limitation des déperditions », dans le cas où les données disponibles sont « volumétrie du bâtiment » et « enveloppe, nature des matériaux ». Les données utiles (DU) pour ce critère étant au nombre de six (cf. Tableau 15), et les données disponibles (DD) aux nombres de deux. Le calcul de la *notation maximum* s'effectue de la manière suivante :

$$DD/DU = 2/6 \approx 0,\ 333\ 333 \quad => 33\ \%$$

La notation maximum sera donc de « 2 », l'estimation s'effectue donc entre « 0-2 ».

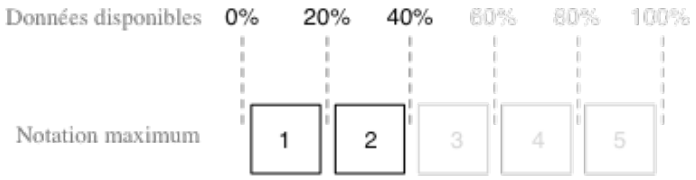


Figure 47 : Échelle de notation du critère « limitation des déperditions », dans le cas où les « données utiles » sont « volumétrie du bâtiment » et « enveloppe, nature des matériaux ». Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Pour illustrer le comportement des données utiles liées, nous utiliserons le critère « limitation des déchets de chantier ». Il est composé de trois données utiles (DU) dont deux sont liées « finitions, nature des matériaux » et « finitions, trame » (cf. Tableau 16) et une non liée « Enveloppe, mise en œuvre ». Une donnée liée et disponible comptabilise dans le ratio (DD/DU) si et seulement si toutes les données qui lui sont liées sont également des données disponibles (DD). En considérant que la donnée utile « Enveloppe, mise en œuvre » est une donnée disponible, nous pouvons avoir les cas suivants :

- Si une seule donnée non liée est une donnée disponible : celle-ci ne comptabilisera pas dans le calcul du ratio : DD/DU = 1/3 ≈ 0, 333 333 => 33 %
- Si les deux données liées sont des données disponibles : DD/DU =3/3 = 1 => 100 %

Conclusion

L'évaluation progressive permet de proposer un barème de notation en fonction des données disponibles pour effectuer l'évaluation. Ainsi chaque *critère d'évaluation* possède son échelle de notation, définie par la mise en place d'une *notation maximum*, en fonction de *l'état d'avancement* du projet. Le référentiel tenant compte de l'avancement du projet s'intitule : *« référentiel d'évaluation »*.

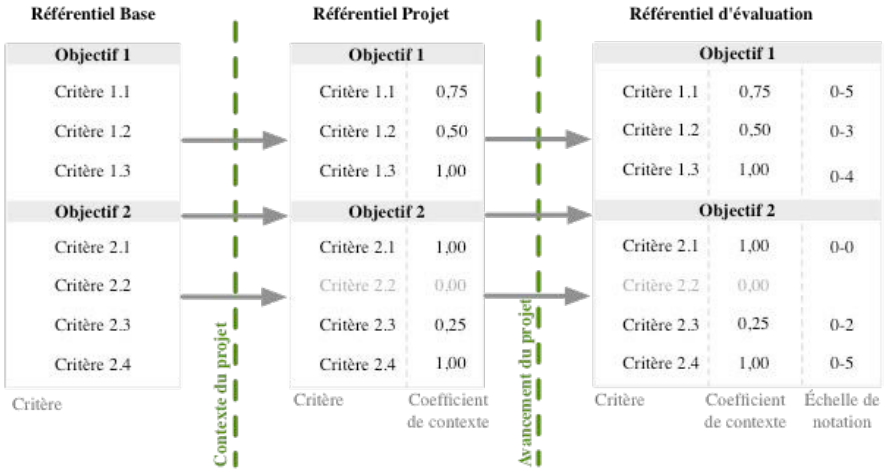


Figure 48: Schématisation du passage du « Référentiel Base » au « Référentiel évaluation ». Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Bien que l'objectif de la méthode soit d'anticiper au maximum l'évaluation environnementale, un minimum de données disponibles semble être nécessaire pour effectuer une estimation. Cinq données ressortent particulièrement.

- Positionnement du bâtiment dans le site.
- Volumétrie du bâtiment.
- Organisation interne, répartition générale.
- Structure, nature des matériaux.
- Enveloppe, nature des matériaux.

4.4 Estimation des critères

Ce processus d'identification des contextes et de l'avancement mène vers la mise en place d'un référentiel servant de base pour une estimation environnementale. Les évaluateurs peuvent être internes au projet permettant à l'équipe de conception d'effectuer une auto-évaluation et ainsi de se questionner sur la qualité environnementale générale de son projet. Pour détenir un caractère plus objectif, ces évaluations peuvent être menées par des intervenants externes au projet. Ils sont appelés dans notre étude des « experts », ils doivent posséder une culture globale des différents enjeux environnementaux liés au monde de la construction. À noter que pour plus d'objectivité un projet peut avoir plusieurs évaluations et donc plusieurs évaluateurs pour un *état d'avancement*.

Chaque *critère d'évaluation* peut être alors estimé un à un en fonction de ses définitions, permettant ainsi aux évaluateurs de suivre un procédé. Ces descriptions facilitent l'identification des enjeux environnementaux de manière générale, mais également ceux associés à chaque donnée utile du *critère d'évaluation*. Ainsi l'évaluateur peut apprécier facilement les éléments importants à explorer pour le *critère d'évaluation*. De plus, la caractérisation de l'avancement du projet et donc l'identification des données disponibles oriente l'évaluateur vers les éléments déjà définis.

Prenons l'exemple du critère « Utilisation et gestion des apports solaires passifs » ou les définitions sont les suivantes :

> *« Capter les apports solaires passifs permet d'obtenir un apport de chaleur supplémentaire et ainsi limiter les besoins de chauffage. Il faut dans un premier temps capter la chaleur (organisation, positionnement et nature des ouvertures) et ensuite gérer et diffuser cette chaleur (inertie des parois captatrices).*
>
> ***- Organisation interne, répartition générale/positionnement du bâtiment dans le site :*** *le rayonnement solaire reçu dépend de l'orientation et de la taille des ouvertures. Positionner et dimensionner les surfaces vitrées afin d'optimiser les apports solaires.*
>
> ***- Ouvertures, natures de matériaux :*** *le rayonnement solaire reçu dépend de la nature des ouvertures. Choisir des ouvertures afin de faciliter le captage des rayonnements solaires.*
>
> ***- Séparations, nature des matériaux :*** *pour stocker et diffuser la chaleur, il faut placer des matériaux à inertie d'absorption au niveau des surfaces de captage des rayonnements solaires. Gérer les apports solaires permet d'obtenir une température plus constante. » Définitions de notre méthode du critère « Utilisation et gestion des apports solaires passifs ».*

Ces éléments nous indiquent que ce critère possède quatre données utiles, dont les deux premières sont liées. Dans le cas où les données « organisation interne, répartition générale/ positionnement du bâtiment dans le site » sont des données disponibles, la notation maximum sera de « 3 ». L'évaluateur estime donc uniquement sur ces éléments-là, entre « 0 et 3 ».

Pour effectuer l'appréciation de ce critère, l'évaluateur explore, dans ce cas là, le positionnement et le dimensionnent des ouvertures vis-à-vis de l'orientation du projet. La notation proposée dépend de la pertinence des réponses apportées vis-à-vis des besoins du projet. Plus la note est élevée, plus la pertinence est grande (cf. Figure 49). La notation est alors accompagnée d'un commentaire éventuel afin de l'expliciter. La valeur attribuée à un *objectif environnemental* est la moyenne pondérée des notes des *critères d'évaluation* le composant.

Figure 49 : Possibilités de notation en fonction de la note maximum et de la pertinence des réponses. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

À noter que dans le *référentiel 0* l'estimation environnementale s'effectue sur une échelle de « 0-4 », alors que nous avons opté pour une échelle maximum de « 0-5 ». Les évaluations, s'opérant sur des valeurs entières (0-1-2-3-4-5), ce système oblige l'évaluateur à prendre position, en ne laissant pas la possibilité de mettre une valeur moyenne.

Les résultats de l'estimation, notes et commentaires sur l'ensemble des *critères d'évaluation*, sont par la suite diffusés au concepteur. Cette évaluation permet d'obtenir un point de vue (externe ou non) sur la qualité environnementale d'un projet et ainsi effectuer des modifications éventuelles afin de rectifier des éléments qui ne seraient pas pertinents.

4.5 Conclusion du chapitre

Modèle Éco-profil

Sur la base du *référentiel 0*, nous avons proposé une méthode par listes/référentiels, globale, qualitative, contextualisée et progressive. Elle est adaptée aux caractéristiques particulières des phases de la conception architecturale.

En nous appuyant sur des études de cas et des référencements dans la littérature, nous avons mené la mise en place d'un référentiel se déclinant en trois états : le référentiel de base, le référentiel projet et le référentiel d'évaluation. Un référentiel étant composé de *critères d'évaluation*, organisés

en *objectifs environnementaux*. La définition de ces derniers est notamment liée au processus de la méthode qui se décompose en deux phases : la définition des *contextes influents* et de leur*s type*s et la définition de *l'état d'avancement*.

À noter qu'un projet possède une et une seule situation de *contexte*, mais qu'il peut posséder plusieurs *états d'avancement*. Une conception architecturale étant évolutive, un projet peut être estimé à plusieurs moments de la conception. C'est notamment cette succession d'évaluation qui semble mener vers des réponses architecturales efficientes. Notre démarche étant orientée pour le suivi d'un projet lors de sa conception, nous avons préféré privilégier un modèle centré sur le projet.

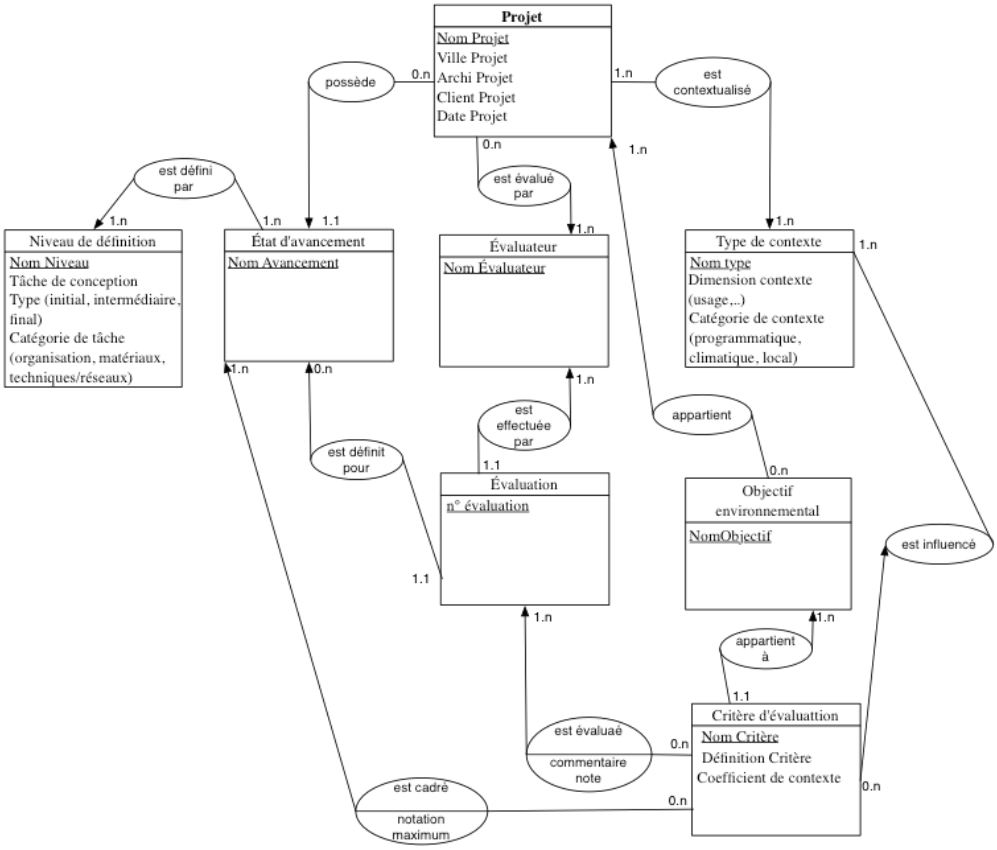


Figure 50 : Modèle entité/association de l'approche Éco-profil. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

La sélection des *contextes influents* et de leurs types permet de caractériser le contexte du projet et de pondérer les *critères d'évaluation*, par la mise en place de *coefficients de contexte*. Le référentiel ainsi contextualisé présente une liste de *critères d'évaluation* pondérés et adaptés aux enjeux particuliers du projet (*référentiel projet)*. Il peut servir, notamment pour le concepteur, à la formulation des différents enjeux et problèmes environnementaux liés à son projet.

Bien que la méthode puisse être utilisée uniquement pour aider à la formulation des problèmes, elle est principalement orientée pour estimer un projet environnemental. Si la méthode est utilisée pour effectuer une évaluation sur un projet en cours, il faut apprécier *l'état d'avancement* de ce projet. Un *état d'avancement* est défini en identifiant des niveaux de définition pour chaque *tâche de conception* architecturale, sur la base des documents graphiques et écrits présentant le projet. *L'état d'avancement* du projet influence l'échelle de notation, prévue entre « 0-5 », par la mise en place d'une *notation maximum*. Le référentiel d'évaluation ainsi déterminé sert de base pour l'estimation du projet. Différents évaluateurs peuvent donc procéder aux estimations du projet, en proposant une note et un commentaire par *critère d'évaluation* d'un *référentiel d'évaluation* et selon la démarche explicitée dans le chapitre (cf. Chapitre 4.4).

Ce fonctionnement est notamment schématisé dans un modèle entité/association (cf. Figure 50).

Conclusion

Notre étude tente de proposer un système d'estimation environnementale adapté aux différentes phases de la conception architecturale, sur la base d'études de cas et d'analyse de la littérature. Les différentes positions adoptées sont donc liées aux différentes circonstances rencontrées, elles peuvent dans certains cas ne pas présenter un caractère universel. Cependant, nous proposons une démarche transposable à d'autres cas de figure.

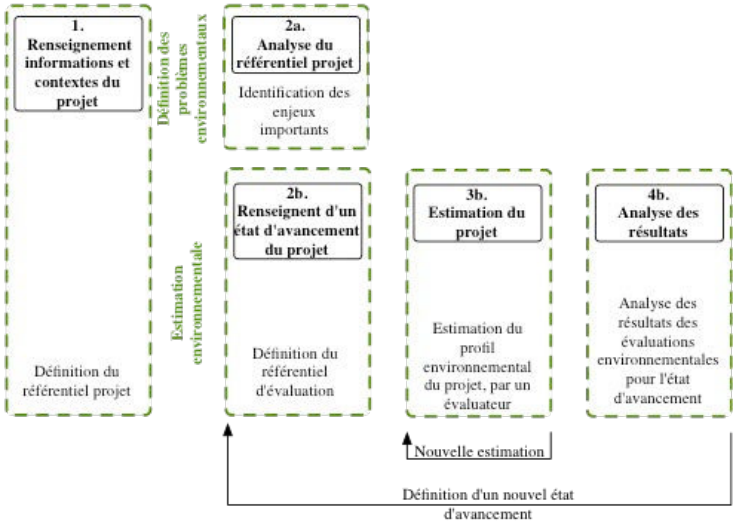


Figure 51 : Schéma de fonctionnement de la méthode Éco-profil. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Notre modèle met en avant le fonctionnement suivant (cf. Figure 51). La caractérisation des contextes d'un projet permet de définir un *référentiel projet* fondé sur un *référentiel de base* (cf. Figure 51 « 1 »). Ce référentiel peut servir à la caractérisation de problèmes environnementaux liés aux contextes du projet, avant la conception ou lors de la conception (cf. Figure 51 « 2a »). La définition d'un *référentiel d'évaluation* par la caractérisation de *l'état d'avancement* d'un projet (cf. Figure 51 « 2b ») permet des estimations cadrées du projet (cf. Figure 51 « 3b »). Notre postulat étant que l'analyse de ces estimations permet de rectifier les points non satisfaisants du projet et ainsi de proposer une architecture plus efficiente du point de vue de la qualité environnementale (cf. Figure 51 « 4b »). Ainsi différentes estimations à différents *états d'avancement* de conception peuvent guider les concepteurs.

Nous identifions donc deux types d'utilisateurs à la méthode, la première étant les évaluateurs, qui effectuent les estimations, la seconde étant les concepteurs, qui analysent et utilisent les résultats des estimations.

Le caractère utilisable de la méthode dépend des types d'outils proposés. En effet, la visualisation des résultats, ou encore l'automatisation des calculs (coefficient de contexte et échelle de notation) contribuent au bon fonctionnement de la méthode. Le chapitre suivant présente la réflexion que nous avons menée sur les différents outils et instrumentations de la méthode Éco-profil, tant au niveau visuel qu'au niveau fonctionnel.

Chapitre 5: Proposition de supports au modèle

Nous présentons dans ce chapitre et dans un premier temps, la mise en place de supports visuels pour apprécier la qualité environnementale estimée du projet et représenter son « *profil environnemental* ». Pour répondre aux critiques énoncées dans la première partie de ce rapport (cf. Chapitre 3.12), nous proposons trois modes de représentation permettant l'analyse de la qualité environnementale à différents niveaux.

Un premier mode expose la qualité environnementale générale et moyenne du projet sous forme d'une « *barre de progression* ». Un second mode, sous forme d'un « *diagramme radar* », est proposé reflétant le contexte et l'avancement du projet, par la mise en place de sections variables et d'un profil idéal d'avancement. Un troisième mode de représentation, plus détaillé, de type « *tableau descriptif* » est également développé. Nous posons l'hypothèse que ces supports visuels permettent la représentation, l'analyse et la lecture efficaces des résultats de l'évaluation environnementale.

Dans un second temps, nous présentons l'implémentation de la méthode dans un outil prototype servant de support à l'estimation et à la visualisation. En portant une réflexion sur les besoins des utilisateurs, nous proposons un outil sous forme d'une application qui détermine de manière automatique les différents référentiels, par la sélection du contexte et des avancements du projet. Accompagnés des divers niveaux de visualisation, les utilisateurs peuvent effectuer des estimations et les analyser.

5.1 Des supports visuels à lecture de la qualité environnementale

La méthode que nous avons adaptée (*référentiel 0*) comportait une visualisation de type radar (cf. Figure 52). Le radar est divisé en vingt-quatre sections présentant chacun un *objectif environnemental*. La note de l'estimation de chaque objectif est présentée dans un profil environnemental.

Un code couleur est également proposé correspondant au découpage du phasage chronologique d'une opération. Bien que ce type de visualisation comporte certains avantages, par exemple une visualisation globale de la qualité environnementale, les différentes adaptations que nous avons proposées pour la méthode nous conduisent à effectuer différentes optimisations sur ce profil radar.

En effet, l'adaptation de cette approche nous a menés à proposer une méthode comportant un niveau hiérarchique supplémentaire et proposant un système contextualisé et progressif. Les modes de visualisation doivent donc présenter les différentes spécificités de notre méthode. Elles doivent également être suffisamment détaillées pour pouvoir être analysées par le concepteur. Ce défaut de

précision faisait notamment l'objet de critique lors de notre exploration des méthodes par listes/ référentiel (cf. Chapitre 3.12).

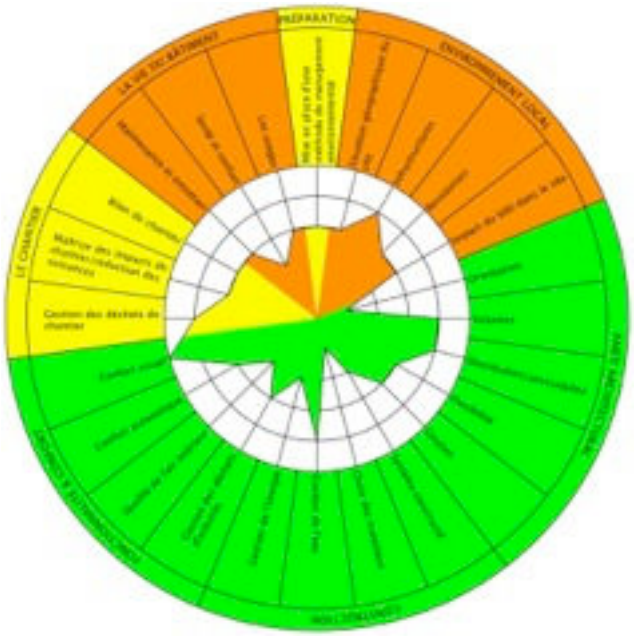


Figure 52 : Exemple du profil environnemental développé par Manon Kern (Kern, 2004). Image issue du Crit-Architecture (Crit, WEB).

Notre position est de conserver une visualisation radar pour avoir une vision d'ensemble sur les *objectifs environnementaux*, cependant un second niveau de représentation plus détaillé est envisagé pour présenter les *critères d'évaluation*. Ce second mode de visualisation permet notamment une analyse plus fine des points forts et faibles du projet, pouvant guider le concepteur. Un troisième niveau représentant la moyenne générale de la qualité environnementale est également développé. À la suite de critiques lors d'expérimentations ce niveau de représentation semble être nécessaire.

Dans un premier temps, nous avons apporté quelques modifications sur la manière de présenter le *diagramme radar* comportant, de notre point de vue, quelques lacunes. Nous avons, dans un second temps, proposé un radar à sections variables pouvant refléter la contextualisation et donc des notions d'importances. Dans un troisième temps, par l'ajout d'un second profil appelé profil idéal d'avancement, nous tentons de refléter l'avancement du projet. Dans un quatrième temps, une visualisation plus détaillée est proposée, de type tableau, pour présenter une lecture plus développée des *critères d'évaluation* mis en place. Pour finir, nous développons la mise en place d'une *barre de progression* présentant la qualité environnementale générale et moyenne du projet.

Visualisation du diagramme radar

Dans la méthode proposée par Manon Kern (Kern, 2004), le *diagramme radar* est présenté de la manière suivante : une section présente un *objectif environnemental* et sa notation est alors présentée par un point. La distance entre ce point et le centre du profil représente la valeur de la notation obtenue. Plus le point est éloigné du centre, plus la valeur est grande. Dans l'exemple du *digramme radar* (cf. Figure 53) « l'objectif 2 » à une notation de « 3,5 ».

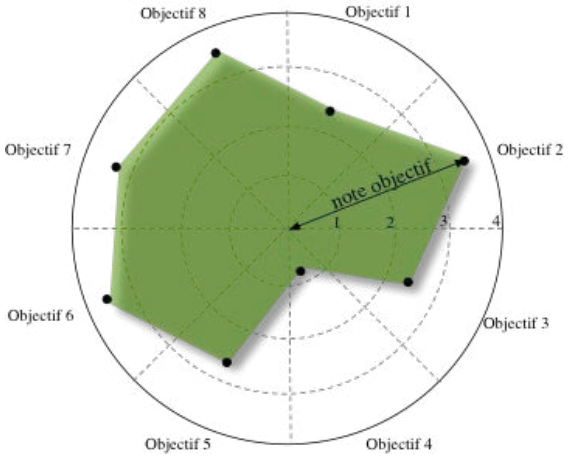


Figure 53 : Procédé de présentation du profil environnementale dans la méthode de Manon Kern (Kern, 2004). Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Le *profil environnemental* est représenté par la forme reliant l'ensemble des points de chaque *objectif environnemental*. Plus l'aire du profil est importante, plus la qualité environnementale du projet est bonne.

Cette manière de représenter le *profil environnemental* nous semble souffrir de quelques lacunes. La principale limite que nous voulons souligner est celle de l'influence du positionnement des objectifs sur la forme et l'aire du profil environnemental. En effet, la forme et l'aire, attribuées à chaque objectif, dépendent des *objectifs environnementaux* voisins. Deux profils environnementaux possédant une moyenne de notation identique peuvent disposer d'aires différentes (cf. Figure 54).

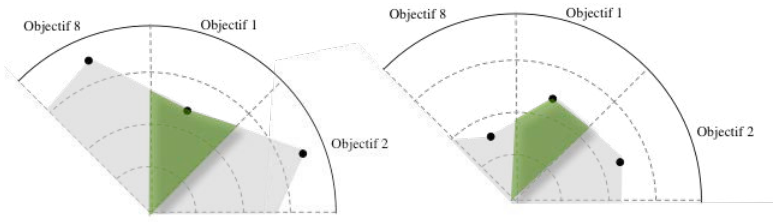


Figure 54 : Influence de la forme attribuée à un critère par la notation des critères voisins. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Cette limite a également pour conséquence que certains *profils environnementaux* ne peuvent être représentés par cette méthode. Par exemple, si deux *objectifs environnementaux* possèdent une notation de « 0 », la notation d'un *objectif environnemental* situé entre ces deux premiers ne pourra être représentée (cf. Figure 55).

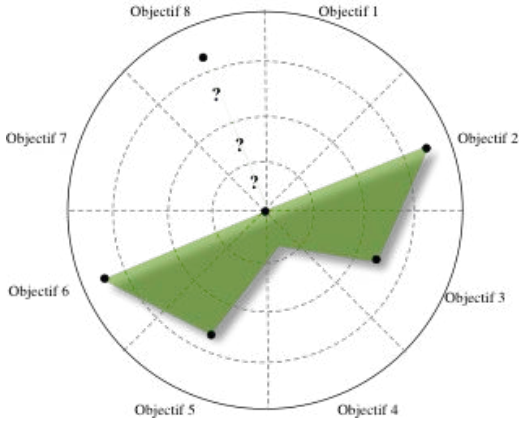


Figure 55 : Exemple de profil ne pouvant être présenté par la méthode non adaptée. Figure développée dans la cadre de notre recherche.

Pour répondre principalement à cette limite, nous proposons un autre système de représentation du *profil environnemental*, toujours basé sur le principe d'un *diagramme radar*. La notation de chaque *objectif environnemental* est alors présentée sous forme d'un triangle dont la hauteur correspond à la valeur de cette notation. À noter que suite à notre étude, l'échelle de notation maximum ne se fait plus entre « 0-4 », mais entre « 0-5 » (cf. Chapitre 4). Chaque secteur possède une largeur, calculée en fonction du nombre d'objectifs et une hauteur. Cette dernière comprendra également une zone permettant l'inscription du nom des *objectifs environnementaux*.

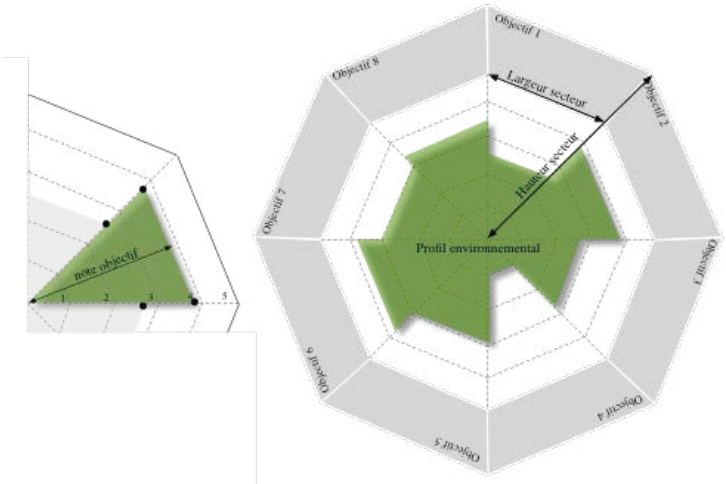


Figure 56 : Principe de représentation de la valeur d'un critère dans un profil radar. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Un radar contextualisé

La contextualisation mise en place dans la méthode fait émerger des notions de poids de *critères d'évaluation*. Le *diagramme radar* actuellement proposé ne reflète aucunement l'importance des objectifs. Tous les secteurs présentant les *objectifs environnementaux* sont dessinés de la même manière et possèdent donc une valeur visuelle égale. À noter que la valeur contextuelle d'un objectif est la somme des *coefficients de contexte* des *critères d'évaluation* le composant (cf. Chapitre 4.2).

La valeur contextuelle d'un objectif, mais surtout sa proportion, doit pouvoir être perçue visuellement sur le *diagramme radar*. Deux possibilités d'interventions se présentent à nous. La première est de jouer sur les largeurs des secteurs, la deuxième étant d'agir sur la hauteur des trapèzes contenant le nom des objectifs (cf. Figure 57). La première solution permet de refléter directement une valeur contextuelle sur la taille du *profil environnemental*. Plus *un objectif environnemental* a de l'importance, plus sa part dans le profil prend de l'importance. La deuxième solution permet d'amplifier cette perception visuelle, en faisant émerger certains *objectifs environnementaux* par rapport à d'autres.

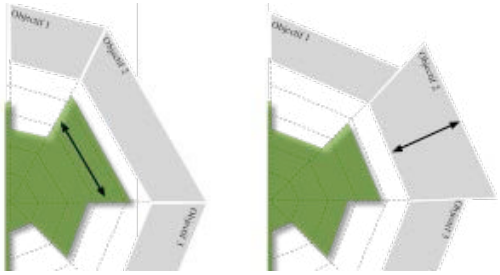


Figure 57 : Perception visuelle de l'importance des objectifs environnementaux. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Bien que la valeur contextuelle d'un *objectif environnemental* soit définie, il n'est pas évident de la représenter graphiquement. En effet, la visualisation de valeurs proportionnelles n'a pas de définition universelle, mais dépend de la perception de chacun. La difficulté provient du fait de représenter une proportion en deux dimensions. Si nous admettons facilement qu'une ligne est deux fois plus importante qu'une autre, il n'en est pas de même avec une figure en deux dimensions. Une figure est-elle perçue comme deux fois plus importante quand on double les distances, ou quand on double l'aire ? Doubler l'aire semble parfois minimiser l'importance, alors que doubler les distances semble la maximiser (cf. Figure 58).

Jacques Bertin, dans son ouvrage de sémiologie graphique (Bertin, 1999), énonce à propos des variables polaires :

« La longueur du rayon doit être proportionnelle à √Q. Ne pas commettre l'erreur de construire des rayons proportionnels à Q. Les surfaces seront alors proportionnelles à Q2» (Bertin, 1999) p 201.

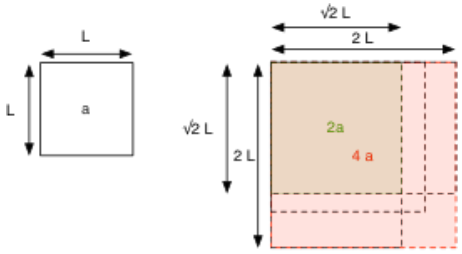


Figure 58 : Problème de perception proportionnelle sur une surface. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Afin de suggérer une représentation qui reflète le mieux possible la valeur contextuelle de chaque *objectif environnemental*, nous avons effectué un sondage auprès d'architectes et d'ingénieurs (une vingtaine de personnes interrogées). Un échantillon de cinq solutions graphiques a été proposé (cf. Figure 59). Pour chaque solution, la personne interrogée devait annoncer son ressenti sur le rapport d'importance entre deux *objectifs environnementaux* prédéfinis (X et Y). La valeur contextuelle réelle de ces deux *objectifs environnementaux* n'était pas communiquée, ils avaient un rapport d'importance de « 2 ».

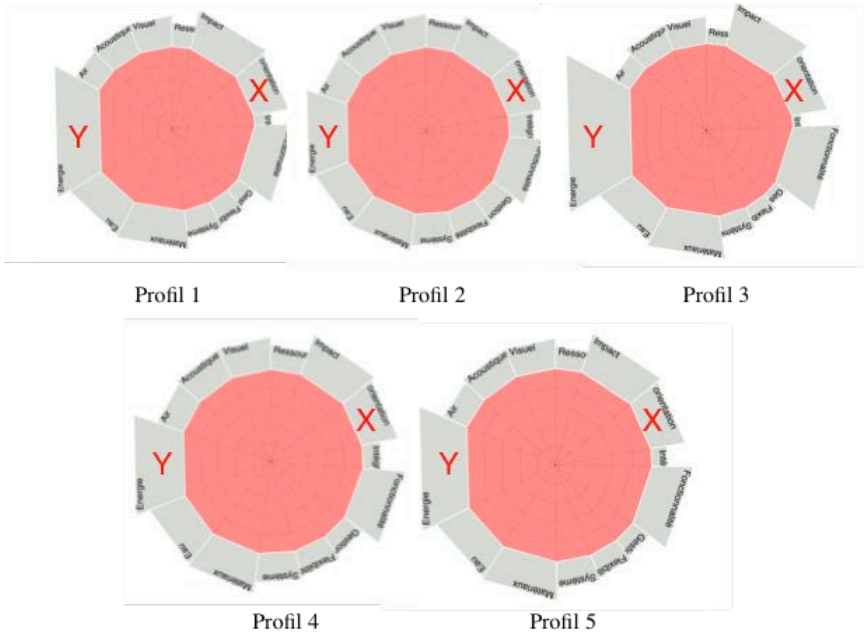


Figure 59 : Profils proposés au sondage sur le ressenti de l'importance des objectifs. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Ce sondage nous a permis d'identifier le ressenti visuel de chaque solution proposée. Bien que la perception soit souvent une notion personnelle, certaines sensations générales ressortent (cf. Figure 60). Le « profil 3 » paraît nettement amplifier l'importance entre deux *objectifs environnementaux*, alors que le « profil 2 » la minimise largement. Les résultats des autres profils se rapprochent des valeurs contextuelles réelles. La solution du « profil 4 » semble être celle qui reflète le mieux les valeurs contextuelles des *objectifs environnementaux*.

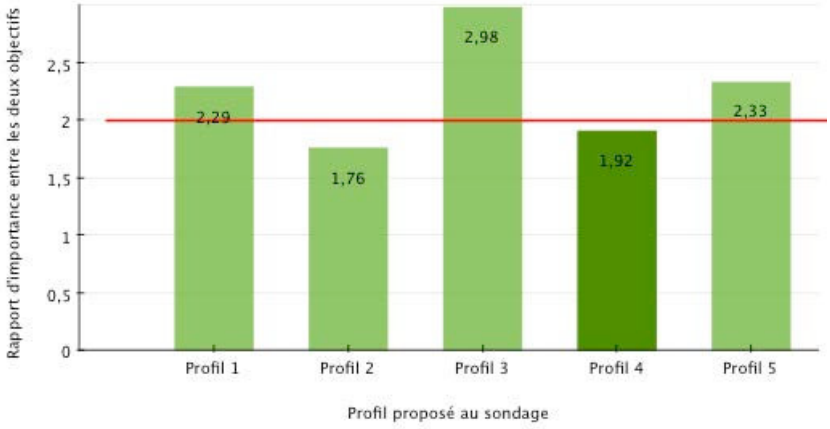


Figure 60 : Résultat du sondage sur la perception d'importance entre deux objectifs. Graphique développé dans le cadre de notre recherche.

La solution qui semble le mieux refléter les notions d'importance entre les *objectifs environnementaux* est la suivante :

- La largeur des secteurs sera proportionnelle à la racine carrée de la valeur contextuelle des objectifs. De manière pratique cette largeur est déterminée par un angle, défini comme suit : l'angle en radian (Ai) attribué d'un objectif est calculé en fonction du rapport entre la racine carrée de sa valeur contextuelle (Si) et de la somme des racines carrées des valeurs contextuelles de tous les *objectifs environnementaux* (S), ramené sur un rapport de « 2 π » :

$$Ai= \sqrt{(Si)}/ \Sigma\sqrt{(S)} * 2\ \pi$$

- La hauteur du secteur sera proportionnelle à l'angle du secteur. La zone accueillant le *profil environnemental* sera fixe et aura une valeur de « 5 ». La zone accueillant le nom de l'objectif sera égale à quatre fois l'angle du secteur en radian (Ai) :

$$5+ 4\ Ai$$

Ainsi un radar sera présenté comme dans (cf. Figure 61) pour la situation contextuelle suivante : habitat individuel, urbain dense, température basse « 0-5 », température haute « 21-25 », pluviométrie moyenne et latitude tropique.

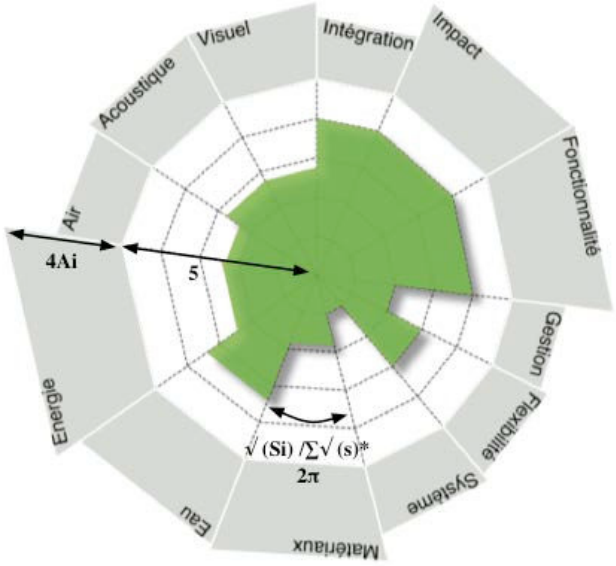


Figure 61 : Exemple de profil radar contextualisé. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Un radar progressif

L'avancement d'un projet se manifeste par la mise en place d'une *notation maximum* pour chaque *critère d'évaluation*. Ainsi à un *état d'avancement* du projet, certains *critères d'évaluation* auront une évaluation complète entre « 0-5 », d'autres auront une évaluation partielle entre « 0-1 », « 0-2 », « 0-3 » ou encore « 0-4 » (en fonction des *données disponibles* pour chacun) et certains ne seront pas évalués faute de *données disponibles*. Bien que ce système permette essentiellement aux évaluateurs d'anticiper les estimations, il permet également aux concepteurs, lors de l'analyse des résultats de l'estimation, de situer la qualité environnementale vis-à-vis de l'avancement de son projet. Il parait important pour la lecture des résultats d'identifier, par exemple, le cas ou un *objectif environnemental* possède une notation peu satisfaisante pour des raisons de non prise en considération de ses enjeux, du cas ou simplement *l'état d'avancement* du projet ne permet pas encore de répondre à ses enjeux.

Nous proposons donc un système de visualisation qui présente l'avancement du projet, par l'intégration d'un deuxième profil appelé : « *profil idéal d'avancement » (*cf. Figure 62). Il présente la *notation maximum* pouvant être obtenue à un moment donné et donc pour *l'état d'avancement* du projet.

Figure 62 : Présentation du « profil idéal d'avancement ». Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Ce système visuel permet de positionner la qualité environnementale du bâtiment en fonction d'un projet dit « idéal » possédant le même *état d'avancement*. Ainsi en fonction de la forme des différents profils, les interprétations suivantes peuvent être effectuées. Prenons l'exemple des trois cas proposés dans la figure (cf. Figure 62 « 1, 2, 3 ») :

- Le cas « 1 » : le projet a obtenu la note maximum, l'ensemble des *critères d'évaluation* de *l'objectif environnemental* a été estimé de manière complète, d'autres enjeux pour cet *objectif environnemental* n'apparaitront pas dans la suite de la conception.
- Le cas « 2 » : le projet a obtenu une note relativement convenable, correspondant au *profil idéal d'avancement*. Le concepteur a donc bien répondu à l'ensemble des enjeux auxquels il pouvait répondre compte tenu de *l'état d'avancement* du projet, cependant, d'autres enjeux pour cet *objectif environnemental* vont émerger dans la suite de la conception.
- Le cas « 3 » : le projet a obtenu une notation relativement moyenne, loin de correspondre au *profil idéal d'avancement*. Certains enjeux auxquels le concepteur pouvait répondre compte tenu de l'avancement du projet n'ont pas été traités.

Tableau descriptif de l'estimation

Le développement de la méthode vers un second niveau hiérarchique implique un deuxième mode de visualisation plus détaillé sur les *critères d'évaluation*. La notation et les commentaires obtenus à chaque critère et pour chaque évaluateur sont essentiels pour le concepteur à l'analyse et à la compréhension des résultats de l'estimation. Nous proposons donc de présenter ces données sous forme d'un tableau (*tableau descriptif)* contenant les éléments suivants :

- La liste de l'ensemble des *critères d'évaluation* à considérer pour le projet (*référentiel projet*). Une ligne par *critère d'évaluation*.
- La première colonne correspond au nom de chaque *critère d'évaluation*.
- La deuxième colonne indique les *coefficients de contexte* pour chaque *critère d'évaluation*.
- Les colonnes suivantes présentent les notes et les commentaires des évaluateurs (une colonne par évaluateur)
- Une dernière colonne présente la moyenne pour chaque *critère d'évaluation* des notes obtenues entre les différents évaluateurs.

Les notes et leur moyenne sont présentées en fonction de la *notation maximum* de chaque *critère d'évaluation*.

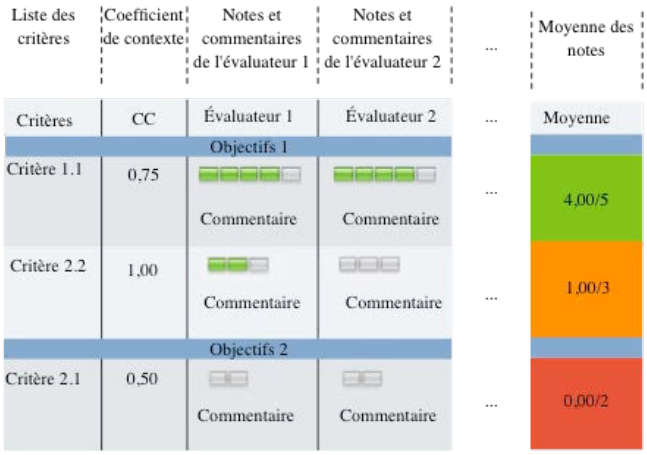


Figure 63 : Présentation du « tableur descriptif de l'estimation ».

Afin de faciliter la lecture du tableau, nous avons suggéré quelques codes de couleurs, notamment pour les notes moyennes. La notation sera présentée en vert quand elle est relativement satisfaisante, en orange quand elle est moyennement satisfaisante et en rouge quand elle sera peu satisfaisante. La valeur de satisfaction de la note dépendra du rapport (R) entre la note moyenne d'un *critère d'évaluation* et sa *notation maximum* :

$0 \leq R < \frac{1}{3}$ -> peu satisfaisant

$\frac{1}{3} \leq R < \frac{2}{3}$ -> moyennement satisfaisant

$\frac{2}{3} \leq R \leq 1$ -> satisfaisant

Barre de progression générale

Nous proposons également une visualisation de la moyenne générale obtenue lors d'une estimation. Bien qu'il ne soit pas toujours pertinent de représenter la qualité environnementale d'un projet par une seule note moyenne, il semble, selon nos expérimentations, que cette donnée apporte une précision supplémentaire sur la qualité générale du projet. Nous proposons donc une *barre de progression générale* permettant de présenter la qualité générale du projet par rapport à *l'idéal d'avancement général* et par rapport à l'idéal du projet fini :

- La qualité environnementale générale est la somme pondérée de toutes les notes obtenues à chaque *critère d'évaluation* actif (présent dans le *référentiel projet*).
- L'idéal d'avancement général est la somme pondérée de toutes les notes maximums de chaque *critère d'évaluation* actif.
- L'idéal du projet fini est la somme pondérée de toutes les notes maximums d'un projet fini « 5 » (tous les critères ont une estimation complète) de chaque *critère d'évaluation* actif.

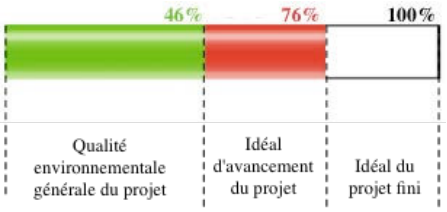


Figure 64 : Barre de progression générale. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Le nombre de *critères d'évaluation* actifs et leur coefficient de contexte étant différents en fonction du contexte du projet, pour faciliter les comparaisons, nous ramenons ces valeurs en pourcentage. La valeur de « 100 % » correspond à la somme pondérée de toutes les notes maximums d'un projet fini. Pour illustrer nos propos, prenons l'exemple de (cf. Figure 64). La somme pondérée des notes obtenues est de « 126,5 », la somme pondérée des notations maximums est de « 209 » et la somme pondérée de toutes les notes maximums d'un projet fini est de « 275 », les valeurs en pourcentage seront les suivantes :

- Qualité environnementale : 126,5/275= 0,46 -> 46 %.
- Idéal d'avancement : 209/275=0,76 -> 76 %.
- Idéal fini : 275/275=1 -> 100 %.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé différentes visualisations de l'estimation environnementale, adaptés à la méthode Éco-profil mise en place et décrite dans le chapitre précédent (cf. Chapitre 4). Un premier niveau de visualisation précise la qualité environnementale et générale du projet sous forme de moyenne générale dans une *barre de progression*. Un deuxième niveau de visualisation permet une vision globale de la qualité environnementale sous forme d'un *diagramme radar* présentant les différents *objectifs environnementaux*. Un troisième niveau de visualisation sous forme d'un *tableau descriptif* permet de présenter le détail de l'estimation pour chaque *critère d'évaluation* et chaque évaluateur. L'ensemble de ces visualisations permet d'analyser, à différents niveaux, les estimations effectuées sur un projet.

Figure 65 : Trois méthodes de visualisations proposées pour la méthode Éco-profil. Gauche : profil radar. Droite haut : tableau descriptif .Gauche bas : barre de progression générale. Figures développées dans le cadre de notre recherche.

5.2 Application Éco-Profil

Nous proposons de présenter la réflexion sur le développement d'un outil prototype, support à l'utilisation de la méthode Éco-Profil. La progression de l'approche, l'identification des besoins utilisateurs et des tests des modèles d'outils proposés nous ont menés vers le développement d'une application qui permet l'utilisation de la méthode de manière simplifiée, automatisée et dynamique, sans pour autant avoir la connaissance du modèle. Le développement de cet outil nous a permis de proposer une approche d'estimation environnementale, progressive, contextualisée, globale et manipulable, pouvant déboucher sur différents tests et expérimentations, contribuant ainsi à une certaine pertinence et validité de notre approche.

Dans ce chapitre, nous présentons l'implémentation de notre approche dans un outil. Dans un premier temps, nous aborderons notre démarche d'identification des besoins aboutissant sur le modèle proposé. Dans un second temps, nous mettons en avant l'interface développée et les différentes interactions avec les utilisateurs.

Besoins du prototype

La proposition d'un outil support s'est centrée sur l'identification des utilisateurs de la méthode ainsi que leurs besoins associés à des interfaces particulières. Les outils se sont développés au fur et à mesure de la progression d'Éco-profil (mise en place de la contextualisation, mise en place du système progressif, visualisation, etc.). L'identification des besoins a donc été progressive. Différents tests, de la méthode et de l'outil, ont ponctué notre démarche. Des tests internes (utilisateurs internes au développement de l'approche) ont permis d'orienter les besoins et la pertinence des fonctions, menant ainsi vers la version de l'outil proposé dans ce document. Des tests finaux, avec des utilisateurs externes, nous ont permis de valider la pertinence de certaines options et de proposer et d'identifier des améliorations possibles pour notre prototype. Ces éléments seront présentés dans la partie suivante concernant les expérimentations (cf. Partie 3).

Nos premières démarches d'outils sont centrées sur des supports de type tableur, permettant de supporter facilement et assez rapidement, les différents changements et évolutions de notre approche. Cependant, ces implémentations se sont retrouvées très vite limitées. En effet, certaines propriétés développées au fur et à mesure de l'avancement de nos travaux (plusieurs avancements, etc.) ou encore la particularité de notre profil environnemental (radar à sections variables) ont trouvé leur limite dans cet outil tableur.

Figure 66 : Outil de type tableur proposé dans une première démarche. Gauche : saisie des données. Droite : référentiel automatisé. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Lorsque nous avons abouti à un modèle relativement stable, nous nous sommes orientés vers le développement d'une application autonome. Pour des raisons matérielles et de connaissances, le prototype est développé dans un langage Objective-C avec Xcode dans l'environnement Macintosh. Cet outil nous le nommons « *application Éco-Profil* ».

Cet outil se base sur le schéma général de fonctionnement de notre approche, sur le modèle développé (cf. Chapitre 4.5) ainsi que sur les différents besoins des utilisateurs. Deux catégories

d'utilisateurs sont notamment identifiées : les évaluateurs et les concepteurs. Les différents besoins identifiés en fonction de la catégorie d'utilisateur sont les suivants :

- Définir le *référentiel projet* (concepteur ou évaluateur).
- Consulter le *référentiel projet* (concepteur*).*
- Définir des *référentiels d'évaluations (*un par *état d'avancement*) (concepteur ou évaluateur).
- Effectuer des estimations environnementales sur la base des *référentiels d'évaluations (*évaluateur).
- Consulter les différentes estimations (concepteur*).*

À noter que notre modèle étant centré sur le projet, chaque fichier de l'application supporte un et un seul projet ou une seule variante de projet.

Interface graphique

Nous avons opté pour une interface composée d'une « fenêtre projet » prédominante, associée à quelques palettes secondaires (référentiel, aide, etc.). La fenêtre projet comporte une « toolbar » et se décline en trois vues : la vue principale, la vue notation et la vue radar. (cf. Figure 67) Le dimensionnement minimal de la fenêtre est de « 1000*640 » pixels, permettant également une utilisation optimale sur des écrans peu généreux tels que les onze pouces.

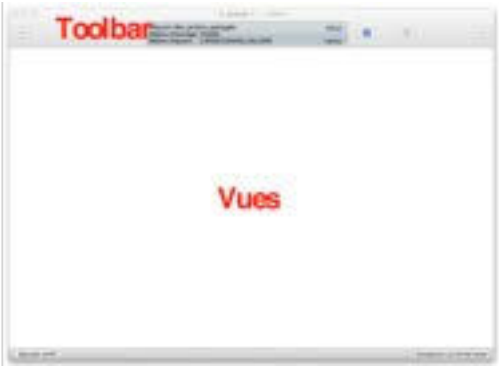


Figure 67 : Fenêtre projet de l'application Éco-profil. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

La navigation dans ces trois vues et dans les palettes permet de proposer différentes fonctions en réponse aux besoins des utilisateurs : renseignement des informations du projet, renseignement du contexte du projet, consultation du référentiel, création d'avancements, création et édition d'évaluations, etc. Le fonctionnement et la navigation générale sont explicités dans le schéma (cf. Figure 68).

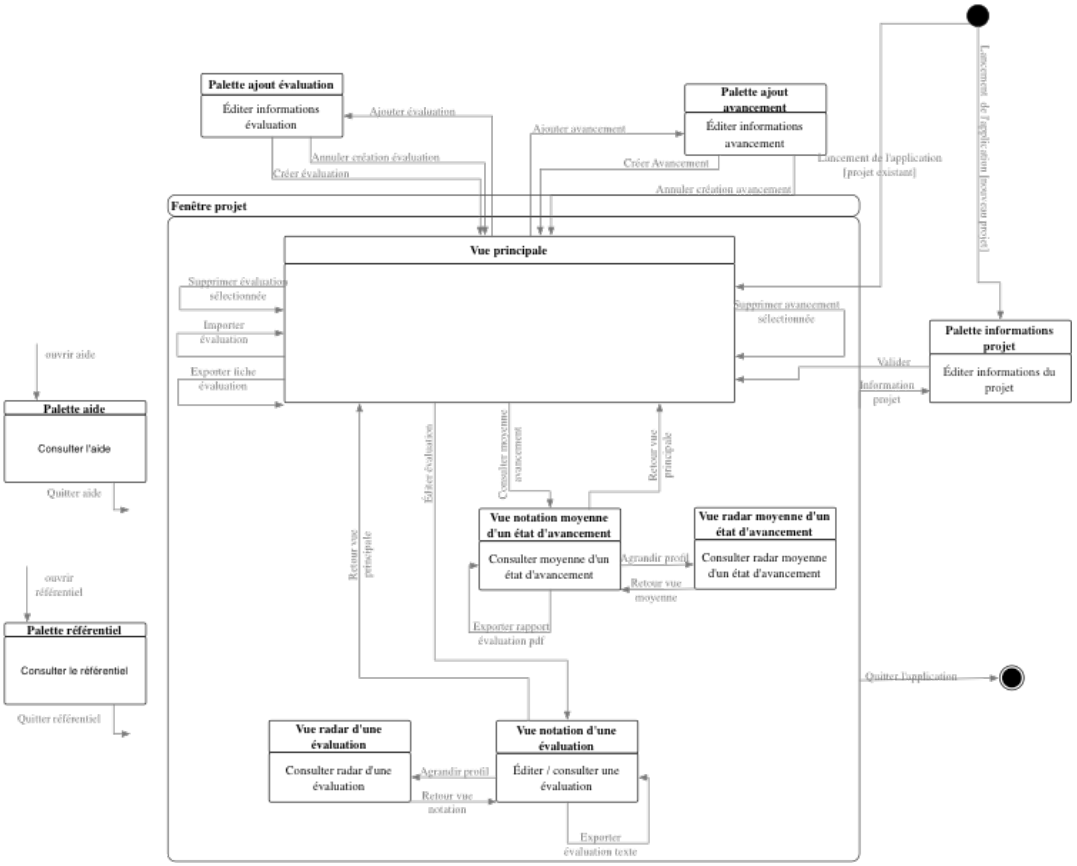


Figure 68 : Diagramme d'états de l'application Éco-profil. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

La vue principale est décomposée en trois parties, l'onglet des contextes du projet, l'onglet des avancements du projet ainsi que l'onglet des estimations (cf. Figure 69). Cette vue présente également trois « stades » définissant l'accès aux différentes fonctions (cf. Figure 69). Un premier stade, actif lorsqu'aucun *état d'avancement* n'est créé, où seule la modification du contexte est accessible. Un second, quand au moins un *état d'avancement* est présent et qu'aucune évaluation n'est encore ajoutée. Dans cet état, la modification du *contexte* et des *états d'avancement* est possible. Un troisième stade est activé lorsqu'au moins une évaluation est présente. Dans cette situation, seuls les *états d'avancement* sont modifiables.

Figure 69 : Présentation des trois « stades » de la vue principale. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Cette vue permet la gestion du projet par les différentes actions suivantes (cf. Figure 70): ajout et suppression d'états d'avancement, ajout et suppression d'évaluation, consulter et éditer les évaluations, exporter et importer des fiches d'évaluation, etc.

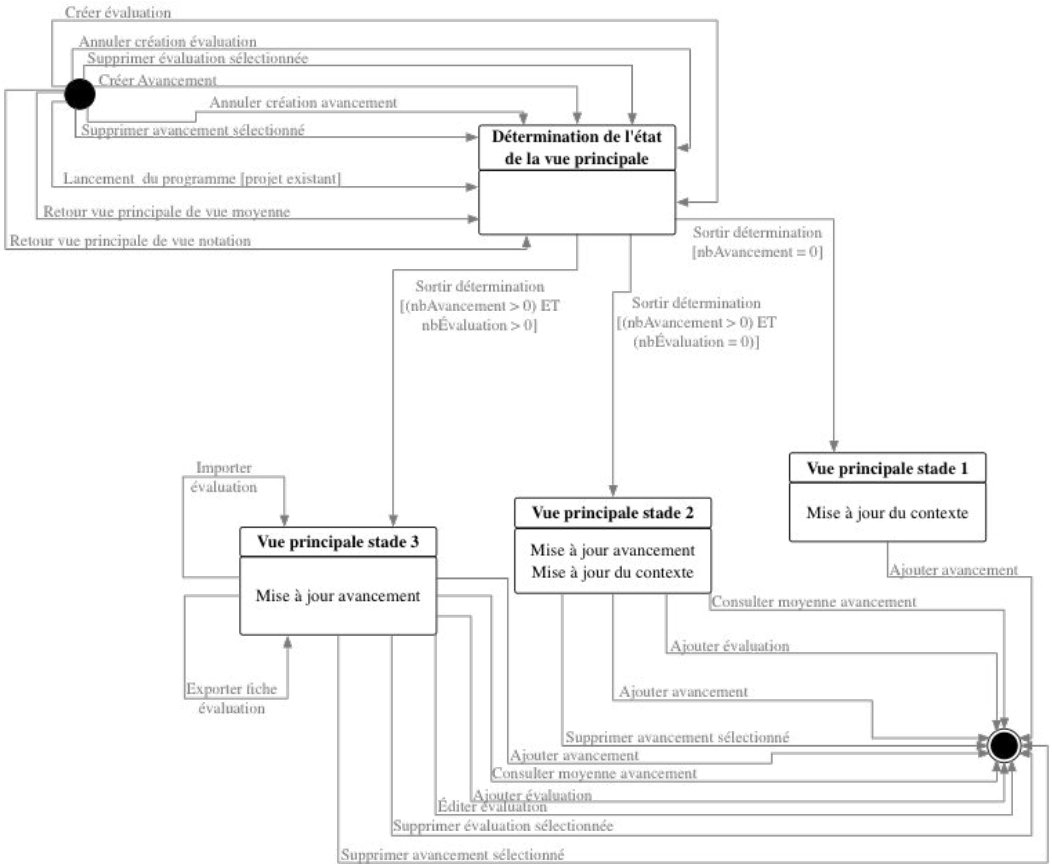


Figure 70 : digramme d'états de la vue principale. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Les estimations sont présentées sous forme de vignette présentant le *diagramme radar* (cf. Figure 71). Chaque ligne correspond aux éléments d'un *état d'avancement* du projet. La première

colonne de gauche présente le profil environnemental moyen des différentes estimations pour chaque *état d'avancement*, les colonnes suivantes présentent le profil environnemental pour chaque *évaluation*.

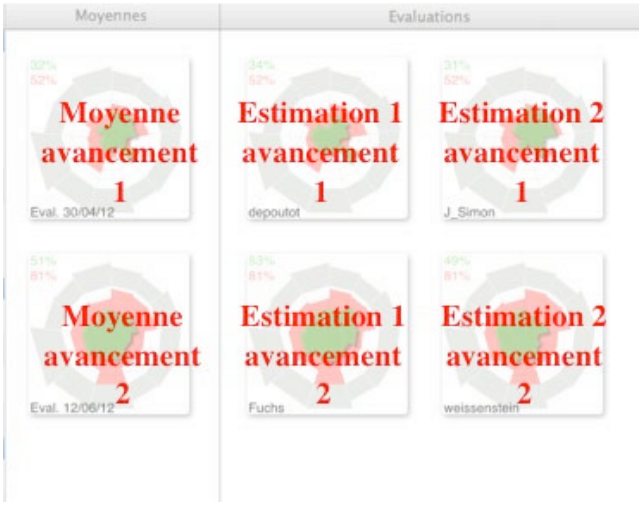


Figure 71 : Aperçue des *évaluations* dans la vue principale de l'application Éco-profil. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

La vue notation, accessible depuis la vue principale permet, l'édition ou la consultation des *évaluations* effectuées (cf. Figure 72). Deux types de vue notation sont proposés. Une première qui permet l'édition et la consultation des différentes évaluations. Une seconde pour consulter la moyenne des estimations pour chaque *état d'avancement*. Ces vues sont composées du *référentiel d'évaluation* éditable ou non, ainsi que du *diagramme radar* et de la *barre de progression* présentant le profil environnemental.

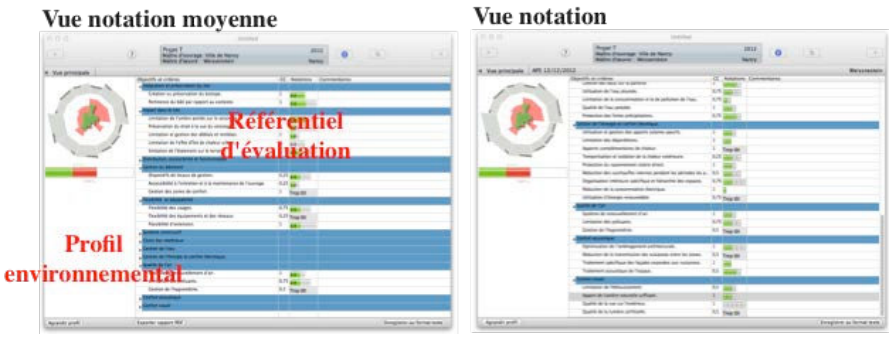


Figure 72 : « Vue notation » de l'application Éco-profil. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

La vue radar, accessible depuis les vues notations, présente, en grand, le *diagramme radar* et la *barre de progression* du projet pour une estimation ou pour la moyenne des estimations d'un état *d'avancement* (cf. Figure 73).

Figure 73 : « Vue radar » de l'application Éco-profil. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Informations du projet

Un certain nombre d'informations sur le projet sont à renseigner. Au lancement du programme, dans la cadre d'un nouveau projet, une fenêtre informative s'ouvre où le nom du projet, la ville de construction, le maître d'œuvre, le maître d'ouvrage ainsi que la date de conception du projet sont à renseigner par l'utilisateur (évaluateur ou concepteur) (cf. Figure 74).

À tout moment, ces informations pourront être modifiées depuis la vue principale. Ces informations servent à l'identification du projet en apparaissant notamment dans la « toolbar », mais également sur les documents exportés.

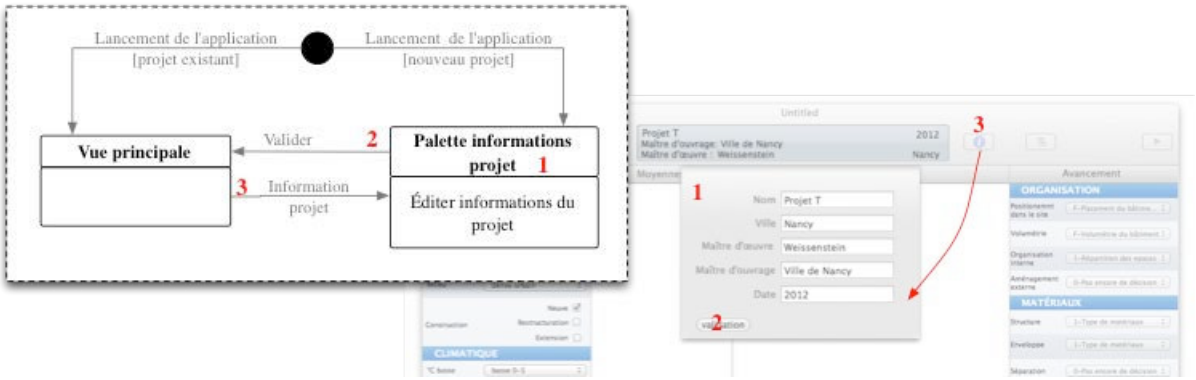


Figure 74 : Renseignement des informations projet dans l'application Éco-Profil. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Contexte du projet

Le renseignement des contextes du projet est indispensable à l'utilisation de la méthode. Des valeurs de type de contexte par défaut sont donc présentes dès l'ouverture du fichier : « habitat individuel », « urbain dense », construction « neuve », climat du type nancéien (température haute

« moyenne 20-25 », température basse « basse 0-5 » pluviométrie « moyenne » et latitude « tropique ») et sans contexte local.

L'onglet contexte de la vue principale (cf. Figure 75) permet à l'utilisateur la saisie des *contextes influents* et de leurs types définissant ainsi le *contexte projet.* Les contextes à types multiples (cf. Chapitre 4.2) sont présentés sous forme de cases à cocher (permettant une sélection multiple), les autres, sous forme d'un « popup menu » orientant le choix vers une seule sélection (cf. Figure 75). La modification de ces *contextes influents* est possible à condition qu'aucune évaluation ne soit déjà effectuée (stade « 1 » et « 2 » de la vue principale). Le contexte jouant sur le nombre de *critères d'évaluation* à estimer, la modification de ce dernier après la réalisation d'estimation environnementale, pose un certain nombre de questionnements. Par exemple, certains *critères d'évaluation* ajoutés après la modification d'un *contexte influent* n'auront donc pas d'estimations ou d'autres, estimés, donc estimables, peuvent être supprimés, donc considérés comme pas estimables. Dans la version présentée, la sélection des types de contexte sera de ce fait gelée dès lors qu'une évaluation est présente pour le projet.

Figure 75 : Présentation et sélection des contextes du projet dans l'application Éco-Profil. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Le renseignement du contexte permet de définir le *référentiel projet*. Il est disponible dans l'application depuis et en parallèle à la fenêtre projet (cf. Figure 76). Il présente l'ensemble des *critères d'évaluation*, leur *coefficient de contexte* et leur définition. L'application peut servir, dans un

premier temps, à l'utilisateur concepteur pour l'identification des *critères d'évaluation* et, par conséquence, des enjeux environnementaux importants pour son contexte projet.

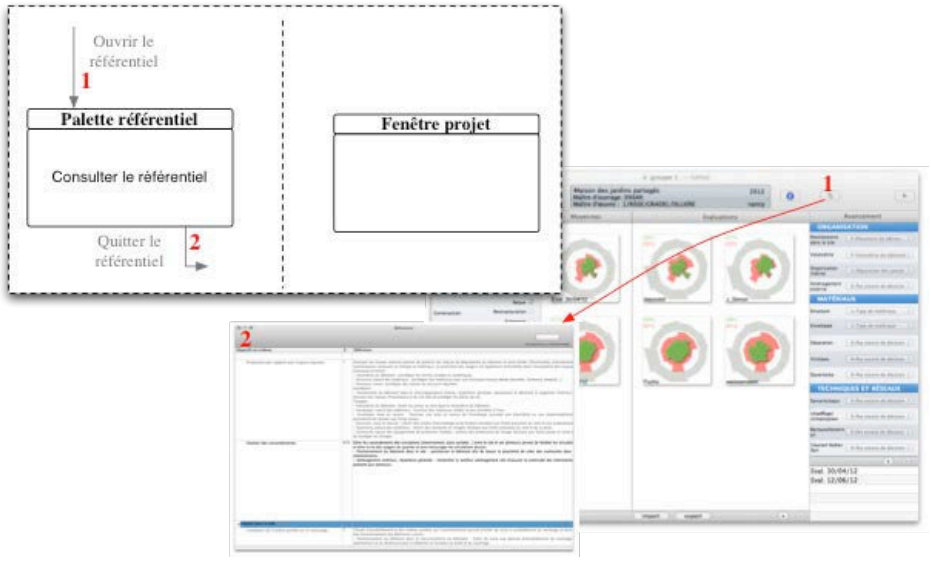


Figure 76 : Présentation de la « palette référentiel » dans l'application Éco-Profil. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

États d'avancements du projet

Au lancement d'un nouveau fichier, le projet ne possède pas encore *d'états d'avancement* (vue principale au stade « 1 »*)*, l'utilisateur les renseigne au fur et à mesure des besoins. L'application supporte plusieurs *états d'avancement* pour un projet, pouvant ainsi suivre au sein du même fichier la progression du *profil environnemental* de l'opération.

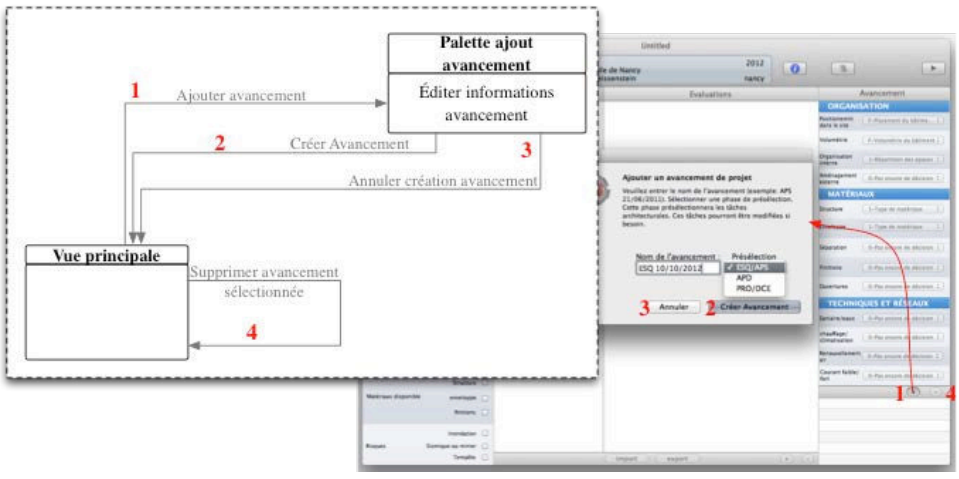


Figure 77 : Processus de création d'un état d'avancement dans l'application Éco-profil. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

À la création d'un avancement (cf. Figure 77), une palette s'ouvre afin de renseigner le nom de l'avancement (unique). Bien que nous ayons précisé dans le chapitre (cf. Chapitre 4.3) que les phases réglementaires (esquisse, avant-projet, etc.) ne permettent pas d'apporter une précision suffisante, nous avons mis en place un système de présélection des *taches de conception* et de leurs *niveaux de définition*. La présélection permet d'anticiper certains comportements d'avancement afin de faciliter la saisie, cependant les modifications par l'utilisateur des *niveaux de définition* des *tâches architecturales de conception* présélectionnées ne sont pas exclues. L'utilisateur peut annuler la création, tout comme il peut supprimer par la suite les *états d'avancement* créés. La suppression d'un état d'avancement entraine la suppression des évaluations le constituant.

L'ensemble des *tâches de conception* et leurs niveaux de définition sont présents par *états d'avancement* sous forme de « popup menu » permettant la saisie (cf. Figure 78 « 1 »). Nous notons une limite sur ce mode de sélection, les différents cas de figure de niveau de définition des *tâches de conception* peuvent engendrer beaucoup « d'items », proposant un menu assez important. Bien que ce mode de sélection ne soit pas optimal dans ce cas de figure il a tout de même été conservé afin de pouvoir présenter l'ensemble des *tâches de conception* sur la vue principale.

Les différents *états d'avancement* sont présentés sous forme d'un tableau dans l'onglet avancement (cf. Figure 78 « 2 »). L'ajout d'un *état d'avancement* engendre la création, dans la partie centrale, d'une vignette radar (cf. Figure 78 « 3 »). Lors de la création d'un *état d'avancement*, aucune estimation n'est encore effectuée pour ce dernier, le *diagramme radar* est donc composé uniquement du profil idéal d'avancement (rouge).

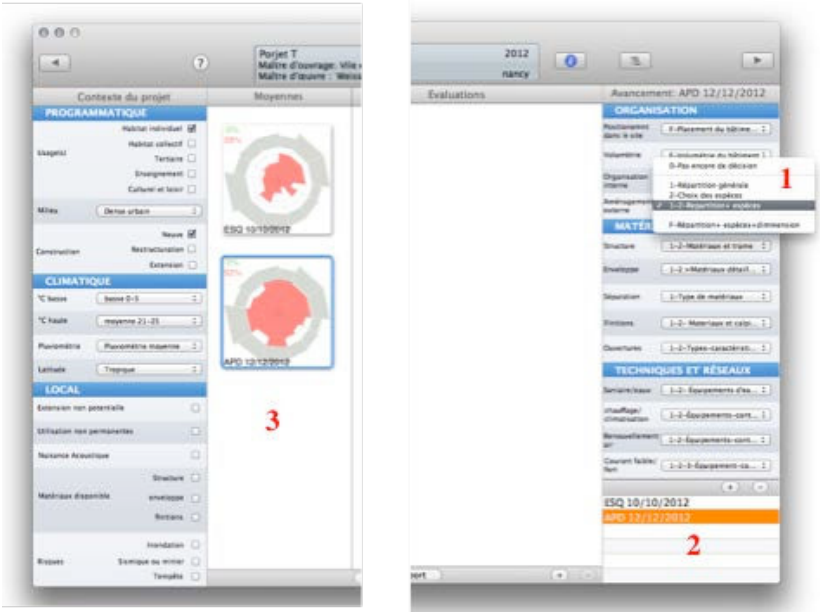


Figure 78 : Modification d'un état d'avancement dans l'application Éco-Profil. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Estimations du projet

La création d'une évaluation est semblable à la création d'un *état d'avancement*. Une évaluation se caractérise par le couple : un *état d'avancement* et un *évaluateur*, à définir à la création de cette dernière par le biais d'une palette d'information (cf. Figure 79). Par défaut, les notations de chaque *critère d'évaluation* sont de « 0 » et les commentaires sont « vides ». La création d'évaluation peut également s'effectuer par des exports et imports de fiches d'évaluation au format texte. Les fiches, composées du référentiel d'évaluation, peuvent être complétées pour être importées dans l'application. Dans ce cas-là, les informations de notations et de commentaires sont celles renseignées dans la fiche.

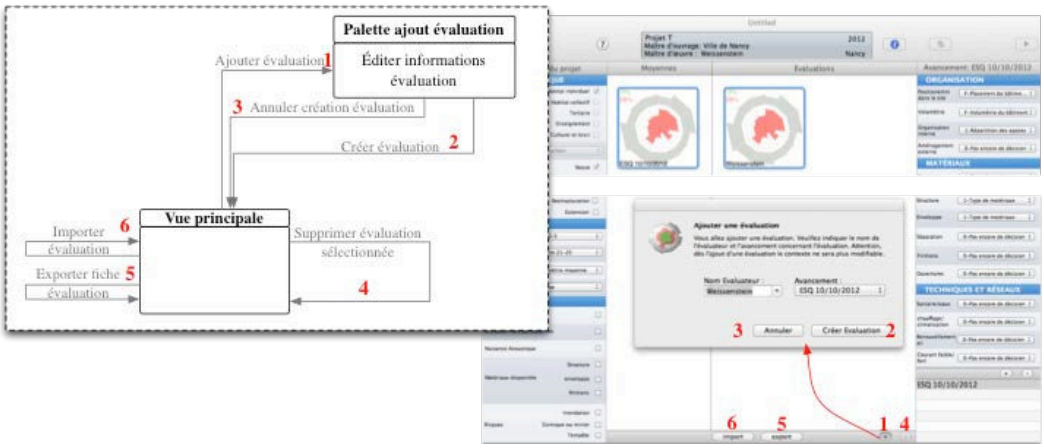


Figure 79 : Processus de création d'un état d'avancement dans l'application Éco-profil. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

À la création d'une évaluation, une vignette radar est ajoutée, représentant le profil environnemental de cette dernière (cf. Figure 80). La vignette radar, conduit vers la vue notation, permettant l'édition de l'estimation. Dans la vue notation est présenté le *référentiel d'évaluation* pour *l'état d'avancement* considéré. Chaque *critère d'évaluation* peut ainsi être édité par l'évaluateur en renseignant la notation et le commentaire éventuel (cf. Figure 80). L'estimation se déroule de la manière décrite dans la méthode (cf. Chapitre 4.4). La définition du *référentiel d'évaluation,* le processus estimatif mis en place et l'interface proposée permettent de cadrer l'évaluateur dans son estimation, ainsi chaque *critère d'évaluation* présent est un critère à évaluer, dans l'échelle de notation telle que définie dans l'approche (cf. Chapitre 4.3). L'évaluation peut être exportée au format texte dans l'objectif d'une importation dans un autre fichier.

Au fur et à mesure de l'avancement de l'estimation, le *diagramme radar* et la *barre de progression* se complètent jusqu'à former un *profil environnemental* du projet pour un évaluateur et un

état d'avancement. Un *état d'avancement* peut posséder plusieurs estimations, notre modèle actuel supporte au maximum cinq évaluateurs par *états d'avancement*.

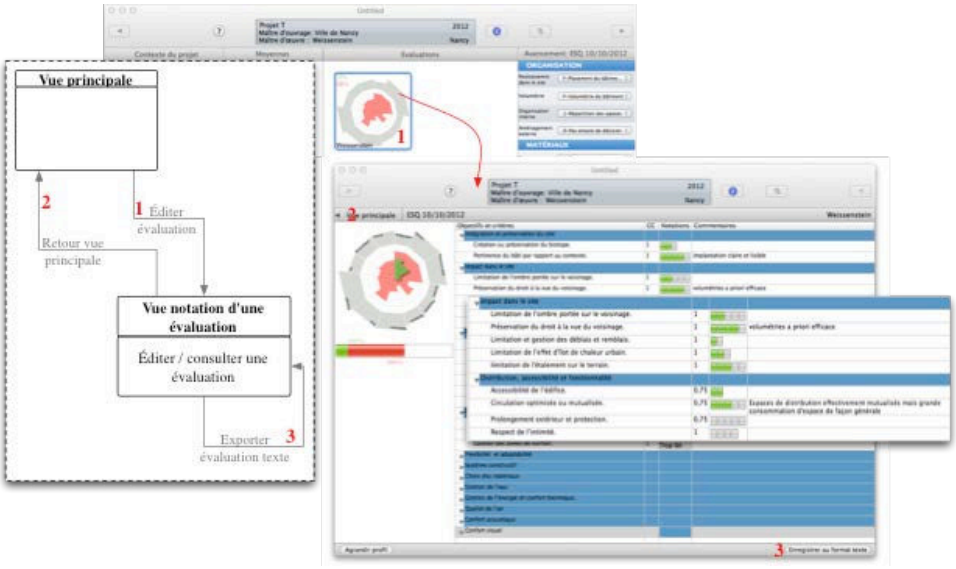


Figure 80 : Édition d'une estimation dans l'application Éco-Profil. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

L'exemple (cf. Figure 81) présente l'application dans le cadre d'un projet possédant deux *états d'avancement* et deux évaluations par *état d'avancement*.

Figure 81 : Exemple de l'application dans le cadre d'un projet possédant deux « états d'avancement » et deux estimations par « état d'avancement ». Issu de nos expérimentations.

Analyse des résultats

Les différentes estimations peuvent être consultées pour analyse de la qualité environnementale du projet par le concepteur, menant vers d'éventuelles modifications de ce dernier. Cette consultation peut s'effectuer directement dans l'application, ou de manière externe, par le biais d'un rapport d'évaluation.

De manière interne, les différentes estimations peuvent être consultées individuellement par évaluateur ou de manière générale (moyenne des estimations pour un *état d'avancement*), par le biais des vues notations (cf. Figure 82*)*. Pour chaque estimation (moyenne ou individuelle), les trois niveaux de représentation sont proposés : *tableau descriptif, diagramme radar et barre de progression*.

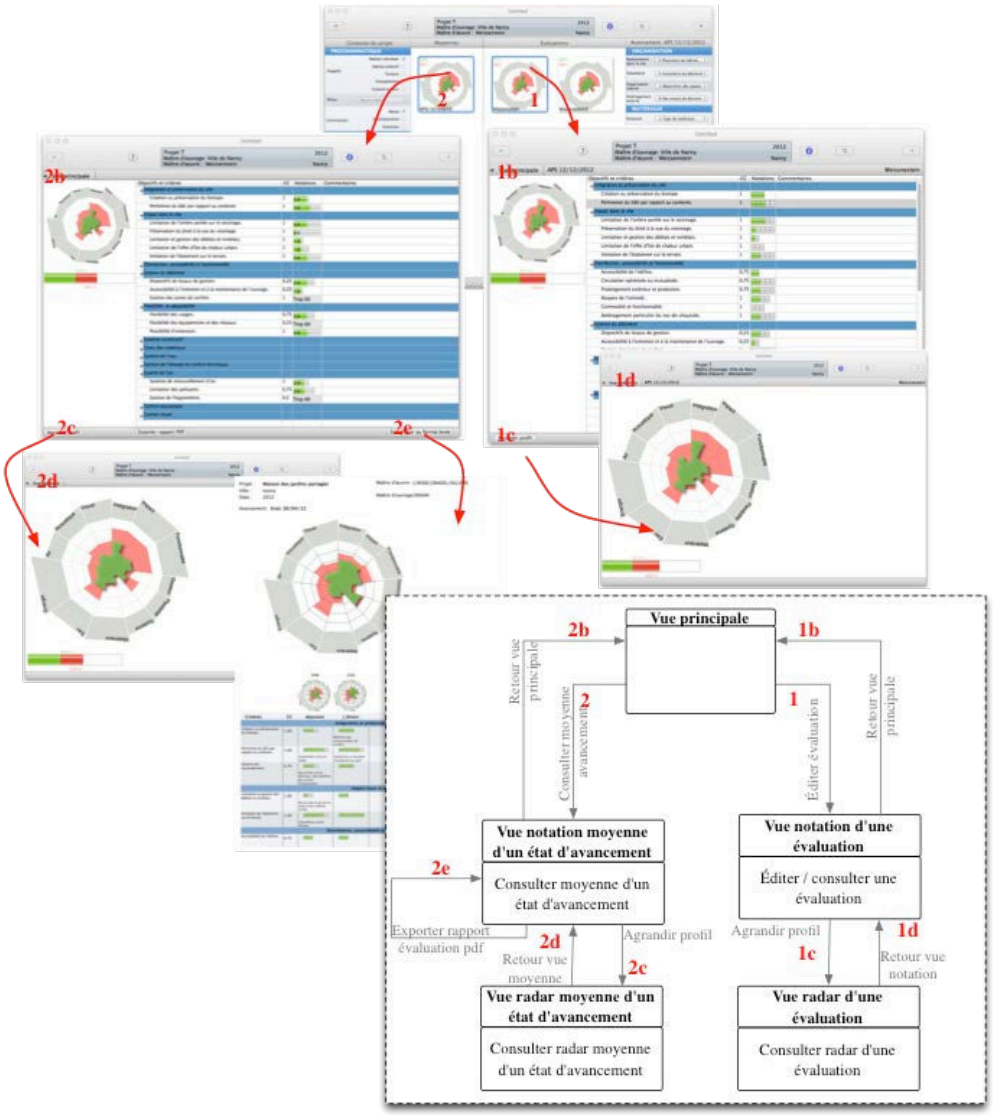


Figure 82 : Lecture des résultats des évaluations dans l'application Éco-profil. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Un rapport d'évaluation au format PDF peut être édité pour chaque *état d'avancement* du projet (cf. Figure 82). Il présente *le diagramme radar* moyen et la *barre de progression* moyenne des estimations, ainsi que le *tableau descriptif*.

5.3 Conclusion du chapitre

Ce chapitre est consacré au développement d'un support tant visuel que fonctionnel à notre approche Éco-profil permettant de soutenir et d'automatiser certains besoins de fonctionnement. Ainsi la sélection des contextes du projet définit le *référentiel projet* consultable. La création *d'états d'avancement* du projet et la sélection des niveaux de définition des différentes *tâches architecturales* permettent de définir le *référentiel d'évaluation*.

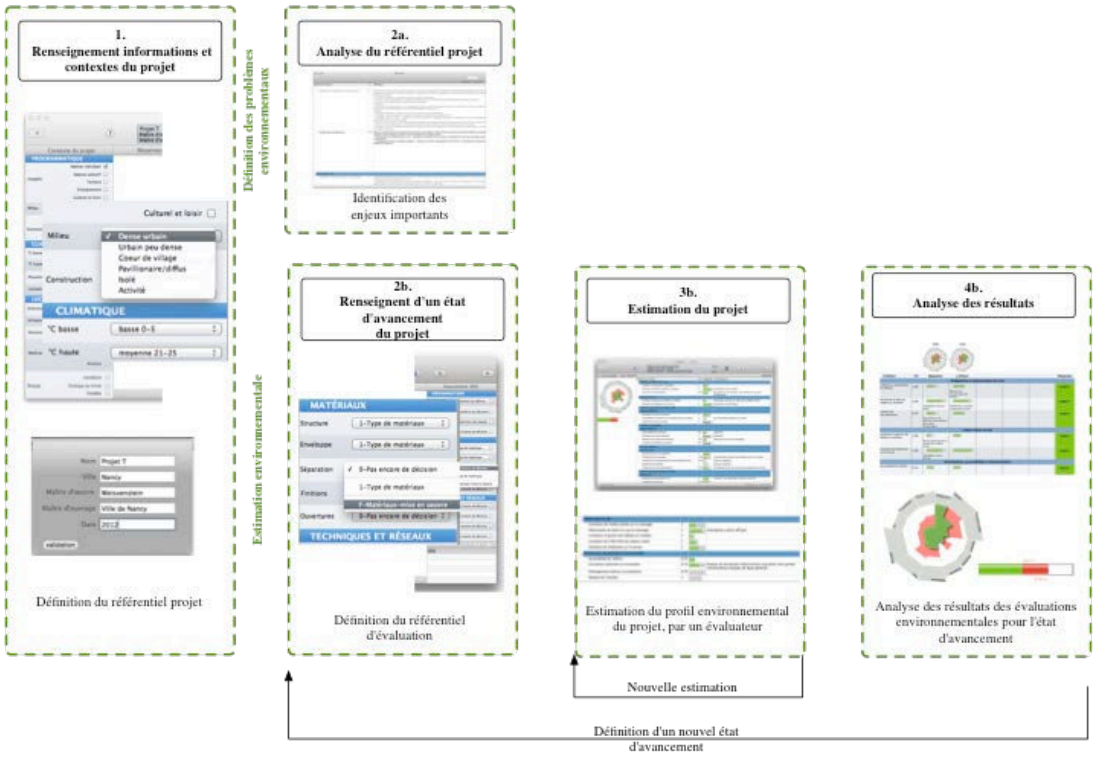


Figure 83 : Processus de fonctionnement de l'outil associé aux différents supports mis en place. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Cet outil propose également une plate-forme d'estimation permettant à des évaluateurs et pour un *état d'avancement* de proposer des estimations guidées de la qualité environnementale. La définition de différentes visualisations (*diagramme radar, barre de progression et tableau descriptif*) de ces estimations permet l'analyse de la qualité environnementale à différentes échelles. Nos différents supports accompagnent donc les utilisateurs dans le processus de fonctionnement de la méthode mise en place (cf. Figure 83).

Conclusion de la partie 2

Cette partie est centrée sur le développement d'une méthode d'estimation de la qualité environnementale dans le but d'assister l'éco-conception, en réponse aux limites énoncées dans la partie précédente (cf. Partie 1). Nous avons, dans un premier temps, posé les bases d'une approche aux caractéristiques originales : globale, contextualisée, progressive et analysable, fondée sur une première approche par liste/référentiels. Dans un second temps, nous avons développé des outils visuels et fonctionnels, assistant le fonctionnement de la méthode.

Cette approche, par ses caractéristiques, permet notamment d'assister la conception architecturale, incluant également les phases préliminaires de proposition/validation (cf. Chapitre 2.1). Souffrant d'un manque d'assistance, les approches environnementales menées lors de ces phases reposaient jusqu'alors essentiellement sur l'expérience du concepteur. La difficulté de diffusion des connaissances et le manque d'expérimentation de certains jeunes concepteurs conduisent, dans certains cas, à des performances centrées sur la technique plutôt que sur l'architecture.

Dans le but de valider la méthode et l'outil, nous avons organisé plusieurs expérimentations. Nous avons structuré nos tests autour de questionnements apparus au fur et à mesure du développement de l'approche. Nous avons également pris en considération les points de vue des différents utilisateurs : concepteurs, évaluateurs.

- Le référentiel et la contextualisation semblent-ils bien refléter les enjeux environnementaux pour un contexte donné ?
- Le système progressif mis en place permet-il une meilleure prise en compte et anticipation des critères d'évaluation ?
- La démarche d'estimation mise en place permet-elle de représenter la qualité environnementale effective d'un projet ?
- Des évaluations environnementales, adaptées et successives, lors du processus de conception permettent-elles d'améliorer les propositions architecturales vers une qualité environnementale plus efficiente ?
- Les visualisations permettent-elles de bien percevoir et analyser les points forts et faibles de la qualité environnementale estimée du projet ?
- L'application proposée permet-elle effectivement de guider les évaluations lors du processus préliminaire de conception ?
- L'application est-elle bien adaptée aux différents besoins des utilisateurs ?

Partie 3 : Expérimentations

Notre travail, centré sur le développement d'une méthode estimative de la qualité environnementale des bâtiments (cf. Partie 2), a été expérimenté notamment lors de trois tests d'utilisation. Deux tests ont été effectués, dans un premier temps, lors du développement de notre approche, dans le but de renforcer, d'affiner et d'orienter nos choix et notre modèle, aboutissant à la méthode et à l'application proposées. Dans un second temps, un troisième test a été organisé, comportant un caractère plus final, de validation de notre travail. Chacun d'eux possède un protocole d'expérimentation bien déterminé, orienté pour répondre aux différents questionnements avancés lors du développement de l'approche (cf. Chapitre 5.3). Ces trois expérimentations sont exposées successivement dans cette partie. Pour chacune, le protocole et les objectifs d'expérimentation sont présentés. Leurs analyses, basées sur des retours de questionnaires (évaluateur et concepteur) et sur la comparaison des profils environnementaux, nous ont menés à plusieurs conclusions sur la pertinence de notre approche.

Chapitre 6 : Expérimentation « 1 », un foyer étudiant sur l'île de Corse à Nancy

6.1 Protocole d'expérimentation

Objectifs de l'expérimentation

Cette expérimentation a été organisée au cours du développement de notre méthode dans le but d'optimiser nos choix. Nous avons donc orienté ce travail pour répondre aux questionnements relatifs à la pertinence du référentiel et des modes de visualisation :

- Le référentiel et la contextualisation semblent-ils bien refléter les enjeux environnementaux pour un contexte donné ?
- Le système progressif mis en place permet-il une meilleure prise en compte et anticipation des critères d'évaluation ?
- Les visualisations permettent-elles de bien percevoir et analyser les points forts et faibles de la qualité environnementale estimée du projet ?

Bien que ce test ait été orienté pour ajuster notre approche, nous avons tenté également de vérifier la pertinence de la proposition vis-à-vis de notre objectif principal :

- Des évaluations environnementales, adaptées et successives, lors du processus de conception permettent-elles d'améliorer les propositions architecturales vers une qualité environnementale plus efficiente ?

L'expérimentation a consisté à mettre en œuvre une situation de conception environnementale, ponctuée par une estimation environnementale, en prenant en considération deux catégories d'utilisateurs de la méthode : les concepteurs et les évaluateurs. Pour des questions de facilité de démarche, l'expérimentation s'est déroulée dans un environnement de projet pédagogique. Dans le cadre du module « évaluation de la qualité environnementale » du master AME[60] de l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy, quinze étudiants ont participé à cette expérimentation. Les estimations ont été effectuées de manière interne par un seul évaluateur (l'auteur). Le point de vue de l'évaluateur sera donc analysé uniquement à partir de ma perception personnelle.

[60] Master design global spécialité « Architecture Modélisation environnement » : http://fujiyama.crai.archi.fr/~ame/site_ame/Bienvenue.html

Organisation des Séances

L'expérimentation s'est déroulée en deux séances de travail, précédées d'une séance de préparation et suivies d'une séance d'analyse. Lors de la préparation, nous avons mis en place le protocole ainsi que le programme de conception.

Le programme est celui d'un foyer pour étudiant dans le centre de Nancy, centré sur les approches environnementales (cf. annexe 8).

Sur la base de ces indications et encadrés par les enseignants, les étudiants ont mené deux séances de projet. Ils disposaient du programme détaillé (usages, surfaces, etc.) et des plans de situation et ils avaient un libre accès à des informations supplémentaires (internet, médiathèque, etc.). Ils avaient également à leur disposition le *référentiel projet* proposé par la méthode, composé de l'ensemble des critères à considérer et leurs définitions. Chaque séance était ponctuée par un rendu et une estimation, débouchant sur la remise d'un rapport d'évaluation. À la suite de ces deux séances, un questionnaire a été diffusé à chaque concepteur permettant de recueillir leurs impressions sur l'expérimentation.

L'analyse de l'expérimentation s'est effectuée à plusieurs niveaux, une analyse personnelle, en tant qu'évaluateur, une analyse des résultats des estimations environnementales et une analyse des questionnaires. Ces différentes analyses nous ont permis d'émettre les premières conclusions sur la pertinence de notre méthode.

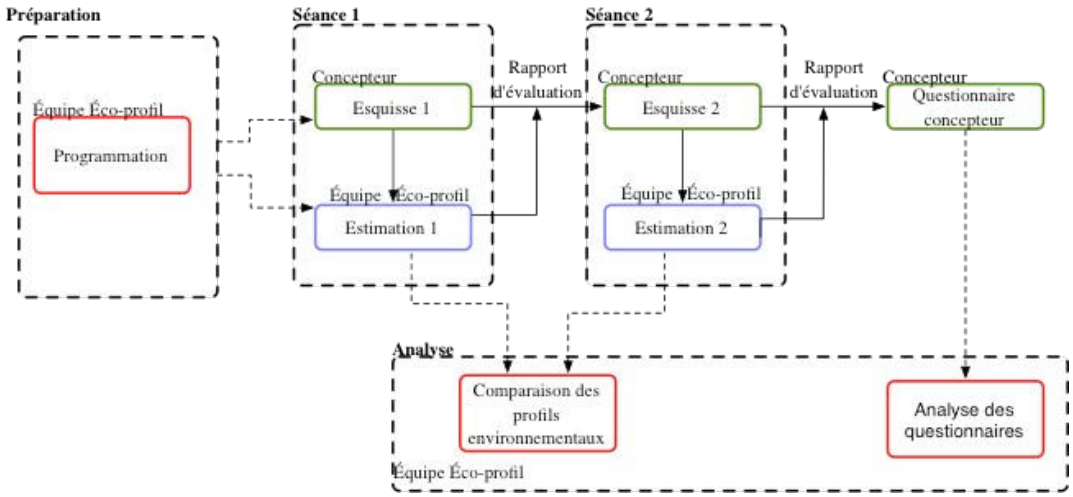


Figure 84 : Organisation de l'expérimentation 1 : Foyer étudiant de l'île de Corse de Nancy. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

6.2 Analyses de l'expérimentation « 1 »

Analyse en tant qu'évaluateur

Bien que l'analyse de l'évaluateur ne puisse avoir un caractère objectif, certaines remarques nous semblent importantes. Nous avons comparé notre analyse à celles menées lors de tests effectués antérieurement dans le développement de notre approche. La méthode a en effet été utilisée à plusieurs reprises et à plusieurs moments de son développement, pour la validation d'un autre travail (Gholipour, 2011). La contextualisation et le système progressif n'étaient alors pas encore en place ou pas encore finalisés.

Une première remarque est que la contextualisation de la méthode pour le *contexte projet* de l'expérimentation était opératoire. En effet, l'ensemble des *critères d'évaluation* actifs pouvait être évalué dans ce contexte. Aucun critère d'évaluation devant être estimé ne s'est trouvé dans l'incapacité de l'être pour des raisons contextuelles. Ce constat n'était pas toujours le cas dans les premiers tests.

Nous pouvons effectuer la même remarque vis-à-vis de *l'état d'avancement* du projet. La mise en place d'un système progressif nous a permis une meilleure prise en compte des *critères d'évaluation*. Lors des premiers tests, certains critères d'évaluation qui ne pouvaient être évalués vu l'état d'avancement du projet étaient cependant comptabilisés dans l'évaluation, et de ce fait pénalisaient le concepteur.

Seuls quelques projets ne disposant pas des données disponibles minimales à l'utilisation de la méthode pouvaient poser des difficultés pour l'estimation de certains *critères d'évaluation*. Cette remarque est une conséquence du faible temps d'expérimentation accordé aux étudiants, certains rendus ne disposaient donc pas forcement des éléments demandés et nécessaire à l'utilisation de la méthode.

Analyse des résultats des estimations environnementales

Les deux profils environnementaux effectués sur chaque projet ont été comparés dans le but de mesurer la progression entre deux niveaux de projet. Le graphique (cf. Figure 85) présente les *barres de progression* de l'ensemble des projets sur les deux esquisses effectuées.

Nous pouvons constater que l'ensemble des projets a progressé positivement (meilleures réponses apportées et plus de cirière prise en compte). Cependant, nous pouvons nous poser la question suivante : cette progression est-elle due à l'utilisation de la méthode Éco-profil ou est-elle une progression classique due à l'avancement du projet ? Nous avons analysé plus en détail les estimations environnementales afin de nous prononcer sur la capacité de l'approche à orienter ou non

les concepteurs, dans le cadre de cette expérimentation. Notre investigation s'est portée sur l'analyse des commentaires effectués, vis-à-vis des modifications apportées aux projets.

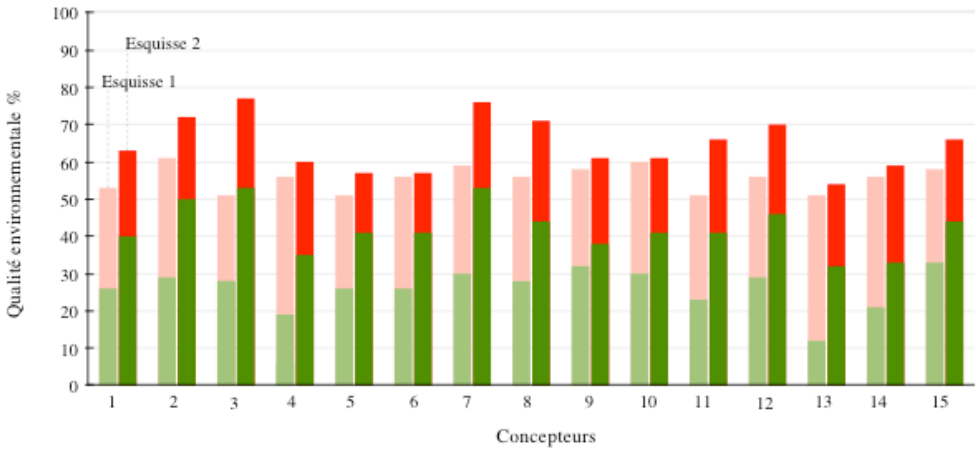
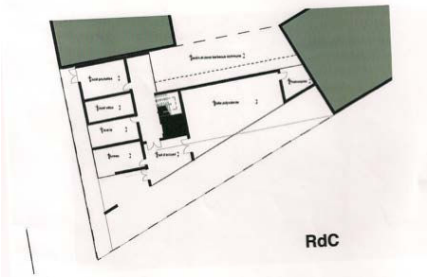
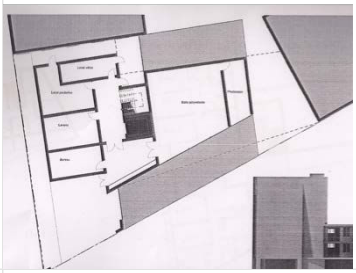
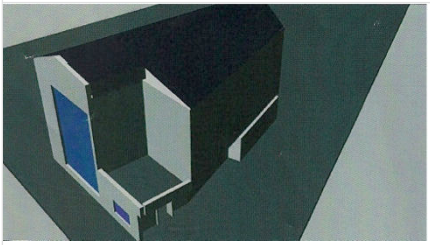
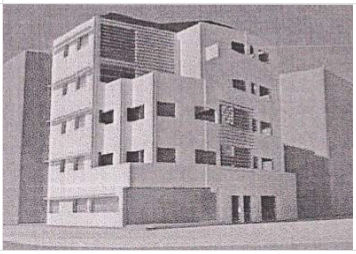


Figure 85 : Comparaison des quinze profils environnementaux des deux séances de travail de l'expérimentation « 1 ». Figure développée dans le cadre de notre recherche.

La majorité des commentaires dans l'estimation a été prise en compte par les concepteurs, qui ont tenté d'y répondre. Quelques exemples sont présentés dans le tableau (cf. Tableau 17). Nous pouvons conclure que la progression positive, du point de vue de la qualité environnementale, est à priori due en partie à l'utilisation de la méthode Éco-Profil.

Tableau 17 : Prise en compte, par les étudiants, des commentaires effectués lors des estimations environnementales de l'expérimentation « 1 ». Tableau développé dans le cadre de notre recherche.

concepteur	Critère d'évaluation	Commentaire esquisse 1	Modifications apportées
6	Gestion des raccordements.	Pas de raccordement entre le cœur de l'ilot et la rue.	Raccordement vers le cœur de l'ilot effectué
			
11	Protection du rayonnement solaire direct.	La volumétrie du bâtiment ne permet pas de générer des protections solaires. Attention à la surchauffe.	Mise en place de brises-soleil
			

Analyse du questionnaire

La mise en place d'un questionnaire nous semblait importante pour recueillir les impressions des étudiants en tant qu'utilisateurs (concepteurs) de l'approche Éco-profil. Pour répondre aux différents questionnements énoncés plus haut, ce questionnaire a été orienté vers trois axes : la pertinence du référentiel, la pertinence des évaluations et la pertinence des visualisations. Il est composé de quinze questions dont les réponses sont proposées sous forme d'un choix multiple. Chaque choix correspondant à un degré d'assentiment avec le contenu des questions (vrai, assez vrai, neutre, peu vrai, pas du tout vrai). Nous tenons à préciser que l'ensemble des questions induit une réponse positive à l'exception de celles relatives au frein à la créativité (Q7 et Q12). Des champs de commentaires sont disponibles afin de permettre aux étudiants d'énoncer un point de vue plus détaillé. Nous disposions de treize retours questionnaire (sur quinze), permettant ainsi d'apprécier le point de vue des concepteurs dans cette expérimentation (cf. Figure 86). Suite à l'analyse de ce questionnaire, nous pouvons émettre les remarques suivantes.

Premièrement, il ressort de cette critique une large approbation de la pertinence du référentiel. La contextualisation et le système progressif paraissent bien adaptés à la situation de projet proposé pour l'expérimentation (vrai/assez vrai : 78 %, neutre : 19%, peu vrai/pas du tout vrai : 3%). Les critères et leurs définitions disponibles dans le référentiel ont contribué à guider les concepteurs dans l'avancement de leur projet (vrai/assez vrai : 82 %, neutre : 18%).

Deuxièmement, les appréciations et les commentaires nous ont permis de mettre en avant les points forts et faibles des estimations. Ces dernières semblent bien acceptées et perçues comme pertinentes lors de la conception environnementale d'un projet (vrai/assez vrai : 100 %). La majorité des étudiants indiquent que les notes et les commentaires, apportés par ces estimations, leur ont permis d'orienter leur conception (vrai/assez vrai : 90 %, neutre : 10%)

> *« La volonté de corriger me pousse à avancer » Commentaire apporté à la Q10 lors de l'expérimentation 1.*

Troisièmement, on notera des réserves exprimées sur le frein à la créativité. Si pour la majorité des étudiants la méthode ne contribue pas à freiner cette créativité, une minorité pense que le cadrage donné par le référentiel peut limiter cette créativité architecturale (vrai/assez vrai : 31 %, neutre : 31%, peu vrai/pas du tout vrai : 39%).

Quatrièmement, un point négatif a été soulevé, certains éléments des projets semblaient avoir été mal estimés, d'après quelques étudiants. Notre méthode intègre la possibilité d'avoir plusieurs évaluateurs, cependant dans cette expérimentation, un seul a été prévu. Ce point de vue conforte notre idée qu'il est souhaitable d'avoir plusieurs évaluateurs. Au-delà des problèmes de subjectivité dans l'évaluation, nous soulignons l'importance de la qualité des rendus dans la compréhension des projets.

En effet, des informations mal renseignées ou pas renseignées (alors que pensées) ne pourront être correctement considérées par les évaluateurs.

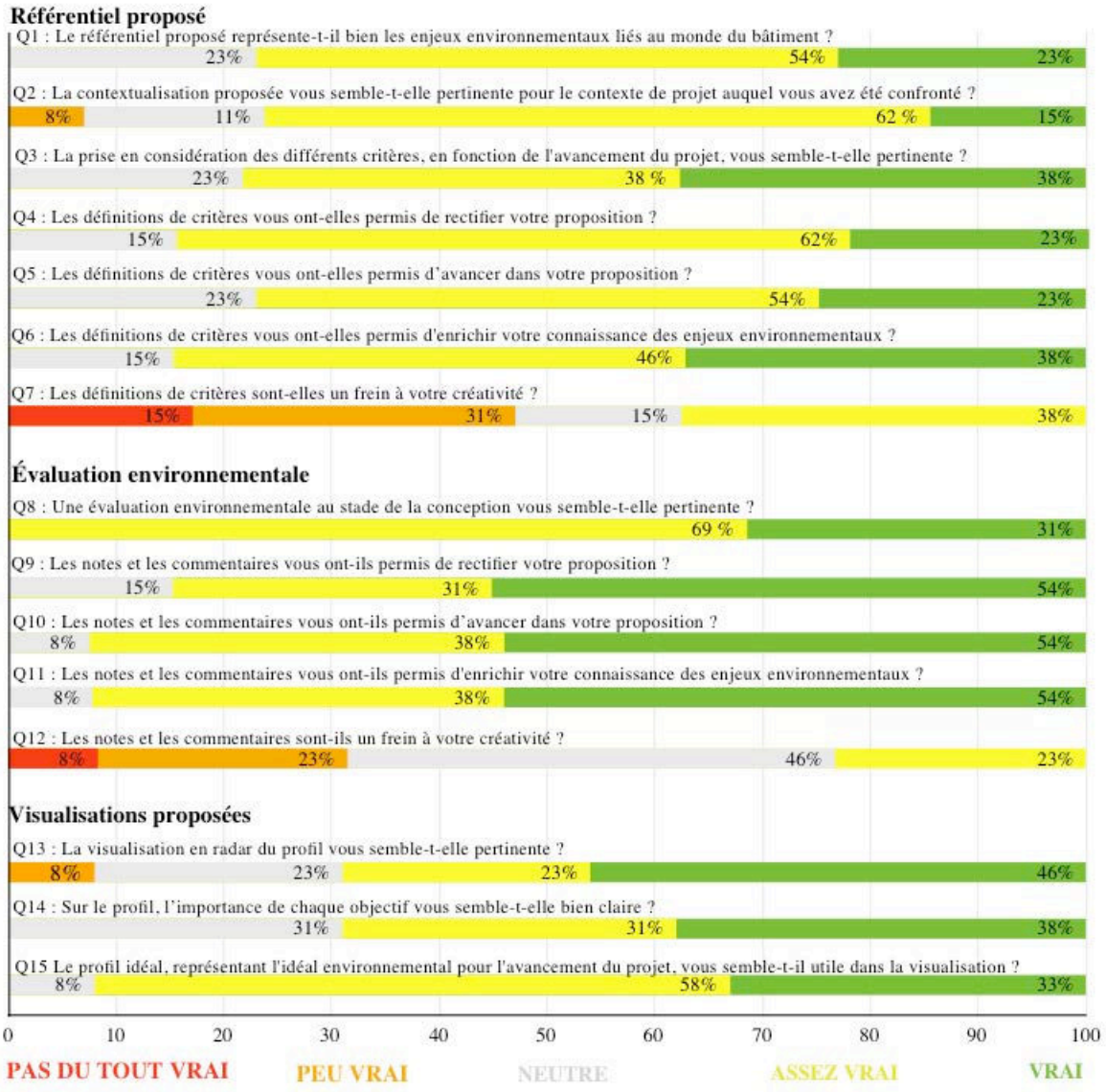


Figure 86 : Retour questionnaire sur le référentiel proposé lors de l'expérimentation « 1 ». Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Pour finir, si le *digramme radar* proposé semble bien représenter la qualité environnementale du projet (vrai/assez vrai : 77%, neutre : 21%, peu vrai/pas du tout vrai : 3%), le rapport d'évaluation a fait l'objet de quelques critiques. Lors de cette expérimentation, la première version du rapport d'évaluation diffusée au concepteur était dans un format texte, rendant la lecture peu efficace et confuse.

6.3 Conclusion de l'expérimentation « 1 »

Cette mise en situation, de la méthode et de l'outil, nous a permis d'obtenir un premier retour sur leurs pertinences. Les dysfonctionnements détectés ont alors été analysés et des propositions ont été émises pour tenter de les résoudre.

Dans un premier temps, nous pouvons conclure que le référentiel proposé et les estimations effectuées semblent bien favoriser la progression des étudiants dans la prise en compte de la qualité environnementale. Cependant, nous constatons une réelle nécessité de multiplier les évaluateurs, dans le but de limiter la subjectivité des estimations.

Dans un second temps, ce retour d'expérience et les critiques formalisées sur le rapport d'évaluation nous ont menés vers le développement d'une deuxième version de ce rapport. Il a été traité dans le chapitre (cf. Chapitre 5.1).

Chapitre 7 : Expérimentation « 2 », prix LQE 2012

7.1 Protocole d'expérimentation

Objectifs de l'expérimentation

Cette expérimentation a été organisée dans le cadre de l'association LQE[61]. Cette association professionnelle organise chaque année et depuis 2006 un prix des meilleurs bâtiments environnementaux afin de valoriser les opérations lorraines. Jusqu'en 2011 les évaluations, effectuées par des « experts », ont utilisé le *référentiel 0*, afin de départager les différentes opérations. Pour le Prix LQE 2012, c'est le référentiel Éco-profil qui a été utilisé. Bien que l'objectif de notre approche soit distinct de l'objectif d'un référentiel de concours, il nous semblait intéressant de confronter notre méthode à une telle situation. En effet, lors de cette expérimentation une quinzaine d'experts professionnels ont utilisé la méthode pour effectuer des estimations sur vingt-trois opérations. À noter que le prix concerne des bâtiments en chantier ou livrés, dont la conception architecturale est terminée, l'expérimentation n'a donc pas éprouvé la mise en place du système d'évaluation progressive. Cette expérimentation a visé à vérifier certaines pertinences de notre référentiel en répondant notamment aux questionnements suivants :

- Le référentiel et la contextualisation semblent-ils bien refléter les enjeux environnementaux pour un contexte donné ?
- La démarche d'estimation mise en place permet-elle de représenter la qualité environnementale effective d'un projet ?
- Les visualisations permettent-elles de bien percevoir et analyser les points forts et faibles de la qualité environnementale estimée du projet ?
- L'application est-elle bien adaptée aux différents besoins des utilisateurs ?

Organisation de l'expérimentation

Le prix LQE s'intéresse aux opérations édifiées en Lorraine et livrables dans l'année en cours. Chaque candidat (Maître d'ouvrage) voulant participer doit remplir un dossier de candidature, ce dossier servant de base aux estimations environnementales. Plusieurs prix sont ensuite attribués en fonction des résultats des estimations (logement collectif, logement individuel, tertiaires, etc.).

[61] Association « Lorraine Qualité environnement » : http://www.lqe.fr.

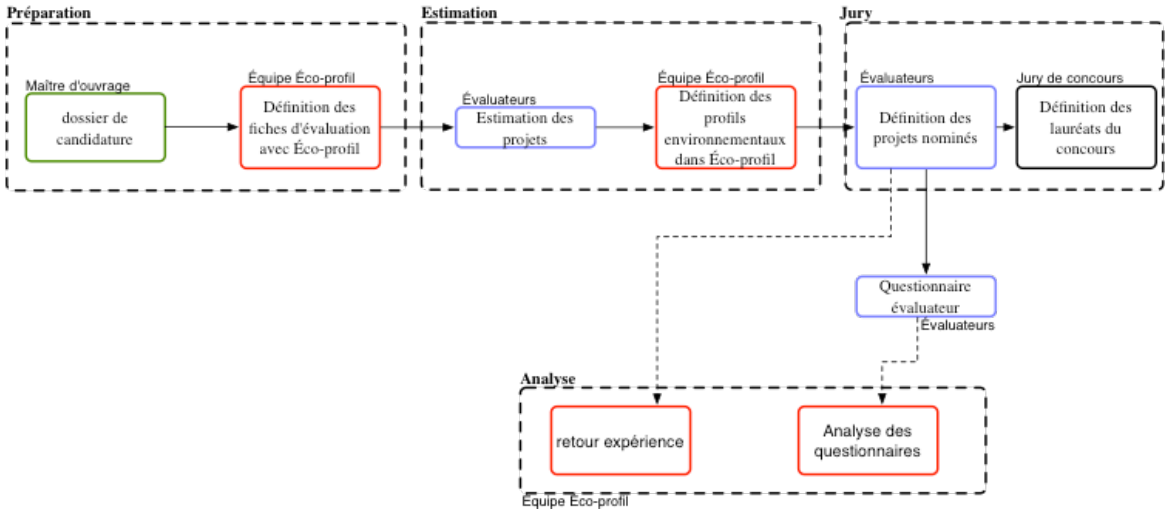


Figure 87 : Organisation de l'expérimentation « 2 ». Figure développée dans le cadre de notre recherche.

La lecture de chaque dossier nous a permis de proposer pour chaque opération candidate son *référentiel projet*. Chaque projet a été estimé par trois experts différents. Les fiches d'évaluation ont été rassemblées dans Éco-profil, pour définir le profil environnemental moyen de chaque projet.

Un comité de présélection composé des différents évaluateurs a déterminé les projets sélectionnés pour les différents titres, en fonction des profils environnementaux, des consommations énergétiques et d'informations annexes. Ensuite, un jury s'est rassemblé afin de définir les lauréats du concours en fonction des remarques générales effectuées par le comité de présélection.

À la suite de cette expérimentation, un questionnaire a été distribué aux évaluateurs afin de recueillir leur avis. L'analyse de l'expérimentation s'est effectuée sur la base du retour d'expérience recueilli lors de la réunion de présélection, ainsi que sur l'analyse des questionnaires.

7.2 Analyses de l'expérimentation « 2 »

Retour d'expérience

Lors de la réunion de présélection, plusieurs points ont été soulevés. Le premier point a mis en avant une lacune détectée dans l'application Éco-profil. L'outil intègre la possibilité d'effectuer plusieurs évaluations pour un *état d'avancement*, mais elles ne peuvent être effectuées en simultané. Or, dans l'expérimentation, l'ensemble des estimations devait s'effectuer dans le même intervalle de temps. Afin de répondre à cette lacune, nous avons opté pour la réalisation d'export et d'import de fiches d'évaluation. Cependant, cette solution ne permet pas aux différents évaluateurs d'utiliser directement l'application développée.

Le deuxième point soulevé est celui de la pertinence du référentiel pour départager globalement des opérations du point de vue de leur qualité environnementale. Il semble que la multiplicité des critères d'évaluation ait tendance à « lisser » les notations des projets, rendant leur comparaison plus difficile. En effet, à la lecture des résultats des estimations nous constatons que la majorité des notations des projets se trouve dans la fourchette « 40 - 60 % » (cf. Figure 88).

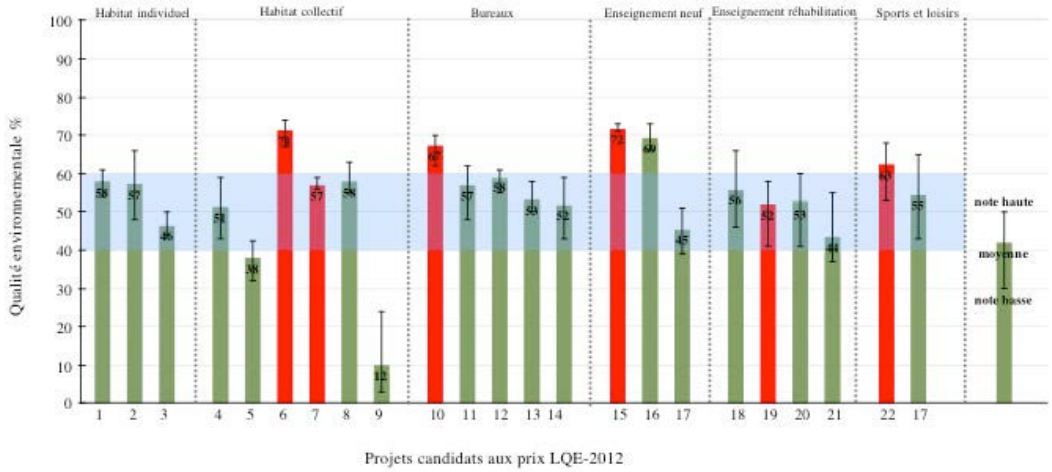


Figure 88 : Résultats des estimations environnementales dans le cadre de l'expérimentation2 - LQE2012. En rouge, les lauréats du prix. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Cependant, certains projets semblent se démarquer. Les projets décrits, lors de la réunion, comme très intéressants, voire « exemplaires », comme ceux décrits comme pas intéressants, ont été rapidement identifiés par la méthode. L'association LQE n'ayant pas défini des critères prioritaires, le problème de comparaison s'est porté essentiellement sur les opérations possédant une note globale identique ou voisine alors qu'elles ne disposaient pas toujours du même profil environnemental (cf. Figure 89).

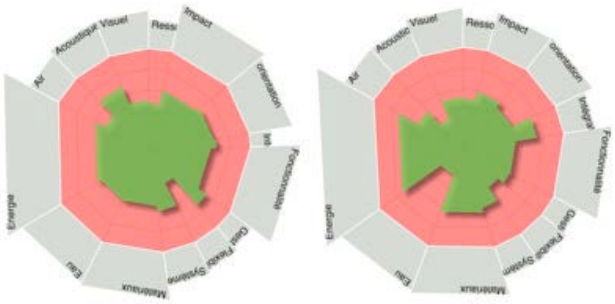


Figure 89 : Exemple de profils environnementaux moyens effectués lors de l'expérimentation « 2 »- LQE2012. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Bien que la méthode tende à « lisser » les notations, l'impression perçue de la qualité environnementale des projets semble en adéquation avec les profils environnementaux effectués grâce à la méthode Éco-profil.

> *« […] il me semble qu'au final on avait une meilleure appréciation des réalisations. D'ailleurs le résultat de cette année est intéressant, car la majorité des dossiers sont notés entre 60 et 40 donc pas d'extrêmes et pourtant quelques réalisations sortent de la moyenne et s'approchent des 70 à 80 points. » Commentaire effectué lors de l'expérimentation « 2 » - LQE2012.*

Le dernier point soulève la question de l'importance des données dont disposent les évaluateurs pour effectuer les estimations. En effet, le processus mis en place par LQE se fonde sur un dossier de candidature, alors que nous avons fondé notre méthode sur la lecture des documents du projet. Ce dossier a servi à définir le *référentiel projet* de chaque opération. Il a également été employé pour effectuer les estimations environnementales. Un défaut de justesse dans le remplissage du dossier pouvait avoir, entre autres, les deux conséquences suivantes.

La première conséquence provient du fait que le contexte décrit dans le dossier ne correspondait pas toujours au contexte tel que nous l'avons défini. D'ailleurs, des incohérences dans le dossier étaient fréquentes. Une deuxième conséquence résulte d'une mauvaise compréhension du projet. Un dossier mal rempli ne permet pas d'apprécier le projet dans sa globalité. La qualité environnementale sera donc évaluée comme étant mauvaise pour certains objectifs.

Analyse du questionnaire « évaluateur »

Le questionnaire proposé aux évaluateurs LQE a été organisé en deux axes. L'un concernait le référentiel proposé et l'autre concernait les visualisations. Il était composé de sept questions avec des réponses à choix multiple comme explicité pour le questionnaire concepteur de l'expérimentation « 1 » (cf. Chapitre 6.1). L'ensemble des questions était orienté vers des réponses à graduations positives.

Bien que nous n'ayons obtenu en retour qu'un nombre limité de questionnaires (sept sur quinze), les réponses apportées nous ont permis de soulever les points suivants (cf. Figure 90).

Nous pouvons souligner que la contextualisation a été perçue comme bien adaptée aux différentes situations, dans la mesure où elle a été bien renseignée au préalable (vrai/assez vrai : 83%, peu vrai/ pas du tout vrai : 17%). Nous avons déjà mis en évidence lors de la réunion de présélection certaines difficultés à identifier le contexte. La contextualisation a été jugée parfois comme peu utile dans la mesure où la notation moyenne pondérée ne semblait pas bouleverser le classement des projets. En effet, la comparaison des projets s'effectuant entre contextes similaires (usages, type de construction)

le fait qu'un *critère d'évaluation* soit « très important » ou « moyennement important » ne semble pas avoir une grande influence. Cependant, la distinction entre les *critères d'évaluation* à considérer et les *critères d'évaluation* à ne pas considérer n'a pas été remise en cause.

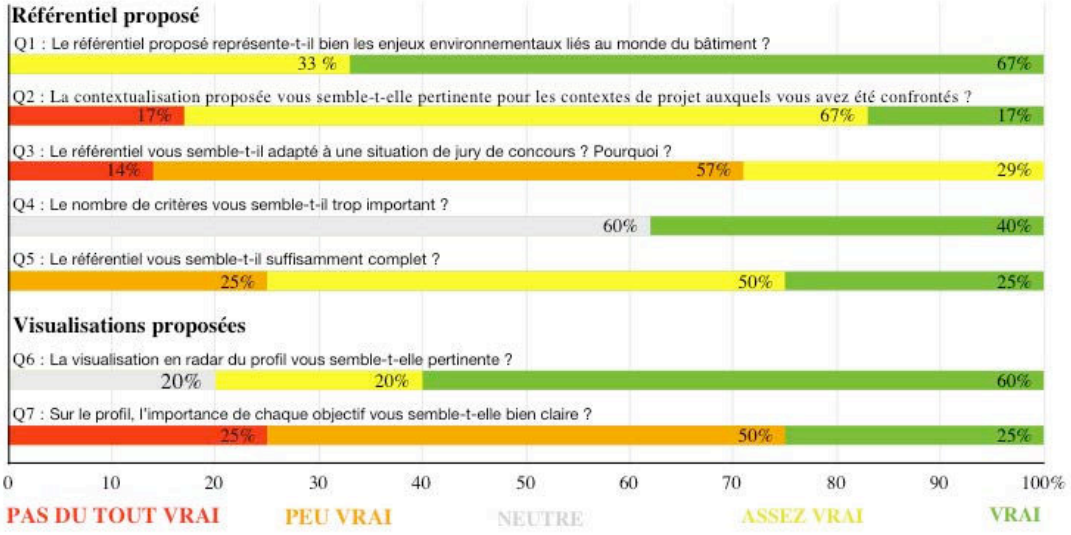


Figure 90 : Retour questionnaire sur les référentiels proposés lors de l'expérimentation « 2 » –LQE. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Il nous semble important de signaler le fait que notre référentiel a semblé peu approprié à une situation de jury de concours (vrai/assez vrai : 29 %, peu vrai/pas du tout vrai : 71%). Le jury tente d'évaluer le plus rapidement possible une qualité, dans le but de démarquer les projets. La précision apportée par la méthode ne semble pas nécessaire dans cette situation d'expérimentation, voire incompatible au regard des données disponibles (dossier de candidature). Outre des critères trop précis, une certaine redondance a été ressentie. Manifestement, la décomposition des *objectifs environnementaux* en *critères d'évaluation* a engendré un certain nombre de répétitions.

Nous pouvons également faire remarquer que la représentation en *digramme radar* du profil environnemental d'un projet apparaît pertinente au regard des évaluateurs. Cependant, la lecture de l'importance des *objectifs environnementaux* parait poser problème (vrai/assez vrai : 25 %, peu vrai/ pas du tout vrai : 75%). Ce panel d'évaluateurs semble préférer une représentation par un code de couleurs plutôt que par variation de secteurs qui se révèle confuse.

> *« Doute entre ce qui définit l'importance de l'objectif: arête extérieure ou rayon ? » Commentaire effectué lors de l'expérimentation 2 - LQE2012.*

7.3 Conclusion de l'expérimentation « 2 »

Bien que notre référentiel ne pas soit à l'usage de concours, cette expérimentation nous a permis de soulever quelques points intéressants pour l'amélioration de notre approche.

Le référentiel et la démarche d'estimation tendent à représenter convenablement la qualité environnementale ressentie des bâtiments. Néanmoins, des remarques sur le référentiel ont été mentionnées et nous ont amenés à plusieurs réflexions et adaptations. La première porte sur la redondance des *critères d'évaluation*. Tout en gardant une certaine précision, nous avons tenté de limiter les effets de répétition, alourdissant la méthode (cf. Chapitre 4.1). La seconde porte sur la définition des contextes d'un projet qui est apparu comme un point critique lors de l'expérimentation. Consécutivement à ces retours, nous avons effectué une redéfinition plus détaillée des contextes afin de limiter les erreurs de catégorisation (cf. Chapitre 4.2).

Notre choix de préserver une visualisation en *diagramme radar* a été estimé pertinent. Celui-ci, apprécié lors de l'expérimentation N°1 ayant fait l'objet de difficultés lors de la présente expérimentation, nous avons cherché à l'améliorer. Une enquête a été conduite, centrée sur la perception des poids différents des *objectifs environnementaux*. Cette enquête est présentée dans le chapitre sur les représentations (cf. Chapitre 5.1).

L'application Éco-profil en raison de la lacune détectée n'a pas pu être testée directement par les évaluateurs. À la suite de ce retour d'expérience, nous nous questionnons sur le fait qu'un outil en réseaux serait surement plus pertinent dans ce cadre d'étude et pourrait constituer une évolution de l'application.

Chapitre 8 : Expérimentation « 3 », la maison des jardins partagés

8.1 Protocole d'expérimentation

Cadre de l'expérimentation

Cette expérimentation a été organisée pour valider notre travail. L'objectif était de vérifier la pertinence du référentiel, des visualisations et de l'application, afin de conclure sur nos différents questionnements avancés (cf. Conclusion de la partie 2).

Dans le cadre d'un projet pédagogique, organisé au sein de l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy, une situation de conception a été mise en œuvre. Le référentiel, les visualisations et l'application ont alors été mis en situation. Pour tenter d'apporter une neutralité dans l'expérimentation, les évaluateurs et le projet de conception sont externes au développement de la méthode. Les évaluateurs sont des architectes pratiquants et familiers des questionnements environnementaux. Cinq ont participé à cette expérimentation (Véronique Galmiche, Nicolas Depoutot, Jacques Simon, Alain Fuchs et Damien Hanser).

Organisation de l'expérimentation

Le projet s'est déroulé sur dix semaines et s'est adressé aux étudiants de deuxième année du cycle licence dans le cadre du module « Théorie et pratiques de l'architecture - projet architecture et édification. Il est intitulé "Maison des jardins partagés". Sept équipes de trois étudiants ont participé à cette expérimentation.

Bien que l'objectif du projet ait été centré sur le développement des techniques constructives, les démarches environnementales y étaient abordées. Elles constituent notamment une première approche de ces enjeux pour les étudiants. Le programme, défini par l'équipe enseignante, était composé d'un espace culturel et d'espaces de bureaux pour des associations (cf. annexe 9).

Deux séances d'estimation ont été organisées, la première lors d'un rendu intermédiaire et la seconde lors du rendu final. À chaque séance, les projets participant à l'expérimentation ont été estimés par deux évaluateurs, sur la base des rendus présentés. Le rapport d'évaluation a ensuite été édité et distribué aux étudiants.

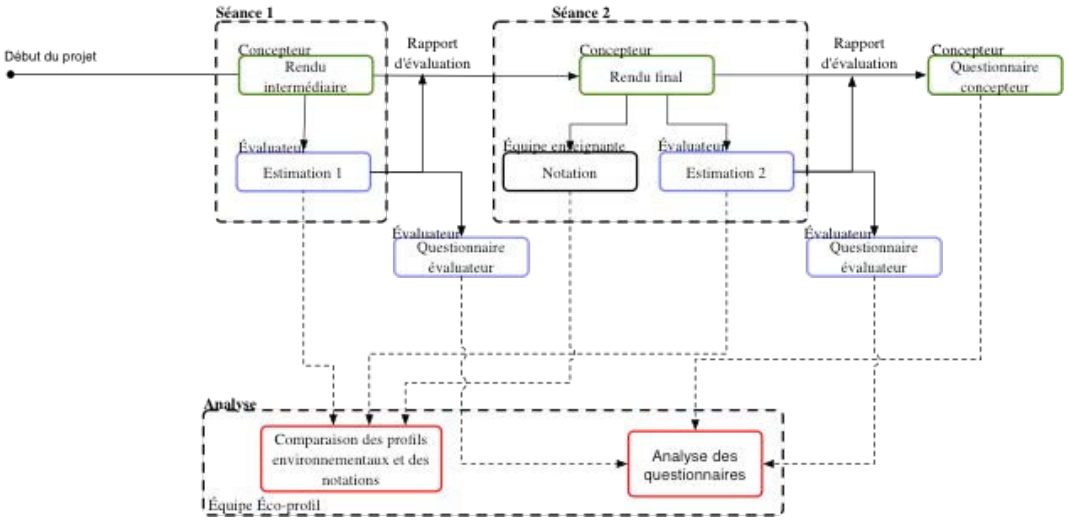


Figure 91 : Organisation de l'expérimentation « 3 ». Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Des questionnaires ont été distribués aux concepteurs et aux évaluateurs afin de recueillir leurs avis. L'analyse de l'expérimentation s'est effectuée sur la base du retour questionnaire, ainsi que sur l'analyse des profils environnementaux et des notations obtenus.

8.2 Analyses de l'expérimentation

Analyse des profils environnementaux

Comme pour l'expérimentation « 1 », les profils environnementaux effectués sur chaque projet sont comparés dans le but de mesurer la progression (cf. Figure 92).

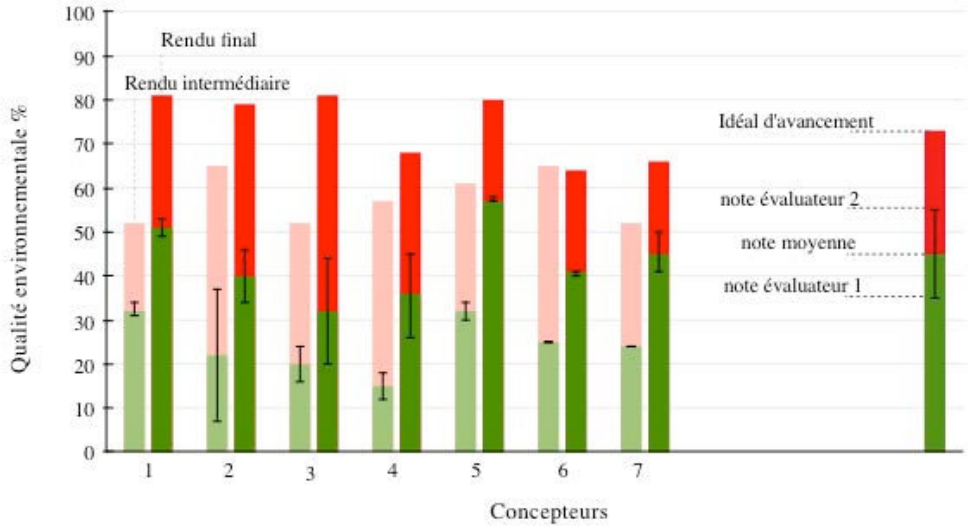
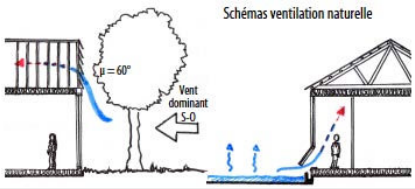
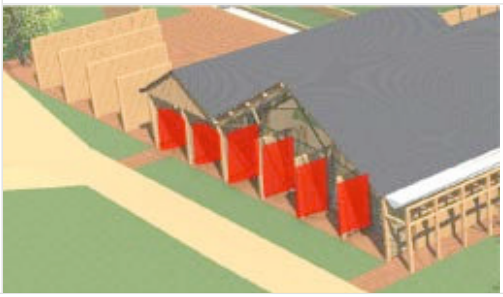


Figure 92 : Comparaison des sept profils environnementaux des deux séances d'évaluation de l'expérimentation « 3 ». Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Le constat semble être le même : l'ensemble des projets a progressé positivement. Une analyse des projets vient également compléter cette conclusion, afin d'attribuer cette progression en partie à l'utilisation de la méthode Éco-profil. De même que pour l'expérimentation « 1 » nous avons pu constater que les remarques énoncées lors de la première évaluation ont été exploitées par les concepteurs dans leur projet (cf. Tableau 18).

Tableau 18 : Exemple de prise en compte, par les étudiants, des commentaires effectués lors des estimations environnementales de l'expérimentation « 3 ». Tableau développé dans le cadre de notre recherche.

Critère d'évaluation	Commentaires du rendu intermédiaire	Modifications apportées
Système de renouvellement d'air.	Circulation de l'air ?	Schéma de ventilation naturelle 
Protection du rayonnement solaire direct.	Attentions à l'éblouissement dans les bureaux orientés ouest - baies vitrées grandes, hall au sud, veiller à la protection solaire d'été	Ajout de protections solaire 

Comparaison des profils environnementaux aux notations des enseignants

Les étudiants n'étant pas notés sur leur parti-pris environnemental, nous ne pouvions utiliser les notations de l'équipe enseignante pour conclure sur la pertinence de la méthode à représenter la qualité environnementale effective du projet. Cependant, les étudiants ayant été notés sur deux éléments (la qualité architecturale et constructive et la qualité du rendu), ces notations comparées avec les estimations des experts ont permis d'établir une relation entre qualité architecturale et qualité environnementale.

La comparaison des différentes notations à conforter la capacité de la méthode à influencer la qualité environnementale des projets. Les résultats organisés de manière décroissante en fonction des profils environnementaux sont exposés dans la figure (cf. Figure 93).

Les projets estimés meilleurs par les experts utilisant la méthode Eco-profil, semblent correspondre aux projets possédant une meilleure approche de la qualité architecturale et constructive selon les professeurs, à l'exception du « projet n° 3 », ce qui n'a pas favorisé l'expertise. On notera

cependant que ce projet possède la moins bonne notation quant à la qualité du rendu. Nous avons donc pu constater une corrélation forte entre qualité environnementale et qualité architecturale.

De cette expérimentation, nous pouvons conclure que la méthode conduit vers une meilleure réponse environnementale sans pour autant que la qualité architecturale en soit réduite. Il apparaît même, dans ces exemples, que plus la qualité environnementale est importante, plus la qualité architecturale l'est aussi.

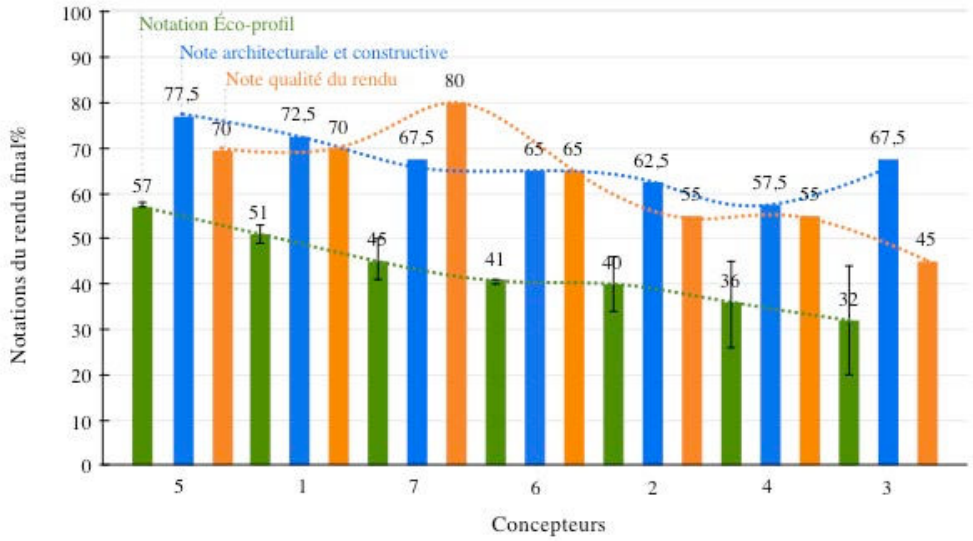


Figure 93 : Comparaison des profils environnementaux aux notations de l'équipe enseignante. Expérimentation « 3 ». Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Retour du questionnaire « évaluateur »

Contrairement au questionnaire de l'expérimentation « 2 » centré sur la pertinence lors d'un concours de jury, ce questionnaire « évaluateur » a été centré sur l'utilisation de la méthode lors d'une situation d'aide à la conception (cf. annexe 11). Nous avons recueilli cinq (sur cinq) retours de questionnaire « évaluateur » (cf. Figure 94), nous permettant d'effectuer les remarques suivantes.

Nous pouvons énoncer que l'intérêt d'une évaluation au stade de la conception ne semble plus à remettre en cause (vrai/assez vrai : 100%). Le référentiel proposé a été bien accueilli par les différents évaluateurs. Cependant, la contextualisation, perçue comme essentielle, est restée encore un point délicat (vrai/assez vrai : 60 %, neutre : 20%, peu vrai/pas du tout vrai : 20%). Lors de la première séance d'estimations, le contexte de milieu identifié était inexact, donnant lieu à quelques incohérences. Ce dernier a été rectifié lors de la deuxième séance, aucun contresens n'a alors été constaté lors de cette évaluation.

Nous pouvons également avancer que suite à la réflexion sur la redondance des critères, la grille d'évaluation a paru plus équilibrée. Le nombre de critères bien qu'important a permis une estimation complète et rapide de la qualité environnementale.

> *« L'évaluation est longue, mais complète, moins de critères = évaluation plus rapide et moins complète. » Commentaire effectué lors de l'expérimentation « 3 ».*

En ce qui concerne la visualisation, le côté synthétique souhaité du diagramme radar a été bien perçu et semble nous conforter dans notre choix (vrai/assez vrai : 80 %, neutre : 20%). Cependant, la lecture de l'importance des objectifs reste encore quelque peu mitigée. Si pour certains cela ne pose aucun problème, pour d'autres il semble que la variation des secteurs perturbe la lecture du radar (vrai/assez vrai : 80 %, peu vrai/pas du tout vrai : 20%).

Nous pouvons avancer également, à propos de l'application Éco-Profil, que sa navigation et le processus d'estimation semblent correspondre aux besoins des évaluateurs. Son utilisation est perçue comme simple après une prise en main rapide.

> *« Utilisation simple- une fois que l'on a bien pris connaissance du fonctionnement. Rapidité d'évaluation-> peut permettre en peu de temps d'aider à prendre une décision » Commentaire effectué lors de « l'expérimentation 3 ».*

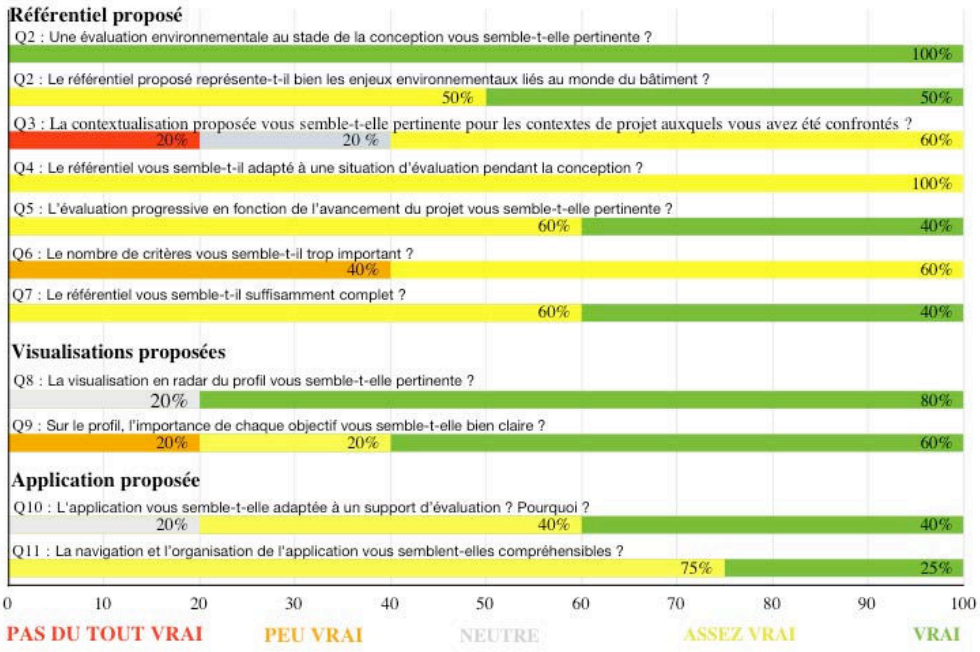


Figure 94 : Retour questionnaire évaluateur lors de l'expérimentation « 3 ». Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Pour finir, quelques petites améliorations ergonomiques nous ont été recommandées par les évaluateurs. Ils ont proposé notamment l'intégration d'« info-bulles » pour les définitions des *critères d'évaluation* dans la vue notation.

Retour du questionnaire « concepteur »

Le questionnaire est semblable à celui de la première expérimentation. Quelques questions supplémentaires ont été ajoutées, pour correspondre aux évolutions apportées à la méthode (cf. annexe 10). Nous tenons à préciser, comme pour l'expérimentation « 1 » que l'ensemble des questions réclame une réponse positive à l'exception de celles relatives au frein à la créativité (Q7 et Q12). Nous avons récolté dix-huit (sur vingt-et-un) questionnaires de retour, permettant d'apprécier le point de vue des concepteurs (cf. Figure 95).

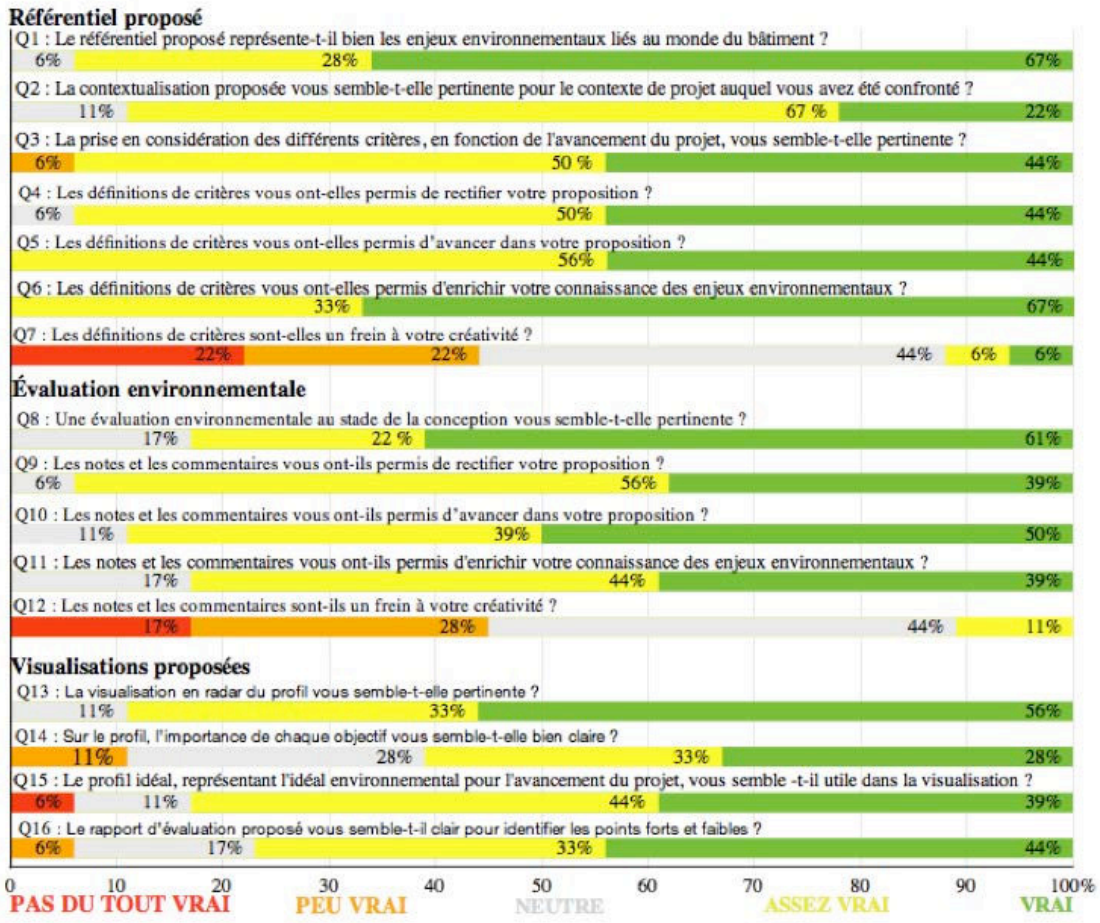


Figure 95 : Retour questionnaire « concepteur » de l'expérimentation « 3 ». Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Il résulte de ces retours que le référentiel et les évaluations semblent avoir joué leurs rôles d'assistances environnementales (vrai/assez vrai : 93 %, neutre : 7%).

Il nous semble important d'indiquer le fait que la nature et la qualité des documents disponibles pour effectuer les estimations ont eu un effet sur le point de vue des évaluateurs. Des différences dans les informations ont donné lieu à quelques écarts dans les estimations. Mais la multiplication des évaluateurs a permis de compenser ses écarts.

Pour finir, nous constatons que les modes de visualisation ont été dans l'ensemble bien appréhendés par les concepteurs. Il semblerait même que les secteurs variables soient mieux accueillis par les étudiants que par les évaluateurs (vrai/assez vrai : 61 %, neutre : 28%, peu vrai/pas du tout vrai : 11%). En ce qui concerne le rapport d'évaluation, la deuxième version, développée à la suite des critiques formulées lors de la précédente expérimentation, paraît résoudre les défauts de lisibilité (vrai/assez vrai : 67 %, neutre : 24%, peu vrai/pas du tout vrai : 9%).

8.3 Conclusion de l'expérimentation « 3 »

Cette expérimentation au caractère validant, nous permet d'émettre certaines conclusions quant à la pertinence générale de notre méthode et plus particulièrement à celle du référentiel, des estimations, des visualisations et de l'application.

Le référentiel présenté, lors de ce test, semble bien équilibré. Tout en représentant les enjeux environnementaux du monde de la construction, il permet une estimation suffisamment précise de la qualité environnementale d'un projet.

Le principe de contextualisation, bien qu'indispensable au ciblage des enjeux environnementaux, apparaît comme la difficulté de la méthode. C'est pourtant une étape indispensable au bon fonctionnement de la méthode. Notons tout de même que, lorsque le contexte est bien appréhendé, le *référentiel projet* est bien adapté aux diverses situations de projet rencontrées. Le système progressif a, quant à lui, fait l'objet d'aucune remarque particulière lors du test. Il semble être en adéquation avec les données de projet utilisées lors des différentes phases de conception.

Les estimations environnementales, bien acceptées par les concepteurs, ont contribué à faire progresser la qualité environnementale des projets. En effet, lors de l'expérimentation, les notations et les remarques effectuées ont largement été prises en considération par les étudiants. À noter également que la recherche de qualité environnementale n'a pas eu d'effets négatifs sur la qualité architecturale.

Les trois modes de visualisations développées paraissent utiles à la lecture et à la compréhension des estimations. Notons tout de même que, pour la plupart des participants (concepteurs et

évaluateurs) à ce test, la lecture du diagramme radar semble familière, mais que la représentation différentielle des sections paraît perturber la lecture pour certains.

L'application Éco-profil développée comme support à l'utilisation de la méthode a été éprouvée par les évaluateurs. Ces derniers ont notamment perçu cette application comme claire et efficace pour effectuer les estimations.

Conclusion de la partie 3

Les trois expérimentations nous permettent de conclure sur la pertinence globale de notre approche. Nous pouvons notamment avancer les remarques suivantes.

- Le référentiel, dans sa hiérarchie et son nombre de critères d'évaluation, possède un bon rapport entre précision et rapidité d'estimation. L'intérêt d'une contextualisation est admis, tant du point de vue des concepteurs que des évaluateurs. Lors de nos expérimentations, un référentiel, où le contexte projet a bien été identifié, propose effectivement des critères ciblés et estimables. Cependant, il semble souvent délicat de classer des opérations dans des situations bien précises. Même si les types de contextes sont bien décrits, l'apparition de cas particuliers ou ambigus reste encore un point problématique.
- Le système progressif guide le concepteur dans son estimation en l'orientant uniquement sur les données disponibles du projet. Ce dispositif semble répondre aux situations de conception architecturale rencontrées.
- En ce qui concerne la capacité de la méthode à représenter la qualité environnementale d'un projet, nous avons noté que malgré la tendance à un lissage des profils environnementaux, ces derniers semblent bien représentatifs de l'impression générale des professionnels.
- La comparaison de l'évolution des profils environnementaux nous a amenés à avancer que la qualité environnementale des différents projets a effectivement progressé. L'étude complémentaire des rendus de projets nous a conduits à associer, en partie, cette amélioration à l'utilisation de la méthode Éco-profil. Nous pouvons compléter nos propos en ajoutant que la qualité architecturale n'a pas régressé avec la méthode. La comparaison des notations émises par les enseignants sur la qualité architecturale et technique du bâtiment avec nos profils environnementaux nous a plutôt conduits à combiner la qualité environnementale avec la qualité architecturale.
- Dans la mesure où nous avons conclu que les différents concepteurs ont intégré, dans leur projet, un ensemble de remarques émises lors des évaluations, l'identification des points forts et faibles du projet ne semble pas poser problème. L'assemblage des trois modes de visualisation permet de proposer une lecture à plusieurs niveaux, et supporte notamment une analyse de la qualité environnementale du projet.
- L'application Éco-profil permet une évaluation rapide et guidée du projet. Les besoins « concepteur ou évaluateur » identifiés (cf. Chapitre 5.2) sont réalisables par Éco-profil.

Néanmoins, les expérimentations ont soulevé le problème de la diffusion de l'application et des fichiers issu de cette dernière. Les diverses actions menées avec l'application ne sont pas toujours effectuées par la même personne et sur la même plate forme. De plus, certaines de ces actions doivent s'accomplir en parallèle, comme les estimations. La gestion des transferts et des assemblages des différents fichiers relatifs à un projet semble encore assez délicate.

Ainsi, nos hypothèses ont pu être validées, et certaines pistes d'amélioration ont été suggérées contribuant à l'ouverture de notre proposition. La méthode Eco-Profil a été très bien accueillie. Les différents concepteurs ayant participé à nos expérimentations ont qualifié l'utilisation de cette approche de réelle assistance à la conception. Ils l'ont également perçu comme un moyen de mieux répondre aux exigences environnementales.

Malgré ces retours positifs, il nous semble important de les positionner dans le cadre et donc les limites de nos expérimentations. Pour des raisons de logistique, nous avons opté pour un protocole se déroulant dans un cadre en majorité pédagogique. Or, nous savons que les connaissances et les habitudes de travail des étudiants et des architectes ne sont pas similaires. De plus, la durée des expérimentations nous a conduits à ne réaliser qu'une seule évaluation intermédiaire, sur des projets en situation de conception largement préliminaire. Bien que ce soit les phases préliminaires qui fassent défaut d'assistance, et qui ont fait l'objet d'une attention particulière de notre part, nous aspirons à proposer une méthode pour l'ensemble de la conception architecturale. Une évaluation de la méthode devrait donc être conduite sur la totalité du processus de conception, de l'esquisse au projet d'exécution, afin d'en vérifier la pertinence.

Conclusions générales et perspectives

L'étude des méthodes et des outils existants pour assister, évaluer et qualifier la conception architecturale du point de vue environnemental, nous a montré que ces derniers concernaient plus le bâtiment « tel que conçu » ou même « tel que construit » plutôt que le bâtiment « en conception ». Notre travail de recherche, portant sur la mise en place d'une méthode d'estimation environnementale pour soutenir la conception architecturale, s'est donc attaché à identifier les caractéristiques essentielles nécessaires à l'intégration d'une telle approche dans l'ensemble du processus d'éco-conception architecturale.

En proposant et en testant une approche et un outil d'estimation environnementale, nous avons tenté d'instrumenter la conception environnementale dans son ensemble en nous intéressant plus particulièrement aux phases préliminaires (esquisse, avant projet) qui sont encore peu instrumentées, en raison de leurs natures imprécises. En suggérant au concepteur des évaluations récurrentes dès les premières étapes de leurs créations, nous postulons que les réponses environnementales sont plus efficientes.

L'analyse des méthodes et des outils existants, leurs natures et leurs limites ainsi qu'un travail d'enquête portant sur la pratique des architectes à partir de quelques-unes de leurs réalisations nous a permis de proposer un référentiel d'estimation de la qualité environnementale qui soit global, qualitatif, progressif et contextualisé. Il est global, car il aborde l'ensemble des aspects aujourd'hui considérés par les professionnels et les chercheurs comme faisant partie de la problématique environnementale. L'évaluation se fonde sur une appréciation qualitative experte qui ne nécessite pas des approches quantifiées difficiles à produire en situation de conception. L'évolution du processus de conception avec le raffinement des données et solutions le caractérisant est prise en compte par l'adaptation des estimations des critères. Enfin, la caractérisation du contexte propre à chaque projet et la définition de coefficients de contexte permettent d'adapter l'estimation aux particularités de chaque opération.

Afin de faciliter l'analyse et la lecture des résultats de l'estimation des projets, nous avons proposé différents modes de visualisation. Le radar différentiel permet de mesurer l'importance des objectifs et donc de relativiser la performance atteinte. Le profil idéal d'avancement établit visuellement le niveau des objectifs pouvant être atteints. Une note moyenne globale situe la qualité globale du projet.

Toutes ces caractéristiques, conférant une dimension originale à notre proposition, doivent faciliter l'intégration d'une telle approche dans le processus de conception.

Afin de concrétiser notre travail, nous avons implémenté notre méthode dans une application, avec laquelle nous avons effectué plusieurs expérimentations. Nos observations et les analyses des divers tests nous ont conduits aux conclusions générales suivantes :

- Notre approche s'est trouvée bien adaptée au processus de conception architecturale en général, et en particulier aux phases préliminaires.
- Nous avons montré que l'utilisation de la méthode a contribué à l'amélioration de la qualité environnementale des projets.
- Nous avons vérifié que la qualité environnementale ne se fait pas au détriment de la qualité architecturale.
- Il a été montré que notre application est explicite et facile à prendre en main.

Nous pouvons donc conclure que les objectifs de notre méthode ont été validés. Cependant, quelques limites soulignées lors des expérimentations ne peuvent être négligées. Nous citerons ici les points fondamentaux retenus :

- Notre application s'est montrée peu adaptée pour des actions parallèles.
- Des conditions contextuelles sont parfois difficiles à définir.

Outre les améliorations opérées lors du développement d'Éco-Profil, certaines évolutions semblent nécessaires et peuvent contribuer à l'amélioration de notre approche. Nous citerons comme perspectives de notre travail les éléments suivants.

Pour commencer, une validation dans un cadre professionnel de conception paraît indispensable afin de s'assurer de l'adéquation de notre approche avec les pratiques architecturales professionnelles.

Ensuite, nous pouvons suggérer l'apport d'une plate-forme de gestion en réseaux, voir même un outil web afin de faciliter les actions simultanées lors de l'utilisation d'Éco-profil.

Nous pouvons ajouter qu'il est nécessaire d'enrichir notre démarche en intégrant des contextes supplémentaires afin de mieux répondre à la diversité des situations de projet.

Enfin, la mise à jour du référentiel, aux évolutions des préoccupations environnementales, contribuera à la pérennité de notre approche.

Tables des illustrations

Figures

Figure 1 : Modèle du développement durable selon Sadler et Jacobs (Jacobs et al., 1988). 30
Figure 2 : Toitures du quartier bas de Sind, au Pakistan. Installation dans chaque pièce des bag-gir ("capteur à vent"). (Rudofsky, 1977, p114). 33
Figure 3 : Cycle Proposition/validation entre concepteurs et maître d'ouvrage. Figure développée dans le cadre de notre recherche. 41
Figure 4 : Schéma de résolution de problème selon Karl Popper (Conan, 2000). 43
Figure 5 : schématisation du processus de conception. Figure développée dans le cadre de notre recherche. 45
Figure 6 : schématisation des approches dynamiques. Figure développée dans le cadre de notre recherche. 52
Figure 7 : Principe de calcul de l'inventaire général. Inspiré de (Trocmé et Peuportier, 2007). 53
Figure 8: Classification des assistances à l'éco-conception. Figure développée dans le cadre de notre recherche. 57
Figure 9 : Aperçu du module de saisie graphique Alcyone. (Images récupérées sur (IZUBA énergies, WEB)) 60
Figure 10 : Aperçu du module de saisie des données de scénarios Pleiades. (Image récupérée sur (IZUBA énergies, WEB)). 61
Figure 11 : Résultats de la simulation du logiciel Pleiades+Comfie. Image récupérée sur (IZUBA énergies , WEB). 61
Figure 12 : Exemple de diagramme mensuel énergétique d'une zone, extrait d'un rapport PDF de la version d'évaluation du logiciel ArchiWIZARD. 63
Figure 13 : Fenêtre de renseignement sur la gestion des déchets d'un projet dans EQUER. (Image issue du logiciel EQUER en mode démonstration). 64
Figure 14 : Fenêtre de présentation des résultats du logiciel EQUER. Image issue du logiciel EQUER en mode démonstration ou du site développeur (IZUBA énergies) 64
Figure 15 : Fenêtres de saisie de données dans ENVEST II. Gauche saisie de forme, droite saisie des matériaux de l'enveloppe extérieure. Images récupérées sur (Thistlethwaite, s. d.) 65
Figure 16 : Présentation des résultats sous ENVEST II. Gauche : comparaison de deux projets, droite : valeur des critères d'impact pour un projet. Images récupérées sur (Thistlethwaite, s. d.) 66
Figure 17 : Les 14 cibles de la démarche HQE®. 67
Figure 18 : Représentation de la Qualité environnementale de la certification NF bâtiment tertiaire –démarche HQE®. Image issue des référentiels Certivéa 2006 et 2012. 68
Figure 19 : Extrait du référentiel de Certivéa "NF bâtiment tertiaire –démarche HQE" 69
Figure 20 : Niveau de performance requise pour le critère « besoin en énergie pour le chauffage spécifique » dans l'Ecopass du Vorarlberg. (Energieinstitut Vorarlberg et Harald Gmeiner, 2012) 70
Figure 21 : Extrait du référentiel 2012 de la démarche Ecopass du Vorarlberg. Image inspirée du référentiel 2012 disponible sur (Energieinstitut Vorarlberg, 2011). Traduction issue de (Energieinstitut Vorarlberg et Harald Gmeiner, 2012) et de notre recherche. 71
Figure 22 : Niveaux de subvention du Vorarlberg. Image issue de (Energieinstitut Vorarlberg, 2009) 71
Figure 23 : tableaux des prérequis de la démarche BDM. Image issue de (BDM, WEB) 72

Figure 24 : Extrait du référentiel d'auto-évaluation en ligne de la démarche DBM. Image issue de (BDM, WEB). 73
Figure 25 : Présentation de la qualité environnementale selon la démarche BDM. Image présentant le cas de l'opération Résidence Wisteria – Puget sur Argens (83) référencé sur le site BDM (BDM, WEB). 73
Figure 26 : Tableau 3 de la méthode des tables de Mahoney relative au climat de Paris. Image inspirée des tableaux proposés par C. Mahoney (United Nations. et al., 1971) 75
Figure 27 : Tableau 4 de la méthode des tables de Mahoney relative au climat de Paris. Image inspirée des tableaux proposés par C. Mahoney (United Nations. et al., 1971) 75
Figure 28 : Tableau des recommandations de la méthode des tables de Mahoney relative au climat de Paris. Image inspirée des tableaux proposés par C. Mahoney (United Nations. et al., 1971) 76
Figure 29 : Critères de conditions de sélection des éco-modèles Illustration issue de (Gholipour, 2011).....77
Figure 30 : Exemple de scénario de trois éco-modèles. Image issue de l'outil éco-mod (Éco.mod : WEB) 78
Figure 31 : Gauche : feuillet concernant l'énergie solaire. Milieu : feuillet sur les enjeux d'un climat chaud et sec. Droite : feuillet de l'impact sur l'aérodynamique de la forme de la toiture. Images issues de (Liébard et De Herde, 2006).....79
Figure 32 : Aperçu de l'outil Ec-Co-Gen-L. Image issue de (EcCoGen, Web).....81
Figure 33 : Aperçu de l'outil Ec-Co-Gen-N. Image issue de (EcCoGen, Web).....81
Figure 34: Schéma de positionnement des assistances dans le processus de conception architecturale. Figure développée dans le cadre de notre recherche.....83
Figure 35 : Exemple du profil environnemental développé par Manon Kern (Kern, 2004). Image issue du Crit-Architecture (Crit, WEB). 91
Figure 36 : Architecture type d'un climat chaud et humide et les besoins. Gauche : collège de Papaïchton en Guyane de l'agence d'architecture JAG (JAG, WEB). Milieu : village lacruste (Blog-écologie, WEB). Droite : habitat tribu achuar en Amazonie (Utexas, WEB). 95
Figure 37 : Architecture type d'un climat chaud et sec et les besoins. Gauche, Centre communautaire pour femme à Rufisque au Sénégal des architectes Saija Hollmén, Jenni Reuster et Helena Sandman (HOLLMEN REUTER SANDMAN architects, WEB). Milieu, habitat au Yémen (Rahhala, WEB)/ Droite : Habitations représentatives de la culture des Indiens Pueblo de l'Arizona et du Nouveau-Mexique (UNESCO World Heritage Centre, WEB) 95
Figure 38 : Redondance pour l'objectif « Orientation ». Figure développée dans le cadre de notre recherche.....96
Figure 39 : Exemples de projets étrangers explorés lors des études de cas. Gauche : nouvel opéra/ballet national de Norvège à Oslo de l'architecte Snohetta (Snohetta, WEB). Milieu : Surya school (Himalaya) en Inde, dirigée par Jan Tillinger (Surya Civic Association, WEB). Droite : loge de montagne en Afrique du Sud des architectes Crafford and Crafford (Crafford & Crafford, WEB).....99
Figure 40 : Cadrage du contexte de milieu du bâtiment. Figure développée dans le cadre de notre recherche. 101
Figure 41 : Classification de Köppen. Figure développée dans le cadre de notre recherche avec les informations de (Kottek et al., 2006).....103
Figure 42 : Schéma « The holdridge life zones ». Figure récupérée sur (LEEMANS et al., WEB). 104
Figure 43 : Schématisation du passage du « Référentiel Base » au « Référentiel Projet ».....112
Figure 44 : Schéma des cheminements d'une tâche de conception entre l'état primaire et final. Figure développée dans le cadre de notre recherche.....117
Figure 45 : Schéma relationnel entre avancement du projet, « données utiles » d'un critère et « données disponibles ». Figure développée dans le cadre de notre recherche. 120

Figure 46 : Échelle de notation en fonction du rapport entre « donnée disponible » et « données utiles ». Figure développée dans le cadre de notre recherche. 121
Figure 47 : Échelle de notation du critère « limitation des déperditions », dans le cas où les « données utiles » sont « volumétrie du bâtiment » et « enveloppe, nature des matériaux ». Figure développée dans le cadre de notre recherche. 121
Figure 48: Schématisation du passage du « Référentiel Base » au « Référentiel évaluation ». Figure développée dans le cadre de notre recherche....122
Figure 49 : Possibilités de notation en fonction de la note maximum et de la pertinence des réponses. Figure développée dans le cadre de notre recherche....124
Figure 50 : Modèle entité/association de l'approche Éco-profil. Figure développée dans le cadre de notre recherche.....125
Figure 51 : Schéma de fonctionnement de la méthode Éco-profil. Figure développée dans le cadre de notre recherche.....126
Figure 52 : Exemple du profil environnemental développé par Manon Kern (Kern, 2004). Image issue du Crit-Architecture (Crit, WEB). 130
Figure 53 : Procédé de présentation du profil environnementale dans la méthode de Manon Kern (Kern, 2004). Figure développée dans le cadre de notre recherche. 131
Figure 54 : Influence de la forme attribuée à un critère par la notation des critères voisins. Figure développée dans le cadre de notre recherche....131
Figure 55 : Exemple de profil ne pouvant être présenté par la méthode non adaptée. Figure développée dans la cadre de notre recherche. 132
Figure 56 : Principe de représentation de la valeur d'un critère dans un profil radar. Figure développée dans le cadre de notre recherche. 132
Figure 57 : Perception visuelle de l'importance des objectifs environnementaux. Figure développée dans le cadre de notre recherche. 133
Figure 58 : Problème de perception proportionnelle sur une surface. Figure développée dans le cadre de notre recherche. .134
Figure 59 : Profils proposés au sondage sur le ressenti de l'importance des objectifs. Figure développée dans le cadre de notre recherche. 134
Figure 60 : Résultat du sondage sur la perception d'importance entre deux objectifs. Graphique développé dans le cadre de notre recherche. 135
Figure 61 : Exemple de profil radar contextualisé. Figure développée dans le cadre de notre recherche. 136
Figure 62 : Présentation du « profil idéal d'avancement ». Figure développée dans le cadre de notre recherche....137
Figure 63 : Présentation du « tableur descriptif de l'estimation ». 138
Figure 64 : Barre de progression générale. Figure développée dans le cadre de notre recherche. 139
Figure 65 : Trois méthodes de visualisations proposées pour la méthode Éco-profil. Gauche : profil radar. Droite haut : tableau descriptif .Gauche bas : barre de progression générale. Figures développées dans le cadre de notre recherche. 140
Figure 66 : Outil de type tableur proposé dans une première démarche. Gauche : saisie des données. Droite : référentiel automatisé. Figure développée dans le cadre de notre recherche....141
Figure 67 : Fenêtre projet de l'application Éco-profil. Figure développée dans le cadre de notre recherche. 142
Figure 68 : Diagramme d'états de l'application Éco-profil. Figure développée dans le cadre de notre recherche. 143
Figure 69 : Présentation des trois « stades » de la vue principale. Figure développée dans le cadre de notre recherche.....144
Figure 70 : digramme d'états de la vue principale. Figure développée dans le cadre de notre recherche....144

Figure 71 : Aperçue des *évaluations* dans la vue principale de l'application Éco-profil. Figure développée dans le cadre de notre recherche. 145
Figure 72 : « Vue notation » de l'application Éco-profil. Figure développée dans le cadre de notre recherche. 145
Figure 73 : « Vue radar » de l'application Éco-profil. Figure développée dans le cadre de notre recherche. 146
Figure 74 : Renseignement des informations projet dans l'application Éco-Profil. Figure développée dans le cadre de notre recherche. 146
Figure 75 : Présentation et sélection des contextes du projet dans l'application Éco-Profil. Figure développée dans le cadre de notre recherche....147
Figure 76 : Présentation de la « palette référentiel » dans l'application Éco-Profil. Figure développée dans le cadre de notre recherche. 148
Figure 77 : Processus de création d'un état d'avancement dans l'application Éco-profil. Figure développée dans le cadre de notre recherche. 148
Figure 78 : Modification d'un état d'avancement dans l'application Éco-Profil. Figure développée dans le cadre de notre recherche. 149
Figure 79 : Processus de création d'un état d'avancement dans l'application Éco-profil. Figure développée dans le cadre de notre recherche. 150
Figure 80 : Édition d'une estimation dans l'application Éco-Profil. Figure développée dans le cadre de notre recherche. ...151
Figure 81 : Exemple de l'application dans le cadre d'un projet possédant deux « états d'avancement » et deux estimations par « état d'avancement ». Issu de nos expérimentations. 151
Figure 82 : Lecture des résultats des évaluations dans l'application Éco-profil. Figure développée dans le cadre de notre recherche. 152
Figure 83 : Processus de fonctionnement de l'outil associé aux différents supports mis en place. Figure développée dans le cadre de notre recherche....153
Figure 84 : Organisation de l'expérimentation 1 : Foyer étudiant de l'île de Corse de Nancy. Figure développée dans le cadre de notre recherche....158
Figure 85 : Comparaison des quinze profils environnementaux des deux séances de travail de l'expérimentation « 1 ». Figure développée dans le cadre de notre recherche....160
Figure 86 : Retour questionnaire sur le référentiel proposé lors de l'expérimentation « 1 ». Figure développée dans le cadre de notre recherche....162
Figure 87 : Organisation de l'expérimentation « 2 ». Figure développée dans le cadre de notre recherche. 166
Figure 88 : Résultats des estimations environnementales dans le cadre de l'expérimentation2 - LQE2012. En rouge, les lauréats du prix. Figure développée dans le cadre de notre recherche. 167
Figure 89 : Exemple de profils environnementaux moyens effectués lors de l'expérimentation « 2 »- LQE2012. Figure développée dans le cadre de notre recherche. 167
Figure 90 : Retour questionnaire sur les référentiels proposés lors de l'expérimentation « 2 » –LQE. Figure développée dans le cadre de notre recherche. 169
Figure 91 : Organisation de l'expérimentation « 3 ». Figure développée dans le cadre de notre recherche. 172
Figure 92 : Comparaison des sept profils environnementaux des deux séances d'évaluation de l'expérimentation « 3 ». Figure développée dans le cadre de notre recherche. 172
Figure 93 : Comparaison des profils environnementaux aux notations de l'équipe enseignante. Expérimentation « 3 ». Figure développée dans le cadre de notre recherche. 174

Figure 94 : Retour questionnaire évaluateur lors de l'expérimentation « 3 ». Figure développée dans le cadre de notre recherche. 175
Figure 95 : Retour questionnaire « concepteur » de l'expérimentation « 3 ». Figure développée dans le cadre de notre recherche. 176

Tableaux

Tableau 1 : Tableau de synthèse des méthodes d'assistances présentées....82
Tableau 2 : Extrait de questionnaires remplis lors de l'étude de cas sur la contextualisation. (Tableau développé dans le cadre de notre recherche). 99
Tableau 3 : Nomenclature des contextes d'usages et de construction (Tableau développé dans le cadre de notre recherche). 100
Tableau 4 : Nomenclature des typologies de milieux. Tableau développé dans le cadre de notre recherche. 102
Tableau 5 : Nomenclature des typologies de climat (tableau développé dans le cadre de notre recherche). 106
Tableau 6 : Nomenclature des contextes locaux 107
Tableau 7 : Exemples d'interprétations des données de l'étude de cas. 108
Tableau 8 : Exemples de traduction des « conditions d'importances » en fonctions logiques et conditionnelles....110
Tableau 9 : Valeur contextuelle d'un objectif. Tableau développé dans le cadre de notre recherche. 111
Tableau 10 : Extrait des études comparatives de l'état d'avancement des projets. Trois projets présentés en phases « esquisse ». Projet 1 : Construction d'une maison médicale à Void Vacon par l'agence Studiolada. Projet 2 : centre périscolaire de Tendon par l'agence HAHA. Projet 3 : construction d'une école maternelle à Luppy, par l'agence Bagard&Luron....114
Tableau 11 : Extrait du travail d'identification des décisions architecturales pour quatre critères. Tableau développé dans le cadre de notre recherche. 115
Tableau 12 : Liste des tâches de conception architecturale. Tableau développé dans le cade de notre recherche....116
Tableau 13 : Représentation des « données utiles » d'un critère. Tableau développé dans le cadre de notre recherche. 118
Tableau 14 : Exemple de critère possédant qu'une seule « donnée utile ». 118
Tableau 15 : Exemple de critère possédant de multiples « données utiles »....118
Tableau 16 : Exemple de critère possédant des données utiles qui sont liées. 119
Tableau 17 : Prise en compte, par les étudiants, des commentaires effectués lors des estimations environnementales de l'expérimentation « 1 ». Tableau développé dans le cadre de notre recherche. 160
Tableau 18 : Exemple de prise en compte, par les étudiants, des commentaires effectués lors des estimations environnementales de l'expérimentation « 3 ». Tableau développé dans le cadre de notre recherche. 173

Bibliographie

ABDELGHANI-IDRISSI M.A. et al. (2004) –*Outils d'analyse environnementale des bâtiments*, durabuild, 2004.

ACHARD G. et al. (2000) – Une méthode d'évaluation de la qualité environnementale adaptée à l'éco-conception des bâtiments. *3ème Congrès Universitaire de Génie Civil*, Lyon.

ADEME (WEB) – ADEME, Consultable à http://www2.ademe.fr.

ADEME (2002) –*Qualité environnementale des bâtiments : Manuel à l'usage de la maîtrise d'ouvrage et des acteurs du bâtiment*. Ademe, 2002.

ADRA, MAAMARI (2007) – Recensement et analyse des outils utilisés dans le cadre d'une démarche HQE et développement d'une méthodologie d'aide à la décision. Etude sur les Outils HQE® – Rapport Final, Soft Energy Consultants.

AFEX (2009) –*Construire pour un développement durable*. Afex, 2009, 159p.

ALEXANDER C., ISHIKAWA S., SILVERSTEIN M. (1977) –*A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction*, Oxford University Press, 1977, 1217p.

ANDRÉ P., DELISLE C.-E., REVÉRET J.-P. (2003) –*L'évaluation des impacts sur l'environnement : Processus, acteurs et pratique pour un développement durable*, 2e édition, Ecole Polytechnique Montréal, 2003.

ARCHIWIZARD (WEB) – ArchiWIZARD, Consultable à http://www.archiwizard.fr/.

ASSOCIATION HQE (WEB) – Association HQE, Consultable à http://assohqe.org/hqe/.

ASSOCIATION HQE (2010) – Reconnaître les performances des bâtiments: La certification HQE, Consultable à http://assohqe.org/hqe/IMG/pdf/fiche_Certification_HQE.pdf.

BAKER M. et al. (2006) – Articulation entre élaboration de solutions et argumentation polyphonique. *Deuxièmes journées d'étude en psychologie ergonomique, EPIQUE2003*, Boulogne Billancourt, France, 2-3 Octobre 2003, Rocquencourt

BAKER N., STEEMERS K. (2000) –*Energy and Environment in Architecture: A Technical Design Guide*, Taylor & Francis, 2003, 240p.

BDM (WEB) – le pôle BDM - Bâtiments Durables Méditerranéens, Consultable à http://polebdm.eu/.

BERNEMAN C. et al. (2009) – L'éco-conception: Quels retours économiques pour l'entreprise, *Cahiers de recherche*.

BERTIN J. (1999) –*Sémiologie graphique: Les diagrammes - Les réseaux - Les cartes*, Editions de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences, 1999, 431p.

BHAGWATI J. (2010) –*Plaidoyer pour la mondialisation*, Odile Jacob, 2012 368p.

BLOG-ÉCOLOGIE (WEB) – village-lacustre-de-ganvie-au-benin1.jpg (Image JPEG, 400x268 pixels), Consultable à http://www.blog-ecologie.fr/fichiers/2009/06/village-lacustre-de-ganvie-au-benin1.jpg.

BORDES-PAGÈS et al. (1995) – Référentiel de densité et formes urbaines.

BOUDON P. (2005) – Faire et faire faire, *J. Clénet & D. Poisson (Éds), Complexité de la formation et formation à la complexité*, p.p. 101–107.

BOUDON P. (2004) –*Conception*, Editions de la Villette, 2004, 96p.

BRAHY N., LOUAFI S. (2004) –*La Convention sur la diversité biologique à la croisée de quatre discours*, IDDRI, 2004.

BRÉCHET T. (2007) – L'énergie: mutations passées et mutations en cours, *Reflets et Perspectives de la vie économique*, 4, p.p. 5–11.

CALDAS L. (2002) –*Evolving thee-dimensional architecture form. An application to low energy design*, Springer, 2002, 660p.

CAVAILLÈS J. (1992) –*Méthodes de management de programme*, Teknea, 1992, 346p.

CERTU (2004) – *La densité´ des formes du développement résidentiel*. CERTU, 2004.

CHAABOUNI S. et al. (2009) – Utilisation d'une collection de références pour assister la conception des ambiances lumineuses. SCAN'09 - Séminaire de Conception Architecturale Numérique, Conception numérique et approches environnementales, mai 2009, Nancy, France

CHERQUI F. (2005) – *Méthodologie d'évaluation d'un projet d'aménagement durable d'un quartier méthode ADEQUA*. Thèse : Génie civil, Université de la Rochelle, 2005.

COLLECTIF (1989) –*Notre avenir à tous*, Le Fleuve - Les Publications du Québec, Le Fleuve - Les Publications du Québec, 1989.

COLLECTIF (1975) –*Universite de saint-etienne, travaux xvi, l'influence du bahaus sur l'architecture contemporaine*, CIEREC, 1975.

CONAN M. (2000) –*Concevoir un projet d'architecture: Convention CSTB/Plan construction nb0s 87 61 434*, L'Harmattan, 2000.

CONTAL M.-H. et al. (2009) –*Habiter écologique : Quelles architectures pour une ville durable ?* Actes Sud, 2009, 412p.

CORBUSIER L. (1958) –*Vers une architecture*, Editions Vincent, Fréal et Co., 1958.

CRAFFORD & CRAFFORD (WEB) – Crafford & Crafford : Architecture without boundaries, Consultable à http://www.ccarchitects.co.za/.

CRIT (WEB) – Centre de Ressources et d'Information Techniques, Consultable à http://www.crit.archi.fr/.

CRUCHANT L. (2000) –*La Qualité*, 5e éd., Presses Universitaires de France - PUF,Que sais-je, 2000.

CUNHA A.D., RUEGG J. (2003) –*Développement durable et aménagement du territoire*, PPUR presses polytechniques, 2003, 362p.

DARKE J. (1979) – The primary generator and the design process, *Design Studies*, 1, 1, p 36-44.

DARSES F., DÉTIENNE F., VISSER W. (2001) – Assister la conception: perspectives pour la psychologie cognitive ergonomique, *ÉPIQUE 2001, Actes des journées d'étude en psychologie ergonomique,* p 11-20.

DEHAN P. (1999) –*Qualité architecturale et innovation: Méthode d'évaluation*, Plan Urbanisme Construction Architecture, 199, 141p.

DÉOUX S. (2009) – La lumière, un puissant stimulus biologique, *Ecologik*, , n°9, p.p. 82-84.

DÉOUX P., DÉOUX S. (2004) –*Le guide de l'habitat sain*, 2e édition revue et augmentée, Medieco, 2004, 538p.

DJAFI F. (2005) – *L'apport du réalisme visuel à la représentation de l'image de synthèse dans un contexte de conception architecturale assistée par ordinateur (CAAO)*. Thèse, Université Laval, 2005.

ECCOGEN (Web) – EcCoGen | Eco Conception Générative, Consultable à http://eccogen.crai.archi.fr.

ÉCO.MOD (WEB) – éco.mod, Consultable à http://www.crai.archi.fr/eco.mod/eco.mod/N1Accueil.html.

ELECTRIC S. (2007) –*Guide des solutions d'automatisme: Schémathèque*, Schneider Electric, 2007, 312p.

ENEA, ISTITUTO NAZIONALE DI ARCHITETTURA (1992) –*Architecture bioclimatique: Bioclimatic architecture*, Leonardo-De Luca Editori, 1992, 88 p.

ENERGIEINSTITUT VORARLBERG (WEB) – Energieinstitut Vorarlberg, Consultable à http://www.energieinstitut.at/.

ENERGIEINSTITUT VORARLBERG (2011) – Neubauförderungsrichtlinie 2012, Consultable à http://www.energieinstitut.at/HP/Upload/Dateien/WBF_RL_2012_Neub.pdf.

ENERGIEINSTITUT VORARLBERG (2009) – Subventions pour l'habitat, Consultable à http://www.energieinstitut.at/HP/Upload/Dateien/OEWB_franzoesisch.pdf.

ENERGIEINSTITUT VORARLBERG, HARALD GMEINER (2012) – Écologisation de la construction au Vorarlberg : EcoPass de bâtiment et autres outils, Consultable à http://www.energieinstitut.at/hp/Upload/Dateien/Franzoessich_fuer_web.pdf.

ENVEST II (WEB) – Envest II, Consultable à http://envest2.bre.co.uk/account.jsp.

FANELLI G., GARGIANI R. (2008) –*Histoire de l'architecture moderne: structure et revêtement*, PPUR presses polytechniques, 2008, 466p.

FAREL A. et al. (2006) –*Bâtir éthique et responsable*, Le Moniteur Editions, 2006.

FERNANDEZ P., LAVIGNE P. (2009) –*Concevoir des bâtiments bioclimatiques : Fondements et méthodes*, Le Moniteur Editions, 2009.

FILLOUX A. (2010) –*Intégrer les énergies renouvelables : Choisir, intégrer et exploiter les systèmes utilisant les énergies renouvelables*, CSTB, 2010, 127p.

FOUCHIER V. (1998) –*Les densités urbaines et le développement durable: le cas de l'Île-de-France et des villes nouvelles*, Secrétariat général du groupe central des villes nouvelles, 1998, 224p.

FOULQUIER (2009) – Repères sur la pensée écologique, le PCF et l'évolution de son rapport à l'écologie.

FUSTIER B., FUSTIER M. (1989) –*La résolution de problèmes: méthodologie de l'action, base de toute formation continue*, ESF-Entreprise Moderne d'Edition, 1989, 165p.

GALVEZ-CLOUTIER R., GUESDON G. (2011) – Evaluation des impacts Environnementaux (EIE).

GAUZIN-MÜLLER D. (2007) – Ecopass du Vorarlberg : grille d'évaluation des performances écologiques d'un bâtiment.

GAUZIN-MÜLLER D. (2005) –*25 Maisons écologiques*, AMC.

GAUZIN-MÜLLER, FAVET, MAES (2001) –*L'architecture écologique*, Le Moniteur, 2001.

GARVIN (1987) – Competing on the eight dimensions of quality. *IEEE Engineering Management Review*, vol. 24 p 15-23.

GEM-DDEN (2008) – Qualité´ environnementale dans la construction et la réhabilitation des bâtiments publics.

GEORGESCU-ROEGEN N. (1979) –*Demain la décroissance:[entropie, écologie, économie]*, Pierre-Marcel Favre, 1979.

GHOLIPOUR (2011) – *Éco-conception collaborative de bâtiments durables*. Thèse: Génie des systèmes industriels, INPL, NANCY.

GIVONI B (1978) –*L'homme, l'architecture et le climat*, Cep, 1978.

GOBIN C. (2010) –*Réussir une construction en éco-conception : L'anticipation du cycle de vie, l'exigence de chacun des acteurs*, Presses de l'Ecole des mines, 2010.

GODARD O. (1994) – Le développement durable: paysage intellectuel, *Natures, sciences, sociétés*, 2, 4, p.p. 309–322.

GOEL V. (1995) –*Sketches of Thought*, MIT Press, 1995, 302p.

GONZALO R., HABERMANN K.J., MINSSART Y. (2008) –*Architecture et efficacité énergétique: principes de conception et de construction*, Springer, 2008, 222p.

GRAND AVIGNON (2009) – Formes urbaines ? Bâti, construction, typologie, mixité, densité, urbanisation.

GUAY L. (2004) –*Les enjeux et les défis du développement durable: connaître, décider, agir*, Presses Université Laval, 2004, 388p.

HALIN G. (2004) – Modèles et outils pour l'assistance à la conception. Application à la conception architecturale. HDR, INPL Nancy

HARTWICK J.M., OLEWILER N.D. (1998) –*The economics of natural resource use*, Addison-Wesley, 1998, 456 p.

HAUT P.D. (2011) –*Habitat sain et sans allergène*, Editions Eyrolles, 2011, 268p.

HEGGER M. et al. (2011) –*Construction et énergie: Architecture et développement durable*, PPUR Presses polytechniques, 2011, 282p.

HOLDRIDGE L.R. (1967) –*life zone ecology*, REVISED EDITION, 1967.

HOLLMEN REUTER SANDMAN ARCHITECTS (WEB) – HOLLMEN REUTER SANDMAN architects, Consultable à http://www.hollmenreutersandman.com/index2.php.

HUBÉRAC J.-P. (2001) –*Guide des méthodes de la qualité: choisir et mettre en œuvre une démarche qualité qui vous convienne dans l'industrie ou les services*, Editions Maxima, 2001, 310p.

IZUBA ÉNERGIES (WEB) – IZUBA énergies - accueil, Consultable à http://www.izuba.fr/.

JACOBS P. et al. (1988) –*Développement durable et évaluation environnementale: perspectives de planification d'un avenir commun*, Conseil canadien de la recherche sur l'évaluation environnementale, 1988, 204p.

JACQUARD A., ANDRÉ P., REEVES H. (1991) –*L'avenir d'un monde fini: jalons pour une éthique du développement durable*, Les Editions Fides, 1991, 212p.

JAG (WEB) – JAG, Consultable à http://jagarchi.com/index.php.

JEANTET A. (1998) – Les objets intermédiaires dans la conception. Eléments pour une sociologie des processus de conception, *Sociologie du travail*, 40, 3, p.p. 291–316.

JOLLIET O. et al. (2010) –*Analyse du cycle de vie: Comprendre et réaliser un écobilan*, PPUR Presses polytechniques, 2012, 312p.

JONES J.C. (1992) –*Design Methods*, John Wiley and Sons, 1992, 476p.

JOSEPH D. et al. (2011) – Calcul des flux solaires pour le Bâtiment par méthode de Ray-Tracing. *Congrès français de Thermique*, SFT 2011, Perpignan

JOURDA F.-H. (2011) –*Les 101 mots du Développement durable à l'usage de tous*, Archibooks, 2011.

JOURNES C. (1979) – Les idées politiques du mouvement écologique, *Revue française de science politique*, 29, 2, p.p. 230–254.

KACHER S. (2008) –Proposition d'un méthode de référencement d'images pour assister la conception

architecturale *:Application à la recherche d'ouvrages*.

KERN M. (2004) –*Analyse du cycle conception environnementale*, mémoire de formation continue, Classe 4, 2004.

KOTTEK M. et al. (2006) – World Map of the Koppen-Geiger climate classification updated, *Meteorologische Zeitschrift*, 15, 3, p.p. 259–264.

LAAROUSSI A. (2007) – Assister la conduite de la conception en architecture : verse un système d'infirmation orienté pilotage des processus. Thèse: Sciences de l'architecture, INPL, Nancy.

LACHANCE J. (s. d.) – Architecture et régionalisme écologique. Climatologie de l'art : Dialogue entre les arts visuels, l'architecture et le climat. Université de Montréal.

LAMOUR M. (2011) – Optimisation de l'énergie solaire par approches bio-mimétiques et simulations dynamiques.

LARRÈRE C. (2006) – Développement durable: Quelques points litigieux. *CRÉUM - Revue Les ateliers de l'éthique*.

LAWSON B. (1980) –*How designers think*, Architectural press London, 1980.

LEBAHAR J.-C. (2007) –*La conception en design industriel et en architecture: désir, pertinence, coopération et cognition*, Hermès science, 2007, 302p.

LECOURTOIS C. (2010) – Complexité architecturale et assistance informatique, *in* Ecole de Design industriel, Faculté de l'aménagement, Université de Montréal.

LECOURTOIS C., GUÉNA F. (2009) – Eco-conception et esquisse assistée, *Conception architecturale numérique et approches environnementales, Presses Universitaires de Nancy*, p.p. 63–75.

LECOURTOIS C., GUÉNA F. (2007) – Figuration numérique et conception architecturale: modèles et échelles. *SCAN'07, Séminaire de Conception Architecturale Numérique.* Liège.

LEEMANS, CRAMER, VAN MINNEN (WEB) – SCOPE 56 - Global Change: Effects on Coniferous Forests and Grasslands, Consultable à http://www.scopenvironment.org/downloadpubs/scope56/Chapter16.html.

LEFÈVRE P. (2002) –*Architectures durables : 50 réalisations environnementales en France et en Europe : Allemagne, Italie, Angleterre, Hollande*, Edisud, 2002, 192p.

LEOPOLD L.B. et al. (1971) – A Procedure for Evaluating Environmental Impact. *U.S. Geological Survey*, Washington, D.C.

LE POCHAT S. (2005) – Intégration de l'éco-conception dans les PME: proposition d'une méthode d'appropriation de savoir-faire pour la conception environnementale des produits. Thèse: Génie Industriel, École Nationale Supérieures d'Arts et Métiers, Paris, 2005.

LIÉBARD A., DE HERDE A. (2006) –*Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable*, Le Moniteur Editions, 2006.

LONGET R. (2005) – La planète sauvetage en cours, *Le Développement Durable: Des Accords Mondiaux à l'Action Locale, Collection Le Savoir Suisse*, 25.

LÜTZKENDORF, TANZ, MOFFATT (2004) – Diretory of tools: A Survey of LCA Tools, Assessment Frameworks, Rating Systems,Technical Guidelines, Catalogues, Checklists and Certificates.

MADEC P. (2002) – Architecture et qualité environnementale, *in Annales de la recherche urbaine*, p.140–142.

MAGLIOZZI M. (2011) –*Art brut, architectures marginales*, Editions L'Harmattan, 2011, 372p.

MARIN P., LEQUAY H., BIGNON J. (2009) – Outil évolutionnaire d'aide à la conception architecturale

créative, *in CAAD futures 09*, Montréal, Canada.

MARIN P., LEQUAY H., BIGNON J.C. (2007) – Outil d'évaluation des qualités solaires passives du bâtiment. Exploration des mécanismes de conception évolutionnaire. Séminaire doctoral.

MAYNE T., JOURDA F.-H., ROCHE T. (2010) –*Architecture et développement durable : Un gigantesque défi*, Archibooks, 2012, 95p.

MCALOONE T., BEY N., MILJØSTYRELSEN D. (2009) –*Environmental Improvement Through Product Development: A Guide*, Environmental Protection Agency, 2009.

MEADOWS D. (1972) –*Halte à la croissance ?*, Fayard, 1972.

MESSIER C., GIRALDEAU L.-A., BEISNER B. (2007) –*L'écologie en ville : 25 leçons d'écologie de terrain*, Fides (Editions), 2007, 196p.

MONTOUSSÉ M. (2007) –*Analyse économique et historique des sociétés contemporaines*, Editions Bréal, 2007, 644p.

MORIN E. (2005) –*Introduction à la pensée complexe*, Seuil, 2005, 158p.

NORBERG-SCHULZ C. (1988) –*Système logique de l'Architecture*, Editions Mardaga, 1988, 283p.

OIKOS (2002) –*Les cles de la maison ecologique*, Terre vivante, 2002.

OLIVA, COURGEY (2006) –*La conception bioclimatique : Des maisons économes et confortables en neuf et en réhabilitation*, Terre Vivante Editions, 2006.

OVERY P. (2008) –*Light, air and openness: modern architecture between the wars*, Thames and Hudson Ltd, 2008.

PARTHENIOS (2008) – ANALOG VS. DIGITAL : WHY BOTHER? The role of Critical Points of Change (CPC) as a vital mechanism for enhancing design ability, *in First International Conference on Critical Digital: Harvard University Graduate School of Design, Cambridge (USA).*

PEÑA W., PARSHALL S. (2001) –*Problem Seeking: An Architectural Programming Primer*, John Wiley & Sons, 2001, 228p.

PEUPORTIER B. (2005) – COMFIE, Logiciel pour la conception bioclimatique.

PEUPORTIER B. (2008) –*Eco-conception des bâtiments et des quartiers*, Les Presses-Mines Paris.

PEUPORTIER B., THIERS S., OTHERS (2006) – Des éco-techniques à l'éco-conception des bâtiments.

PROST R. (2000) –*Conception architecturale: Une investigation méthodologique*, L'Harmattan, 2000.

RAHHALA (WEB) – Yemen, Consultable à http://www.rahhala.net/images/carnets/37_2.jpg.

RAJNI BAKSHI (WEB) – Contexte historique des alternatives économiques, Consultable à http://base.d-p-h.info/en/fiches/dph/fiche-dph-7650.html.

RANDALL THOMAS (2006) –*Environmental Design: An Introduction for Architects And Engineers*, Taylor & Francis, 2006, 292p.

RAYNAUD D. (1999) – Le schème: opérateur de la conception architecturale, *Intellectica*, 29, 2, p.p. 35–69.

RAYNAUD D. (2002) –*Cinq essais sur l'architecture. Etudes sur la conception de projets de l'Atelier Zô, Scarpa, Le Corbusier, Pei*, Editions L'Harmattan, 2002, 240p.

RICCIOTTI R. (2009) –*HQE: Les renards du temple*, Editions Al Dante, 2009, 78p.

ROUGET, FUSSEKOVA-BRUNI, RAUCH (2007) – Nouvelles densitées et formes urbaines: les fromes de la ville.

RUDOFSKY B. (1977) –*Architecture sans architectes: brève introduction à l'architecture spontanée*, Chêne,

1977, 122p.

SABATIER V. (2010) – Formes d'habitat et densitées urbaines. Caenlamer, communauté d'agglomération.

SALOMON T., BEDEL S. (2001) –*La maison des négawatts*. Terre vivante, 2001.

SALOMON T., MIKOLASEK R., PEUPORTIER B. (2005) – Outil de simulation thermique du bâtiment, Comfie, *Journée thématique SFT-IBPSA, La Rochelle*.

SAWADOGO (2004) – Le management de la qualité: une nécessité pour les entreprises burkinabe, Consultable à http://www.memoireonline.com/03/09/2020/m_Le-management-de-la-qualite-une-necessite-pour-les-entreprises-burkinabe1.html.

SCALETSKY C.C. (2003) – Rôle des références dans la conception initiale en architecture: Contribution au développement d'un Système Ouvert de Références au Projet d'Architecture–le système «kaléidoscope»–. Thèse: Sciences de L'architecture INPL Nancy, 2003.

SCARAVETTI D. (2004) – Formulation préalable d'un problème de conception, pour l'aide à la décision en conception préliminaire. Thèse: Mécanique, École Nationale Supérieures d'Arts et Métiers, Bordeaux, 2004.

SIMON H.A. (2004) –*Les sciences de l'artificiel*, Éd. rev. et complétée, Editions Gallimard, 2004, 464p.

SIRET D. (1997) – *Propositions pour une approche déclarative des ambiances dans le projet architectural : application à l'ensoleillement* Consultable à http://halshs.archives-ouvertes.fr/tel-00573773/.

SNOHETTA (WEB) – Snohetta, Consultable à http://www.snoarc.no/.

SURYA CIVIC ASSOCIATION (WEB) – suryaschool.org, Consultable à http://www.suryaschool.org/.

THIERS S. (2008) – Bilans énergétiques et environnementaux de bâtiments à énergie positive, *Renewable energy*, 32, 5, p.p. 845–855.

THISTLETHWAITE P. (s. d.) – Envest 2, Consultable à www.bfafh.de/inst4/45/ppt/2envest.pdf.

TITTELEIN P. (2008) – Environnements de simulation adaptés à l'étude du comportement énergétique des bâtiments basse consommation. Thèse : Génie Civil et Sciences de l'Habitat, Université de Savoie, 2008.

TRIC O. (2000) –*Conception et projet en architecture: Articulation des composantes enveloppe, structure, usage et coût dans la conception et au sein du système d'acteurs*, L'Harmattan, 200, 320p.

TROCMÉ M., PEUPORTIER B. (2007) – Analyse de cycle de vie d'un bâtiment, *J3eA*, 7, p.p. 0001.

TURKLE S. (2007) –*Evocative Objects: Things We Think With*, MIT Press, 2007, 3978p.

ULLMAN D.G. (2009) –*The Mechanical Design Process*, McGraw-Hill Higher Education, 2009, 456p.

UNESCO WORLD HERITAGE CENTRE (WEB) – Taos Pueblo, Consultable à http://whc.unesco.org/fr/list/492.

UNITED NATIONS. et al. (1971) –*Climate and house design*, United Nations, 1971.

UTEXAS (WEB) – habitat tribu Achuar, Consultable à http://www.utexas.edu/features/2005/biodiversity/graphics/biodiversity3.jpg.

VAILLANCOURT J. (1998) – Évolution conceptuelle et historique du développement durable. Rapport de recherche, L'Atelier d'aménagement, d'urbanisme et d'environnement.

VIJAYAN A., KUMAR A. (2005) – A review of tools to assess the sustainability in building construction, *Environmental Progress*, 24, 2, p.p. 125–132.

VU B. (2006) –*Construire ou rénover en respectant la Haute Qualité Environnementale*, Editions Eyrolles, 2006, 157p.

VUERICH A. (2008) –*Comment faire rimer habitable et durable ? : 87 questions à Didier Roux*, Spécifique Editions, 2008.

WINES (2002) –*L'Architecture verte*, Taschen, 2002.

ZEISEL J. (1984) –*Inquiry by Design: Tools for Environment-Behavior Research*, CUP Archive, 1984, 276p.

ZUINDEAU B. (2000) –*Développement durable et territoire*, Presses Univ. Septentrion, 200, 300p.

Annexe 1 : Référentiel Éco-profil

Critères	définitions
Intégration et préservation du site	
Utilisation des ressources en matériaux disponibles sur le site.	Utiliser au maximum les ressources en matériaux disponibles sur le site permet de limiter les besoins en matériaux neufs du bâtiment et ainsi limiter la fabrication inutile de matériaux qui engendre des pollutions et des consommations d'énergie
Création ou préservation du biotope.	Il est préférable de conserver la végétation existante de qualité qui participe au biotope, ou dans les sites dégradés d'apporter une faune et une flore adaptée au climat et aux caractéristiques du site. Le choix de l'emplacement et de l'étalement du bâtiment (en fonction de la végétation), la qualité et le choix de l'aménagement extérieur (choix des végétaux) permettront donc d'améliorer ou de conserver le biotope du site.
Pertinence du bâti par rapport au contexte.	Une appropriation du site plus ou moins réussi tient compte de l'environnement immédiat, des traditions locales et de leur interprétation.
Protection par rapport aux risques naturels	Anticiper les risques naturels permet de prévenir les risques de dégradation du bâtiment et ainsi limiter d'éventuelles interventions et maintenances couteuses en énergie et matériaux. La protection des usagers est également primordiale dans l'anticipation des risques.
Gestion des raccordements.	Gérer les raccordements des circulations (cheminement, piste cyclable...) entre le site et ses alentours permet de faciliter les circulations et donc la vie des usagers du quartier et ainsi encourager les circulations douces.
Impact dans le site	
Limitation de l'ombre portée sur le voisinage.	L'étude d'ensoleillement et des ombres portées sur l'environnement permet d'éviter de nuire à ensoleillement du voisinage et donc au bon fonctionnement des bâtiments voisins.
Préservation du droit à la vue du voisinage.	Un nouveau bâtiment doit respecter les constructions déjà présentes et ne pas perturber les points de vue de ces derniers.
Limitation et gestion des déblais et remblais.	Les déblais et remblais engendrent des nuisances et des transports inutiles, il est préférable donc de les limiter et d'organiser l'aménagement pour les réutiliser sur place.
Limitation de l'effet d'îlot de chaleur urbain.	L'îlot de chaleur urbain est le résultat de l'augmentation des températures due à l'aménagement extérieur. Un effet rencontré plus particulièrement en milieu urbain qui augmente la sensation d'inconfort pendant la période chaude. Il est préférable d'aménager l'extérieur du bâtiment afin de limiter ces effets.
Limitation de l'étalement sur le terrain.	L'étalement urbain est consommateur de sol et génère des déplacements.
Distribution, accessibilité et fonctionnalité	
Accessibilité de l'édifice.	Les utilisateurs et les usagers du bâtiment ne sont pas égaux dans leur déplacement. Concevoir un bâtiment « sans barrières » permet aux personnes souffrant de handicap d'accéder sans difficulté aux différentes zones du bâtiment depuis l'espace public.
Optimisation ou mutualisation des circulations.	Les aménagements intérieurs et les choix spatiaux peuvent conduire à des espaces et circulations superflus. Un plan plus optimisé permet une meilleure utilisabilité pour les usagers et limite ainsi le volume de matériaux à utiliser. Mutualiser les espaces peu utilisés et les circulations peut parfois être un bon compromis entre rendement de plan et utilisabilité.
Prolongement extérieur et protection.	Les espaces extérieurs sont des lieux de vie au même titre que les espaces intérieurs, une attention particulière doit également être portée à la qualité de ces espaces, protection aux vents, aux intempéries, aux vues et aux nuisances sonores. Leur présence et leurs qualités ont un effet positif sur la qualité de vie des habitants
Préservation de l'intimité.	Les lieux de vie ont besoin d'intimité pour leur bon fonctionnement. Il est donc préférable d'assurer un minimum d'intimité en aménageant l'intérieur en fonction de la position dans le site et en mettant des dispositifs de protection.

Commodité et fonctionnalité.	Les pièces annexes (placards, garages à vélos, locaux poussettes...) ne sont pas des locaux à négliger, ils participent aux bons fonctionnements du bâtiment. Il est préférable de les prévoir dans l'aménagement interne des espaces et de les dimensionner correctement.
Aménagement particulier du rez-de-chaussée.	Des nuisances particulières existent au rez-de-chaussée, la proximité des routes engendre des problèmes de vue (vis-à-vis, intimité) et de nuisances acoustiques. Il est préférable de limiter ces nuisances lors de l'implantation dans le site et de l'aménagement intérieur général.
Gestion du bâtiment	
Disposition des locaux de gestion.	Gérer les locaux de gestion permet de faciliter le fonctionnement du bâtiment (intervention et accès aux locaux techniques, accès aux locaux poubelles...). Il est préférable d'en faciliter les accès, en positionnant et aménageant le bâtiment.
Accessibilité à l'entretien et à la maintenance de l'ouvrage.	Anticiper les opérations de maintenance permet de pouvoir les limiter et faciliter les entretiens futurs. Il est préférable dans la volumétrie, l'aménagement et la mise en œuvre des équipements de faciliter l'accès aux surfaces et équipements techniques.
Gestion des zones de confort.	Identifier les différentes ambiances de confort nécessaire permet d'anticiper sur les besoins et ainsi réduire les couts énergétiques. La gestion des ambiances passe par la mise en place de systèmes de réglage et de contrôle des ambiances.
Flexibilité et adaptabilité	
Flexibilité des usages.	La flexibilité des usages permet d'assurer une conversion et une évolution du bâtiment. Anticiper sur ces changements permet une reconversion moins lourde, utilisant moins d'énergie et moins de matériaux.
Flexibilité des équipements et des réseaux.	La durée de vie des équipements est souvent plus courte que celle du bâtiment (obsolescence, évolution rapide des technologies et des communications), il est donc essentiel de prévoir des équipements flexibles, faciles d'accès et facilement permutables, il faut donc prêter une attention particulière à la mise en œuvre des équipements.
Possibilité d'extension.	La flexibilité et l'adaptabilité d'un bâtiment passent également par sa possibilité d'extension (verticale ou horizontale). Le positionnement du bâtiment, son volume et son aménagement, détermineront les possibilités d'extension.
Système constructif	
Démontabilité des systèmes.	Lors de la conception du bâtiment, il faut penser à la fin de vie des éléments qui le composent afin de faciliter son démontage et de pouvoir récupérer les matériaux, les réutiliser ou les valoriser au mieux et ainsi minimiser le coût et l'impact de la démolition. Il est préférable de prévoir des éléments démontables (structure porteuse et enveloppe). La nature même des matériaux détermine la possibilité de démontage, mais également sa mise en œuvre.
Utilisation de matière optimisée	L'optimisation du dimensionnement permet de limiter l'utilisation de quantité de matière nécessaire pour construire un édifice et ainsi réduire la consommation inutile de matériaux, limiter l'épuisement des ressources et la consommation d'énergie. Il est préférable d'optimiser les dimensionnements, les portées, et de favoriser les répétitions et la préfabrication.
Réduction des nuisances de chantier.	Minimiser les nuisances de chantier permet de limiter l'impact du bâtiment lors de sa construction, limiter les nuisances sonores, l'encombrement, le temps de chantier (et donc le temps des perturbations de la vie du quartier) et les nuisances pour les ouvriers. Il est donc préférable de choisir et mettre en œuvre des matériaux et des systèmes limitant l'impact durant le chantier.
Limitation des déchets de chantier.	La limitation des déchets de chantier peut être déterminée lors de conception du chantier. Il est préférable de tramer le bâtiment en fonction des dimensions disponibles des matériaux (calepinage).
Choix des matériaux	
Utilisation de matériaux à faible énergie grise.	Privilégier des produits de construction, dont le contenu énergétique est faible, permet de limiter la consommation d'énergie. Pour limiter l'énergie grise, il faut dans un premier temps choisir des matériaux à faible cout énergétique. Quand il est impossible de limiter l'énergie grise des matériaux, il faut donc limiter son utilisation en évitant toutes utilisations superflues.
Limitation de l'impact écologique.	La fabrication de matériaux génère des impacts sur l'environnement (extractions de matières, pollutions, transports...), il est donc important de choisir des matériaux dont l'impact écologique est limité.

Limitation de l'impact sur la santé.	Les matériaux sont source d'émission de particules parfois nocives, il est important d'appliquer le principe de précaution concernant les matériaux de finitions.
Limitation de l'épuisement des ressources.	Afin de limiter l'épuisement des ressources, il est important de privilégier les matériaux renouvelables, biodégradables, réutilisables (dans leur nature ou leur mise en œuvre), recyclables (à condition que ces opérations soient peu couteuses en énergie) ou issus de produits déjà recyclés.
Limitation de la maintenance et l'entretien des matériaux.	Les opérations de maintenance de remplacement et d'entretien sont couteuses en énergie. Il faut privilégier les matériaux dont la durabilité est compatible avec la durée de vie du bâtiment et dont l'entretien est moindre.
Production et entreprises locales.	Afin de limiter les transports inutiles (coût énergétique et pollution) et développer l'économie locale, il est préférable de privilégier des matériaux et des entreprises locales au site de construction.
Gestion de l'eau	
Gestion des eaux sur la parcelle.	La gestion des eaux sur la parcelle permet de contrôler l'écoulement des eaux et son infiltration, pour limiter les risques d'inondation. Il est préférable d'aménager l'extérieur et le bâtiment afin de favoriser l'écoulement, l'allongement des temps de parcours et l'infiltration des eaux de pluie.
Utilisation de l'eau pluviale.	Toutes les utilisations d'eau ne nécessitent pas forcément de l'eau potable, l'utilisation de l'eau de pluie permet de limiter la consommation d'eau potable du bâtiment. Il est préférable de prévoir des espaces de captage, de stockage et de distribution.
Limitation de la consommation et de la pollution de l'eau.	Limiter la consommation et la pollution de l'eau permet de préserver cette ressource précieuse. Le choix des équipements, leur mise en œuvre et la limitation des besoins d'entretiens sont donc primordiaux.
Qualité de l'eau potable.	La qualité de l'eau et les risques de maladie dépendent bien évidemment du réseau local de distribution de l'eau, mais également des systèmes intérieurs au bâtiment (organisation interne et mise en œuvre du réseau).
Protection des fortes précipitations.	Les fortes précipitations peuvent nuire au bâtiment et à la vie des usagers. Il est préférable de protéger le bâtiment et les habitants.
Gestion de l'énergie et confort thermique	
Utilisation et gestion des apports solaires passifs.	Capter les apports solaires passifs permet d'obtenir un apport de chaleur supplémentaire et ainsi limiter les besoins de chauffage. Il faut dans un premier temps capter la chaleur (organisation, positionnement et nature des ouvertures) et ensuite gérer et diffuser cette chaleur (inertie des parois captatrices).
Limitation des déperditions.	Pour limiter les besoins de chauffage, il faut limiter les déperditions et les échanges entre l'intérieur et l'extérieur. Cette réduction passe par la compacité de l'enveloppe ainsi que la qualité de l'enveloppe et de sa mise en œuvre
Apports complémentaires de chaleur.	Quand les dispositifs architecturaux ne suffisent pas pour apporter un confort nécessaire il est utile de mettre en place un dispositif de chauffage. Le choix de ce dernier, la distribution et la gestion de la chaleur est essentiel pour optimiser l'équipement et ainsi limiter la consommation inutile d'énergie.
Temporisation et isolation de la chaleur extérieure.	La transmission de la chaleur extérieure vers l'intérieur dépend essentiellement de la nature de l'enveloppe (diffusivité, effusivité, isolation). Limiter la transmission de chaleur permet de limiter les surchauffes internes et limite ainsi l'utilisation d'équipement de rafraîchissement.
Protection du rayonnement solaire direct.	Une bonne conception architecturale et de bonnes protections des ouvertures, permettent de limiter le rayonnement direct et ainsi limiter la surchauffe interne de l'air, améliorer le confort interne et limiter l'utilisation d'équipement de rafraichissement.
Création d'un mouvement d'air permanent.	L'utilisation d'un mouvement d'air permet de dissiper les surchauffes et d'augmenter la sensation de confort des usagers. La bonne maitrise des mouvements d'air peut limiter l'utilisation de dispositifs tels que la climatisation et donc limiter une consommation inutile d'énergie et limiter l'impact sur l'environnement et la santé des usagers.
Réduction des surchauffes internes pendant les périodes les plus fraiches.	L'excès de chaleur peut être évacué pendant les périodes les plus fraiches (souvent la nuit) afin de limiter les accumulations de chaleur.
Organisation intérieure spécifique et hiérarchisation des espaces.	Une bonne organisation intérieure et une orientation des pièces permettent de limiter les besoins énergétiques en répartissant au mieux la charge de chauffage et de rafraîchissement.

Réduction de la consommation électrique.	La réduction de la consommation électrique a bien sûr un aspect économique pour les futurs usagers, mais également sur l'environnement, limiter les besoins permet de limiter la production d'énergie.
Utilisation d'énergie renouvelable.	L'énergie la plus écologique est bien sur celle qui n'est pas consommée, cependant, il est souvent nécessaire de compléter les choix des dispositifs architecturaux avec des dispositifs techniques afin d'assurer le besoin en énergie.
Qualité de l'air	
Système de renouvellement d'air.	La qualité de l'air passe par une bonne ventilation des locaux. Il est préférable d'optimiser cette ventilation pour limiter les consommations inutiles d'énergie. L'optimisation passe par le bon rapport entre ventilation efficace et pertes d'énergie (favoriser la ventilation naturelle dans les périodes favorables, choisir un système de ventilation et de contrôle adapté aux besoins).
Limitation des polluants.	Les sources de pollution de l'air peuvent venir de l'extérieur, mais également de l'intérieur. L'organisation des espaces et le choix de matériaux moins polluant permettent de limiter la pollution de l'air.
Gestion de l'hygrométrie.	L'humidité provient de l'extérieur (infiltration...) ou de l'intérieure (activités humaines, équipements...), elle provoque des dégradations du bâtiment et impacte sur le bien-être et la santé des usagers.
Confort acoustique	
Optimisation de l'aménagement architectural.	Les problèmes acoustiques sont une des principales nuisances pour les usagers des bâtiments. Il est important de connaître les sources pour mieux s'en protéger. Ces nuisances impactent sur les capacités de récupération, de concentration ou encore sur la mémoire. Pour limiter la transmission, il est possible d'isoler lors de l'aménagement les locaux trop bruyants.
Réduction de la transmission des nuisances entre les zones.	Limiter la transmission des nuisances entre les pièces permet d'améliorer le bien-être des usagers. Une bonne conception (nature et mise en œuvre des séparations) permet de limiter ces nuisances acoustiques.
Traitement spécifique des façades exposées aux nuisances.	Une fois les sources sonores externes localisées, il est important de s'en protéger et d'adapter les façades qui sont exposées. Le choix de l'enveloppe, la disposition et la nature des ouvertures, et leur mise en œuvre sont donc primordiaux pour limiter l'impact des effets sonores à l'intérieur du bâtiment.
Traitement acoustique de l'espace.	Une bonne répartition du son participe au confort acoustique des usagers et doit être adaptée aux usages des locaux. Cette répartition dépend de l'équilibre entre la géométrie des pièces et les matériaux de finitions.
Confort Visuel	
Limitation de l'éblouissement.	La lumière naturelle trop excessive peut causer des gênes visuelles telles que l'éblouissement ou la fatigue. Il est préférable d'organiser l'espace, gérer les ouvertures et leur protection afin de limiter l'éblouissement des usagers.
Apport de lumière naturelle suffisant.	Les locaux de vie et de séjour prolongés doivent profiter d'un apport de lumière naturelle de quantité et de qualité suffisante en fonction des tâches à accomplir. La lumière naturelle impacte sur le bien-être des habitants, il est donc préférable d'organiser l'intérieur et l'extérieur et faciliter la pénétration de la lumière naturelle.
Qualité de la vue sur l'extérieur.	La qualité, la diversité et les possibilités de vues ont un impact sur le bien-être des usagers. Les vues permettent aux usagers de garder le contact avec l'extérieur et ainsi de maintenir le lien temporel.
Qualité de la lumière artificielle.	La qualité et la quantité de la lumière artificielle influence sur la qualité de vie des usagers et sur leur rythme biologique. Un choix judicieux des équipements lumineux peut également participer à une réduction de la consommation d'énergie.

Annexe 2 : Tableau d'influences contextuelles

Critères	Influences contextuelles	Conditions d'importances
Intégration et préservation du site		
Utilisation des ressources en matériaux disponibles sur le site.	matériaux disponibles sur site type de construction	Très important dans le cas où des matériaux se trouvent sur le site et dans le cas d'une rénovation.
Création ou préservation du biotope.	-	Pas d'influence contextuelle. Considéré comme « très important » chez les professionnels.
Pertinence du bâti par rapport au contexte.	-	Pas d'influence contextuelle. Considéré comme « très important » chez les professionnels.
Protection par rapport aux risques naturels	Risques naturels	Très important pour les zones aux risques naturels.
Gestion des raccordements.	Usage	Très important pour les bâtiments dont les usagers n'ont pas de mode de transports particuliers (enseignement). Important dans les autres cas, à l'exception des petites opérations telles que les maisons individuelles.
Impact dans le site		
Limitation de l'ombre portée sur le voisinage.	Milieu du bâtiment Type de construction Température basse	D'autant plus important quand le milieu est dense en construction. Pas important si le besoin de capter le soleil est nul (climat peu froid) et si la volumétrie est déjà présente (rénovation).
Préservation du droit à la vue du voisinage.	Milieu du bâtiment Type de construction	D'autant plus important quand le milieu est dense en construction. Pas important, si la volumétrie est déjà présente (rénovation).
Limitation et gestion des déblais et remblais.	Type de construction	D'autant plus important quand il y a création de nouveaux bâtiments.
Limitation de l'effet d'îlot de chaleur urbain.	Milieu du bâtiment Température haute	D'autant plus important quand le milieu est dense en construction. Inutile s'il n'y a pas de période de forte chaleur.
Limitation de l'étalement sur le terrain.	Type de construction	D'autant plus important quand il y a création de nouveaux bâtiments.
Distribution, accessibilité et fonctionnalité		
Accessibilité de l'édifice.	-	Pas d'influence contextuelle. Considéré comme « important » chez les professionnels.
Optimisation ou mutualisation des circulations.	-	Pas d'influence contextuelle. Considéré comme « important » chez les professionnels.
Prolongement extérieur et protection.	Température haute	D'autant plus important que les lieux de vie extérieurs sont importants (climat extérieur agréable, ni trop chaud ni trop froid).
Préservation de l'intimité.	Usage	Très important dans les lieux de vie (habitat), moins important dans les lieux de travail ou d'enseignement. Pas important pour les usages culturels ou loisirs.
Commodité et fonctionnalité.	-	Pas d'influence contextuelle. Considéré comme « très important » chez les professionnels.

Aménagement particulier du rez-de-chaussée.	Milieu du bâtiment Type de construction	D'autant plus important quand le milieu est dense en construction. Pas important, si la volumétrie est déjà présente (rénovation)
Gestion du bâtiment		
Disposition des locaux de gestion.	Usage	Très important pour les institutions et bâtiments tertiaires. Important pour les collectifs et peu important dans les maisons individuelles.
Accessibilité à l'entretien et à la maintenance de l'ouvrage.	Usage	Très important pour les institutions et bâtiments tertiaires. Important pour les collectifs et peu important dans les maisons individuelles.
Gestion des zones de confort.	Température haute Température basse	D'autant plus important que les températures extérieures sont très chaudes ou très froides.
Flexibilité et adaptabilité		
Flexibilité des usages.	-	Pas d'influence contextuelle. Considéré comme « important » chez les professionnels.
Flexibilité des équipements et des réseaux.	Usage	Très important pour les institutions et bâtiments tertiaires. Important pour les collectifs et peu important dans les maisons individuelles.
Possibilité d'extension.	Extension non potentielle	Très important si la densité de construction n'a pas atteint une échelle acceptable, humaine.
Système constructif		
Démontabilité des systèmes.	-	Pas d'influence contextuelle. Considéré comme « moyennement important » chez les professionnels.
Utilisation de matière optimisée	Usage	Très important pour les institutions, les bâtiments tertiaires et les collectifs et moyennement important pour les maisons individuelles.
Réduction des nuisances de chantier.	Milieu du bâtiment	D'autant plus important que le milieu est dense en construction.
Limitation des déchets de chantier.	-	Pas d'influence contextuelle. Considéré comme « moyennement important » chez les professionnels.
Choix des matériaux		
Utilisation de matériaux à faible énergie grise.	-	Pas d'influence contextuelle. Considéré comme « important » chez les professionnels.
Limitation de l'impact écologique.	-	Pas d'influence contextuelle. Considéré comme « important » chez les professionnels.
Limitation de l'impact sur la santé.	-	Pas d'influence contextuelle. Considéré comme « important » chez les professionnels.
Limitation de l'épuisement des ressources.	-	Pas d'influence contextuelle. Considéré comme « important » chez les professionnels.
Limitation de la maintenance et l'entretien des matériaux.	-	Pas d'influence contextuelle. Considéré comme « très important » chez les professionnels.
Production et entreprises locales.	-	Pas d'influence contextuelle. Considéré comme « important » chez les professionnels.
Gestion de l'eau		
Gestion des eaux sur la parcelle.	Pluviométrie	D'autant plus important que la pluviométrie est importante.
Utilisation de l'eau pluviale.	Pluviométrie Utilisation non permanente	D'autant plus important que la pluviométrie est importante. Non important en cas d'utilisation ponctuelle.
Limitation de la consommation et de la pollution de l'eau.	-	Pas d'influence contextuelle. Considéré comme « important » chez les professionnels.
Qualité de l'eau potable.	-	Pas d'influence contextuelle. Considéré comme « très important » chez les professionnels.
Protection des fortes précipitations.	Pluviométrie	D'autant plus important que la pluviométrie est importante.
Gestion de l'énergie et confort thermique		

Utilisation et gestion des apports solaires passifs.	Température basse Latitude	D'autant plus important quand il fait froid et que la course solaire n'est pas trop basse.
Limitation des déperditions.	Température basse	D'autant plus important quand il fait froid.
Apports complémentaires de chaleur.	Température basse	D'autant plus important quand il fait froid.
Temporisation et isolation de la chaleur extérieure.	Température haute Pluviométrie	D'autant plus important que le climat est très chaud et sec.
Protection du rayonnement solaire direct.	Température haute	D'autant plus important que le climat est chaud.
Création d'un mouvement d'air permanent.	Température haute Pluviométrie	D'autant plus important que le climat est chaud et humide.
Réduction des surchauffes internes pendant les périodes les plus fraiches.	Température haute Pluviométrie	D'autant plus important que le climat est chaud, à l'exception d'un climat humide.
Organisation intérieure spécifique et hiérarchisation des espaces.	-	Pas d'influence contextuelle. Considéré comme « important » chez les professionnels.
Réduction de la consommation électrique.	-	Pas d'influence contextuelle. Considéré comme « très important » chez les professionnels.
Utilisation d'énergie renouvelable.	Utilisation non permanente	Important sauf en cas d'utilisation ponctuelle du bâtiment.
Qualité de l'air		
Système de renouvellement d'air.	-	Pas d'influence contextuelle. Considéré comme « très important » chez les professionnels.
Limitation des polluants.	-	Pas d'influence contextuelle. Considéré comme « important » chez les professionnels.
Gestion de l'hygrométrie.	Pluviométrie	D'autant plus important que le climat est très humide ou très sec.
Confort acoustique		
Optimisation de l'aménagement architectural.	Usage	Très important pour les usages d'habitat et d'enseignement. Moyennement important pour les usages tertiaires et loisirs.
Réduction de la transmission des nuisances entre les zones.	Usage	Très important pour les lieux collectifs tels que les tertiaires, les logements collectifs, moins important pour les logements individuels.
Traitement spécifique des façades exposées aux nuisances.	Milieu du bâtiment Nuisances ponctuelles	D'autant plus important que la concentration de bâtiments est dense ou que des nuisances ponctuelles sont présentes.
Traitement acoustique de l'espace.	Usage	Très important pour les usages tertiaires d'enseignement et de loisir. Moyennement important pour les usages d'habitat.
Confort Visuel		
Limitation de l'éblouissement.	Usage Latitude	Très important pour les usages tertiaires d'enseignement et de loisir. Moyennement important pour les usages d'habitat.
Apport de lumière naturelle suffisant.	-	Pas d'influence contextuelle. Considéré comme « très important » chez les professionnels.
Qualité de la vue sur l'extérieur.	-	Pas d'influence contextuelle. Considéré comme « très important » chez les professionnels.
Qualité de la lumière artificielle.	Usage	Très important pour les usages tertiaires d'enseignement et de loisir. Moyennement important pour les usages d'habitat.

Annexe 3 : Tableau d'influences contextuelles traduites en fonctions logiques

Critères	++++	+++	++	+	-
Intégration et préservation du site					
Utilisation des ressources en matériaux disponibles sur le site.	MDS OU CR	-	-	-	NON (MDS ET CR)
Création ou préservation du biotope.	Tout	-	-	-	-
Pertinence du bâti par rapport au contexte.	Tout	-	-	-	-
Protection par rapport aux risques naturels	RS	-	-	-	NON RS
Gestion des raccordements.	UE	(UC ou UT ou UCL)	-	-	UI
Impact dans le site					
Limitation de l'ombre portée sur le voisinage.	MD et (CN ou CE) et NON-TB1	MP et (CN ou CE) NON-TB1	MV et (CN ou CE) NON-TB1	MPD et (CN ou CE) NON-TB1	MI ou MA ou CR ou TB1
Préservation du droit à la vue du voisinage.	MD et (CN ou CE)	MP et (CN ou CE	MV et (CN ou CE)	MPD et (CN ou CE)	MI ou MA ou CR
Limitation et gestion des déblais et remblais.	CN	CE	-	-	CR
Limitation de l'effet d'îlot de chaleur urbain.	MD et NON-TH5	(MP ou MA) et NON-TH5	MV et NON-TH5	MPD et NON-TH5	MI et TH5
Limitation de l'étalement sur le terrain.	CN ou CE	-	-	-	CR
Distribution, accessibilité et fonctionnalité					
Accessibilité de l'édifice.	-	Tout	-	-	-
Optimisation ou mutualisation des circulations.	-	Tout	-	-	-
Prolongement extérieur et protection.	TH2	TH1 ou TH3	TH4	-	TH5
Préservation de l'intimité.	UI ou UC	-	UT ou UE	-	UCL
Commodité et fonctionnalité.	Tout	-	-	-	-
Aménagement particulier du rez-de-chaussée.	MD et (CN ou CE)	MP et (CN ou CE)	MV et (CN ou CE)	MP et (CN ou CE)	MI ou MA ou CR
Gestion du bâtiment					
Disposition des locaux de gestion.	UT ou UE ou UCL	UC	-	UI	-
Accessibilité à l'entretien et à la maintenance de l'ouvrage.	UT ou UE ou UCL	UC	-	UI	-
Gestion des zones de confort.	NON-[(TB1 et TH4) ou (TH5 et TB2)]	(TB1 et TH4) ou (TH5 et TB2)	-	-	-

Flexibilité et adaptabilité					
Flexibilité des usages.	-	Tout	-	-	-
Flexibilité des équipements et des réseaux.	UT ou UE ou UCL	UC	-	UI	-
Possibilité d'extension.	EH1	-	-	-	EH2
Système constructif					
Démontabilité des systèmes.	-	-	Tout	-	-
Utilisation de matière optimisée	UC ou UT ou UT ou UCL	-	-	-	-
Réduction des nuisances de chantier.	MD	MP ou MA	MV et MPD	MI	-
Limitation des déchets de chantier.	-	-	Tout	-	-
Choix des matériaux					
Utilisation de matériaux à faible énergie grise.	-	Tout	-	-	-
Limitation de l'impact écologique.	-	Tout	-	-	-
Limitation de l'impact sur la santé.	-	Tout	-	-	-
Limitation de l'épuisement des ressources.	-	Tout	-	-	-
Limitation de la maintenance et l'entretien des matériaux.	Tout	-	-	-	-
Production et entreprises locales.	-	Tout	-	-	-
Gestion de l'eau					
Gestion des eaux sur la parcelle.	(P1 ou P2 ou P3)	-	P4	P5	-
Utilisation de l'eau pluviale.	(P1 ou P2) et UP2	P3 et UP2		P4 et UP2	P5 ou UP1
Limitation de la consommation et de la pollution de l'eau.	-	Tout	-	-	-
Qualité de l'eau potable.	Tout	-	-	-	-
Protection des fortes précipitations.	P1 ou P2	P3	-	P4	P5
Gestion de l'énergie et confort thermique					
Utilisation et gestion des apports solaires passifs.	TB5 ou TB4) et NON-L3	TB3 et NON- L3	TB2 ou L3	-	TB1
Limitation des déperditions.	TB5 ou TB4	TB3	TB2	-	TB1
Apports complémentaires de chaleur.	TB5	TB4	TB3	-	TB2 ou TB1
Temporisation et isolation de la chaleur extérieure.	TH1 et P5	TH1 et (P4 ou P2)	Th2 et NON-P1	TH3 et NON-P1	Autres situations
Protection du rayonnement solaire direct.	TH3 ou TH2 ou TH1	-	TH4	-	TH5
Création d'un mouvement d'air permanent.	(TH1 ou TH2 ou TH3) et P1	TH1 ou TH2 ou TH3) et P2	-	-	Autres situations
Réduction des surchauffes internes pendant les périodes les plus fraiches.	TH1 et NON-P1	TH2 et NON-P1	TH3 et NON-P1	TH4 et NON-P1	Autres situations
Organisation intérieure spécifique et hiérarchisation des espaces.	-	Tout	-	-	-

Réduction de la consommation électrique.	Tout	-	-	-	-
Utilisation d'énergie renouvelable.	-	UP2	-	-	UP1
Qualité de l'air					
Système de renouvellement d'air.	Tout	-	-	-	-
Limitation des polluants.	-	Tout	-	-	-
Gestion de l'hygrométrie.	P1 ou P2 ou P5	-	P4 ou P3	-	-
Confort acoustique					
Optimisation de l'aménagement architectural.	UI ou UC ou UE	-	UT ou UCL	-	-
Réduction de la transmission des nuisances entre les zones.	UT ou UE ou UC ou UCL	-	UI	-	-
Traitement spécifique des façades exposées aux nuisances.	MD ou NP1	MP ou MA et NP2	MV et NP2	MPD et NP2	MI et NP2
Traitement acoustique de l'espace.	UT ou UE ou UCL	-	-	UI ou UC	-
Confort Visuel					
Limitation de l'éblouissement.	(UT ou UE ou UCL) et L2	(UT ou UE ou UCL) et (L1 ou L3)	(UI ou UC) et L2	(UI ou UC) et (L1 ou L3)	
Apport de lumière naturelle suffisant.	Tout	-	-	-	-
Qualité de la vue sur l'extérieur.	Tout	-	-	-	-
Qualité de la lumière artificielle.	UT ou UE ou UCL	-	UI ou UC	-	-

Codification des contextes : voir annexe 4.

Annexe 4 : Nomenclature des typologies de contextes

Catégorie	Contexte	Typologie	Code	Définition
programmatique	**usage**	Habitat collectif	UC	Groupement de logements (minimum 2) comportant des espaces communs et des espaces privatif (opération d'habitats en bande, immeubles collectifs, etc.).
		Habitat individuel	UI	Programme comportant uniquement un logement, abritant une seule famille.
		Bureaux	UT	Bâtiments de type tertiaire abritant des espaces de travail du type bureaux.
		Enseignement	UE	Bâtiments scolaires tels que les maternelles, primaires, collèges, lycées, universités, etc.
		Culturel et loisir	UCL	Espaces tels que les centres d'activités, les complexes sportifs, les musées, etc.
	Construction	Neuve	CN	Un bâtiment nouveau, sur un terrain non bâti, ou sur un terrain après démolition.
		Restructuration	CR	Un réaménagement interne, transformation, amélioration d'un édifice.
		Extension	CE	Surélévation ou ajout d'un bâtiment, en lien avec le premier.
	Milieu	Milieu isolé	MI	•Très faible concentration urbaine. •Pas de risque d'impact direct sur le voisinage •Zones privées et zones publiques. Nuisances générales faibles.
		Milieu activité	MA	•Concentration urbaine faible-moyenne. •Un voisinage peu présent et souvent ... •Pas de risque d'impact direct sur le voisinage. Nuisances générales pouvant être fortes.
		Milieu diffus	MPD	•Faible concentration urbaine. •Quelques risques d'impacts sur le voisinage. •Zones privées et zones publiques. Nuisances générales faibles
		Milieu intermédiaire	MV	•Faible concentration urbaine. •Quelques risques d'impacts sur le voisinage. •Zones privées et zones publiques. Nuisances générales faibles
		Milieu urbain peu dense	MP	•Forte concentration de bâti. •Risques d'impacts sur le voisinage •Zones privées, zones publiques et zones collectives Nuisances générales moyennes-fortes
		Milieu urbain dense	MD	•Forte concentration de bâti. •Risque fort d'impact sur le voisinage. •Zones privées, zones publiques et zones collectives. Nuisances générales fortes
Climat	**Température haute**	Très élevée	TH1	Supérieur à 30 °C : très au-dessus de la zone de confort. - Besoin fort de limiter de l'entrée de la chaleur. - Besoin fort d'évacuer et de réduire la chaleur intérieure.

		Élevée	TH2	De 26 à 30 °C : au-dessus de la zone de confort : - Besoin de limiter de l'entrée de la chaleur. - Besoin d'évacuer et de réduire la chaleur intérieure.
		Moyenne	TH3	De 21 à 25 °C : zone de confort : - Besoin fort de limiter l'accumulation de chaleur à l'intérieur
		Basse	TH4	De 18 à 20 °C : zone de confort : - Besoin léger de limiter l'accumulation de chaleur à l'intérieur
		Très basse	TH5	Inférieure à 18 °C : en dessous de la zone de confort, pas de période chaude
	Température basse	Très élevée	TB1	Supérieure à 18 °C : pas de période de température en dessous de la zone de confort
		Élevée	TB2	De 11 à 18 °C : en dessous de la zone de confort - Besoin léger de conserver et d'accumuler la chaleur
		Moyenne	TB3	De 6 à 10 °C - Besoin fort de conserver et d'accumuler la chaleur - Besoin faible d'apport de chaleur complémentaire
		Basse	TB4	De 0 à 5 °C - Besoin fort de conserver et d'accumuler la chaleur - Besoin fort d'apport de chaleur complémentaire
		Très basse	TB5	Inférieure à 0 °C - Besoin très fort de conserver et d'accumuler la chaleur - Besoin très fort d'apport de chaleur complémentaire
	pluviométrie	Très pluvieux	P1	Supérieur à 1500 mm, forte pluviométrie globalement repartie sur l'année
		Très pluvieux avec période de sècheresse	P2	Supérieur à 1000 mm, une période de forte pluviométrie, avec une période de très faible pluviométrie
		Pluviométrie moyenne	P3	De 500 à 1000 mm, pluviométrie moyenne globalement repartie sur l'année
		Faible pluviométrie	P4	De 500 à 300 mm, pluviométrie faible globalement repartie sur l'année
		Très faible pluviométrie	P5	Inférieure à 300, très faible pluviométrie globalement repartie sur l'année
	Latitude	Équateur	L1	Inférieur à 10° : course du soleil haute
		Tropique	L2	Entre 10 et 55° : course du soleil haute et basse
		Pôle	L3	Supérieur à 55° : course soleil basse
Local	**Extension non potentielle**	oui	EH1	Une impossibilité de part des particularités du site (morphologie, densité, etc.) de prévoir une extension.
		non	EH2	Possibilité de prévoir une extension.
	Utilisation non permanente	oui	UP1	Un bâtiment à usages non journalier (maison de vacances, etc.).
		non	UP2	Un bâtiment à usages journalier.
	Nuisances acoustiques particulières	oui	NP1	Présence d'une nuisance acoustique particulière proche du site.
		non	NP2	Non-présencece d'une nuisance acoustique particulière proche du site.

	Matériaux disponibles sur site	Structure	MDS	Présence de matériaux de structure sur le site (déconstruction, récupération, etc.) pouvant être valorisés dans le projet.
		Enveloppe	MDE	Présence de matériaux d'enveloppe sur le site (déconstruction, récupération, etc.) pouvant être valorisés dans le projet.
		Séparations	MDI	Présence de matériaux de séparations sur le site (déconstruction, récupération, etc.) pouvant être valorisés dans le projet.
		Finitions	MDF	Présence de matériaux de finitions sur le site (déconstruction, récupération, etc.) pouvant être valorisés dans le projet.
	Risques naturels	Inondation	RI	Site à risque d'inondation.
		Sismique-minier	RS	Site à risque sismiques ou minier.
		Tempête	RT	Site à risque de tempête.

Contexte à choix multiple		Contexte à choix unique

Annexe 5 : Nomenclature des tâches de conception architecturale

	Tâches architecturales	Niveau de définition			
		Pas de décision	intermédiaire		final
Organisation	Positionnement dans le site (PS)	**0-PS** Pas de décisions			**F-PS** Positionnement du bâtiment dans son site
	Volumétrie (V)	**0-V** Pas de décisions			**F-V** Définition de la volumétrie du bâtiment
	Organisation interne (OI)	**0-OI** Pas de décisions	**1-OI** Répartition générale des espaces internes et des pièces des circulations et des ouvertures.		**F-OI** Calages des dimensions des espaces de circulations et des ouvertures bâtiment
	Aménagement extérieur (AE)	**0-AE** Pas de décisions	**1-AE** Répartitions générales des espaces extérieurs	**2-AE** Choix des espèces implantés	**F-AE** Répartition, dimensionnement des espaces externes (accès, plantations, etc.)
Matériaux	Structure (S)	**0-S** Pas de décisions	**1-S** Choix des matériaux structurels	**2-S** Choix des matériaux structurels	**F-S** Détail de mise en œuvre des éléments structurels (assemblage).
	Enveloppes (E)	**0-E** Pas de décisions	**1-E** Choix des matériaux de composition d'enveloppe générale	**2-E** Choix des matériaux de composition d'enveloppe détaillé et dimensionné	**F-E** Détail de mise en œuvre des éléments d'enveloppe (assemblage).
	Séparations (I)	**0-I** Pas de décisions	**1-I** Choix des matériaux interne (cloisons, planchers, etc.)		**F-I** Détail de mise en œuvre des éléments de séparations (assemblage).
	Finitions (F)	**0-F** Pas de décisions	**1-F** Choix des matériaux de finitions (sol, plafond, mur, etc.)	**2-F** Calpinage des éléments de finitions	**F-I** Détail de mise en œuvre des éléments de finitions (pose, seuil, etc.).
	Ouvertures (O)	**0-O** Pas de décisions	**1-O** Choix des types et caractéristiques des ouvertures.	**2-O** Choix du type de protection mobile pour chaque fenêtre	**F-O** Détail de mise en œuvre de pose des ouvertures.

Techniques et réseaux	Sanitaire/eaux (SE)	**0-SE** Pas de décisions	**1-SE** Choix du type d'équipement d'eau chaude sanitaire (chauffe-eau...)		**2-SE** Choix du type d'équipement sanitaire (WC, lavabos...)	**F-SE** Détail de mise en œuvre des équipements (gaine, réseaux, encombrement....).
	Chauffage/ climatisation (AT)	**0-AT** Pas de décisions	**1-AT** Choix des types d'équipements participant à l'ambiance thermique (chauffage, rafraichissement, etc.)		**2-AT** Choix du type de contrôle des équipements d'ambiance thermique (manuel, sonde, etc.)	**3-AT** Détail de mise en œuvre des équipements (gaine, réseaux, encombrement, etc.)
	Renouvellement d'air (RA)	**0-RA** Pas de décisions	**1-RA** Choix du type d'équipement de renouvellement de l'air.		**2-RA** Choix du type de contrôle des équipements de renouvellement de l'air (manuel, sonde...).	**3-RA** Détail de mise en œuvre des équipements (gaine, réseaux, encombrement, etc.)
	Courant faible/ fort (EC)	**0-EC** Pas de décisions	**1-EC** Choix du type d'équipements lumineux.	**2-EC** Choix du type de contrôle des équipements lumineux (manuel, sonde...)	**3-EC** Choix de la production électrique	**F-EC** Détail de mise en œuvre des équipements (gaine, réseaux, encombrement, etc.)

Présélection	**ESQ/APS**	**APD**	**PRO/DCE**

Niveau de définition non considéré dans la méthode

Annexe 6 : Tableau des données utiles »

Critères	Données utiles	Définition

Codification des « données utiles » : voir annexe 5.

Intégration et préservation du site		
Utilisation des ressources en matériaux disponibles sur le site.	Structure: 1-S Enveloppe: 1-E Finitions: 1-F	**- Structure, nature des matériaux :** optimiser l'utilisation des matériaux de structure disponibles et utilisables sur le terrain. **- Enveloppe**, **nature des matériaux :** optimiser l'utilisation des matériaux d'enveloppe disponibles et utilisables sur le terrain. - **Finitions, nature des matériaux :** optimiser l'utilisation des matériaux de finition disponibles et utilisables sur le terrain.
Création ou préservation du biotope.	F-PS 1-E 1-AE 2-AE	**- Positionnement du bâtiment dans le site :** préserver la végétation existante et faciliter le développement des espèces implantées. **- Enveloppe, nature des matériaux :** Certains espaces construits peuvent également accueillir une certaine diversité (toiture végétalisée, etc.). **- Aménagement extérieur, répartition générale** : répartir les espaces plantés sur le terrain pour créer des continuités et favoriser leur développement. **- Aménagement extérieur, choix des espèces :** choisir des espèces adaptées au type de milieu et de climat.
Pertinence du bâti par rapport au contexte.	F-PS **ET** 1-OI **ET** 1-VO 1-S 1-E	**- Positionnent du bâtiment dans le site/volumétrie du bâtiment/ organisation interne, répartition générale :** créer un dialogue avec les atouts du site (morphologie, vue...). Choisir une forme et une volumétrie en harmonie avec son environnement proche. **- Structure**, **nature des matériaux :** tenir compte des traditions locales et du bâti environnant dans le choix des systèmes constructifs, sans pour autant oublier l'innovation. **- Enveloppe**, **nature des matériaux:** tenir compte des traditions locales et du bâti environnant dans le choix des systèmes constructifs, sans pour autant oublier l'innovation.

Protection par rapport aux risques naturels	Sismiques F-VO 1-S 2-S Inondation F-PS **ET** 1-OI Tempête F-VO 1-E F-E F-S 1-O 2-O	Sismiques et minier : **- Volumétrie du bâtiment :** privilégier les formes simples et symétriques. **- Structure**, **nature des matériaux :** privilégier des matériaux avec une résistance/masse élevée (ductilité, résilience, ténacité...). **- Structure**, **trame:** privilégier des trames de structure régulière. Inondation: **- Positionnent du bâtiment dans le site/organisation interne, répartition générale**: positionner le bâtiment et organiser l'intérieur en fonction des risques d'inondation et du site afin de protéger les pièces de vie. Tempête **- Volumétrie du bâtiment** : éviter les prises au vent dans la volumétrie du bâtiment. **- Enveloppe, nature des matériaux** : favoriser des matériaux solides et peu sensibles à l'eau. **- Enveloppe, mise en œuvre :** favoriser une mise en œuvre de l'enveloppe assurant une étanchéité ou une imperméabilisation permettant de résister aux fortes pluies. **- Structure, mise en œuvre** : choisir des modes d'assemblage et de fixation résistant aux fortes pressions du vent et aux soulèvements. **- Ouverture, nature des matériaux :** choisir des montants et vitrages résistant aux fortes pressions du vent et de la pluie. **- Ouverture, nature des équipements de protection mobiles :** prévoir des protections de vitrage résistant aux fortes pluies et vents afin de protéger les vitrages.
Gestion des raccordements.	F-PS 1-AE	**- Positionnement du bâtiment dans le site :** positionner le bâtiment afin de laisser la possibilité de créer des continuités dans les cheminements. **- Aménagement extérieur, répartition générale :** rechercher le meilleur aménagement afin d'assurer la continuité des cheminements présents aux alentours.
Impact dans le site		
Limitation de l'ombre portée sur le voisinage.	FF-PS **ET** F-VO	**- Positionnement du bâtiment dans le site/volumétrie du bâtiment :** éviter de nuire aux besoins d'ensoleillement du voisinage en positionnant et en dimensionnant le bâtiment en fonction du soleil et du voisinage.
Préservation du droit à la vue du voisinage.	F-PS **ET** F-VO	**- Positionnement du bâtiment dans le site/volumétrie du bâtiment :** éviter de boucher les perspectives et vues des bâtiments voisins.
Limitation et gestion des déblais et remblais.	F-VO 1-AE F-AE	**- Volumétrie du bâtiment:** limiter la création de déblais importants (plate forme ou sous-sol). **- Aménagement extérieur, répartition générale :** aménager l'extérieur afin de minimiser la création de déblais ou éventuellement les réutiliser. **- Aménagement extérieur, calage des dimensions :** gérer les déblais utilisables (non pollués) sur le site même pour éviter les transports inutiles.
Limitation de l'effet d'îlot de chaleur urbain.	9-PS 1-E 1-AE 2-AE	**- Positionnement du bâtiment dans le site :** le choix de l'orientation des façades permet de limiter l'énergie reçue et dissipée par les façades. La position des bâtiments permet également de favoriser la circulation de l'air et donc de limiter les surchauffes. **- Enveloppe, nature des matériaux générale** : choisir des matériaux de revêtement en fonction de leur capacité d'absorption thermique pour éviter les surchauffes localisées. **- Aménagement extérieur, répartition générale :** organiser l'extérieur afin de favoriser les surfaces aux capacités d'absorption limitant ainsi les surchauffes localisées. **- Aménagement extérieur, choix des espèces :** choisir la végétation en fonction de leur capacité d'absorption thermique pour éviter les surchauffes localisées.
Limitation de l'étalement sur le terrain.	F-PS **ET** F-VO	**- Positionnement du bâtiment dans le site/volumétrie du bâtiment :** positionner et dimensionner le bâtiment afin d'optimiser la consommation de terrain (en respectant une densité raisonnable).

Distribution, accessibilité et fonctionnalité		
Accessibilité de l'édifice.	F-PS 1-OI 1-AE F-OI F-AE F-F	**- Positionnement du bâtiment dans le site :** avoir une réflexion sur la position du bâtiment pour faciliter l'accès depuis l'espace public. **- Aménagement extérieur, répartition générale :** avoir une réflexion sur la position du bâtiment et ses accès depuis l'extérieur (cheminement, pente...) pour faciliter l'accès depuis l'espace public. **- Organisation interne, répartition générale** : apporter une attention à l'organisation générale du bâtiment, les dénivelés, l'accès aux étages afin de faciliter la circulation dans tout le bâtiment. **- Organisation interne, calage des dimensions :** apporter une attention au dimensionnement des pièces, dégagements et ouvertures afin de faciliter la circulation. **- Aménagement extérieur, calage des dimensions :** dimensionner les cheminements extérieurs (pente, distance, unité de passage) afin de faciliter l'accès aux usagers. **- Finitions, mise en œuvre :** apporter une attention particulière aux seuils entre les différentes zones du bâtiment, afin de limiter les obstacles.
Optimisation ou mutualisation des circulations.	1-OI	**- Organisation interne, répartition générale :** optimiser l'espace et la circulation.
Prolongement extérieur et protection.	F-PS **ET** 1-OI **ET** F-VO	**- Organisation interne, répartition générale/positionnement du bâtiment dans le site/volumétrie du bâtiment :** positionner, orienter et protéger des espaces de vie externe (balcons, terrasses, prolongements...) en fonction des besoins d'usage.
Préservation de l'intimité.	F-PS **ET** 1-OI 2-O	**- Organisation interne, répartition générale/positionnement du bâtiment dans le site :** Apporter une réflexion sur l'aménagement interne, les dispositions des ouvertures, afin de limiter les vues dans les lieux de vie. **- Ouvertures, nature des équipements mobiles :** prévoir des occultations flexibles pour assurer l'intimité des usagers.
Commodité et fonctionnalité.	1-OI F-OI	**- Organisation interne, répartition générale :** Prévoir des espaces dans l'aménagement extérieur pour ces locaux (placards, locaux poussettes, vélos) en fonction des besoins d'usages. **- Organisation interne, calage des dimensions :** dimensionner ces espaces (placards, locaux poussettes, vélos) en fonction des besoins d'usages.
Aménagement particulier du rez-de-chaussée.	F-PS **ET** 1-OI	**- Implantation du bâtiment dans le site/Organisation interne, répartition générale :** implanter le bâtiment et aménager l'intérieur afin de minimiser ces nuisances ou d'y éloigner les pièces de vie.
Gestion du bâtiment		
Disposition des locaux de gestion.	F-PS **ET** 1-OI F-OI	**- Organisation interne, répartition générale/positionnement du bâtiment dans le site :** placer et orienter les locaux pour faciliter leur accès en fonction de leurs besoins. **- Organisation interne, calage des dimensions :** dimensionner les locaux pour faciliter leur accès et leur utilisabilité en fonction de leurs besoins.
Accessibilité à l'entretien et à la maintenance de l'ouvrage.	F-VO **ET** 1-OI F-AT F-RA F-SE	**- Organisation interne, réparation générale/volumétrie du bâtiment :** Gérer la volumétrie et l'aménagement interne du bâtiment afin d'assurer l'accès aux surfaces demandant de l'entretien (vitrage...). **- Chauffage et climatisation, mise en œuvre des équipements :** prévoir des équipements (gaines, installations techniques) accessibles facilement par le personnel de maintenance. **- Renouvellement d'air, mise en œuvre des équipements :** prévoir des équipements (gaines, installations techniques) accessibles facilement par le personnel de maintenance. **- Sanitaire et eaux, mise en œuvre des équipements :** prévoir des équipements (gaines, installations techniques) accessibles facilement par le personnel de maintenance.

Gestion des zones de confort.	F-PS **ET** 1-OI 2-AT 2-RA	• **Chauffage et climatisation, contrôle des équipements :** mettre en place des systèmes de gestion et de contrôle (thermostat) pour gérer l'ambiance thermique des zones de confort. **Renouvellement de l'air, contrôle des équipements :** mettre en place des systèmes de gestion et de contrôle de la qualité de l'air.
Flexibilité et adaptabilité		
Flexibilité des usages.	F-VO 1-OI 1-I	**- Volumétrie du bâtiment :** favoriser des formes compatibles avec des reconversions d'usages**.** **- Organisation interne, réparation générale :** favoriser des aménagements et des trames compatibles avec des reconversions d'usages. **- Séparations, nature des matériaux:** favoriser des matériaux de séparation flexibles et démontables.
Flexibilité des équipements et des réseaux.	F-SE F-AT F-EC F-RA	**- Sanitaires et eaux, mise en œuvre des équipements** : regrouper, organiser les réseaux afin de faciliter leur accès et leur remplacement. - **Chauffage et climatisation, mise en œuvre des équipements :** regrouper, organiser les réseaux afin de faciliter leur accès et leur remplacement. **- Courant faible et fort, mise en œuvre des équipements :** regrouper, organiser les réseaux afin de faciliter leur accès et leur remplacement. **- Renouvellement de l'air, mise en œuvre des épuisements des équipements :** regrouper, organiser les réseaux afin de faciliter leur accès et leur remplacement..
Possibilité d'extension.	F-PS **ET** F-VO **ET** 1-OI	**- Positionnement du bâtiment dans le site/volumétrie - du bâtiment / Organisation interne, répartition générale** : favoriser un emplacement et une volumétrie facilitant l'extension. Aménager l'intérieur (positionnement des fenêtres, des pièces) pour permettre la continuité entre le bâtiment et son éventuelle extension..

Système constructif		
Démontabilité des systèmes.	1-S 1-E 1-I F-I F-E F-S	**Structure, nature des matériaux:** choisir des matériaux de structures permettant le démontage. **Enveloppe, nature des matériaux: choisir** des matériaux d'enveloppe permettant le démontage. **Séparations, nature des matériaux:** choisir des matériaux de séparation permettant le démontage. **Structure, mise en œuvre:** Mettre en œuvre la structure permettant son démontage. **Enveloppe, mise en œuvre:** Mettre en œuvre les matériaux d'enveloppe permettant leur démontage. **Séparations, mise en œuvre:** Mettre en œuvre les matériaux de séparation permettant leur démontage.
Utilisation de matière optimisée	1-S **ET** 2-S 1-E **ET** 2-E	**- Structures, nature des matériaux, trame :** optimiser le dimensionnement de la structure en fonction du type de matériaux choisi et favoriser la répétition structurelle. **- Enveloppe, nature des matériaux, dimensionnent :** optimiser le dimensionnement de l'enveloppe en fonction du type de matériaux choisi et favoriser la répétition.

Réduction des nuisances de chantier.	1-S 1-E F-S F-E 1-F	**- Structure**, **nature de la structure :** valoriser des matériaux permettant de limiter les nuisances et le temps de chantier. **- Enveloppe, nature de l'enveloppe :** valoriser des matériaux permettant de limiter les nuisances et le temps de chantier. **- Structure, mise en œuvre:** choisir un système constructif (en fonction du matériau choisi) limitant l'utilisation d'engin ou de matériel lourd et bruyant et favorisant un chantier rapide. **-Enveloppe, mise en œuvre:** choisir un système constructif (en fonction du matériau choisi) limitant l'utilisation d'engin ou de matériel lourd et bruyant et favorisant un chantier rapide. **- Finitions**, **nature des matériaux :** limiter l'utilisation d'éléments nocifs pour les ouvriers (résine, colle, peintures...).
Limitation des déchets de chantier.	F-E 2-F **ET** 1-F	**- Enveloppe, mise en œuvre:** tramer l'enveloppe en fonction des matériaux choisis et de leur dimension disponible. **- Finitions, nature des matériaux et trame** : tramer les finitions en fonction des matériaux choisis et de leur dimension disponible.
Choix des matériaux		
Utilisation de matériaux à faible énergie grise.	1-OI 1-S 1-E 1-I 1-F 1-O	**- Organisation interne, répartition générale :** les vitrages ayant un coût énergétique important il faut donc les limiter. **- Structure, nature des matériaux :** choisir des matériaux de structure ayant un impact énergétique faible. **- Enveloppe, nature des matériaux :** choisir des matériaux d'enveloppe ayant un impact énergétique faible. **- Séparations, nature des matériaux :** choisir des matériaux de séparation ayant un impact énergétique faible. **- Ouvertures, nature des matériaux :** choisir des matériaux d'ouvertures ayant un impact énergétique faible. **- Finitions, nature des matériaux :** choisir des matériaux de finition ayant un impact énergétique faible
Limitation de l'impact écologique.	1-S 1-E 1-I 1-F 1-O	**- Structure, nature des matériaux :** choisir des matériaux de structure ayant un impact écologique faible. **- Enveloppe, nature des matériaux :** choisir des matériaux d'enveloppe ayant un impact écologique faible. **- Séparations, nature des matériaux :** choisir des matériaux de séparation ayant un impact écologique faible. **- Ouvertures, nature des matériaux :** choisir des matériaux d'ouvertures ayant un impact écologique faible. **- Finitions, nature des matériaux :** choisir des matériaux de finition ayant un impact écologique faible
Limitation de l'impact sur la santé.	1-F	**- Finitions, nature des matériaux :** choisir des matériaux de finition ayant un impact faible sur la santé.

Limitation de l'épuisement des ressources.	1-S 1-E 1-I 1-F 1-O	**- Structure, nature des matériaux :** choisir des matériaux de structure limitant l'épuisement des ressources. **- Enveloppe, nature des matériaux :** choisir des matériaux d'enveloppe limitant l'épuisement des ressources. **- Séparations, nature des matériaux :** choisir des matériaux de séparation limitant l'épuisement des ressources. **- Ouvertures, nature des matériaux :** choisir des matériaux d'ouvertures limitant l'épuisement des ressources. **- Finitions, nature des matériaux :** choisir des matériaux de finition limitant l'épuisement des ressources.

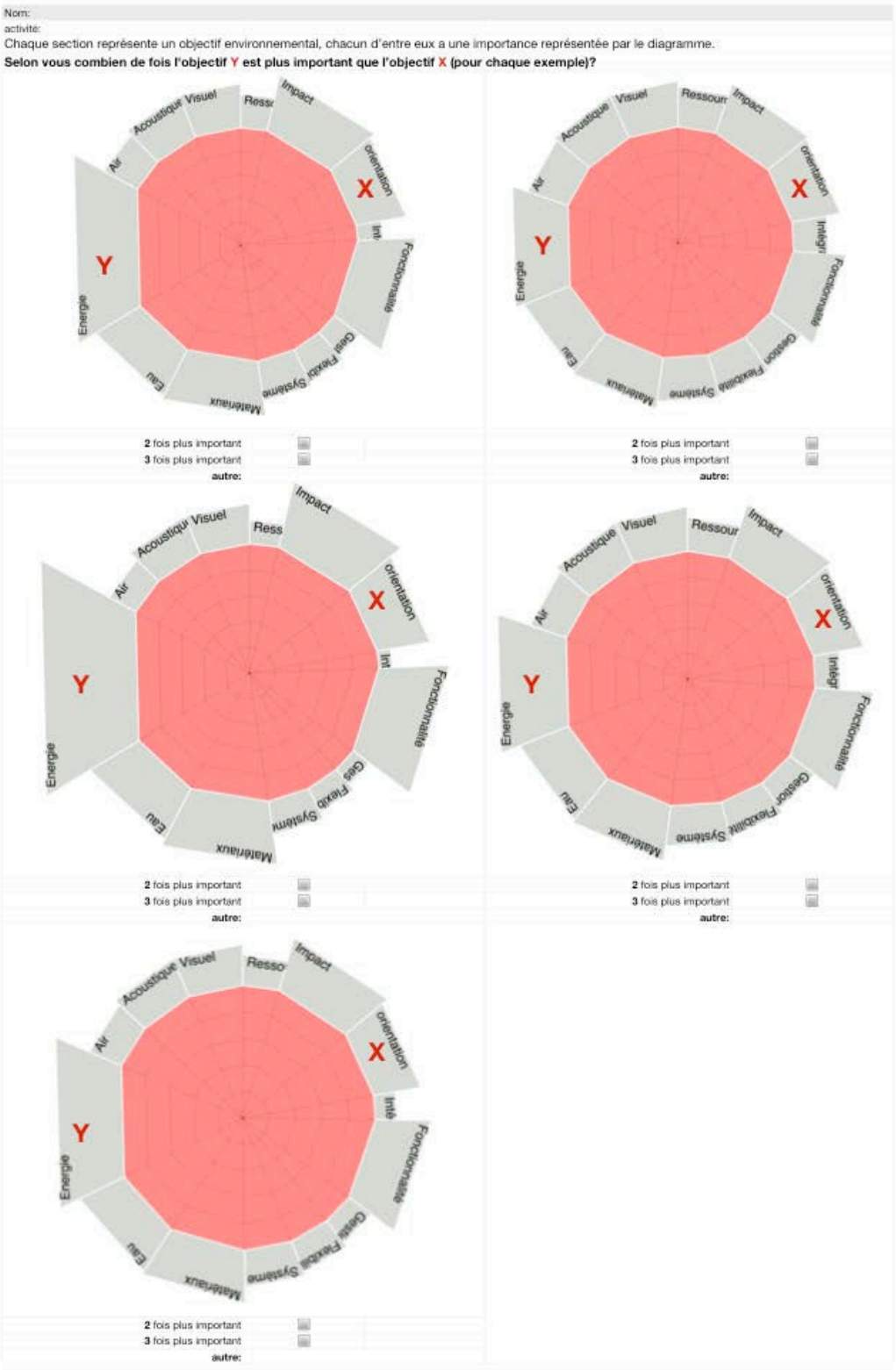
Limitation de la maintenance et l'entretien des matériaux.	1-S 1-E 1-I 1-F 1-O	**- Structure, nature des matériaux :** choisir des matériaux de structure durables et de faible entretien. **- Enveloppe, nature des matériaux :** choisir des matériaux d'enveloppe durables et de faible entretien. **- Séparations, nature des matériaux :** choisir des matériaux de séparation durables et de faible entretien. **- Ouvertures, nature des matériaux :** choisir des matériaux d'ouvertures durables et de faible entretien. **- Finitions, nature des matériaux :** choisir des matériaux de finition durables et de faible entretien.
Production et entreprises locales.	1-S 1-E 1-I 1-F 1-O	**- Structure, nature des matériaux :** choisir des matériaux de structure issus de la production locale et favoriser les entreprises locales. **- Enveloppe, nature des matériaux :** choisir des matériaux d'enveloppe issus de la production locale et favoriser les entreprises locales. **- Séparations, nature des matériaux :** choisir des matériaux de séparation issus de la production locale et favoriser les entreprises locales. **- Ouvertures, nature des matériaux :** choisir des matériaux d'ouvertures issus de la production locale et favoriser les entreprises locales. **- Finitions, nature des matériaux :** choisir des matériaux de finition issus de la production locale et favoriser les entreprises locales.
Gestion de l'eau		
Gestion des eaux sur la parcelle.	F-PS 1-E 1-AE	**- Positionnement du bâtiment dans le site :** favoriser les espaces perméables, placer le bâtiment afin de minimiser les espaces bâtis. **- Enveloppe, nature des matériaux** : favoriser des enveloppes temporisant les fortes pluies. **- Aménagement extérieur, répartition générale :** aménager l'extérieur en favorisant la perméabilité du sol et gérer le parcours de la pluie et son écoulement sur la parcelle (fossés, noues...).
Utilisation de l'eau pluviale.	F-VO **ET** 1-E **ET** 1-OI F-SE	**- Volumétrie du bâtiment/Enveloppe, nature des matériaux/ Organisation interne, répartition générale** : permettre de capter les eaux de pluie (nature des matériaux) et gérer la taille des surfaces de captage qui doit être en adéquation avec les besoins du bâtiment. Prévoir la place pour le stockage dans l'aménagement. **- Sanitaire et eaux, mise en œuvre des équipements** : création de circuits d'alimentation distincts entre l'eau potable et l'eau de pluie permettant une bonne distribution en fonction des usages.
Limitation de la consommation et de la pollution de l'eau.	1-OI F-AE 2-SE F-SE	**- Organisation interne, répartition générale** :le regroupement des pièces d'eau permet de limiter la consommation d'eau. **- Sanitaire et eaux, nature des équipements**: choix des équipements sanitaires économes en eaux. **- Équipements sanitaires, mise en œuvre des équipements** : séparer les réseaux d'alimentation en fonction des besoins de qualité d'eau ; et séparer les réseaux d'évacuation (eaux grises, eaux de pluie, eaux noires) afin de limiter les traitements des eaux et de limiter le volume d'eau à épurer. - **Aménagement extérieur, calage de dimensions :** favoriser un aménagement limitant les besoins en eau d'arrosage ou de nettoyage.
Qualité de l'eau potable.	1-OI F-SE	**- Organisation interne, répartition générale** : positionner les pièces afin de limiter la longueur du réseau d'eau. **Sanitaire et eaux, mise en œuvre des équipements** : favoriser le circuit court, éviter les bras morts, favoriser des matériaux résistants aux hautes températures et à la corrosion. Il est également préférable de faciliter l'accès aux différents circuits pour faciliter la maintenance.

Protection des fortes précipitations.	F-VO 1-OI 1-E	**- Organisation interne, répartition générale/Volumétrie du bâtiment** : protéger les habitants des fortes précipitations, seuil, accès, cheminement, lieux de vie extérieurs, etc. **- Enveloppe, nature des matériaux/volumétrie du bâtiment** : protéger le bâtiment des fortes précipitations qui risqueraient de l'endommager (choix de l'enveloppe, débords de toiture...).
Gestion de l'énergie et confort thermique		
Utilisation et gestion des apports solaires passifs.	F-PS **ET** 1-OI 1-O 1-I	**- Organisation interne, répartition générale/positionnement du bâtiment dans le site :** le rayonnement solaire reçu dépend de l'orientation et de la taille des ouvertures. Positionner et dimensionner les surfaces vitrées afin d'optimiser les apports solaires. **- Ouvertures, natures de matériaux :** le rayonnement solaire reçu dépend de la nature des ouvertures. Choisir des ouvertures afin de faciliter le captage des rayonnements solaires. **- Séparations, nature des matériaux :** pour stocker et diffuser la chaleur, il faut placer des matériaux à inertie d'absorption au niveau des surfaces de captage des rayonnements solaires. Gérer les apports solaires permet d'obtenir une température plus constante.
Limitation des déperditions.	F-VO 1-E 2-E F-E 1-O F-O	**- Volumétrie du bâtiment :** limiter l'échange en réduisant les surfaces en contact avec l'extérieur. **- Enveloppe, nature des matériaux :** choisir une enveloppe en fonction de sa capacité isolante. **- Enveloppe, nature des matériaux détaillés et dimensionnés :** choisir et dimensionner l'enveloppe en fonction de sa capacité isolante. **- Enveloppe, mise en œuvre :** choisir des dispositions de construction et de mise en œuvre limitant les ponts thermiques et favorisant l'étanchéité à l'air. **- Ouvertures, nature des matériaux :** Choisir des ouvertures en fonction de leur.
Apports complémentaires de chaleur.	1-AT	**- Chauffage et climatisation, nature des équipements :** choisir des équipements en adéquation avec les besoins en privilégiant les combustibles renouvelables.
Temporisation et isolation de la chaleur extérieure.	F-PS **ET** 1-E 2-E	**- Enveloppe, nature des matériaux/positionnement du bâtiment dans le site :** Choisir l'inertie et la couleur de l'enveloppe (nature) en fonction de son orientation et de son ensoleillement. **- Enveloppe, nature des matériaux détaillés et dimensionnés:** Choisir et dimensionner l'enveloppe (nature, épaisseur) en fonction de son orientation et de son ensoleillement.
Protection du rayonnement solaire direct.	F-PS **ET** 1-OI F-VO 1-O 2-O	**- Organisation interne, répartition générale/positionnement du bâtiment dans le site :** le choix de l'orientation, la taille et l'inclinaison, le nombre des ouvertures a une influence sur la pénétration du rayonnement directe. **- Volumétrie du bâtiment** : porter une réflexion pour protéger individuellement, du rayonnement solaire, chaque fenêtre (débords de toitures, balcons, végétations, brises-soleil...). **- Ouvertures, nature des protections :** Porter une réflexion pour protéger individuellement, du rayonnement solaire, chaque fenêtre (volets roulants, stores...). **- Ouvertures, natures des matériaux :** choisir des ouvertures avec une bonne qualité isolante, limitant la pénétration des rayonnements et de la chaleur.
Création d'un mouvement d'air permanent.	1-OI **ET** F-PS 1-E 1-I 1-RA	**- Organisation interne, réparation générale/positionnement du bâtiment dans le site :** organiser l'intérieur et les ouvertures en fonction du site (obstacles, bâtis...) et des vents afin de créer des volumes traversants et des différences de pression permettant une ventilation naturelle. **- Enveloppe, nature des matériaux générale** : choisir des parois poreuses permettant d'augmenter la circulation de l'air. **- Séparations, nature des matériaux** : choisir des parois poreuses permettant d'augmenter la circulation de l'air. **- Renouvellement d'air, nature des équipements :** mettre en place un système de ventilation complémentaire si besoin (ventilation mécanique...).

Réduction des surchauffes internes pendant les périodes les plus fraiches.	1-OI **ET** F-PS 2-RA	**- Organisation interne, répartition générale/positionnement du bâtiment dans le site :** organiser l'intérieur et les ouvertures en fonction du site et des vents afin de créer des volumes traversants et des différences de pression permettant une ventilation naturelle. **- Renouvellement d'air, système de contrôle :** des sondes peuvent également faciliter l'évacuation de la chaleur en automatisant le système de ventilation ou les ouvertures de fenêtres.
Organisation intérieure spécifique et hiérarchisation des espaces.	1-OI **ET** F-PS	**- Organisation interne, répartition générale/positionnement du bâtiment dans le site :** organiser et orienter les pièces en fonction des besoins d'ambiances thermiques et des rythmes de saisons extérieurs.
Réduction de la consommation électrique.	1-OI 1-EC 2-EC 1-RA 2-RA	**- Organisation interne, répartition générale :** organiser l'intérieur et les ouvertures afin de favoriser l'éclairage naturel (pièces de vie et de circulation), limitant ainsi la consommation excessive de lumière artificielle. **- Renouvellement d'air, choix des équipements :** choisir des équipements en fonction de leur consommation électrique. **- Renouvellement d'air, contrôles des équipements :** mettre en place des systèmes de contrôle (sondes...) de la ventilation permet de l'optimiser et donc de limiter la consommation d'énergie. **- Courant faible-fort, choix des équipements lumineux :** choisir des équipements lumineux économes en énergie. **- Courant faible-fort, contrôles des équipements lumineux :** mettre en place des systèmes de contrôle (capteurs de mouvements, capteurs de luminosité...) des équipements lumineux permet de les optimiser et donc de limiter la consommation d'énergie.
Utilisation d'énergie renouvelable.	1-SE 1-RA 1-AT 3-EC	**- Chauffage et climatisation, choix des équipements :** choisir des équipements favorisant l'énergie renouvelable limitant ainsi l'épuisement des ressources. **- Sanitaire et eaux, choix des équipements d'eau chaude sanitaire:** choisir des équipements favorisant l'énergie renouvelable limitant ainsi l'épuisement des ressources. **- Renouvellement d'air, choix des équipements de renouvellement d'air :** choisir des équipements favorisant l'énergie renouvelable limitant ainsi l'épuisement des ressources. **- Courant faible-fort, choix de production électrique** : choisir des équipements favorisant l'énergie renouvelable limitant ainsi l'épuisement des ressources.
Qualité de l'air		
Système de renouvellement d'air.	1-OI **ET** F-PS 1-RA 2-RA	**- Organisation interne, répartition générale/positionnement du bâtiment dans le site :** favoriser en période favorable la ventilation naturelle en organisant l'intérieur pour faciliter la circulation de l'air (schéma de circulation de l'air, pression différentielle). **- Renouvellement de l'air, nature des équipements** : Choisir un système de ventilation en adéquation avec les besoins internes des usages. **- Renouvellement de l'air, contrôle des équipements** : l'utilisation de sondes COV ou CO2 permettre d'assurer une ventilation flexible et donc optimisée.
Limitation des polluants.	1-OI **ET** F-PS 1-F	**- Organisation interne, répartition générale/positionnement du bâtiment dans le site :** séparer les espaces de vie des sources de pollutions internes et externes, en organisant l'intérieur et en limitant les communications. - **Finitions, nature des matériaux** : choisir des revêtements émettant peu ou pas de substance nocive (colle, COV...) et favoriser les matériaux ne nécessitant pas de produits d'entretien.
Gestion de l'hygrométrie.	2-E F-E	**- Enveloppe, nature des matériaux détaillés** : favoriser les matériaux facilitant les échanges hygrométriques. **- Enveloppe, mise en œuvre :** Mettre en œuvre les matériaux afin de limiter les infiltrations d'eau de pluie, les remontées d'eau par le sol, etc.

Confort acoustique		
Optimisation de l'aménagement architectural.	1-OI **ET** F-VO **ET** F-PS	**- Organisation interne, répartition générale/volumétrie du bâtiment/ positionnement du bâtiment dans le site :** agencer les pièces (zonage acoustique, espaces tampons) en fonction des nuisances engendrées dans chaque pièce, mais également en fonction des nuisances extérieures. La volumétrie du bâtiment peu également servir d'écran antibruit.
Réduction de la transmission des nuisances entre les zones.	1-I F-I F- EC	**- Séparations, nature des matériaux** : limiter les transmissions latérales des parois en choisissant des matériaux de séparation et de cloisonnement ayant des indices d'affaiblissement conformes avec les besoins d'usage. **- Séparations, mise en œuvre** : porter une attention particulière à la mise en œuvre des séparations afin de limiter la transmission sonore (liaisons entre les séparations, passages de gaines...). **- Courant faible-fort, mise en œuvre** : porter une attention particulière au positionnement et à la mise en œuvre des prises afin de limiter les failles dans le cloisonnement.
Traitement spécifique des façades exposées aux nuisances.	1E 1-O F-O	**- Enveloppe, nature des matériaux** : la qualité et la quantité des matériaux de façades sont essentielles pour la qualité acoustique de l'enveloppe. **- Ouvertures, nature des matériaux :** la qualité des vitrages est essentielle dans la qualité acoustique de l'enveloppe. **- Ouvertures, mise en œuvre** : porter une attention particulière à la mise en œuvre des ouvertures (joint, volet roulant...) afin de limiter la transmission latérale des parois.
Traitement acoustique de l'espace.	1-OI **ET** F-VO 1-F	**- Organisation interne, répartition générale/volumétrie du bâtiment :** Choisir des proportions de pièces et des volumétries en adéquation avec les besoins d'usages (plus les formes sont complexes, moins le son résonne). - **Finitions, nature des matériaux :** choisir la nature des matériaux intérieurs (absorbant ou réfléchissant) en fonction des besoins d'usages.
Confort Visuel		
Limitation de l'éblouissement.	1-OI **ET** F-PS **ET** F-VO 1-O 2-O 1-F	**- Organisation interne, répartition générale/positionnement du bâtiment dans le site/volumétrie :** la position, la proportion et le nombre de fenêtres peuvent permettre de diminuer le contraste et donc les sensations d'éblouissement. La volumétrie même du bâtiment peut constituer des brises-soleil permettant de limiter l'éblouissement. **- Ouvertures, nature des matériaux** : le contraste peut être diminué par le choix des châssis (couleur, brillance). **- Ouvertures, nature des équipements de protection mobile:** La mise en place de protections peut limiter l'éblouissement et peut également participer à la répartition de la lumière à l'intérieur de l'espace. **- Finitions, nature des matériaux :** Choisir des revêtements (couleur, brillance, réflexion) qui limitent les contrastes mur-fenêtre.
Apport de lumière naturelle suffisant.	1-OI **ET** F-PS 1-AE 1-O	**-Organisation interne, répartition générale/positionnement du bâtiment dans le site :** favoriser un maximum l'éclairage naturel en organisant l'espace intérieur et les ouvertures. Optimiser la taille des ouvertures en fonction de l'orientation des façades et des besoins des usagers. **- Ouvertures, nature des matériaux** : choisir des baies vitrées dont la nature (rugosité, épaisseur...) correspond aux besoins intérieurs. - **Aménagement extérieur, répartition générale :** Vérifier que les abords ne créent pas de barrières à la pénétration de la lumière.
Qualité de la vue sur l'extérieur.	1-OI **ET** F-PS	**- Organisation interne, répartition générale/positionnement du bâtiment du bâtiment** : organiser l'intérieur et les ouvertures pour permettre des vues de qualité vers l'extérieur.
Qualité de la lumière artificielle.	1-EC	**- Courant faible-fort, nature des équipements lumineux :** choisir des équipements de qualité (intensité, couleur...) et économes et les placer en fonction des besoins des usagers.

Annexe 7 : questionnaire



Annexe 8 : Programme expérimentation 1, foyer étudiant de l'île de Corse

Le projet du foyer étudiant se situe au croisement de la rue de l'île de Corse et l'avenue du 20e Corps à Nancy, un quartier en construction. Le projet respectera les hauteurs avoisinantes R+5. Le projet devra être soit mitoyen au bâtiment ou respecter un retrait égal à la moitié de sa hauteur. La surface totale du bâtiment sera environ de 1000 m2 et il sera composé de 1/4 de chambres couples et 3/4 de chambres groupées.

RDC:

Le rez-de-chaussée sera composé des commodités nécessaires au bon fonctionnement d'une résidence pour étudiant :

- Un local vélos: 20m^2
- hall d'entrée : 15 m^2 disposant de boites aux lettres.
- Une salle polyvalente: 70 à 90 m^2 un espace de rencontre accueillant espace de jeu (billard, baby-foot...) espace de sport (musculation...) et des distributeurs.
- Une salle photocopie : 10m^2
- Une laverie : 10m^2
- un local poubelle: 15m^2
- Espace de circulation verticale
- Bureau : 15m^2

Un espace extérieur : jardin accessible pour les résidents (espace arboré, espace barbecue...)

Étages :

Chambres groupées :

Logement constitué d'une entrée, d'une pièce principale, kitchenette, une entrée, 4 chambres, salle d'eau et wc. Environ 80m2.

- Entée: 5m^2.
- Pièce principale : 20m^2, composé d'un coin-cuisine, lieu de regroupement (table, fauteuils).
- Les chambres : au nombre de 4 entre 11 et 13 m^2, organisées autour de la pièce principale.
- Salle de douche: au nombre de 2, composées d'une douche et d'un lavabo.
- WC: séparé des salles de douches.

Chambre couple :

Logement 2 pièces avec kitchenette, entrée, chambre et salle d'eau. Environ 35 m2.

- Chambre : une chambre entre 11 et 13m2.
- Pièce principale : 18 m2 avec kitchenette, espace pour table et canapé et un espace entré.
- Salle de bain : avec douche lavabo et WC.

-> Privilégier si possible des prolongements extérieurs.

Rendu 18 janvier 2010 18 h : Sur 2 A3 horizontales :

- Un plan masse présentant le positionnement du bâtiment dans le site 1/500
- Organisation interne des étages avec les positionnements des ouvertures
- Volumétrie du bâtiment, perspective ou axonométrie
- Nature des matériaux de structure et d'enveloppe
- Texte d'intentions environnementales

Rendu 26 janvier 2010 18 h : Sur A3 horizontales :

- Un plan masse présentant le positionnement du bâtiment dans le site 1/500
- Plan informé du RDC et des étages courants au 1/100
- Vues 3d (perspective ou axonométrie)

Sur A4 :

- Texte sur la stratégie environnementale (2 pages)

Annexe 9 : Programme expérimentation « 3 », Maison des jardins partagés

1 Contexte

Aujourd'hui, les préoccupations environnementales, contribuent à rechercher de nouveaux types de conception et à développer des approches architecturales soucieuses de concilier le confort des usagers avec une utilisation économe des ressources et une empreinte faible sur la planète.

2 Projet

L'objectif est de concevoir un équipement pour promouvoir le jardinage auprès du grand public. Lieu de rencontre, de formation et d'échange au pied des jardins ouvriers de l'étang de la Méchelle, le bâtiment respectera le cahier des charges donné ci-−après (cf. éléments de programme). D'une superficie proche de 700 m² son objectif est de produire une architecture sensible à l'environnement et pédagogique pour ceux qui la pratiqueront.

3 Site

Le terrain se situe à Nancy entre le stade Marcel Picot et l'étang de la Méchelle.

Données climatiques	**Nancy**	**Moyenne nationale**
Ensoleillement	1 638 h / an	1 973 h / an
Pluie	759 mm / an	770 mm / an
Neige	31 j / an	14 j / an
Orage	26 j / an	22 j / an
Brouillard	54 j / an	40 j / an
Température	-24,8 (1956)	
	+39,3 (2003)	

4 Règles constructives

Le bâtiment cherchera à développer des solutions constructives en utilisant les techniques et les produits vus en cours de technologie :

- maçonnerie de blocs en terre cuite ou béton (pleins, creux, à isolation intégrée, ...),
- murs à ossature légère en bois,
- système poteau-poutre en bois, en acier,
- couverture en tuiles, bardeaux, bac acier… Le toit terrasse est exclu et la pente minimale imposée est de 30°.

Selon le projet développé, il est possible de travailler en associant divers matériaux.

Le bâtiment étant en étroite relation avec le site, le concepteur se préoccupera dès l'esquisse des critères environnementaux qui permettront à cet édifice d'être confortable, économe et durable. Le toit renverra vers des problématiques de récupération de l'eau de pluie et/ou celle de l'utilisation de capteurs solaires thermiques ou photovoltaïques. Les systèmes de protections solaires et la ventilation du bâtiment seront également étudiés. Toutes ces préoccupations devront s'inscrire dans un souci de confort d'été et d'hiver de cette construction et viser un objectif de basse consommation d'énergie.

Les solutions mises en œuvre devront prendre une dimension sensible pour le public. Les ambiances, selon les espaces, seront propices au travail, à la convivialité et à la rencontre. Les éléments naturels comme l'eau, le soleil et l'air seront le premier matériau dans le développement, l'organisation et la répartition des espaces. Chaque pièce devra bénéficier de lumière naturelle.

L'ensemble bâti respectera les normes liées au handicap des personnes.

5 Objectifs pédagogiques

- Penser la relation entre forme, structure, matériaux, ambiances et qualité environnementale.
- Inventer un langage architectonique fondé sur la dimension constructive et environnementale du projet.
- Apprendre à travailler à plusieurs (découpage des tâches, coordination des travaux, partage des ressources…)

6 Méthodes de travail

Le travail se fera en équipe de 3 étudiants.

A chaque séance, le groupe aura :

- la maquette du terrain,
- le matériel nécessaire au travail en maquette : carton, colle, cutter … et planche à découper,
- le matériel de dessin,
- le classeur de documents techniques suite aux recherches documentaires effectuées,
- un appareil photo.

Un cahier ou classeur de format A4 archivera le travail mené lors des séances d'ateliers ainsi que les recherches documentaires : références, matériaux...

7 Critères de notation

- Qualité globale du projet : cohérence entre système technique et système formel.
- Organisation spatiale.
- Qualité des détails
- Qualité des documents présentés (maquette et planches finales) et de la présentation orale.

ELEMENTS DE PROGRAMME

La maison des jardins partagés sert à :

- accueillir et renseigner les visiteurs.
- exposer et/ou présenter toute sorte de produits en rapport avec le jardinage du livre aux légumes en passant par les outils de jardins. La vente sur place est possible.
- former et informer tous les publics au jardinage.

Tableau des surfaces

Un hall d'accueil avec secrétariat qui permet de présenter des expositions	80 m²
Un pôle pour les services de l'association avec :	
un bureau de direction	15 m²
un bureau de comptabilité	15 m²
un bureau animation – communication	15 m²
un bureau formation	15 m²
une salle de réunion capacité de 10 personnes	30 m²
Un local reprographie, rangement	15 m²
Un local de nettoyage et d'entretien	6 m²
Un sanitaire homme/femme	12 m²
Une halle fermée d'une hauteur minimum de 4 m et d'une largeur minimum de 12 m qui abrite le marché des producteurs locaux et les diverses manifestations en lien avec les jardins	250 m²
Un sanitaire public attenant à la halle	12 m²

Un local de rangement et d'entretien attenant à la halle	12 m²
Un atelier pour l'entretien des espaces extérieurs et la réparation des outils de jardins	50 m²
20 boxes de 5 m² pour le rangement du matériel de jardin accessibles de l'extérieur	100 m²
Un sanitaire pour les jardiniers en lien avec la halle	5 m²
Une cuisine avec salle pour les repas tirés du sac	40 m²
Des locaux techniques pour le chauffage, la ventilation et de l'eau chaude sanitaire	50 m²
Local poubelle avec tri sélectif	15 m²
Une plate-forme de compostage	

Annexe 10 : Questionnaire « concepteur »

	VRAI	ASSEZ VRAI	NEUTRE	PEU VRAI	PAS DU TOUT VRAI
Expe1	**Expe3**	**Pertinence du référentiel**					
X	**X**	Le référentiel proposé représente-t-il bien les enjeux environnementaux liés au monde du bâtiment ?					
		Commentaire :					
X	**X**	La contextualisation proposée vous semble-t-elle pertinente pour le contexte de projet auquel vous avez été confronté ?					
		Commentaire :					
X	**X**	La prise en considération des différents critères, en fonction de l'avancement du projet, vous semble-t-elle pertinente ?					
		Commentaire :					
X	**X**	Les définitions de critères vous ont-elles permis de rectifier votre proposition ?					
		Commentaire :					
X	**X**	Les définitions de critères vous ont-elles permis d'avancer dans votre proposition ?					
		Commentaire :					
X	**X**	Les définitions de critères vous ont-elles permis d'enrichir votre connaissance des enjeux environnementaux ?					
		Commentaire :					
X	**X**	Les définitions de critères sont-elles un frein à votre créativité ?					
		Commentaire :					
		Pertinence de l'évaluation					
X	**X**	Une évaluation environnementale au stade de la conception vous semble-t-elle pertinente ?					
		Commentaire :					
X	**X**	Les notes et les commentaires vous ont-ils permis de rectifier votre proposition ?					
		Commentaire :					
X	**X**	Les notes et les commentaires vous ont-ils permis d'avancer dans votre proposition ?					
		Commentaire :					

X	**X**	Les notes et les commentaires vous ont-ils permis d'enrichir votre connaissance des enjeux environnementaux ?					
		Commentaire :					
X	**X**	Les notes et les commentaires sont-ils un frein à votre créativité ?					
		Commentaire :					
		Pertinence des visualisations					
X	**X**	La visualisation en radar du profil vous semble-t-elle pertinente ?					
		Commentaire :					
X	**X**	Sur le profil, l'importance de chaque objectif vous semble-t-elle bien claire ?					
		Commentaire :					
X	**X**	Le profil idéal, représentant l'idéal environnemental pour l'avancement du projet, vous semble-t-il utile dans la visualisation ?					
		Commentaire :					
	X	Le rapport d'évaluation proposé vous semble-t-il clair pour identifier les points forts et faibles ?					
		Commentaire :					
Commentaires généraux :							

Annexe 11: Questionnaire « évaluateur »

	VRAI	ASSEZ VRAI	NEUTRE	PEU VRAI	PAS DU TOUT VRAI
Expe2	**Expe3**	**Pertinence du Référentiel**					
	X	Une évaluation environnementale au stade de la conception vous semble-t-elle pertinente ?					
		Commentaire :					
X	**X**	Le référentiel proposé représente-t-il bien les enjeux environnementaux liés au monde du bâtiment ?					
		Commentaire :					
X	**X**	La contextualisation proposée vous semble-t-elle pertinente pour les contextes de projet auxquels vous avez été confrontés ?					
		Commentaire :					
	X	Le référentiel vous semble-t-il adapté à une situation d'évaluation pendant la conception ? Pourquoi ?					
		Commentaire :					
X		Le référentiel vous semble-t-il adapté à une situation de jury de concours ? Pourquoi ?					
		Commentaire :					
	X	L'évaluation progressive en fonction de l'avancement du projet vous semble-t-elle pertinente ?					
		Commentaire :					
X	**X**	Le nombre de critères vous semble-t-il trop important ?					
		Si oui, lesquels enlèveriez-vous ?					
X	**X**	Le référentiel vous semble-t-il suffisamment complet ?					
		Si non, quels critères rajouteriez-vous ?					
		Pertinence des visualisations					
X	**X**	La visualisation en radar du profil vous semble-t-elle pertinente ?					
		Commentaire :					
X	**X**	Sur le profil, l'importance de chaque objectif vous semble-t-elle bien claire ?					
		Commentaire :					
		Pertinence de l'application					
	X	L'application vous semble-t-elle adaptée à un support d'évaluation ? Pourquoi ?					
		Commentaire :					

	X	La navigation et l'organisation de l'application vous semblent-elles compréhensibles ?					
		Commentaire :					
Commentaires généraux :							

Résumé

Éco-profil : un outil d'assistance à l'éco-conception architecturale.

Cette recherche porte sur le développement d'une méthode d'estimation de la qualité environnementale afin d'assister l'éco-conception. Nous avons nommé cette méthode Éco-Profil. Nous nous sommes attachés plus singulièrement à développer un outil adapté aux particularités de la conception architecturale, l'objectif étant de favoriser une (re)mise en question environnementale le plus tôt possible dans le processus de conception.

Après avoir exploré différentes approches et outils d'assistance environnementale, nous avons identifié les limites qui expliquent, en partie, les difficultés de ces outils à être intégrés dans la conception architecturale. Certaines phases de conception semblent ne bénéficier que de peu d'assistance, notamment les étapes préliminaires. Pourtant nous savons qu'elles sont essentielles à l'intégration des enjeux environnementaux.

Nous proposons une méthode pour assister l'ensemble de la conception architecturale en réponse aux limites identifiées. Une approche estimative par référentiel est mise en place. Elle comporte la particularité d'être globale, qualitative, contextualisé et progressive et possède une instrumentation visuelle analysable. C'est notamment ces caractéristiques qui permettent l'utilisation de la méthode lors des phases de conception en proposant au concepteur le ou les profils environnementaux de son projet.

Le développement d'une application prototype nous a conduits à une expérimentation d'Éco-profil. Différents tests ont largement confirmé les hypothèses formulées et la pertinence de la méthode proposée.

Mots-clés : Conception architecturale, phases préliminaires, éco-conception, estimation environnementale, profil environnemental.

Abstract

« Éco-profil »: a tool to assist sustainable architectural design.

This research concerns the development of a method to estimate the environmental quality to assist eco-design in architecture. We named this method « Éco-Profil ». We focused more particularly to develop o toot adapted the specificities of architectural design, the aim is to promote environmental challenge as early as possible in the design process.

After exploring various approaches and tools for environmental assistance, we have identified some limitations that explain, in part, the difficulties of integration in architectural design. Some phases of design seem appear to get that bit of assistance, including the preliminary stages. Yet they appear to be essential to the integration of environmental issues.

We propose a method to assist the overall architectural design in response to the identified limitations. A assessment method per referential is set up, which has the distinction of being comprehensive, qualitative, contextualized and progressive and which has a analysable visual instrumentation. This is particularly this features that allow the use of the method in the design phases and thus provide environmental profiles to the designer.

The development of visual tools and an application led us to experiment « Éco-Profil ». These tests have largely confirmed the assumptions made and the relevance of the proposed method.

Keywords: Architectural design, preliminary phases, eco-design, environmental assessment, environmental profile.