

École Doctorale RP2E (Ressources, Procédés, Produit, Environnement)

Équipe de Recherche sur les Processus Innovatifs (ERPI)

Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie (CRAI)

Éco-conception collaborative de bâtiments durables

Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de

Docteur de l'Institut National Polytechnique de Lorraine

en Génie des Systèmes Industriels

par

Vida Gholipour

Soutenance le 01 juillet 2011

Jury

M. Jean-Jaques TERRIN

Professeur, HDR, l'École nationale supérieure d'architecture de Versailles

Rapporteur

M. Bernard YANNOU

Professeur, HDR, École Centrale Paris

Rapporteur

M. Mohammad-Mehdi MAHMOUDI

Professeur, Faculté de l'architecture et de l'urbanisme, Université de Téhéran

Examineur

M. Riad BENELMIR

Professeur, HDR, LERMAB, Université Henri Poincaré, Nancy

Examineur

M. Jean-Claude BIGNON

Professeur, HDR, CRAI, Institut National Polytechnique de Lorraine

Co-directeur de thèse

Mme. Laure MOREL

Professeur, HDR, ERPI, Institut National Polytechnique de Lorraine

Directeur de thèse

Équipe de Recherche sur les Processus Innovatifs, 8, , rue bastien Lepage- 54 010 Nancy

Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie : 2, rue bastien Lepage- 54 000 Nancy

À Mahin et Yaghob

À Ava et Taha

« Ask a difficult question, and the marvelous answer appears. »

Molavi Rumi, the poem Joy at Sudden Disappointment

Remerciements

Cette thèse, réalisée durant un peu plus de trois ans, est le fruit d'une collaboration étroite entre l'Équipe de Recherche sur les Processus Innovatifs (ERPI) et le Centre de Recherche en Architecture et en Ingénierie (CRAI) de l'Institut National Polytechnique de Lorraine. Elle a été financée par une allocation de recherche du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche de la France. Je tiens à remercier ceux qui ont permis la réalisation de cette thèse :

Je remercie sincèrement Mme Laure MOREL, Professeur des Universités et Directeur de l'ERPI pour son rôle en tant que directrice de cette thèse, pour ses conseils précieux et les nombreuses relectures et corrections pendant la structuration et rédaction de la thèse. J'ai beaucoup appris de votre rigueur et votre esprit scientifique.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à M. Jean-Claude BIGNON pour son rôle en tant que co-directeur de cette thèse. Grace à vous, j'ai beaucoup appris aussi bien dans le domaine de la recherche que dans le domaine de l'architecture.

Je remercie, M. Jean-Jaque TERRIN Professeur à l'École nationale supérieure d'architecture de Versailles et M. Bernard YANNOU, Professeur à l'École Centrale Paris, pour avoir accepté de juger ce travail en tant que rapporteurs, ainsi que M. Mohammad-Mehdi MAHMOUDI Professeur à Faculté de l'architecture et de l'urbanisme de l' Université de Téhéran et M. Riad BENELMIR, Professeur à l'Université Henri Poincaré de Nancy, pour avoir accepté d'être membres du jury en tant qu'examineurs.

Je remercie une fois de plus M. Pascal HUMBERT, Ingénieur de recherche au CRAI qui a assuré le développement d'éco.mod et a aidé à aboutir ce travail de recherche.

Je remercie M. Pascal LHOST, directeur de GSI, M. Vincent BOLY, professeur à l'ERPI, M. Olivier CHERRY, chercheur à l'ERPI, et M. Gilles HALIN, chercheur au CRAI, Mme Frederique MAYER, chercheur à l'ERPI, pour leurs conseils précieux tout au long de mes recherches.

Je tiens à remercier M. Patrick TRUCHOT, professeur à l'ERPI pour m'avoir guidée et conseillée pour une étape importante de ce travail : la soutenance.

Un très grand merci à tous les membres de l'ERPI et du CRAI, ainsi que tous les membres de l'ENSGSI pour leur soutien, leur sympathie et l'ambiance du travail chaleureuse à laquelle ils contribuent tous.

J'adresse également mes remerciements aux nombreuses personnes avec qui j'ai pris plaisir à échanger durant ce travail de recherche : Charline, Laurent, Adeline, Negar, Jean-Luce.

Un très grand merci à tous mes amis d'ici et d'ailleurs pour leur soutien et leur sympathie : Sahar, Gaby, Reza, Pierre, Elena, Anna, Sinuhé, Ricardo, Adan, Marcelo, Karina, Samira, Parinaz... Une fois de plus merci à Taha, Sophie, Sarah, Guillaume et Salma pour leur soutien durant la rédaction de ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à ma famille : à mes parents pour l'amour, l'éducation, les expériences, les supports financiers, les voyages découverts, la liberté de choix et les opportunités ... qu'ils m'ont offerts et à mon grand frère et ma petite soeur pour avoir cru en moi et supporter ces longues années de séparation :

« Pedar, Madar, Baradar va khahare mehrabanam, har cheh daram az shomast... »

Merci à toi, pour ton soutien et pour les expériences que tu m'as offertes...

Résumé

Aider les concepteurs à améliorer la qualité environnementale de leur projet durant la phase d'esquisse peut contribuer à un meilleur profil environnemental des réalisations finales.

Face aux nouvelles exigences liées au développement durable (ressources énergétiques, matériaux de proximité...), les concepteurs doivent conduire un travail d'ajustement entre le contexte du projet et les solutions architecturales qui est de plus en plus complexe.

Pour aider les concepteurs dans ce travail, nous proposons une méthode fondée sur l'usage de *patrons de conception* orientés environnement que nous nommons *éco-modèles* . Ces patrons s'apparentent à des solutions types éprouvées par de nombreux concepteurs. Les éco-modèles et les réalisations où ils ont été utilisés ont été implémentés dans un outil numérique appelé éco.mod. Grâce à une interface spécifique, les concepteurs peuvent naviguer dans cette base de données, sélectionner des éco-modèles et construire un scénario environnemental adapté à leurs projets architecturaux. L'outil éco.mod leur permet de visualiser les conséquences environnementales de leurs choix.

Deux expérimentations, assistées par cet outil, ont largement confirmé nos hypothèses sur la pertinence de la méthode proposée et l'outil associé.

Mots-clés : éco-conception, phases d'esquisse, conception architecturale, éco-modèle, outil numérique

Abstract

Assisting designers in improvement of environmental quality of their project, early in the sketch phase, could result in a better environmental profile of the final product. Designers are facing new necessities related to sustainable development, such as considering sources of energy and usage of local materials, among others. To find a compromise between the project's context and architectural solutions, one has to carry out complex adjustment tasks to address this issue.

To help designers with these tasks, we proposed a method founded on the usage of environment-oriented "*design patterns*", which we have named "*eco-models*". By being used in their projects, these eco-models are approved by many designers as plausible solutions. The *eco-models* and the actual projects in which they have been used are gathered and implemented in a (web-based) digital tool, named "*eco.mod.*"

The interface of *eco.mod* enable designers to navigate in the database, and select appropriate *eco-models* to create an environmental scenario for their own architectural project. The *eco.mod* tool allows users to visualize the environmental consequences of theirs choices. Two experiments assisted by this tool have been conducted, and have mainly confirmed our hypothesis about efficacy of this proposed method and its associated tool.

Keywords: eco-design, sketch phase, architectural design, eco-models, digital tool

Table des matières

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	20
PARTIE 1 : ÉTAT DE L'ART SUR LA CONCEPTION ENVIRONNEMENTALE DE BÂTIMENTS..	24
CHAPITRE 1 – LES ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX DANS LA CONCEPTION	25
1.1. <i>L'évolution de la pensée environnementale</i>	25
1.2. <i>La gestion énergétique au centre des réflexions sur la durabilité</i>	27
1.3. <i>Les enjeux environnementaux dans le bâtiment</i>	29
1.3.1. <i>Les origines</i>	29
1.3.2 <i>La reconnaissance</i>	34
1.4. <i>L'éco-conception</i>	35
1.4.1. <i>La complexité et l'incertitude de l'éco-conception</i>	36
1.4.2. <i>L'ajustement progressif dans un processus d'éco-conception</i>	38
1.5. <i>La prise en compte de la phase amont de la conception dans un projet de bâtiment</i>	40
1.5.1. <i>Le projet architectural de bâtiment</i>	40
1.5.2. <i>L'importance de la phase amont dans la conception architecturale</i>	43
CHAPITRE 2- LES APPROCHES, METHODES ET OUTILS D'ASSISTANCE AU PROCESSUS DE CONCEPTION	48
2.1. <i>Les approches, méthodes et outils d'aide à la résolution de problèmes</i>	48
2.1.1. <i>Conception collective</i>	49
2.1.2. <i>Retour d'expérience</i>	51
2.1.3. <i>Réutilisation des précédents</i>	55
2.2. <i>Les outils et méthodes d'aide à la proposition de solutions</i>	60
2.2.1. <i>La génération des formes</i>	60
2.3. <i>Les approches d'aide à la conception par l'évaluation</i>	63
2.3.1. <i>Les outils de mesure</i>	64
2.3.2. <i>Les approches par référentiels et labellisations</i>	67
2.3.3. <i>Les approches combinées</i>	71
2.4. <i>Bilan sur les approches d'aide à la conception</i>	74
2.4.1. <i>Critique des approches du groupe 1</i>	77
2.4.2. <i>Critique des approches du groupe 2</i>	82
2.4.3. <i>Critique des approches du groupes 3</i>	83
CONCLUSION DE LA PARTIE 1	87
PARTIE 2 : ÉLABORATION D'UN OUTIL D'AIDE À L'ECO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE	
BATIMENTS	89
CHAPITRE 3 - PROPOSITION D'UNE DEMARCHE DE GENERATION DES ÉCO-MODELES	91
3.1. <i>Le concept d'éco-modèle</i>	91

3.1.1. L'abstraction et la scénarisation au travers des éco-modèles	93
3.1.2. Les Éco-Modèles dans le cadre de la conception collaborative de bâtiments.....	94
3.1.3. Les éco-modèles et la créativité.....	99
3.2. Génération des éco-modèles.....	100
3.2.1. Identification des éco-modèles	101
3.2.2. Contextualisation des éco-modèles.....	107
3.2.3. Modélisation des éco-modèles	128
3.3. Application de la démarche proposée dans un exemple : l'Atrium.....	131
3.3.1. Identification de l'Atrium.....	131
3.3.2. Contextualisation de l'Atrium.....	133
3.3.3. Modélisation de l'Atrium	137
CHAPITRE 4 - PROPOSITION D'UN OUTIL BASE SUR LE CONCEPT DE L'ECO-MODELE.....	139
4.1. Élaboration du prototype.....	139
4.1.1. Besoins pressentis	140
4.1.2. Fonctions	141
4.1.3. Environnement de partage et Interactions	142
4.2. Test du prototype.....	146
4.2.1. Supports du test : Projet de conception d'un bâtiment d'accueil de la ferme expérimentale de la Bouzule.....	146
4.2.2. Déroulement du test.....	148
4.2.3. Retours et analyses.....	149
4.2.4. Bilan du test : points d'amélioration et limites.....	152
4.3. Élaboration de l'outil final	154
4.3.1. Base de données.....	154
4.3.2. Interface de consultation d'éco.mod.....	156
CONCLUSION DE LA PARTIE 2	164
PARTIE 3 : EXPÉRIMENTATION DE L'OUTIL PROPOSE SUR DEUX CAS.....	166
CHAPITRE 5 - EXPERIMENTATION 1 : CAS DE LA FERME DE LA BOUZULE	168
5.1. Protocole de l'expérimentation.....	168
5.1.1. Support de l'expérimentation : la ferme expérimentale de la Bouzule.....	168
5.1.2. Déroulement des séances.....	169
5.1.3. Choix de l'outil de présentation.....	171
5.2. Résultats de l'expérimentation.....	173
5.2.1. Observations	173
5.2.2. Évaluation environnementale.....	176
5.2.3. Questionnaire	177
5.3. Analyses des résultats.....	184
5.3.1. Analyse des observations.....	184
5.3.2. Analyse des profils environnementaux	187
5.3.3. Analyse des questionnaires.....	190
CHAPITRE 6 - EXPERIMENTATION 2 : CAS D'UN BATIMENT DE RESTAURATION RAPIDE EN 2050	197

ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS DURABLES

6.1. Support pédagogique et les objectifs de l'expérimentation	197
6.2. Protocole de l'expérimentation.....	197
6.3. Résultats et Analyses.....	199
6.3.1. Projet sans éco.mod.....	199
6.3.2. Projet avec éco.mod.....	200
6.3.3. Comparaison des projets conduits sans et avec éco.mod	204
6.3.4. Résultats et analyses à travers le questionnaire.....	205
CONCLUSION DE LA PARTIE 3	213
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	215
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	219
<i>Références</i>	220
<i>Sources icônographiques</i>	229
ANNEXES.....	231
ANNEXE 1- ENVIRONNEMENT GRAPHIQUE D'ECO.MOD.....	232
ANNEXE 2- CATEGORISATION DES CLIMATS DANS LE MONDE.....	242
ANNEXE 3 – ENVIRONNEMENT DE LA BASE DE DONNEES	243
ANNEXE 4 – DOSSIER DE LA BOUZULE	255
ANNEXE 5 – GRILLE D'ECO-PROFIL	263
ANNEXE 6 – QUESTIONNAIRE DE L'EXPERIMENTATION : CAS 1.....	264
ANNEXE 7 – QUESTIONNAIRE DE L'EXPERIMENTATION : CAS 2.....	265

LISTE DES FIGURES

Figure 1 - Émissions en 2000 [SternReview, 2006].....	28
Figure 2 - À gauche, le bâtiment durable selon [Kohler, 1999] et à droite, les rapports de la gestion énergétique avec le bâtiment durable selon [notre recherche]	29
Figure 3 - Deux exemples des pratiques vernaculaires : à gauche, les loggias et à droite, l'architecture transportable [Rudofsky, 1964]	30
Figure 4 - La continuité de la pensée environnementale dans l'architecture [notre recherche]	32
Figure 5 - La modélisation de bâtiments [Trocmé et Peuportier, 2007].....	35
Figure 6 - Schéma représentant la démarche d'ajustement progressif du concepteur [notre recherche].....	39
Figure 7 - Les phases et étapes d'un projet de bâtiment - adapté de [ADEME, 2002].....	40
Figure 8 - La représentation du processus de conception [Lawson, 2006].....	42
Figure 9 - Les évaluations progressives partagent les modifications durant le processus et réduisent le risque des changements tardifs qui sont grands et coûteux [notre recherche]	43
Figure 10 - La phase amont de la conception architecturale du bâtiment dans notre recherche.....	44
Figure 11 - La caractéristique déterminante de la phase amont de la conception dans le profil environnemental d'un produit nouveau [McAloone et Bey, 2009]	44
Figure 12 - L'importance de la phase amont dans la créativité de la forme architecturale - adapté de [Midler, 1993] pour un exemple de la conception architecturale	46
Figure 13 - Processus générique de conception en architecture/résolution de problème [Laarousi, 2007].....	49
Figure 14 - La réalisation du retour d'expérience pour aider le processus de résolution de problème [Kamsu Foguem et al., 2008].....	51
Figure 15 - Cycle du retour d'expérience [Armaghan, 2009]	52
Figure 16 - Le principe de système de raisonnement à partir de cas - adapté de [Mille, 2001]	53
Figure 17 - Les principes de la méthode TRIZ pour la résolution de problèmes [ScIng]	54
Figure 18 - Certains exemples des projets d'Alan short et associés [Short et al.].....	56
Figure 19 - Un exemple de réutilisation des précédents dans l'évolution de l'architecture navale : à gauche, la conception d'un bateau au XVIII ^e siècle et à droite, la conception d'un bateau de XX ^e siècle.....	57
Figure 20 - Schéma explicatif du principe de « Pattern language » [notre recherche]	58
Figure 21 - L'exemple d'un « pattern » et de ses contenus - adapté de [Alexander et al., 1977].....	59
Figure 22 - La vue générale de fonctionnement de l'outil génératif guidé par les qualités solaires [Marin, 2010]	61
Figure 23 - Exemples des différents thèmes architecturaux de LiberArchI – de gauche à droite : forme sous le poids du matériau ; analyses du site ; structure ; propagation du son [Jordanova, 2008]	62
Figure 24 - La structure de données du bâtiment [Peuportier, 2006]	64
Figure 25 - Les résultats graphiques des températures et rayonnement [IZUBA]	65
Figure 26 - L'interface utilisateur d'EQUER [IZUBA]	66

ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS DURABLES

Figure 27 - Les quatre niveaux de certification de LEED TM - à partir des données de [Soebarto et Williamson, 2001].....	68
Figure 28 - Les 14 cibles environnementales de la démarche HQE® - à partir des données de [AssoHQE®] ...	69
Figure 29 - Les 12 impacts évalués pour le cas de Eden Project par EVAtool [Evacology].....	71
Figure 30 - Les modèles numériques sont des entrées indispensables pour les Analyses par ECOTECT® [AECbytes, 2007]	73
Figure 31 - Les représentations visuelles des résultats des analyses par ECOTECT® [Roberts et Marsh, 2001]	74
Figure 32 - Les interprétations des acteurs dans une approche du retour d'expérience [notre recherche]	79
Figure 33 - La démarche de scénarisation à partir des éco-modèles [notre recherche]	94
Figure 34 - Favoriser les négociations entre le concepteur et la maîtrise d'ouvrages au travers des scénarios [notre recherche].....	96
Figure 35 - Interface d'échanges asynchrones contenant les éco-modèles comme les éléments de la collaboration distribuée [notre recherche]	98
Figure 36 - Le cycle de la démarche de génération des éco-modèles [notre recherche]	101
Figure 37 - Les exemples de l'architecture, de gauche à droite, vernaculaire, conventionnelle et en projet [notre recherche]	102
Figure 38 - Exemples d'étude d'une bonne pratique environnementale : forme circulaire [Émery, 2002].....	105
Figure 39 - Le travail analogique de concepteur à la recherche de proposition adaptée au contexte du projet [notre recherche].....	108
Figure 40 - Le contexte conceptuel d'éco-modèles à partir des cas d'utilisation [notre recherche].....	109
Figure 41 - a et b) La catégorisation des milieux urbains par la densité bâtie selon [SDTU, 2007] ; c) La catégorisation des milieux urbains selon [notre recherche]	115
Figure 42 - La représentation des contextes environnementaux d'éco-modèles à l'aide des cibles HQE et une validation des impacts par les cas [notre recherche].....	121
Figure 43 - Un exemple de relation d'équivalence entre deux éco-modèles [notre recherche].....	126
Figure 44 - Un exemple de relation de combinaison entre deux éco-modèles [notre recherche]	126
Figure 45 - Un exemple de relation de contradiction entre deux éco-modèles [notre recherche]	127
Figure 46 - La représentation des relations d'équivalence, de combinaison et de contradiction entre deux éco-modèles X et Y [notre recherche]	127
Figure 47 - Le diagramme des classes représentant le système des éco-modèles sous langage UML [notre recherche]	130
Figure 48 - Utilisation de l'Atrium dans plusieurs projets récents	132
Figure 49 - Les usages (à gauche) et les milieux d'implémentation (à droite) liés à l'atrium [notre recherche]	134
Figure 50 - Les natures d'opération (à gauche) et les zones climatiques (à droite) liées à l' <u>Atrium</u> [notre recherche]	135
Figure 51 - Le contexte environnemental de l'Atrium [notre recherche].....	137
Figure 52 - Diagramme de classe de l'Atrium avec le langage UML [notre recherche]	138
Figure 53 - Les besoins pressentis des éléments externes vis-à-vis du prototype [notre recherche]	140
Figure 54 - Les fonctions du prototype en réponse aux besoins pressentis [notre recherche].....	141
Figure 55 - les 4 niveaux d'information du prototype [notre recherche].....	143

Figure 56 - La représentation de la navigation dans l'interface du prototype d'éco.mod par un diagramme d'état [notre recherche].....	145
Figure 57 - La ferme expérimentale de la Bouzule vue de ciel [Googlemap©].....	146
Figure 58 - Protocole du test du prototype [notre recherche].....	148
Figure 59 - Deux exemples des premiers brouillons du groupe équipé d'éco.mod durant la première séance ..	150
Figure 60 - Un exemple de génération d'idées géométriques pour le groupe équipé d'éco.mod.....	150
Figure 61 - Un exemple d'une partie de travail d'un étudiant dans le groupe non équipé d'éco.mod	151
Figure 62 - Visualisation des moyennes des Éco-Profiles des deux groupes [notre recherche].....	151
Figure 63 - Les besoins vérifiés (en noir) et ajoutés (en vert) des éléments externes, vis-à-vis de la conception d'éco.mod [notre recherche].....	154
Figure 64 - L'environnement de la base de données d'éco.mod : à gauche la fenêtre principale et à droite la fenêtre de recours aux répertoires [notre recherche].....	155
Figure 65 - Les fonctions du prototype (en noir) et les fonctions ajoutées après le test (en vert) [notre recherche]	157
Figure 66 - Les niveaux de l'interface de consultation d'éco.mod [notre recherche]	158
Figure 67 - Certains éléments graphiques ajoutés à l'interface d'éco.mod : Barre de défilement graduée, Étiquette de l'action et de la quantité d'éléments, icône interactif de l'espace du scénario [notre recherche]	159
Figure 68 - L'espace d'exigences d'éco.mod [notre recherche].....	160
Figure 69 - L'espace du scénario d'éco.mod [notre recherche]	162
Figure 70 - Protocole de l'expérimentation - cas 1 [notre recherche]	171
Figure 71 - Ajustement des idées par le bon sens (a- La compacité du bâti, b- L'ensoleillement, c- La direction du vent) durant la première séance	174
Figure 72 - Quelques exemples des esquisses réalisées en deuxième séance.....	175
Figure 73 - L'exemple des Éco-Profiles 1 (à gauche) et 2 (à droite) d'un participant [notre recherche].....	177
Figure 74 - La comparaison des notes finales des évaluations environnementales et par projet [notre recherche]	177
Figure 75 - Les questions sur l'utilité d'éco.mod et les valeurs moyennes des réponses [notre recherche].....	180
Figure 76 - Les questions sur l'utilisabilité d'éco.mod et les valeurs moyennes des réponses [notre recherche]	182
Figure 77 - Les questions générales sur l'éco.mod et les valeurs moyennes des réponses [notre recherche]	184
Figure 78 - La durée des actions durant les séances 1 et 2 [notre recherche].....	186
Figure 79 - La superposition des moyennes des Éco-Profiles des esquisses 1 et 2 pour l'ensemble des participants [notre recherche].....	187
Figure 80 - La visualisation des retours des questionnaires par la méthode d'abaque de Régnier [notre recherche]	191
Figure 81 - La matrice des retours des participants sur l'utilité et l'utilisabilité des trois entrées [notre recherche]	193
Figure 82 - La matrice des retours des participants sur l'utilité et l'utilisabilité du répertoire des réalisations [notre recherche].....	194

ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS DURABLES

Figure 83 - Les moyennes des retours du groupe par section de questionnaire [notre recherche]	196
Figure 84 - Les grands principes architecturaux abordés par le groupe pour le développement de la proposition sans outil.....	200
Figure 85 - Les deux scénarios abordés dans l'étape 2 de l'expérimentation [notre recherche]	201
Figure 86 - L'analyse environnementale de scénario commun : en haut avec la présence de l' <u>Atrium</u> , en bas avec la présence de <u>Puits du jour</u> et <u>Véranda</u> [notre recherche].....	203
Figure 87 - Le scénario commun de l'équipe pour la proposition du bâtiment [notre recherche].....	203
Figure 88 - Esquisses de proposition en commun : a) idée du puits du jour, pilotis et véranda ; b) idée de vélo-drive ; c) idée de modularité d) la vue sud-ouest du bâtiment proposé.....	204
Figure 89 - Les moyennes des retours des participants par question [notre recherche]	206
Figure 90 - La matrice couleur-votes à partir des réponses au questionnaire [notre recherche]	207

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - La notion de patron appliquée dans différents domaines [notre recherche].....	58
Tableau 2 - Les indicateurs environnementaux de EQUER [IZUBA].....	67
Tableau 3 - Les approches d'aide à la conception abordées dans notre recherche [notre recherche]	76
Tableau 4 - Synthèse des deux stratégies de conceptions -traduit et adapté de [Dupont et al.]	77
Tableau 5 - Limites des approches du groupe 1 [notre recherche].....	82
Tableau 6 - Limites des approches du groupe 2 [notre recherche].....	83
Tableau 7 - Limites des approches du groupe 3 [notre recherche].....	85
Tableau 8 - Critères des éco-modèles liés aux conditions de sélection [notre recherche].....	106
Tableau 9 - Les contraintes identifiées pour la mise en œuvre des éco-modèles [notre recherche].....	111
Tableau 10 - Nomenclature d'usages de bâtiments [notre recherche].....	113
Tableau 11 - Nomenclature des natures d'opération de bâtiments [notre recherche]	114
Tableau 12 - Nomenclature des milieux urbains de bâtiments [notre recherche]	116
Tableau 13 - Nomenclature des climats de région de bâtiments [notre recherche].....	118
Tableau 14 - Les cibles HQE® et leurs définitions par [Redon, 2010]	119
Tableau 15 - Nomenclature des impacts environnementaux par rapport aux cibles HQE® [notre recherche]...	121
Tableau 16 - Exemple de synthèse des cibles associées à un cas d'étude [Redon, 2010].....	123
Tableau 17 - Exemple des résultats obtenus par la méthode approfondie: en gris, les éco-modèles sélectionnés et, en jaune, les résultats proposés [Redon, 2010]	124
Tableau 18 - Relations entre les éco-modèles [notre recherche].....	124
Tableau 19 - Les classes présentes dans la modélisation de l'éco-modèle [notre recherche]	129
Tableau 20 - Les classes-associations présentes dans la modélisation de l'éco-modèle [notre recherche].....	130
Tableau 21 - Les 40 éco-modèles identifiés à ce jour [notre recherche].....	131
Tableau 22 - Contexte conceptuel d' <u>Atrium</u> [notre recherche].....	133
Tableau 23 - Le contexte relationnel d' <u>Atrium</u> [notre recherche].....	137
Tableau 24 - Les données du modèle d'un <u>Atrium</u> [notre recherche].....	138
Tableau 25 - Les besoins des éléments externes vis-à-vis de la conception du prototype [notre recherche]	141
Tableau 26 - Les fonctions du prototype vis-à-vis des besoins des éléments externes [notre recherche]	142
Tableau 27 - Les éléments graphiques de l'interface d'éco.mod [notre recherche]	144
Tableau 28 - Le protocole du test du prototype d'éco.mod [notre recherche]	148
Tableau 29 - Les critères acceptables et faibles de chaque groupe [notre recherche].....	152
Tableau 30 - Les nouvelles fonctions d'éco.mod [notre recherche].....	157
Tableau 31 - La comparaison des protocoles du test du prototype avec le protocole de cette expérimentation [notre recherche].....	169
Tableau 32 - Fiche d'observation des séances [notre recherche]	185

ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS DURABLES

Tableau 33 - Les progrès moyens du groupe par thématiques environnementales durant l'expérimentation [notre recherche]	189
Tableau 34 - Les commentaires sur les avantages et les limites de l'éco.mod [notre recherche]	195
Tableau 35 - La comparaisons des projets sans et avec éco.mod [notre recherche].....	205
Tableau 36 - Les avis des utilisateurs sur l'apport créatif d'éco.mod [notre recherche]	209
Tableau 37 - Les avantages d'éco.mod d'après les commentaires des utilisateurs [notre recherche]	211

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La conception architecturale est confrontée de nos jours à de nouveaux défis. Les problèmes environnementaux (effet de serre, raréfaction des ressources, gestion des déchets, santé...) qui touchent nombre des activités humaines induisent de nouvelles questions et viennent accroître la complexité déjà existante de l'activité de conception. Cette complexité, qui est liée au grand nombre d'exigences à satisfaire, à la multitude des solutions possibles et à l'incertitude de certains choix compte tenu du caractère non répétitif et non intégré de l'industrie du bâtiment, représente en soi une réelle difficulté pour les acteurs de la conception. Dans ce contexte, l'acte de conception demande, d'un côté, une appréhension des problèmes à l'intersection de différents points de vue dans une approche holistique [Morin, 1991] et de l'autre côté, la mise en œuvre d'une démarche heuristique pour mieux répondre au souci de créativité [Jordanova et al., 2009].

De plus, la conception architecturale se distingue de la conception des autres domaines industriels par l'intégration de son objet dans un contexte physique : le site [Akin, 2001]. La dimension environnementale met encore plus l'accent sur cette particularité en élargissant les

facteurs traditionnels du contexte physique que sont la topographie ou les conditions climatiques à d'autres facteurs comme les ressources énergétiques, les matériaux de proximité, etc.

Le concepteur - individu ou équipe - se trouve donc, non seulement face à un contexte général de plus en plus difficile à appréhender, mais aussi face à un travail de conception (conception architecturale) dans lequel la vérification de l'exactitude des solutions par des voies scientifiques, est, selon [Conan, 1990], impossible. Il doit donc en permanence ajuster progressivement la pertinence de ses propositions. Ce travail d'ajustement consiste, à chaque étape du projet, à trouver un compromis entre les exigences du contexte (e.g. programme, site, réglementations) et les solutions architecturales.

Pour répondre à cette situation, les architectes mettent en œuvre des stratégies très variées d'ajustement et de réduction des incertitudes pour lesquelles des outils peuvent apporter une aide. Cependant, nos recherches nous ont montré qu'il existait peu d'approches et d'outils dédiés à la phase amont de conception de bâtiment. Or, cette étape s'avère être très intéressante lorsque l'on traite des aspects environnementaux. De plus, agir dans et sur cette phase permet l'intégration de nouvelles technologies [Hedstrom et al., 2000 ; Hartshorn et al., 2005 ; Larson, 2000]. Dans le contexte de l'industrie de la construction française, cette phase correspond à l'étape d'esquisse et à l'avant-projet sommaire [ADEME, 2002]. Ainsi, les critères essentiels et les enjeux les plus déterminants (e.g. l'orientation, les principes constructifs, l'organisation des façades) se font durant cette phase amont de la conception. Cependant, nos recherches ont montré que l'analyse des impacts positifs ou négatifs des choix effectués sur le bâti et le site environnant n'étaient pas toujours suffisamment pris en compte ou de manière très limitatives et peu vérifiés. Le manque d'outils aidant les concepteurs durant la phase amont de la conception les conduit souvent à utiliser des outils non adaptés [Cole, 1999] alors qu'il est important dans toute activité de conception d'utiliser à chaque phase l'outil qui lui est adapté [Yi-Luen, 1996]. En ce sens, prendre comme objet d'étude la phase amont de la conception du bâtiment en s'intéressant à l'intégration des expériences environnementales des acteurs d'un projet architectural devient pertinent afin de réduire les risques de changements tardifs [Lowton, 1997].

Sur la base de ces constats, nous posons l'hypothèse que l'aide à l'éco-conception de bâtiment passe par la capacité des chercheurs à proposer des solutions facilitant à la fois le travail collaboratif et l'intégration au plus tôt des préoccupations environnementales. Ainsi, nos

travaux nous conduisent à proposer une approche et un outil associé afin d'aider le concepteur en phase amont de l'éco-conception architecturale d'un bâtiment. Nous montrons notamment que, tout en respectant l'aspect créatif du concept produit, nos propositions contribuent à :

- améliorer la qualité finale du projet de conception (le profil environnemental et la faisabilité),
- favoriser les négociations avec le client¹ par une meilleure reformulation des stratégies environnementales.

Ce dernier point constitue un des aspects originaux de notre travail : aider à une meilleure maîtrise des choix en phase amont de conception tout en favorisant la génération des idées dans l'espace des solutions.

C'est dans ce cadre de réflexion que s'inscrivent nos travaux de recherche. Nous essayons par ce travail d'apporter des éléments de réponses aux différents points soulevés précédemment.

Nous avons structuré la présentation de notre recherche en trois parties. Après une introduction générale qui présente le contexte de la recherche, la problématique de recherche et le plan de la thèse, la première partie est consacrée à la présentation du cadre théorique et conceptuel de notre étude. Nous réalisons notamment un état de l'art de la conception environnementale du bâtiment. Cette partie contient deux chapitres (Chapitres 1 et 2). Dans le chapitre 1, nous focalisons notre recherche sur l'évolution de la pensée environnementale et son influence dans le domaine de la conception du bâtiment. Nous montrons également la pertinence de l'intégration des exigences environnementales en phase amont de la conception afin de mettre en œuvre un processus d'éco-conception d'un bâtiment. Dans le chapitre 2, nous étudions les démarches et outils existants d'aide à la conception. Nous soulignons notamment les différentes approches d'aide à la conception et mettons en évidence à la fois l'intérêt d'une approche collaborative et d'une approche par « *patterns* » - ou patrons de conception - comme celle proposée par [Alexander et al., 1977] pour aider à la résolution de problèmes en phase amont de conception d'un bâtiment.

¹ Le client, dans un projet de bâtiment, peut être multiple (usagers finaux, M.O.A, hiérarchie, voisinage, la ville, etc.) et se définit ainsi différemment que dans un projet industriel.

La deuxième partie consiste à la proposition d'un outil d'aide à l'éco-conception collaborative de bâtiments sur la base des choix conceptuels pris dans la partie précédente. Dans le chapitre 3, nous proposons une adaptation de la définition des « *patterns* » à notre domaine d'étude - l'éco-conception collaborative de bâtiments. Il en résulte la proposition du concept « d'éco-modèle ». Ainsi, nous suggérons une démarche de génération des éco-modèles pour la conception de bâtiments. Afin de faciliter la compréhension de notre approche, nous concluons ce chapitre sur un exemple. Dans le chapitre 4, nous présentons, tout d'abord, les résultats d'un premier test du prototype basé sur la démarche proposée, ensuite, les améliorations mises en évidence qui ont conduit au développement de l'outil final.

Dans une troisième partie, nous présentons les cas d'expérimentation de notre outil afin d'en valider la pertinence. Le chapitre 5 montre un cadre d'expérimentation particulier : la conception environnementale d'un bâtiment d'accueil au sein de la ferme de la Bouzule. Cette ferme expérimentale appartient à l'Institut National Polytechnique de Lorraine qui s'est engagé dans une démarche de développement durable et a donc été intéressé par nos travaux. Nous avons participé à ce projet d'éco-conception dès la phase amont avec pour objectif principal de valider l'utilité et l'utilisabilité de notre outil. Nous complétons nos vérifications par une expérimentation abordée dans le chapitre 6 sur le cas de la conception collaborative d'un bâtiment de restauration rapide.

Enfin, nous concluons notre travail de recherche de façon générale et nous présentons les perspectives futures de travail.

PARTIE 1 : ÉTAT DE L'ART SUR LA CONCEPTION ENVIRONNEMENTALE DE BÂTIMENTS

Nous proposons, dans cette partie, de nous intéresser aux enjeux environnementaux liés à la conception architecturale. Nous montrons notamment l'importance de la prise en compte de la phase amont dans le processus de conception d'un bâtiment (cf. Chapitre 1).

De plus, une revue des écrits sur les outils d'aide au processus de conception nous amène à nous intéresser aux différentes méthodes et outils de résolution de problèmes, de proposition de solutions et d'évaluations (cf. Chapitre 2).

Chapitre 1 – Les enjeux environnementaux dans la conception

1.1. L'évolution de la pensée environnementale

Dès 1907, le regard porté sur la disponibilité de l'énergie et des ressources évolue, notamment à travers les discours politiques :

« Optimism is a good characteristic, but if carried to an excess it becomes foolishness. We are prone to speak of the resources of this country as inexhaustible; this is not so. The mineral wealth of the country, the coal, iron, oil, gas, and the like, does not reproduce itself, and therefore is certain to be exhausted ultimately; and wastefulness in dealing with it to-day means that our descendants will feel the exhaustion a generation or two before they otherwise would. » Roosevelt, 1907².

« L'optimisme est une bonne chose, mais s'il est poussé à l'excès, il devient sottise. Nous pensons que les ressources de notre pays sont inépuisables ; ce n'est pas le cas. Nos richesses minières, le charbon, le fer, le pétrole, le gaz et les autres matières premières ne sont pas renouvelables. Il est donc certain qu'elles seront à terme épuisées ; et vu la manière dont nous les gaspillons aujourd'hui, nos descendants connaîtront leur épuisement une génération ou deux plus tôt que prévu. » Roosevelt, 1907- traduit par [Contal et al., 2009]

En 1915, Patrick Geddes, biologiste écossais, prévoit la nécessité d'optimiser les systèmes actuels par des systèmes qui améliorent la qualité de vie et préservent la nature :

« The case for the conservation of nature and for the increase of our accesses to her must be stated more seriously and strongly than is customary. Not merely begged for on all grounds of amenity, of recreation, and repose, sound though they are, but insisted upon. On what grounds? In terms of the maintenance and development of life. » [Geddes, 1915].

² Théodore Roosevelt – Président des Etats-unis - Conférence sur la conservation des ressources naturelles – 7ème message annuel au Congrès – 3 Décembre 1907

« *Le sujet sur la préservation de la nature et notre façon de disposer de ses richesses doit être abordé plus sérieusement et plus fortement que d'ordinaire. Il ne doit pas seulement être abordé sur le plan de nos besoins basiques, notre loisir et confort, sur lesquels nous insistons habituellement. Alors sur quels plans? En terme de conservation et de développement de la vie.* » [Geddes, 1915] traduit par [notre recherche].

Or, il apparaît qu'aucun écrit théorique et mouvement moderne ne mentionnent la question de l'énergie dans les années 1920 - 30 [Émery, 2002]. Selon [Hartshorn et al., 2005], la publication du célèbre ouvrage « *Silent spring* » [Carson, 1962] a mis l'accent sur la problématique écologique et ainsi incité les dirigeants d'entreprises à reconsidérer les impacts de leurs activités sur l'environnement.

L'ouvrage du biologiste et écologiste américain, « *La bombe P : 7 milliards d'hommes en l'an 2000* » [Ehrlich, 1972], reconnaît que l'augmentation de la pollution est principalement due à la « *prolifération humaine* » :

« *Trop de voitures, trop d'usines, trop de détergents, trop de pesticides (...) trop d'oxyde de carbone. La cause en est toujours la même : trop de monde sur la terre.* » [Ehrlich, 1972].

Outre la pollution, l'augmentation de la demande des besoins primaires de l'homme, comme le besoin d'abris, devient problématique à satisfaire. Ce dernier est lié à la disponibilité des terrains qui ne sont pas extensibles.

Dans les années suivantes, le concept de l'environnement fait une apparition dans le domaine réglementaire et les discours politiques : aux États-Unis Richard Nixon³ signe la loi nationale sur l'environnement ; en France, Georges Pompidou⁴, lors d'un discours, annonce que :

« *L'emprise de l'homme sur la nature est devenue telle qu'elle comporte le risque de destruction de la nature elle-même.* » [Pompidou, 1970].

De plus, les premières associations de protection de la nature, telle que la Fondation Greenpeace⁵, ont été créées.

3 Le 37e président des États-Unis. Il est élu pour deux mandats de quatre ans en 1968 et 1972.

4 Président de la République Française entre 1969 et 1974

5 Sa création date d'un an après la première Journée mondiale de la terre en 1970

Suite à ces événements, plusieurs publications et discours affirment l'importance de prendre en compte les conséquences écologiques des actes humains, comme par exemple l'ouvrage de [Georgescu-Roegen, 1971], mathématicien et économiste roumain, « *Demain la décroissance* », ou le discours autour de « *Penser globalement, agir localement* » de René Dubos dans le rapport des Nations Unies intitulé : « *Nous n'avons qu'une Terre* », ou encore le mensuel écologiste « *La gueule ouverte* ». Enfin, le rapport « *Halte à la croissance* » [Club de Rome, 1972] aborde la notion de *développement durable* en attirant l'attention sur l'épuisement des ressources naturelles dans le cadre de la croissance continue [Altitude, 2008].

Aujourd'hui, une définition du développement durable communément admise est donnée dans le rapport Brundtland de 1987 :

« ...Mettre en place les modalités d'un développement à la fois performant sur le plan économique, responsable sur le plan social et respectueux de notre environnement... ces trois approches constituent les piliers du développement durable... répondre aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs. » [Brundtland, 1987].

1.2. La gestion énergétique au centre des réflexions sur la durabilité

À ce jour, 94812 recherches scientifiques abordent directement le sujet de la durabilité⁶. Parmi elles, seulement 3 % abordent en même temps les trois piliers de la durabilité : l'économique, l'écologique et le social. De plus, dans la plupart de ces recherches, ce sont les aspects liés à la gestion énergétique qui sont prioritaires. Nous pensons que ce fait n'est pas un hasard ou une mode, mais le fruit des problématiques liées aux trois piliers de la durabilité. [Moussis, 2002] souligne, d'ailleurs, certaines raisons de cette priorité :

« L'énergie est un paramètre essentiel de l'activité économique et de la vie sociale des pays industrialisés. Le coût de l'énergie affecte non seulement les industries grandes consommatrices d'énergie, mais aussi le coût de la production industrielle dans son ensemble et même le coût de la vie des

⁶ Ces résultats sont tirés d'une recherche sur la base de données SCOPUS avec la formule de recherche : < TITLE-ABS-KEY(sustainable) >. Recherche effectuée en septembre 2010.

citoyens, en raison notamment de l'impact des prix de l'énergie sur les coûts des transports et du chauffage. » [Moussis, 2002].

En effet, non seulement le coût des énergies fossiles augmente, mais aussi l'accessibilité à ces ressources devient de plus en plus rare et compliquée. Le risque de dépendance aux énergies fossiles s'intensifie. Plusieurs guerres dans les dernières décennies ont été directement ou indirectement liées à cette problématique. D'autre part, les émissions de CO² qui accélèrent le réchauffement climatique sont aussi associées à la consommation d'énergie. Le secteur du bâtiment est responsable d'environ 8% des émissions de CO² sur la planète liées à la consommation d'énergies (Figure 1). Il faut souligner qu'aux rejets précédents viennent aussi s'ajouter des émissions liées à l'utilisation des sols lors des constructions ainsi que celles émises par les industries ayant une activité liée à la construction d'un bâtiment.

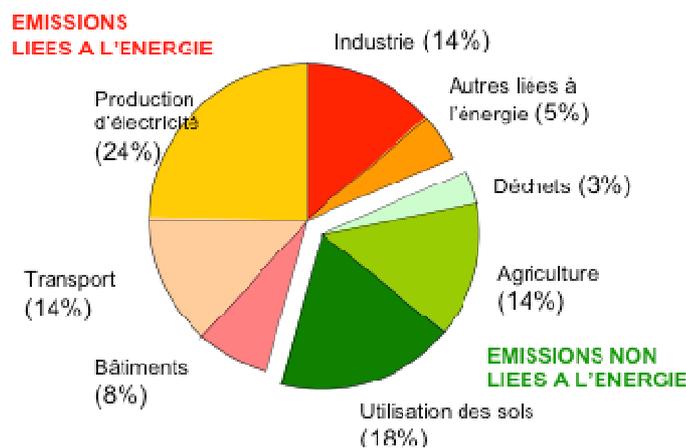


Figure 1- Émissions en 2000 [SternReview, 2006]

La pollution liée à la consommation des énergies fossiles a causé notamment, effet le plus connu, le réchauffement climatique. Ce dernier, en particulier, est considéré comme une menace pour l'environnement mais aussi pour *les générations futures*. En effet, les risques de catastrophes naturelles menacent tous les habitants de la planète quelque soit leur niveau économique et social. Pour ces raisons, la problématique de gestion énergétique - à la fois économique, écologique et sociale - a trouvé un tel écho dans la société actuelle.

Les progrès technologiques et scientifiques permettent aujourd'hui une optimisation de la consommation des énergies fossiles et un remplacement possible par des énergies alternatives. L'introduction des énergies alternatives dans différents domaines nécessite des investigations et des recherches, y compris dans le domaine du bâtiment. Ainsi, nous pensons, que le progrès

au niveau de la gestion énergétique, est un élément indispensable pour achever un bâtiment durable (Figure 2).

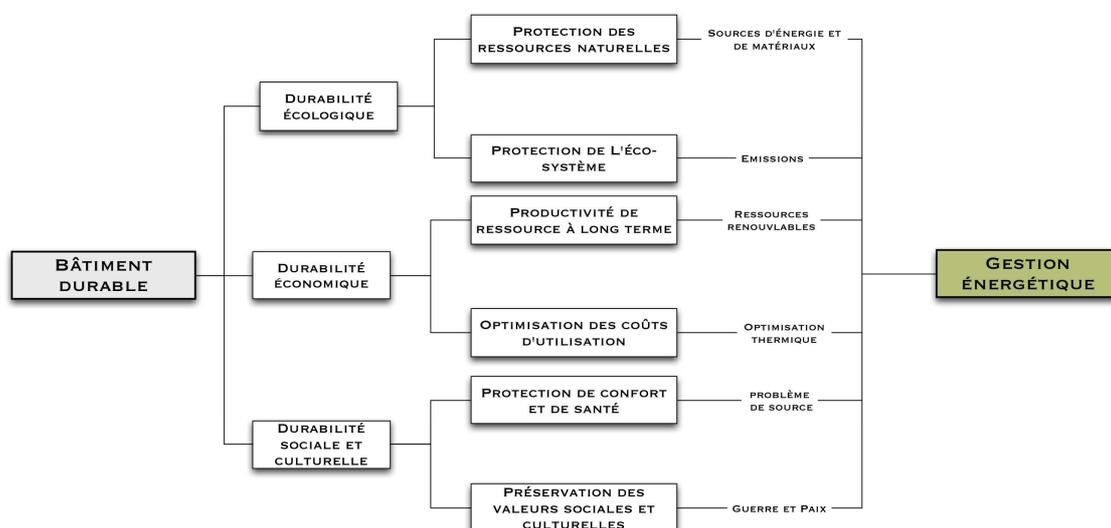


Figure 2 - À gauche, le bâtiment durable selon [Kohler, 1999] et à droite, les rapports de la gestion énergétique avec le bâtiment durable selon [notre recherche]

1.3. Les enjeux environnementaux dans le bâtiment

1.3.1. Les origines

La considération de l'environnement dans l'architecture vernaculaire⁷, avant le XVII^e siècle, suit une continuité à travers les siècles. Faisant une analogie entre l'être humain et sa capacité d'adaptation à l'environnement⁸ [Roaf et al., 2005] mentionnent que :

« Vernacular buildings have evolved over time to make the best use of local materials and conditions to provide adequate, and often luxurious, shelter for populations inhabiting even the most extreme climates of the world. » [Roaf et al., 2005].

« L'architecture vernaculaire a continuellement évolué afin de promouvoir la meilleure utilisation des matériaux locaux et adaptation aux conditions régionales, dans le but de fournir des habitats adéquats, quelques fois luxueux

7 L'architecture vernaculaire désigne ainsi selon les cas : architecture anonyme, architecture sans architecte (Rudofsky, 1964), architecture spontanée, indigène ou rurale, une architecture propre à un pays.

8 « Buildings are our third skin »

même à des populations localisées dans les climats les plus extrêmes de la planète. » [Roaf et al., 2005] traduit par [notre recherche].

Une exposition mondiale sur le sujet de l'architecture vernaculaire, « *Architecture sans architectes* » en 1964, a attiré l'attention de grands architectes de l'époque. [Rudofsky, 1964] présente plusieurs exemples de ces pratiques, telles que les architectures transportables ou encore les loggias (Figure 3).

La question de l'*environnement*, se manifeste dans les pratiques vernaculaires par de multiples paramètres, tels que le choix du site, les ressources locales, la réutilisation de l'existant (e.g. arbre, falaise, dénivelé), le climat, etc.



Figure 3 - Deux exemples des pratiques vernaculaires : à gauche, les loggias et à droite, l'architecture transportable [Rudofsky, 1964]

De telles pratiques visent à adapter l'architecture de manière autonome aux aspects climatiques, culturels et économiques du peuple.

« Tout peuple qui a produit une architecture a dégagé ses lignes préférées qui lui sont aussi spécifiques que sa langue, son costume ou son folklore. Jusqu'à l'effondrement des frontières culturelles, survenu au XIXe siècle, on rencontrait sur toute la terre des formes et détails architecturaux locaux, et les constructions de chaque région étaient le fruit merveilleux de l'heureuse

alliance de l'imagination du peuple et des exigences du paysage. » [Fathy, 1977].

Concernant la question de l'*environnement*, l'architecture s'est orientée à la fin de *IXX^{ème}* siècle progressivement vers deux courants de pensée : le courant dit *moderne* qui est orienté vers l'industrialisation et la mondialisation de l'architecture et le courant dit *artisanal* qui est dans la continuité des réflexions sur les qualités des pratiques régionales.

Le courant moderne devient dominant au cours du *XX^{ème}* siècle, alors que la société d'après guerre – Seconde Guerre mondiale - fait face à un besoin accru de logements. Elle introduit donc le courant *moderne*. Ce style débute avec le mouvement du Bauhaus⁹ et ensuite se développe notamment grâce aux architectes Adolf Loos, Auguste Perret, Ludwig Mies Van der Rohe et Oscar Niemeyer. Il est caractérisé par un retour à un décor minimal, aux lignes géométriques et fonctionnelles et par l'emploi de techniques nouvelles. Ce mouvement est basé sur l'idée que, dans le cadre d'une société de plus en plus industrialisée, l'architecture et le design sont des éléments fonctionnels [McDonald, 2003]. Ce mouvement influence durablement la pensée architecturale et marque l'ensemble du siècle. On retrouve notamment le Corbusier à qui l'on doit la vision du logement comme « *la machine à habiter* » [Corbusier, 1923].

Ce courant moderne, qui fait abstraction de l'environnement, est aussi connu comme le courant urbain. L'industrialisation représente un mythe et l'illusion du progrès technique infini devient le moyen pour régler les problèmes d'habitat. Sa vision universelle de l'habitat représente un moyen permettant de libérer l'homme de la nature.

Dans cette perspective, les relations du bâtiment avec l'extérieur deviennent de plus en plus limitées :

« (...) se résumant alors aux tailles et aux dispositions des ouvertures et leurs protections ou exposition au soleil. » [Émery, 2002].

D'ailleurs, l'apparition des matériaux de synthèse (p. ex. le béton, l'acier, les polymères) dans le domaine de la construction, aide à libérer l'homme de la notion de proximité, et à rapprocher l'architecture de son modèle avec des principes *universels*. À ce propos, [Hall,

9 Ecole d'architecture et d'arts appliqués allemande. Fondée en 1919 par Walter Gropius surtout reconnue pour l'enseignement d'une méthode d'architecture basée sur le fonctionnalisme et la simplicité.

1971] dans son ouvrage « *La dimension cachée* » montre le rôle de la dimension culturelle dans la construction de l'espace et met en question le courant universaliste.

Par contre, un deuxième courant alternatif au moderne, a persisté dans la continuité de l'architecture vernaculaire. Plus artisanal et rural, ce courant fut jugé passéiste par la société de l'époque (Figure 4).

Ce mouvement porte des valeurs intéressantes d'un point de vue *environnemental* (e.g. Utilisation des ressources locales, Prise en compte du contexte). Il s'adapte aux progrès technologiques, sans réduire les qualités régionales existantes de l'architecture vernaculaire. D'ailleurs, c'est ce courant qui a inspiré aujourd'hui, la notion d'éco-conception dans le domaine architectural.

Ainsi, le mouvement « *Arts and Crafts* » (1860-1910) a été initié par William Morris - artiste et écrivain anglais - en s'inspirant des ouvrages de John Ruskin¹⁰. Il met en exergue l'importance de l'esthétique aussi bien par l'utilisation de *formes naturelles* que par l'introduction d'aspects culturels et économiques dans le domaine de l'art et de l'architecture.

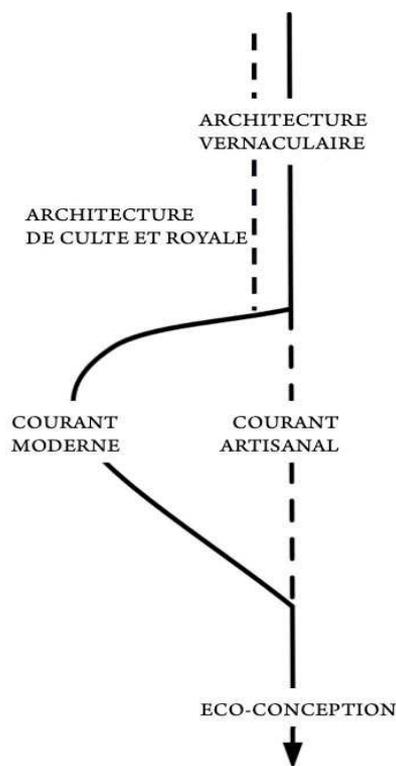


Figure 4 - La continuité de la pensée environnementale dans l'architecture [notre recherche]

¹⁰ Ecrivain anglais (1819-1900)

En 1930, aux États-Unis, l'architecte Richard Buckminster Fuller construit le prototype « *Dymaxion House* ». Il s'agit d'une maison qui peut être chauffée et refroidie par des *moyens naturels*, stables vis-à-vis des tremblements de terre et des tempêtes et qui n'exige pas d'entretien en permanence. La forme ronde de « *Dymaxion House* » minimise les pertes de chaleur et la quantité de matériaux nécessaires. L'idée est de concevoir et de produire en masse des maisons pouvant être amorties en cinq ans.

En 1933, en Allemagne, l'architecte Hans Scharoun mène un travail spécifique sur des apports lumineux et thermiques du soleil et leurs restitutions à la *maison Schminke* à Loebau. En particulier, les fenêtres du sud sont équipées de volets roulants réglables permettant un contrôle de la quantité d'air, de lumière et de chaleur pénétrant par chaque fenêtre, à tout moment de la journée. Pour ces raisons, l'architecture de la maison Schminke est décrite comme étant une *architecture dynamique* [Schenk, 2010].

En 1948, en Égypte, l'architecte Hassan Fathy conçoit le village de « *New Gournia* » qui est connu pour avoir appliqué les techniques d'*architecture autosuffisante*. En effet, ce village, situé dans un milieu désertique, reprend des techniques plurimillénaires, notamment celle de construction en briques crues séchées au soleil et de conception de toitures en voûte et en coupole [Fathy, 1977]. Les bâtiments ainsi conçus sont naturellement climatisés par des systèmes de moucharabiehs [Émery, 2002].

[Rapoport, 1972] se positionne aussi dans la continuité du courant artisanal, et affirme que l'homme ne peut pas dominer la nature mais doit s'adapter à elle. Il considère alors que le climat est un facteur influent sur la génération de formes dans la conception des habitats.

Les conséquences de la domination du courant dit moderne, et le remplacement de la plupart des questions environnementales par des questions purement économiques, ont préparé le terrain pour donner une nouvelle chance à la pensée régionale. Cette tendance est parfois considérée comme un retour à l'architecture vernaculaire. Cette considération passéiste est discutable, car elle ignore l'existence omniprésente - mais plus discrète - de la pensée environnementale, alternative au courant moderne, tout comme son évolution à travers le temps.

Nous allons aborder cette nouvelle reconnaissance de la pensée environnementale dans la conception de bâtiments.

1.3.2 La reconnaissance

Avec l'augmentation rapide de la population dans le monde, répondre au besoin d'abri est devenu un souci de l'entreprise du bâtiment au XX^e siècle. Aujourd'hui, au-delà de la réponse en terme de construction, les architectes doivent prendre en compte la donnée environnementale afin d'apporter des solutions adaptées aux nouveaux enjeux climatiques, en respectant le cycle naturel de la planète.

« Il est encore possible d'éviter les pires effets du changement climatique ; mais cela exige une action collective vigoureuse de toute urgence. Tout retard serait coûteux et désastreux. » [Stern, 2006.]

En conséquence, on constate une augmentation considérable d'édifices qualifiés comme *environnementaux*, ce qui illustre la tendance actuelle de l'évolution architecturale. En ce sens, [Lecoutois et Guéna, 2009] croient que :

« La pensée écologique et/ou durable en architecture n'est pas une idée neuve. Ce qui paraît relativement plus neuf, c'est sa reconnaissance sociale voire sa revendication. » [Lecoutois et Guéna, 2009].

Aussi, [Metallinou, 2006] reconnaît cette tendance comme une réévaluation de l'acte de conception. Il mentionne que :

« For centuries, building has been seen largely as a way of living apart from the environment and dominating nature. This has turned out to be a pyrrhic supremacy and the current ecological crisis has motivated many professionals and academics to re-evaluate the fundamental premises of how buildings are designed and produced. » [Metallinou, 2006].

« Pendant des siècles, la construction a été largement considérée comme une manière de vivre en dehors de l'environnement et de dominer la nature. Ce sont les catastrophes naturelles présentes et les crises écologiques actuelles qui ont incité de nombreux professionnels et universitaires à réévaluer la façon dont les bâtiments sont conçus et fabriqués. » [Metallinou, 2006] traduit par [notre recherche].

Une preuve de cette reconnaissance - réévaluation ou revendication - est que plusieurs pratiques utilisées par l'architecture vernaculaire ont été reprises à ce jour, afin de servir les

capacités d'autosuffisance (e.g. serre, chauffage intégré, zones glaciales, tour à vent, clôture, patio, espaces enterrés) de bâtiments contemporains.

Pour mieux expliquer cette reconnaissance, nous nous référons à la modélisation de bâtiment selon [Trocmé et Peuportier, 2007] qui définit deux frontières pour chaque bâtiment : *physique* et *flux* (Figure 5). Concernant la frontière physique, il s'agit du bâtiment comme un ensemble d'objets matériels. Concernant la frontière flux, il s'agit des procédés en amont (e.g. production d'énergie, traitement des eaux, fabrication et transport des matériaux de construction) et en aval (e.g. gestion des déchets, des eaux usées).

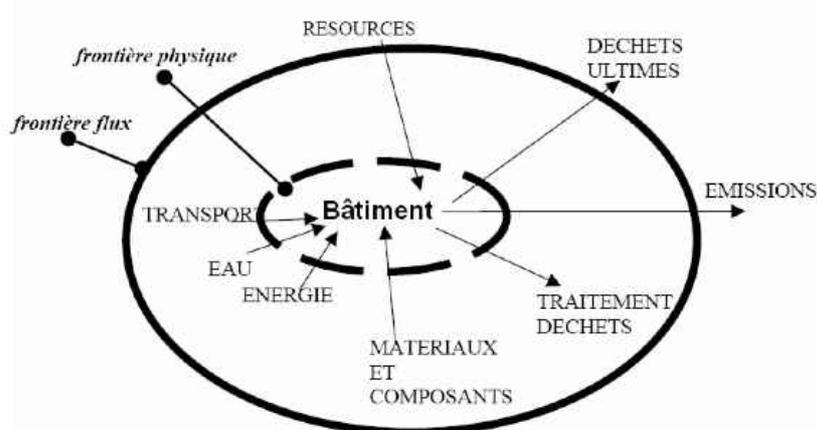


Figure 5 - La modélisation de bâtiments [Trocmé et Peuportier, 2007]

Nous pensons que cette reconnaissance environnementale est survenue au moment où l'on s'est rendu compte de l'importance de la frontière flux du bâtiment : l'énergie, l'eau, les transports, etc.

Cependant, on peut aller encore plus loin, vers une vision plus globale, qui intègre la gestion des déchets ultimes et les émissions du bâtiment. Ces deux aspects sont de nos jours des paramètres importants à prendre en compte dans le cadre du développement durable et de la lutte contre le réchauffement climatique.

1.4. L'éco-conception

La conception architecturale se distingue de la conception dans les domaines industriels par l'intégration de son objet dans un contexte physique : le site [Akin, 2001]. La dimension environnementale met encore plus l'accent sur cette particularité en élargissant les facteurs

traditionnels de contexte physique que sont la topographie ou les conditions climatiques à d'autres facteurs comme les ressources énergétiques, les matériaux de proximité, etc.

Le processus d'éco-conception, nommé aussi « *éco-design* », « *architecture de qualité* » [Broadbent et Brebbia, 2006], « *architecture vitale* » ou « *qualité intégrale* » [Van Hal, 2006], est destiné à concevoir le bâtiment en prenant en compte la *dimension environnementale*.

Le produit final dans un processus d'éco-conception est un *bâtiment éco-conçu*, nommé aussi parfois « *bâtiment durable* », « *bâtiment environnemental* », « *bâtiment écologique* » ou « *bâtiment intégré* » [Van Hal, 2006].

1.4.1. La complexité et l'incertitude de l'éco-conception

La complexité dans le domaine de l'innovation et du management de la connaissance est décrite comme :

« Too many situational éléments and relationships to coordinate or consider simultaneously. » [Malhorta, 2001].

« La multitude des éléments variables et des relations à gérer ou à traiter simultanément. » [Malhorta, 2001] traduit par [notre recherche].

Notre objet d'étude porte sur le bâtiment éco-conçu, qui est fortement en relation avec son milieu naturel, et en ce sens, du point de vue de son identité organisationnelle, se rapproche de celle des organisations éco-dépendantes. Selon [Morin, 1977], de telles organisations ont une double identité :

« Une identité propre qui les distingue, une identité d'appartenance écologique qui les rattache à leur environnement. » [Morin, 1977].

La pensée écologique ne peut se réduire à une somme de points de vue et d'actions mais doit également prendre en compte les interactions et les rétroactions nombreuses entre les éléments qui la constituent, en intégrant par là-même une forme d'incertitude. Cette incertitude est renforcée par le fait que les objets de savoir, qui assurent le fondement de cette pensée, sont le plus souvent portés par une multitude d'acteurs différents.

La conception du bâtiment environnemental s'effectue alors, dans un contexte à la fois complexe et incertain.

En ce qui concerne la complexité, les concepteurs sont confrontés à plusieurs problèmes :

- Comment et par quelle stratégie peut-on maîtriser cette complexité afin d'optimiser la démarche de conception?
- Si cette maîtrise de la complexité nécessite une simplification des réponses, comme le spécifie [Malhorta, 2001], quel doit être le niveau de celle-ci, afin de préserver la cohérence des choix et assurer ainsi une conception optimale?

Pour répondre à cette complexité, d'une part, selon [Seebohm, 2007 ; Tidafi, 2007], le concepteur peut envisager de concevoir selon un *principe holistique* ou d'autre part, il peut aborder des principes *heuristiques* afin de garantir un processus créatif.

Si on applique les principes holistiques développés dans les théories de la complexité [Morin, 1991], un objet d'étude ou de conception inscrit dans une démarche environnementale, ne peut être isolé mais doit toujours être appréhendé à l'intersection de différents points de vue. Le concepteur se trouve donc face à des problèmes contenant de nombreuses variables. Ces nombreuses variables l'emmèneront à chercher parmi un grand nombre de solutions possibles. Même si, en appuyant sur ses connaissances formelles, théoriques et abstraites, il peut en éliminer plusieurs facilement - en donnant des priorités à des points de vue de *bon sens* (e.g. faisabilité, économie, usage, etc.) - il convient d'utiliser des stratégies pour choisir rapidement quelques solutions satisfaisantes à explorer.

Seulement, selon [Jordanova et al., 2009], acquérir les connaissances techniques ne peut être suffisant pour garantir le processus créatif, car ce processus nécessite une compréhension du monde dans sa complexité.

En général, vis-à-vis de la complexité, un système peut réagir de deux façons : *tolérer* ou *réduire*. Une approche holistique de la conception aide à réduire la complexité tandis qu'une approche heuristique aide à la tolérance. Il nous apparaît que dans les pratiques architecturales et environnementales, il est judicieux d'aider le système à combiner les deux approches : réduire la complexité, jusqu'à un certain niveau, par une dimension holistique et tolérer la complexité par une démarche heuristique pour mieux répondre au souci de créativité.

En ce qui concerne l'incertitude, elle est définie par [Malhorta, 2001] comme suit :

« *Insufficient factual information about the goal, situation or task, and some lack of confidence in the consequent inferences, estimates or predictions required.* » [Malhorta, 2001].

« Une insuffisance en terme d'information factuelle au regard de l'objectif, de la situation ou de la tâche et un certain manque de confiance sur les inférences associées, et sur les estimations ou les prédictions nécessaires. » [Malhorta, 2001] traduit par [notre recherche].

En nous appuyant sur son point de vue, la maîtrise de l'incertitude nécessite de *justifier* « certifier », les connaissances. En effet, cette justification est nécessaire au concepteur afin de maîtriser cette incertitude durant la conception et de se rassurer sur l'exactitude de ses choix. Dans ce sens, une méthode d'assistance apparaît importante en vue de faciliter la démarche de conception (cf. Chapitre 2).

1.4.2. L'ajustement progressif dans un processus d'éco-conception

[Conan, 1990] remarque qu'il existe une différence entre la procédure de vérification scientifique et architecturale :

« Il n'existe pas pour l'architecture de solution vérifiable à un problème au sens où une solution peut être vérifiée scientifiquement. » [Conan, 1990].

Dans la conception architecturale, le problème à résoudre étant le *contexte* du bâtiment, on doit y répondre par une forme architecturale. Dans le cadre d'une conception environnementale d'un bâtiment, le problème peut d'une part, être exprimé par les attentes de la maîtrise d'ouvrage - programme du bâtiment - et d'autre part, par les exigences du concepteur. Ce contexte - problème - contient des milliers de variables et peut être reformulé et interprété, voire changé, par la négociation entre le concepteur et la maîtrise d'ouvrage.

En conséquence, la démarche de conception environnementale de bâtiments exige une vérification permanente et conduit à des ajustements progressifs afin d'assurer la pertinence des solutions. L'ajustement désigne le rapport non déductif qui existe en situation de conception entre les données de contexte (e.g. le programme, les conditions d'action, les règlements) et les solutions formelles proposées pour y répondre. L'objectif est donc d'arriver à une bonne adéquation entre la forme (solution) et le contexte (problème).

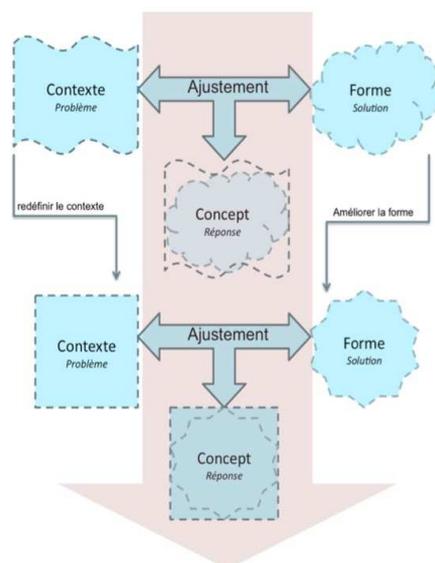


Figure 6 - Schéma représentant la démarche d'ajustement progressif du concepteur [notre recherche]

Dans ce cheminement, le concepteur - individu ou équipe synchrone - conduit toujours à un travail autonome de mise en forme, qui n'est jamais strictement déductible du contexte, mais qui répond à des dynamiques propres de dimensionnement, de composition et de formalisation (Figure 6). Pour arriver à cette adéquation dans les délais fixés par un projet, et afin de rendre ce dernier convaincant pour la maîtrise d'ouvrage, le concepteur suit souvent une logique professionnelle qui consiste en un ajustement par élimination et filtration. L'architecte, en se référant à certains critères de bon sens, peut facilement éliminer plusieurs possibilités et garder ce qui reste pour continuer sa démarche. Ce bon sens peut être l'accentuation sur une ou plusieurs parties de contexte (e.g. fonction, site, climat) ou bien un bon sens défini par le concepteur lui-même (e.g. morphologie, ambiance interne, système constructif). Ce bon sens aidera le concepteur à reformuler à chaque fois de manière plus abordable le contexte (problème) et à mettre en valeurs certaines formes (solutions) par rapport aux autres.

Il faut mentionner aussi que dans ce processus, les *contraintes matérielles*, surtout les contraintes de temps et de budget, jouent un rôle important ; et, comme le stipule [Conan, 1990], elles interdisent l'échec car les architectes « *se trouvent toujours confrontés à l'obligation de trouver une solution dans un temps et un budget donnés.* » [Conan, 1990].

1.5. La prise en compte de la phase amont de la conception dans un projet de bâtiment

1.5.1. Le projet architectural de bâtiment

Selon l'agence environnementale [ADEME, 2002], un projet architectural de bâtiment s'appuie sur trois grandes phases : la pré-conception architecturale, la conception architecturale et la post-conception architecturale. Chaque grande phase possède aussi des étapes distinctes (Figure 7).

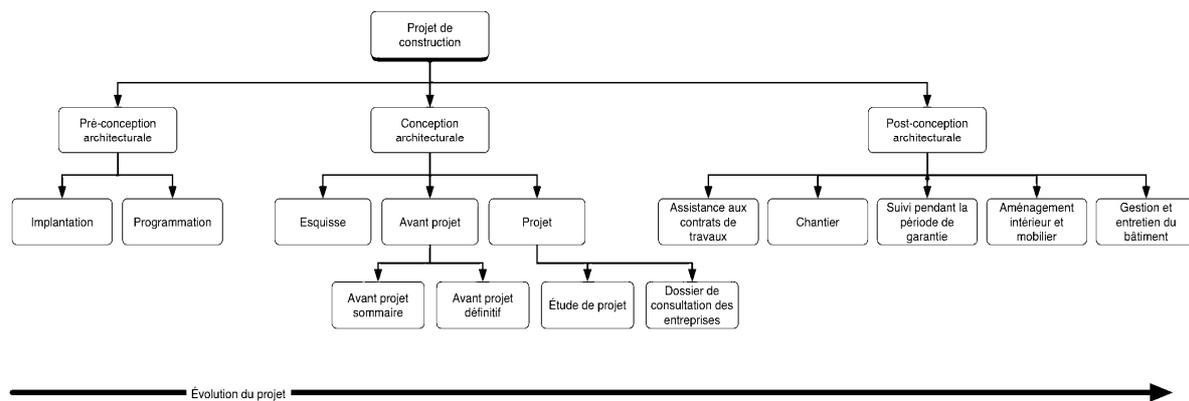


Figure 7 - Les phases et étapes d'un projet de bâtiment - adapté de [ADEME, 2002]

1.5.1.1. Pré-conception architecturale

La pré-conception architecturale se résume en deux étapes importantes :

- le choix de l'implantation et la faisabilité de l'opération
- la programmation

La pré-conception est une phase durant laquelle le maître d'ouvrage choisit une parcelle et définit le programme du bâtiment. L'urbaniste, le programmiste et/ou d'autres consultants peuvent aider le maître d'ouvrage dans ces étapes. L'architecte sera informé de ce programme par la suite. Pendant cette phase, les exigences environnementales de la maîtrise d'ouvrage déterminent des qualités environnementales importantes pour le bâtiment fini.

1.5.1.2. Conception architecturale

La conception, dans son sens général, selon [Tichkiewitch, 2003] consiste à :

« Donner un ensemble de propositions permettant de décrire le produit (forme, dimensions, moyens d'obtention...) et répondant globalement à un cahier des

charges (fonctions à assurer, conditions de fonctionnement, durée de vie souhaitée, environnement,...). » [Tichkiewitch, 2003].

Le processus de conception est entendu différemment selon la culture. Comme le mentionne [Halin, 2004], dans le nord de l'Europe la conception se réfère « à l'émergence de l'idée jusqu'à la production de l'esquisse ». C'est en effet un équivalent du mot « design » dans les pays anglo-saxons.

« En France, il est communément admis que l'étape de conception couvre l'ensemble de la production des documents décrivant l'objet à réaliser. Elle commence à l'émergence de l'idée et se termine lorsque l'ensemble des plans et documents prescriptifs est défini et validé. Cette définition correspond aussi à celle utilisée dans l'industrie pour qualifier la conception de produits. » [Halin, 2004].

[Lawson, 2006], en se basant sur des recherches antérieures [Markus, 1969; Maver, 1970], présente une représentation du processus de conception par trois séquences : esquisse de propositions, conception du projet et conception détaillée. Chaque séquence commence par une étape d'analyse qui permet la structuration du problème. Elle sera ensuite suivie par une synthèse présentant l'avancement, la création des solutions pour les problèmes donnés. Puis une étape d'évaluation va permettre au concepteur de critiquer les solutions suggérées par rapport aux objectifs identifiés dans l'étape d'analyse. Plus particulièrement, il va vérifier l'exhaustivité des données issues de l'étape d'analyse. En effet, il est possible que le concepteur constate un manque de données lors des étapes d'évaluation ou de synthèse. Il faudra alors reprendre la phase d'analyse en vue d'améliorer le rendu de cette séquence (Figure 8).

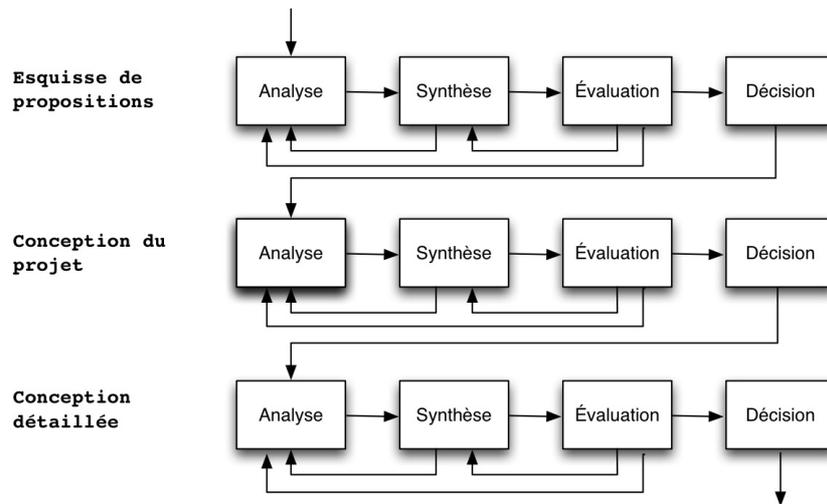


Figure 8 - La représentation du processus de conception [Lawson, 2006]

Plus spécifiquement dans le domaine de la conception environnementale de bâtiment, le processus de conception selon [ADEME, 2002] est composé des étapes suivantes :

- Esquisse
- APS : avant projet sommaire
- APD : avant projet définitif
- PRO et DCE : étude de projet et dossier de consultation des entreprises

Durant l'étape d'esquisse, l'architecte, en prenant en compte les exigences du maître d'ouvrage - y compris les exigences environnementales - décide de certaines options générales mais déterminantes comme : l'implantation du bâtiment dans son site, l'orientation du bâtiment vis-à-vis des éléments naturels, la volumétrie générale, la répartition des espaces extérieurs et intérieurs.

À l'étape de l'APS, les réflexions s'effectuent sur la distribution des espaces, les façades, les principes constructifs, les solutions techniques et le choix des principaux matériaux. À ce stade de conception, la proposition durant l'étape d'esquisse doit être complétée par les exigences particulières du programme.

L'étape d'APD a pour objectif d'affiner les choix effectués à l'étape d'APS et de les accompagner de justificatifs techniques. À ce stade du processus de conception, on commence à s'interroger sur les détails constructifs tel que, la nature des matériaux du second œuvre, les précisions sur les équipements techniques, etc.

Finalement, les étapes PRO et DCE consistent à réaliser des études techniques (e.g. composition des parois, revêtements, systèmes de fluides, etc.) et à lancer l'étude des dossiers de consultation des entreprises.

Enfin, l'enchaînement des étapes peut être rythmé par des évaluations durant lesquelles il peut arriver que certaines décisions, prises pendant les étapes précédentes, soient remises en cause [Weissenstein, 2009]. Ces étapes de validation - ou d'évaluation - ont pour objectif d'éviter les changements tardifs (Figure 9).

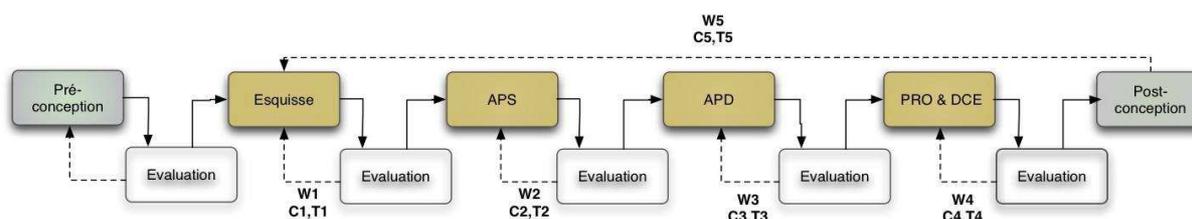


Figure 9 – Les évaluations progressives partagent les modifications durant le processus et réduisent le risque des changements tardifs qui sont grands et coûteux [notre recherche]

1.5.1.3. Post-conception architecturale

La phase de post-conception consiste aux choix des entreprises, à la construction du bâtiment et à son entretien.

« À ce stade, il est assez tard pour intégrer des principes environnementaux. Les seuls enjeux sont le choix des entreprises (chantier ou entretien) engagées dans l'environnement et surtout locales. » [Weissenstein, 2009].

1.5.2. L'importance de la phase amont dans la conception architecturale

La phase amont de la conception selon [Lawson, 2006] consiste à la « *présentation de concept* » ce qui est opposé au « *concept de construction* » dont l'objectif est la mise en œuvre. Plus précisément et en nous appuyant sur l'évolution du processus de conception présentée par l'agence [ADEME, 2002], nous entendons par phase amont de la conception architecturale les étapes d'esquisse - ESQ - et d'avant-projet sommaire - APS (Figure 10).

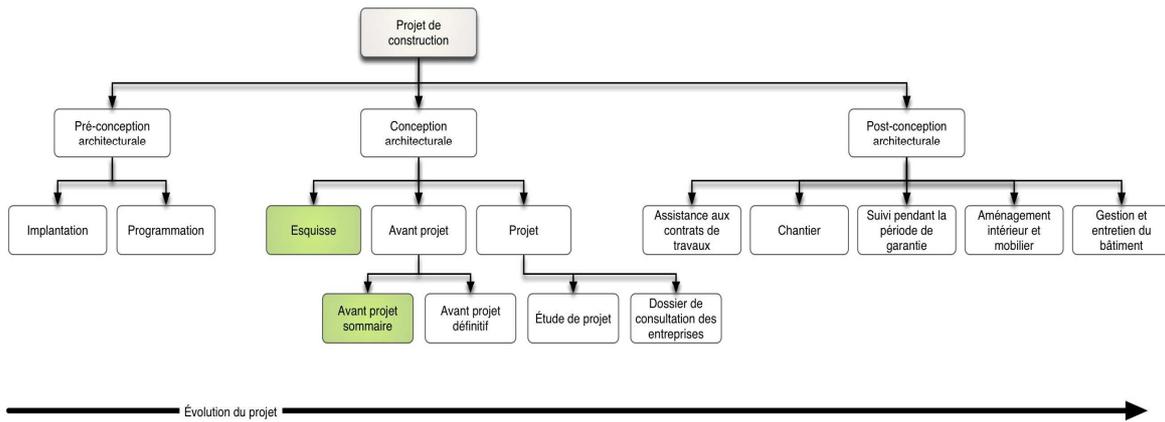


Figure 10 - La phase amont de la conception architecturale du bâtiment dans notre recherche

1.5.2.1. Au point de vue de la durabilité

Dans un projet nouveau, selon [McAloone et Bey, 2009], près de 80 % du profil environnemental d'un produit est fixé durant la phase de création de concept d'un produit nouveau (Figure 11).

Prenant l'hypothèse que chaque bâtiment, sauf dans les cas de construction en masse ou des plans types, est considéré comme un projet nouveau, la conception joue un rôle important vis-à-vis de son profil environnemental.

Plus précisément, les critères essentiels et les enjeux les plus déterminants par rapport aux enjeux environnementaux (e.g. l'orientation, les principes constructifs) se font durant la phase amont de la conception, c'est-à-dire durant l'étape d'esquisse et l'APS.

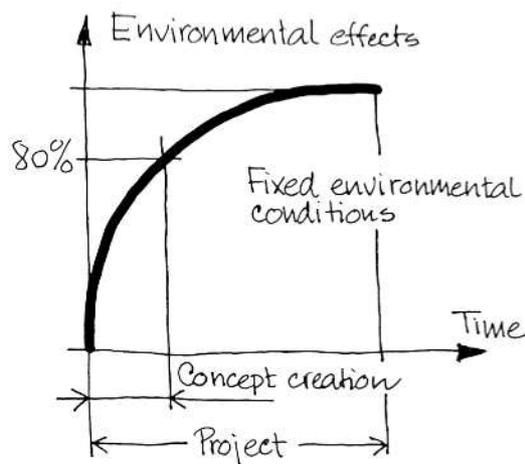


Figure 11 - La caractère déterminant de la phase amont de la conception dans le profil environnemental d'un produit nouveau [McAloone et Bey, 2009]

D'ailleurs, comme nous l'avons précédemment mentionné, l'objectif d'une démarche de conception dans le cadre du développement durable est de réduire les impacts environnementaux d'un bâtiment et cela par des actions simples, sans ajouter des charges économiques et sociales.

Donc, naturellement, afin de satisfaire les points précédents, une voie de solution consiste à prendre en compte des exigences environnementales durant la phase amont de la conception de bâtiment pour éviter les conséquences de changements tardifs.

1.5.2.2. Au point de vue de la créativité

La conception architecturale d'un bâtiment se déroule dans une situation contrainte par les prédéfinis des étapes précédentes et par le temps. Ces contraintes seront réinterprétées et gérées par chaque concepteur à sa manière.

*« Un même programme d'architecture donne autant de projets différents qu'il y a d'architectes ou de groupes de conception (e.g. concours d'architecture). »
[Laarousi, 2007].*

Une des stratégies souvent empruntée par les concepteurs est de reporter à plus tard le traitement des contraintes. [Darses, 1997] reconnaît ce comportement comme une stratégie de moindre compromission. Les réglementations environnementales sont parmi les contraintes souvent traitées de cette façon.

Cependant, il ne faut pas ignorer que malgré toutes ces contraintes imposées, la conception peut présenter aussi une activité créative. [Laarousi, 2007] confirme cette vision :

*« Comprendre la conception comme une activité contrainte est important, mais insuffisant. Il apparaît nettement que cette activité est aussi créative. »
[Laarousi, 2007].*

En ce sens, selon [Rabardel et Béguin, 2001] la créativité est une « *propriété ontologique* » de la conception.

La créativité nécessite certains degrés de liberté tandis que les contraintes à première vue sont un frein à cette dernière. Ce paradoxe existant dans la conception peut s'expliquer à l'aide d'une logique abordée par [Midler, 1993] sur la notion de capacité d'action dans une dynamique de la situation du projet. En ce sens, les contraintes des prédéfinis se renforcent

dans le temps, c'est-à-dire que la capacité d'action (liberté) se réduit. C'est pourquoi plus le concepteur agit en phase amont, plus il est facile de gérer les contraintes pour réussir un projet créatif. Dans le cadre d'un projet de conception de bâtiment, les premières lignes conçues par l'architecte en phase amont définissent la généralité de la forme créative (Figure 12).

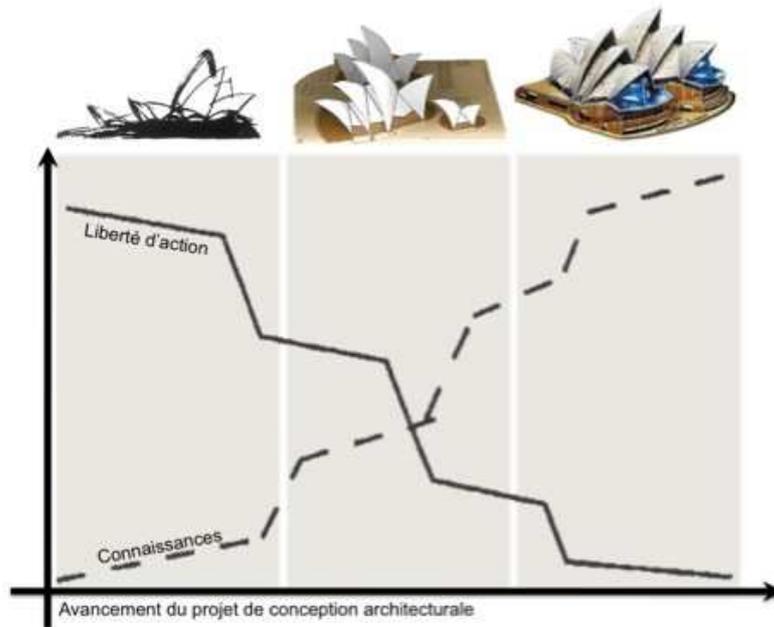


Figure 12 - L'importance de la phase amont dans la créativité de la forme architecturale - adapté de [Midler, 1993] pour un exemple de la conception architecturale

La prise en compte des exigences environnementales dans les étapes avancées de la conception conduit à une vision de la conception *contrainte*. En effet, dans cette vision, les données environnementales sont considérées comme une étape supplémentaire pour la démarche de conception architecturale. En conséquence, elles induisent des contraintes matérielles supplémentaires et donc freinent la créativité architecturale.

À contrario, en prenant en compte les exigences environnementales en phase amont le concepteur peut atteindre une vision différente et prendre d'avantage ces exigences pour augmenter le niveau de créativité de son projet. Poursuivant cette vision, plusieurs chercheurs [Hedstrom et al., 2000 ; Hartshorn et al., 2005 ; Larson, 2000] croient que le développement durable ouvre les voies vers des opportunités d'intégrer de nouvelles technologies et de trouver de nouveaux avantages.

Cependant, si agir en phase amont amène des avantages notamment en terme de capacité d'action du concepteur, ce dernier nécessite d'être accompagné, notamment en accédant à un niveau de connaissances satisfaisant, afin de mener une conception de qualité. C'est-à-dire

que la conception va être sous certains aspects suffisamment robuste - certitude des données et faisabilité - pour ne pas faire l'objet de changements radicaux dans les étapes suivantes. Une amélioration des connaissances pour augmenter la qualité des propositions en phase amont paraît donc nécessaire. C'est pourquoi, dans la partie 2 de ce travail de recherche, nous proposerons un outil d'aide à la conception permettant de remplir cet objectif.

Chapitre 2- Les approches, méthodes et outils d'assistance au processus de conception

Pour répondre à la situation à la fois complexe, contrainte et créative de la conception environnementale de bâtiment, les architectes mettent en œuvre des stratégies très variées d'ajustement et de réduction des incertitudes pour lesquelles des outils peuvent apporter une aide.

« Assister une démarche de conception, c'est proposer un ensemble d'outils qui permettent à l'utilisateur-concepteur de progresser de manière cohérente de l'idée initiale à l'objet final. Cette progression n'étant pas linéaire ni prévisible, l'outil doit aider le concepteur à faire des choix, à les mémoriser et éventuellement à les remettre en cause. » [Halin, 2004].

Différentes approches, méthodes et outils existent afin d'améliorer le processus de conception d'un projet. Parmi eux, nous pouvons distinguer ceux qui visent à *résoudre des problèmes*, ceux utiles pour *proposer des solutions* et enfin ceux destinés à *l'évaluation des solutions*.

2.1. Les approches, méthodes et outils d'aide à la résolution de problèmes

[Nakapan, 2006], se basant sur les recherches de [Prost, 1992 ; Conan, 1989], considère le processus de la conception architecturale *« comme une forme particulière de formulation/résolution de problèmes »*. Ce processus s'appuie sur l'intelligence de l'architecte nommée la *« boîte noire »* de conception qui permet de transformer l'énoncé du problème en solution.

[Laarousi, 2007] pense quant à lui que tous les processus de conception peuvent être vus en tant que *« processus cognitif de résolution de problèmes »*, qui s'articulent autour de trois activités principales consistant en l'analyse du problème, la proposition de solution et l'évaluation de la solution. Il propose de représenter ces processus de résolution de problèmes par un processus générique (Figure 13).

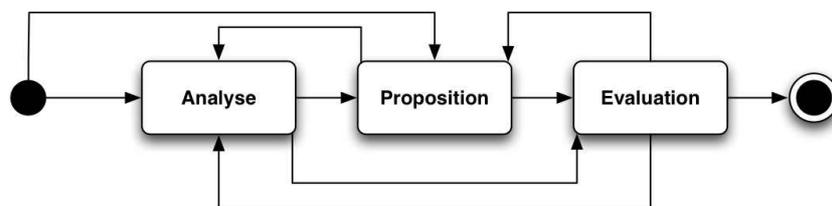


Figure 13 - Processus générique de conception en architecture/résolution de problème [Laarousi, 2007]

Plusieurs approches, méthodes et outils apportent une assistance à la résolution de problème en conception. Parmi eux, nous citerons en particulier la conception collective, le retour d'expérience, les méthodes à partir de cas, la méthode TRIZ et les méthodes dédiées à l'utilisation de modèles et de patrons de conception.

2.1.1. Conception collective¹¹

Dans ce travail de recherche, nous étudions la conception collective en tant qu'approche d'aide à la conception par la résolution de problème. Dans ce sens, la conception collective est une approche systémique par laquelle différentes professions travaillent ensemble pour résoudre un problème commun.

Nous abordons ici deux stratégies majeures de la conception collective : la conception collaborative et la conception distribuée.

2.1.1.1. Conception collaborative

La conception collaborative est souvent considérée comme une activité interdisciplinaire et sociotechnique [Lu et al., 2000]. Les objectifs dans une telle activité sont partagés entre différents acteurs [Kvan, 2000]. L'artefact est le résultat d'un effort partagé entre des acteurs variés [Wang et al., 2002] et une série d'interactions entre les acteurs. Par ce fait, elle représente un travail synchrone et dépendant des notions de temps et d'espace. C'est-à-dire que durant un processus de conception collaborative, les acteurs doivent être de préférence dans une proximité physique [Darses et Falzon, 1996; Grégori et Brassac, 2001]. Cependant, grâce à l'avancement technologique, on réduit certaines barrières spatiales et la proximité pourra se résumer à une proximité virtuelle [Wang et al., 2002; Khadidjia, 2007].

¹¹ Ces propos reprennent un travail réalisé en collaboration avec Laurent Dupont, ERPI, INPL, Nancy-Université et fait l'objet d'un article en attente de publication cf. [Dupont et al.].

Dans une conception collaborative, l'existence d'un artefact cognitif, selon [Visser et al., 2004] facilite le traitement d'une tâche interdisciplinaire. En ce sens, l'artefact représente un « *objet de frontière* »¹² qui aide à l'amélioration du partage de connaissances entre les acteurs [Fischer, 2004; Grebici, 2007].

La conception collaborative a donc comme avantage d'augmenter la certitude dans la conception. Cette approche permet aux acteurs d'intervenir durant les phases les plus en amont du processus de conception et ainsi de réduire le besoin de tests consécutifs [Grégori et Brassac, 2001]. Dans les domaines industriels, cette approche est souvent appliquée aux développements de nouveaux projets (NPD) pour augmenter les chances de succès sur le marché [Hou et al., 2008a].

Parmi les points sensibles de cette approche, nous pouvons mentionner la dépendance de la qualité du résultat aux relations entre les acteurs [Robin et al., 2007]. En effet, pour bien gérer les interactions, avoir des environnements de travail adaptés à la collaboration semble être important [Robin et al., 2007]. [Gabriel et Maher, 2002] pensent que la communication des idées dans une collaboration se fait à partir des représentations verbales et graphiques, ces dernières pouvant être affectées par la distance géographique et temporelle entre les collaborateurs. D'ailleurs, soulignons que les conflits liés aux nombreux rôles superposés [Belkadi et al., 2004] réduit la qualité des interactions entre les acteurs et en conséquence les résultats finaux. La résolution des conflits jusqu'à aujourd'hui se fait plutôt à partir de négociations et de réunions entre les personnes [Wang et al., 2002]. Une autre façon de réduire les risques de conflit est d'investir sur la sélection des collaborateurs [Hou et al., 2008b] et cela, avant que le processus de conception démarre. Enfin, plusieurs disciplines peuvent prendre en main une bonne coordination des interactions comme : la psychologie cognitive, l'ergonomie, l'ingénierie informatique et industrielle [Belkadi et al., 2004].

2.1.1.2. Conception distribuée

Dans le cadre d'une conception distribuée, les acteurs de la conception sont engagés dans un travail séparé mais en parallèle. Cela devient possible à travers une coordination de processus. Les connaissances sont multidisciplinaires mais chaque domaine garde son indépendance par rapport aux autres domaines [Visser et al., 2004]. En conséquence, il n'est pas nécessaire de produire un langage en commun entre les acteurs car cela n'empêche pas que les acteurs soient tous engagés à la résolution efficace d'un problème en commun [Darses et al., 2001].

¹² Boundary objects

Dans cette approche, l'artefact pourra aussi agir comme un « *objet de frontière* » car il concrétise le résultat du travail d'un domaine pour l'autre et la communication se passe autour de cet objet [Fischer, 2004; Grebici, 2007]. De cette manière, chaque paire d'acteurs possède son propre artefact, qui est une partie de l'artefact final. Chaque acteur a des objectifs de travail qui sont bien spécifiés [Darses et al., 2001]. Ces sous-objectifs mèneront à un objectif global. Un coordinateur ou un manager prendra la décision sur l'objet final.

Cependant, la coordination est le point sensible de cette approche car elle possède un rôle crucial dans cette approche multidisciplinaire. Il s'agit d'une synchronisation opérationnelle afin de gérer le processus de conception et les acteurs.

2.1.2. Retour d'expérience

Le retour d'expérience¹³ est une façon d'acquérir des connaissances qui ne sont pas directement accessibles et qui sont les fruits et les résultats des expériences [Armaghan, 2009]. L'expérience est reconnue comme étant un aspect de la résolution de problèmes par le partage de ses connaissances et la transmission d'une pratique [Chebel, 2008]. En effet, des connaissances issues des expériences passées permettent, face à un problème inédit, de l'interpréter et de le résoudre plus efficacement. Dans ce sens, chaque résolution de problème nous permet d'enrichir les expériences et vice versa. Cela nécessite une gestion des expériences et l'établissement d'une base de retour d'expériences (Figure 14).

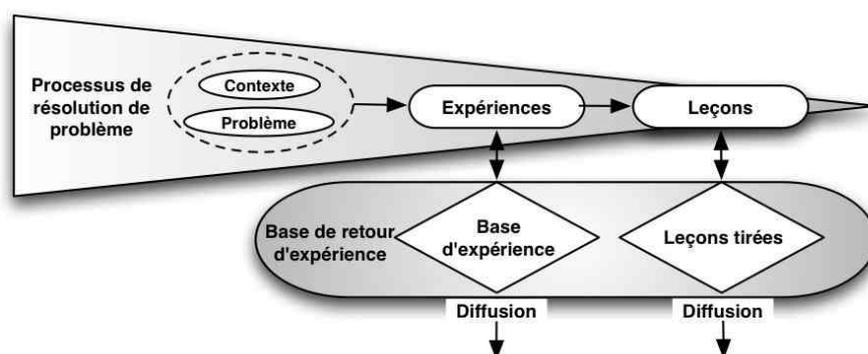


Figure 14 - La réalisation du retour d'expérience pour aider le processus de résolution de problème [Kamsu Foguem et al., 2008]

¹³ Aussi exprimer dans le monde industriel en France sous le terme de *RETEX*, et dans la littérature anglaise avec les expressions de « *Expérience Feedback (EF)* », ou « *Experience Management (EM)* » ou « *Lesson Learned (LL)* » [Armaghan, 2009]

Les expériences aideront durablement la résolution des problèmes que si elles sont intégrées au processus de conception. En ce sens [Armaghan, 2009] propose de regarder le retour d'expérience selon un cycle alliant deux phases : « *acquisition et mémorisation* » et « *réutilisation et adaptation* ». La première phase consiste dans l'identification et l'extraction des connaissances ou pratiques, la formalisation et la structuration et la mise en mémoire. Dans, la phase de réutilisation et d'adaptation, il s'agit de retrouver l'expérience utile dans la base d'expériences et de l'adapter au problème à résoudre. Il en résultera une nouvelle expérience qui ira enrichir la base d'expériences existante (Figure 15).

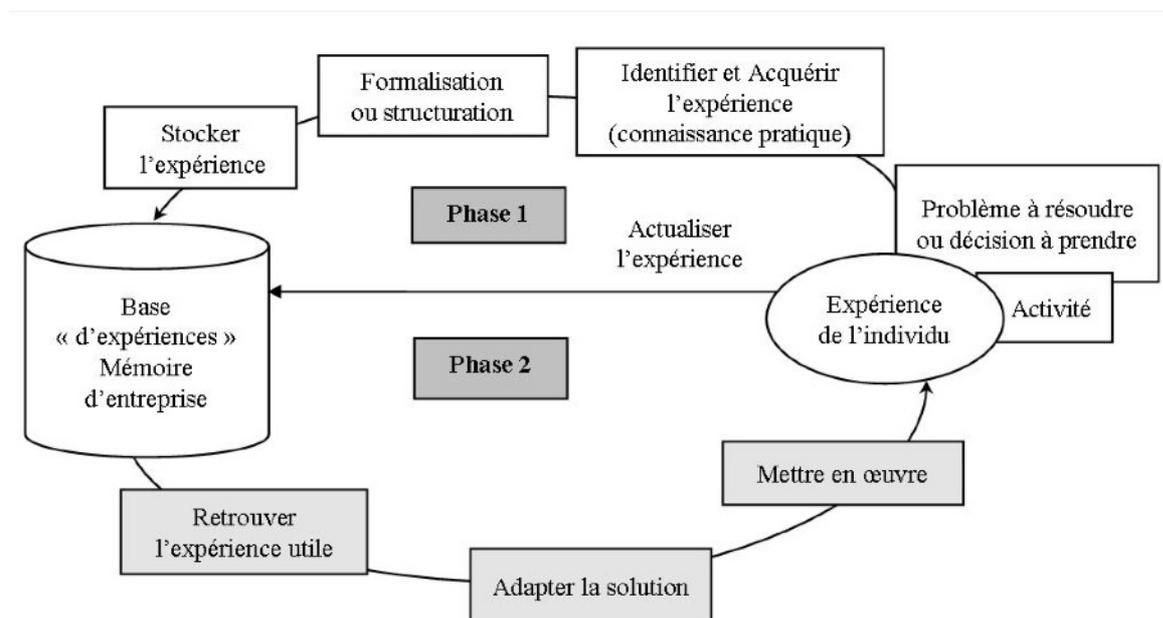


Figure 15 - Cycle du retour d'expérience [Armaghan, 2009]

Afin de faciliter la recherche et la réutilisation des expériences, certaines méthodes sont utilisées. Parmi elles, nous présenterons en particulier le *raisonnement à partir des cas* (RàPC) et la méthode *TRIZ*.

2.1.2.1. Raisonement à Partir de Cas

Dans le cadre de l'approche générale du retour d'expérience, le RàPC fournit des cas antérieurs pour enrichir les connaissances. Un cas comprend un extrait de l'expérience passée qui est codifié pour retrouver facilement le contexte d'utilisation - ou problème posé - et la façon dont il a été résolu.

« Un cas est un ensemble de problèmes qui se note « *pb* » et la solution de ce problème est alors codifiée « *sol (pb)* » : $cas = (pb, sol (pb))$. » [Armaghan, 2009].

Une base de cas nécessite une manière de filtrage afin de réduire l'environnement de recherche et de faciliter la sélection. La sélection se fait par une réflexion heuristique qui enchaîne le choix des cas les plus similaires au problème posé. Enfin, on effectuera une adaptation des solutions par une confrontation à la réalité du domaine.

Après la résolution du problème posé, comme dans tous système de retour d'expérience, une mise à jour des connaissances du système aidera à la durabilité de la démarche (Figure 16).

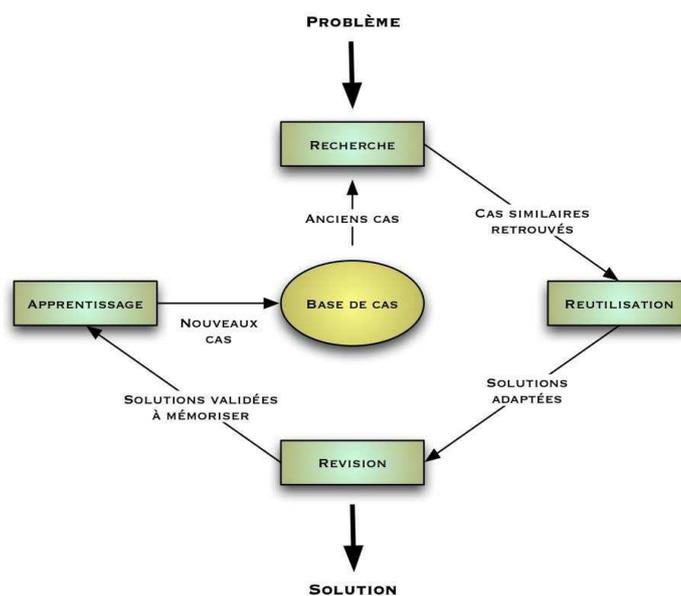


Figure 16 - Le principe de système de raisonnement à partir de cas - adapté de [Mille, 2001]

Cependant, d'après [Kamsu Foguem et al., 2008], malgré sa proximité avec les systèmes de retour d'expérience, le RàPC n'est pas destiné à la base à être un modèle organisationnel de réutilisation des expériences passées mais plutôt un modèle cognitif et technique pour l'architecture.

2.1.2.2. Méthode TRIZ

La méthode TRIZ¹⁴, connu pour son utilisation dans les processus de résolution des problèmes de manière innovatrice, fonctionne par le retour d'expériences. Dans cette méthode, après l'identification du problème innovant - causes du problème, ressources existantes - une abstraction du problème innovant va être réalisée pour la recherche des voies de solutions. À la base, la résolution de problème par TRIZ s'appuie sur une logique simple :

14 L'acronyme russe de la théorie de résolution des problèmes inventifs

« *Somebody at someplace has already solved this problem (or one very similar to it).* » [Mann, 2006].

« *Quelqu'un quelque part a déjà résolu ce problème (ou un problème très ressemblant).* » [Mann, 2006] traduit par [notre recherche].

Ceci suggère que les problèmes et les solutions se répètent parmi les industries et les technologies et que l'innovation la plus impressionnante est celle qui emprunte les effets et les solutions des autres domaines pour se développer dans un nouveau domaine. Donc, en s'appuyant sur cette logique, TRIZ propose l'utilisation d'une base de brevets et d'innovations dans tous les domaines [Altshuller, 1988 ; Salamatov, 1999].

L'objectif de la méthode consiste en l'évaluation et la sélection des voies de solutions générales puis la transformation des voies de solution en solution spécifique - adaptation au contexte (Figure 17).

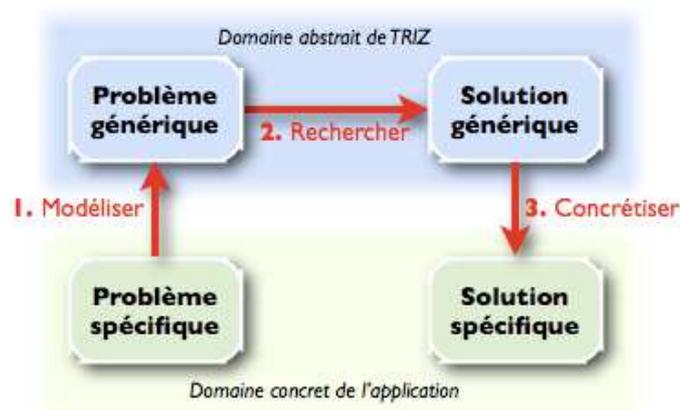


Figure 17 - Les principes de la méthode TRIZ pour la résolution de problèmes [ScIng]

Selon [Mann et Cathain, 2001], TRIZ est la méthode la plus compréhensive parmi les méthodes de créativité et les systèmes d'innovation existants. Dans la deuxième moitié de XXe siècle, les architectes ont montré un certain intérêt aux théories systémiques. Cet intérêt n'a pas complètement abouti, car l'introduction de telles démarches en architecture est difficile. Malgré ça, récemment, plusieurs chercheurs ont essayé d'appliquer la méthode TRIZ dans le champ de l'architecture [Mann et Cathain, 2001 ; Lee, 2006 ; Bridges, 2007].

[Mann et Cathain, 2001] expérimentent la méthode TRIZ dans quatre mini-projets architecturaux pour des sujets de conception de fenêtres, rampes, etc. Ils résument le résultat de leur experimentation comme suit :

« The method offers much potential for systemizing the “innovation process in architecture” and “TRIZ-based knowledge bases” enable architects to readily identify and explore the good solutions of others in other fields. Such knowledge bases would benefit from expansion to incorporate the “good solutions” known about by architects that have not been discovered in other disciplines. » [Mann et Cathain, 2001].

« La méthode offre beaucoup de potentiel pour systématiser “le processus d’innovation dans l’architecture”. De plus, “les bases de connaissances basées sur TRIZ” permettent aux architectes de facilement identifier et explorer les bonnes solutions des autres dans d’autres domaines. Ce genre de bases de connaissances pourraient s’enrichir aussi de “bonnes solutions” connues par des architectes et qui n’ont pas encore été découvertes dans d’autres disciplines. » [Mann et Cathain, 2001] traduit par [notre recherche].

La méthode TRIZ est applicable à certains sujets de conception en architecture - avec un caractère plus technique que spatial - pour trouver des solutions innovantes. Cette capacité d’innovation s’appuie sur le travail analogique du concepteur et rencontre des solutions innovantes des autres domaines comme sources d’inspiration.

Enfin, le fonctionnement de TRIZ s’inscrit dans un style de retour d’expérience proche de RàPC car il inspire le concepteur par les projets réussis.

2.1.3. Réutilisation des précédents

Face aux situations complexes de conception, la réutilisation de solutions antérieures est probablement l’approche la plus universellement partagée. Cette approche consiste à projeter des situations passées de résolution de problèmes sur les situations présentes considérées comme semblables afin d’engendrer par analogie une solution possible.

Un bon exemple de réutilisation des *précédents* nous est offert par la pratique du cabinet « Alan Short et associés »¹⁵ qui ont conçu et réalisé leurs différents projets en réutilisant un élément emprunté à l’architecture vernaculaire du Moyen Orient. Par exemple, une exigence de ventilation naturelle répondant à la fois aux critères environnementaux et

¹⁵ <http://www.shortandassociates.co.uk>

architecturaux va se traduire dans plusieurs projets sous différentes formes : tour à vent, capteur de vent ou cheminée à vent (Figure 18).



Figure 18 - Certains exemples des projets d'Alan Short et associés [Short et al.]

Pour plusieurs réalisations, les concepteurs ont non seulement utilisé les précédents issus de leurs propres expériences, mais aussi ceux provenant d'une tradition éprouvée en la déclinant pour produire de nouveaux concepts.

Cette économie de la pensée en conception s'approche des notions d'*échelle de modèle* et de *patron de conception* que nous aborderons par la suite.

2.1.3.1. Échelle de modèle

La notion d'« *échelle de modèle* » est définie dans le champ de l'architecturologie comme :

« Une classe d'opération qui consiste à reprendre un modèle antérieur tout en effectuant éventuellement des modifications de divers degrés et de diverses natures. » [Boudon et al., 1994].

La notion de modèle existe déjà chez des concepteurs qui ont suffisamment d'expérience. À chaque nouveau projet, ils essaient de réutiliser des solutions précédentes qui ont eu du succès mais aussi de ne plus utiliser celles qui ont conduit à l'échec (Figure 19).

« Tout bateau est copié sur un autre bateau (...) Raisonçons là-dessus à la manière de Darwin. Il est clair qu'un bateau très mal fait s'en ira par le fond après une ou deux campagnes, et ainsi ne sera jamais copié. On copiera justement les vieilles coques qui ont résisté à tout (...) Méthode tâtonnante, méthode aveugle, qui conduira pourtant à une perfection toujours plus grande

(...) et le progrès résulte justement de cet attachement à la routine. » [Alain, 1920]

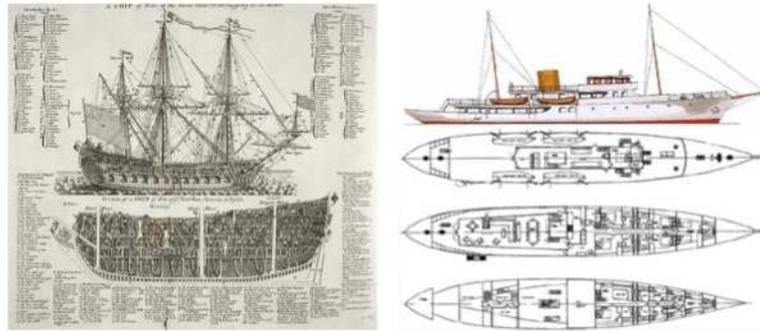


Figure 19 - Un exemple de réutilisation des précédents dans l'évolution de l'architecture navale : à gauche, la conception d'un bateau au XVIII^e siècle et à droite, la conception d'un bateau de XX^e siècle

La notion d'échelle est en rapport avec l'importance de la grandeur en matière d'architecture mais aussi la proportion. Selon [Boudon, 2009], la pertinence d'un modèle est limitée à son utilisation dans une « échelle » similaire. Pour mieux expliquer cette idée, il donne une continuation à la phrase d'Alain en restant toujours dans le domaine de la conception navale :

« La barque ne saurait être reproduction du paquebot et vice versa. » [Boudon, 2009].

Il affirme ainsi que même si cela semble parfois possible, il existe des conséquences (économiques, techniques, fonctionnelles, esthétiques, etc.) qui augmentent la complexité du projet au point d'être inabordable. L'auteur suggère alors que pour mieux comprendre cette complexité il faut adapter les modèles en proposant l'étude des multiples échelles : « échelle économique », « échelle technique », « échelle esthétique », etc.

L'importance de la notion d'échelle dans la théorie de [Boudon, 2009] est d'aider à une « modélisation du modèle architectural » qui n'est pas fondée sur une simple imitation.

Enfin, la notion d'« échelle de modèle », extraite des pratiques architecturales courantes, exprime une méthode que l'architecte utilise, parfois sans même connaître ce terme, pour résoudre les problèmes posés dans le cadre de son projet.

2.1.3.2. Patron de conception

[Alexander et al., 1977], dans sa théorie du « *pattern language* », ou « *langage de patrons* » - traduit par [notre recherche] - semble avoir été le premier à instrumentaliser l'utilisation des

précédents. L'utilisation des *Patrons (Patterns)* ou *formes prototypes* est un dispositif heuristique proposé comme réponse aux situations de conception complexe.

« Il s'agit de construire un ensemble d'énoncés du problème qui permet, par induction, de découvrir les formes qui satisferont au mieux les conditions d'adéquation au contexte de l'objet à concevoir. » [Halin, 2004].

Un **patron de conception** est une solution fréquemment utilisée vis-à-vis d'un problème fréquemment rencontré. Le patron est considéré comme le fruit du temps et sa pertinence peut s'évaluer par la fréquence de son utilisation. Un patron possède un niveau d'abstraction moyen afin de laisser au concepteur une marge créative.

Le « pattern language » est donc un ensemble harmonieux de patrons et de règles combinatoires. À l'aide de sa grammaire - les règles combinatoires - ce langage donne lieu à une grande quantité de scénarios (Figure 20).

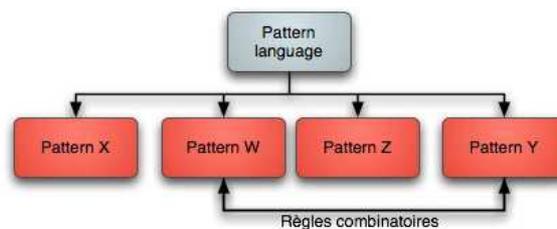


Figure 20 - Schéma explicatif du principe de « Pattern language » [notre recherche]

Les patrons sont normalement organisés selon une *hiérarchie de sous-systèmes*. Cette organisation existe dans la méthode de « *pattern language* » d'Alexander (Figure 21).

L'utilisation de *patrons* est aussi appliquée dans les méthodes récentes de développement des interfaces informatiques ainsi que dans le domaine du management de la connaissance. Le principe d'utilisation reste le même mais les concepts et les définitions varient selon le domaine (Tableau 1).

Tableau 1 - La notion de patron appliquée dans différents domaines [notre recherche]

	Domaine	Définition	Référence
1	Architecture et urbanisme	Certains nombre des principes et règles réutilisables	[Alexander et al., 1977]
2	Génie logiciel	Bonnes pratiques de développement de l'interface	[Conte et al., 2001 ; Meszaros et Doble, 1997]
3	Management de connaissances	Une interface qui permet d'indexer et d'interpréter une vision composée des éléments de connaissance	[Ribière, 1999 ; Dieng-Kuntz et al., 2001]

ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS DURABLES

Les concepteurs peuvent utiliser les *patrons de conception* issus de leurs propres expériences mais aussi ceux d'autrui. Dans ce sens, les patrons de conception fonctionnent comme de véritables briques collaboratives pouvant être échangées entre partenaires inconnus et agencées dans des configurations multiples.

<p>BUILDINGS The overall arrangement of a group of buildings</p>	<p>Problème général</p>
<p>95 BUILDING COMPLEX</p>	<p>Problème spécifique</p>
<p>... this pattern, the first of the 130 patterns which deal specifically with buildings, is the bottleneck through which all languages pass from the social layouts of the earlier patterns to the smaller ones which define individual spaces.</p> <p>Assume that you have decided to build a certain building. The social groups or institutions which the building is meant to house are given - partly by the facts peculiar to your own case, and partly, perhaps, by earlier patterns. Now this pattern, and the next one - NUMBER OF STORIES (146), give you the basis of the building's layout on the site. This pattern shows you roughly how to break the building into parts. NUMBER OF STORIES before you decide how high to make each part. Obviously, the two patterns must be used together.</p>  <p style="text-align: right;">Explication de problème image représentative de problème</p>	
<p>A building cannot be a human building unless it is a complex of still smaller buildings or smaller parts which manifest its own internal social facts.</p> <p>Therefore:</p> <p>Never build large monolithic buildings. Whenever possible translate your building program into a building complex, whose parts manifest the actual social facts of the situation. At low densities, a building complex may take the form of a collection of small buildings connected by arcades, paths, bridges, shared gardens, and walls.</p> <p>At higher densities, a single building can be treated as a building complex, if its important parts are picked out and made identifiable while still part of one three-dimensional fabric.</p> <p>Even a small building, a house for example, can be conceived as a "building complex" - perhaps part of it is higher than the rest with wings and an adjoining courtyard.</p>  <p style="text-align: right;">Solution générale Dessin représentatif de solution</p>	
<p>A building is a visible, concrete manifestation of a social group or social institution. And since every social institution has smaller groups and institutions within it, a human building will always reveal itself, not as a monolith, but as a complex of these smaller institutions, made manifest and concrete too.</p> <p>A family has couples and groups within it; a factory has teams of workers; a town hall has divisions, departments within the large divisions, and working groups within these departments. A building which shows these subdivisions and articulations in its fabric is a human building - because it lets us live according to the way that people group themselves. By contrast, any monolithic building is denying the facts of its own social structure, and in denying these facts it is denying other facts of a less human kind and forcing people to adapt their lives to these instead.</p> <p>We have tried to make this building more people by means of the following conjecture: the more monolithic a building is, and the less differentiated, the more it prevents itself as an urban, mechanical factory. And when human organizations are housed in monolithic, undifferentiated buildings, people stop identifying with the staff who work there as personalities and think only of the institution as an impersonal monolith, staffed by personnel. In short, the more monolithic the building is, the more it prevents people from being personal, and from making human contact with the other people in the building.</p> <p>The strongest evidence for this conjecture that we have found to date comes from a survey of visitors to public service buildings in Vancouver, British Columbia. (Proficiency Program for Housing Studies, Document 5. Fisher Street, Environmental Analysis Group, Vancouver, B.C., August 1971.) Two kinds of public service buildings were studied - old, three-story buildings and huge modern office buildings. The reactions of visitors to the small building differed from the reactions of visitors to the large building in an extraordinary way. The people going to the small building were often motivated friendly and competent staff at the important facts in their interaction with the service. In many cases the visitors were able to give names and describe the people with whom they had done business. Visitors to the huge office buildings, on the other hand, mentioned impersonal and staff competence rather infrequently. The great majority of these visitors found their satisfaction in "good physical appearance, and equipment."</p> <p>In the monoliths, the visitors' responses to impersonalized. They may think primarily of the people they are going to see - but their relationship and have been on the building itself and its features. The staff becomes "personnel," interchangeable and indistinguishable, and the visitors pay little attention to them as people - friendly or unfriendly, competent or incompetent.</p> <p>We learn also from this study that in the large buildings visitors complained frequently about the "general atmosphere" of the building, without naming specific problems. There were no such complaints among the visitors to the smaller buildings. It is as if the monolith induces a kind of live-flouring anxiety in people: the environment "feels wrong," but it is hard to give a reason. It may be that the cause of the uneasiness is so simple - the place is too long, it is difficult to grasp, the people are like bees in a hive - that people are embarrassed to say it outright. ("If it is as simple as that, I must be wrong after all, there are so many of these buildings.")</p> <p>However it is, we take this evidence to indicate deep dissatisfaction from the human environment in the huge, undifferentiated office buildings. The buildings impress themselves upon us as things; objects, commodities; they make us forget the people inside, as people yet when we see these buildings we complain vaguely about the "general atmosphere."</p> <p>It seems then that the degree to which a building is broken into visible parts does affect the human relations among people in the building. And if a building must, for psychological reasons, be broken into parts, it seems impossible to find any more natural way of breaking it down, than the one we have suggested. Namely, that the various institutions, groups, subgroups, activities, are visible in the concrete articulation of the physical building, so the grounds that people will only be fully able to identify with people in the building, when the building is a building complex.</p> <p>A Gothic cathedral - though an immense building - is an example of a building complex. Its various parts, the spire, the aisle, the nave, the chancel, the west gate, are a precise reflection of the social groups - the congregation, the choir, the special mass, and so forth.</p> <p>And, of course, a group of huts in Africa is human too, because it too is a complex of buildings, not one huge building by itself.</p> <p>For a complex of buildings of high density, the easiest way of all, of making its human parts identifiable, is to build it up from narrow-fronted buildings, each with its own internal state. This is the basic structure of a Georgian terrace, or the tenements of New York.</p> <p style="text-align: center;">***</p> <p>At the highest densities, 3 or 4 stories, and along pedestrian streets, break the buildings into narrow, tall separate buildings, side by side, with common walls, each with its own internal or external stair. As far as possible insist that they be built separated, one at a time, so that each one has time to be adapted to its neighbor. Keep the frontage as low as 25 or 30 feet. LONG THIN HOUSE (109), BUILDING FRONTS (122), MAIN ENTRANCE (118) and perhaps a part of an ARCADE (119) which connects to next door buildings.</p> <p>Arrange the buildings in the complex to form realms of movement - CIRCULATION REALMS (106); build one building from the main building - the natural center of the site MAIN BUILDING (99); place individual buildings where the land is least beautiful, least useful (104); and put them to the north of their respective open space to keep the gardens sunny - SOUTH-FACING OUTDOORS (105); subdivide them further, into narrow wings, no more than 25 or 30 feet across WINGS OF LIGHT (107). For details of construction, start with STRUCTURE FOLLOWS SOCIAL SPACES (204).</p> <p style="text-align: right;">Règles combinatoires</p>	

Figure 21 - L'exemple d'un « pattern » et de ses contenus - adapté de [Alexander et al., 1977]

2.2. Les outils et méthodes d'aide à la proposition de solutions

Un avantage de certains outils d'aide à la résolution de problème est d'avancer le processus dans la proposition de solutions. Par exemple, [Armaghan, 2009] démontre cet avantage dans les systèmes de *raisonnement à partir de cas*.

Pourtant, il existe d'autres approches, ayant un souci plus centré sur les aspects créatifs du projet, qui commencent leur aide à la conception directement par l'aide à la *proposition de solutions*. Parmi ces outils et méthodes de proposition de solutions, nous trouvons par exemple les outils génératifs.

2.2.1. La génération des formes

Selon [Marin et al., 2008], les outils génératifs sont des outils qui font appels aux « *mécanismes évolutionnaires* » pour étendre le champ des formes possibles. Ils proposent des formes à travers un processus génératif prédéfini. La plupart de ces outils sont basés sur l'utilisation des algorithmes et des méthodes paramétriques pour modéliser l'objet de conception. Ce type d'outil a essentiellement comme entrée des modèles numériques.

Les systèmes de grammaire des formes [Flemming, 1987; Koning et Eizenberg, 1981] sont parmi les processus génératifs qui captent les informations géométriques d'un objet et les transforment en objets architecturaux comme le plan et les façades.

« L'utilisation des algorithmes pour modéliser l'objet en conception peut apporter au moins deux avantages : permettre la description de la règle ou du processus de génération à la place de représenter une de ses instances; et avoir la possibilité de produire de multiples variations en intervenant sur la description du processus, ainsi stimulant l'exploration de l'objet en conception. » [Jordanova, 2008].

Parmi les outils de ce genre, citons par exemple l'outil pédagogique de *LibReArchI* proposé par [Jordanova, 2008 ; Jordanova et al., 2009] qui fait un lien avec le sujet de l'environnement et l'outil génératif guidé par les qualités solaires proposé par [Marin, 2010].

2.2.1.1. Outil génératif guidé par les qualités solaires

Dans le travail de recherche de [Marin, 2010], la qualité solaire passive de l'enveloppe de l'édifice guide le processus évolutionnaire appliqué à la conception architecturale. Il propose

un outil prototype, fondé sur un algorithme génétique et implémenté dans un logiciel de type modeleur afin de favoriser et de stimuler une conception créative.

Le fonctionnement général de cet outil commence par une étape automatisée de la construction des propositions géométriques - basées sur un algorithme du support et les paramètres environnementaux - qui évolue ensuite à l'aide du processus évolutionnaire. Ces propositions sont évaluées par les qualités énergétiques. Puis, l'utilisateur de cet outil sélectionne les meilleures propositions (Figure 22).

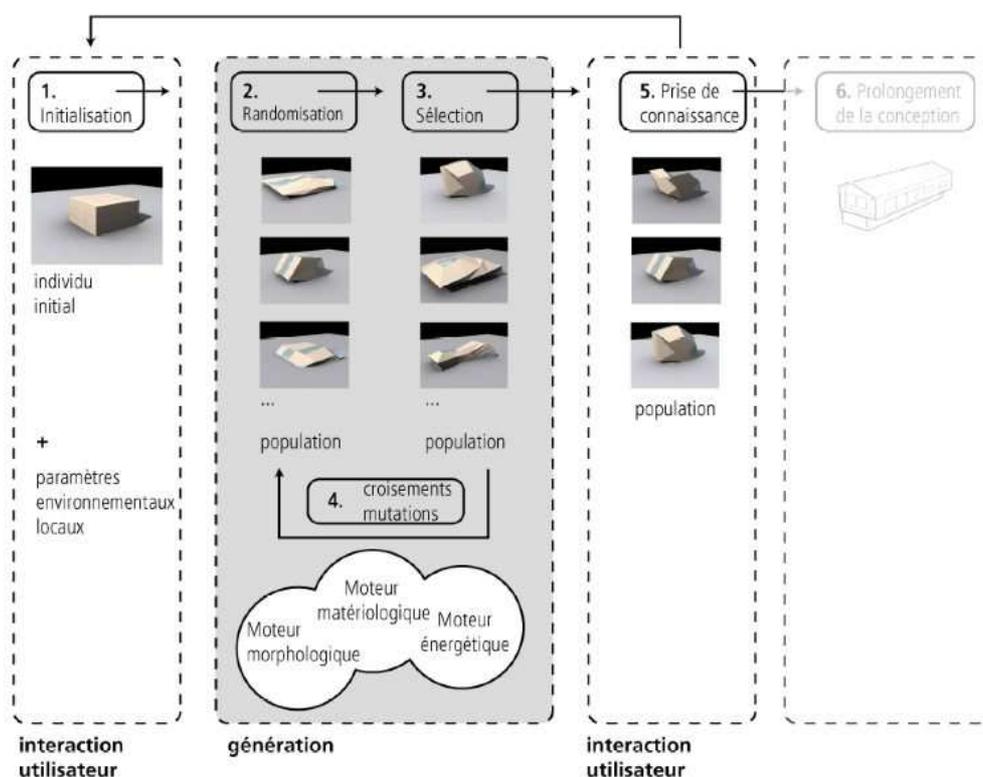


Figure 22 - La vue générale de fonctionnement de l'outil génératif guidé par les qualités solaires [Marin, 2010]

L'évaluation énergétique de cet outil est établie en utilisant la méthode approximative et simplifiée de « *Degrés Jours Unifiés* » [Marin, 2010]. À l'aide de cette méthode d'évaluation, et dans un souci de confort d'hiver, l'outil propose des alternatives selon deux caractères privilégiés : 1) Minimum de pertes de chaleur, 2) Maximum d'apports solaires. Par les calculs sur chaque facette - calcul des surfaces, calcul des apports solaires et calcul du bilan thermique - l'outil met à disposition de l'utilisateur des propositions avec des orientations et des inclinaisons des surfaces vitrées optimisées.

À la suite de l'application des stratégies morpho-génétiques et des processus de génération, la population des propositions est large et très variée. Cette variété aide le concepteur dans sa démarche de proposition d'une forme de bâtiment créative, tout en lui assurant la qualité solaire des propositions.

2.2.2.2. Librairie de référents architecturaux interactifs

La *librairie de référents architecturaux interactifs (LibReArchI)*, est considérée comme un assistant numérique d'aide à la créativité environnementale dans l'enseignement de l'architecture. Selon [Iordanova et al., 2009] la méthode pédagogique proposée s'appuie sur une hypothèse inspirée de la vision de [Abalos, 2007]. Il s'agit de la possibilité qu'une forme suive la durabilité comme elle peut suivre la fonction et la structure.

« *form follows sustainability.* » [Abalos, 2007].

« *La forme suit la durabilité.* » [Abalos, 2007] traduit par [Iordanova, 2008].

En conséquence, la méthode s'approche de la pensée de [Thompson, 1961] :

« *The form of an object is a 'diagram of forces' (...) the forces that are acting or have acted upon it (...)* » [Thompson, 1961].

« *La forme d'un objet est un "diagramme de forces" (...) qui ont agi ou agissent sur lui (...)* » [Thompson, 1961] traduit par [Iordanova et al., 2009].

Dans ce sens, [Iordanova et al., 2009] pense que dans une conception architecturale, les données écologiques sont comme des paramètres abstraits qui influencent une forme architecturale (Figure 23).

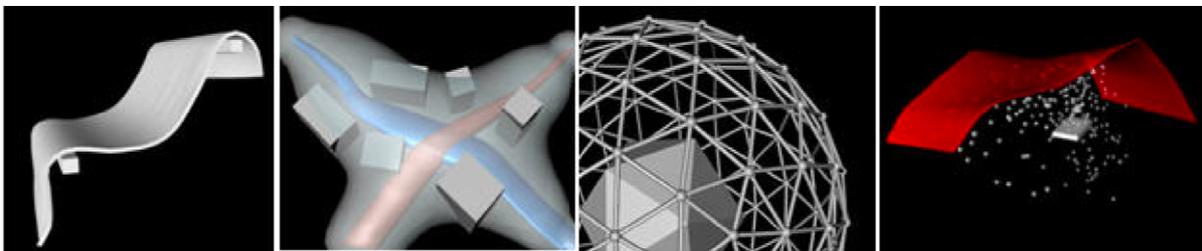


Figure 23 - Exemples des différents thèmes architecturaux de LibReArchI – de gauche à droite : forme sous le poids du matériau ; analyses du site ; structure ; propagation du son [Iordanova, 2008]

Concernant l'outil, il est en effet, « *un espace ouvert de partage de référents et de savoir-faire* » qui vise la phase amont de la conception architecturale [Iordanova et al., 2009]. En se

basant sur une méthodologie qualitative, par des précédents et des métaphores, il met à disposition de ses utilisateurs des savoir-faire environnementaux par l'intermédiaire des référents :

« Il s'agit soit d'exemples architecturaux, soit d'objets et de phénomène venant d'autres sphères de la connaissance ou de la nature. » [Jordanova et al., 2009].

Les référents ne sont pas rangés par des thèmes ou d'autres attributs car l'auteur pense qu'un ordre non intentionnel peut stimuler davantage la créativité. De plus, pour la raison de l'infinité des référents possibles, la librairie reste ouverte aux mises à jour.

Enfin, exploratoire et participatif, l'outil tend à enrichir les démarches de conception par la proposition de solutions géométriques dans un cadre de pédagogie en architecture.

2.3. Les approches d'aide à la conception par l'évaluation

Ces approches aident à l'évaluation de bâtiment conçu ou construit. Elles interviennent parfois plus en amont et à l'étape de la conception. Il semble qu'elles soient de plus en plus employées par les concepteurs de bâtiment [Cole, 1999 ; Crawley et Aho, 1999].

À ce jour, nous constatons une gamme très variée de ce genre d'approche. Ce qui rend le choix d'un outil plus problématique. [Chandra, 2006] dans sa recherche reconnaît certains objectifs clés de performance pour les outils d'évaluation :

- comprendre une gamme complète de véritables incidences sur l'environnement,
- répondre au cadre contextuel de l'évaluation,
- s'adapter aux besoins changeants de l'industrie du bâtiment,
- fournir des résultats d'évaluation fiables,
- supporter efficacement la prise de décision ou le processus de conception,
- fournir des évaluations simples et moins coûteuses,
- supporter simultanément de multiples parties prenantes.

Dans cette section, on citera en particulier les outils de mesure comme Pléiades-Comfie et EQUER ; les approches par référentiels et labellisations comme LEED aux États Unis et HQE en France ; et les approches combinées comme Evatool et Ecotect.

2.3.1. Les outils de mesure

2.3.1.1. Pléiades-Comfie

Le Pléiades-Comfie est un outil numérique développé par l'équipe *IZUBA énergies* en collaboration avec le *Centre Énergétique de l'École des Mines de Paris*. Cet outil a pour objectif de simuler le comportement thermique du bâtiment au stade de la conception. Il aide à anticiper certains effets thermiques qui pourraient nuire au confort des usagers [Weisseinsten, 2009].

Pour achever un calcul thermique, l'utilisateur doit entrer certaines données (e.g. la composition des parois, les ouvertures, etc.) et un modèle de concept de bâtiment. Un outil de visualisation et de modélisation, Alcyone, est chaîné à Pléiades pour simplifier le procédé de modélisation. Le modèle du bâtiment se réalise selon une structure de données prédéfinies (Figure 24).

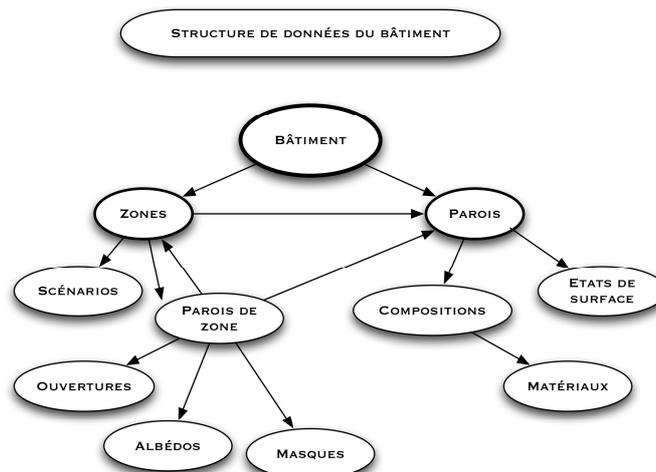


Figure 24 - La structure de données du bâtiment [Peuportier, 2006]

Une fois le modèle du bâtiment préparé, l'utilisateur peut exporter ce dernier vers le module pléiades afin de contextualiser l'opération en entrant les données du bâtiment (e.g. l'indication des masques solaires, de la situation géographique, des scénarios d'occupation, de ventilation, de chauffage, etc).

Par la suite, le processus de calcul peut être lancé. Il en résulte la présentation des résultats de simulations thermiques sous forme de tableau et de graphes (Figure 25). Ces résultats

comprennent plusieurs critères tels que le rayonnement solaire, les besoins de climatisation et chauffage, etc.

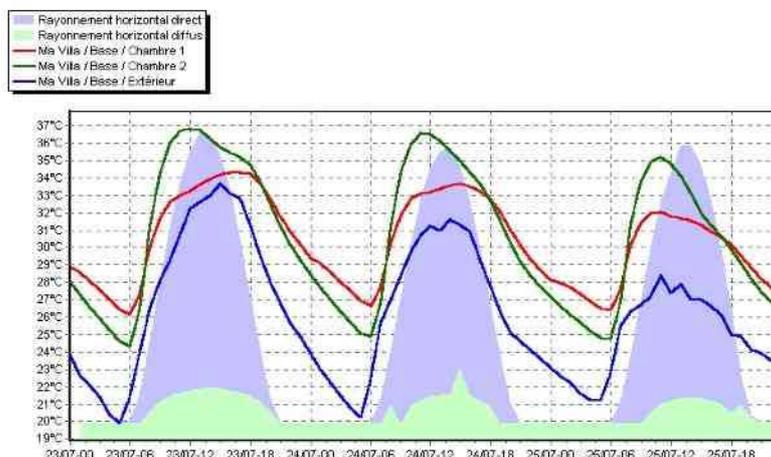


Figure 25 - Les résultats graphiques des températures et rayonnement [IZUBA]

À noter que cet outil s'utilise en fin de conception architecturale car les données se clarifient précisément à ce stade. C'est pourquoi l'outil est majoritairement utilisé pour les vérifications de performance par le bureau d'étude.

Pourtant, il existe la possibilité d'utiliser cet outil durant la phase de conception via la génération de modèles simplifiés du concept afin d'avoir des résultats approximatifs. Ainsi, l'outil peut aider à la prise de décision par le concepteur à travers une application plutôt basée sur un processus *essai-erreur*.

2.3.1.2. EQUER

EQUER¹⁶ est un outil d'aide à la conception de bâtiment entier par l'évaluation environnementale [Haapio et Viitaniemi, 2008]. Souvent utilisé comme un outil complémentaire à Pléiades-comfie, il évalue les bâtiments neufs de tous types : résidentiels, commerciaux, etc.

Les utilisateurs de cet outil sont très variés : architectes, ingénieurs, constructeurs, entreprises du bâtiment, maîtrise d'ouvrage, consultants, habitants, chercheurs et les autorités [Haapio et Viitaniemi, 2008].

¹⁶ EQUER a été réalisé à partir de travaux du Centre d'Énergétique de l'École des Mines de Paris (Bruno PEUPOORTIER), en collaboration avec GTM Construction, S'PACE et Pierre Diaz Pedregal Consultant, avec le soutien de l'Ademe et du PUCA (source : <http://www.izuba.fr/logiciel/equer>)

Il est basé sur la méthode d'analyse de cycle de vie environnementale du bâtiment (ACV). Les outils d'évaluation couvrent des phases différentes du cycle de vie du bâtiment. Le cycle de vie du bâtiment¹⁷ selon [Haapio et Viitaniemi, 2008] comprend :

- La production de matériaux,
- la construction,
- l'usage,
- la maintenance,
- la démolition,
- la fin de vie (recyclage, dégradation, etc.).

Equer est parmi les outils qui prennent en compte toutes les phases du cycle de vie du début jusqu'à la fin (Figure 26). L'ACV dans cet outil, selon [Peuportier, 2008], s'effectue à partir de données calculées avec Pléiades-Comfie et sur une base de données suisse : Ecoinvent.

The screenshot shows the EQUER software interface with the following settings:

- Collecte sélective du verre:** Oui (selected), Verre trié: 40 %
- Collecte sélective du papier:** Oui (selected), Papier trié: 20 %
- Distances:**
 - Distance du site à la décharge pour déchets ménagers: 1 km
 - Distance du site à l'incinérateur: 10 km
 - Distance du site au centre de recyclage: 100 km
- Incinération:** Déchets incinérés: 50 %, Valorisation à l'incinération: Oui (selected), Energie substituée: Gaz naturel, Rendement de la valorisation: 85 %
- Prendre en compte les déchets ménagers

At the bottom, there is a table for 'Déchets ménagers' showing waste weights per zone:

Nom des zones	Poids de déchets en grammes par personne et par jour
Garage	1000
Séjour	1000
Chambre	1000
Salle de bain	1000
Bureau 1 Est	1000
Bureau 2 Ouest	1000
Bureau 3 Sud	1000
WC	1000

Figure 26 - L'interface utilisateur d'EQUER [IZUBA]

D'ailleurs, les analyses effectuées par EQUER prennent en compte le transport de personnes et de matériaux, le traitement d'eau, les matériaux utilisés et leurs quantités, la gestion des déchets et les comportements des usagers.

¹⁷ From cradle to grave

L'analyse s'effectue par une personne expérimentée, ayant une connaissance du fonctionnement de ce logiciel.

Suite à l'analyse, 12 indicateurs environnementaux sont calculés (Tableau 2) et peuvent amener à une comparaison entre deux bâtiments afin d'aider à la prise de décision par le maître d'ouvrage, le bureau d'étude et le maître d'œuvre.

Tableau 2 - Les indicateurs environnementaux de EQUER [IZUBA]

<i>Indicateur</i>	<i>Indicateur</i>	<i>Indicateur</i>
Effet de serre	Déchets radioactifs	Déchets inertes
Ressources abiotiques ¹⁸	Eau utilisée	Énergie consommée
Odeur	Ozone	Toxicité humaine
Écotoxicité aquatique	Eutrophisation	Acidification

2.3.2. Les approches par référentiels et labellisations

2.3.2.1. LEED^{TM19}

L'approche LEEDTM, basée sur un système d'indicateurs à l'échelle globale [Malmqvist, 2008], aide à l'évaluation des bâtiments et produit une certification. LEEDTM qui évalue les impacts environnementaux au cours du cycle de vie des bâtiments neufs et existants, commerciaux, institutionnels et les gratte-ciels résidentiels [Chandra, 2006].

Cette démarche volontaire est de plus en plus appliquée en Amérique du Nord. Les encouragements politiques jouent un rôle important dans son succès. Par exemple, dans certains états de l'Amérique, l'évaluation par les référentiels de LEEDTM conduit à une réduction de taxes [ODE, 2008].

Dans un premier temps, les utilisateurs doivent satisfaire certaines performances objectives, telles que la qualité de l'air, le confort thermique, la qualité de la lumière naturelle, l'illumination, la gestion de déchets, les composants et matériaux. Tous les indicateurs possèdent les mêmes poids d'importance.

Chaque indicateur se voit attribuer un point sous la forme d'une check-list à satisfaire. Au total, un bâtiment parfait peut acquérir 64 points selon l'évaluation de LEED [Soebarto et

¹⁸ Non renouvelables

¹⁹ US Green Building Council: LEED (LeaderShip in Energy and Environmental Design), Green Building Rating System, Draft edition, 1998.

Williamson, 2001 ; Chandra, 2006]. La certification d'un bâtiment se réalise par rapport à la somme des points donnés aux indicateurs (Figure 27).

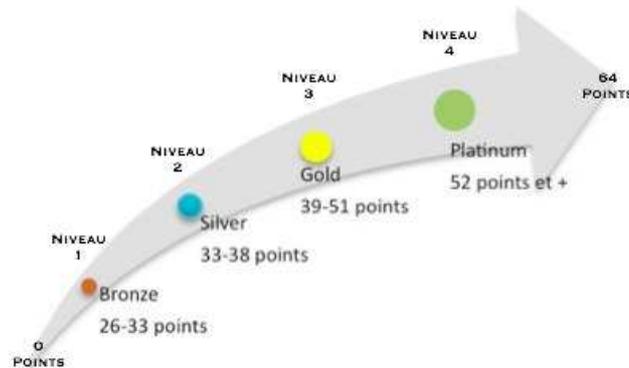


Figure 27 - Les quatre niveaux de certification de LEED™ - à partir des données de [Soebarto et Williamson, 2001]

Mis à part la dimension environnementale, il apparaît que LEED™ peut aussi conférer des avantages économiques aux bâtiments. Selon deux études américaines [Eichholtz et al., 2008 ; Kats, 2003], un bâtiment certifié par LEED™ - avec un surcoût maximum de 2 % dans l'investissement initial par rapport aux autres bâtiments - peut conduire à une économie de 20 % du coût global²⁰ de la construction.

Pour atteindre plus facilement ses exigences, LEED™ propose aussi un guide de référence qui suggère des stratégies [Todd et al., 2001].

LEED™ possède un potentiel certain pour conduire à une conception intégrale de bâtiment [Chandra, 2006] car pour être efficace il nécessite la mobilisation et un travail collectif de tous les acteurs à la majeure partie des étapes telles que la programmation, l'exécution, la documentation, etc. [Baxter et al., 2003].

De plus, la notation par le système de point pour chaque indicateur semble aider les utilisateurs dans leurs prises de décision [Hult, 2008]. [Chandra, 2006] pense que le format de check-list rend l'utilisation de cette approche plus simple et transparente.

Cette approche est destinée aux architectes, investisseurs de bâtiment, ingénieurs, décorateurs, paysagistes, chefs de construction et les décideurs gouvernementaux [USGBC, 2002].

²⁰ Le coût global comprend tous les coûts liés au bâtiment tout au long de son cycle de vie

2.3.2.2. Certification démarche HQE®

La démarche HQE®, associée à une certification, est proposée et dirigée par l'association HQE® qui réunit des acteurs du bâtiment - maîtres d'ouvrage, concepteurs, industriels, etc. Cette démarche a pour objectif de qualifier le projet de bâtiment - neuf ou existant - par rapport à ses impacts sur les environnements extérieurs intérieurs du bâtiment. Il s'agit d'une démarche volontaire, proposée principalement à la maîtrise d'ouvrage mais pouvant aussi aider les autres acteurs dans la conduite de projet.

« C'est une démarche d'optimisation multicritère qui s'appuie sur une donnée fondamentale : un bâtiment doit avant tout répondre à un usage et assurer un cadre de vie adéquat à ses utilisateurs. » [AssoHQE®].

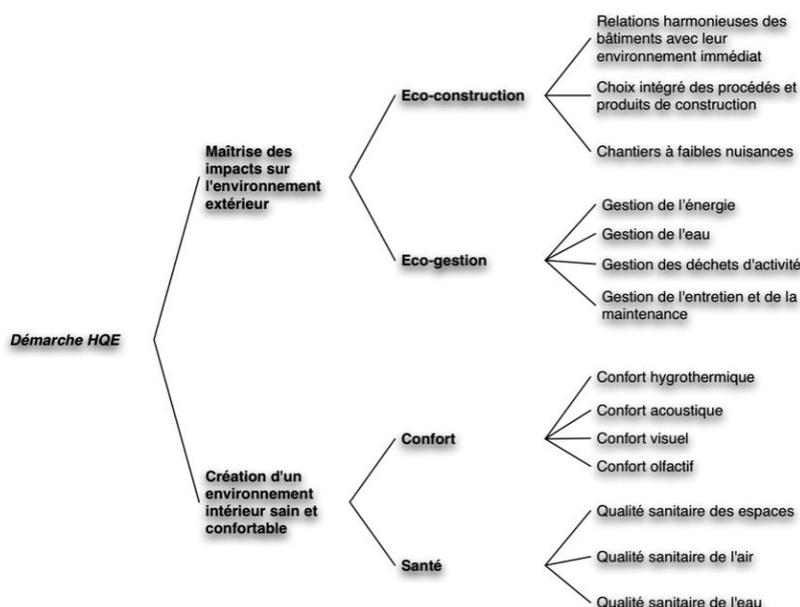


Figure 28 - Les 14 cibles environnementales de la démarche HQE® - à partir des données de [AssoHQE®]

Elle se structure selon 14 cibles qui permettent au maître d'ouvrage de fixer ses objectifs dans le cadre de son programme et aux acteurs de conception et de construction de conduire, vérifier et évaluer les réponses techniques, architecturales et économiques par rapport aux objectifs du maître d'ouvrage (Figure 28).

Cette démarche nécessite un système de management pour mobiliser l'ensemble des acteurs [AssoHQE®]. Cette mobilisation est nécessaire pour atteindre les objectifs exprimés par les cibles. Afin d'aider à l'intégration de la démarche dans le projet, elle propose aussi les

grandes lignes à suivre pour faire le choix des solutions. Cependant, le choix, la justification du choix et son adaptation au contexte du projet sont fait par les concepteurs :

« *Aucune solution architecturale et technique n'est imposée.* » [AssoHQE®]

Pourtant, l'utilisation principale de cette démarche est dans l'évaluation des performances et la certification. Pour faire la démarche de certification sur la base des 14 cibles, les projets font majoritairement appel aux référentiels développés par le CSTB²¹ : *NF MI-Démarche HQE®* pour les maisons individuelles et *NF Logement- Démarche HQE®* pour les logements collectifs.

« *Des audits sont effectués par des experts indépendants, sélectionnés et qualifiés par le CSTB.* » [Weissenstein 2009].

Les notations des cibles se font selon trois niveaux : de *Base* (performance minimum acceptable), *Performant* (une bonne pratique) et *Très performant* (performance maximale). Un bâtiment certifié doit posséder au minimum trois cibles très performantes, quatre cibles performantes et les autres au moins au niveau de base.

Cette certification peut être effectuée en fin des phases de pré-conception, conception et post-conception. L'intervention de cette démarche par évaluation des cibles, en fin de programmation, aide à corriger les objectifs de maîtrise d'ouvrage. Alors qu'une intervention en fin de conception aide à la vérification de l'achèvement des objectifs et à la correction des défauts. Une évaluation après la conception sert généralement à la labellisation du bâtiment. Toutefois, certains concepteurs - ou architectes - se réfèrent à cette démarche pas seulement pour les vérifications, mais aussi pour structurer leurs choix environnementaux. Dans ce cas, la démarche prend un rôle d'aide à la conception et ouvre des voies de développement vers des solutions architecturales et techniques.

21 Le centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) est un établissement Public à Caractère Industriel et Commercial qui vise à améliorer le bien-être et la sécurité dans les bâtiments

2.3.3. Les approches combinées

2.3.3.1. EVAtool

Issue du groupe Enviarch Ltd, *EVAtool*²² est un outil de management du processus de conception environnemental de bâtiment. En se basant sur la certification *ISO 14001*, il a évolué lors de la conception de l'Éden Project en 1998-99 [Marsh, 2007].

Plus particulièrement, il s'intéresse à l'optimisation du processus de construction d'un bâtiment et au rôle du management de la connaissance et du retour d'expérience dans la qualité du bâtiment final. Il agit comme un intermédiaire entre les métiers du bâtiment et de l'écologie. L'objectif de cet outil est d'informer l'équipe de conception et de construction sur les exigences et les opportunités environnementales durant le développement du projet. À travers cet objectif, il vise à améliorer les aspects écologiques de la construction.

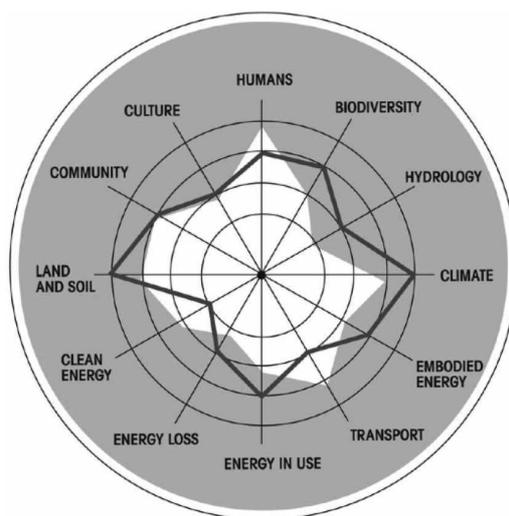


Figure 29 - Les 12 impacts évalués pour le cas de Eden Project par EVAtool [Evacology]

Le fonctionnement de cet outil est fondé sur plusieurs étapes. Dans la première étape, il s'agit de l'identification des impacts environnementaux locaux et globaux catégorisés selon 12 impacts (Figure 29). Ceux-ci contiennent 96 sous-impacts qui introduisent les détails de chaque domaine.

Suite à l'identification des impacts, chaque question est affectée à l'une des quatre différentes étapes dans le processus de conception. Cela produit une grande matrice de questions

²² *Environmentally viable Architecture tool*

disponibles et un plan stratégique pour aider les acteurs à réduire ou contrôler certains impacts environnementaux.

Dans une seconde étape, il s'agit de favoriser le transfert des sources de connaissances qui servent de support à la phase de décision. Fondé généralement sur des échanges de connaissances entre les acteurs sur leurs stratégies de conception, il propose un environnement virtuel de partage de connaissances à travers *EVAtool Wiki*²³. Ce dernier regroupe 12 experts permettant l'étude des différentes catégories d'impact pour assurer le bon fonctionnement de cet environnement. Enfin, le retour d'expérience en fin de chaque projet aide les projets suivants qui utiliseront cet outil.

Cet outil aide à garantir l'aboutissement des objectifs généraux de départ et peut conduire à une certification *BREEAM*²⁴ (e.g. Éden Project).

2.3.3.2. ECOTECT

ECOTECT est un outil numérique distribué par Autodesk® qui a pour objectif la prédiction des performances environnementales durant la conception. Cet outil s'adresse principalement aux architectes, et cela, en phase de conception. Il analyse les modélisations 3D avec une gamme de fonctions d'analyse comme notamment les apports lumineux, le calcul des reflets et la réverbération acoustique. Il aide aussi à l'emplacement de dispositif photovoltaïque et de capteurs thermiques. Enfin, il prédit le coût du projet et l'impact environnemental.

« The most significant feature of ECOTECT is its interactive approach to performance analysis. » [Roberts et Marsh, 2001].

« La caractéristique la plus importante d'ECOTECT est son approche interactive de l'analyse des performances. » [Roberts et Marsh, 2001] traduit par [notre recherche].

Ainsi il donne la possibilité aux utilisateurs de choisir différents matériaux de surfaces et de comparer les changements qui en résultent par le niveau d'éclairage, les temps de réverbération, les charges thermiques mensuelles et les températures internes à différents moments de l'année.

23 The EVAneers Website, www.evatoool.org

24 BRE's Environmental Assessment Method

« As the complexity of the model increases, it can also be exported to a range of application-specific tools for more detailed analysis. » [Roberts et Marsh, 2001].

« Lorsque la complexité du modèle augmente, il peut également être exporté vers une gamme d'outils à application spécifique pour une analyse plus détaillée. » [Roberts et Marsh, 2001] traduit par [notre recherche].

Cet outil s'appuie sur les esquisses numériques et non pas sur des esquisses traditionnelles à la main. Cela aide à enregistrer le parcours jusqu'à arriver à une forme satisfaisante pour le concepteur (Figure 30).

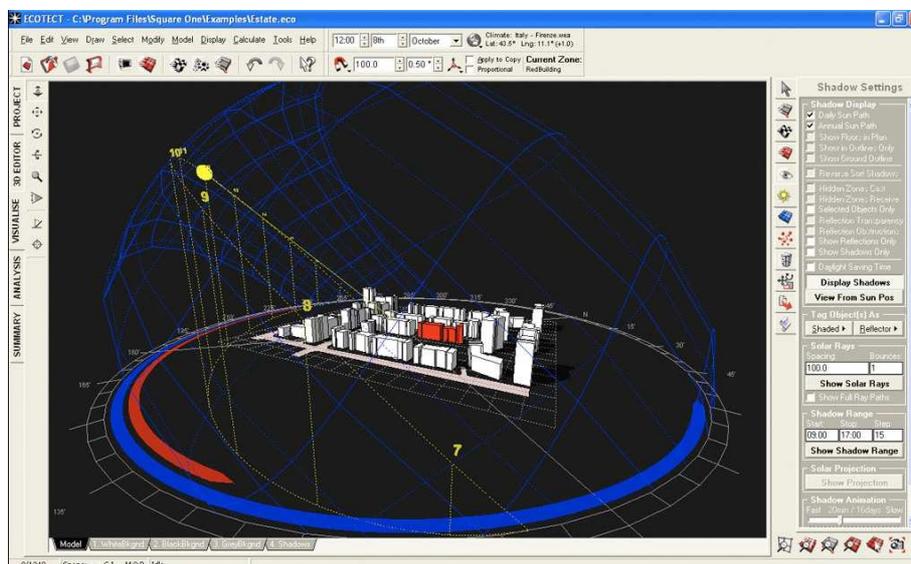


Figure 30 - Les modèles numériques sont des entrées indispensables pour les Analyses par ECOTECT® [AECbytes, 2007]

Comme la nature du processus de conception architecturale est très dépendante des aspects visuels, les résultats des analyses se présentent par des retours visuels et non pas seulement par des données quantitatives (Figure 31). En effet, ECOTECT® étant conçu par les architectes et pour les architectes, il possède une forte capacité de visualisation [Pélegrin et al. 2008].

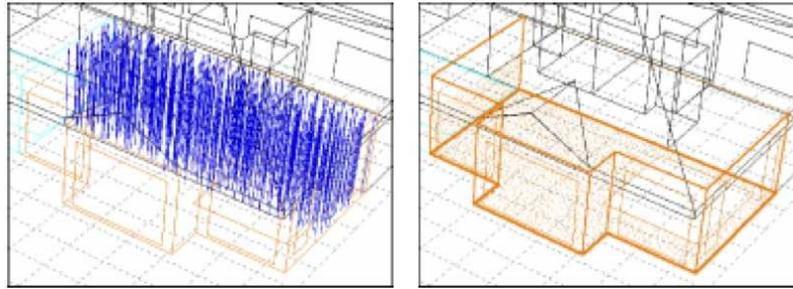


Figure 31 - Les représentations visuelles des résultats des analyses par ECOTECT® [Roberts et Marsh, 2001]

Comme avantage de cet outil, nous pouvons noter sa facilité d'utilisation et sa disponibilité. Pour l'instant l'architecte doit exporter son modèle (e.g. gbXML, 3DS, ArchiCAD) [Pélegrin et al., 2008].

Il permet une variété d'analyses paramétriques - simulation économique, écologique, etc. Les simulations et les calculs énergétiques restent généraux et approximatifs . Pour une simulation plus précise, on peut exporter le modèle vers d'autres outils de calcul (e.g. EnergyPlus).

2.4. Bilan sur les approches d'aide à la conception

Nous avons abordé, dans ce chapitre, trois groupes d'approches d'aide à la conception existantes :

Groupe 1. Aide à la conception par l'assistance à la résolution de problème.

Groupe 2. Aide à la conception par la proposition de solution.

Groupe 3. Aide à la conception par l'évaluation de solution (ou d'un ensemble de solutions).

Les deux premiers groupes ont pour objectif d'améliorer le processus de conception pour que le résultat soit un objet conçu optimisé. Le troisième groupe tient à l'optimisation d'objet conçu ou construit. Il intervient aussi dans certaines étapes du processus de conception afin de vérifier les décisions prises au fur et à mesure. Ces trois groupes d'approches ainsi que leurs outils ou/et méthodes associés sont résumés dans le (Tableau 3).

Certaines méthodes ou/et outils d'aide à la conception sont applicables à différents domaines, autres que le bâtiment alors que d'autres sont plus particulièrement destinés au bâtiment. Dans ce cas, le processus est un processus de conception de bâtiment et l'objet conçu est un bâtiment ou une partie de bâtiment. Ceux appropriés au domaine du bâtiment sont montrés par (*) dans le (Tableau 3- colonne *Outil ou/et méthode*).

Par ailleurs, les exigences varient selon les outils ou/et méthodes. Nous remarquons, en particulier, à partir des exemples, l'existence de trois groupes d'exigences majeures (Tableau 3- colonne *Exigence(s)*) :

- La créativité de l'objet de conception,
- L'optimisation environnementale de l'objet de conception,
- L'optimisation du processus au niveau du temps, du coût, etc.

Ainsi, l'exigence principale d'une méthode de RàPC (Raisonnement à Partir de Cas) s'agit de l'optimisation du processus tandis que la méthode TRIZ a pour exigence principale d'aider à aboutir à un objet de conception plus créatif.

L'ordre de présentation de la liste démontre les priorités que nous avons remarquées par l'étude des outils et/ou méthodes. Ceci n'empêche pas de combiner d'autres exigences à une méthode ou/et outil comme des exigences complémentaires. Sachant que toutes les approches d'aide à la conception abordées ont d'autres exigences et avantages propres et certaines exigences en commun comme aider la conception dans une situation complexe et favoriser l'augmentation de connaissance et de certitude des concepteurs.

De plus, les phases d'intervention possible de chaque exemple sont exprimées dans le (Tableau 3- colonne *Phase(s)*). Ceci est défini par rapport à leurs applications dans le domaine du bâtiment (cf. Figure 7).

Une catégorisation des approches selon 3 groupes principaux nous a aidé à réaliser une étude générale des approches d'aide à la conception existantes. L'étude de chaque catégorie et de ses apports dans le processus de conception nous amène à retirer certaines leçons pour ce travail de recherche et ainsi à clairement positionner nos champs d'intervention dans le cadre de ce travail.

Tableau 3 - Les approches d'aide à la conception abordées dans notre recherche [notre recherche]

Groupe	Approche	Outil ou/et méthode	Exigence(s)	Phase(s)	
Résolution des problèmes (Groupe 1)	Conception collective	Conception collaborative	<ul style="list-style-type: none"> •Optimisation du processus •Créativité 	Conception	
		Références : <i>Darses et Falzon (1996), Lu et al. (2000), Kvan (2000), Grégori et Brassac (2001), Wang et al. (2002), Gabriel et Maher (2002), Visser et al. (2004), Belkadi et al. (2004), Fischer (2004), Khadidjia (2007), Grebici (2007), Robin et al. (2007), Hou et al. (2008), Dupont (2009)</i>			
	Retour d'expérience	Conception distribuée		<ul style="list-style-type: none"> •Optimisation du processus 	Conception
		Références : <i>Darses et al. (2001), Visser et al. (2004), Fischer (2004), Grebici (2007)</i>			
		RàPC		<ul style="list-style-type: none"> •Optimisation du processus 	Conception, Post-conception
		Références : <i>Mille (2001), Bergmann (2002), Scaletsky (2003), Heylighen (2000), Kamsu Fogueu et al. (2008), Chebel (2008), Armaghan (2009)</i>			
	Rétutilisation des précédents	TRIZ		<ul style="list-style-type: none"> •Créativité 	Phase amont de la conception
		Références : <i>Altshuller (1988), Salamatov (1999), Mann et Cathain (2001); Mann (2006), Lee (2006), Bridges (2007), Armaghan (2009)</i>			
		Echelle de modèle*		<ul style="list-style-type: none"> •Optimisation du processus 	Phase amont de la conception
		Références : <i>Boudon et al. (1994), Boudon (2009)</i>			
Proposition des solutions (Groupe 2)	La génération des formes	Patron de conception	<ul style="list-style-type: none"> •Optimisation du processus •Créativité 	Pré-conception, Conception	
		Références : <i>Alexander et al. (1977), Meszaros et Doble (1997), Conte et al. (2001), Ribière (1999), Dieng-Kuntz et al. (2001)</i>			
	Les mesures	Outil solaire*		<ul style="list-style-type: none"> •Créativité •Qualité environnementale •Optimisation du processus 	Phase amont de la conception
		Référence : <i>Marin (2010)</i>			
	Les référentiels et labellisations	LibReArchI*		<ul style="list-style-type: none"> •Créativité •Qualité environnementale 	Phase amont de la conception
		Référence : <i>Iordanova et al. (2009)</i>			
		Pléiade-Comfie*		<ul style="list-style-type: none"> •Qualité environnementale 	Conception (à partir d'APD), Post-conception
		Référence : <i>Peuportier (2000)</i>			
		EQUER*		<ul style="list-style-type: none"> •Qualité environnementale 	Conception (à partir d'APD), Post-conception
		Références : <i>DOE (1996/2006); EQUER; IEA Annex 31 (2001); Nibel and Rialhe (2000); Peuportier and Putzeys (2005)</i>			
Les approches combinées	LEED™*		<ul style="list-style-type: none"> •Qualité environnementale 	Pré-conception, Conception, Post-conception	
	Références : <i>CRISP; IEA Annex 31 (2001); LEED™ (2005)</i>				
	Démarche HQE®*		<ul style="list-style-type: none"> •Qualité environnementale 	Pré-conception, Conception, Post-conception	
	Référence : <i>AssoHQE®</i>				
Les approches combinées	EVAtool		<ul style="list-style-type: none"> •Qualité environnementale 	Pré-conception, Conception, Post-conception	
	Référence : <i>Marsh (2007)</i>				
	ECOTECT®		<ul style="list-style-type: none"> •Qualité environnementale 	Pré-conception, Conception, Post-conception	
Référence : <i>Autodesk® (2011)</i>					

2.4.1. Critique des approches du groupe 1

En ce qui concerne les approches d'aide à la conception par assistance à la résolution de problèmes, nous avons mentionné la conception collective, le retour d'expérience et l'utilisation des précédents.

Au sujet de l'approche par la conception collective, nous avons abordé deux stratégies : collaborative et distribuée (Tableau 4).

Tableau 4 - Synthèse des deux stratégies de conceptions -traduit et adapté de [Dupont et al.]

Stratégie de conception	Principales caractéristiques		Principaux résultats
Collaborative	<ul style="list-style-type: none"> - Processus et échanges interdisciplinaires - Négociations et validations au cours du développement de l'artefact - Dépendance aux lieux et temps commune - Synchronisation cognitive - Concept d'<i>irréversibilité</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Grandes exigences dans le respect de règles et fonctionnements partagés - Agendas et budgets planifiés tôt pour organiser des sessions collaboratifs - Nécessaire de développer un savoir partagé et un langage commun 	<ul style="list-style-type: none"> - Approche globale pour la conception d'un objet - Augmentation de connaissances capitalisées dans l'artefact - Optimisation de la qualité de produit - Augmentation des connaissances des acteurs durant la conception : un investissement pour de futurs projets
Distribuée	<ul style="list-style-type: none"> - Processus pluridisciplinaire - Négociations et validations après le développement de l'artefact 	<ul style="list-style-type: none"> - Dépendance à la coordination - Synchronisation opératoire - Pas nécessaire de développer un langage commun 	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation des connaissances capitalisées dans l'artefact - Optimisation de la qualité de produit - Réduction de la durée de conception

Cependant, dans un processus de conception collaboratif, la gestion des interactions entre les acteurs et la prise de décision restent parmi les tâches difficiles mais indispensables à gérer. En ce qui concerne la prise de décision, lorsqu'une décision partagée est obtenue, celle-ci est plus *robuste*. Tout simplement parce qu'un agenda et un budget sont fixés pour l'organisation des sessions de collaboration et cela est difficilement changeable vu le nombre des acteurs. Dans des conceptions complexes, avec de multiples intervenants, comme la conception de bâtiment, une conception collaborative nécessite un travail particulier sur le contexte de travail, sur le partage d'un langage commun, etc. D'ailleurs, la qualité des interactions entre les acteurs joue un grand rôle dans la qualité finale du produit et du processus. Les éventuels conflits entre les acteurs peuvent causer la diminution de la qualité d'échanges. Cette qualité d'échange peut être garantie par un contexte de travail (e.g. technologies, acteurs, environnement, outils, etc.) approprié. Ce travail particulier sur le contexte et sur le langage commun peut se voir comme un investissement pour de futurs projets. En effet, il s'avère être un investissement majoritairement rentable dans les milieux industriels où chaque processus peut conduire à une gamme de produits. Tandis que dans un projet de conception de bâtiment, normalement, chaque processus conduit à un seul bâtiment - ou un nombre limité. De plus, les

intervenants dans les projets de bâtiment sont moins durables que dans les projets industriels. Enfin, malgré les progrès informatiques et technologiques (e.g. les outils virtuels) la contrainte spatiale et temporelle reste, jusqu'au ce jour, une dimension importante dans une stratégie de conception collaborative (cf. Tableau 5).

Concernant la conception distribuée, il s'agit d'un processus pluridisciplinaire ayant aussi une nature collective mais disjointe. Donc, les négociations et les validations se font après le développement de l'artefact. Ce type de travail nécessite d'abord une synchronisation opératoire qui rend le processus et la qualité finale du produit dépendant de la coordination. Cette dernière est une tâche importante et difficile à gérer. En effet, un travail disjoint peut conduire à plusieurs modifications a posteriori qui amènent des coûts additionnels (cf. Tableau 5).

Nous avons aussi dans ce chapitre présenté des approches d'aide à la conception par la résolution de problèmes fondées sur le retour d'expériences : RàPC et TRIZ.

En général, ce type d'approches se base sur des expériences ponctuelles, acquises dans un contexte précis. La réutilisation de ces expériences ne doit être faite qu'en prenant en compte le contexte dans lequel cette expérience a été obtenue. Cependant, le risque de malentendus reste toujours prégnant du fait que l'acteur intermédiaire qui inscrit une expérience acquise par une tierce personne dans une base le fait forcément en fonction de son point de vue et de son niveau d'expertise. De plus, on ne peut négliger que l'acteur - le concepteur - qui se réfère à cette expérience peut avoir sa propre interprétation. Il en résulte que l'exactitude des connaissances transmises au projet est liée à deux interprétations : une en amont et une en aval. Enfin, on ne peut ignorer que l'ensemble des acteurs n'a pas forcément les moyens de communiquer afin de vérifier la concordance de leurs interprétation ou de leurs points de vue (Figure 32). Le management des connaissances peut corriger ce risque par la proposition de méthodes et outils d'amélioration tels que le patron de point de vue [Dieng-Kuntz et al., 2001]. Effectivement, plusieurs entreprises dans le domaine industriel mettent en place des politiques de retour d'expériences pour justement inscrire chaque expérience acquise dans son contexte. Ceci permet de relater une expérience par l'acteur amont et de diminuer ainsi l'interprétation liée aux intermédiaires. Nous pouvons imaginer que ce type d'investissement sur la capitalisation des connaissances peut servir aussi aux entreprises du bâtiment.

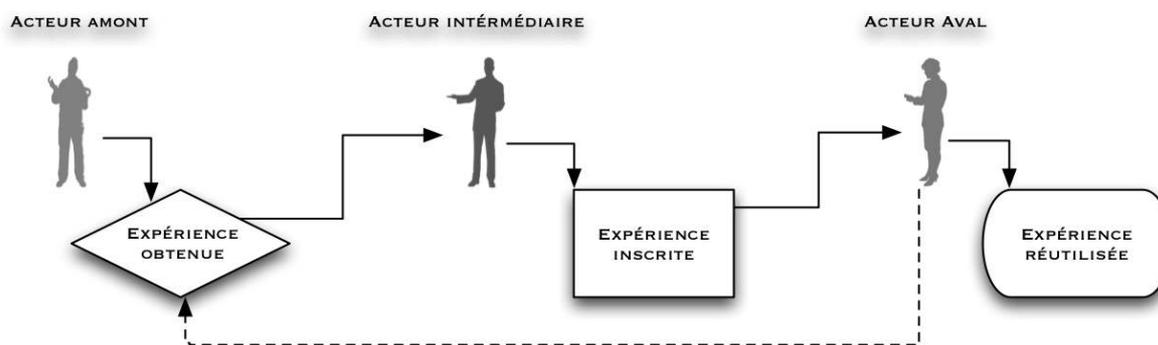


Figure 32 - Les interprétations des acteurs dans une approche du retour d'expérience [notre recherche]

Une autre limite d'application d'une approche de retour d'expériences pour aider à la résolution de problèmes est liée aux collectes des informations. Ce travail nécessite des entretiens avec chaque acteur qui a effectué une tâche au cours de l'expérience :

« Chaque expert possède ses propres raisonnements dans une démarche de résolution de problèmes en fonction de sa spécialité et ses expériences. »

[Armaghan, 2009].

De plus, lorsqu'une entreprise n'est pas convaincue de l'application d'une approche de retour d'expérience, la collecte de donnée est considérée comme une perte de temps et n'est pas valorisée. Dans une telle situation, le travail de collecte de donnée devient difficile (cf. Tableau 5).

En ce qui concerne la méthode RàPC, les études de [Scaletsky, 2004; Heylighen, 2000] ont démontré le rôle qu'elles peuvent avoir durant la phase amont de conception architecturale. Dans cette méthode, une base de cas mise à jour régulièrement aide le concepteur dans sa démarche de résolution de problème. Un nombre important de cas accroît la chance du concepteur de trouver un cas semblable à son sujet de conception. Toutefois, l'augmentation du nombre de cas nécessite un travail supplémentaire durant la phase de remémoration, ce qui conduit à une baisse de performance du système [Cortes Robeles, 2006 ; Armaghan, 2009].

La méthode TRIZ est quant à elle utilisée en ingénierie industrielle. Son objectif est de réduire les temps de développement des processus d'innovation et de création dans la conception.

Elle a parfois été adaptée à la conception architecturale [Bridges, 2007; Lee, 2006 ; Mann et Cathain, 2001]. Toutefois, à ce jour, elle ne paraît pas complètement applicable à la conception architecturale de bâtiment. Son champ d'intervention est limité à des cas de conception avec une nature plutôt technique. D'ailleurs, vu les expérimentations réalisées

[Mann et Cathain, 2001] et la durée de chaque mini-projet - 4 mois - la conception de bâtiment complet avec cette méthode prendrait un temps de conception élevé et en conséquence un important surcoût de conception. C'est pourquoi, cette méthode peut être applicable à certaines parties du bâtiment et non pas à l'ensemble. Autrement dit, Chaque partie du bâtiment peut être plus innovante mais ce n'est pas nécessairement le cas du bâtiment entier.

Si les domaines industriels et les points de vue orientés techniques favorisent les approches par le retour d'expériences (RàPC, TRIZ), les domaines avec une forte analyse visuelle et des points de vue architecturaux préfèrent la réutilisation des précédents (Échelle de modèle, Patron de conception). Cependant, ces deux approches se rapprochent dans le fait de projeter des situations passées de résolution de problèmes sur les situations présentes considérées comme semblables afin d'engendrer par analogie une solution possible. Un point de divergence entre ces deux approches est d'abord dans l'aspect d'échelle - échelle de modèle - et dans la hiérarchie - dans le patron de conception. D'ailleurs les modèles et les patrons possèdent un caractère très visuel. Ce qui n'est pas le cas dans les solutions récupérables dans les approches de retour d'expérience.

Enfin, la réutilisation des précédents dans les pratiques architecturales est difficilement instrumentalisable. D'abord, car chaque concepteur à une manière différente d'aborder cette pratique et que par ailleurs le nombre des précédents est infiniment grand et donc difficilement catégorisable.

C'est pourquoi, les concepteurs font plus appel aux précédents issus de leurs propres expériences, car ceux provenant de l'expérience d'autrui ne sont pas complètement accessibles du point de vue de la qualité de l'information. L'architecte s'appuie la plupart du temps sur sa propre expérience pour traduire l'expérience d'un autre concepteur sur la base d'un visuel. Cette interprétation risque de ne pas être exactement ce qui était la vraie expérience. Dans ce cas, la bonne pratique risque de s'orienter vers une fausse bonne pratique. La réutilisation d'un tel élément ne garantit pas le succès de suite.

En ce qui concerne la notion d'échelle de modèle, définie par [Boudon, 2009], elle est un point de vue de la réutilisation des précédents. Mais selon l'auteur, la pertinence d'un modèle est très dépendante d'une réutilisation dans une échelle similaire. Cette échelle peut être traduite sous de multiples points de vues : « *échelle économique* », « *échelle technique* », « *échelle esthétique* », etc. Plus les échelles de contexte du modèle original sont semblables

aux échelles du contexte de réutilisation, moins on risque d'avoir des surcoûts de modification.

La notion d'échelle du modèle est parfois sujette à des mal entendus car elle peut être comprise comme une imitation artistique. Ce qui n'est pas exact.

Concernant la méthode d'utilisation de patrons de conception, [Alexander et al., 1977] semblent avoir été les premiers à instrumentaliser le propos. Les patrons sont hiérarchisés afin de fournir une dégradation du problème en sous-problèmes. En effet, cette méthode a comme hypothèse que l'objet final de conception est l'expression d'une logique fonctionnelle hiérarchique. C'est cette hypothèse qui a suscité de nombreuses critiques [Halin, 2004 ; Conan, 1990].

L'utilisation de patron dans le domaine d'architecture et de l'urbanisme par Alexander a abouti à la proposition de 253 patrons de conception dans un système relationnel.

« No pattern is an isolated entity...when you build a thing you cannot merely build that thing in isolation. » [Alexander et al., 1977].

« Aucun patron n'est une entité isolée...lorsque vous produisez une chose vous ne pouvez pas justement la concevoir de façon isolée. » [Alexander et al., 1977] traduit par [notre recherche].

Il existe toujours le risque que les concepteurs croient qu'ils peuvent utiliser les patrons sans prendre le temps de les considérer comme un élément d'un système relationnel défini.

Cependant, dans la méthode de patrons de conception, le niveau d'abstraction joue un rôle déterminant pour aider la créativité du concepteur. Une abstraction moyenne est nécessaire afin de laisser au concepteur une marge créative cependant la définition du niveau d'abstraction reste un processus difficile à appréhender.

Le tableau suivant (Tableau 5) synthétise l'ensemble des critiques et des limites recensées pour les approches du groupe 1.

Tableau 5 - Limites des approches du groupe 1 [notre recherche]

<i>Approche</i>	<i>Limite générale</i>	<i>Outil ou méthode</i>	<i>Limite spécifique</i>
Conception collective	1. Définition d'un objectif commun	Conception collaborative	3. Risque de conflit entre les acteurs
	2. Difficulté d'une prise de décision commune		4. Qualité du processus dépend du contexte du travail
Retour d'expérience	1. Risque de perdre l'exactitude des connaissances par l'interprétation et réinterprétation.	Conception distribuée	5. Dépendance spatiale et temporelle
	2. Difficulté de collecte des données		6. Investissement pour de futurs projets
Utilisation des précédents	1. Risque d'imitation	RàPC	3. Coûts additionnels en cas de modification à la posteriori
		TRIZ	4. Difficultés de coordination
Utilisation des précédents	1. Risque d'imitation	Échelle de Modèle	3. Limite dans le contenu de la mémoire de cas
			Patrons de conception
Utilisation des précédents	1. Risque d'imitation	Échelle de Modèle	4. Manque de base de données architecturale
			Patrons de conception
Utilisation des précédents	1. Risque d'imitation	Échelle de Modèle	2. Dépendance de l'efficacité à l'échelle de l'utilisation
			Patrons de conception
Utilisation des précédents	1. Risque d'imitation	Échelle de Modèle	2. Limite à la créativité
			Patrons de conception

2.4.2. Critique des approches du groupe 2

Parmi les outils et les méthodes de proposition de solutions, nous avons mentionné les outils génératifs. Ces outils encouragent l'automatisme dans certaines parties de la conception. L'utilisation de tels outils risque qu'une part du processus créatif échappe à l'architecte. Cela explique probablement l'application limitée de ces outils par ces derniers. D'ailleurs, les propositions de formes faites par les outils sont abstraites et nécessitent que le concepteur les trouve en lien avec la réalité de la construction. À ce jour, la plupart des outils génératifs restent peu développés et expérimentaux (cf. Tableau 6).

Nous avons sélectionné deux exemples d'outils génératifs : Outil solaire [Marin, 2010] et LibRarchI [Iordonova, 2008].

Concernant le premier outil, nous pouvons remarquer une limitation de créativité propre à l'architecte - au sujet de la géométrie et des façades - lors de l'utilisation de l'outil. En effet, les résultats de l'enquête après un test sur cet outil ont confirmé que l'automatisme existant dans cet outil n'est pas tout à fait apprécié par les utilisateurs/concepteurs :

« La part d'autonomie laissée au logiciel induit un sentiment de perte de contrôle de la part du concepteur. » [Marin, 2010].

De plus, une fois la forme géométrique avancée, l'architecte doit s'y conformer ce qui complique les organisations spatiales internes et lui donne le sentiment de restreindre sa créativité sur les aspects fonctionnels du bâtiment en phase amont de la conception.

En ce qui concerne LibRarchI, malgré l'utilisation des référents comme un support de l'outil - support souvent emprunté par les architectes professionnels - l'outil ne leur est pas dédié. Ses utilisateurs restent limités aux amateurs et aux étudiants en architecture (Tableau 6).

Tableau 6 - Limites des approches du groupe 2 [notre recherche]

<i>Approche</i>	<i>Limite générale</i>	<i>Outil ou méthode</i>	<i>Limite spécifique</i>
Outils génératifs	<ol style="list-style-type: none"> 1. Peu développés et la plupart expérimentaux 2. Limitent le rôle d'architecte dans le processus créatif 3. Résultats abstraits et distants de la réalité de la construction 	Outil solaire LibRarchI	<ol style="list-style-type: none"> 4. Sentiment de perte de contrôle pour le concepteur 4. Usage exclusivement pédagogique

2.4.3. Critique des approches du groupes 3

En ce qui concerne les approches par l'évaluation, nous avons mentionné les outils de mesure comme Pléiades ou EQUER, les approches par référentiels et labellisations (LEEDTM et Certification démarche HQE[®]) et les approches combinées comme EVAtool et ECOTECH[®]. Nous devons cependant constater que la plupart de ces approches interviennent le plus souvent dans une étape avancée de la conception et sont mal adaptées à la conception préliminaire.

Concernant les outils de mesure et de calcul, ils ne sont souvent pas adaptés au stade de la conception. C'est-à-dire qu'ils évaluent plutôt le bâtiment construit que conçu. Cela nécessite une phase avancée de la conception dans laquelle nous pouvons accéder aux données exactes pour garantir un calcul précis. Cette intervention tardive de l'outil cause des modifications et des ennuis. Toutefois, il est possible de faire des mesures approximatives durant les phases intermédiaires de la conception - à partir de l'étape APD. Ce type d'utilisation durant la conception basée sur un processus essai-erreur ne suit pas une méthode concrète. En conséquence, cela peut causer des retards et des étapes supplémentaires au processus de conception.

Concernant l'outil Pléiade+Comfie, une limite de cet outil réside dans la nécessité d'intervention d'un professionnel - ayant des connaissances sur l'analyse thermique et sur l'outil - pour assurer l'exactitude des analyses et des décisions. Tous les architectes n'ont pas forcément une telle connaissance, ils deviennent donc dépendants des autres intervenants. Ce qui complique le début d'un projet architectural et le sort de son processus classique.

Une autre limite de l'outil Pléiade+Comfie est exprimée au niveau des formes complexes qui ne sont pas facilement modélisables pour entrer dans cet outil.

Enfin, cet outil nécessite la définition précise des données sur le thème thermique ce qui retarde le moment d'intervention et peut causer des changements essentiels dans le concept initial.

Au sujet de l'outil EQUER, les évaluations s'effectuent par une personne expérimentée, ayant connaissance du fonctionnement de ce logiciel. L'intervention d'une telle personne complique la phase amont de la conception pour l'architecte. Comme Pléiade+Comfie, cet outil aussi est plutôt conçu pour être utilisé dans un stade avancé de la conception.

Concernant les approches d'évaluation de solution et plus particulièrement des approches de labellisation et de référentiels, les critiques communes à [Crawley et Aho, 1999; Glaumann, 2000; Cole, 1999; Humbert et al., 2007; Ding, 2008; Malmqvist, 2008] sont : un manque de pondération (pour donner des priorités à certains aspects par rapport à d'autres), un manque de transparence, une focalisation exagérée sur les aspects quantitatifs au détriment des aspects qualitatifs, un frein à la créativité lié aux indicateurs basés sur les attributs et finalement le doute sur l'adaptabilité dans les autres pays et régions que les leurs.

De plus, ces approches favorisent une démarche de labellisation du bâtiment selon de grandes lignes. Mais ces grandes lignes ne sont pas forcément en mesure d'aider l'architecte dans ses démarches de conception. Elles sont plutôt une aide au maître d'ouvrage pour décider en amont et vérifier en aval de la conception la bonne réalisation du bâtiment.

Concernant démarche LEED, et malgré des avantages multiples, il existe une ambiguïté au sujet de la rigueur de certains résultats de l'approche LEEDTM. Un test à l'aide d'une méthode d'analyse du cycle de vie, organisé par [Scheuer et Keoleian, 2002] démontre que l'approche en question ne conduit pas forcément toujours au choix le plus qualifié du point de vue environnemental car LEEDTM évalue les matériaux recyclés avec une tendance vers les matériaux les plus chers ayant moins d'inertie thermique. Cela ne conduit pas forcément à la réduction des déchets. La recherche donne l'exemple de l'utilisation de béton de laitier²⁵ (50 %) qui peut conduire à une importante économie d'énergie, mais à cause de son coût relativement bas, il n'a pas de point sur cet aspect dans l'approche LEEDTM.

Au sujet de la démarche HQE, aucune voie directe vers les solutions architecturales et techniques n'est proposée. Les cibles HQE aident à la vérification de la prise en compte des exigences. Mais le travail de conception reste toujours aussi lourd à achever pour l'architecte.

En ce qui concerne les exemples des outils combinés abordés, EVAtool s'intéresse au management global du processus de conception tandis qu'ECOTECT[®] aide aux simulations

²⁵ Un béton composé d'un mélange de granulats et d'un liant hydraulique ou hydrocarbure. (En Anglais : Slag concrete)

détaillées qui facilitent les décisions et les choix durant la conception [Marsh, 2007]. Donc, nous pouvons dire que leur différence se situe au niveau de l'échelle d'intervention : générale ou détaillée. Rester dans les généralités induit un risque d'ambiguïté lors de la réalisation. En conséquence, les stratégies exprimées par les acteurs du bâtiment s'éloignent du résultat réel. Par contre, entrer dans un niveau détaillé de simulation est rassurant pour évaluer la faisabilité de ces dernières. Mais parfois, commencer ces simulations en amont engendre le risque qu'elles deviennent le souci majeur et qu'elles compliquent le rapport à la créativité et à l'usage de l'architecte.

Les critiques abordées sont résumées sous forme des limites générales et spécifiques dans le (Tableau 7).

Tableau 7 - Limites des approches du groupe 3 [notre recherche]

<i>Approche</i>	<i>Limite générale</i>	<i>Outil ou méthode</i>	<i>Limite spécifique</i>
Mesure et calcul	1. Évaluent plutôt le bâtiment construit que le bâtiment conçu	Pléiade+Comfie	5. Nécessité d'intervention d'un professionnel 6. Difficulté de travailler sur les formes complexes
	2. Intervention tardive 3. Risque de modifications tardives en attendant les données exactes 4. Risque d'une étape supplémentaire par une démarche d'essai-erreur durant la conception	EQUER	5. Nécessité d'intervention d'un professionnel
Labellisation	1. Manque de pondération 2. Manque de transparence 3. Simplification exagérée des aspects par une quantité ou note	LEED	7. Ambiguïté au sujet de la rigueur de certains résultats 8. Un niveau de guide très général 9. Dédicée plutôt à la maîtrise d'œuvre qu'au concepteur
	4. Frein à la créativité liée aux indicateurs basés sur les attributs 5. Champs d'action géographiquement limité 6. Intervention tardive	HQE	7. Généralité des cibles 8. Dédicée plutôt à la maîtrise d'ouvrage qu'au concepteur
Combinée	1. Intervention tardive	ECOTECT®	2. Intervention détaillée : plutôt focalisée sur les calculs thermiques
		EVAtool	2. Intervention générale : plutôt focalisée sur le management

Il faut aussi noter que, avec la tendance des applications numériques dans l'architecture, comme dans tout autre domaine, un grand nombre d'outils sont à disposition des concepteurs.

« L'outil informatique occupe une place de plus en plus importante dans la conception quelle soit architecturale ou informatique. » [Halin, 2004].

L'importance des outils numériques dans l'architecture d'aujourd'hui est négligeable mais tous les outils numériques ne suivent pas les mêmes objectifs :

« En ce qui concerne les outils numériques existants, une grande partie ont pour but de faciliter soit l'élaboration de la documentation du travail (logiciels CAO) ou la préparation de présentations de l'objet architectural déjà conçu et sont très peu pertinents pendant les étapes créatives du développement d'un projet. » [Iordonova et al., 2009].

En effet, il existe une différence entre des outils qui aident au processus de conception dans une dimension cognitive et ceux qui aident la conception dans une dimension visuelle tels que les dessins et les représentations. Dans notre travail, les outils CAO ne sont pas considérés comme aide au processus de conception et pour cette raison nous ne les avons pas abordés.

Conclusion de la partie 1

Dans le premier chapitre, nous avons mentionné que les enjeux du développement durable, et au centre d'eux la gestion énergétique, ont pris une place importante dans l'architecture d'aujourd'hui. La pensée environnementale existe depuis longtemps d'une manière ou d'une autre dans l'architecture au niveau mondial, mais se trouve être une tendance forte dans l'architecture contemporaine. Les concepteurs s'investissent de plus en plus sur ce sujet.

Puis, nous avons abordé le sujet de la phase amont de la conception qui s'avère être une phase déterminante, du point de vue environnemental, pour un projet de construction. En effet, c'est durant cette phase que sont prises les décisions les plus conséquentes pour l'environnement et donc pour le comportement thermique du bâtiment. Prendre en compte les exigences environnementales en phase amont permet de développer des solutions liant les avantages environnementaux et les activités créatives au profit du résultat final.

C'est pourquoi, il existe une nécessité d'augmenter le niveau des connaissances en phase amont de la conception pour aider ce processus de conception à la fois créatif et environnemental. Assister la phase amont de la conception paraît une approche possible pour répondre à ce besoin. Il existe plusieurs approches, méthodes et outils assistant à la conception de bâtiment qui feront l'objet du chapitre suivant.

Dans un second chapitre, nous avons eu recours aux méthodes et outils permettant une amélioration du processus de conception. Nous les avons regroupé selon 3 types : ceux qui visent à *proposer des solutions*, ceux utiles pour *résoudre des problèmes* et enfin ceux destinés à *l'évaluation des solutions*.

Parmi les outils et méthodes de proposition de solutions, nous avons donné l'exemple des outils génératifs, outils prometteurs qui restent à ce jour peu développés probablement parce qu'une part du processus créatif échappe à l'architecte.

Parmi les outils et méthodes d'aide à la résolution de problèmes, nous avons mentionné la méthode TRIZ utilisée en ingénierie industrielle et dont l'objectif est de réduire les temps des processus d'innovation et de création dans la conception. Elle a parfois été adaptée à la conception architecturale [Bridges, 2007; Lee, 2006 ; Mann et Cathain, 2001], mais si elle apporte des solutions potentielles à des problèmes techniques localisés elle reste peu

opératoire dans les projets complexes. Nous avons aussi mentionné les approches à « *base de cas* » dont le rôle, durant la phase amont de conception, a été démontré par plusieurs études [Scaletsky, 2004; Heylighen, 2000]. Ces dernières semblent plus conformes aux pratiques de la conception en architecture qui fait un large usage de références antérieures réinterprétées lors des projets.

En ce qui concerne les approches par l'évaluation, nous avons mentionné les outils de mesure comme Pléiades ou EQUER, les approches par référentiels et labellisations - LEEDTM et Certification démarche HQE[®] - et les approches combinées comme EVAtool et ECOTECT[®]. Nous devons cependant constater que la plupart de ces approches interviennent le plus souvent dans une étape avancée de la conception et sont mal adaptées à la conception préliminaire.

Or il apparaît plus efficace de prendre en considération les problèmes environnementaux dès les premiers moments de la conception. À cette étape, il y a plus de liberté de choix et moins de risques économiques. Il est aisé et peu coûteux, dans les premières esquisses, de changer fortement et même radicalement de parti pris. Par ailleurs une bonne solution architecturale envisagée dans le stade amont de la conception peut éviter ou limiter l'usage de solutions techniques complexes.

Dans cet esprit, il est donc important pour toute activité de conception d'utiliser à chaque phase l'outil qui est le mieux adapté [Yi-Luen, 1996]. Compte tenu de la faible instrumentalisation de la phase amont de la conception - *génération d'idées* - c'est cet aspect de la recherche qui va motiver la suite de nos travaux. Dans la partie suivante, nous proposons une méthode et un outil d'assistance à la conception en phase amont de la conception.

PARTIE 2 : ÉLABORATION D'UN OUTIL D'AIDE À L'ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS

Dans cette partie, nos propos portent sur la présentation du cadre méthodologique de notre recherche et son implémentation dans un outil d'aide à l'éco-conception de bâtiments.

En premier lieu, nous commençons par la proposition d'une démarche de génération des éco-modèles (Chapitre 3). Pour ce faire, nous définissons le concept d'éco-modèle et sa position vis-à-vis du processus de conception de bâtiments. Ensuite, nous établissons un cadre de génération des éco-modèles.

Puis, nous proposons un outil numérique basé sur le concept d'éco-modèle (Chapitre 4) dont nous en décrivons les principes de fonctionnement. Une attention particulière est portée sur le bon fonctionnement de l'outil.

Enfin, nous concluons sur la démarche proposée et son outil associé.

Dans ce chapitre, en nous inspirant des approches précédemment étudiées, notamment, la méthode de « *patterns language* » [Alexander et al., 1977], nous proposons la définition du concept d'*éco-modèle*. Partant de cette définition, nous abordons le sujet de la scénarisation à partir des éco-modèles. Puis, nous situons le rôle du concept défini dans le cadre de la conception collaborative de bâtiments en phase amont afin d'être en mesure de discuter la position du concept d'*éco-modèle* et de la créativité dans les processus de conception de bâtiments.

Notons que afin de vérifier la pertinence du concept d'*éco-modèle*, nous avons effectué une analyse de plusieurs réalisations architecturales récentes et éco-conçues. Cette analyse nous a permis de retrouver plusieurs éco-modèles à partir d'un protocole d'identification. Puis, les éco-modèles identifiés sont contextualisés et modélisés pour rendre plus efficace leurs réutilisations par les concepteurs. Enfin, nous donnons l'exemple d'un éco-modèle.

Chapitre 3 - Proposition d'une démarche de génération des Éco-Modèles

3.1. Le concept d'éco-modèle

Dans son ouvrage, [Alexander, 1979] évoque l'existence des « *qualités sans nom*²⁶ » dans le domaine de l'architecture et de l'urbanisme. Par cette expression, il évoque un double sens. Cette expression peut s'entendre à la fois comme des *qualités innomées* et des *qualités anonymes*. Les premières renvoient sur l'existence de pratiques architecturales disposant de qualités reconnues mais difficilement explicables par la théorie. Ce type de qualité, en conséquence, reste innomée la plupart du temps. La qualité de telles pratiques a été éprouvée par des réalisations, ce qui montre sa capacité à être réutilisée dans de nouveaux projets. Cependant la difficulté de formalisation théorique empêche de les nommer précisément. Les deuxièmes renvoient à la continuité des pratiques architecturales dans une société et leurs réutilisations et amélioration dans le temps. Cette vision se rapproche de la co-création des pratiques architecturales dans l'ensemble de la société, sans reconnaître un auteur ou un inventeur pour celles-ci. En ce sens, Alexander aborde des notions proches de l'« *architecture sans architectes* » (cf. 1.3.1). C'est justement de la réutilisation de ces *qualités* en tant que réalisations contemporaines que des solutions vernaculaires sont issues. En effet, [Alexander, 1979] renvoient aux deux sens pour exprimer le caractère empirique mais qui reste difficilement explicable au seul regard de son expression *qualités*. Son essai de retrouver ces *qualités sans nom* l'a conduit à définir le « *pattern language* » (cf. 2.1.3.2).

De plus, nous constatons la ressemblance avec la notion de *bonne pratique* dans le domaine industriel. Différentes méthodes dans le domaine du management des connaissances visent à exploiter les bonnes pratiques par la capitalisation de connaissances (cf. 2.1.2).

Nous cherchons à extraire ces *qualités sans nom*, *bonnes pratiques* ou « *patterns* », cette fois, dans le domaine de la conception environnementale de l'architecture. Pour ce faire, nous développons notre propre définition d'un tel concept :

Une forme-type architecturale capable d'être réutilisée d'une manière efficace.

La définition de ce concept emprunte à la fois à la notion de la forme dans le sens où il donne une perception générale d'un objet de conception et à la notion de type dans le sens où il

²⁶ "Quality without a name" [Alexander, 1979]

possède le caractère de pouvoir aider à reproduire. Cette reproduction à partir d'une catégorie générique permet une adaptation au projet d'une façon singulière et variée.

Par ailleurs, nous avons choisi de nommer ce concept : éco-modèle. Cette appellation se réfère à ses qualités écologiques, mais aussi à l'économie de pensée abordée dans la notion de « *modèle* » définie par [Boudon et al., 1994] (cf. 2.1.3.1).

Cette définition est une sorte de réinterprétation de la notion de « *pattern* » ou « *patron* » (cf. 2.1.3.2) pour s'inscrire dans une approche d'aide à l'éco-conception de bâtiments. Nous utilisons le terme de réinterprétation parce que l'*éco-modèle* hérite de certains champs développés dans la notion de « *pattern* » au sens d' [Alexander et al., 1977] tels que : la définition de problèmes et de solutions généraux d'un « *pattern* », illustration d'un « *pattern* » et des exemples d'utilisation. Par contre, il existe des champs que nous ne transférons pas dans notre approche des *éco-modèles* tels que : la hiérarchisation, le problème et la solution étendus et le caractère d'universalité d'existant dans le concept de « *pattern* ».

[Alexander et al., 1977] proposent une hiérarchisation des pratiques architecturales de qualité d'une échelle urbaine à une échelle de l'espace intérieur. Pour privilégier la dimension de la conception architecturale, nous avons choisi de ne pas effectuer cette hiérarchisation dans notre démarche. Évidemment cela diminue le nombre de pratiques et les limites aux pratiques de l'architecture générale de bâtiments²⁷.

Le rôle principal des éco-modèles est d'assister la phase amont du processus de la conception environnementale de bâtiments ; pas seulement pour faciliter la prise en compte des enjeux environnementaux, mais aussi pour augmenter la certitude dans les choix architecturaux. En ce sens, nous n'allons pas spécifier le problème et la solution dans un éco-modèle et nous nous contentons de sa généralité. Par contre, cette spécification se fait par des exemples d'utilisation pour chaque éco-modèle. De plus, nous nous inspirons de l'idée d'imager les « *patterns* », pour contribuer à une image générale de l'*éco-modèle* par l'illustration du problème et non pas par une solution spécifique.

Il importe de souligner que les éco-modèles ne consistent pas en propositions de nouvelles pratiques mais, au contraire, ils contiennent des idées testées et validées par la pratique. Ce qui est nouveau, dans ce concept, est leur identification et leur préparation par la réutilisation dans des contextes ressemblables (cf. 3.2).

²⁷ Cela n'est pas une position absolue et peut évoluer et être recadré dans la continuité de cette recherche.

Par ailleurs, il nous semble important de mentionner qu'un éco-modèle ne dispose pas de dimension universelle comme cela est présent dans la notion de « *pattern* ». Autrement dit, un éco-modèle peut être pertinent dans un *contexte* particulier et non pertinent dans un autre.

L'objectif à terme est d'inscrire les éco-modèles dans la production des scénarios de conception (cf. 3.1.1). Ce concept vise aussi à emprunter les avantages liés au retour d'expérience et à la conception collective (cf. 3.1.2). De plus, ce concept doit être capable de s'inscrire dans un processus de conception créatif (cf. 3.1.3).

3.1.1. L'abstraction et la scénarisation au travers des éco-modèles

Dans son étude, [Hanser, 2003] constate que la conception fait l'objet de mouvements constants entre différents niveaux d'abstraction de la solution envisagée :

« Ces mouvements d'abstraction permettent au concepteur de spécifier le couple problème-solution en construisant une représentation des contraintes, dont l'analyse permettra la proposition d'une solution. Cette analyse constitue une modélisation des contraintes et de leur contexte, préalable nécessaire à la formalisation d'une proposition de solution. » [Hanser, 2003].

À la lumière de ce qui précède et pour rester dans la lignée de la méthode proposée par [Alexander et al., 1977], chaque éco-modèle contient un triplet de problème(s)- solution(s)- contrainte(s). Ce triplet, non seulement assiste à la proposition de solutions, mais aussi clarifie certains contextes nécessaires à la réutilisation d'un éco-modèle (cf. 3.2.2.1).

À cet égard, un éco-modèle est loin d'être une solution directement applicable. Ce concept possède une dimension abstraite qui, d'ailleurs, lui permet d'englober une ou plusieurs problématiques de la conception environnementale de bâtiments. Par cette abstraction, il conduit le concepteur à chercher la/les solution(s) par sa propre créativité (cf. 3.1.3). Il représente un niveau intermédiaire de généralité qui définit les intentions du concepteur. Cela permet à ce dernier de vérifier déjà dans la phase amont de la conception l'acceptabilité de ces intentions avant de rentrer dans les solutions détaillées. D'ailleurs, par ce niveau intermédiaire, le concepteur peut avancer plus rapidement vers des solutions concrètes, en réduisant ses champs de recherche.

D'ailleurs, une scénarisation à partir des éco-modèles choisis par le concepteur, pourra faciliter l'expression des intentions environnementales et architecturales du projet en phase amont.

Le concept de scénario est basé du fait qu'un éco-modèle ne peut être isolé des autres parties de la conception et que les relations parmi les éco-modèles jouent un rôle aussi important que les éléments - les éco-modèles eux-mêmes - dans l'efficacité d'un scénario à répondre aux objectifs du projet. L'étude de ces relations est une partie importante de ce travail de recherche (cf. 3.2.2.4). Ces dernières aideront le concepteur dans sa démarche de scénarisation à partir des éco-modèles et le dirigeront vers un scénario de plus en plus faisable et complet. Ce scénario pourra être le sujet d'analyse afin de modifier tous mauvais choix avant même de passer à l'étape avancée de la conception (Figure 33).

Effectivement, le changement de décision dans une phase d'esquisse - souvent faite à la main - est beaucoup plus rentable au niveau du temps et du coût que dans une étape avancée de la conception - après les graphiques précis et les espaces précisément définis.

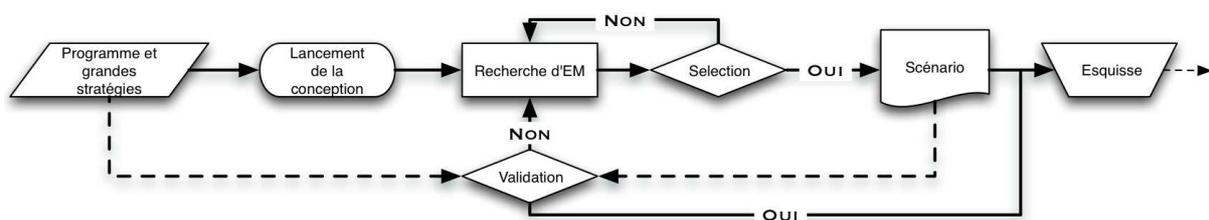


Figure 33 - La démarche de scénarisation à partir des éco-modèles [notre recherche]

3.1.2. Les Éco-Modèles dans le cadre de la conception collaborative de bâtiments

L'acteur principal de la phase d'esquisse de la conception architecturale est généralement l'architecte. La méthode que nous proposons le concerne à travers ses idées écologiques et architecturales. Inspirer les idées d'un architecte nécessite d'utiliser le langage de l'architecte dans lequel l'image est la plus reconnue.

« Les images et les mots sont liés de manière particulière car il semble difficile que les unes (images) puissent exister sans les autres (mots), du moins dans le domaine de l'architecture (...) Une des particularités de l'image est sa polysémie. Cette qualité autorise des interprétations multiples

et, donc, des interactions fécondes avec les images mentales des concepteurs eux-mêmes. C'est probablement là une raison majeure de son efficacité cognitive. » [Kacher, 2005].

Donc, pour répondre à ce besoin, nous avons essayé de trouver des images types à chaque éco-modèle (Annexe 1). Les images représentatives doivent être suffisamment évocatrices pour faire émerger des idées. En ce sens, le concept se rapproche de l'apport de la pensée visuelle dans les processus créatifs.

« (...) visual thinking can precede verbal thinking, and drawings or images can become active agents in producing design ideas, rather than passive records of them. » [Marda, 1997].

« (...) la pensée visuelle peut précéder la pensée verbale, et des dessins ou des images peuvent devenir des facteurs actifs de la production d'idées de projet, plutôt que de n'être que l'enregistrement passif de ces idées. » [Marda, 1997] traduit par [Scaletsky, 2003].

Les éco-modèles sont, à la base, destinés aux concepteurs de bâtiments. Cependant, la maîtrise d'ouvrage peut aussi utiliser les éco-modèles pour exprimer ses demandes à l'architecte, sous forme de scénarios. Ceci se rapproche de l'idée d'avoir un langage commun dans la démarche de conception collaborative. L'image représente un langage commun possible entre les acteurs de différentes cultures professionnelles dans une conception architecturale. Nous pensons que l'image aide les collaborateurs à converger vers des idées qui peuvent se présenter très divergentes par les mots.

Nous pensons que la scénarisation à travers les éco-modèles pourra assister deux types de collaboration omniprésentes dans le processus de conception en phase amont :

- collaboration située - entre le concepteur et la maîtrise d'ouvrage,
- collaboration distribuée - entre les concepteurs de différents bâtiments.

Nous pouvons imaginer qu'une équipe de conception - et non un seul concepteur - peut aussi être l'objet d'autres types de travail collectif.

3.1.2.1. Collaboration située au travers des éco-modèles

Pendant la phase amont de la conception, une assistance de type *facilitateur de la communication* - entre la maîtrise d'ouvrage et le concepteur - devient utile. Cela peut se traduire par l'apport d'une aide à la reformulation du concept pour transférer le maximum d'information convaincante à la maîtrise d'ouvrage de la part de l'architecte.

L'utilisation des éco-modèles vise à favoriser la communication des idées et les négociations au sujet des demandes de la maîtrise d'ouvrage et des propositions du concepteur (Figure 34).

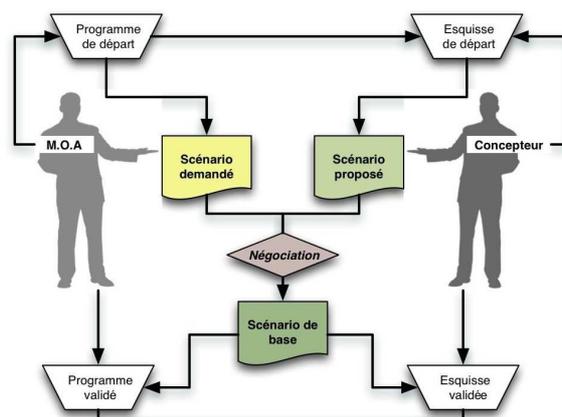


Figure 34 - Favoriser les négociations entre le concepteur et la maîtrise d'ouvrages au travers des scénarios
[notre recherche]

Ces négociations peuvent aider à trouver un accord entre le programme - les demandes de la maîtrise d'ouvrage - et les propositions du concepteur. Ces échanges entre l'architecte et la maîtrise d'ouvrage, sur un artéfact qui est le scénario, peuvent être perçus comme une collaboration située.

Enfin, les éco-modèles ou/et les scénarios peuvent être le sujet de collaborations durant la phase amont de la conception dans les étapes suivantes :

- Clarification de la demande de la maîtrise d'ouvrage au début de la phase d'esquisse (ESQ): la maîtrise d'ouvrage pourra reformuler ses demandes ainsi que ses préférences en terme de l'éco-conception
- Retour d'avis de la maîtrise d'ouvrage en fin de phase avant projet sommaire (APS) : l'accord ou le désaccord de la maîtrise d'ouvrage avec les propositions du concepteur se clarifie le plutôt possible avant de passer au projet définitif.

- Justification de la faisabilité et de l'efficacité des choix durant la phase avant-projet définitive (APD) : l'architecte peut se référer aux projets architecturaux qui justifient la pertinence des éco-modèles choisis pour convaincre la maîtrise d'ouvrage de la faisabilité et de la pertinence de ses propositions.

Ces collaborations nécessitent des échanges synchrones et des réunions entre le concepteur et la maîtrise d'ouvrage. Pour cette raison, nous les considérons comme une série de collaborations situées probablement au travers des éco-modèles.

3.1.2.2. Collaboration distribuée au travers des éco-modèles

Les approches actuelles de la collaboration sont plutôt centrées sur des échanges synchrones - dans un même moment ou avec un décalage de temps court - entre les acteurs de différents métiers. Dans ce sens, la conception collaborative est reconnue comme une activité interdisciplinaire [Lu et al., 2000 ; Wang et al., 2002] pouvant améliorer l'efficacité des processus de travail et favoriser la résolution de problèmes complexes.

Mais on peut également aborder la collaboration comme un dispositif asynchrone - avec des décalages de temps parfois longs - fondé sur des échanges entre des *acteurs*, des *temps* et des *cultures* distants.

Ce système de collaboration, qui nourrit par ailleurs les pratiques traditionnelles, se fonde sur une capitalisation des connaissances architecturales passées et présentes dans des dispositifs types pouvant être partagés. Dans notre travail de recherche, ces dispositifs sont représentés par les éco-modèles. Grâce aux éco-modèles, les concepteurs peuvent bénéficier des expériences acquises par les autres concepteurs. Ces dispositifs forment une sorte de banque de connaissances qui s'enrichit au fur à mesure des réalisations menées. Ils peuvent être considérés comme des *éléments de collaboration distribuée* (Figure 35) où les collaborateurs ne sont pas des personnes mais des connaissances reprises par des personnes.

En ce sens, au travers des éco-modèles, des échanges asynchrones avec des décalages de temps parfois de dizaines d'années, sont prévus. Ces types d'échanges ont la capacité de puiser dans des cultures, des localisations, des temps et des phases de conception distants. C'est pourquoi selon nous, ils représentent une *collaboration distribuée*. Ce système de collaboration ne devient possible qu'avec une collecte des connaissances passées, dans laquelle les concepteurs peuvent prendre le meilleur des connaissances acquises des uns et des autres. En ce sens, les éco-modèles jouent le rôle d'*éléments de collaboration distribuée*.

L'objectif à terme est, donc, de réunir des éléments dans une banque de connaissances qui s'enrichit au fur et à mesure des nouvelles connaissances dans le domaine.

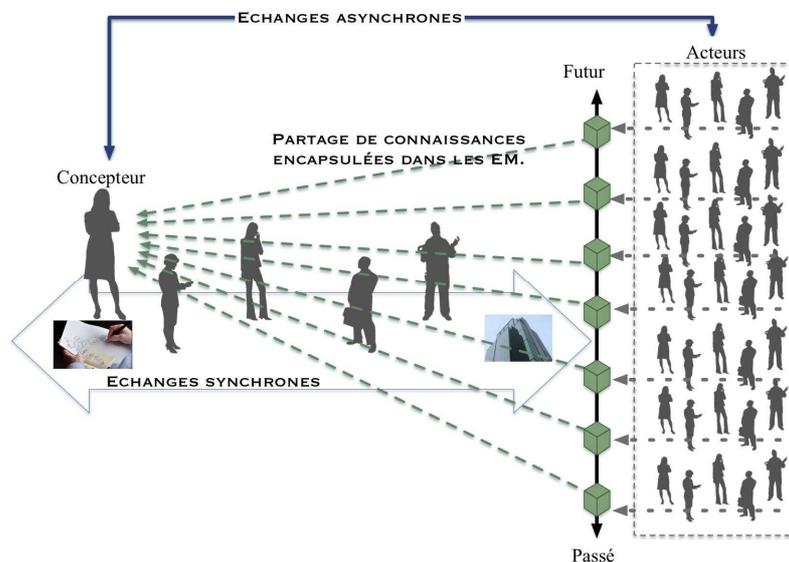


Figure 35 - Interface d'échanges asynchrones contenant les éco-modèles comme les éléments de la collaboration distribuée [notre recherche]

En effet, une banque d'éco-modèle peut être considérée comme une co-crédation de connaissance par des acteurs qui ne se connaissent pas forcément. C'est une approche qui peut rejoindre l'idée de créer une encyclopédie spécialisée dans le domaine de la conception environnementale de bâtiments. Ces éléments de connaissances peuvent être récoltés au travers des projets réalisés dans le passé mais aussi sur les conceptions faites pour un projet qui sera réalisé dans le futur.

« Pour concevoir une œuvre nouvelle, un architecte peut s'appuyer sur des fragments de connaissance qu'il a extrait d'œuvres anciennes, réalisées ou simplement projetées. La conception s'appuie alors sur la mémoire d'une interprétation effectuée en amont, car l'extraction de connaissances réutilisables peut se faire par un travail d'interprétation. » [Léglise, 2000].

À lumière de ce qui précède, les éco-modèles et leurs cas d'utilisation antérieurs peuvent offrir aux architectes des fragments de connaissances.

[Jordanova et al., 2009] présentent trois piliers pour la communication du savoir-faire:

- « *Les raisons (ou les bases théoriques explicatives)* »,
- « *Le processus (ou la façon de faire)* »,
- « *Les finalités (ou les buts pour lesquels il peut être utilisé)* ».

L'auteur recommande la troisième façon pour aboutir à « *un meilleur apprentissage* » et ce dans un objectif pédagogique.

Cette recherche a pour objectif de favoriser la conception environnementale du bâtiment - réel ou pédagogique. Donc, en nous appuyant sur les trois piliers définis par [Jordanova et al., 2009], nous pensons que les finalités - les bâtiments réalisés ou les projets conçus - accompagnées des raisons peuvent être importantes dans le cadre de notre méthode pour aider l'architecte. Par contre, il nous semble peu pertinent de se focaliser sur les façons de faire - les processus - au niveau de la phase amont de la conception.

Enfin, les finalités et les raisons sont consultables par l'architecte à travers les éco-modèles. En se basant sur ces éléments le concepteur peut conduire un travail de conception avec plus de certitude et plus de connaissances présentes dès la phase amont.

3.1.3. Les éco-modèles et la créativité

[Kacher, 2005] affirme que le concepteur, durant le processus de conception, transforme l'objet conçu (abstrait) à l'état d'objet concret (matérialisé). Cette transformation se réalise progressivement avec l'avancement du projet. En effet, le projet reconnaît plusieurs niveaux d'abstraction avant d'être concrétisé.

« L'objet à concevoir doit pouvoir être décrit en respectant différents niveaux d'abstraction... dans la conception architecturale, c'est souvent l'échelle qui permet de structurer les niveaux d'abstractions. » [Halin, 2004].

Dans la phase amont de la conception, nous sommes encore dans un environnement très abstrait en terme de concept. Dans cette phase abstraite, le concepteur intervient avec sa créativité pour esquisser les lignes de départ de son objet à concevoir. Donc, aider les concepteurs par la proposition de solutions déjà bien précises peut éliminer ce passage nécessaire à l'abstraction et réduire de fait le caractère créatif des projets. De même, assister la démarche par des propositions très générales n'aide pas non plus à la conception. En ce sens, trouver une bonne échelle d'abstraction est nécessaire pour soutenir la créativité du concepteur tout en l'assistant dans sa démarche de conception en phase amont.

Dans le concept d'éco-modèle, nous avons pris en compte ce niveau d'abstraction nécessaire. Cependant, le moyen d'atteindre une solution pour un problème n'est jamais précis dans la méthode de l'éco-modèle, il dépend fortement de la créativité et de l'intelligence du concepteur. Cela distingue cette méthode des méthodes orientées vers l'automatisme dans la conception.

3.2. Génération des éco-modèles

Afin d'étendre notre concept d'éco-modèle, nous proposons une démarche de génération des éco-modèles (EM). Cette démarche, premièrement, collecte les éléments de connaissances ou de bonnes pratiques environnementales existants autour de l'éco-conception de bâtiments. Pour ce faire, il faut synthétiser un corpus d'études grâce à la consultation des projets récents. Puis, elle examine ces bonnes pratiques afin d'identifier celles qui possèdent les critères nécessaires pour être reconnus comme un éco-modèle. Ces critères sont définis selon la définition de l'éco-modèle. Deuxièmement, cette démarche vise à favoriser le travail de réutilisation des éco-modèles. En ce sens, la démarche propose une étape de contextualisation des éco-modèles, notamment à l'aide des éléments existants sur le corpus d'étude. Dans la continuité de la proposition de la démarche et afin de la concrétiser, un travail de modélisation des éco-modèles est effectué. Ces modèles aident aussi à une future implémentation dans une banque d'éco-modèles. Cette banque de données peut ensuite être consultée par les concepteurs afin de permettre le choix des éco-modèles. Le corpus d'étude et le contexte de réutilisation des éco-modèles viennent aider ce choix. Le concepteur poursuit cette démarche par une scénarisation à partir de ses choix et propose de les mettre en application dans son projet. Il faut mentionner que le corpus d'étude, dans une telle démarche, est le sujet de mises à jour régulières. En effet, non seulement, la réutilisation d'un éco-modèle peut conduire à la mise à jour du corpus d'étude par un nouveau cas d'utilisation de manière proche à un retour d'expérience ; mais aussi le suivi des actualités de projets d'éco-conception dans le monde peut conduire au développement du corpus d'étude et de la banque des éco-modèles.

Dans l'ensemble, cette démarche peut être représentée par un cycle d'étapes (Figure 36).

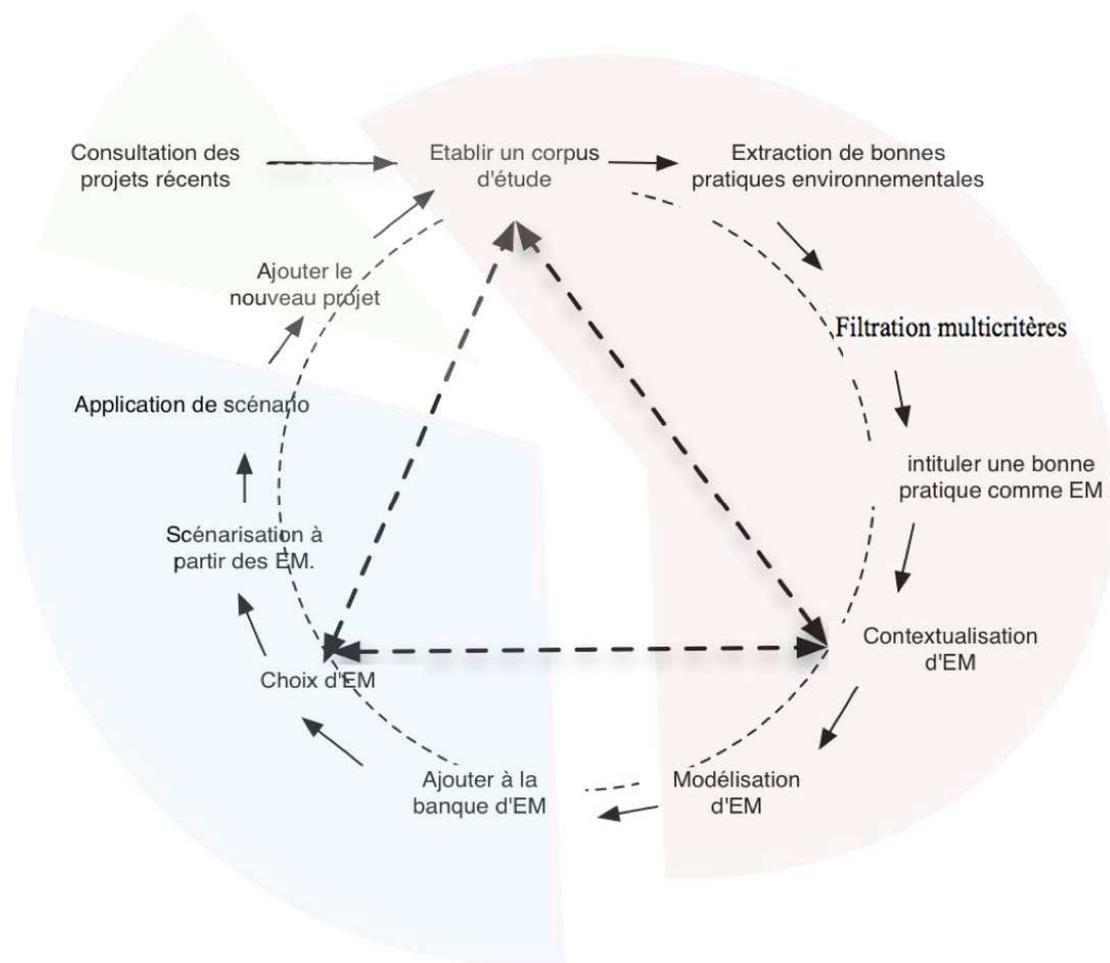


Figure 36 - Le cycle de la démarche de génération des éco-modèles [notre recherche]

Ce cycle se divise en 3 processus consécutifs :

- la génération des éco-modèles,
- l'instrumentalisation des éco-modèles,
- l'application des éco-modèles et leur mise à jour.

Dans la proposition de la démarche de génération, l'objectif à terme est de préparer les éco-modèles à l'instrumentalisation (cf. Chapitre 4) pour de futures applications et mises à jour. Afin de présenter cette démarche, nous abordons les étapes de l'identification jusqu'à la modélisation des éco-modèles.

3.2.1. Identification des éco-modèles

Les éco-modèles par définition sont déduits des pratiques architecturales. Ce travail d'identification se fait selon un protocole au travers d'un corpus d'étude. Le processus

d'identification, à son tour, comprend la consultation des projets environnementaux récents, l'extraction de bonnes pratiques environnementales et la filtration multicritères.

3.2.1.1. Consultation des projets environnementaux récents

Dans un travail de la recherche scientifique, le chercheur entreprend son travail par un état de l'art sur les recherches scientifiques menées afin de connaître les savoirs existants autour de son idée et de positionner sa proposition scientifique. De façon similaire, dans un travail de conception architecturale, l'architecte fait, la plupart du temps, une revue des pratiques existantes dans le domaine du bâtiment avant de développer sa propre proposition.

En général, nous définissons trois types de réalisations pouvant être inclus dans un corpus d'étude dans l'objectif de génération des éco-modèles (Figure 37) :

- Les architectures vernaculaires
- Les architectures conventionnelles
- Les architectures en projet



Figure 37 - Les exemples de l'architecture, de gauche à droite, vernaculaire, conventionnelle et en projet [notre recherche]

Les architectures vernaculaires sont une source importante pour retrouver des bonnes pratiques environnementales. Les bonnes pratiques extraites de ce type d'architecture ont confirmé leurs pertinences par leurs réutilisations millénaires. Ce type d'architecture est souvent emprunté par les architectes pour la recherche des solutions autonomes. En ce qui concerne les architectures vernaculaires, elles n'ont pas été traitées dans notre travail et elles feront l'objet d'autres travaux de recherche au CRAI²⁸.

Les architectures conventionnelles sont un champ de recherche afin de connaître les bonnes pratiques existantes et faisables. D'un côté, l'analyse de ces architectures peut nous aider à connaître les possibilités d'aujourd'hui. D'un autre côté, elles nous amènent à retrouver les

²⁸ Travaux de recherche de fin d'étude d'une étudiante en Master AME

bonnes pratiques qui suivent la tendance architecturale de la société. Concernant les architectures conventionnelles, les visites des sites des bâtiments, majoritairement organisées par l'association LQE (2008-2010) et Classe 4²⁹ (2008), nous ont permis d'analyser plusieurs réalisations menées par différents architectes dans la région Lorraine. Mais, pour avoir une vue plus globale et afin d'augmenter la possibilité de rencontrer un plus grand nombre de bonnes pratiques, nous avons aussi analysé des bâtiments conçus et réalisés dans les autres zones climatiques et culturelles du monde. Pour accéder aux informations les concernant, nous avons consulté les sources bibliographiques et les sources en ligne (e.g. les pages web des architectes connus).

Les architectures en projet sont quant à elles clairement inscrites dans une perspective de recherche du progrès et de créativité. C'est pourquoi elles font souvent l'objet des concours architecturaux, aidant ainsi les architectes à connaître les tendances architecturales dans un futur proche. Souvent basées sur des scénarios du futur, les pratiques ressortant de ce type de projets sont à un horizon technologique plus avancé et ont des formes plus créatives que ce qui existe déjà dans l'architecture conventionnelle. En ce qui concerne les architectures en projet, nous avons réuni le corpus de connaissances aussi bien par des sources bibliographiques et les sources en ligne que par des expositions sur le sujet (e.g. [*Architecture = durable*, 2008]).

Pour conclure cette partie sur le corpus d'étude, les bâtiments que nous avons consultés dans le cadre de cette recherche sont reconnus comme ayant une valeur *environnementale* par des experts, journalistes, etc. Ce jugement est exprimé de différentes manières : par les associations spécialisées (e.g. *HQE*³⁰, *LQE*³¹, *LEED*³²), par les revues spécialisées (e.g. *Energy and Buildings*, *Building and Environment*, *Écologik*), par les lauréats de concours et de prix (e.g. concours *maisons solaires*, concours *REVIVAL*, *Global Award for Sustainable Architecture*), par les études des cas abordées dans les conférences et les expositions (e.g. *eCAADe*³³, *SCAN09*³⁴ et [*Architecture=Durable*, 2008]).

En nous appuyant sur les avis des experts, nous avons effectué une analyse de plus de 200 bâtiments récents ou en projet provenant du monde entier. Cette étape de consultation nous a

29 Formation continue à l'École d'Architecture de Nancy

30 Association Haute Qualité Environnementale en France

31 Lorraine Qualité Environnement pour la construction en France

32 Leadership in Energy and Environmental Design aux États-Unis

33 Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe

34 Séminaire de Conception Architecturale Numérique

permis de rassembler un corpus d'étude qui nous permettra de poursuivre notre démarche de génération des éco-modèles.

3.2.1.2. Extraction de bonnes pratiques environnementales

Nous pensons que l'architecte, en tant qu'acteur principal de la phase amont de la conception, peut réduire les impacts environnementaux du bâtiment par l'utilisation de bonnes pratiques. La consultation des projets récents nous a donné un aperçu d'une gamme de ces dernières avec des avantages environnementaux très variés (e.g. confort visuel, santé, gestion de l'eau). Parmi les différents regards, une attention spécifique se porte sur les aspects énergétiques. Cela est très probablement dû à l'émergence de problématique liée à la gestion énergétique (cf. 1.2).

Selon les estimations de l'association *MINERGIE* [Fraefel, 2000], les stratégies et les mesures d'efficacité énergétique prises sur le plan architectural sur un bâtiment neuf peuvent conduire potentiellement jusqu'à une économie d'énergie de 50% et avec un surcoût négatif. Ces stratégies et mesures d'efficacité énergétique sont le centre d'intérêt des bonnes pratiques dont nous sommes à la recherche (Figure 38).

En effet, nous recherchons les bonnes pratiques environnementales - avec tout type de préoccupation environnementale - à partir de l'analyse du corpus d'étude, pour les rendre candidates à devenir des éco-modèles. Afin de ne pas négliger un regard environnemental, nous nous sommes appuyés sur les 15 cibles HQE®³⁵ (cf. 2.3.2.2). En ce sens, nous essayons de trouver plusieurs bonnes pratiques relatives à chaque cible.

Ces bonnes pratiques sont souvent exprimées par les concepteurs dans les textes et les schémas contenus dans le communiqué du projet, dans les entretiens ou les livres (e.g. Figure 38).

³⁵ Une 15^{ème} cible (biodiversité) est susceptible d'être ajoutée aux cibles proposées auparavant par l'association HQE®. Dans notre travail de recherche des bonnes pratiques, nous le prenons en compte.

ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS DURABLES

« Si l'architecture du projet et la structure de chaque cylindre répondent à des règles de statique, elles sont aussi conçues en fonctions de systèmes climatiseurs. Les **vides cylindriques** occupant le cosur de chaque bâtiment fonctionnent en **puits de lumière**, d'aération et de fraîcheur, de profonds canaux, prolongeant en sous-sol la base de ces puits, les alimentent en frigories et refroidissent ainsi les espaces de travail. Ce système est coordonné avec celui des **façades à double peau isolante** : un **double vitrage** dont l'extérieur est, **suivant les orientations, diversement sérigraphié en miroir**. Les réductions d'apports énergétiques sont ainsi réduites de 40 %, une réduction relativement importante compte tenu des moyens mis en œuvre, de leurs **simplicités mécaniques** et de leur pleine intégration aux bâtiments. Ces systèmes d'autorégulation ont fortement joué sur la formulation du projet et pourraient globalement la justifier, ils n'en sont pas cependant la principale raison ». (Emery, 2002)

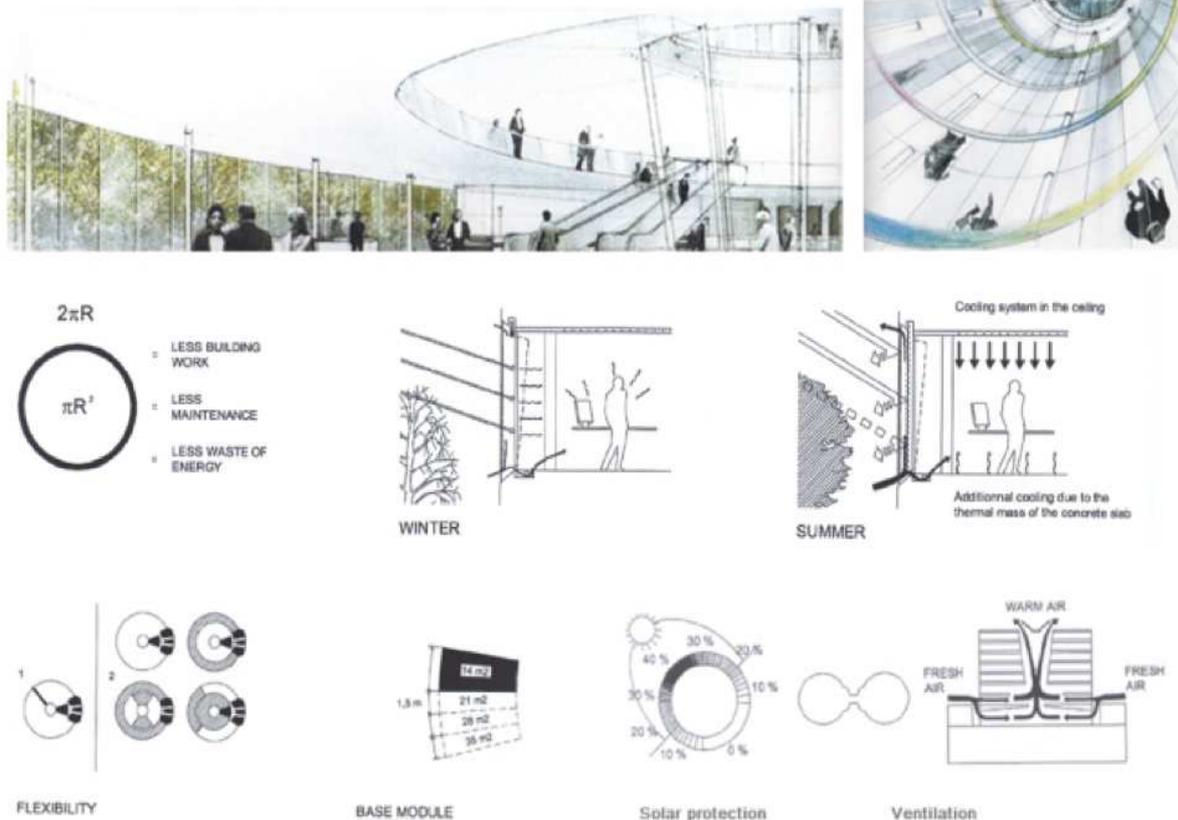


Figure 38 - Exemples d'étude d'une bonne pratique environnementale : forme circulaire [Émery, 2002]

Nous parlons de *candidate* car pour devenir éco-modèle, selon notre protocole d'identification, cela nécessite de remplir les critères d'un concept de l'éco-modèle. Les bonnes pratiques extraites du corpus d'étude sont filtrées selon ces critères.

3.2.1.3. Filtration multi-critères

Pour qu'une bonne pratique environnementale soit choisie comme un éco-modèle, selon la démarche de génération d'éco-modèles que nous avons proposée (cf. Figure 36), elle doit posséder plusieurs critères (Tableau 8).

Tableau 8 - Critères des éco-modèles liés aux conditions de sélection [notre recherche]

<i>Critère</i>	<i>Condition</i>
<i>Opérationnel</i>	Faire preuve de sa pertinence en étant utilisé dans au moins trois réalisations d'auteurs différents
<i>Générique</i>	Avoir un certain degré de généralité : être ni une solution simple, ni une stratégie globale
<i>Holistique</i>	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®
<i>Formalisable</i>	Pouvoir être représenté par une illustration, un dessin
<i>Adaptée au niveau de l'esquisse</i>	Répondre aux questions posées en phase d'esquisse comme le positionnement, la volumétrie, l'organisation spatiale ou encore le système constructif général de bâtiments

D'abord, elle doit être *opérationnelle*, c'est-à-dire, avoir fait l'objet d'une pratique fréquente et approuvée. Pour que la preuve en soit faite, elle doit être utilisée dans au moins trois réalisations récentes. De plus, ces réalisations doivent être issues d'auteurs différents afin de garder la capacité de l'éco-modèle à s'inscrire dans le contexte de la collaboration distribuée (cf. 3.1.2.2).

Un deuxième critère de choix est d'avoir un certain degré de généralité : ne pas être ni une solution simple, ni une stratégie globale pour pouvoir s'adapter à la fluidité et à la créativité de la phase amont de la conception, en d'autres termes, elle est doit être *générique*.

Dans un contexte de conception qualifié comme étant complexe (cf. 1.4.1), le concepteur ne peut pas raisonner point par point. Il doit toujours garder une vision globale de son objet de conception. Pour apporter cette réponse, afin qu'une bonne pratique soit choisie en tant qu'éco-modèle, elle doit répondre en même temps à plusieurs problèmes fréquemment rencontrés sans dépasser un certain degré de particularité. C'est grâce à ce critère *holistique* qu'elle pourra s'intégrer dans une démarche complexe comme la conception de bâtiments. En ce sens, la bonne pratique doit avoir démontré son efficacité environnementale en répondant au minimum à trois exigences environnementales. Pour aborder ces exigences environnementales dans le contexte de la construction en France, nous avons fait le choix de nous référer aux cibles HQE®.

De plus, dans la lignée de la notion de « *pattern* » proposée par [Alexander et al., 1977], tout éco-modèle doit pouvoir être *formalisé par une illustration* - une image ou un dessin.

Enfin, un éco-modèle, dans cette recherche, répond aux questions posées en phase amont d'un projet de bâtiments (e.g. le positionnement, la volumétrie, l'organisation spatiale et le système constructif général de bâtiments).

Par ces critères non seulement le concept de l'éco-modèle s'enrichit mais aussi les éco-modèles trouvent un format type qui favorise la comparaison de l'un à l'autre pour faire un choix.

3.2.2. Contextualisation des éco-modèles

Dans une approche environnementale, la conception de bâtiments a pour spécificité d'être une approche de conception située (cf. 1.4), c'est-à-dire que chaque bâtiment est conçu en relation directe avec son contexte. Les éco-modèles, seulement contraire à l'approche par les « *patterns* », ne possèdent pas une dimension universelle. Ce qui donne une chance plus forte d'efficacité de la solution par réutilisation dans des contextes semblables.

Dans ce qui suit, nous définissons ce que nous entendons par le contexte pour un bâtiment et en conséquence pour la réutilisation de l'éco-modèle. Bien évidemment, nous pouvons définir ce sujet par une multitude d'angles de vue (e.g. contexte culturel, contexte économique, contexte artistique). Cependant, dans ce travail de recherche nous nous focalisons sur 4 angles de vue prioritaires pour la réutilisation des éco-modèles:

- Le contexte conceptuel
- Le contexte physique
- Le contexte environnemental
- Le contexte relationnel

Nous pensons qu'avec la compréhension de l'ensemble de ces angles de vue, cela permet à un concepteur de reconnaître plus facilement dans quel contexte un éco-modèle pourra démontrer sa meilleure efficacité architecturale et environnementale. Ceci est lié à un travail analogique par le concepteur pour découvrir les similitudes entre la problématique de son projet et les propositions des éco-modèles (Figure 39).

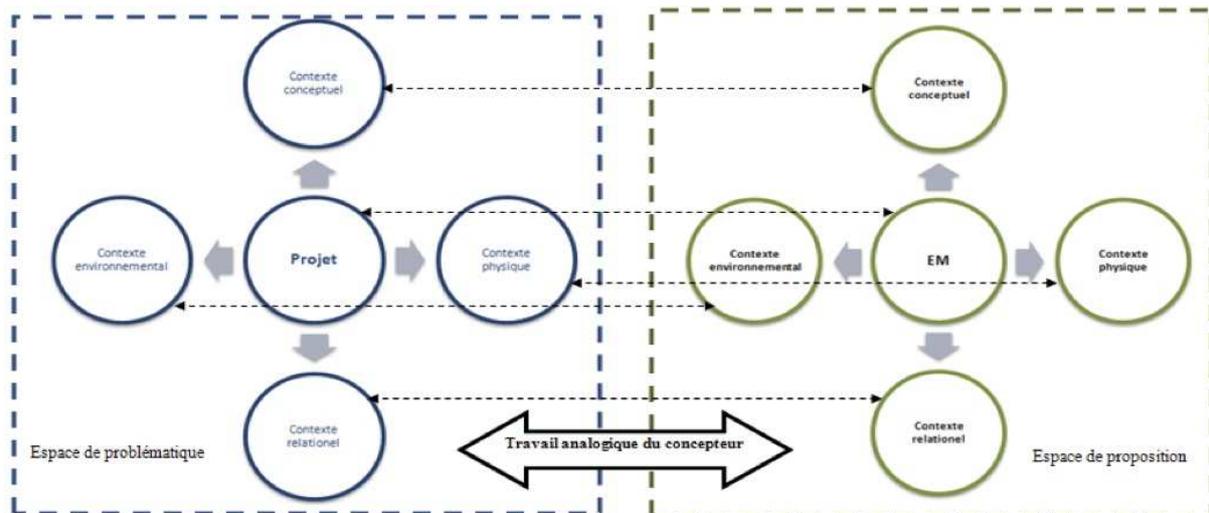


Figure 39 - Le travail analogique de concepteur à la recherche de proposition adaptée au contexte du projet
[notre recherche]

Il faut souligner que la démarche de génération des éco-modèles (cf. Figure 36) a pour spécificité d'être une démarche ouverte aux ajouts de cas de réalisations dans le corpus d'étude et de nouveaux éco-modèles dans la banque d'éco-modèles. La quantité des éco-modèles et des cas augmente dans le temps. Dans notre travail, nous nous sommes basés sur environ 200 cas pour définir la contextualisation des éco-modèles. En conséquence, les éco-modèles portent une vision relative - traduit par du texte ou une approche statistique - qui n'est pas absolue ; le contexte de leurs réutilisations peut gagner en précision avec un plus grand nombre de cas. Cependant, cette démarche ne vise pas à éprouver la faiblesse de la réutilisation d'un éco-modèle dans un contexte différent, mais à augmenter la certitude de sa réutilisation dans un contexte semblable.

Dans les sections suivantes nous tentons de développer la contextualisation des éco-modèles à travers une approche relative à base de cas et par les 4 angles de vue présentés.

3.2.2.1. Contexte conceptuel

Pour comprendre le contexte conceptuel d'un éco-modèle, il s'agit de comprendre quel problème a révélé une solution proposée par un éco-modèle et quelles étaient les limites possibles de ses applications antérieures. Nous proposons de représenter ce dernier pour chaque éco-modèle sous le format d'un triplet :

$$\text{Contexte conceptuel de l'éco-modèle} = \{Pb, Sol(Pb), Ct(Sol)\}^{36}$$

³⁶ Pb : problème ; Sol : Solution ; Ct : Contrainte

Ce triplet est exprimé par un texte de façon directe au concepteur. Leur étude aide le concepteur d'abord à trouver un problème semblable à ce à quoi il est confronté ou à choisir une solution qui lui convient. Ensuite, d'éviter ou d'anticiper les contraintes envisageables qui ne lui conviennent pas. Cela lui permettra de rester toujours dans le concept défini par l'éco-modèle et de le connaître par ses définitions.

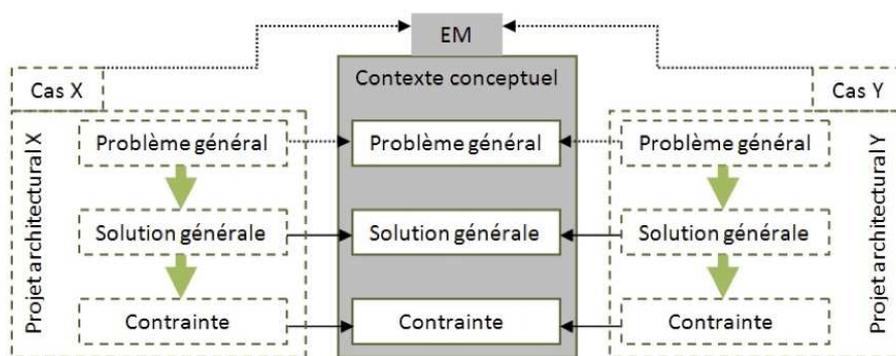


Figure 40 - Le contexte conceptuel d'éco-modèles à partir des cas d'utilisation [notre recherche]

D'ailleurs, ce contexte est, aussi bien que l'éco-modèle en soi, le fruit de son utilisation dans le temps. Plus un éco-modèle a été emprunté auparavant, mieux nous pouvons définir son contexte conceptuel d'utilisation. Nous nous sommes basés sur ses cas antérieurs d'utilisation, limités au corpus d'étude, pour faciliter le travail de contextualisation de l'éco-modèle dans son nouveau contexte d'implémentation (Figure 40).

i. Problème (s)

Le problème décrit pour chaque concept de l'éco-modèle doit contenir un problème général fréquemment rencontré dans les projets architecturaux auquel l'éco-modèle va apporter sa réponse. Il peut exister certains éco-modèles qui traitent simultanément plusieurs problèmes généraux.

Le problème est, en effet, un résumé des problèmes communs traités dans les cas qui ont emprunté un éco-modèle :

$$Pb(\text{éco-modèle}) = \{Pb(\text{cas } 1) \cap Pb(\text{cas } 2) \dots \cap Pb(\text{cas } x)\}$$

En conséquence, le concepteur, en lisant le texte du problème doit s'assurer des similitudes des problèmes environnementaux auquel il est confronté dans le cadre de son projet avec celui traité par l'éco-modèle. Il devient alors une partie indispensable de l'éco-modèle et aide le

concepteur à faire son choix. En effet, l'expression du problème assiste le concepteur pour la résolution de problème par un travail d'analogie.

D'ailleurs, plus un éco-modèle répond à une multitude de problèmes, plus l'éco-modèle est adapté à une conception complexe.

ii. Solution

Une solution générale est proposée par chaque concept de l'éco-modèle. Cette solution vient répondre aux problèmes abordés auparavant. La solution proposée par un éco-modèle peut, en effet, ouvrir la voie vers une variété de formes et de solutions détaillées. Cette solution générale, exprimée sous forme d'un texte, est un résumé des solutions détaillées connues selon les cas d'utilisation :

$$Sol(\text{éco-modèle}) = \{Sol(\text{cas } 1) \cap Sol(\text{cas } 2) \cap \dots \cap Sol(\text{cas } x)\}$$

Ce texte aide le concepteur à esquisser des formes architecturales pour répondre au problème posé.

En effet, la solution aide à mettre en forme - dans le sens de développer une forme architecturale - la réponse vis-à-vis d'un problème rencontré et étant semblable au problème exprimé par l'éco-modèle.

iii. Contrainte (s)

Pour chaque éco-modèle identifié, nous avons décrit le ou les problèmes posés, le principe de la solution et les contraintes d'utilisation.

En effet, les contraintes expliquent les points auxquels le concepteur doit prendre garde. Déduites des expériences antérieures, ces contraintes ont pour objectif d'attirer l'attention du concepteur sur les points sensibles de l'éco-modèle. Cela est souvent gérable par une attention particulière (e.g. Éviter de faire des ponts thermiques pour les balcons) ou par une précaution ou solution complémentaire (e.g. panneau acoustique pour un atrium). Elles ont pour intérêt d'éviter les éléments qui peuvent diminuer l'efficacité de mise en œuvre d'un éco-modèle.

Pour cela, nous rassemblons un ensemble des contraintes générales rencontrées dans les cas d'utilisation pour les exprimer sous forme d'un texte :

$$Ct(\text{éco-modèle}) = \{Ct(\text{cas } 1) \cup Ct(\text{cas } 2) \cup \dots \cup Ct(\text{cas } x)\}$$

ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS DURABLES

Certaines contraintes majeures ont été catégorisées à partir des éco-modèles identifiés. Les contraintes catégorisées sous 13 catégories sont numérotées et présentées dans le (Tableau 9).

Tableau 9 - Les contraintes identifiées pour la mise en œuvre des éco-modèles [notre recherche]

<i>Contrainte</i>	<i>Contenus</i>	<i>Contrainte</i>	<i>Contenus</i>
Économique	Conception, réalisation	Usage	Aménagements intérieurs
Technique	Fabrication, Mise en œuvre	Accessibilité	Aménagements pour les personnes à mobilité réduite
Maintenance	Pérennité : vérification, réglage, contrôle	Implantation	Position sur le terrain et relation avec l'environnement proche
Risque	Sécurité des personnes, santé, incendie	Site	Géo-localisation, climat, topographie
Visuelle	Visibilité, luminosité	Programme	Taille de bâtiments, type d'édifice
Acoustique	Bruits ambiants, bruits externes, bruit de fonctionnement	Esthétique	Volumétrie, composition, façades, couleurs, textures
Hygro-thermique	Comportement thermique, isolation, ventilation, inertie	Autres	Contraintes non-définies

Les contraintes sont catégorisées au cas par cas et mises en ordre selon leur importance dans le choix du concepteur et de la maîtrise d'ouvrage.

3.2.2.2. Contexte physique

Nous définissons le contexte physique d'un bâtiment par plusieurs critères : l'usage du bâtiment, la nature de l'opération, le milieu urbain et le climat. La connaissance de ces critères aide à envisager la possibilité de l'intégration d'un éco-modèle dans le cadre du projet.

Le concepteur peut définir chacun de ces critères de façon plus ou moins précise pour son projet. Malgré qu'il ne soit pas possible de définir ces critères définitivement pour un éco-modèle, ce type de contexte peut se présenter de façon indirecte et par les cas d'utilisation. En effet, ce sont les cas d'utilisations antérieures qui viennent alerter sur le contexte de l'éco-modèle proposé au projet présent. Donc, nous pensons qu'en se basant sur ces cas antérieurs d'utilisation, le concepteur se facilite le travail en connaissant le contexte physique

d'implémentation d'un éco-modèle. En ce sens, nous abordons les éco-modèles par une vision statistique de leur réutilisation.

Comme nous l'avons souligné auparavant, vu la possibilité de mises à jour du corpus d'étude, nous pouvons imaginer que cette statistique ne sera jamais absolue, mais elle permettra de connaître le contexte physique relative d'un éco-modèle, pour une meilleure intégration au projet.

Afin de favoriser le travail de contextualisation des cas de réalisation, et y assortir des résultats pour les éco-modèles, nous avons défini des nomenclatures. Ces dernières aident à simplifier la démarche d'identification du contexte physique. Cependant, pour ne pas ignorer l'existence d'autres formes possibles de contexte qui ne sont pas inscrites dans la nomenclature proposée, une catégorie, nommée *autres*, est prévue.

i. Usage

La notion d'usage selon [Pinson, 2007] peut occuper la place des concepts qui font référence à la destination d'un édifice.

L'usage d'un éco-modèle devient approximativement compréhensible par une statistique des cas d'usage. Ainsi plus un éco-modèle est réutilisé pour un usage précis (e.g. Bâtiment commercial, logement individuel, Bâtiment de transport), plus le pourcentage sera grand dans les usages proposés dans le cadre du contexte physique de l'éco-modèle. Ce qui veut dire qu'il a plus de chance de réussir dans cet usage. Mais cela n'interdit pas sa réutilisation pour autres usages.

Afin de faciliter le travail d'identification de l'usage de bâtiments, nous avons défini une nomenclature comprenant les grands usages de bâtiments connus à partir du corpus d'étude (Tableau 10).

Les bâtiments avec des usages mixtes s'inscrivent dans toutes les catégories d'usage qu'ils contiennent. Ainsi un complexe résidentiel et commercial s'inscrit dans la catégorie logement collectif mais aussi dans celle de bâtiment commercial.

Tableau 10 - Nomenclature d'usages de bâtiments [notre recherche]

<i>Catégorie d'usage</i>	<i>Contenus</i>
<i>Logement individuel</i>	Habitat destiné à un seul ménage
<i>Logement collectif</i>	Habitats regroupés, Bâtiments résidentiels destinés à plusieurs ménages, etc.
<i>Bâtiment commercial</i>	Magasin, Marché, Boutique, Centre commercial, etc.
<i>Bâtiment industriel et agricole</i>	Usines, Ateliers, Bâtiments d'élevage, Stocks industriels et agricoles, etc.
<i>Bâtiment culturel et de loisir</i>	Cinémas, Théâtres, Centres d'activités culturelles, Complexes sportifs, Musées, etc.
<i>Bâtiment de transport</i>	Parkings, Gares, Aéroports, etc.
<i>Autres</i>	Usages flexibles ou exceptionnels

Bien évidemment, ces usages peuvent ne pas être universels et permanents. Nous pouvons imaginer des complexités d'usage qui vont plus loin qu'une simple addition des usages nommés dans la nomenclature. Ainsi [Liébard et De Herde, 2004] abordent le sujet du « *nomadisme* », c'est-à-dire, le déplacement des habitants à l'intérieur du bâtiment, dans un rythme quotidien ou de saison pour la recherche de confort. Ce sujet peut prendre différentes formes selon les régions et les cultures et rendre un seul bâtiment multifonctionnel sans pouvoir être défini dans notre nomenclature. Ces types d'usage pourront être inclus dans la catégorie *autres*.

ii. Nature de l'opération

La nature de l'opération pour laquelle le concepteur intervient est une partie indispensable au contexte physique du projet. Les stratégies à prendre en compte pour une opération de réhabilitation ne sont pas les mêmes que pour la conception d'un bâtiment neuf.

Dans le contexte de conception d'un bâtiment neuf, les champs d'actions possibles pour le concepteur sont beaucoup plus larges que dans une opération de réhabilitation. Dans le contexte d'une réhabilitation, le concepteur doit envisager dans son programme beaucoup plus de préfixés et donc moins de liberté d'action. S'agissant par exemple de certaines opérations telles que l'extension d'un bâtiment ancien et de l'ajout de parties nouvelles, elles vont souvent être suivies par des changements de fonctions ou une augmentation des besoins d'espace qui nécessitent certaines exigences envers l'existant en concevant une partie neuve.

Ce groupe d'opérations se retrouve alors avec des exigences différentes que celles de la conception neuve et de la réhabilitation seules.

Ainsi, certains éco-modèles sont très compatibles avec une extension (e.g. Véranda, Bâti densifié, Double peau), une réhabilitation (e.g. Masques proches, Paroi rideau photovoltaïque, Espace tampon) ou une conception neuve (e.g. Volume compact, Balcon filant, Forme arrondie). Ces compatibilités sont jugées à partir d'une étude du corpus des cas et de la statistique donnée. Le concepteur, une fois définie la nature de son opération, peut commencer sa recherche par les cas semblables pour retrouver l'éco-modèle qui s'adapte le mieux à la nature d'opération de son projet.

Le (Tableau 11) présente les natures d'opérations mentionnées sous le format d'une nomenclature.

Tableau 11 - Nomenclature des natures d'opération de bâtiments [notre recherche]

<i>Catégorie de nature d'opération</i>	<i>Contenus</i>
<i>Bâtiment neuf</i>	Concevoir dans un terrain vide, Remplacement total, etc.
<i>Réhabilitation</i>	Réaménagement intérieur, Transformation, Optimisation thermique, acoustique, etc.
<i>Extension</i>	Prolongation de façade, ajout d'un étage, ajout d'un bâtiment annexe, etc.
<i>Autres</i>	Opérations exceptionnelles

iii. Milieu urbain

Dans le discours sur le milieu urbain, nous retrouvons des problématiques liées au développement durable urbain. Ainsi, plusieurs débats se déroulent au sujet de la définition de la forme d'une ville durable.

Dans le cadre de cette recherche, nous nous sommes intéressés à la notion de milieu urbain d'un point de vue architectural, dans le sens où il influence le choix des solutions et des formes architecturales. Nous n'évaluons pas les conséquences des implémentations isolées ou denses donc nous n'abordons pas le sujet sous l'angle de vue de l'urbanisme et de l'aménagement du territoire. Ainsi, la conception d'un bâtiment au centre-ville où les parcelles sont plus limitées par le voisinage et les ombres de bâtiments voisins est une problématique qui n'a pas les mêmes exigences qu'un bâtiment situé à la campagne, dans un milieu avec une pollution sonore très basse. En ce sens, l'efficacité de l'éco-modèle est

dépendant de l'implémentation choisie dans un milieu urbain précis. Pour favoriser la découverte de cette dépendance, nous citons les cas d'utilisation antérieurs d'un éco-modèle. Ainsi, le concepteur, au travers de ces cas d'utilisations, peut se faire un avis a priori probable de l'efficacité d'un éco-modèle au regard de son projet. De fait, la proposition d'une nomenclature devient importante pour faciliter cette démarche.

Les milieux sont catégorisés différemment selon plusieurs études. Entre autres [SDTU, 2007] reconnaît que la densité bâtie - D_B - est particulièrement pertinente pour analyser un tissu urbain et constitue une aide à la perception réelle de l'emprise au sol des constructions et leur hauteur :

$$D_B = (\text{emprise au sol du bâti} \times \text{hauteur}) / \text{Surface de l'îlot}$$

À partir de ce critère [SDTU, 2007] reconnaît alors six types de tissus urbains par des approches quantitatives et qualitatives (Figure 41-b). Ces six types sont à leur tour classés selon trois groupes de densité bâtie : densité forte, moyenne et faible (Figure 41-a).

En nous appuyant sur le critère de D_B , nous avons choisi d'utiliser d'autres termes pour les appellations des trois groupes de densités urbaines mentionnées : Urbain dense, Urbain peu dense et pavillonnaire (Figure 41-c).

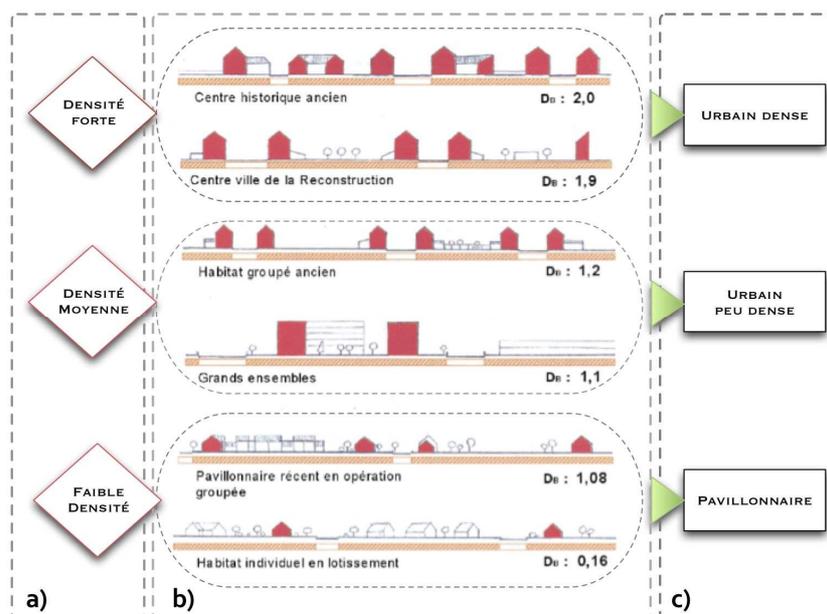


Figure 41 - a et b) La catégorisation des milieux urbains par la densité bâtie selon [SDTU, 2007] ; c) La catégorisation des milieux urbains selon [notre recherche]

Une autre façon de connaître le milieu est de considérer la densité par les distances entre les bâtiments. Cette densité - *immeuble/hectare* - aide à mieux connaître les milieux isolés et ruraux.

La dépendance au transport est un critère important dans le choix de l'implémentation d'un bâtiment. Par ce critère, nous pouvons aussi favoriser la catégorisation des milieux.

En nous basant sur les trois critères utilisés pour la caractérisation des milieux, *densité bâtie*, *densité immeuble/hectare* et *désertations de transport public*, nous avons défini notre propre nomenclature (Tableau 12). Dans cette nomenclature, aux trois catégories urbaines, nous ajoutons les catégories : Village et Isolé. Une catégorie *autres* est toujours présente pour les cas de milieux exceptionnels.

Tableau 12 - Nomenclature des milieux urbains de bâtiments [notre recherche]

<i>Catégorie de milieu</i>	<i>Caractère</i>	<i>Contenus</i>
<i>Urbain dense</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Une D_B proche de 2 - Une densité (immeubles/hectare) entre 100-150 - Des infrastructures de transport public très fréquentes 	Centre historique ancien, Centre-ville de la reconstruction, etc.
<i>Urbain peu dense</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Une D_B proche de 1 - Une densité (immeubles/hectare) entre 30- 100 - Des infrastructures de transport public peu fréquentes 	Habitats groupés anciens, Grands ensembles, Banlieues, Périphéries, cités, etc.
<i>Pavillonnaire</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Une D_B en dessous de 1 - Une densité (immeubles/hectare) entre 20-30 - Des infrastructures de transport public limitées 	Pavillonnaire récent en opération groupée, Habitat individuel en lotissement, etc.
<i>Village</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Une D_B entre 1 et 2 - Une densité immeubles/hectare entre 5-20 - Rareté des infrastructures de transport public 	Cœur de village, Centre historique de village, etc.
<i>Isolé</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Une D_B proche de 0 - Une densité (immeubles/hectare) entre 1-5 - Des infrastructures de transport public inexistantes 	Milieu agricole, rural, Campagne, etc.
<i>Autres</i>	Non-défini	Milieux exceptionnels

iv. Climat

Le climat détermine certains facteurs internes et externes du bâtiment. Selon le climat, les éléments physiques du bâtiment varient. Donnons l'exemple de techniques de construction

des murs dans les pays très ensoleillés et dans les pays peu ensoleillés. Dans le premier cas, il existe des murs qui fournissent de l'ombre pour diminuer les besoins de refroidissement. Dans le deuxième cas, il existe des techniques telles que le mur perspirant qui est composé de couches de régulation des flux et de vapeurs d'eau. Un autre exemple sur ce sujet est donné par [Tenorio, 2007]. Il montre que dans les territoires chauds et humides, même en hiver, les surfaces doivent être protégées du soleil direct, tandis que dans les régions froides le concepteur essaie d'apporter le maximum d'ensoleillement.

Ainsi, chaque climat nécessite une approche de conception environnementale appropriée. Ce critère de climat dans un concept d'éco-modèle se présente par l'intermédiaire des cas d'utilisation. Ces cas d'utilisation permettent au concepteur de connaître les éco-modèles privilégiés dans le climat de son projet.

Afin de connaître les climats des cas et de les regrouper dans les grandes catégories, nous avons consulté des catégorisations de climats existantes. Dans certains cas, les caractères géographiques ont beaucoup influencé la catégorisation. Par exemple [Ali et Nasairat, 2009], dans leurs recherches sur les bâtiments écologiques (*green buildings*), divisent leur territoire d'étude (Jordanie) en trois zones pour définir le climat : montagnard (*Highlands*), désertiques (*Deserts*) et les vallées (*Valleys*). Dans certains autres, les caractères météorologiques comme la température, l'humidité et l'ensoleillement sont privilégiés dans la catégorisation. Par exemple [Liébard et De Herde, 2004] définissent cinq grands types de climats dans le monde, classés selon la température et l'humidité : climat tropical, climat sec, climat tempéré chaud, climat tempéré froid et climat froid.

Nous remarquons que le climat est souvent qualifié par des adjectifs très subjectifs comme froid et chaud. En effet, la compréhension du froid et du chaud, selon la culture, est très variable. Dans une démarche globale, aborder ce type de catégorisation risque d'engendrer des malentendus par les concepteurs.

En conséquence, en se rapprochant de la catégorisation du [National Geographic, 1998], nous avons défini notre propre nomenclature du climat. Dans cette catégorisation, nous avons abordé certains caractères géographiques (e.g. hauteur, manque ou proximité de surface d'eau) mais aussi certains caractères météorologiques (e.g. pluie, humidité, vent) abordés dans la recherche de [Liébard et De Herde, 2004]. Les principaux groupes sont nommés :

tropical, sec, tempéré, continental et montagnard (Annexe 2). Nous prévoyons des situations exceptionnelles par une catégorie *autres* (Tableau 13).

Tableau 13 - Nomenclature des climats de région de bâtiments [notre recherche]

<i>Catégorie du climat</i>	<i>Définition</i>	<i>Contenus</i>
<i>Tropical</i>	Entre les latitudes 15°N et 15°S. Tropicaux humides: une faible variation saisonnière avec une température entre 21 et 32 °C, une humidité relative autour de 75 % et un ensoleillement important. Tropicaux secs : une évaporation supérieure aux précipitations. Une longue saison chaude et sèche et une courte saison chaude et humide.	Tropicaux secs et humides, Forêt humide, Mousson, Savane, etc.
<i>Sec</i>	Entre les latitudes 15° et 30° N et S. Une saison chaude et une saison froide. La température entre 10 et 49 °C. Un différentiel important de température entre le jour et la nuit. L'humidité de 10 à 55 % et l'ensoleillement intense. Les vents sont chauds et porteurs de sable. Les précipitations sont faibles.	Aride, Semi aride, Steppe, Désertique, etc.
<i>Tempéré</i>	Entre les parallèles 30° et 50° N et S Une saison froide (hiver) et une saison chaude (été). Les hivers et les étés sont doux et le rayonnement solaire limité.	Subtropical humide, Méditerranéen, Maritime, Océanique, etc.
<i>Continental</i>	Régions éloignées du littoral au N et les pays hauts du S Une variation importante de température annuelle due au manque de surface d'eau importante à proximité. L'hiver froid et neigeux. Une précipitation modérée en été (sauf dans les continentaux humides).	Humide continental, Subarctique, etc.
<i>Montagnard</i>	Diverses régions de montagne N et S Des hivers froids et des étés frais et humides. Les rythmes thermiques et pluviométriques proches des climats en voisinage, mais les températures sont plus faibles.	Hauteur, Glacial temporaire, etc.
<i>Autres</i>	Non-défini	Polaire, Glacial permanent, Exceptionnelles.

3.2.2.3. Contexte environnemental

Nous définissons le contexte environnemental d'un bâtiment comme étant un ensemble d'impacts environnementaux positifs et négatifs. D'une façon similaire, chaque éco-modèle peut avoir un pré-avis ou une pré-évaluation environnementale de ses impacts. Ceci aide à mettre en avant les exigences environnementales de la maîtrise d'ouvrage et du concepteur. L'objectif est de mettre à disposition des concepteurs des éléments de connaissance qui ont

ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS DURABLES

été reconnus pertinents au point de vue environnemental dans des conceptions architecturales antérieures. Dans le cadre de notre recherche, nous évaluons ces impacts par les cibles HQE®. La contrainte majeure de ce travail est la généralité, même parfois l'ambiguïté, existante dans les cibles de cette démarche. En effet, une cible peut être le sujet de multiples facettes et interprétations. Cette contrainte nous a conduit à mieux définir notre point de vue vis-à-vis de chaque cible donnée par la démarche HQE® (Tableau 14). Cette attitude nous paraît nécessaire avant de commencer toute évaluation.

Tableau 14 - Les cibles HQE® et leurs définitions par [Redon, 2010]

<i>Cible</i>	<i>Définition</i>
Cible 1 : Bâtiment et son environnement immédiat	L'objectif est d'établir un compromis harmonieux entre le bâtiment, son voisinage immédiat, à une plus grande échelle le site. Les avantages et inconvénients de la parcelle (forme, orientation, relief, végétation), mais également les attentes du maître d'ouvrage doivent être abordés avec attention. On cherchera également à réduire les risques de nuisances du bâtiment envers son voisinage et le site (création d'ombre portée, émissions de bruits, vues...). Ces exigences visent à créer un cadre de vie satisfaisant.
Cible 2 : Choix intégré des composants	La pertinence dans le choix des produits, systèmes et procédés de construction permet d'offrir une adaptabilité et une pérennité au bâtiment, tout en cherchant à limiter les impacts environnementaux. Les choix structuraux déterminent des mises en œuvre particulières, produisant plus ou moins de nuisances au niveau des chantiers. D'autre part, le choix des produits et matériaux doit se faire en cohérence avec les contraintes d'usage (nature des matériaux, utilisation, coût), d'énergie consommée (fabrication, transport, mise en œuvre), durabilité, santé, etc.
Cible 3 : Chantier vert	L'objectif est de réduire les nuisances sonores et visuelles induites par le chantier, afin de limiter les perturbations pour le voisinage. D'autre part, la maîtrise des pollutions (sol, eau, air), notamment grâce au nettoyage du chantier à des étapes clés, est essentielle. Enfin, il est important de gérer la gestion des déchets de chantier, en les limitant et en les valorisant au mieux en adéquation avec les filières locales existantes.
Cible 4 : Gestion d'énergie	La limitation des déperditions et des consommations d'énergie, le recours aux énergies renouvelables et l'utilisation de solutions passives permettent de minimiser les impacts environnementaux d'un bâtiment. La réduction de la demande et des besoins énergétiques passe en particulier par une conception architecturale pertinente, mais aussi par la programmation des équipements, la mise en place de confort thermique d'hiver (réduire les déperditions, récupérer la chaleur d'ensoleillement) et de confort thermique d'été (traitement de l'enveloppe du bâtiment, système de ventilation, système actif ou passif de refroidissement). On veillera à la mise en place d'installations peu polluantes et dont les charges de fonctionnement restent faibles.
Cible 5 : Gestion de l'eau	L'objectif principal consiste à limiter les consommations d'eau potable (gestion des débits de soutirage, réduction des linéaires de distribution d'eau chaude...), mais aussi à avoir recours à l'eau non-potable pour les usages qui le permettent. La récupération et l'optimisation de la gestion des eaux pluviales peuvent être adaptées à ces usages. Il ne faut également pas négliger la gestion des eaux usées et de leur assainissement.
Cible 6 : Gestion des déchets	Cette cible souligne la nécessité de valoriser la gestion des déchets dans les bâtiments en respectant les politiques collectives de leur traitement. La prise en compte du tri des déchets permet la conception de dépôts adaptés aux modes de collecte actuels et futurs.
Cible 7 : Maintenance et	Il est nécessaire de concevoir des bâtiments intégrant des besoins de maintenance optimisés, dont l'entretien est facilité, sans pour autant négliger les performances de l'ouvrage. Le maintien des performances des systèmes de

- pérennité* chauffage, de ventilation, d'éclairage et de gestion de l'eau doit être facilité, afin de conserver la qualité sanitaire du bâtiment.
- Cible 8 : Confort hygrothermique** Les choix architecturaux et constructifs doivent permettre d'assurer un confort hygrométrique à l'utilisateur, et ce, en toutes saisons. L'isolation et l'inertie des parois, la mise en place de protections solaires, les systèmes de ventilations, les limitations des effets de parois froides, la stabilité des températures d'air intérieur... sont autant de choix pouvant être retenus pour répondre à de telles exigences.
- Cible 9 : Confort acoustique** Les dispositions architecturales et les dispositifs constructifs doivent être optimisés afin de protéger les usagers du bâtiment des nuisances acoustiques extérieures et intérieures. D'autre part, l'emplacement des équipements doit permettre d'éviter les éventuelles nuisances sonores selon l'affectation des locaux. Les différentes ambiances acoustiques doivent être adaptées aux usages.
- Cible 10 : Confort visuel** Pour offrir un meilleur confort à l'usager, l'éclairage naturel doit être privilégié, ainsi que la mise en place d'une relation visuelle avec l'extérieur, tout en évitant leurs inconvénients (gestion de l'éblouissement par exemple). Les sources complémentaires d'éclairage artificiel doivent être appropriées, et doivent concilier maîtrise des consommations d'énergie et confort. Le niveau d'éclairement doit pouvoir être optimal à chaque moment de la journée, et non éblouissant.
- Cible 11 : Confort olfactif** La conception architecturale et technique doit permettre de maîtriser les sources d'odeurs désagréables afin de réduire les risques de nuisances olfactives. La mise en place d'un système de ventilation efficace (active ou passive) peut permettre de répondre aux exigences de cette cible.
- Cible 12 : Qualité sanitaire des espaces** Des conditions d'hygiène et des ambiances intérieures satisfaisantes sont essentielles afin d'éviter le développement d'humidité et de micro-organismes, notamment dans des pièces sensibles telles que les cuisines et les salles d'eau, ou dans des lieux d'activités particulières. D'autre part, la limitation des nuisances électromagnétiques fait partie intégrante de la qualité sanitaire d'un espace.
- Cible 13 : Qualité sanitaire de l'air** Radon, émissions de fibres et de particules, traitement des bois, ventilations, colles, peintures, moquettes, et autres sont autant de sources de pollution qui nécessitent de prendre des dispositions préventives permettant de les maîtriser. L'attention portée au choix des produits est importante (qualité des produits, mais aussi choix des filtres pour la ventilation, position de la prise d'air neuf, etc.).
- Cible 14 : Qualité sanitaire de l'eau** La qualité de l'eau doit être maintenue par une conception, une mise en œuvre et une mise en service du réseau de distribution à l'intérieur des bâtiments répondant à des normes précises. Les matériaux employés dans le réseau intérieur doivent garantir durabilité et qualité, et être compatibles avec la nature de l'eau distribuée. Les systèmes d'eau chaude doivent être particulièrement étudiés.
- Cible 15 : Biodiversité** L'idée principale de cette cible est la possibilité de créer un bâti dont l'enveloppe pourrait offrir autant de place pour le développement d'une biodiversité naturelle qu'en l'absence de construction. Cet écosystème doit être capable de se stabiliser et de se réguler par lui-même, sans intervention humaine, si possible. Cependant, il doit rester adapté à l'infrastructure construite, et garantir un niveau de sécurité pour les usagers.

Le contexte environnemental est défini par les pré-évaluations environnementales de chaque éco-modèle. Ces impacts sont ensuite vérifiés par l'étude des cas (Figure 42). Donnons l'exemple d'un Atrium auquel nous pensons ne répondant pas à la cible 7. Nous constatons que dans les cas empruntés, la maintenance est souvent la contrainte majeure.

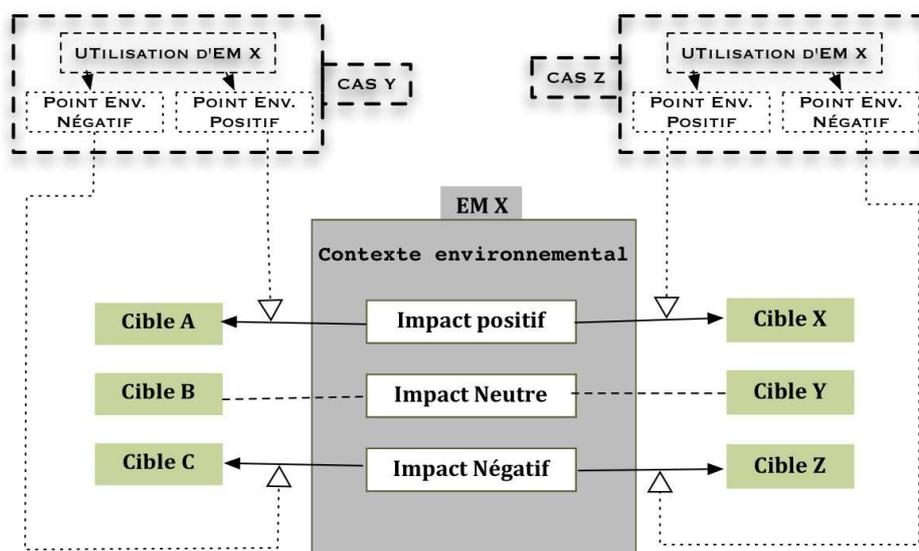


Figure 42 - La représentation des contextes environnementaux d'éco-modèles à l'aide des cibles HQE et une validation des impacts par les cas [notre recherche]

Cette pré-évaluation a pour objectif d'informer le concepteur des conséquences de ses choix tant sur les impacts positifs ou les avantages environnementaux que sur les impacts négatifs et les inconvénients ou points faibles environnementaux de chaque éco-modèle choisi.

Afin de faciliter ce travail de pré-évaluation, les impacts des éco-modèles par les cibles HQE[®] sont définis selon trois types de relations : positive, négative, neutre (Tableau 15).

Tableau 15 - Nomenclature des impacts environnementaux par rapport aux cibles HQE[®] [notre recherche]

<i>Impact environnemental</i>	<i>Définition</i>
<i>Impact positif</i>	le problème qu'un éco-modèle traite est semblable à l'objectif défini pour une cible et vice versa.
<i>Impact négatif</i>	les contraintes d'un éco-modèle sont semblables à l'objectif défini pour une cible HQE [®] et vice versa.
<i>Impact neutre</i>	la relation avec une cible HQE [®] n'a ni les conditions de l'impact positif ni les conditions de l'impact négatif.

Le contexte environnemental de l'éco-modèle se rapproche parfois de la notion de contrainte d'un éco-modèle. Cependant, un impact environnemental est une réserve générale émise vis-à-vis d'un éco-modèle tandis qu'une contrainte exprime une limite perçue dans quelques cas

particuliers d'utilisation. De plus, une contrainte peut souvent être résolue par une solution additive tandis qu'un impact négatif vers une cible risque de ne pas pouvoir être résolu. Donnons toujours l'exemple de l'Atrium vis-à-vis la cible 7 (Maintenance), ajouter des machines automatiques de nettoyage n'augmente pas la qualité environnementale de l'atrium au niveau de la maintenance mais c'est une solution pour résoudre la contrainte.

3.2.2.4. Contexte relationnel

L'intérêt des éco-modèles ne réside pas dans une implémentation isolée. La construction des scénarios par leurs combinaisons est une partie importante de cette approche. Nous cherchons donc à définir des règles combinatoires entre les éco-modèles. Ces règles aideront les concepteurs à connaître le contexte relationnel de chaque éco-modèle pour l'intégrer dans des scénarios optimisés d'un point de vue à la fois environnemental et architectural.

Cet effort a pour objectif de contribuer à une méthode de synthèse. En ce sens, deux pistes d'étude ont été suivies :

- i. Étude de similarité entre les contextes environnementaux des éco-modèles,
- ii. Étude des similarités entre les contextes conceptuels des éco-modèles.

La première piste consiste à suivre une démarche inverse pour reconnaître les règles, c'est-à-dire, de déchiffrer les scénarios existants pour connaître la probabilité et l'efficacité des combinaisons entre les éco-modèles. Par contre, dans la deuxième piste on met en œuvre une démarche essai – erreur. Cela nécessite une validation permanente par l'analyse des éco-modèles identifiés.

i. Étude de similarité entre les contextes environnementaux des éco-modèles

Dans la première piste suivie dans le cadre du travail de recherche de [Redon, 2010], une première hypothèse est posée sur une logique environnementale : si un éco-modèle répond aux mêmes cibles qu'un autre éco-modèle alors ils disposent d'objectifs proches qui peuvent être considérés comme similaires.

Une autre hypothèse pour suivre cette piste est de trouver dans les cas existants de notre corpus d'étude les scénarios les plus empruntés et de les traduire dans un langage relationnel entre les éco-modèles.

En s'appuyant sur les hypothèses et pour pouvoir retrouver les règles – ou les relations entre les éco-modèles - un relevé d'éco-modèles associés aux cas est effectué. Ensuite, pour chaque éco-modèle relevé, les impacts environnementaux positifs et négatifs sont identifiés et

ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS DURABLES

synthétisés. Enfin, une valeur concerne l'attribution d'une valeur à chacune des cibles présentes dans la synthèse. Cette valeur correspond au nombre de fois où la cible est en relation avec les éco-modèles de la sélection (Tableau 16).

Tableau 16 - Exemple de synthèse des cibles associées à un cas d'étude [Redon, 2010]

Réalisation	EM associés	Cibles positives associées à chaque EM	Cibles négatives associées à chaque EM	Synthèse
Bibliothèque	6.Espace tampon	EM 6 : C1, C4, C8, C9	EM 12 : C9	Cibles positives :
Lancaster,	12. Cheminée à vent	EM12 : C1, C2, C4, C7, C8,	EM 26 : C10	C8 : 5 fois
Conventry,	20. Fenêtre ouvrable	C11, C13	EM 27 : C9, C11	C1 : 4 fois
UK	26. Mur masse	EM 20 : C1, C2, C7, C8, C11,		C4 : 4 fois
	27. Puits de jour	C12, C13		C2 : 3 fois
		EM 26 : C2, C4, C8, C9		C7 : 2 fois
		EM 27 : C1, C4, C8, C10		C9 : 2 fois
				C11 : 2 fois
				C13 : 2 fois
				C10 : 1 fois
				C12 : 1 fois
				Cibles négatives :
				C9 : 2 fois
				C10 : 1 fois
				C11 : 1 fois

Ainsi, cette méthode cherche à déterminer quels autres éco-modèles sont les plus pertinents par rapport à la sélection d'un éco-modèle. Par l'application de cette méthode au travers d'un cas de réalisation, Bibliothèque Lanchester³⁷, l'étude rend compte d'un manque de précision des résultats. En effet, avec cette méthode, les éco-modèles qui répondent à beaucoup de cibles apparaissent comme étant *pertinents* pour quasiment chaque sélection d'éco-modèle étudié. En revanche, d'autres éco-modèles qui répondent à moins de cibles n'apparaissent pas comme pertinents.

Ainsi, la méthode a été approfondie par une troisième hypothèse : un éco-modèle peut répondre à une cible de manière plus pertinente et plus importante qu'à une autre. Pour ce faire, pour chaque relation entre un éco-modèle et une cible une pondération est prévue : 1 (cible faible) , 2 (cible forte). Avec ces pondérations, une nouvelle vérification au travers d'un cas de réalisation est effectuée (Tableau 17).

³⁷ Université de Conventry, Alan Short et associés, 2001

Tableau 17 - Exemple des résultats obtenus par la méthode approfondie: en gris, les éco-modèles sélectionnés et, en jaune, les résultats proposés [Redon, 2010]

Eco-modèle étudié	CALCUL Cibles positives	CALCUL Cibles négatives	Somme/Total
EM 1. Atrium	$3x2 + 4x1 + 5x2 + 0x1 + 2x1$	$+ 2x(-2) + 0x(-2) + 1x(-1)$	17
EM 2. Balcon filant	$3x2 + 4x1 + 2x2 + 5x1 + 0x1 + 0x2$	$+ \emptyset$	19
EM 3. Bâtiment-Paysage	$4x2 + 3x2 + 0x1 + 4x1 + 5x2 + 0x2 + 0x1$	$+ 0x(-2) + 2x(-1)$	26
EM 4. Double Peau	$3x2 + 4x2 + 5x2 + 0x2$	$+ 0x(-1) + 2x(-2)$	20
EM 5. Double Toit	$3x2 + 4x2 + 5x2 + 0x1$	$+ 0x(-1) + 2x(-2)$	20
EM 6. Espace Tampon	$4x1 + 4x1 + 5x2 + 0x2$	$+ \emptyset$	18
EM 7. Forme arrondie	$4x1 + 5x1 + 0x2$	$+ 0x(-2) + 2x(-1)$	7
EM 8. Lumière du toit	$3x2 + 4x1 + 5x1 + 0x1 + 0x2$	$+ 2x(-2)$	11
EM 9. Oriel transparente (véranda)	$3x2 + 4x1 + 5x2 + 0x2 + 0x2 + 1x1 + 2x1$	$+ 2x(-2)$	19
EM 10. Parking à vélo	$4x1 + 4x1 + 0x1 + 0x1$	$+ \emptyset$	8
EM 11. Toiture végétalisée	$4x2 + 3x2 + 0x1 + 4x2 + 0x2 + 5x2 + 0x2 + 1x1 + 2x1 + 0x2$	$+ 2x(-2)$	31
EM 12. Cheminées à vent	$4x1 + 3x2 + 4x2 + 2x1 + 5x2 + 2x1 + 2x2$	$+ 0x(-2)$	36

Dans ce nouvel essai, il reste difficile d'évaluer la *pertinence des résultats* et de les *prévoir*. De plus, une contradiction est apparue : certains éco-modèles présents dans le scénario du bâtiment ne ressortent pas comme pertinents lorsque l'on utilise la méthode de calcul.

En conclusion, cette première piste ne nous a pas permis de connaître les règles combinatoires entre les éco-modèles.

ii. Étude des similarités entre les contextes conceptuels des éco-modèles

La deuxième piste pour définir le contexte relationnel des éco-modèles consiste à étudier la similarité entre les contextes conceptuels de ces derniers.

En analysant les éco-modèles identifiés, nous constatons que trois types de relation - ou règle combinatoire - entre les éco-modèles peuvent apparaître : *Équivalence*, *Combinaison* ou *Contradiction* (Tableau 18).

Tableau 18 - Relations entre les éco-modèles [notre recherche]

Relation	Définition	Exemple des éco-modèles
<i>Équivalence</i>	éco-modèles satisfaisant de manière proche à un même ensemble de problèmes et pouvant être envisagés en substitution l'un de l'autre	<i>Atrium</i> et <i>Patio</i>
<i>Combinaison</i>	éco-modèles pouvant être associés pour mieux répondre à un maximum de problèmes par diminution des contraintes	<i>Bâtiment-Paysage</i> et <i>Lumière du toit</i>
<i>Contradiction</i>	éco-modèles incompatibles entre eux compte tenu des solutions agissant simultanément sur un même objet de conception	<i>Double toit</i> et <i>Toit végétalisé</i>

Un éco-modèle est considéré comme étant équivalent à un autre éco-modèle lorsqu'il peut le remplacer. En effet, il doit pouvoir résoudre le problème posé mais par des solutions différentes. Donc, une similarité entre les problèmes dans le cadre des contextes conceptuels des deux éco-modèles doit exister. Un exemple peut être montré au travers de la relation d'équivalence entre l'Atrium et le Patio (Figure 43).

Cependant, ce qui nous intéresse le plus parmi les relations est la relation de combinaison car à partir de cette dernière on va aider le concepteur dans l'optimisation de son scénario. À travers cette relation, nous recommandons un éco-modèle qui optimise, au point de vue environnemental, la solution proposée d'un éco-modèle choisi. Deux éco-modèles sont en relation de combinaison s'ils peuvent être associés pour amener moins de contraintes, c'est-à-dire, si l'un propose une solution pour un sujet où l'autre a des contraintes. Pour ce type de relation nous pouvons donner l'exemple d'un Bâtiment-Paysage (Bâtiment enterré) et d'une Lumière du toit (Figure 44).

De plus, nous pouvons déconseiller le choix de deux éco-modèles simultanément si ces derniers concernent un même objet de conception (espace ou/et ouvrage) et révèlent des contradictions environnementales ou architecturales. À titre d'exemple de ce type de relation, nous pouvons mentionner les éco-modèles : Double toit et Toiture végétalisée (Figure 45).

Ainsi, ces trois types de relation décrivent les règles combinatoires proposées par notre recherche pour une optimisation environnementale. Toutefois, le concepteur peut combiner ses éco-modèles avec d'autres logiques (e.g. esthétique, demande de maîtrise d'ouvrage, faisabilité de la solution).

En effet, des éco-modèles en contradiction peuvent être très facilement utilisés dans deux espaces ou/et ouvrages distants d'un bâtiment sans créer de contradiction. Par exemple nous pouvons imaginer un bâtiment ayant deux niveaux de toit : un niveau réutilisant la pratique du Toit végétalisé et l'autre du Double toit.

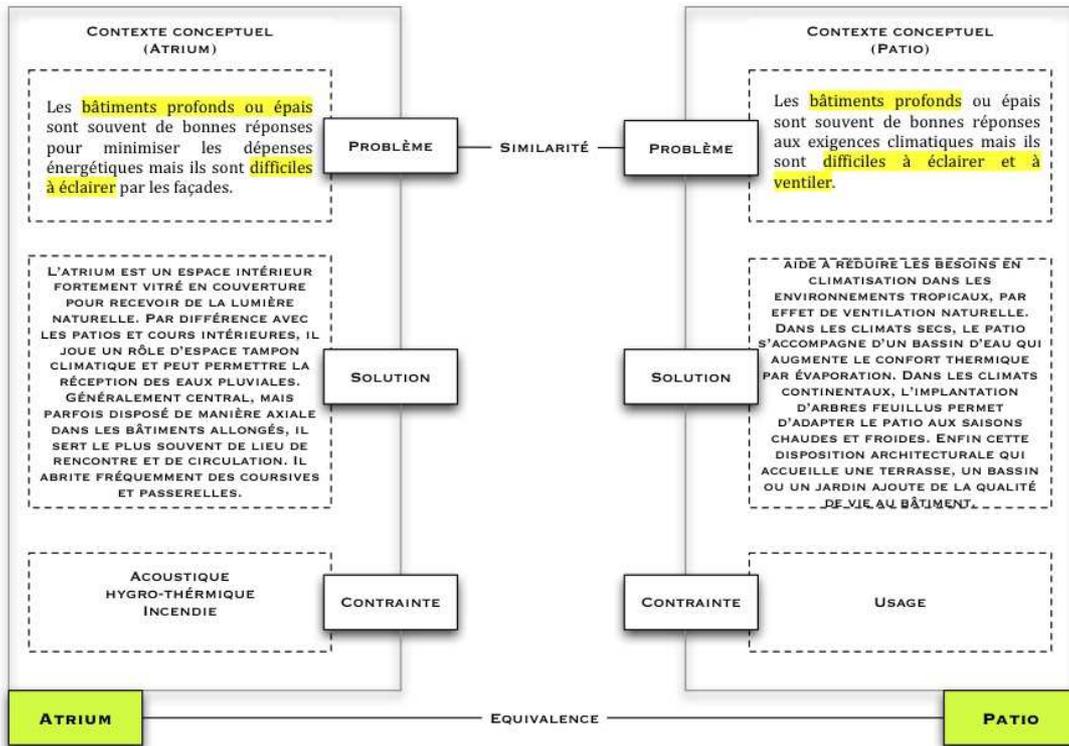


Figure 43 - Un exemple de relation d'équivalence entre deux éco-modèles [notre recherche]

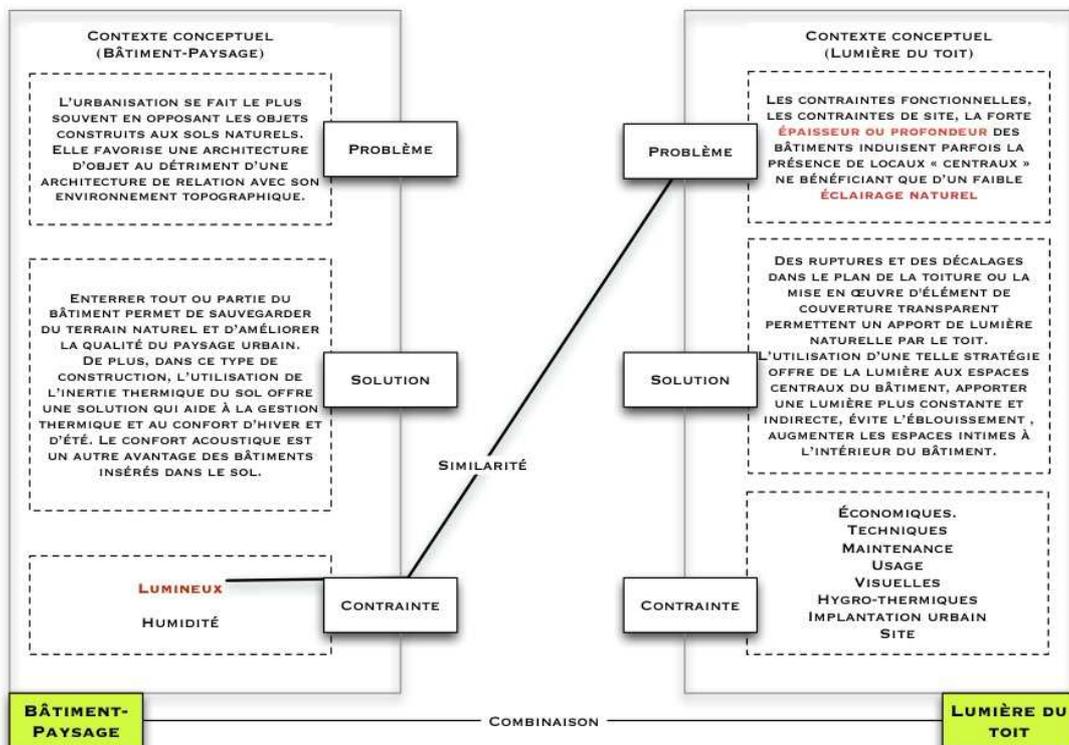


Figure 44 - Un exemple de relation de combinaison entre deux éco-modèles [notre recherche]

Nous pouvons résumer ces trois types de relation par la (Figure 46).

ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS DURABLES

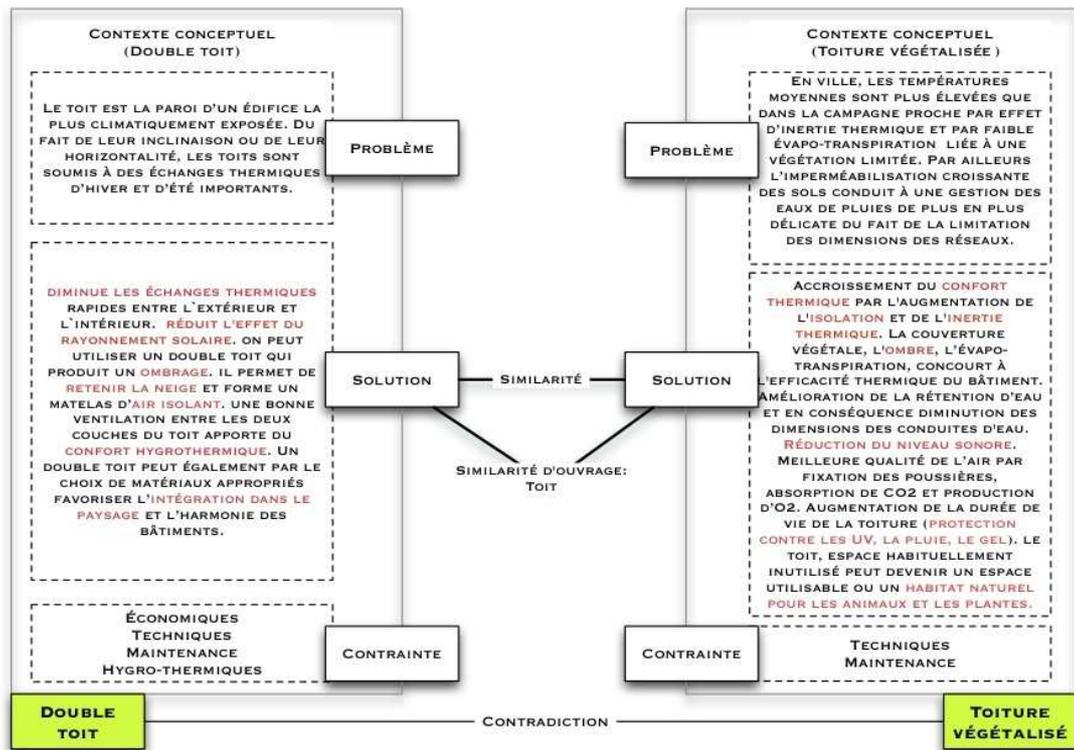


Figure 45 - Un exemple de relation de contradiction entre deux éco-modèles [notre recherche]

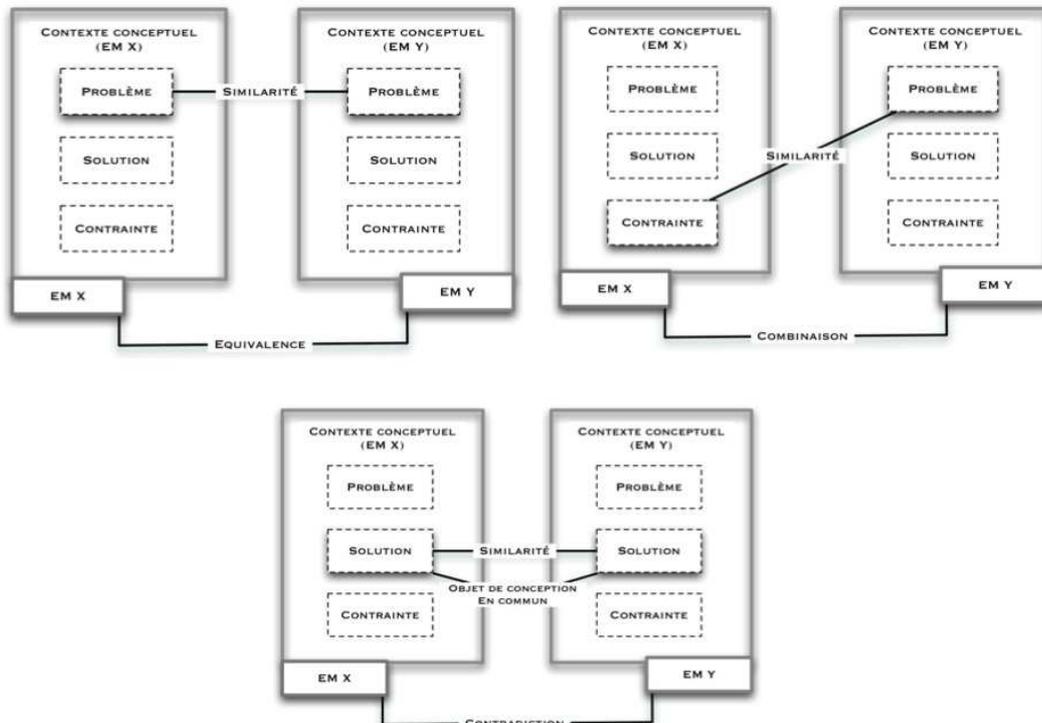


Figure 46 - La représentation des relations d'équivalence, de combinaison et de contradiction entre deux éco-modèles X et Y [notre recherche]

3.2.3. Modélisation des éco-modèles

L'enjeu de notre recherche réside dans notre capacité à faciliter le dialogue autour du processus de la conception. En ce sens, une partie de nos travaux ont porté sur la capitalisation des connaissances et de leur modélisation sous la forme d'éco-modèles afin d'assister la phase amont du processus de conception. Cependant, il faut souligner qu'un modèle ne peut présenter que des généralités sur la méthode :

« Il réduit un système à ses « traits essentiels », nécessaires à sa compréhension d'un point de vue donné. » [Kubicki, 2006].

« La modélisation réduit la réalité en vue d'une certaine finalité : communiquer, former, piloter, capitaliser, simuler, reproduire, dupliquer... Pourquoi réduire la réalité à un modèle ? En se détachant du détail, en se focalisant sur l'essentiel, le modèle offre une représentation simplifiée et intelligible de la réalité. C'est par cette création intelligible, le modèle, et au sacrifice de l'exhaustivité, qu'il est possible d'agir efficacement. » [Thiault, 2007].

Les éco-modèles proposés dans notre recherche forment un système qui peut être représenté par un langage de modélisation. Nous avons choisi d'utiliser le langage *UML*³⁸ pour préparer notre système - les éco-modèles - sous forme d'un diagramme de classe, pour une future implémentation dans une base de données (cf. Chapitre 4). Ce travail nous permet aussi de soulever certaines ambiguïtés de la méthode.

Pour ce travail de modélisation, nous reprenons les notions abordées dans les sections précédentes pour définir nos classes³⁹ et déterminer leurs attributs (Tableau 19). Ces classes sont liées par des associations (relations) pour présenter le système. Ces associations sont labellisées par un verbe qui exprime la logique de la relation.

³⁸ Unified Modeling Language, Il faut noter que, par rapport au modèle entité/relation, les multiplicités pour les associations binaires en UML sont à l'envers.

³⁹ « Une classe d'objets décrit une groupe d'objets ayant des propriétés similaires (attributs), un comportement commun (opérations), des relations communes avec les autres objets ainsi qu'une même sémantique » [Rumbaugh et al., 1991]

ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS DURABLES

Tableau 19 - Les classes présentes dans la modélisation de l'éco-modèle [notre recherche]

Classe	Attribut	Détermination
<i>éco-modèle</i>	<i>ID</i>	Pour une éventuelle implémentation dans une base de données
	<i>Numéro</i>	Un chiffre qui simplifie le fait de retrouver, noter, ou mémoriser un éco-modèle
	<i>Appellation</i>	Un mot simple ou composé qui facilite la présentation et la reconnaissance d'un éco-modèle
	<i>Représentation générale</i>	Une image représentative de l'éco-modèle pour le retrouver, le mémoriser et le reconnaître
	<i>Représentation rapide</i>	Un aperçu rapide (imagé) d'une partie du contenu qui aide à la représentation d'un éco-modèle
<i>Cible HQE</i>	<i>ID</i>	Pour une éventuelle implémentation dans une base de données
	<i>Numéro</i>	Un chiffre prédéfini par l'association HQE qui simplifie les citations
	<i>Description</i>	Une description des exigences de cible définie par notre recherche sous format de texte
	<i>Représentation générale</i>	Une image représentative de la cible pour la retrouver, la mémoriser et la reconnaître
	<i>Représentation rapide</i>	Un aperçu rapide (imagé) d'une partie du contenu qui aide à la représentation d'une cible
<i>Cas de Réalisation</i>	<i>ID</i>	Pour une éventuelle implémentation dans une base de données
	<i>Appellation</i>	Un texte court, composé de fonctions du bâtiment et la ville dans laquelle elle se situe, et qui facilite la présentation et la reconnaissance d'un cas de réalisation
	<i>Représentation générale</i>	Une image représentative de bâtiment pour le retrouver, le mémoriser et le reconnaître
	<i>Représentation rapide</i>	Un aperçu rapide (imagé) d'une partie de contenu qui aide à la représentation d'un cas
	<i>Année de conception</i>	Un chiffre qui définit l'année de conception de bâtiment ou d'un projet en cours
	<i>Adresse</i>	Un texte sur la localisation du bâtiment dans une ville
	<i>Ville</i>	Le nom de la ville dans laquelle la réalisation se situe
	<i>Pays</i>	Le nom du pays dans lequel la réalisation se situe
	<i>Géolocalisation</i>	Les coordonnées de géo localisation précise pour le retrouver sur les cartes
	<i>Architecte</i>	Le(s) nom(s) de l'architecte ou l'équipe de conception du bâtiment
<i>Maîtrise d'ouvrage</i>	Le(s) nom(s) de la maîtrise d'ouvrage ou les maîtrises d'ouvrage	
<i>Contexte physique de cas</i>	<i>ID</i>	Pour éventuelle implémentation dans une base de données
	<i>Usage</i>	L'usage précis de bâtiment ou projet en conception (un ou plusieurs parmi les propositions de nomenclature d'usage définies dans la méthode)
	<i>Climat</i>	Le climat dans lequel le bâtiment se situe (un parmi les propositions de nomenclature définie dans la méthode)
	<i>Milieu</i>	Le milieu dans lequel se situe le bâtiment (un parmi les propositions de nomenclature de milieux définis dans la méthode)
	<i>Nature d'opération</i>	La nature d'opération sur le bâtiment ou projet en conception (un parmi les propositions de nomenclature de milieux définis dans la méthode)

Ensuite, nous ajoutons à notre modèle les classe-associations relatives à l'association entre deux classes. Par exemple, la classe-association du contexte relationnel émerge de l'association entre les éco-modèles. La présentation des attributs liés à chaque classe-association est accompagnée d'une détermination de la nature (e.g. texte, image, coordonnée) et de l'utilité de ces derniers (Tableau 20).

Tableau 20 - Les classes-associations présentes dans la modélisation de l'éco-modèle [notre recherche]

Classe	Attribut	Détermination
association		
<i>Contexte</i>	<i>ID</i>	Pour une éventuelle implémentation dans une base de données
<i>conceptuel</i>	<i>Problème (s)</i>	Description d'un problème général, fréquemment rencontré dans les cas de réalisation, auquel l'éco-modèle va apporter une réponse.
	<i>Solution</i>	Description d'une solution proposée par chaque concept de l'éco-modèle survenu des cas de réalisation
	<i>Contrainte (s)</i>	Description des points qui doit être contrôlés par le concepteur, car ils ont été rencontrés dans les cas de réalisation
<i>Contexte</i>	<i>ID</i>	Pour éventuelle implémentation dans une base de données
<i>relationnel</i>	<i>Type de relation</i>	Définition de la relation : Équivalence, Combinaison ou Contradiction
<i>Contexte</i>	<i>ID</i>	Pour éventuelle implémentation dans une base de données
<i>physique de l'éco-modèle</i>	<i>Usage (s)</i>	Un extrait d'usage (s) qui recouvre l'utilisation de l'éco-modèle et leurs fréquences
	<i>Climat (s)</i>	Un extrait de climat (s) qui recouvre l'utilisation de l'éco-modèle et leurs fréquences
	<i>Milieu (x)</i>	Un extrait de milieu (x) qui recouvre l'utilisation de l'éco-modèle et leurs fréquences
	<i>Nature (s) d'opération</i>	Un extrait d'opération (s) qui recouvre l'utilisation de l'éco-modèle et leurs fréquences
<i>Contexte</i>	<i>ID</i>	Pour éventuelle implémentation dans une base de données
<i>environnemental</i>	<i>Impact</i>	Un mot qui définit la relation d'un éco-modèle avec une cible HQE : négative, positive ou neutre

À partir des classes, des associations entre les classes (les relations) et les classes-associations, nous effectuerons notre modèle avec un diagramme de classe (Figure 47).

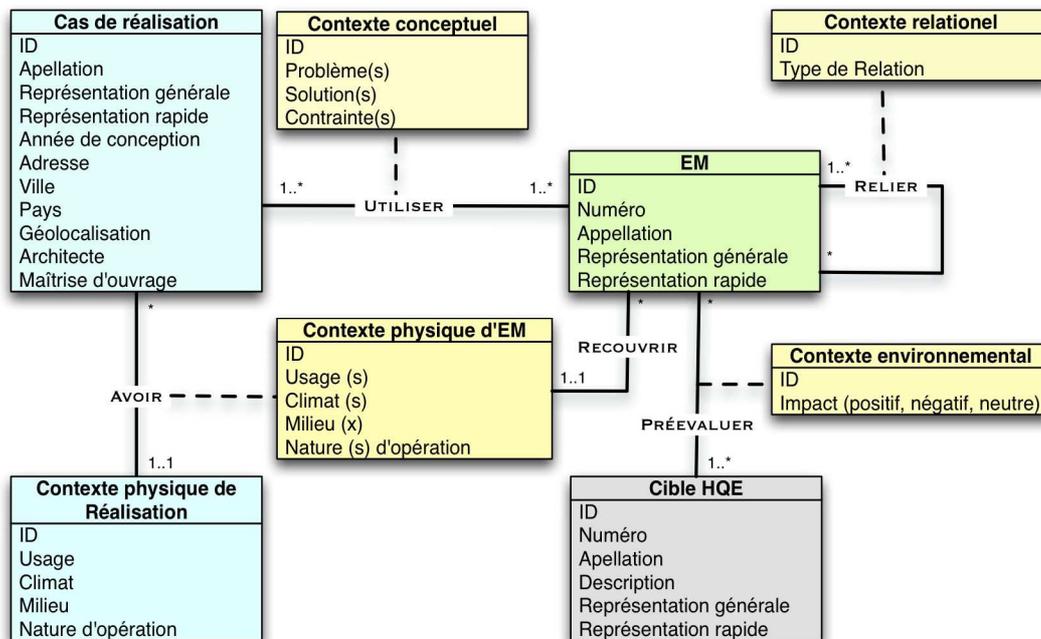


Figure 47 - Le diagramme des classes représentant le système des éco-modèles sous langage UML [notre recherche]

Ce modèle général fait par le langage UML, nous permettra, ensuite, une application sur chaque éco-modèle identifié (cf. 3.3.3). De plus, c'est grâce à ce modèle de données que notre démarche peut connaître une implémentation dans une base de données et conduire à l'élaboration d'un outil numérique (cf. Chapitre 4).

3.3. Application de la démarche proposée dans un exemple : l'Atrium

Afin de valider la démarche de génération d'un éco-modèle, nous l'avons appliquée sur plusieurs exemples. Il en résulte, à ce jour, une identification de 40⁴⁰ éco-modèles (Tableau 21).

Tableau 21 - Les 40 éco-modèles identifiés à ce jour [notre recherche]

<i><u>Atrium</u></i>	<i><u>Bâti recyclé</u></i>	<i><u>Lumière renvoyée</u></i>	<i><u>Mur capteur thermique*</u></i>
<i><u>Balcon filant</u></i>	<i><u>Bâtiment hors-sol*</u></i>	<i><u>Masques proches</u></i>	<i><u>Mur masse</u></i>
<i><u>Bandeau lumineux</u></i>	<i><u>Bâtiment-Paysage</u></i>	<i><u>Matériaux bruts</u></i>	<i><u>Oriel transparente</u></i>
<i><u>Bassin de phyto-épuration</u></i>	<i><u>Cheminée à vent</u></i>	<i><u>Matériaux locaux</u></i>	<i><u>Ouverture adaptée</u></i>
<i><u>Bâti densifié*</u></i>	<i><u>Circulation indépendante</u></i>	<i><u>Module tridimensionnel*</u></i>	<i><u>Parking à vélo</u></i>
<i><u>Couverture solaire</u></i>	<i><u>Espace tampon</u></i>	<i><u>Paroi rideau photovoltaïque</u></i>	<i><u>Réflecteurs de lumière</u></i>
<i><u>Démontable en fin de vie*</u></i>	<i><u>Fenêtre ouvrable</u></i>	<i><u>Patio</u></i>	<i><u>Structure poteau-poutre</u></i>
<i><u>Double peau</u></i>	<i><u>Forme arrondie</u></i>	<i><u>Pied de façade végétalisé</u></i>	<i><u>Toiture végétalisée</u></i>
<i><u>Double toit</u></i>	<i><u>Jardins verticaux *</u></i>	<i><u>Produits recyclés*</u></i>	<i><u>Volume compact</u></i>
<i><u>Encorbellement de façade*</u></i>	<i><u>Lumière du toit</u></i>	<i><u>Puits de jour</u></i>	<i><u>Volume façonné par le vent</u></i>

Nous allons montrer dans ce qui suit l'application concrète de notre démarche au travers de une de ces exemples : l'Atrium.

3.3.1. Identification de l'Atrium

La démarche de génération de l'éco-modèle s'initialise par l'analyse d'un corpus d'étude. Nous remarquons l'existence d'une bonne pratique en commun : l'Atrium est présent parmi 30 projets (Figure 48).

40 Neufs éco-Modèles identifiés présentés dans cette recherche sont développés dans le cadre du travail de recherche de (Redon, 2010). Ils sont marqués avec (*) dans le (Tableau 9)

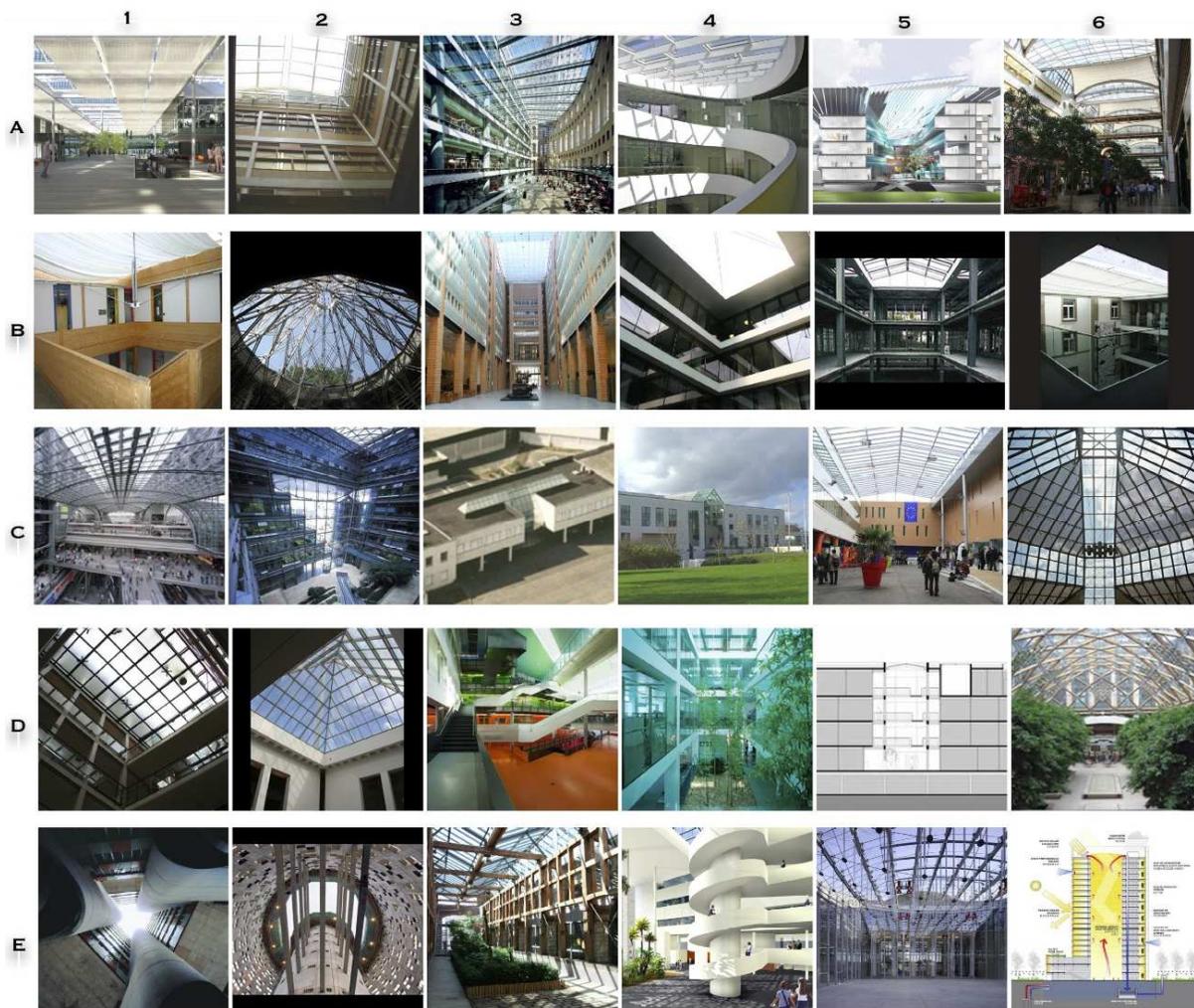


Figure 48 – Utilisation de l’Atrium dans plusieurs projets récents

Suite à l’extraction de l’Atrium comme étant une bonne pratique utilisée dans plusieurs projets, nous passons cette bonne pratique par une étape de filtration selon les critères que nous avons précédemment défini (cf. Tableau 8) :

- l’Atrium est **opérationnel** : il a fait preuve de sa pertinence en étant utilisé dans au moins 30 réalisations d’auteurs différents analysés dans le cadre de notre recherche (cf. Figure 48).
- l’Atrium est **générique** : il est suffisamment générique pour être déclinable dans des solutions formelles très différenciées. Nous pouvons remarquer la variété de formes qui sont conçues dans les différentes réalisations (cf. Figure 48).

- l'Atrium est *holistique* : sa dimension holistique est cernée par ses capacités à résoudre des problèmes de lumière naturelle mais aussi de thermique et d'énergétique voire de ventilation. Il justifie de son efficacité holistique par ses multiples dimensions environnementales en répondant aux cibles 2, 4, 8,10 et 13 de HQE® (cf. 3.3.2.3).
- l'Atrium est *formalisable* : il peut se formaliser dans différentes géométries d'espace pouvant être représentées par une illustration, un dessin.
- l'Atrium est adapté *au niveau de l'esquisse* : il définit fortement l'organisation de l'espace, induit des volumétries et il est en lien avec le positionnement de l'édifice.

Pour toutes ces raisons, nous pouvons qualifier l'Atrium d'éco-modèle. Nous devons, ensuite, le contextualiser et le modéliser afin de faciliter sa réutilisation par les concepteurs.

3.3.2. Contextualisation de l'Atrium

Nous étudions le contexte de réutilisation de l'Atrium selon les quatre angles de vue définis précédemment dans notre démarche : le contexte conceptuel, le contexte physique, le contexte environnemental et le contexte relationnel. L'objectif est de vérifier la possibilité d'appliquer la contextualisation dans un cas précis.

3.3.2.1. Contexte conceptuel de l'Atrium

Définir le contexte conceptuel de l'Atrium c'est reconnaître quel problème a révélé la solution proposée par un Atrium et quelles étaient les éventuelles contraintes rencontrées dans les réalisations qui l'ont précédemment utilisé. Ces points sont présentés dans le tableau suivant (Tableau 22).

Tableau 22 - Contexte conceptuel d'Atrium [notre recherche]

Contexte conceptuel de l' <u>Atrium</u>	
Problème	Les bâtiments profonds ou épais sont souvent de bonnes réponses pour minimiser les dépenses énergétiques, mais il est difficile de les éclairer par les façades.
Solution	L'atrium est un espace intérieur fortement vitré en couverture pour recevoir de la lumière naturelle. Au contraire des patios et cours intérieures, il joue un rôle d'espace tampon climatique et peut permettre la réception des eaux pluviales. Généralement central, mais parfois disposé de manière axiale dans les bâtiments allongés, il sert le plus souvent de lieu de rencontre et de circulation. Il abrite fréquemment des coursives et passerelles.

Contrainte Acoustiques : Le grand volume de l'atrium et la présence de nombreuses parois réverbérantes (béton, verre...) peuvent induire des réflexions gênantes vers l'atrium lui-même ou vers les locaux adjacents. On veillera dans la géométrie de l'atrium, dans le dessin des ouvrages (coursives...) comme dans le choix des matériaux, à trouver les solutions adaptées aux usages.

Hygro-thermiques : Un grand vitrage en toiture peut entraîner des surchauffes thermiques en période estivale. Des systèmes d'occultation solaire et de ventilation doivent être prévus.

Incendie : En cas d'incendie, l'atrium peut jouer un rôle de cheminée facilitant la propagation des flammes et des fumées. Des solutions de compartimentage des locaux, de déploiement d'un réseau de Sprinklers et de mise en œuvre d'extracteurs de fumée peuvent apporter des solutions.

3.3.2.2. Contexte physique de l'Atrium

Nous nous sommes basés sur les 30 cas de réalisation (cf. Figure 49) pour découvrir le contexte physique probable d'utilisation d'un Atrium. Ainsi, nous avons établi un tableau récapitulatif des réalisations et de leurs contextes physiques afin d'établir des bilans sur le contexte physique de l'Atrium.

Par cette analyse, nous découvrons que parmi les cas étudiés, l'Atrium est souvent utilisé dans les bâtiments avec un usage tertiaire ou académique. À contrario, dans aucun des cas présents dans notre corpus d'étude il n'est appliqué pour un logement individuel (Figure 49).

De plus, l'analyse des cas de réalisation nous a permis de visualiser une utilisation majeure de l'Atrium dans les milieux urbains - dense et peu dense - et beaucoup moins dans les milieux de village - cœur du village. Cependant, parmi notre corpus d'étude, nous n'avons retrouvé aucun cas d'utilisation de l'Atrium dans les milieux isolés et pavillonnaires (Figure 49).

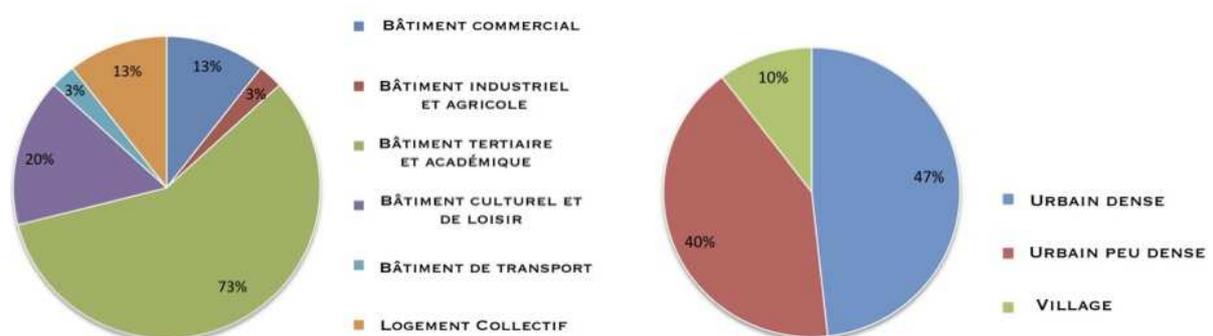


Figure 49 - Les usages (à gauche) et les milieux d'implémentation (à droite) liés à l'atrium [notre recherche]

Une vérification statistique à ce stade nous a paru nécessaire. Cette vérification a pour objectif de chercher des explications pour les résultats obtenus et de mieux appréhender les limites

d'analyse liées à notre corpus d'étude, tant dans le choix des cas que dans le nombre limité de cas.

Nous constatons effectivement que l'Atrium est une réponse pour des usages où l'on accueille un public en nombre et que par contre il s'avère moins adapté dans les usages tel que celui du logement individuel et résidentiel (pavillonnaire). De plus, le manque d'infrastructure de transport pour desservir les milieux isolés (cf. Tableau 12) est une explication au peu de bâtiments publics et en conséquence à la non utilisation de l'Atrium dans les milieux isolés.

D'autre part, l'Atrium est une bonne réponse dans les milieux où l'apport de la lumière par les façades est difficile. Ce problème se produit souvent dans les milieux où les parcelles de l'espace bâti sont très contraintes - par les lois de l'urbanisme, coût élevé et superficie limitée du terrain, etc. Ce problème se produit très rarement dans les milieux pavillonnaires et isolés. Ce qui explique le peu d'utilisation de l'Atrium dans ces derniers.

Ces arguments nous paraissent suffisants pour confirmer les statistiques relatives de notre corpus d'étude, sachant que ce corpus est limité au nombre de cas étudiés et que des exceptions peuvent toujours exister dans l'utilisation d'un éco-modèle comme l'Atrium.

En ce qui concerne l'analyse de la nature de l'opération, l'Atrium est souvent utilisé - dans les cas de réalisations étudiées - pour des bâtiments neufs. Mais il existe aussi des exemples d'opération d'extension et de réhabilitation qui utilisent l'Atrium. De plus, les zones climatiques dans lesquelles l'Atrium est le plus utilisé sont des climats tempérés et continentaux. Parmi les réalisations du corpus d'étude, il n'existe aucun cas d'utilisation de cet éco-modèle dans les régions sèches, tropicales et montagnardes (Figure 50).

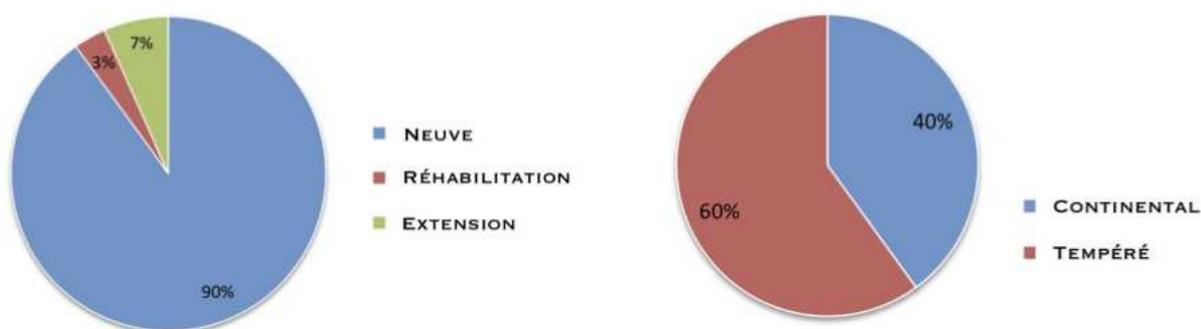


Figure 50 - Les natures d'opération (à gauche) et les zones climatiques (à droite) liées à l'Atrium [notre recherche]

Une vérification de ces statistiques nous permet d'approfondir le contexte probable physique de l'Atrium. Effectivement, l'Atrium ne produit pas de contrainte pour une réhabilitation ou une extension. Le taux plus important de cas de bâtiments neufs qui utilisent cette réponse est très liée à la majorité d'existence de ce type de cas dans notre corpus d'étude. Concernant le climat, nous pouvons affirmer que la cause du peu d'utilisation de l'Atrium est liée à son peu d'efficacité dans les climats secs, tropicaux et montagnards. Dans un climat montagnard, la couverture fréquente de la surface de l'Atrium diminue les apports solaires de cet éco-modèle. Dans les climats tropicaux et secs, un Atrium peut causer des effets de serre importants dans l'environnement intérieur du bâtiment. Cela explique son peu d'utilisation dans ces types de climats et justifie la fiabilité des résultats déduits dans les cas de réalisation étudiés.

Cependant, il ne faut pas oublier que nos analyses restent limitées à ce jour du fait du nombre de cas étudié. En ce sens, elles ne nous permettent pas des affirmations certaines ni des conclusions définitives. De plus, les cas de réalisations sont choisis parmi des bâtiments reconnus (cf. 3.2.1) et en conséquence parmi un grand nombre de bâtiments publics dans les milieux urbains.

Néanmoins, la vérification des données effectuée nous permet tout de même d'énoncer une conclusion sur l'efficacité de la réutilisation probable de l'Atrium : l'Atrium est un éco-modèle notamment applicable pour les bâtiments tertiaires, académiques, commerciaux et de loisirs dans les milieux urbains des climats continentaux et tempérés. Cet éco-modèle peut aussi bien être intégré dans une opération neuve que dans une extension ou une réhabilitation.

3.3.2.3. Contexte environnemental de l'Atrium

Un Atrium en tant qu'éco-modèle est pré-évalué par des Cibles HQE®. Les résultats de cette pré-évaluation sont présentés sous forme des impacts négatifs, positifs et neutres vis-à-vis des cibles (Figure 51).

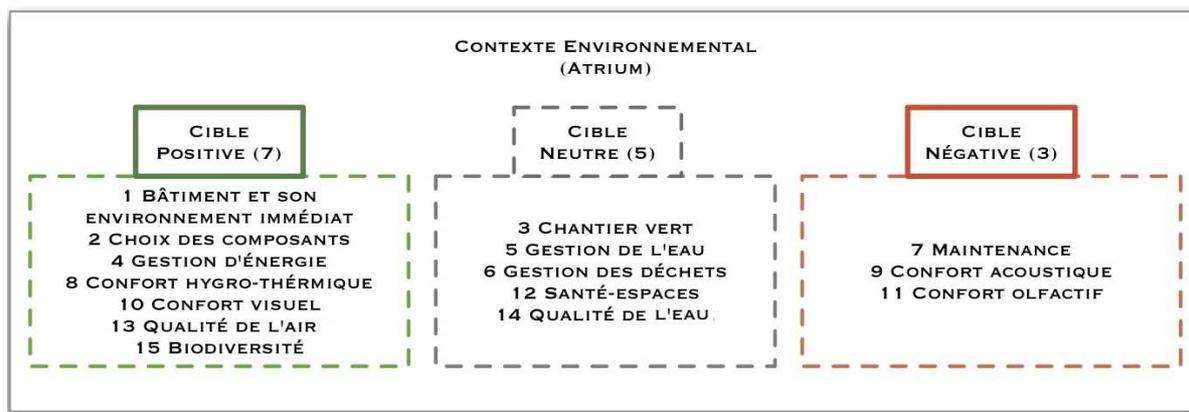


Figure 51 - Le contexte environnemental de l'Atrium [notre recherche]

3.3.2.4. Contexte relationnel de l'Atrium

Parmi les 40 éco-modèles identifiés et nommés (cf. Tableau 21), l'éco-modèle établit des relations avec 10. Pour le contexte relationnel de l'Atrium, il s'agit de 5 relations d'équivalence et 5 de combinaison. L'Atrium n'a aucune relation de contradiction avec d'autres éco-modèles identifiés dans notre recherche (Tableau 23).

Tableau 23 - Le contexte relationnel d'Atrium [notre recherche]

Relation	Les éco-modèle Associés
Équivalence	Espace tampon ; Lumière du toit ; Véranda ; Patio (Figure 49) ; Ouverture adaptée
Combinaison	Balcon filant ; Bâtiment-Paysage ; Double peau ; Forme arrondie ; Parking à vélo
Contradiction	-

3.3.3. Modélisation de l'Atrium

En nous basant sur le modèle général de l'éco-modèle (cf. Figure 47), nous modélisons l'Atrium. Les classes et les classes-associations utilisées dans le modèle sont présentées dans le tableau suivant (Tableau 24).

À travers ces données, nous avons réalisé un diagramme de classes pour l'éco-modèle Atrium (Figure 52). Dans ce modèle, un Atrium est considéré comme une classe car il a plusieurs

instances⁴¹. Dans le cas des contextes relationnels et environnementaux, ces classes possèdent deux sous-classes du fait de types de relations différentes ou des impacts divergents.

Tableau 24 - Les données du modèle d'un Atrium [notre recherche]

Type	Classe	Sous-classe □
Classes	<i>éco-modèle (ATRIUM)</i>	-
	<i>éco-modèle(Autres)</i>	Espace tampon ; Lumière du toit ; Véranda ; Patio ; Ouverture adaptée ; Balcon filant ; Bâtiment-Paysage ; Double peau ; Forme arrondie ; Parking à vélo
	<i>Cibles HQE ®</i>	C1, C2, C4, C7, C8, C9, C10, C11, C13, C15
	<i>Cas de Réalisation</i>	-
	<i>Contexte physique de réalisation</i>	-
Classe-associations	<i>Contexte conceptuel</i>	-
	<i>Contexte relationnel</i>	Équivalence; Combinaison
	<i>Contexte physique</i>	-
	<i>Contexte environnemental</i>	Impacts Positifs ; Impacts Négatifs

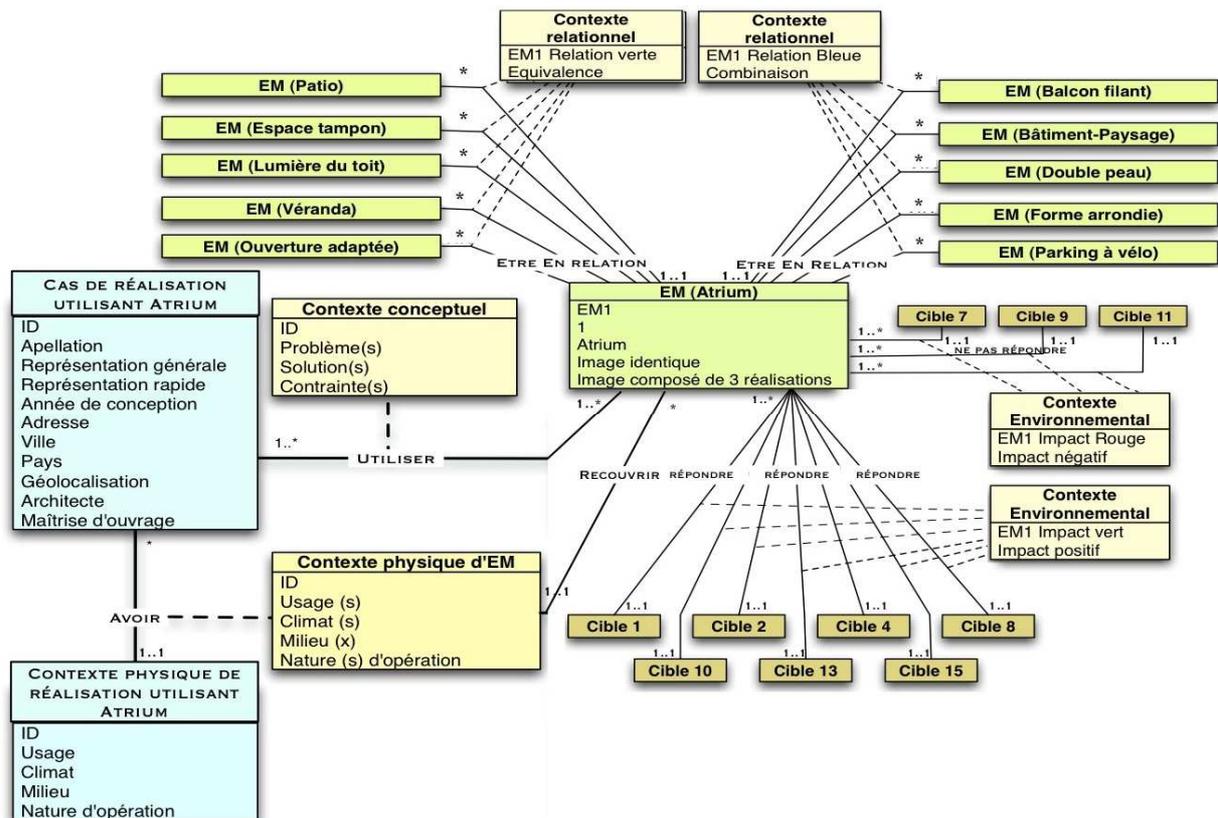


Figure 52 - Diagramme de classe de l'Atrium avec le langage UML [notre recherche]

41 Les autres éco-modèles (e.g. Patio, Balcon filant) aussi bien que les cibles nommés dans le modèle, représentent aussi des classes. Cependant, dans un souci de simplifier la lecture, leurs attributs ne s'affichent pas dans notre diagramme.

Chapitre 4 - Proposition d'un outil basé sur le concept de l'éco-modèle

Ce travail de recherche a été en partie consacré à la mise au point d'un outil logiciel d'assistance à l'éco-conception de bâtiments nommé *éco.mod*.

Une maquette de simulation partielle du logiciel a été élaborée afin de produire un premier test sur les fonctions dédiées aux besoins pressentis. Ce test est mené dans le cadre d'un projet de conception d'un bâtiment d'accueil dans la ferme expérimentale de la Bouzule de l'ENSAIA⁴² par des étudiants du master de l'école d'architecture de Nancy. Par ce test nous avons déduit deux types de résultat : les observations durant les séances et les évaluations environnementales des propositions par une méthode d'évaluation nommée *Éco-Profil*.

Les analyses des résultats du test et les progrès dans la recherche nous ont conduits à la proposition d'un outil d'assistance à l'éco-conception collaborative basé sur le concept d'Eco-Modèle. Cet outil d'assistance est prévu pour offrir, dans un premier temps, une interface interactive aux concepteurs de bâtiments pour naviguer et choisir parmi les éco-modèles, construire des scénarios et recevoir des analyses environnementales de leurs scénarios.

Dans ce chapitre, nous allons expliquer les étapes suivies pour achever la proposition de l'outil *éco.mod*⁴³.

4.1. Élaboration du prototype

Pour pouvoir proposer un outil d'assistance numérique, plusieurs éléments de représentation, tels que les graphiques, devaient être déterminés en interaction avec l'utilisateur. D'ailleurs, produire un outil nécessite de définir le type d'utilisateur et de connaître ses besoins. C'est dans cet objectif que nous avons envisagé un test sur les fonctions dédiées aux besoins pressentis. Ce test est important pour le développement de l'outil logiciel car si l'on développe directement une base de données et une interface définitive, nous risquons des modifications multiples qui sont plus coûteuses en temps de programmation.

Dans cet esprit, nous avons élaboré une maquette de simulation partielle du logiciel (prototype). Le développement du prototype permet la matérialisation des compromis [Mer et

⁴² Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries alimentaires, composante de l'INPL

⁴³ Disponible à partir de <http://www.crai.archi.fr/eco.mod/>

al., 1995]. Il nous permet, surtout, de visualiser et d'analyser les réactions des utilisateurs avant de passer à l'étape suivante. Suivre l'évolution du prototype nous aide à anticiper certaines difficultés dont nous pouvons, dès lors, tenir compte.

Le prototype ainsi que le protocole, le déroulement et les résultats du test sont expliqués dans cette section.

4.1.1. Besoins pressentis

L'approche proposée a été implémentée dans un outil numérique afin d'être instrumentée. Pour développer le prototype nous avons choisi de connaître les éléments externes en relation avec notre outil ainsi que leurs besoins probables (Figure 53) (Tableau 25). L'éco.mod, dans le cadre de notre recherche, est conçu par rapport à plusieurs éléments externes:

- Le concepteur du bâtiment : l'utilisateur principal de cet outil
- La maîtrise d'ouvrage : l'utilisateur secondaire de cet outil
- Le projet de la Bouzule : cette recherche vise à répondre à la conception environnementale d'un bâtiment d'accueil au sein du projet de la Bouzule (cf. 4.2.1)
- Le CRAI : cet outil s'inscrit dans la recherche menée au sein du laboratoire CRAI
- L'ERPI : cet outil éclaire un aspect de la recherche menée au sein du laboratoire ERPI

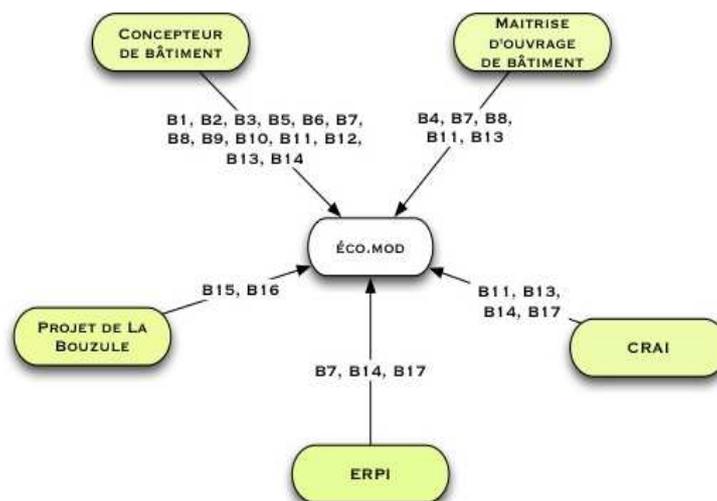


Figure 53 - Les besoins pressentis des éléments externes vis-à-vis du prototype [notre recherche]

Tableau 25 - Les besoins des éléments externes vis-à-vis de la conception du prototype [notre recherche]

<i>Besoin</i>	<i>Description</i>	<i>Besoin</i>	<i>Description</i>
B1	Rapidité de consultation	B9	Graphiques parlants
B2	Simplicité de navigation	B10	Proposition à l'amélioration des choix
B3	Accessibilité (au niveau informatique)	B11	Aide à l'évaluation des choix
B4	Aide à l'expression des préférences environnementales et architecturales	B12	Aide à diminuer le temps de réponse durant la phase d'esquisse
B5	Multitude des choix initiaux	B13	Prise en compte des normes et labels
B6	Comparaison des choix	B14	Utilisation en phase amont de la conception
B7	Augmentation de la certitude	B15	Propositions des solutions optimisées pour un milieu agricole
B8	Accessibilité aux projets récents	B16	Propositions des solutions optimisées pour un bâtiment d'accueil
		B17	Instrumentaliser la démarche éco-modèle

4.1.2. Fonctions

Selon [Ben rejeb, 2009], le besoin est distinct d'une fonction : alors qu'un besoin est une caractéristique de l'utilisateur, une fonction est un service que rend le produit.

En effet, chaque besoin doit être satisfait par une ou plusieurs fonctions. Mais aussi, une fonction peut répondre à plusieurs besoins. C'est pourquoi nous avons prévu d'inclure certaines fonctions dans notre cahier des charges de développement d'éco.mod (Figure 54) (Tableau 26).

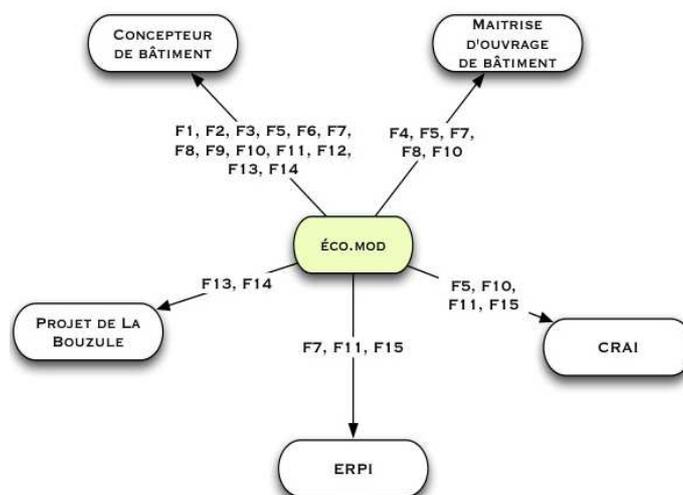


Figure 54 - Les fonctions du prototype en réponse aux besoins pressentis [notre recherche]

Tableau 26 - Les fonctions du prototype vis-à-vis des besoins des éléments externes [notre recherche]

<i>Fonction</i>	<i>Description</i>	<i>Réponse au besoin</i>
<i>F1</i>	Minimisation du nombre de clics et de pages	<i>B1-B2</i>
<i>F2</i>	Mettre en place des barres de haut de page pour le positionnement	<i>B2</i>
<i>F3</i>	Mise en ligne de l'interface	<i>B3</i>
<i>F4</i>	Possibilité de démarrer la recherche d'EM. par des cas de réalisation	<i>B4-B5-B8</i>
<i>F5</i>	Possibilité de démarrer la recherche d'EM. par des cibles HQE®	<i>B4-B5-B13</i>
<i>F6</i>	Possibilité de lancement de plusieurs pages en parallèle pour pouvoir comparer les éco-modèles	<i>B6</i>
<i>F7</i>	Renvoie vers des cas concrets de l'application d'un éco-modèle	<i>B7</i>
<i>F8</i>	Renvoie vers les références accessibles, vers les projets et les pages des architectes	<i>B8</i>
<i>F9</i>	Proposition de Code couleur, Icones, etc. consultés avec plusieurs concepteurs	<i>B9</i>
<i>F10</i>	Évaluation des éco-modèles par des cibles HQE®	<i>B11-B13</i>
<i>F11</i>	Résumer les informations dans quelques phrases et images inspirants et éviter d'entrer dans les détails constructifs	<i>B1-B12-B14</i>
<i>F12</i>	Mettre à disposition les éco-modèles en relation avec l'éco-modèle choisi	<i>B10</i>
<i>F13</i>	Avoir certains exemples de cas en milieu rural ou agricole	<i>B15</i>
<i>F14</i>	Avoir certains exemples de cas de bâtiments publics de petite taille	<i>B16</i>
<i>F15</i>	Rediriger tout type d'initiation de recherche vers la consultation de plus d'éco-modèles	<i>B17</i>

Ces fonctions sont supportées par un environnement de partage et d'interactions destiné au prototype d'éco.mod. Cette partie du travail ne pouvait être réalisée que par une collaboration avec un expert dans le développement de l'interface.

4.1.3. Environnement de partage et Interactions⁴⁴

4.1.3.1 Contenus et scénario d'utilisation du prototype

Le prototype d'éco.mod contient 4 niveaux de contenu: les choix d'entrée, les répertoires, les annotations et les relations (Figure 55).

⁴⁴ Le développement informatique du prototype dans un environnement HTML5 est réalisé par Pascal Humbert, ingénieur de recherche au CRAI

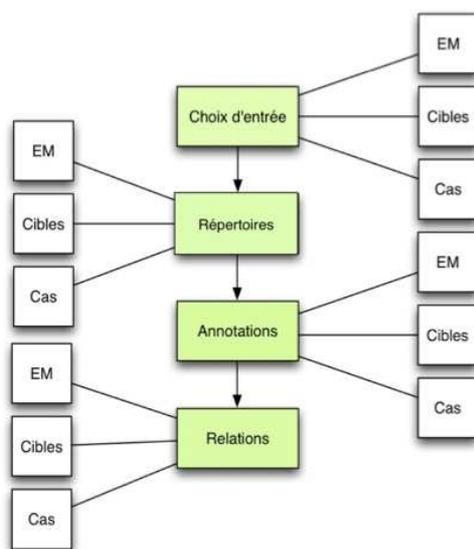


Figure 55 - les 4 niveaux d'information du prototype [notre recherche]

Dans ce prototype, les utilisateurs, au premier niveau, possèdent trois choix d'entrée : les éco-modèles, les cibles HQE® et les réalisations. Cette variété est destinée à répondre aux trois façons différentes d'initier la consultation. Au deuxième niveau, l'utilisateur peut avoir accès à un répertoire de l'éco-modèle, des cibles HQE® et des cas de réalisation. À ce niveau, il peut consulter les éléments des répertoires et choisir ce qui lui convient. Le niveau suivant contient l'annotation de chaque éco-modèle, cible ou cas de réalisation choisi. Le concepteur prend plus connaissance avec son choix initial pour décider de poursuivre ou d'abandonner sa recherche sur l'élément. Dans un dernier niveau, l'utilisateur peut connaître les impacts environnementaux de ses choix d'éco-modèle, les éco-modèles répondants au choix de la cible et les éco-modèles empruntés par les cas de réalisation. De plus dans ce niveau nous proposons des éco-modèles combinables, en contradiction ou en équivalence avec l'éco-modèle choisi par l'utilisateur.

À la fin de ces étapes, il est prévu que l'utilisateur prendra note de ses choix définitifs.

4.1.3.2. Navigation

Le scénario d'utilisation est traduit dans un diagramme d'état (Figure 56) afin de permettre le développement de l'interface. Durant la navigation dans l'environnement d'éco.mod, l'utilisateur est capable de passer d'un niveau à un autre par l'intermédiaire des icônes.

4.1.3.3. Environnement Graphique

L'ensemble de l'environnement de l'interface nécessite un graphique cohérent et compréhensible pour l'utilisateur. Afin de répondre à cet objectif, les éléments graphiques de l'interface d'éco.mod sont décomposés en 4 grandes catégories présentées dans le tableau suivant (Tableau 27).

Tableau 27 - Les éléments graphiques de l'interface d'éco.mod [notre recherche]

<i>Élément graphique</i>	<i>Description</i>	<i>Niveau d'apparition</i>
<i>Icône</i>	Simple ou interactive (selon l'opération et le niveau)	1, 2, 3 et 4
<i>Étiquette</i>	Zone du texte sans interactivité	1, 2, 3 et 4
<i>Éléments séparateurs</i>	Contribuent aux règles de navigations variées dans une même page	1, 2, 3 et 4
<i>Page de référence</i>	Référence d'étude de cas (page-web)	3 : Annotations des réalisations
<i>carte de géo-localisation</i>	Carte interactive (Googlemaps ©)	3 : Annotations des réalisations

Les éléments graphiques nommés ont été conçus un par un. Chaque catégorie a été l'objet de plusieurs essais graphiques. Une fois tous les éléments mis ensembles, ils doivent répondre à une intégralité cohérente. Les zones de texte et la quantité de texte ainsi que le positionnement des étiquettes et des fonctions de zoom sont étudiés de suite. La cohérence de l'ensemble d'un point de vue graphique est obtenue par la visualisation fréquente des essais (Annexe 1).

ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS DURABLES

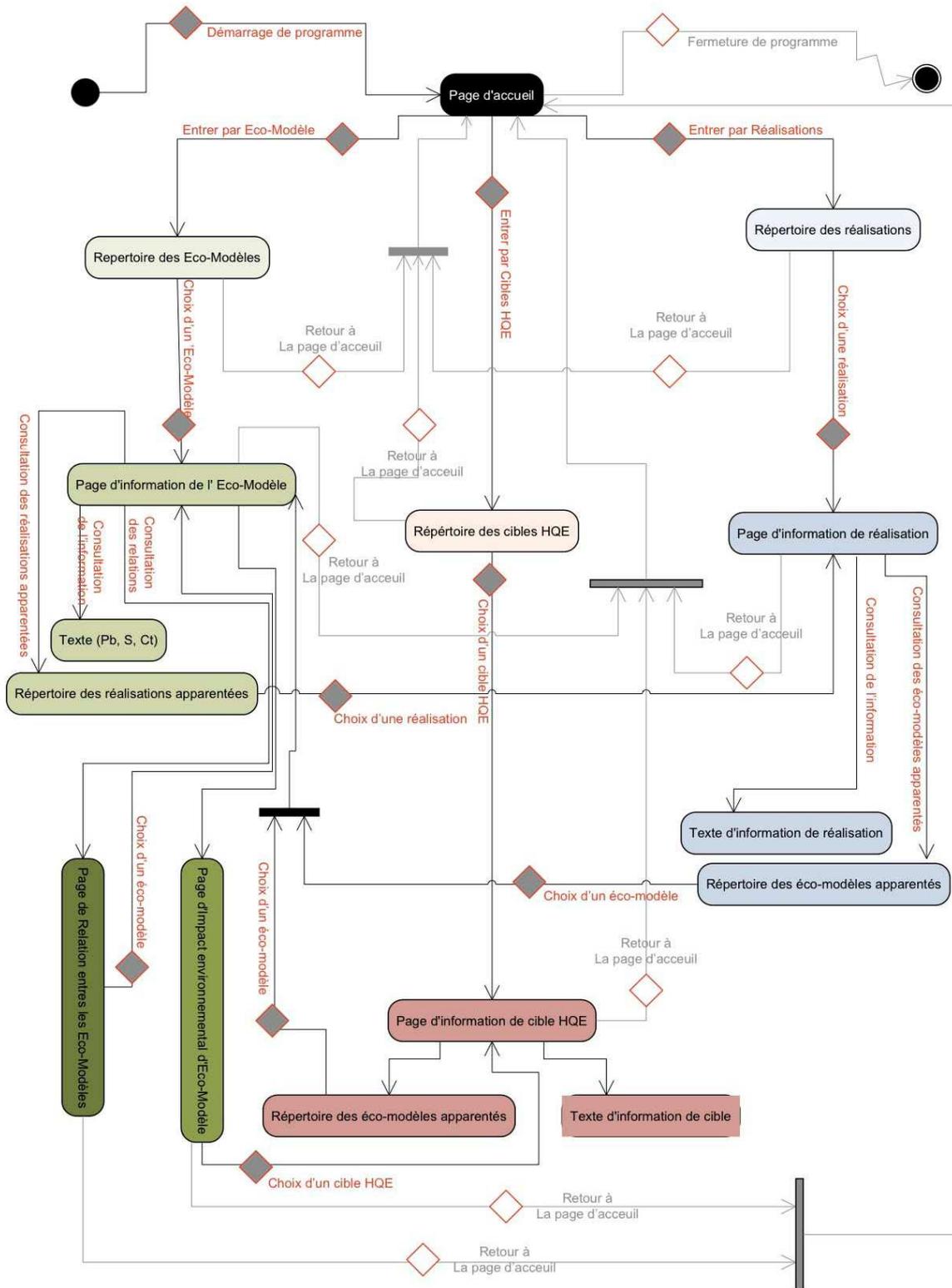


Figure 56 - La représentation de la navigation dans l'interface du prototype d'éco.mod par un diagramme d'état [notre recherche]

4.2. Test du prototype

Afin de vérifier nos besoins pressentis et la pertinence des fonctions répondant aux besoins, un test du prototype a été effectué avec les étudiants en master de l'École Supérieure d'Architecture de Nancy⁴⁵. Il s'agit d'une mise en application du prototype dans une situation de conception. À travers ce test, nous cherchons à connaître les voies de développement de l'outil éco.mod.

4.2.1. Supports du test : Projet de conception d'un bâtiment d'accueil de la ferme expérimentale de la Bouzule

Le support de ce test est un projet de conception du bâtiment d'accueil de la ferme de la Bouzule (Figure 57).

En effet, cette thèse s'inscrit dans le cadre d'un projet nommé projet de la ferme expérimentale de la Bouzule. Ce projet est une des facettes du projet NIT (Noyau Ingénierie Technologie) de Nancy-Université.



Figure 57 - La ferme expérimentale de la Bouzule vue de ciel [Googlemap©]

Dans ce cadre, l'ENSAIA a lancé une stratégie de développement qui résulte d'une volonté de concevoir le domaine expérimental de la Bouzule comme une vitrine de ce que devrait être une exploitation agricole du futur. En plus des axes de l'éco-habitat, de la maîtrise énergétique de l'exploitation agricole et de la biodiversité, le projet Bouzule aborde aussi l'aspect social du développement durable. On retrouve notamment les programmes d'information, de formation et d'insertion sociale. Informer sur les conséquences positives ou négatives de l'activité de l'homme sur la société est une des missions de la Bouzule. Ainsi, il

⁴⁵ Master 2 (recherche) design global, spécialité AME (Architecture, Modélisation, Environnement), promotion 2009. (Date de l'exploration de test : janvier et février 2010)

sera développé à la Bouzule un parcours environnemental et pédagogique destiné à tout public désireux d'obtenir une information objective sur le thème de l'eau. Par ailleurs, la visite de l'exploitation sera organisée de manière à mieux répondre aux besoins des écoles qui désirent que leurs élèves puissent côtoyer pratiquement le monde de la ferme. Cette volonté nécessitera la remise en état du *lieu d'accueil* plus propice à accueillir ce type d'activité [Bouzule, 2010].

Dans cet objectif, l'ENSAIA, maître d'ouvrage de la ferme de la Bouzule, souhaite restructurer l'ensemble de ses bâtiments et équipements pour en faire une *ferme écologique démonstrative*. Certains bâtiments seront restructurés, d'autres seront reconstruits. Ce site est devenu le sujet d'investigation de différents domaines de recherche (e.g. gestion d'eaux, gestion des ressources énergétiques, agriculture, etc.). Parmi eux, notre travail s'inscrit dans la recherche sur la construction d'un bâtiment d'accueil destiné à l'accueil des chercheurs et des employés du site, mais aussi à animer le site par des expositions ouvertes au grand public. Finalement, un programme physique du bâtiment a été établi après deux réunions consécutives avec la représentante de l'ENSAIA⁴⁶ (Annexe 4). Dans le processus de définition du programme, les principaux critères pris en compte sont :

- Les souhaits de la maîtrise d'ouvrage : les comptes rendus des réunions nous ont permis de reformuler les souhaits de la maîtrise d'ouvrage.
- Les standards architecturaux pour les dimensionnements de l'espace
- Le contexte actuel du site : une visite et une étude du site nous ont permis de photographier et d'identifier les caractéristiques de ce dernier.
- Le contexte futur du site : les échanges durant les deux réunions nous ont permis de prendre connaissance des projets en cours au sein de la ferme et les changements consécutifs sur le site du projet dans un futur proche.
- l'économie de surface bâtie.

L'ensemble de ces données, c'est-à-dire les études du site, le plan de masse du site, les perspectives proches du site, les souhaits de la maîtrise d'ouvrage et le programme (Annexe 4) est transféré aux participants du test afin d'apporter des réponses architecturales.

⁴⁶ Réunion avec M. S Pacaud : Représentant de la maîtrise d'ouvrage (ENSAIA)

4.2.2. Déroulement du test

Onze étudiants de master en architecture ont participé au test du prototype d'éco.mod. Parmi eux, 5 ont répondu au programme par la conception d'un bâtiment environnemental à l'aide d'éco.mod : *Groupe A*. Les 6 autres ont répondu au programme d'une façon autonome : *Groupe B*.

Deux séances de 4 heures en atelier, équipé d'ordinateurs, constituent ce test. À la fin de la deuxième séance, les étudiants doivent présenter leurs travaux de conception dans un format A3 incluant : un plan de masse, les plans d'étage, les façades et une perspective. De plus, une feuille écrite et/ou imagée des stratégies environnementales empruntées par leurs projets est demandée. Le protocole du test est exprimé dans le tableau et la figure suivants. (Tableau 28) (Figure 58).

Tableau 28 - Le protocole du test du prototype d'éco.mod [notre recherche]

Groupe	Outil/Groupe	Séance	Outil/ Séance	Sujet	Esquisse	Analyse	Résultat attendu
2 groupes (GA & GB)	GA avec et GB sans éco.mod	2 séances (S1 & S2)	S1 _{GA} & S2 _{GA} sans éco.mod et S1 _{GB} & S2 _{GB} avec éco.mod	1 sujet commun	1 par personne	Comparaison entre GA & GB	Vérification des besoins et des fonctions d'éco.mod

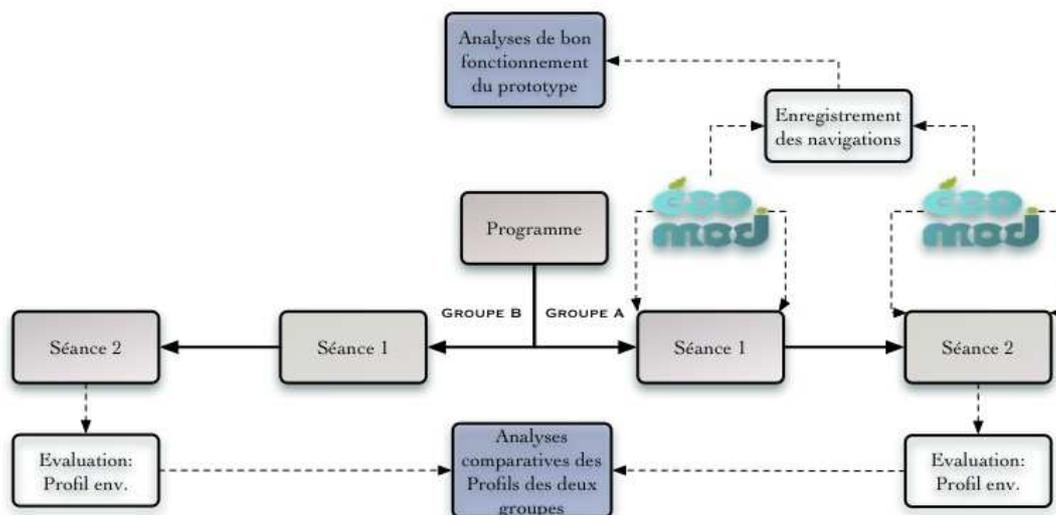


Figure 58 - Protocole du test du prototype [notre recherche]

4.2.3. Retours et analyses

À partir de ce test, nous avons retiré deux types de retour: les observations des séances et les concepts finaux. Chaque retour est analysé par une méthodologie et/ou un outil adapté: les observations des séances sont analysées à l'aide des brouillons des premières réflexions et des registres des navigations sur le prototype d'éco.mod ; les concepts finaux sont analysés par un outil d'évaluation environnementale, Éco-Profil⁴⁷. Puis, ces analyses font l'objet de nos études afin de déchiffrer les avantages et les inconvénients de notre prototype. D'ailleurs il nous a permis de vérifier nos hypothèses de besoins de départ.

4.2.3.1. Observations des séances

Les séances d'atelier sont surveillées afin de connaître les difficultés que les étudiants peuvent rencontrer durant leurs conceptions - pour mieux définir les besoins d'aide - et les contraintes dans l'utilisation d'éco.mod.

Suite à la première séance, les brouillons d'esquisse sont rassemblés et étudiés afin d'identifier le poids de l'apport des éco-modèles dans les travaux au stade de l'initiation. D'ailleurs, les brouillons nous permettront de mieux connaître la façon dont les concepteurs initialisent la conception d'un bâtiment environnemental. Ici, nous soulignons certains comportements lors de l'initialisation d'esquisse à travers les brouillons :

- Prendre en compte la nature existante pour initier l'implémentation (Figure 59)
- Entrer par le sujet de la conception environnementale par les cibles HQE (Figure 61). Ceci est plus spécialement identifiable dans le groupe non équipé d'éco.mod.

Les brouillons du groupe équipé d'éco.mod (Groupe A) comparés à ceux du groupe travaillant sans éco.mod (Groupe B), nous permet de constater quelques particularités liées au groupe A:

- la rapidité d'atteinte de la reformulation des scénarios environnementaux (Figure 59);
- les formes générées qui resteront la plupart du temps semblables aux résultats finaux (Figure 60);
- des réflexions générales sur la structure et les matériaux (Figure 59).

⁴⁷ Eco-Profil est une méthode d'évaluation environnementale développée au Centre de Recherche en Architecture et en Ingénierie (CRAI) dans le cadre de la thèse de Charline Weissenstein.

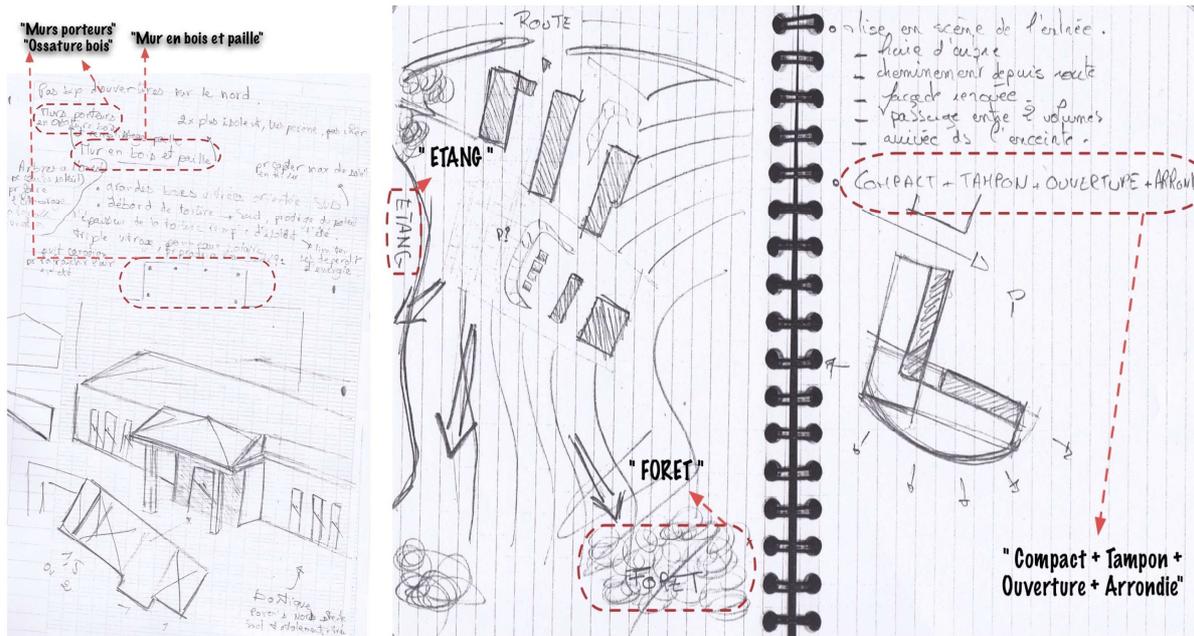


Figure 59 - Deux exemples des premiers brouillons du groupe équipé d'éco.mod durant la première séance

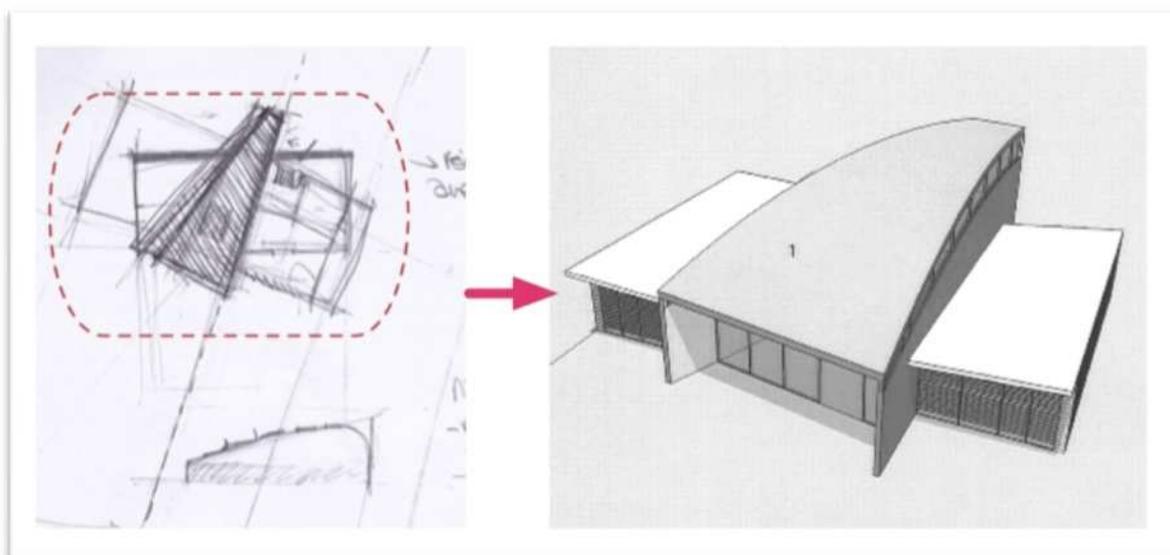


Figure 60 - Un exemple de génération d'idées géométriques pour le groupe équipé d'éco.mod

De plus, parmi le groupe non équipé d'éco.mod, nous avons remarqué que les étudiants avaient majoritairement pour objectif de répondre aux cibles HQE® par des solutions techniques qui ne sont pas forcément adaptées à la phase d'esquisse (Figure 61).

Cible 4. Gestion de l'énergie

Outre sa compacité qui rend son isolation plus performante, le bâtiment réduit ses déperditions grâce à une enveloppe très efficace : une isolation thermique par l'extérieur (ITE) de 30 cm d'épaisseur.

Cible 8. Confort hygrothermique

Vitrage et châssis performants double vitrage à isolation thermique renforcée $\lambda=1,2$

La ventilation sera assurée par un système double-flux à haut rendement qui récupère plus de 85% de chaleur.



Figure 61 - Un exemple d'une partie de travail d'un étudiant dans le groupe non équipé d'éco.mod

De plus, il apparaît que les préoccupations du groupe sans éco.mod vis-à-vis des solutions détaillées et des cibles générales ont empêché la majorité d'apporter une réponse géométrique rapide. Les changements fréquents sur le plan et la forme confirment cette observation.

4.2.3.2. Évaluation environnementale

Il existe plusieurs méthodes et outils d'évaluation environnementale (cf. 2.3.1). Parmi eux, la plupart n'est pas destinée à l'évaluation des propositions environnementales au stade de l'esquisse. Pour l'évaluation des propositions des participants dans le test du prototype, nous avons choisi d'utiliser une méthode d'évaluation proposée par [Wesseinstein, 2009]. Il s'agit d'une notation - 0 à 4 - des critères environnementaux à l'aide de sous-critères catégorisés selon les étapes de conception auxquelles ils sont confrontés (Annexe 5).

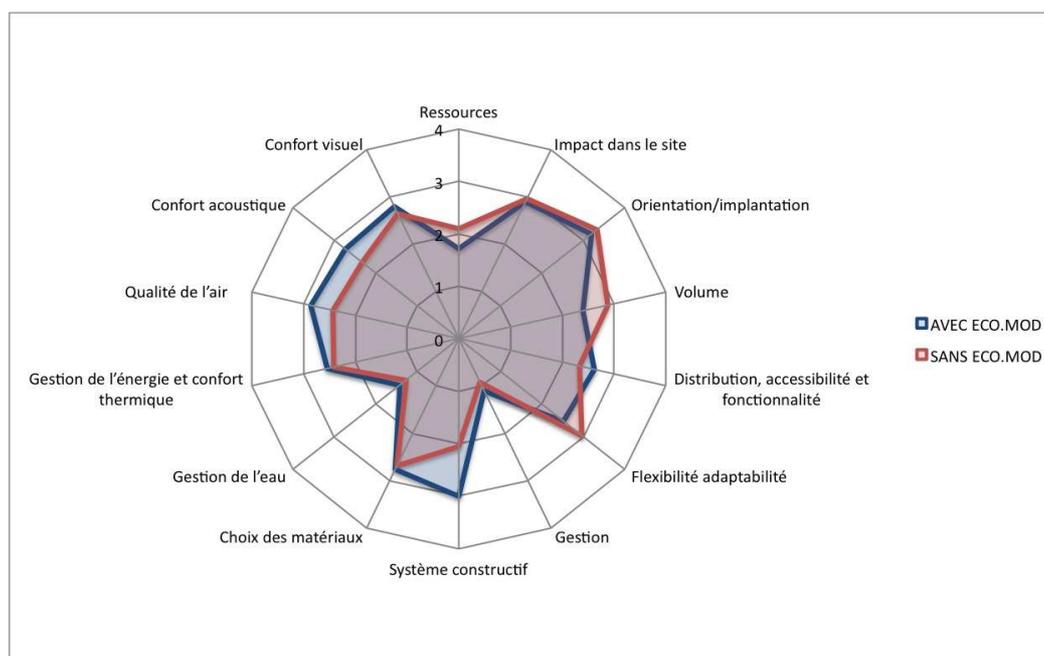


Figure 62 - Visualisation des moyennes des Éco-Profiles des deux groupes [notre recherche]

Le travail d'évaluation est réalisé par nous avec la collaboration de l'auteur de la méthode en tant qu'expert externe du projet. Chaque participant a reçu une évaluation environnementale de sa proposition. Suite à ces évaluations nous constatons que malgré une moyenne légèrement plus haute du groupe A (avec éco.mod), les moyennes des notes finales des deux groupes restent très proches : 2,38 pour le groupe B et 2,47 pour le groupe A (Figure 62).

Cette proximité ne nous permet pas de conclure sur l'apport d'éco.mod. Cependant, l'utilisation d'une visualisation graphique aide à mieux connaître les axes faibles et forts de chaque groupe.

Nous résumons les points forts et faibles de chaque groupe dans une grille afin de nous permettre de connaître plus précisément les qualités et les faiblesses durant le test sur le prototype (Tableau 29). Nous considérons une note inférieure de 2.50 comme un critère faible et une note supérieure que 2.50 comme acceptable.

Tableau 29 - Les critères acceptables et faibles de chaque groupe [notre recherche]

<i>Groupe</i>	<i>Critères acceptables</i>	<i>Critères faibles</i>
<i>GA</i> <i>(avec éco.mod)</i>	Système constructif Confort acoustique	Volume
<i>GB</i> <i>(sans éco.mod)</i>	Volume	Système constructif Confort acoustique
<i>Commun entre GA</i> <i>et GB</i>	Impact dans le site Orientation Choix des matériaux Flexibilité/adaptabilité Distribution, accessibilité et fonctionnalité Qualité de l'air Gestion de l'énergie	Ressources Gestion Gestion de l'eau

4.2.4. Bilan du test : points d'amélioration et limites

4.2.4.1. Validation de l'apport environnemental d'éco.mod

Les étudiants de Master AME ne possèdent pas exactement les mêmes formations initiales. Leurs métiers sont Architecte, Architecte d'intérieur, Ingénieur civil, Géographe, Étudiant en dernière année d'architecture, etc. Ce qui veut dire que leurs connaissances de départ sont variées. En ce sens, une comparaison de l'un à l'autre nous paraît inutile pour une démarche de validation de l'apport d'éco.mod dans les profils environnementaux. En conséquence, nous

avons planifié une amélioration du protocole de l'expérimentation finale, pour pouvoir connaître les résultats nécessaires à une validation.

Cependant, parmi les axes moins bien gérés, nous pouvons mentionner les futurs champs de recherche des nouveaux éco-modèles : Volumétrie, Ressources, Gestion, Gestion de l'eau.

4.2.4.2. Vérification des besoins pressentis

Nous avons réussi à vérifier l'exactitude des besoins pressentis pour les traduire en besoins réels durant les réunions avec la maîtrise d'ouvrage et les séances de test avec les concepteurs. Certains besoins n'étaient pas suffisamment satisfaits par les fonctions proposées par le prototype : B2 (Facilité de navigation), B4 (Aide à l'expression des préférences), B7 (Augmentation de la certitude), B9 (Graphiques parlants).

La facilité de navigation durant le test a été commentée comme difficile à cause d'une ambiguïté au niveau de la consultation du répertoire uniquement par des clés et le sentiment de perte dans le fil des éléments du répertoire. Les préférences une fois choisies doivent être notées ailleurs que dans le prototype. Cela diminue la rapidité et la continuité de la navigation et parfois comme conséquence, on observe la perte ou l'oubli du choix. Pouvoir enregistrer ses choix et préférences par une fonction aidera à mieux les exprimer. Par ailleurs la certitude de choix d'un éco-modèle peut être augmentée par une pré-évaluation et un renvoi vers les applications dans les réalisations, mais ne garantit rien par rapport à un ensemble de choix. Pouvoir évaluer un ensemble est important pour augmenter cette certitude durant l'étape d'esquisse.

Enfin, nous avons remarqué une ambiguïté au niveau des cas de justifications de réussites des éco-modèles dans les réalisations car les icônes représentatives des réalisations portaient une image de réalisation depuis l'extérieur du bâtiment. Pourtant certains éco-modèles ne sont pas visibles de ce point de vue et ne peuvent pas avoir un effet rapide pour transmettre les messages. Ils peuvent même conduire à une ambiguïté durant la navigation dans l'environnement d'éco.mod.

À partir de ces constats, 3 autres besoins sont détectés et ajoutés au cahier des charges de l'outil final (Figure 63) :

- **B18** : Recadrer les champs de recherche et faciliter le choix
- **B19** : Aide à la construction des scénarios
- **B20** : Aide à l'évaluation des scénarios construits

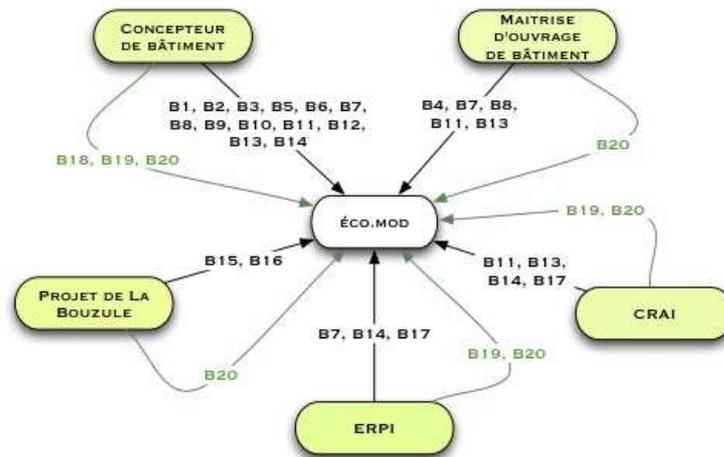


Figure 63 - Les besoins vérifiés (en noir) et ajoutés (en vert) des éléments externes, vis-à-vis de la conception d'ÉCO.MOD [notre recherche]

4.3. Élaboration de l'outil final

4.3.1. Base de données⁴⁸

En augmentant la quantité des données ainsi que les relations entre les données, une gestion de ces dernières devient nécessaire. Cette nécessité nous a conduits à développer une base de données qui alimente l'interface d'ÉCO.MOD. Cette base de données prend en charge le travail de stockage et de support de l'interface.

L'environnement de cette base de données comprend deux fenêtres : la fenêtre principale de base de données qui est développée à partir de la modélisation de l'ÉCO-MODÈLE (cf. Figure 49) et la fenêtre de recours aux répertoires (Figure 64).

La fenêtre principale comporte 3 onglets et une fenêtre de répertoire. Les trois classes : ÉCO-MODÈLE, cible et cas de réalisation, définis dans le modèle des ÉCO-MODÈLES (cf. 3.3.3) occupent chacune un onglet de l'environnement de la base de données. Les attributs de ces trois classes ainsi que les classes et classe-associations comportant les contextes - conceptuel, physique, environnemental et relationnel - constituent les contenus de chaque onglet.

La fenêtre de recours aux répertoires vient aider le travail dans la base de données. Elle comporte 4 répertoires de l'ÉCO-MODÈLE, de cible, de réalisation et d'usage. Dans chaque

⁴⁸ Le développement informatique de la base de données est réalisé par Pascal Humbert, ingénieur de recherche au CRAI

ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS DURABLES

répertoire nous disposons d'une liste d'éléments pour faciliter le travail de l'enrichissement de la base de données. Les données de cette fenêtre sont mises à jour automatiquement avec les changements dans la base de données (e.g. ajout de nouveaux éco-modèles, changement d'appellation, etc.).

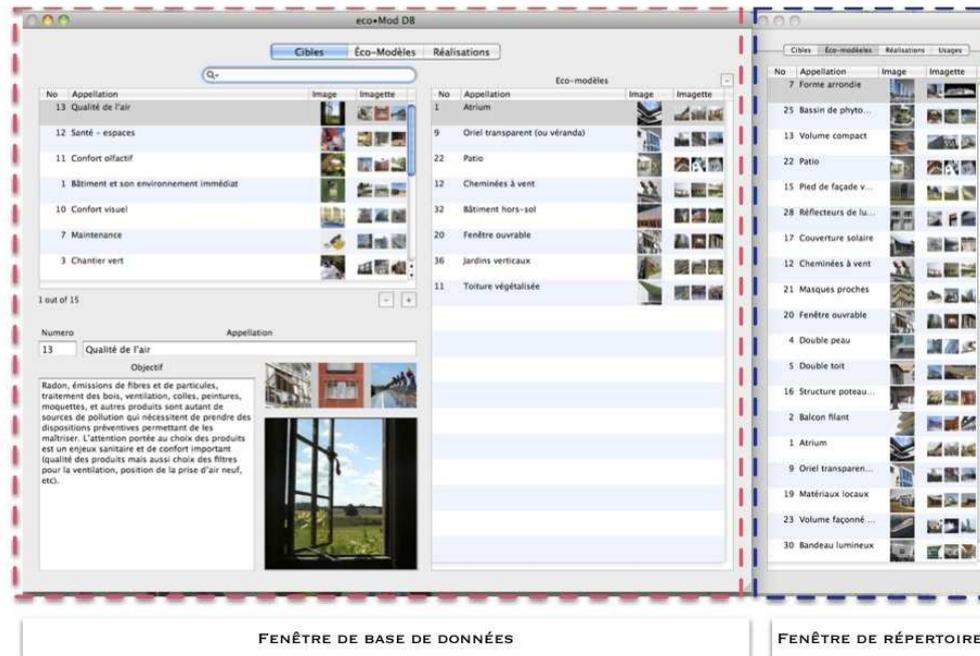


Figure 64 - L'environnement de la base de données d'éco.mod : à gauche la fenêtre principale et à droite la fenêtre de recours aux répertoires [notre recherche]

Les éléments de la base de données sont visualisés par trois types d'onglets dans la fenêtre principale :

- Onglet des cibles
- Onglet des éco-modèles
- Onglet des réalisations

Ils sont présentés plus en détail en (Annexe 3).

Concernant l'onglet des cibles, il comprend 3 zones de répertoire : les cibles, la saisie des annotations et les éco-modèles apparentés. Une option de recherche rapide est disponible afin de permettre l'accès rapide à une cible par la connaissance de son appellation, de son numéro ou par les mots clés du problème, de la solution ou des contraintes.

Concernant l'onglet des éco-modèles, il contient 5 zones de répertoire : les éco-modèles, la saisie des annotations, des cas d'utilisation dans les réalisations, des conséquences environnementales et des éco-modèles apparentés.

Les éco-modèles sont numérotés dans le répertoire afin de favoriser la recherche et la mémorisation. Cependant, cette numérotation d'un éco-modèle ne possède pas un caractère de hiérarchisation entre les éco-modèles.

Le *contexte conceptuel* de l'éco-modèle est décrit dans cet onglet par les textes sur le problème, la solution et les contraintes. Une liste des réalisations développées aide à justifier la faisabilité de l'éco-modèle, mais aussi à connaître indirectement le *contexte physique* de son utilisation. Puis, le *contexte environnemental* d'un éco-modèle, est développé, à travers une liste des cibles HQE® en relation avec l'éco-modèle en développement et le type d'impact (positif, neutre, négatif). Enfin, le *contexte relationnel* de l'éco-modèle est aussi développé par la production d'une liste d'éco-modèles apparentés en précisant le type de relation (équivalence, combinaison ou contradiction).

En ce qui concerne l'onglet des réalisations dans la base de données, il a pour objectif d'inscrire tous cas d'étude et leurs contextes physiques dans la base de données. Il aide aussi à construire une liste des éco-modèles identifiés à travers une analyse des cas d'étude. Cet onglet contient 5 zones principales : le répertoire des réalisations, la saisie des annotations des cas de réalisation en étude, les éco-modèles utilisés et identifiés au cours de la réalisation, les usages mis en œuvre lors de la réalisation et enfin les sources d'informations et les images utilisées pour l'étude du cas. Cet onglet contient simultanément les classes *cas de réalisation* et *contexte physique du cas de réalisation* existant dans le modèle de données de l'éco-modèle (cf. 3.2.3).

4.3.2. Interface de consultation d'éco.mod

L'interface de consultation consiste en un environnement dans lequel l'utilisateur-concepteur pourra naviguer et être assisté pour améliorer sa proposition. Cet environnement est alimenté par la base de données.

Cette interface de consultation est une partie développée suivant les résultats et les observations du test du prototype. Ces changements et modifications ont eu lieu dans plusieurs domaines: fonctions et graphisme, contenus et scénario d'utilisation.

4.3.2.1. Nouvelles fonctions

Le test du prototype nous a permis de rencontrer des besoins non satisfaits antérieurement ou des nouveaux. En conséquence, afin de répondre à ces besoins, de nouvelles fonctions sont prévues dans la continuation du développement d'éco.mod (Tableau 30).

Tableau 30 - Les nouvelles fonctions d'éco.mod [notre recherche]

<i>Fonction</i>	<i>Description</i>	<i>Réponse au Besoin</i>
F16	Barre de défilement graduée (slider)	B2
F17	Espace de scenario (ensemble des éco-modèle choisis)	B17-B19
F18	Espace d'exigences (ensemble des cibles HQE® choisies)	B4-B17-B19
F19	Analyse environnementale du scenario construit	B7-B17-B20
F20	Fonction de filtration des cas de réalisation par l'usage, le climat, la nature d'opération et le milieu	B18
F21	Raccourci vers l'espace de scenario depuis le répertoire des éco-modèles	B1-B2-B19
F22	Raccourci vers l'espace d'exigences depuis le répertoire des cibles HQE®	B1-B2-B4
F23	Visualiser pour chaque réalisation dans la page d'annotation de l'éco-modèle, l'image de l'éco-modèle dans la réalisation et non pas l'image identique de réalisation dans son répertoire	B7-B9

Pour mieux connaître les destinataires principaux de ces fonctions, nous mettons à jour notre diagramme d'environnement d'éco.mod (cf. Figure 54) avec les nouvelles fonctions (Figure 65).

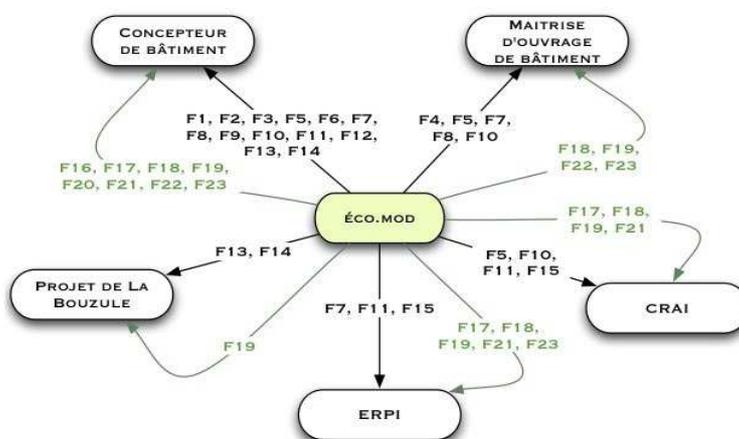


Figure 65 - Les fonctions du prototype (en noir) et les fonctions ajoutées après le test (en vert) [notre recherche]

4.3.2.2. Contenus d'éco.mod

Comme dans le prototype, l'utilisateur, au premier niveau, possède trois choix d'entrée : les éco-modèles, les cibles HQE® et les réalisations. Au deuxième niveau, l'utilisateur peut avoir accès à un répertoire d'éco-modèles, de cibles HQE® et de cas de réalisation. Le niveau suivant consiste en l'annotation de chaque éco-modèle, cible ou cas de réalisation choisis pour augmenter la connaissance sur le choix initial de l'utilisateur et aussi de prendre conscience des relations entre les éléments. En effet, nous avons combiné les niveaux 3 et 4 du prototype, pour trois raisons :

- favoriser la certitude dans le choix d'un élément : l'objectif commun à ces deux niveaux,
- augmenter la rapidité de consultation,
- privilégier les relations et les conséquences environnementales.

Enfin, l'ajout d'un niveau de scénario - des éco-modèles et des exigences - a été fait. Les composants de ce niveau sont : les choix, l'analyse d'ensemble des choix ou la proposition des éco-modèle liés. En total, l'interface de l'outil final contient 4 niveaux de contenu (Figure 66).

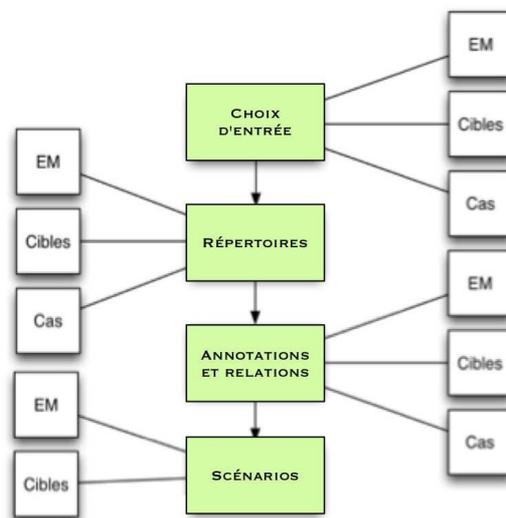


Figure 66 - Les niveaux de l'interface de consultation d'éco.mod [notre recherche]

4.3.2.3. Le graphisme

Au niveau du graphisme, suite au test du prototype, nous avons détecté certains besoins de changement. D'ailleurs, les nouvelles fonctions et contenus impliquent aussi des éléments graphiques dans l'interface.

La nouvelle fonction (F16) nous a conduits à mettre en place une *barre de défilement graduée* (slider) pour éviter les pertes dans le répertoire et pour améliorer la navigation. Cela répond aux besoins de facilité et rapidité de navigation. Cette barre est en effet un objet graphique qui par ces points de graduation représente la quantité des éléments consultables dans le répertoire. Ainsi, l'emplacement du dernier élément consulté dans cette barre peut être plus facilement mémorisé par l'utilisateur en cas de retour sur le répertoire.

De plus, pour contribuer aux fonctions des espaces du scénario et des exigences (F17 - F18), des icônes interactives sont affichées en haut des pages. L'élément choisi peut être transféré vers cette icône par une simple geste de glisser-déposé. La (Figure 67) représente certains de ces changements graphiques.

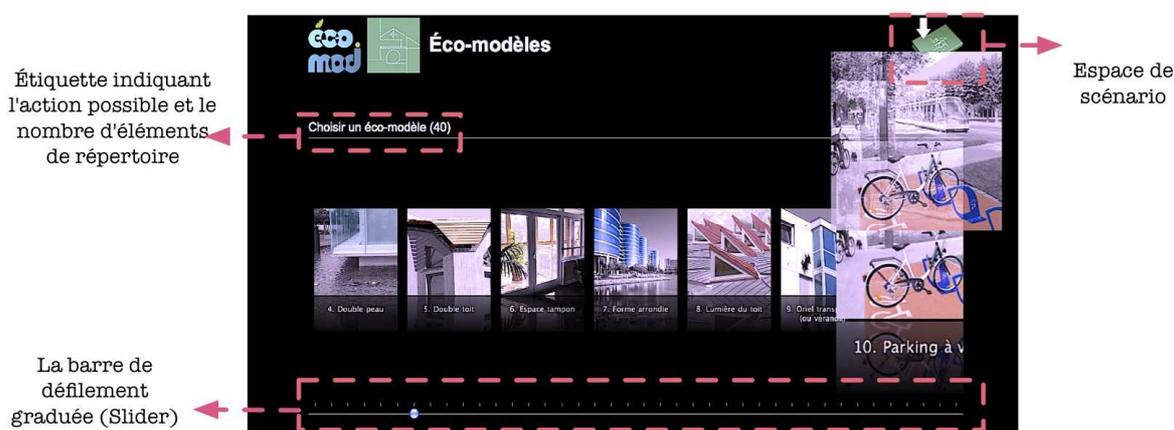


Figure 67 - Certains éléments graphiques ajoutés à l'interface d'éco.mod : Barre de défilement graduée, Étiquette de l'action et de la quantité d'éléments, icône interactif de l'espace du scénario [notre recherche]

Suite aux changements au niveau du contenu, le graphisme nécessite d'être réadapté afin d'améliorer la lisibilité des contenus. La combinaison des niveaux 3 et 4 du prototype pour avoir le niveau 3 de l'interface d'éco.mod nécessite une augmentation des éléments séparateurs pour rendre les pages plus lisibles. D'ailleurs les pages web visibles en bas de la page d'annotation de réalisation dans le prototype sont remplacées par les sources bibliographiques inscrites dans la base de données et souvent par des liens interactifs pour renvoyer vers des pages web extérieures.

Enfin, la visualisation des éco-modèles existants dans chaque réalisation se fait par les images des éco-modèles dans la réalisation et non par l'image identique de l'éco-modèle dans son répertoire. Cela contribue à une meilleure lisibilité des éco-modèles et des cas de réalisation.

4.3.2.4. Espace d'exigences

L'espace d'exigence se matérialise dans éco.mod par un dossier virtuel qui rassemble les exigences environnementales des utilisateurs à partir des choix dans le répertoire des cibles HQE® et en privilégiant certaines cibles par rapport à d'autres.

Une fois les cibles transférées dans l'espace d'exigences, elles sont enregistrées jusqu'à la fin de la session. L'utilisateur peut faire des changements et des suppressions d'éléments dans cet espace (Figure 68)..

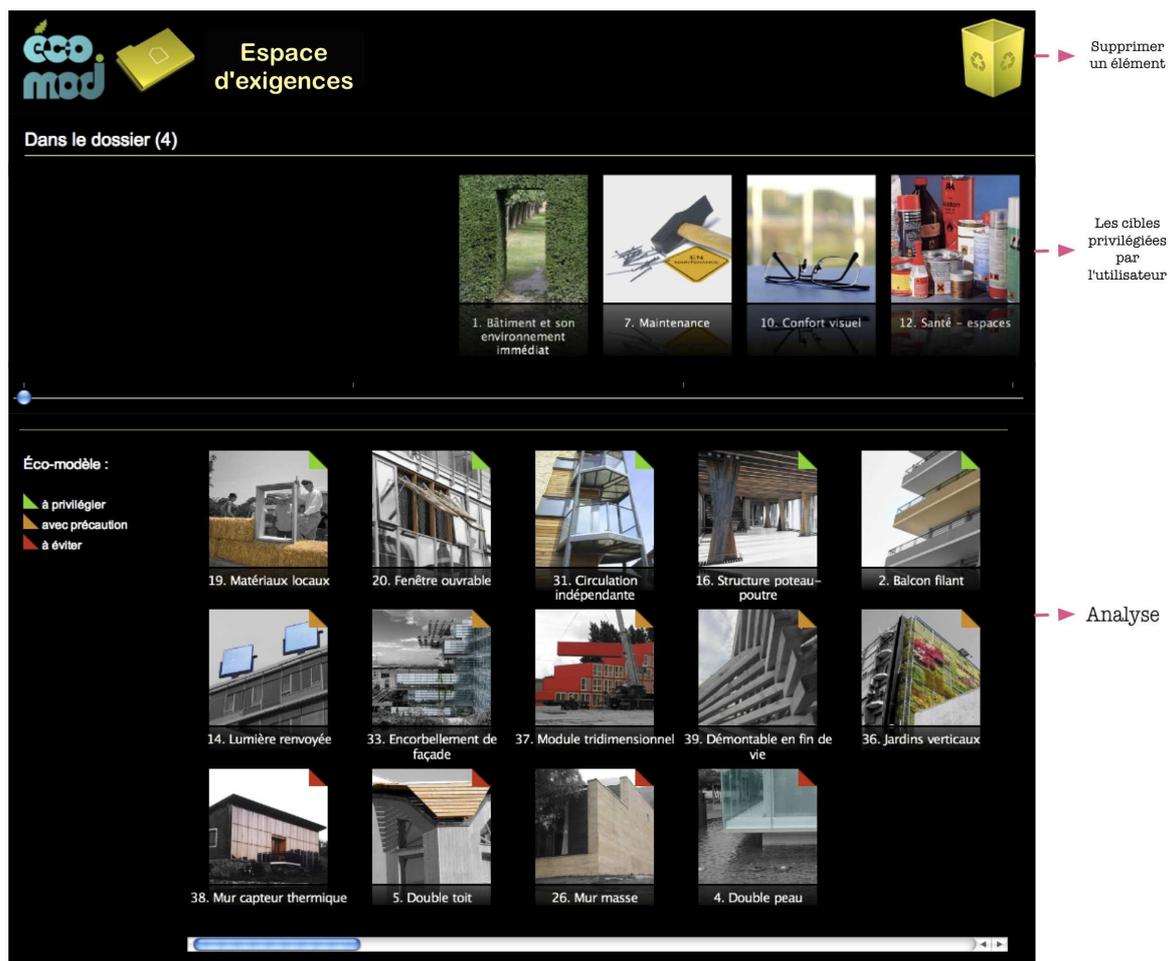


Figure 68 - L'espace d'exigences d'éco.mod [notre recherche]

Puis, une analyse est faite pour guider le concepteur en prenant en compte ses exigences dans le choix de l'éco-modèle. Grâce à cette analyse, certaines recommandations de choix des éco-modèles seront proposées à l'utilisateur.

Par rapport à l'ensemble des exigences de l'utilisateur, trois types d'éco-modèles lui seront communiqués :

- Les éco-modèles à privilégier : ceux qui ont des impacts positifs vis-à-vis de toutes les cibles choisies,
- Les éco-modèles à choisir avec précaution : ceux qui ont des impacts positifs vis-à-vis de certaines cibles choisies et des impacts négatifs vis-à-vis des autres,
- Les éco-modèles à éviter : ceux qui ont des impacts négatifs vis-à-vis de toutes les cibles choisies.

De cette manière, l'utilisateur pourra faire des choix éclairés des éco-modèles en diminuant le temps imparti au choix et en mettant en évidence ses exigences environnementales privilégiées.

4.3.2.5. Espace du scénario

Afin de pouvoir rassembler les choix des éco-modèle faits par l'utilisateur et les étudier dans leur ensemble, un espace virtuel du scénario est proposé. L'utilisateur peut enregistrer ses choix d'éco-modèles progressivement dans cet espace et construire son scénario de conception.

Dans un premier temps, cet espace a pour objectif d'enregistrer les choix de l'utilisateur durant une session de consultation. Cela est réalisable à partir d'un simple geste de glisser-déposer depuis le répertoire des éco-modèles.

D'ailleurs, l'utilisateur a l'accès à la page d'espace du scénario depuis d'autres pages (à l'exception de la page du répertoire des cibles et de cas de réalisation et de la page de l'espace d'exigences).

Une fois un scénario construit, cet espace aidera à étudier les impacts environnementaux du scénario (Figure 69).

Les impacts environnementaux du scénario sont communiqués à l'utilisateur par des qualificatifs:

- favorable,
- sans conséquence,
- divergent,
- défavorable.

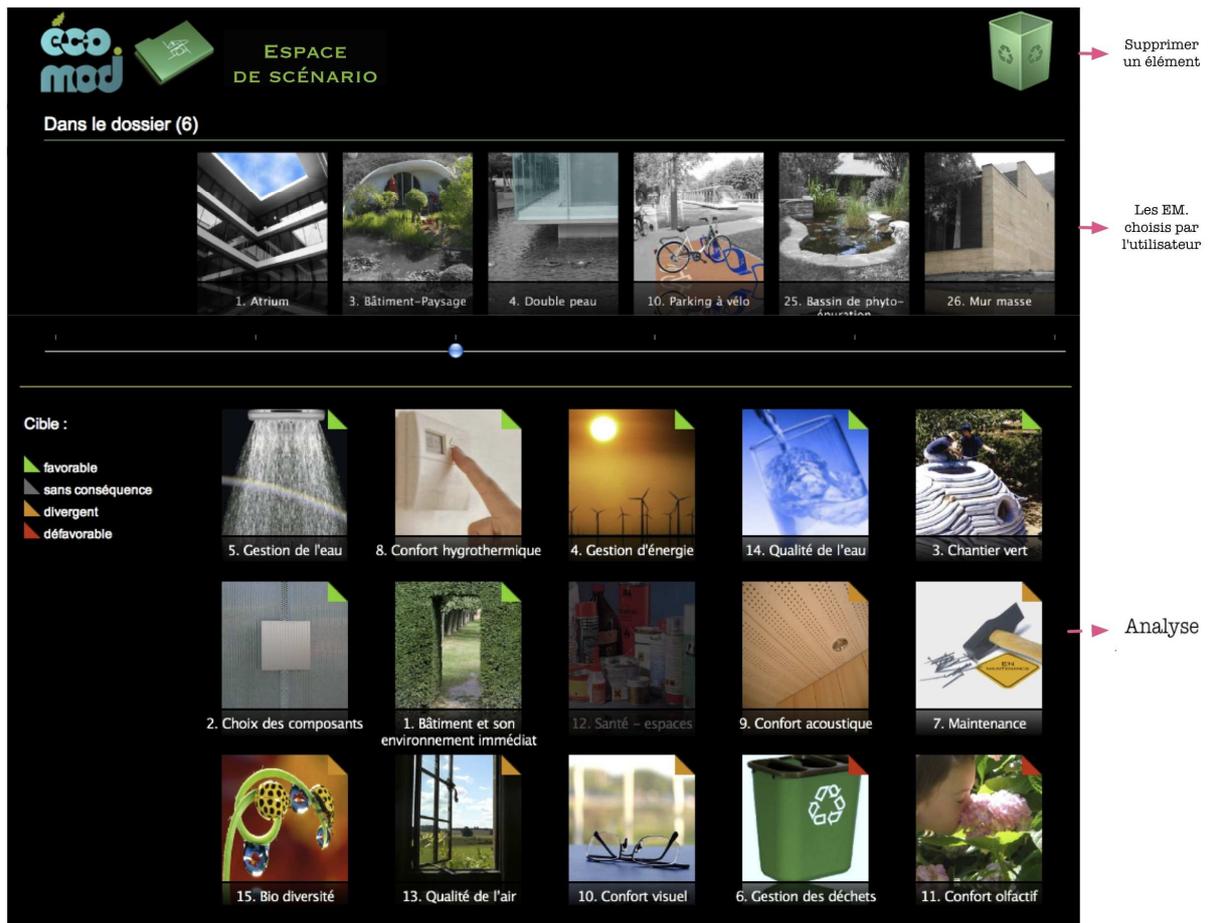


Figure 69 - L'espace du scénario d'éco.mod [notre recherche]

Lorsqu'aucun des éco-modèles choisis n'apporte de réponse à une exigence environnementale - ni positive ni négative - l'impact du scénario vis-à-vis de cette cible est considéré comme étant sans conséquence. Ce type d'impact est indiqué par une image grise de l'icône de la cible.

Lorsque certains éco-modèles du scénario construit répondent à une exigence environnementale et que d'autres sont en opposition, l'impact du scénario vis-à-vis de la cible est considéré comme étant divergent. Ce type d'impact est indiqué par un triangle orangé au coin de l'icône de la cible.

Finalement, lorsque tous les éco-modèles d'un scénario construit sont en opposition avec une même exigence environnementale, l'impact du scénario vis-à-vis de la cible est considéré comme étant défavorable. Ce type d'impact est indiqué par un triangle rouge au coin de l'icône de la cible.

ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS DURABLES

Ces analyses permettront à l'utilisateur de se rendre compte des aspects environnementaux forts et faibles de son scénario pour continuer son travail de conception.

Conclusion de la partie 2

Un éco-modèle est une bonne pratique environnementale, extrait de plusieurs cas de projets architecturaux. Nous pensons qu'une conception basée sur les éco-modèles, grâce à ses capacités d'abstraction, aide l'architecte dans sa démarche de conception sans l'empêcher de suivre sa démarche de créativité. Une telle conception, par la contribution à la scénarisation, peut améliorer les processus de négociation et de communication entre les acteurs de la phase amont d'un projet de conception d'un bâtiment. Cette approche par les éco-modèles s'inscrit dans le cadre d'une conception collaborative par des échanges asynchrones entre les acteurs de la conception de différents projets.

Nous avons proposé une démarche de génération de l'éco-modèle. Cette démarche aide à l'identification des éco-modèles mais aussi facilite l'implémentation des éco-modèles dans le contexte de nouveaux projets. Une modélisation aide à simplifier l'expression de ce regard multi-contexte sur l'éco-modèle. Finalement, une fois l'éco-modèle identifié et généré, il peut être ajouté dans un répertoire ou une banque d'éco-modèles pour des utilisations futures. En réutilisant un éco-modèle, un nouveau projet se construit et celui-ci peut être à son tour ajouté dans le corpus d'étude. Dans ce sens, cette démarche participe à un cycle ouvert aux mises à jour (cf. Figure 51).

Cette démarche est une proposition nouvelle dans le domaine de la conception environnementale de bâtiment même si les contenus sont déjà existants (e.g. Atrium, Patio, Balcon filant). Autrement dit, l'originalité de ce travail est dans le développement de cette démarche et non pas dans la définition des éco-modèles. Car aucun des éco-modèles présentés dans ce travail n'a en soi un caractère d'originalité, dans le sens d'être une nouvelle pratique existante. Au contraire, ils ont été éprouvés par des pratiques existantes, ce qui d'ailleurs, rassure le concepteur sur leur pertinence.

La clarification de cette démarche nous conduit vers l'implémentation des éco-modèles dans une base de données et à l'élaboration d'un outil numérique dans le chapitre suivant.

Cette base de données, associée à une interface de navigation/sélection/analyse, nous a permis de proposer un outil de scénarisation grâce auquel les concepteurs peuvent trouver des éco-modèles pour les aider à formuler leurs besoins. Il faut mentionner que l'outil n'est pas un outil de résolution automatique de problèmes. Il fournit plutôt un *espace de choix* à partir

duquel l'utilisateur-concepteur doit identifier et choisir les éco-modèles les plus pertinents par rapport au contexte de son projet. Suite à ces choix, il peut les déposer dans un *espace de scénario*. Cet espace le conduit vers une analyse d'ensemble de ses choix.

Suite à la définition de la démarche de génération des éco-modèles et à la contribution d'un outil associé, on peut se poser certaines questions sur la démarche de conception à base des éco-modèles :

- Les concepteurs peuvent-ils augmenter la qualité environnementale de leurs bâtiments sans multiplier la durée de la conception et sa complexité ?
- L'outil éco.mod répond t-il aux intentions environnementales des concepteurs ?
- L'outil éco.mod peut-il s'intégrer dans une conception par un groupe ?
- La démarche et son outil associé peuvent-ils augmenter la qualité environnementale des propositions sans diminuer la créativité ?

Afin de répondre à ces questions et de valider nos hypothèses de départ, nous avons effectué deux expérimentations autour de l'outil proposé. Ces deux expérimentations font l'objet de la partie 3 de notre travail.

PARTIE 3 : EXPÉRIMENTATION DE L'OUTIL PROPOSE SUR DEUX CAS

Après avoir proposé la démarche de génération des éco-modèles (cf. Chapitre 3), nous l'avons implémentée dans un outil prototype (cf. 4.1). Ce prototype, ensuite, a été soumis à un test d'utilisation (cf. 4.2). Le test nous a aidé à approfondir les besoins des utilisateurs et à améliorer les contenus de la base de données. Il en résulte le développement de l'outil *éco.mod* (cf. 4.3).

Dans cette partie, nous présentons les deux cas expérimentaux afin de valider à la fois la démarche proposée et son outil associé.

L'objectif de la première expérimentation consistait à prouver les hypothèses de départ à travers la réponse à certaines questions sur l'utilité et l'utilisabilité de l'outil proposé :

- La démarche de conception à l'aide des éco-modèles est-elle pertinente ?
C'est-à-dire, grâce à l'assistance de cet outil, des concepteurs proposent-ils des concepts plus écologiques par rapport à leurs propositions de départ ?

- Quelle est la perception de l'utilisabilité d'éco.mod par les concepteurs ? C'est-à-dire, est-ce que les fonctions de l'outil proposé répondent aux besoins des concepteurs ?

Cette première expérimentation s'est déroulée dans le cadre d'un projet de conception d'un bâtiment d'accueil pour la ferme expérimentale de la Bouzule (cf. 4.2). Les propositions sont évaluées par un outil d'évaluation environnementale, Éco-Profil, et comparées pour connaître les améliorations. D'ailleurs, les utilisateurs ont répondu à un questionnaire afin de connaître leurs retours.

Ensuite, afin de vérifier la possibilité de l'application de l'outil proposé dans le cadre d'une proposition collaborative et créative, nous avons lancé une deuxième expérimentation. Dans cette expérimentation, nous cherchons à répondre à deux questions :

- La démarche de conception à l'aide des éco-modèles, générés dans le (cf. Chapitre 3), peut-elle s'adapter dans le cadre d'un projet créatif ?
- L'outil éco.mod peut-il apporter des points positifs dans le cadre du travail d'une équipe de conception ?

Le sujet de cette deuxième expérimentation consiste en la conception d'un bâtiment de restauration rapide pour le futur. La proposition se fait par une réponse générée d'une équipe de plusieurs concepteurs avec des connaissances et des spécialités très variées. Les observations de la séance, la comparaison des propositions sans et avec éco.mod et les réponses au questionnaire nous ont permis de connaître les points forts et faibles de notre outil.

Enfin, l'analyse des résultats de ces expérimentations nous a permis également de vérifier la capacité de l'intégration d'éco.mod dans la phase amont de la conception.

Chapitre 5 - Expérimentation 1 : Cas de la ferme de la Bouzule

5.1. Protocole de l'expérimentation

Cette expérimentation a pour objectif de vérifier à la fois la pertinence des *éco-modèles* et l'outil *éco.mod*. Plus particulièrement, il vise à valider les hypothèses de départ au sujet de l'amélioration de la qualité finale du projet de conception - au niveau du profil environnemental et de la faisabilité - et de favoriser la reformulation des stratégies environnementales. Cette validation nécessite une mise en œuvre dans une situation de conception réelle avec utilisation par plusieurs personnes. Dans notre cas, le support de l'expérimentation est la conception du bâtiment d'accueil de la ferme de la Bouzule. Par ailleurs, l'outil *éco.mod* étant destiné aux professionnels de la conception du bâtiment, l'expérimentation idéale serait d'avoir une utilisation de l'outil par des professionnels du domaine. Or, il est très difficile de mobiliser plusieurs professionnels, plus particulièrement dans le cas où ils ne perçoivent pas un intérêt direct. Ce constat nous a conduit à faire le choix pour nos expérimentations d'une situation réelle de conception dans un cadre pédagogique avec des étudiants de master en Architecture.

Enfin, une réflexion menée sur plusieurs protocoles d'expérimentation ainsi que les leçons tirées du test du prototype (cf. 4.2) nous ont aidés à faire de nouveaux choix dans le déroulement des séances.

5.1.1. Support de l'expérimentation : la ferme expérimentale de la Bouzule

Cette expérimentation a comme support un sujet semblable à celui du test du prototype : la conception d'un bâtiment d'accueil pour la ferme expérimentale de la Bouzule. Ceci nous a permis à la fois d'économiser le temps de programmation mais aussi d'apporter plus de réponses, à la fois qualitatives et quantitatives, vis-à-vis du projet expérimental de la ferme de la Bouzule. Le programme physique du bâtiment a été antérieurement défini et les données sur le site ont été collectées (Annexe 4). Ces dernières ont été mises à la disposition de cette expérimentation.

L'expérimentation s'est effectuée dans le cadre du module d'« *évaluation environnementale* » du master AME de l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy avec 14

participants. Les participants à cette expérimentation ont des formations initiales variées : Architecture, Architecture intérieure, Génie civil, etc. Cependant, tous ont de l'expérience dans la conception des objets (e.g. bâtiment, structure, espace intérieur, objets industriels,...).

L'outil finalisé dans le cadre de nos travaux, éco.mod, est choisi comme support de la phase amont du processus de conception. Cet outil est nouveau pour tous les participants de cette expérimentation.

5.1.2. Déroulement des séances

Par l'expérience recueillie pendant le test du prototype (cf. 4.2), certaines limites ont été détectées. Dans le protocole du test du prototype, une comparaison entre les deux groupes d'étudiants a été prévue. Cela nous a démontré les limites au moment de l'analyse des résultats.

Cette fois, un protocole différent à celui du test pour les séances de l'expérimentation a été mis au point. En effet, nous cherchons à la fin de cette expérimentation à comparer les propositions de départ de chaque participant (e) avec sa proposition finale. Cette décision a pour but de prendre en compte les connaissances de base variées et les rythmes de travail différents de chaque individu. En conséquence, cela nécessite d'organiser deux séances d'esquisse, la première sans éco.mod et la deuxième avec. Dans ce cas, à la fin de l'expérimentation, tout participant aura consulté durant une séance l'éco.mod. Cela contribue à augmenter le nombre d'utilisateurs et donc d'avis sur l'outil, qui pourront ensuite être recueillis à travers les questionnaires (Annexe 6). De plus, un autre avantage de ce protocole est de confronter aussi les participants à leurs progrès liés à la consultation d'éco.mod. Ainsi, dans cette expérimentation, nous ne disposons que d'un groupe de participant - contre 2 lors de la phase test - mais de deux séances avec des observations variées (Tableau 31).

Tableau 31 - La comparaison des protocoles du test du prototype avec le protocole de cette expérimentation
[notre recherche]

	<i>Groupe</i>	<i>Outil/Groupe</i>	<i>Séance</i>	<i>Outil/ Séance</i>	<i>Sujet</i>	<i>Esquisse</i>	<i>Analyse</i>
Test	2 groupes (GA & GB)	GA avec éco.mod et GB sans	2 séances (S1 & S2)	S1 _{GA} & S2 _{GA} sans éco.mod S1 _{GB} & S2 _{GB} avec éco.mod	1 Sujet	1 ESQ/Pers	Comparaison entre GA & GB
Expérimentation Cas 1	1 groupe	Tous avec éco.mod	2 séances (S1 & S2)	S1 avec et S2 sans éco.mod	1 Sujet	2 ESQ/Pers	Comparaison entre S1 & S2

Quatorze étudiants de la mention du master *Design Global - spécialité Architecture, Modélisation, Environnement* - ont participé à cette expérimentation. Un même sujet de conception a été donné à tous les participants :

« Conception environnementale d'un bâtiment d'accueil pour la ferme de la Bouzule, implanté dans une commune à proximité de Nancy »

Chaque participant doit réaliser une esquisse architecturale de projet dans une première séance (S1), durant environ 3 heures. A l'issue, il doit rendre des dessins (plan, volumétrie, plan masse) mais aussi des intentions environnementales écrites (ESQ1). Cette esquisse (ESQ1) s'effectue sans aucune présentation pédagogique sur la conception environnementale et seulement suite à une courte présentation du site du projet et des résultats attendus par la maîtrise d'ouvrage.

La séance se déroule dans un atelier. Les matériels à la disposition du groupe de participants étaient :

- Un document sur le sujet de conception : programme, contexte actuel et futur du site, etc. (Annexe 4),
- Un plan cadastral du site,
- Des calques et papiers blancs A3 et A4,
- Crayons ou stylos.

Les étudiants, au départ, initialisent leurs travaux de manière autonome et sans être conseillés sur l'utilisation d'un outil ou d'une méthode en particulier. Cela nous permet d'observer leurs façons d'initialiser un projet avec des consultations éventuelles des outils ou méthodes.

Cette esquisse (ESQ1) a fait l'objet d'une évaluation environnementale sur la base d'un outil dédié à cette phase : Éco-Profil⁴⁹ (Évaluation 1).

Durant la deuxième séance (S2), d'environ 4 heures, il est demandé aux participants de rendre une deuxième esquisse (ESQ2), cette fois établie à l'aide d'éco.mod. Une courte présentation très générale sur les fonctionnalités de l'outil est faite avant de commencer cette séance (S2). Cette fois, la séance s'est déroulée dans une salle informatique ayant accès au programme d'éco.mod. Cette deuxième esquisse (ESQ2) a aussi été évaluée pour avoir un nouveau Éco-Profil de la nouvelle proposition (Évaluation 2). À la fin de la deuxième séance (S2), chacun des participants a répondu à un questionnaire.

⁴⁹ Eco-Profil est une méthode d'évaluation environnementale développée au Centre de Recherche en Architecture et en Ingénierie (CRAI) dans le cadre de la thèse de Charline Weissenstein

Finalement, afin de pouvoir présenter les projets à la maîtrise d'ouvrage, il est demandé aux étudiants de rendre leurs projets sous un format unifié et de faire une présentation orale de leurs projets (Figure 70).

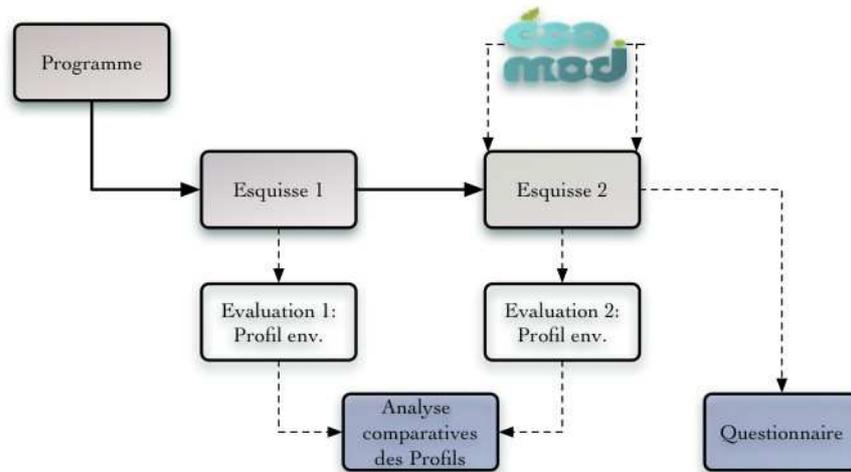


Figure 70 - Protocole de l'expérimentation - cas 1 [notre recherche]

Les Éco-Profiles 1 et 2 ont été analysés par un grille d'évaluation environnementale, afin de connaître les progrès de chaque individu en terme environnemental. Cette analyse nous permet de vérifier le bon fonctionnement d'éco.mod comme un outil d'aide à la phase d'esquisse du projet. À la fin de la séance d'esquisse 2, et juste après avoir utilisé l'éco.mod, il est demandé aux étudiants de répondre à un questionnaire. Les réponses à ce questionnaire et l'analyse des résultats nous ont aidés à vérifier les avantages et les limites détectés par les utilisateurs de manière plus détaillée et fonctionnelle.

5.1.3. Choix de l'outil de présentation

Dans le test du prototype, il a été demandé aux étudiants, dès le départ, d'avoir un rendu final dans un format A3 et la séance d'esquisse s'organisait dans une salle informatique. Cela leur a fait prendre conscience du rendu final et la majorité, très tôt durant la première séance, a commencé la version numérique de leurs esquisses - à l'aide des outils CAO. Cela nous a posé deux problèmes au moment de l'analyse :

- la connaissance des outils CAO a joué un rôle important dans la durée de détermination de leurs idées,
- Certains participants ont très tôt décidé d'arrêter les modifications et les changements dans les modèles numériques 3D qu'ils ont produits pour économiser le temps.

En nous basant sur cette expérience et sur le rôle du dessin dans le « *processus de création* » [Goebl, 1995 ; Kattan, 2009; Marin, 2010], nous avons choisi de demander des esquisses à main levée, utilisant uniquement les outils traditionnels de l'esquisse (Papier et crayon).

En effet, nous pensons que ce choix libère les participants de certaines limites dues à l'utilisation prématurée des outils CAO, sachant que tous les étudiants ne possèdent pas un même niveau de maîtrise de ce type d'outil. Nous pensons que cette approche à la phase d'esquisse leur permet de développer leurs idées sans forcément penser à comment dessiner ou comment représenter avec un outil CAO. À contrario de la représentation de l'objet de conception, l'objectif d'un dessin porte plus particulièrement sur la suggestion d'intentions [Marin, 2010].

L'outil en question, éco.mod, s'attache à la phase amont de la conception dans laquelle ce mode de représentation est nommé *esquisse* et qualifiée de dessin de la pensée.

« *L'esquisse est une représentation personnelle non ou peu normalisée, elle reste floue, incomplète et polymorphe, elle supporte des simulations mentales et conduit à l'auto émergence.* » [Leclercq, 2005].

Selon [Marin, 2010], l'esquisse porte un caractère d' « *indétermination* ». C'est-à-dire qu'elle permet d'aller à l'essentiel et n'introduit la précision que progressivement.

Une esquisse, en effet, peut s'adapter à différents niveaux de conception et communiquer différents aspects d'image mentale du concepteur.

« *L'esquisse, projection d'une idée mentale permet une médiation cognitive (intellectuelle), sémiotique (le signe), sémantique (le sens) et communicationnelle (interne et/ou externe).* » [Deshayes, 2005].

En ce sens, dans notre expérimentation, une fois que les idées ont été élaborées, il a été demandé aux participants de mettre en format leurs propositions. Les brouillons des esquisses sont retenus afin de pouvoir suivre les niveaux de détermination.

Par contre, l'utilisation de l'outil de représentation pour le rendu final était libre de choix entre l'utilisation des outils CAO ou de dessin à main levée. Cela favorise la représentation, mais aussi empêche les changements du concept liés aux difficultés de représentation.

Enfin, les rendus finaux ont été accompagnés d'une présentation individuelle d'une dizaine de minutes. Dans cette présentation, chaque participant a présenté les principes architecturaux et environnementaux de ses propositions. Leurs expressions orales ont aidé à compléter les limites de représentation au format papier.

5.2. Résultats de l'expérimentation

Les résultats de cette expérimentation sont multiples :

- Les observations durant les séances
- Les profils environnementaux des propositions
- Les réponses au questionnaire

Un résultat important de ce travail est de rassembler les 14 propositions et points de vue sur le sujet de la conception de bâtiment d'accueil de la Bouzule.

5.2.1. Observations

5.2.1.1. ESQ1

La première esquisse (ESQ1) nous a permis de déduire les connaissances de chacun des participants concernant la conception environnementale de bâtiments. Durant cette séance, les étudiants ont tous essayé de répondre au programme en même temps que d'introduire des notions environnementales qui leurs étaient connues.

Parmi les observations, nous pouvons mentionner la recherche d'un bon sens par plusieurs participants pour choisir entre leurs idées de départ au niveau de la forme, de l'orientation, etc. Nous pouvons donner certains exemples de ces bons sens autour de la notion de compacité (Figure 71-a), du zonage lumineux (Figure 71-b) ou encore de la direction du vent (Figure 71-c).

Concernant un autre point relevé durant l'observation de la première séance, le recours d'une minorité de participants - 2/14 - aux cibles HQE[®]. Les participants ont souvent cherché à répondre aux principes environnementaux par leurs propres connaissances sur l'orientation par rapport au soleil, la protection ou exposition au vent, etc.

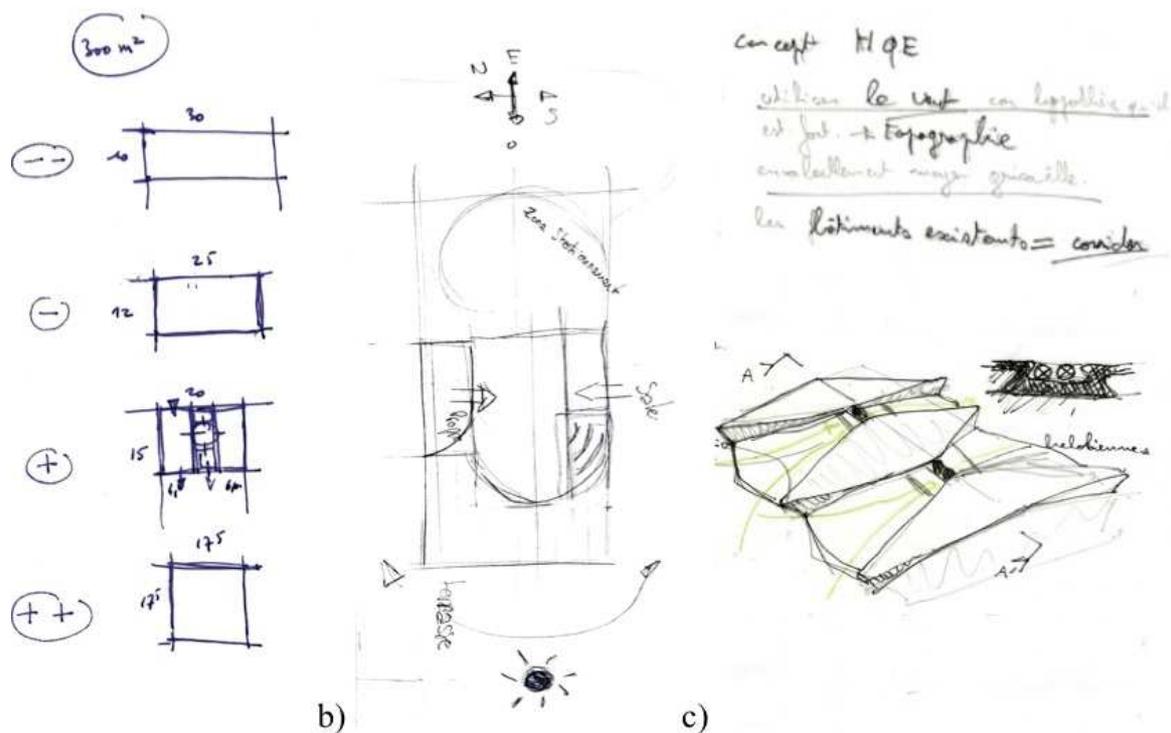


Figure 71 - Ajustement des idées par le bon sens (a- La compacité du bâti, b- L'ensoleillement, c- La direction du vent) durant la première séance

5.2.1.2. ESQ2

Durant la deuxième esquisse, l'outil éco.mod a été mis à la disposition de tous les participants. Au niveau de la navigation, aucun blocage ou perte n'a été remarqué durant les consultations.

Cinq étapes se sont enchaînées durant cette séance :

- Navigation pour la connaissance des matières existantes dans l'environnement d'éco.mod,
- Recherche des éco-modèles,
- Consultation des cas de réalisations et de leurs sources,
- Finaliser l'esquisse,
- Consultation des cibles HQE® et les impacts environnementaux.

Dans une première étape, tous les participants ont mis entre 5 et 15 minutes pour prendre connaissance avec les modes de navigation et les contenus généraux d'éco.mod.

Durant la deuxième étape, tous les participants ont commencé leurs recherches par le répertoire des éco-modèles. Ils ont rapidement pris connaissances des éco-modèles proposés dans le répertoire. Ils en ont approfondi quelques uns, en lisant le contexte conceptuel et les

ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS DURABLES

exemples de réalisation des éco-modèles. Dans plusieurs cas, ils cherchaient à trouver des éco-modèles qui traduisaient leurs intentions précises. Ce point est spécifiquement remarqué quand ils se posent la question de l'existence d'un éco-modèle avec une intention précise dans le répertoire. La durée de consultation d'éco.mod durant cette étape était très variable selon le participant.

Ensuite, ils sont passés à la lecture des cas de réalisation attachés à chaque éco-modèle ; souvent cela les a conduit vers la consultation des références externes - majoritairement les page-webs des projets. Dans cette étape nous avons senti une recherche des informations détaillées et techniques par la plupart des participants - telle que la mise au point des isolations, des doubles peaux, etc. Certains des participants - 4/12 - ont passé plus du temps sur cette étape et ont arrêté leurs navigation dans l'environnement d'éco.mod.

Durant les dernières étapes, les participants ont produit, simultanément, des notes et des dessins (Figure 72).

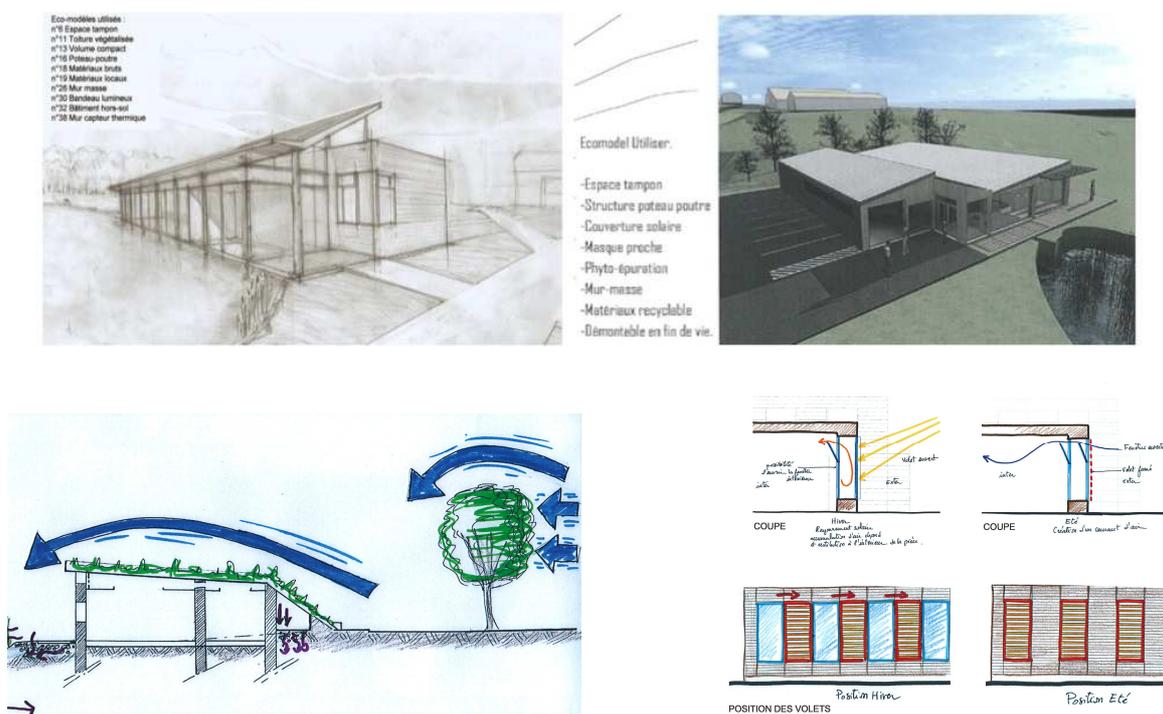


Figure 72 - Quelques exemples des esquisses réalisées en deuxième séance

Sauf dans deux cas, les participants n'ont pas choisi de lancer la recherche des éco-modèles par le répertoire des cibles HQE® durant cette séance.

Enfin, dans une étape de reformulation des exigences environnementales, tous les participants ont consulté les analyses environnementales afin de rédiger leurs intentions environnementales.

5.2.2. Évaluation environnementale

Ayant tous commencé leur conception sans une formation environnementale commune entre eux, les savoirs dans ce domaine étaient très variés. Les connaissances environnementales sont évaluées et représentées par Éco-Profil (Annexe 5). Cette évaluation suit la même méthode utilisée pour les esquisses durant le test, la seule différence est l'ajout d'un axe d'évaluation de l'« *intégration dans le site* ». En effet, nous avons remarqué que certains aspects du concept vis-à-vis du site, telle que la pertinence de la forme (volume) du bâtiment par rapport à la préservation patrimoniale, la compacité et l'économie de terrain et la mise en valeur du site et de la morphologie, ou la valeur ajoutée, sont aussi évaluables au stade de l'esquisse.

Le profil environnemental du concept ou Éco-Profil, est représenté par une visualisation radar. Cette visualisation, avec les indicateurs et leur notation, donne un aperçu global d'ensemble des enjeux mis en avant par le concepteur. L'objectif est de visualiser les intentions environnementales et leur poids dans la conception architecturale de projet.

Finalement, pour éviter les préjugés liés à la connaissance du concepteur, ce travail d'évaluation est effectué par une personne externe à notre recherche⁵⁰ et de manière à ce que les propositions restent anonymes.

5.2.2.1. ÉCO-PROFIL 1

Une évaluation environnementale ou Éco-Profil est effectuée pour la première esquisse de chaque participant (Évaluation 1). Cette évaluation, représentée sous forme d'un tableau de notation accompagné par une visualisation radar, représente les axes environnementaux forts et faibles de chaque projet conduit sans éco.mod (cf. Figure 73).

Par une telle démarche d'évaluation, nous avons obtenu 14 Éco-Profils qui représentent le niveau des exigences environnementales introduit dans les propositions durant la première séance de l'expérimentation.

5.2.2.2. ÉCO-PROFIL 2

De la même façon que pour l'esquisse 1, un Éco-Profil est effectué aussi pour la deuxième esquisse de chaque participant (Évaluation 2) (Figure 73). La représentation reste la même afin de permettre une comparaison par les chiffres avec une visualisation rapide. Cette évaluation représente les axes environnementaux forts et faibles abordés dans l'ensemble des projets conduits à l'aide de l'outil éco.mod.

⁵⁰ Charline Weissenstein, Architecte et doctorante au laboratoire CRAI

ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS DURABLES

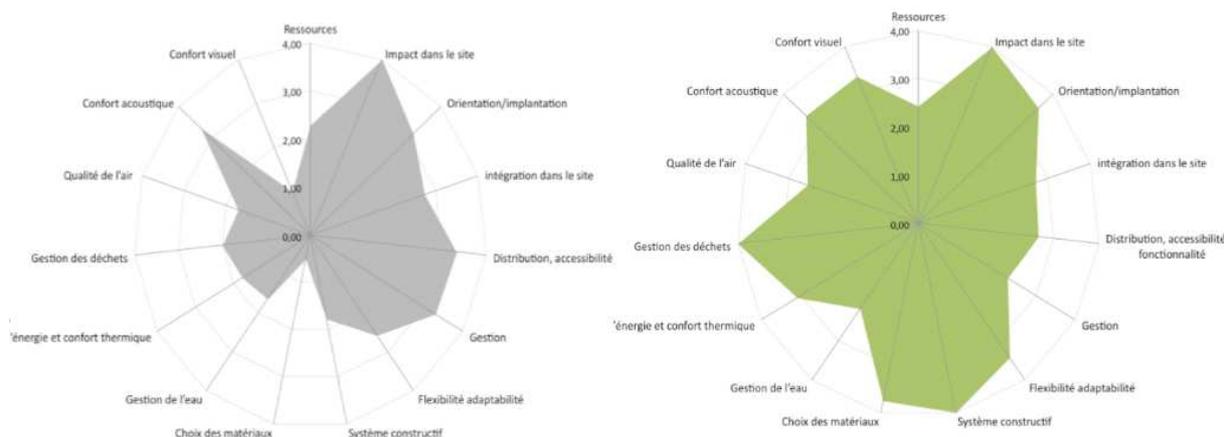


Figure 73 - L'exemple des Éco-Profiles 1 (à gauche) et 2 (à droite) d'un participant [notre recherche]

5.2.2.3. Comparaison des Éco-Profiles 1 et 2

Une fois les deux évaluations réalisées, nous avons comparé les deux résultats. Cela s'effectue en superposant les visualisations des deux résultats de chaque participant. Par cette superposition, nous avons détecté les différences d'Éco-Profil entre une proposition autonome et une proposition à l'aide d'éco.mod.

Dans l'ensemble du groupe, nous avons remarqué une augmentation de la note finale de chacun de participant dans la deuxième esquisse (Figure 74).

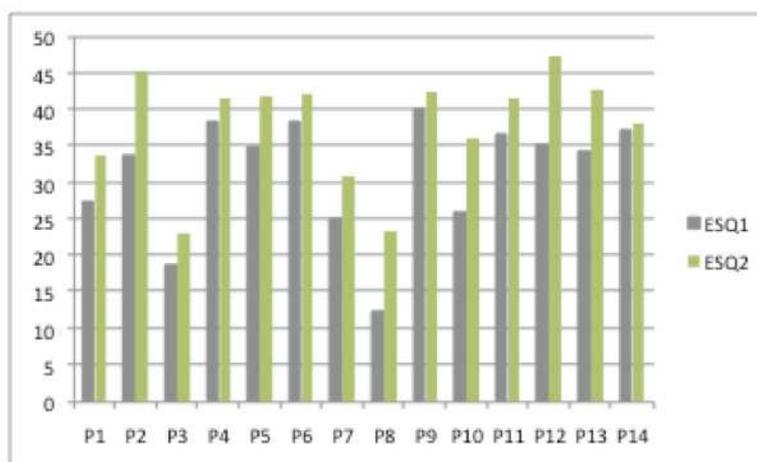


Figure 74 - La comparaison des notes finales des évaluations environnementales et par projet [notre recherche]

5.2.3. Questionnaire

Le questionnaire est un outil important pour évaluer l'efficacité d'éco.mod car il nous permet d'obtenir des réactions directement à partir des utilisateurs. Il nous aide à comprendre et à

travailler sur nos points faibles et facilite notre processus d'amélioration continue. En effet, des changements, modifications ou améliorations sur les différents aspects de l'outil vont être réalisés afin d'atteindre un meilleur niveau d'acceptabilité.

Ce questionnaire devait avoir des questions suffisamment simples pour éviter toute confusion à la lecture ou à la réponse. Les questions doivent contribuer à faire ressortir les aspects positifs et négatifs. Les points positifs peuvent aider à évaluer le travail fait alors que les négatifs peuvent aider à améliorer l'outil.

Suite à la manipulation d'éco.mod, nous avons recueilli les retours des utilisateurs sur la base d'un questionnaire à choix multiple (Annexe 6). Les choix consistaient à donner son degré d'accord avec le contenu du questionnaire selon une note de 1 à 4. La note 4 représente le cas où l'utilisateur est complètement d'accord avec le contenu d'une phrase, le niveau 3 est le cas où il était plutôt d'accord, le niveau 2 représente des situations où l'utilisateur n'est pas d'accord et finalement le niveau 1 montre le total désaccord de l'utilisateur. La valeur 0 est attribuée aux questions sans réponse.

De plus, afin de permettre aux utilisateurs de donner un plus large point de vue, nous avons inclus une section de commentaires à chaque question à choix multiple, ainsi qu'une partie de suggestions et critiques générales à la fin du questionnaire.

Pour élaborer ce questionnaire, nous avons eu recours aux méthodes d'évaluation des systèmes d'information.

« Lorsqu'on évalue un système d'information (et plus généralement un objet finalisé), on doit évaluer sa mise en œuvre (son utilisation) et ses résultats (les buts qu'il permet d'atteindre, leur conformité aux buts visés). » [Tricot, 2000].

Dans un objectif semblable, notre questionnaire est divisé en trois sections. La première section consiste en questions sur l'utilité d'éco.mod : c'est-à-dire examiner la pertinence et la clarté de la démarche qui supporte cet outil. La deuxième section consiste en questions sur l'utilisabilité de l'outil. L'utilisabilité est surtout importante pour connaître l'efficacité des fonctions de l'interface et de navigation. Enfin, une troisième section, incluant les questions de satisfaction générale, est destinée à évaluer l'outil dans sa totalité et faciliter la conclusion. Pour connaître l'efficacité d'éco.mod, les retours des utilisateurs de l'interface - les concepteurs - sont indispensables car c'est aux besoins de l'utilisateur-concepteur que la majorité des fonctions d'éco.mod - 21/23 - sont destinées (cf. 4.1.2).

Enfin, avant de distribuer le questionnaire, une introduction orale sur les objectifs de ce dernier est effectuée pour aider les utilisateurs à comprendre que leurs retours sont cruciaux dans le processus d'amélioration.

5.2.3.1. L'utilité d'éco.mod

L'utilité est une mesure de la satisfaction obtenue par l'usage, d'un bien ou d'un service. Elle est liée à la notion de besoin.

« L'utilité d'un objet finalisé désigne la possibilité d'atteindre un but visé avec cet objet (...) Le concept d'utilité présente une analogie forte avec le concept de pertinence. » [Tricot, 2000].

Cette notion d'utilité dans notre évaluation se trouve très proche de la notion de pertinence largement étudiée par [Mizzaro, 1998].

« L'adéquation entre la finalité de l'objet et le but de l'utilisateur, pour un domaine, une exploitation et un environnement donnés. » [Mizzaro, 1998].

En s'appuyant sur les notions de pertinence abordées par [Mizzaro, 1998] et l'utilité abordée par [Tricot, 2000], nous avons défini que l'évaluation de l'utilité d'éco.mod consiste à connaître : *éco.mod répond-t-il aux besoins des utilisateurs pour lesquels il est conçu ?*

Les besoins qui sont le sujet de cette vérification, sont des besoins pressentis au départ, vérifiés et ajustés suite au test du prototype. À travers les questions abordées dans la section de l'utilité, nous cherchons à confirmer la satisfaction des besoins de l'utilisateur:

La question 1 concerne la validation de l'existence de trois types d'information à travers l'outil. Elle a, en effet, pour objectif d'évaluer une partie de la satisfaction des besoins d'aide à l'expression des préférences environnementales et architecturales dans la multitude des choix initiaux, à favoriser l'accessibilité aux projets récents et à aider à la prise en compte des normes et labels (e.g. HQE[®]) par l'éco.mod.

La question 2 est posée autour de l'existence du contexte conceptuel - le triplet problème/ solution/ contrainte - de l'utilisation d'un éco-modèle. À travers cette question nous comptons savoir si l'existence de ce contexte aide le concepteur dans le choix des éco-modèles.

À travers les questions 3 et 8, nous cherchons à connaître la satisfaction vis-à-vis des contenus des répertoires dans les différents niveaux de contenus, c'est-à-dire, si le besoin d'aide à l'expression des préférences environnementales et architecturales, est satisfait par l'éco.mod.

À noter que le fait de connaître des éco-modèles ou des réalisations attendus par les concepteurs n'est pas proposé dans notre recherche. Ces suggestions nous intéressent surtout pour la suite du travail.

La question 5 cherche à connaître l'efficacité de la réponse apportée au besoin d'aide à l'évaluation des choix. De plus, les questions 7 et 8 sont destinées à évaluer l'efficacité d'éco.mod à donner des propositions améliorant les choix.

Enfin, les questions 4 et 9 tentent d'évaluer si les cas d'utilisation des éco-modèles augmentent la certitude dans les choix. Autrement dit, elle cherche à prouver l'apport des cas de réalisations pour la justification des éco-modèles et vice-versa.

Les questions sur l'utilité d'éco.mod ainsi que la moyenne des réponses du groupe sont présentées dans la figure suivante (Figure 75).

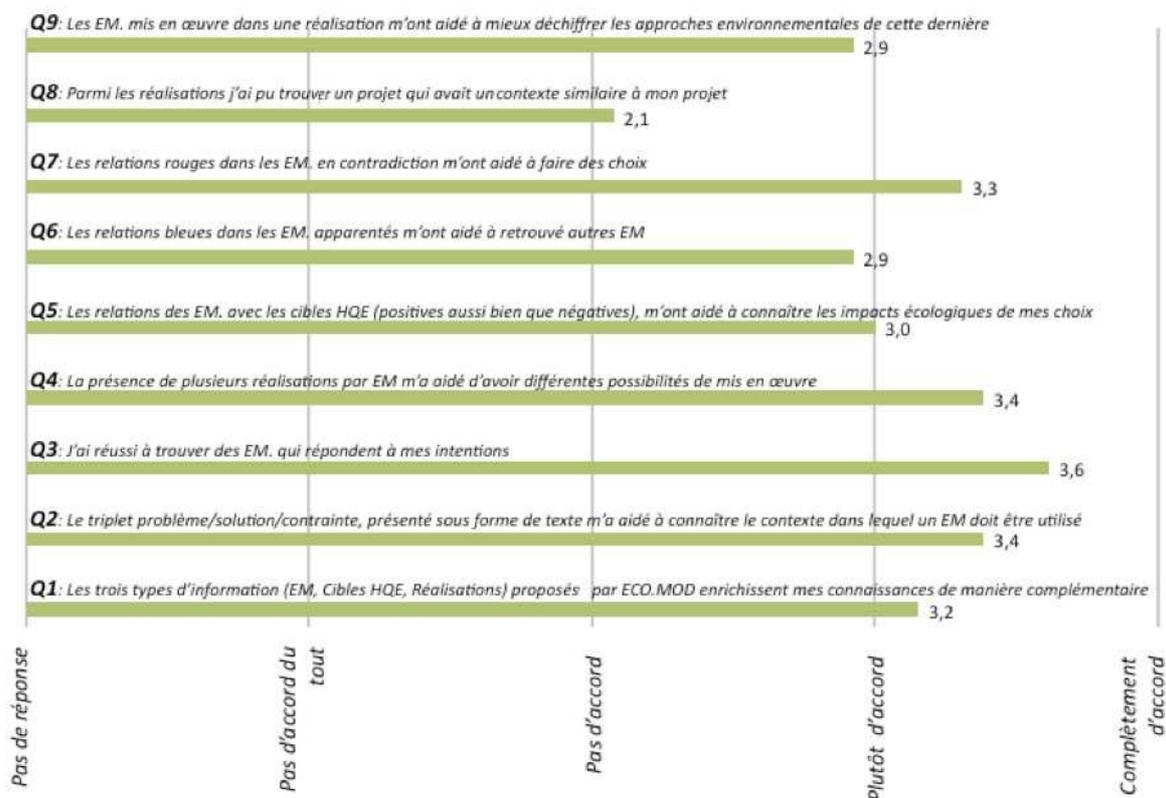


Figure 75 - Les questions sur l'utilité d'éco.mod et les valeurs moyennes des réponses [notre recherche]

Concernant l'utilité d'éco.mod, nous avons retiré un certains nombres de confirmations et de freins présentés ci-dessous.

En réponse à la question relative aux trois types d'information présents à travers l'outil - la question 1 - la majeure partie des participants se déclare plutôt d'accord avec le fait qu'ils enrichissent leurs connaissances de manière complémentaire. En réponse à la question 2, les utilisateurs ont constaté que le triplet - problème/ solution/ contrainte- les aide à contextualiser les éco-modèles.

De plus, la plupart d'entre eux a pu trouver des éco-modèles qui leur convenaient - exprimé par les réponses à la question 3. Ensuite, grâce aux réalisations présentées, ils ont pu percevoir les différentes facettes qu'un éco-modèle peut avoir dans des situations réelles - exprimé par les réponses à la question 4.

En ce qui concerne la réponse à la question 5, la majorité des utilisateurs a constaté que les impacts environnementaux - positifs et négatifs - des éco-modèles les ont aidés à vérifier la pertinence environnementale de leurs choix.

Concernant la partie relationnelle de l'outil, l'efficacité des relations de combinaison - bleues - entre les éco-modèles afin de permettre le prolongement du travail de conception n'a pas été complètement affirmée par les utilisateurs - exprimé par les réponses à la question 6. Cependant, à travers les réponses à la question 7, les utilisateurs ont affirmé la simplification des choix par les relations de contradiction - rouges - entre les éco-modèles. Toutefois, en répondant à la question 8, les utilisateurs ont montré l'insuffisance des réalisations présentées dans le répertoire, certains même ont exprimé qu'ils n'ont pas pu trouver un projet semblable à leur projet de conception.

Enfin, l'utilité de la présentation des éco-modèles empruntée par chaque réalisation est relativement bien perçue et confirmée comme étant un moyen de connaître les aspects écologiques forts d'un bâtiment. Ce dernier point est exprimé à travers les réponses à la question 9.

5.2.3.2. L'utilisabilité d'éco.mod

La deuxième section du questionnaire porte, plus particulièrement, sur l'évaluation de la perception de l'utilisabilité d'éco.mod par les utilisateurs. Nous avons tenté de connaître si les sujets atteignent le but dans de bonnes conditions.

« L'utilisabilité d'un objet finalisé désigne la possibilité d'utilisation de cet objet. » [Tricot, 2000].

Les participants sont questionnés sur les principaux caractères de l'interface : la simplicité de manipulation, l'initiation de la recherche, les graphismes et les icônes, les recueils de navigation, l'ordre de présentation, le filtrage. L'objectif est de valider que les fonctions mises au point dans l'éco.mod sont capables de répondre aux besoins de l'utilisateur.

En ce sens, la question 10 interroge le participant sur la dimension intuitive de l'outil : la manipulation d'éco.mod.

Puis, la question 11 porte sur la variété des entrées pour initier la recherche. Ensuite, les questions 12, 13, 14 et 15 interrogent sur la pertinence des icônes et des images des différents niveaux de navigation.

De plus, par les questions 16 et 17, nous cherchons à connaître l’avis de l’utilisateur sur l’ordre de présentation et sur les numérotations des éléments présentés dans les répertoires.

Enfin, la dernière question de cette section nous amène à interroger l’utilisateur sur la pertinence du filtrage des réalisations.

L’ensemble de ces questions ainsi que la valeur moyenne des réponses sont présentés dans la figure suivante (Figure 76).

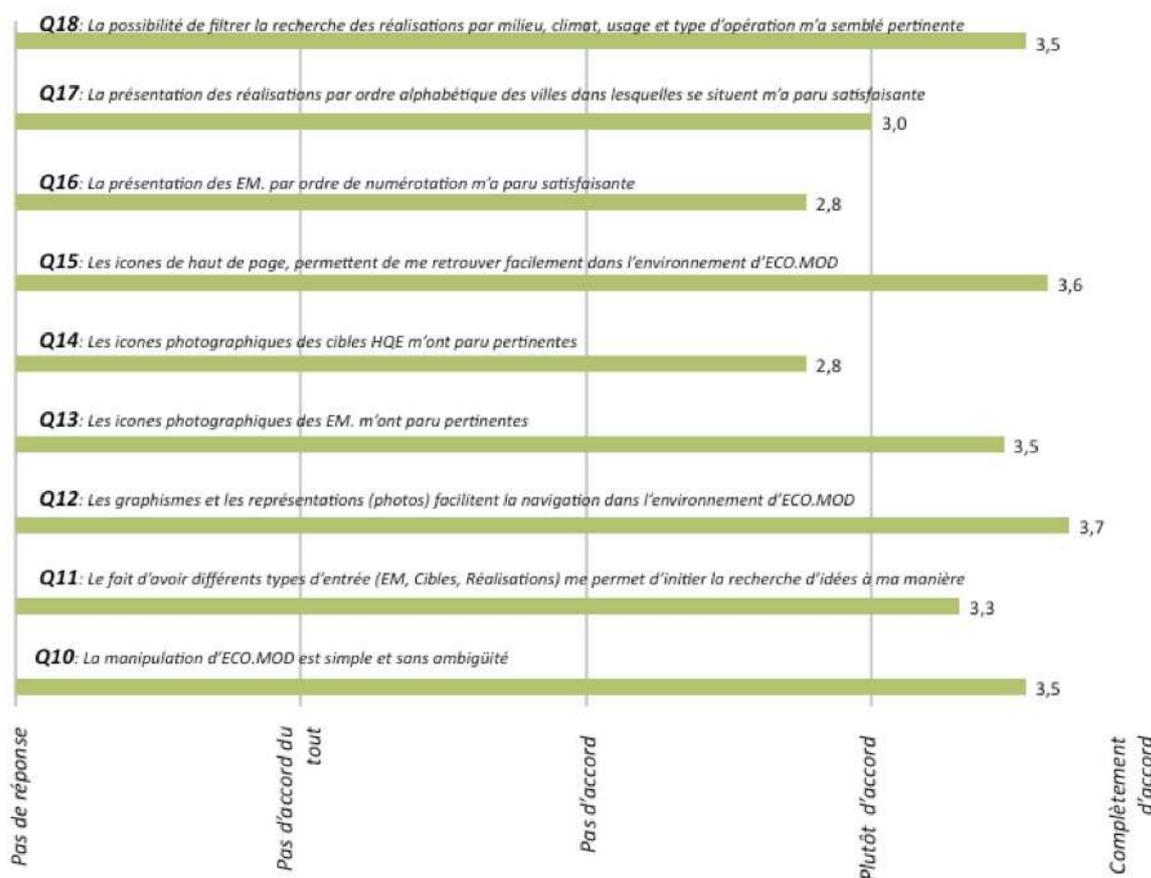


Figure 76 - Les questions sur l'utilisabilité d'eco.mod et les valeurs moyennes des réponses [notre recherche]

Concernant le résultat, la dimension intuitive de l’outil c’est-à-dire sa manipulation a été reconnue comme simple et sans ambiguïté - exprimé par les réponses à la question 10. De plus, par les réponses à la question 11, les utilisateurs ont globalement apprécié l’existence des trois icônes d’entrée et les ont qualifiées comme étant important pour initier leurs recherches. D’une manière générale, les utilisateurs ont qualifié, par leurs réponses à la

question 12, les graphismes et les représentations de l'éco.mod comme étant facilitateurs de navigation.

Au sujet des questions relatives à la pertinence des icônes photographiques des éco-modèles, une majorité des participants a répondu par l'affirmative à la question 13. Par contre, les réponses à la question 14 démontrent que certaines icônes des cibles HQE n'étaient pas suffisamment lisibles pour certains utilisateurs.

En ce qui concerne les réponses à la question 15, les icônes en haut de page sont qualifiées comme étant une assistance à la navigation et importantes pour éliminer le sentiment de perte dans l'environnement d'éco.mod.

En ce qui concerne les réponses à la question 15, les icônes en haut de page sont qualifiées comme étant une assistance à la navigation et importantes pour éliminer le sentiment de perte dans l'environnement d'éco.mod.

Concernant l'ordre de présentation, les réponses à la question 16 démontrent que les numérotations des éco-modèles ne sont pas forcément convaincantes pour les utilisateurs, tandis que la plupart a qualifié l'ordre de présentation des réalisations par ville comme satisfaisante à travers les réponses à la question 17.

Enfin, la filtration des réalisations par plusieurs critères - climat, milieu, opération et l'usage - interrogée à travers la question 18, est qualifiée comme étant pertinente de l'avis de la majorité des utilisateurs.

5.2.3.3. L'avis général sur l'éco.mod

Dans une dernière section du questionnaire, nous avons tenté d'évaluer l'appréciation générale des utilisateurs pour notre outil afin d'en tirer des conclusions sur l'acceptabilité de notre proposition sans entrer dans les détails.

D'ailleurs, afin de mieux connaître leur position générale par rapport à l'efficacité de l'outil, nous avons cherché à connaître leur volonté de l'utiliser dans le cadre d'un autre projet.

En général, les utilisateurs ont apprécié cet outil et ont répondu à la question 19 par la positive. De plus, à travers les réponses à la question 20, ils ont déclaré leur volonté d'utiliser cet outil dans le cadre d'un projet futur (Figure 77).

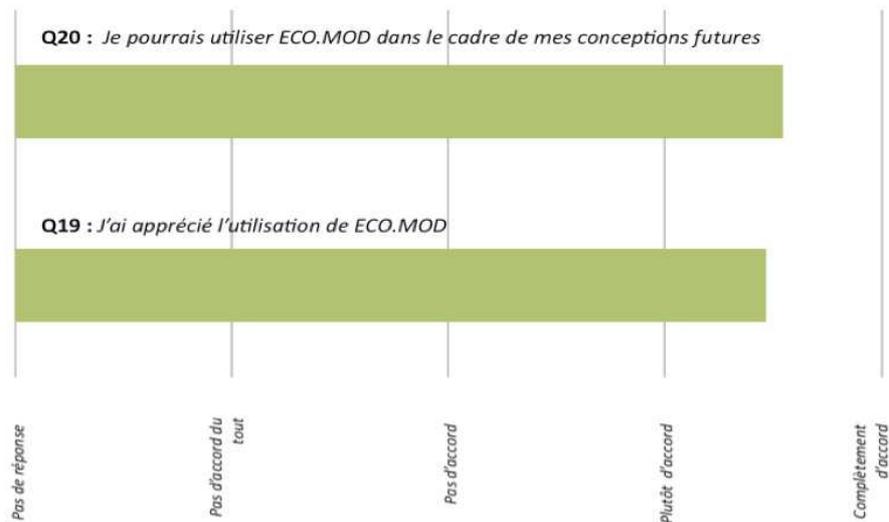


Figure 77 - Les questions générales sur l'éco.mod et les valeurs moyennes des réponses [notre recherche]

5.2.3.4. Limites de notre questionnaire

L'utilité et l'utilisabilité de l'outil sont à relativiser par le nombre limité des utilisateurs - 14 participants. Ces derniers ne sont pas tous très familiers avec la conception environnementale et les outils existants. Il aurait été utile de compléter notre analyse par l'avis d'utilisateurs plus professionnellement expérimentés dans le domaine de l'architecture environnementale.

De plus, nous pourrions imaginer l'existence d'autres critères que l'utilité et l'utilisabilité pour le choix d'un outil de conception, comme le prix, le temps, les matériels et les supports informatiques nécessaires, etc.

5.3. Analyses des résultats

Nous avons obtenu trois types de résultats : les observations durant les séances, les évaluations environnementales des concepts proposés et les réponses au questionnaire. Ils sont à la base de nos analyses afin de déchiffrer les avantages et les inconvénients de notre outil éco.mod.

5.3.1. Analyse des observations

En ce qui concerne les observations des deux séances de travail, nous avons étudié nos notes d'observations, les entrevues ponctuelles avec les participants sur l'avancement de leurs travaux et les brouillons de réalisation. Nous avons défini quatre niveaux d'action :

- Étude du sujet,
- Dessin,
- Verbalisation,

- Consultation.

L'étude du sujet consiste à mesurer le temps qu'un participant dépense pour connaître le site, le programme ou intégrer son travail par rapport à celui-ci par l'action de revenir sur les données.

L'action du dessin concerne les moments qu'un participant passe à retrouver une forme pour sa proposition (par un plan du site, un plan d'étage, une élévation, une coupe ou une perspective).

La verbalisation des intentions est considérée comme étant les moments durant lesquels un participant définit ses propositions par des écrits, en notant les éco-modèles ou les cibles consultées ou tout simplement en ajoutant une flèche à son dessin afin de décrire ses propres propositions.

Enfin, la consultation externe consiste dans les échanges avec les autres participants ou avec les observateurs. Les entrevues durant les séances sont analysées ici.

L'objectif est de connaître les différences et les similarités entre le fait d'aborder une conception environnementale avec éco.mod et de manière autonome. Afin de permettre cette comparaison, une fiche d'observation est remplie pour chacun des participants, une fois durant la conception autonome et une autre fois pendant la conception à l'aide d'éco.mod. Ces fiches sont ensuite rassemblées pour l'ensemble du groupe. Un résumé des actions du groupe est proposé ci-dessous (Tableau 32).

Tableau 32 - Fiche d'observation des séances [notre recherche]

<i>Action</i>	<i>Action détaillée</i>	<i>ESQ1</i>	<i>ESQ2</i>
<i>Étude du sujet</i>	Programme	32	14
	Site : plan, photos	33	17
<i>Dessin</i>	Perspective	21	40
	Plan d'étage, section, élévation	40	31
	Plan du site	25	14
<i>Verbalisation des intentions</i>	Décrire par une cible	1	3
	Décrire par un EM	0	65
	Décrire par une stratégie générale	26	24
	Décrire par une solution détaillée	21	49
<i>Consultation externe</i>	Questionner les autres participants	17	14
	Questionner un observateur	26	22

Nous marquons le nombre détecté d'action pour chaque type, sachant que chaque action notée représente environ 4 à 5 minutes du temps du processus de conception⁵¹. Nous pensons que cette approche nous permet de connaître les changements dans le processus de conception durant la deuxième séance par rapport à la première. Il faut mentionner qu'une action importante de la conception, la réflexion, n'est pas abordée dans les observations, car elle est difficilement mesurable. Nos observations nous conduisent au constat que durant la première séance, les participants ont dépensé plus de temps sur l'étude du sujet, tandis que durant la deuxième séance, la verbalisation des intentions occupe la majorité de leur temps (Figure 78).

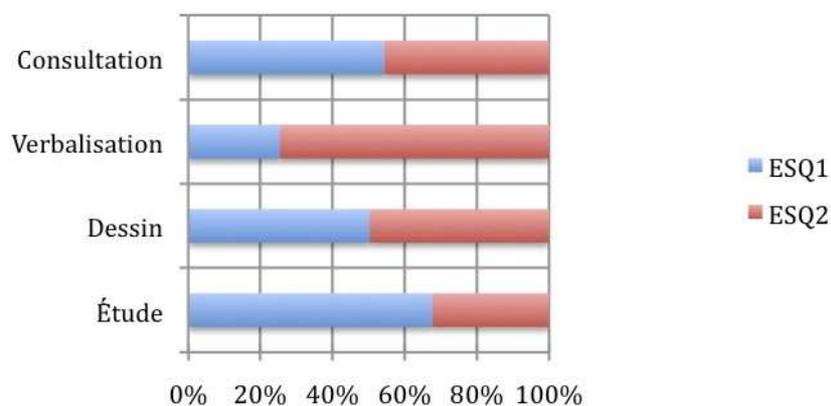


Figure 78 - La durée des actions durant les séances 1 et 2 [notre recherche]

Le fait d'avoir un même sujet pour les deux séances explique le temps économisé à l'étude du sujet durant la deuxième séance. De plus, nous pensons que la consultation d'éco.mod a encouragé les participants à verbaliser leurs intentions. Cette verbalisation est effectuée la plupart du temps à l'aide des éco-modèles, mais aussi par des stratégies globales ou/et des solutions détaillées.

D'ailleurs, il faut souligner que les participants cherchaient souvent des explications pour les solutions plus détaillées à travers les références données par des cas de réalisation. Cette action a parfois été menée très loin. Par exemple, dans un cas de conception, la forme proposée par le participant est très semblable à un cas de réalisation existante dans le répertoire des réalisations. Ce qui alerte sur le risque, toutefois faible - 1/14 - d'imitation par l'utilisation des cas antérieurs.

⁵¹ Les actions prenant moins de 4-5 minutes ne sont pas notées dans cette fiche et les actions prenant plus de 5 minutes sont divisées en plusieurs actions. Par exemple un dessin de plan d'étage prenant 22 minutes est noté par une valeur 4 devant l'action du dessin.

ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS DURABLES

Un calcul du temps consacré aux actions abordées nous emmène à une moyenne d'environ 75 minutes de travail pendant la première séance, contre une moyenne d'environ 100 minutes pour la deuxième séance. Cette différence d'environ 25 minutes est surtout liée à consultation d'éco.mod pour la verbalisation des intentions environnementales.

En conclusion, la consultation d'éco.mod, selon nos observations, a pu s'intégrer dans la démarche de conception des participants. Non seulement cela ne leur a pas imposés un travail de plus mais aussi cela les a aidé dans leur action de verbalisation des intentions environnementales.

5.3.2. Analyse des profils environnementaux

Afin de commencer notre travail d'analyse de l'apport environnemental d'éco.mod dans processus de conception, nous avons réuni les moyennes des résultats des Éco-Profiles des esquisses 1 et 2 de l'ensemble du groupe (Figure 79).

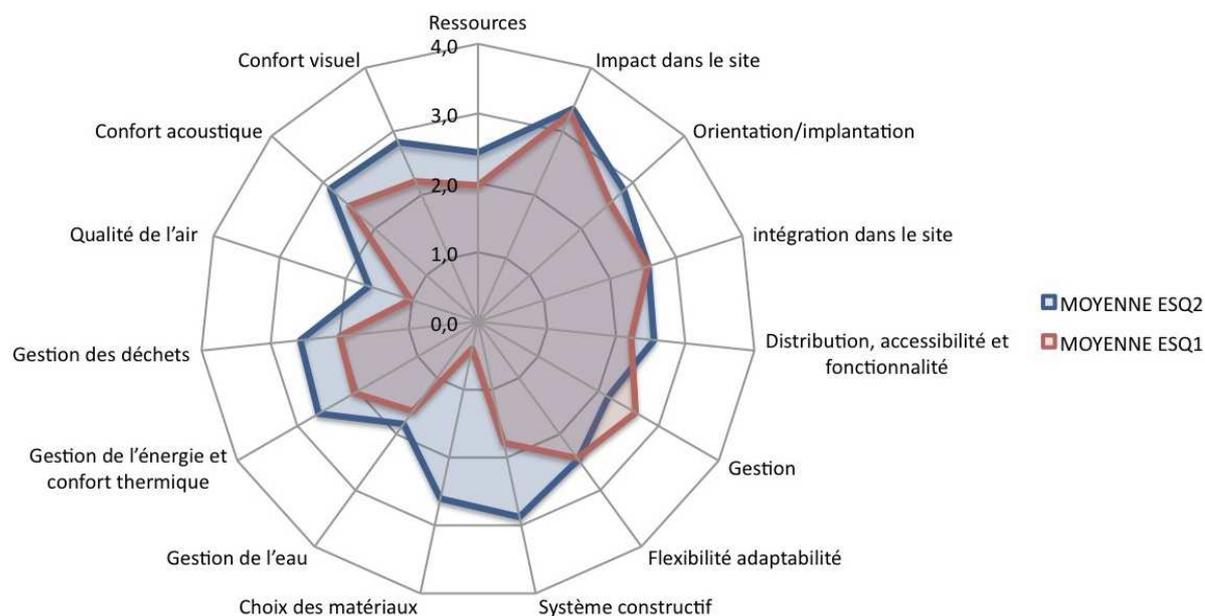


Figure 79 - La superposition des moyennes des Éco-Profiles des esquisses 1 et 2 pour l'ensemble des participants [notre recherche]

À partir de cette comparaison, nous avons pris conscience des différences des moyennes à propos de chaque thématique (axe) de la conception environnementale. Pour donner un sens à ces différences, nous avons défini la notion de progrès par thématique environnementale dans le cadre de notre analyse. Cette notion se base sur la différence entre la moyenne des notes finales et initiales obtenues sur une même thématique. Afin de différencier les écarts identiques entre la note de l'esquisse 1 et la note de l'esquisse 2, nous postulons que le progrès est plus important quand la valeur de la note initiale est proche de 0 que lorsqu'elle en est éloignée.

Nous constatons que l'application des racines des notes nous permet de dissocier les notes initiales :

$$\text{Progrès} = (\sqrt{\text{Note ESQ2}} - \sqrt{\text{Note ESQ1}}) / \sqrt{\text{Note idéale}}$$

Par exemple pour une même thématique et avec un même écart – 2 - les progrès de A et de B sont :

$$\text{Progrès A} = (\sqrt{3} - \sqrt{1}) / \sqrt{4} = 0.32$$

$$\text{Progrès B} = (\sqrt{4} - \sqrt{2}) / \sqrt{4} = 0.28$$

De cette manière, les améliorations des participants avec peu de connaissances initiales sur la conception environnementale - ceux qui ont des notes plus basses durant la première séance - sont considérées comme étant un plus grand progrès par rapport aux participants avec un niveau de connaissance de départ plus haut.

En ce sens, le progrès est mesuré par une valeur entre 0 et 1 qui définit les écarts atténués par rapport au niveau de départ.

D'une même façon, la moyenne du progrès du groupe sur une thématique sera calculée de la manière suivante :

$$\text{Moyenne du progrès} = (\sqrt{\text{Note moyenne d'ESQ2}} - \sqrt{\text{Note moyenne d'ESQ1}}) / \sqrt{\text{Note idéale}}$$

Ensuite, nous rassemblons l'ensemble de ces valeurs de progrès, calculées pour chaque thématique, dans le (Tableau 33) afin de poursuivre notre travail d'analyse.

Tableau 33 - Les progrès moyens du groupe par thématiques environnementales durant l'expérimentation [notre recherche]

<i>Thématique</i>	<i>Progrès</i>
Ressources	0.08
Impact dans le site	0.01
Orientation/implantation	0.04
Intégration dans le site	0.00
Distribution, accessibilité et fonctionnalité	0.05
Gestion	-0.07
Flexibilité, adaptabilité	0.00
Système constructif	0.18
Choix des matériaux	0.49
Gestion de l'eau	0.04
Gestion de l'énergie et confort thermique	0.10
Gestion des déchets	0.09
Qualité de l'air	0.14
Confort acoustique	0.06
Confort visuel	0.10

Nous avons remarqué que les progrès les plus élevés sont dans les thématiques de *choix de matériaux* et de *système constructif*. L'éco.mod a pu influencer ce progrès, mais en analysant l'avancement sur le projet à partir des esquisses, nous nous sommes rendus compte qu'une partie de ce progrès est sûrement lié à l'avancement du projet et à plus de réflexions sur les aspects matériels du concept.

Par contre, le progrès sur les thématiques de *gestion de l'énergie*, *gestion des déchets*, *qualité de l'air* et *qualité visuelle* est fortement lié à l'assistance d'éco.mod.

D'ailleurs, nous avons constaté un recul sur la thématique de *gestion* : seulement 4 participants ont fait des progrès sur cette thématique. Pour mieux comprendre ce recul, nous avons tenté d'approfondir plus sur cette thématique. L'évaluation de la *gestion* au stade de l'esquisse, selon la grille proposée par l'Éco-Profil, consiste à évaluer les critères suivants :

- Faciliter l'entretien et l'accès aux équipements techniques,
- Accessibilité à l'entretien de l'ouvrage,
- Différenciation des zones de confort.

Ces derniers critères touchent à la fois les organisations spatiales et les impacts environnementaux de la proposition. Parmi les 10 participants qui ont connu ce recul, le premier critère est le plus critique : 50 % de recul.

En nous basant sur les esquisses et les intentions, nous avons remarqué que ce recul est surtout lié à deux éléments :

- Une mauvaise gestion des circulations internes et externes (e.g. parking, accès piéton, couloir) qui se rapproche plutôt d'un défaut de conception architecturale,
- Un manque de connaissance sur les locaux techniques et sur leurs nécessités (e.g. l'introduction du système de méthanisation pour exploiter les besoins en l'électricité ou le réchauffement du bâtiment et cela sans trop maîtriser ce type de solution technique). Cela se rapproche plutôt d'un défaut de conception environnementale.

Par ailleurs, malgré l'existence d'une cible HQE[®] nommée « *entretien et maintenance* », nous constatons le manque d'un éco-modèle qui suggère des intentions particulières sur ce sujet. Un tel éco-modèle pourrait éviter ce recul. L'introduction de cet éco-modèle est envisageable dans la perspective du développement de la base de données.

En général, parmi les 15 thématiques environnementales, 13 font l'objet d'un progrès, ce qui corrobore un effet positif de l'utilisation d'éco.mod durant la phase d'esquisse. Par ce résultat, nous pouvons argumenter sur une validation relative de l'apport environnemental d'éco.mod durant la phase amont du processus de conception. Bien évidemment, cet apport peut être augmenté par des améliorations futures.

5.3.3. Analyse des questionnaires

Afin de valider les hypothèses de départ et de connaître les avantages et les limites de l'outil proposé, nous analysons les retours des participants grâce aux réponses récoltées par le questionnaire. Cette analyse est effectuée par deux méthodes différentes afin de permettre d'obtenir le maximum d'informations. Enfin, une analyse des commentaires nous aide à connaître les avis plus précis des utilisateurs d'éco.mod.

5.3.3.1. Analyse par l'Abaque de Régnier ou couleur-vote

Pour analyser les retours des participants, nous avons choisi d'utiliser la méthode d'abaque de Régnier⁵² ou couleur-vote. Cette méthode consiste à symboliser les réponses par des couleurs. Les questions doivent être courtes et sous forme d'affirmations. Cette méthode est surtout reconnue dans les animations des sessions de travail en groupe et la validation des systèmes d'information par des experts. Elle présente de nombreux avantages :

« It allows intuitive opinions to be collected, self-censorship is restricted, the playful aspect of color allows experts to express categorical opinions »

52 Une méthode proposée par François Régnier en 1973

En ce sens, les avantages perçus par ordre d'importance d'affirmation sont:

- la fonction de filtration est une fonction satisfaisante pour les utilisateurs - Q18,
- les utilisateurs ont apprécié l'utilisation de l'éco.mod - Q19,
- le triplet du contexte conceptuel d'un éco-modèle - problème/solution/contrainte - aide les utilisateurs à connaître le contexte dans lequel un éco-modèle doit être utilisé - Q2,
- les relations rouges parmi les éco-modèles en contradiction favorisent les choix - Q7,
- les graphismes et les représentations – icônes - facilitent la navigation dans l'environnement d'éco.mod - Q12,

Par contre, certaines limites d'éco.mod sont perçues par les utilisateurs. Elles consistent par ordre d'importance à:

- les icônes photographiques des cibles HQE[®] ne sont pas toutes pertinentes - Q14,
- le répertoire des réalisations ne possède pas suffisamment de variété. En conséquence, il contient peu de projets avec des contextes physiques semblables au projet de conception d'un bâtiment d'accueil comme la ferme expérimentale de la Bouzule - Q8,
- les éco-modèles mis en œuvre dans une réalisation ne sont pas suffisants pour déchiffrer ses approches environnementales - Q9,
- les relations bleues (de combinaison) dans les éco-modèles apparentés ne sont pas suffisamment claires pour aider l'utilisateur pour construire son scénario - Q6,
- l'intérêt de la numérotation des éco-modèles n'est pas suffisamment clair pour les utilisateurs - Q16,

Les réponses aux autres questions – 1, 3, 4, 5, 10, 11, 13, 15, 17 - sont moins évidentes à analyser. Ces questions occupent les positions du centre de la mosaïque. Nous pensons qu'elles doivent faire l'objet d'approfondissements sur les commentaires (cf. 5.3.3.3).

5.3.3.2. Analyse d'utilité et d'utilisabilité

[Tricot, 2000] propose un cadre formel pour interpréter les liens entre l'utilisabilité et l'utilité des systèmes d'information et le généraliser à l'évaluation d'objets finalisés.

« L'utilisabilité et l'utilité peuvent être mesurées en termes absolus (possibilité vs impossibilité) ou relatifs (efficacité, efficience, degré d'atteinte du but ou d'utilisation de l'objet finalisé). » [Tricot, 2000].

Il propose d'évaluer le degré d'utilité relative à un groupe d'utilisateurs et le degré

d'utilisabilité relative à l'objet, c'est-à-dire de connaître quelle proportion du but a été atteinte et quelles fonctions de l'objet ont été utilisées ?

En nous rapprochant de ce point de vue, nous essayons d'évaluer le degré relatif de l'utilisabilité et de l'utilité par rapport aux utilisateurs. Pour pouvoir aborder un tel type d'évaluation, l'objet évalué doit disposer d'une question sur son utilité et d'une question sur son utilisabilité. En ce sens, nous remarquons que parmi l'ensemble de l'environnement d'éco.mod, deux objets importants abordés dans notre questionnaire nous permettent d'appliquer cette approche analytique: l'initialisation de la recherche - les entrées - et le répertoire des réalisations - les cas.

i. Analyse 1 : le rapport utilité/utilisabilité des entrées

Les questions Q1 et Q11 ont interrogé les utilisateurs sur l'utilité et l'utilisabilité de l'existence de trois différentes entrées. Chaque entrée représente une catégorie d'information proposée à l'utilisateur. Nous produisons une matrice à travers les retours des utilisateurs afin de poursuivre l'analyse (Figure 81). L'axe horizontal représente les retours sur l'utilité de trois entrées et l'axe vertical sur l'utilisabilité du même objet. Par ailleurs, des étiquettes de données viennent représenter la fréquence des réponses.

En nous appuyant sur cette matrice, nous pouvons visualiser les retours et formaliser ce propos de la manière suivante (Utilité =X, Utilisabilité = Y) :

$$X = \Sigma\{4*4, 4*3, 3*3, 2*3, 4*2, 3*2\} = 57$$

$$Y = \Sigma\{4*4, 4*4, 4*4, 3*3, 3*3, 2*2\} = 70$$

Donc, le degré d'évaluation est : $Utilité/Utilisabilité = X/Y = 0.8$

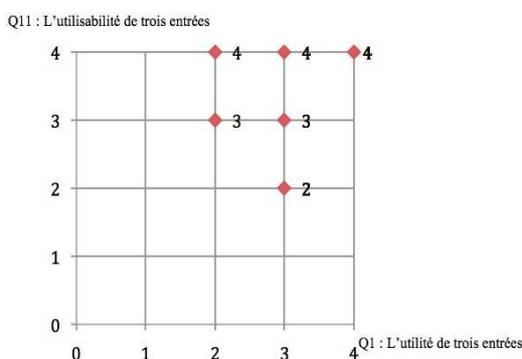


Figure 81 - La matrice des retours des participants sur l'utilité et l'utilisabilité des trois entrées [notre recherche]

À partir de ce résultat, nous pouvons savoir que l'existence des trois entrées d'éco.mod est reconnue par les participants comme *utilisable et plutôt utile*.

Cette diminution du taux d'utilité par rapport à l'utilisabilité est surtout liée au manque de considération d'un besoin : pouvoir accéder directement aux informations techniques et détaillées de constructions environnementales.

Ce besoin est mis en discussion avec les participants dans les séances suivantes de l'expérimentation. Il en résulte que ce besoin est reconnu comme un besoin non lié à la phase en question - esquisse. En ce sens, nous ne considérons pas ce manque comme une limite de l'utilité d'éco.mod mais comme un sujet qui pourra être intéressant pour l'extension de l'outil et notamment pour une adaptation éventuelle aux phases plus avancées du projet de la conception de bâtiments.

ii. Analyse 2 : le rapport utilité/utilisabilité des cas de réalisation présentés

Les questions Q8 et Q18 ont interrogé l'utilisateur sur le répertoire des réalisations selon les deux points de vue de l'utilité et de l'utilisabilité. Une matrice de visualisation des retours est effectuée de manière semblable à l'analyse précédente (Figure 82).

En nous appuyant sur les retours, nous constatons que l'avis des participants sur l'objet des cas de réalisation est très varié. Nous formalisons ces retours de la manière suivante (Utilité = X, Utilisabilité = Y) :

$$X = \Sigma\{4*4, 4*3, 3*3, 4*2, 3*2, 4*1, 3*1, 3*0\} = 58$$

$$Y = \Sigma\{4*4, 4*4, 4*4, 4*4, 3*3, 3*3, 3*3, 3*3\} = 100$$

Donc le degré d'évaluation de l'objet est : $Utilité/Utilisabilité = X/Y = 0.6$

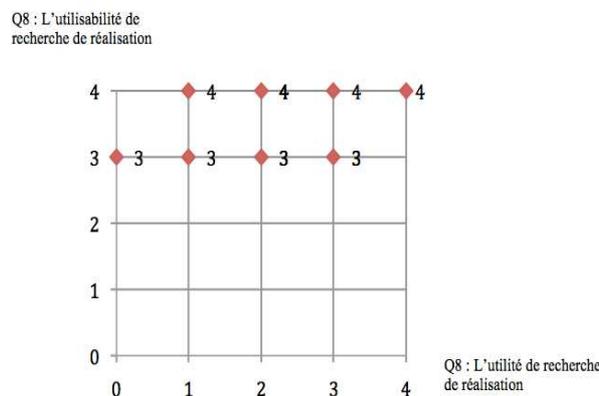


Figure 82 - La matrice des retours des participants sur l'utilité et l'utilisabilité du répertoire des réalisations [notre recherche]

Nous traduisons ce résultat par très *utilisable mais répondant peu aux besoins*.

Ce peu d'utilité reconnu peut être approfondie par les commentaires reçus. Souvent ces derniers concernent le nombre limité des réalisations (e.g. « *Bibliothèque à enrichir* »). Donc, nous pouvons interpréter que malgré ce retour constatant l'insuffisance des éléments par rapport aux besoins des utilisateurs, il ne remet pas en question l'utilité de l'existence d'un tel répertoire. Toutefois, les participants demandent son agrandissement quantitatif.

Par ailleurs, le site du sujet de l'expérimentation étant dans un milieu *isolé*, l'éco.mod avec ses 178 réalisations ne dispose que de 18 cas de réalisations situées dans de tels milieux. Cela veut dire qu'à travers un filtrage par le milieu - qui est un des quatre facteurs de filtration - les usagers n'avaient accès qu'à 10% des réalisations. Cela peut être une raison forte pour laquelle l'utilité de la recherche parmi le répertoire des réalisations est perçue comme répondant peu aux besoins des usagers.

5.3.3.3. Conclusion sur les commentaires

À part les commentaires sur chaque question, les participants sont priés à la fin du questionnaire de commenter librement les avantages et les limites de l'outil. Ces commentaires ont été regroupés et représentés dans le (Tableau 34).

Tableau 34 - Les commentaires sur les avantages et les limites de l'éco.mod [notre recherche]

	<i>Avantages</i>	<i>Points d'amélioration</i>
<i>Utilité</i>	<p>Le contexte conceptuel de l'éco-modèle, présenté sous forme du texte par le triplet Problème/Solution/Contrainte, aide à reconnaître le contexte de la réutilisation</p> <p>Les relations rouges, parmi les éco-modèles en contradiction, facilitent le choix et aident à la définition du scénario</p>	<p>Enrichissement de la base de données avec plus de réalisations</p>
<i>Utilisabilité</i>	<p>La filtration des cas par rapport au contexte aide dans le travail analogique</p> <p>Les graphiques et les icônes facilitent la navigation dans l'environnement d'éco.mod</p>	<p>Changements des images de certaines icônes des cibles HQE®</p> <p>Clarification d'ordre de la présentation des éco-modèles et de leur numérotation</p>
<i>Générale</i>	<p>éco.mod est apprécié par les utilisateurs et sera l'objet d'une prochaine utilisation volontaire</p>	

5.3.3.4. Conclusion sur les retours du questionnaire

Le questionnaire étant divisé en trois sections, nous avons trois type de retour sur l'éco.mod (Figure 83). Les retours sur les trois sections étaient plutôt positives. Nous obtenons 75% de satisfaction sur la totalité (utilité, utilisabilité et général) de l'utilisation de l'éco.mod.

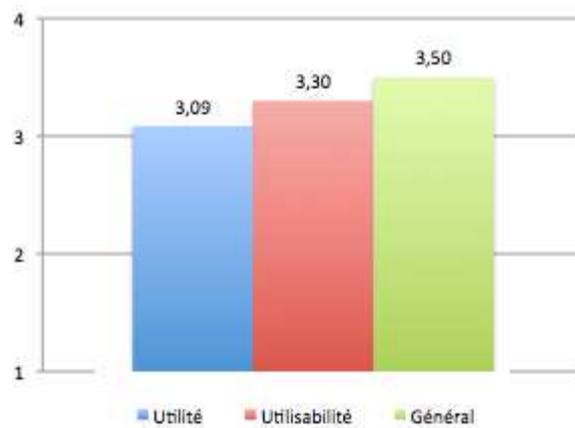


Figure 83 - Les moyennes des retours du groupe par section de questionnaire [notre recherche]

La grande majorité des utilisateurs a exprimé ses appréciations générales et ses volontés concernant la réutilisation de cet outil dans ses futurs projets.

En nous appuyant sur l'analyse de ces retours, nous pouvons y assortir une validation relative au groupe de nos besoins pressentis de départ. Les fonctions prévues dans l'éco.mod peuvent être aussi reconnues comme étant efficaces.

Par contre, des analyses plus précises nous ont permis de cerner certains besoins qu'il est nécessaire d'approfondir lors de l'extension de l'outil. Ces besoins satisfaits pourront conduire à la mise en place de nouvelles fonctions ou à l'amélioration des fonctions existantes.

Chapitre 6 - Expérimentation 2 : Cas d'un bâtiment de restauration rapide en 2050

6.1. Support pédagogique et les objectifs de l'expérimentation

Ce cas d'expérimentation se déroule dans le cadre d'un projet nommé « *Challenges des Ateliers GAIA* ». Ce projet consiste à un travail en commun d'étudiants issus de l'ENSGSI⁵³, de l'EEIGM⁵⁴ et de l'ENSA⁵⁵ sur des problématiques d'ingénierie urbaine. Un haut degré de créativité est attendu au niveau des propositions.

Le sujet sur lequel nous sommes intervenus consiste en conception d'un bâtiment de restauration rapide en 2050 suite à un appel à concours par une entreprise. Ce bâtiment est envisagé au centre ville de Nancy et doit faire l'objet d'une conception environnementale. L'équipe de conception est composée de 5 étudiants dont 4 sont des étudiants en ingénierie de différents domaines et un d'architecture.

Notre intervention dans le cadre de ce projet s'est effectuée dans le rôle d'assister la génération des idées dans la phase d'esquisse. Au moment de l'intervention, l'équipe a déjà réalisé une proposition autonome qui n'a pas réussi à satisfaire les attentes du jury. Par ce fait, nous disposons déjà d'une proposition sans consultation d'éco.mod. Notre intervention permet à la fois d'aider ce projet à faire une nouvelle proposition au jury et de mettre à l'épreuve des faits l'utilité d'éco.mod dans le cadre d'une conception collaborative, multidisciplinaire et créative..

6.2. Protocole de l'expérimentation

Pour organiser cette expérimentation, nous avons suivi un protocole différent du test du prototype et du premier cas d'expérimentation. En effet, cette nouvelle expérimentation s'est déroulée durant une séance de 6 heures. Au début de cette séance, nous avons clarifié avec l'équipe d'étudiants le protocole qui contient 5 étapes :

- Étape 1 : la co-définition du programme (durée de 30 minutes).

53 Ecole Nationale Supérieure en Génie des Systèmes Industriels

54 Ecole Européenne d'Ingénieurs en Génie des Matériaux

55 Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy

- Étape 2 : la consultation d'éco.mod et la production des scénarios et des esquisses par deux binômes d'étudiants ingénieur (durée de 120 minutes).
- Étape 3 : Formalisation et présentation des propositions de chaque binôme (durée de 45 minutes).
- Étape 4 : Regroupement des deux scénarios sous une seule forme architecturale (l'étudiant en architecture intervient à cette phase pour aider l'esquisse des propositions en commun) (durée de 120 minutes).
- Étape 5 : Préparation des synthèses sur les propositions finales (durée de 45 minutes).

L'étape 1 conduit à la clarification du programme physique du bâtiment à concevoir. Ce programme est défini selon des hypothèses à trois niveaux :

- au niveau du comportement humain en 2050,
- au niveau de l'urbanisme et de la mobilité urbaine,
- au niveau des technologies mises au point dans les services de restaurations rapides.

Au niveau du comportement humain, et dans la perspective d'une société durable, le besoin d'avoir une diversité d'espace est abordée. En ce sens, les espaces de restauration sur place et à emporter qui existent aujourd'hui sont prévus d'être accompagnés par des espaces de détente et de lecture. D'ailleurs, vu l'incertitude du nombre de clients, le concept prévoit une proposition flexible afin de prendre en compte des réductions ou des ajouts de superficie en cas de besoin.

Au niveau de l'urbanisme et de la mobilité urbaine et dans la perspective d'une ville durable, il est convenu de prévoir les arrivées des clients à pied ou par des deux roues.

Au niveau des technologies mises au point dans les services de restaurations rapides, il est décidé de recevoir la plupart des clients par des distributeurs automatiques.

À l'étape 2 de la séance, les 4 étudiants en ingénierie par binômes de travail sont assistés par l'éco.mod. Après 120 minutes de travail, chaque groupe a produit un scénario à partir des éco-modèles. En parallèle, chaque groupe a produit une esquisse de sa proposition.

Ensuite, à l'étape 3, chaque binôme a présenté sa proposition qui a introduit le passage au travail collectif.

Durant l'étape 4, un travail de l'ensemble de l'équipe durant 120 minutes a conduit à trouver des compromis entre les deux propositions en prenant en compte le maximum des éco-modèles proposés. Ce travail a pour objectif de mettre ensemble les deux scénarios sous la forme d'un scénario et d'une esquisse en commun. C'est durant cette étape que l'étudiant en architecture prend le crayon en main et aide à mettre en forme la proposition en commun. L'équipe fait donc l'expérience de moments de doute dans le choix parmi les éco-modèles. Pour aider son choix, elle se réfère souvent aux analyses environnementales des éco-modèles.

Enfin, dans une dernière étape de la séance, les étudiants se réunissent autour de la proposition en commun afin d'ajouter les justifications des choix et les descriptions nécessaires pour compléter leurs dessins par des textes. Dans cette étape, ils citent les cas de réalisation, les éco-modèles et les cibles pour justifier leurs choix architecturaux et environnementaux.

6.3. Résultats et Analyses

6.3.1. Projet sans éco.mod

Comme nous l'avons déjà spécifié, au moment de notre intervention, les participants ont déjà proposé un concept pour le bâtiment de restauration rapide en 2050, de manière autonome et sans consultation d'aucun outil d'aide à la conception (Figure 84). Il s'agit d'un bâtiment modulaire de plusieurs étages qui contient des niveaux différents - nommés dans le projet comme des modules - avec différentes ambiances.

Les grands principes abordés dans l'architecture de ce bâtiment sont exprimés comme étant : la créativité, l'exotisme, l'imaginaire, la nature et la maison. Ensuite, chaque grand principe est suivi pour produire l'architecture et les ambiances internes du bâtiment.

Les principes sur lesquels la proposition se base sont des idées majoritairement globales n'ayant pas forcément de lien avec le domaine de l'architecture. Ces principes sont souvent exprimés dans le travail par des images représentatives. D'ailleurs, dans cette première proposition, nous constatons la difficulté de rester à l'échelle d'un bâtiment de restauration rapide. La proposition est tendue vers une échelle beaucoup plus importante qui rappelle un bâtiment multifonctionnel.

L'équipe a consacré un temps considérable à la définition des détails architecturaux et des aménagements internes - voir les ameublements - ce qui est hors sujet. C'est pourquoi il

convient de plus avancer sur le concept du bâtiment à l'étape d'esquisse. En effet, multiplier les ambiances internes et des niveaux - nommé dans ce travail les modules - très variés a conduit à une ambiguïté pour déchiffrer la proposition de la phase d'esquisse.

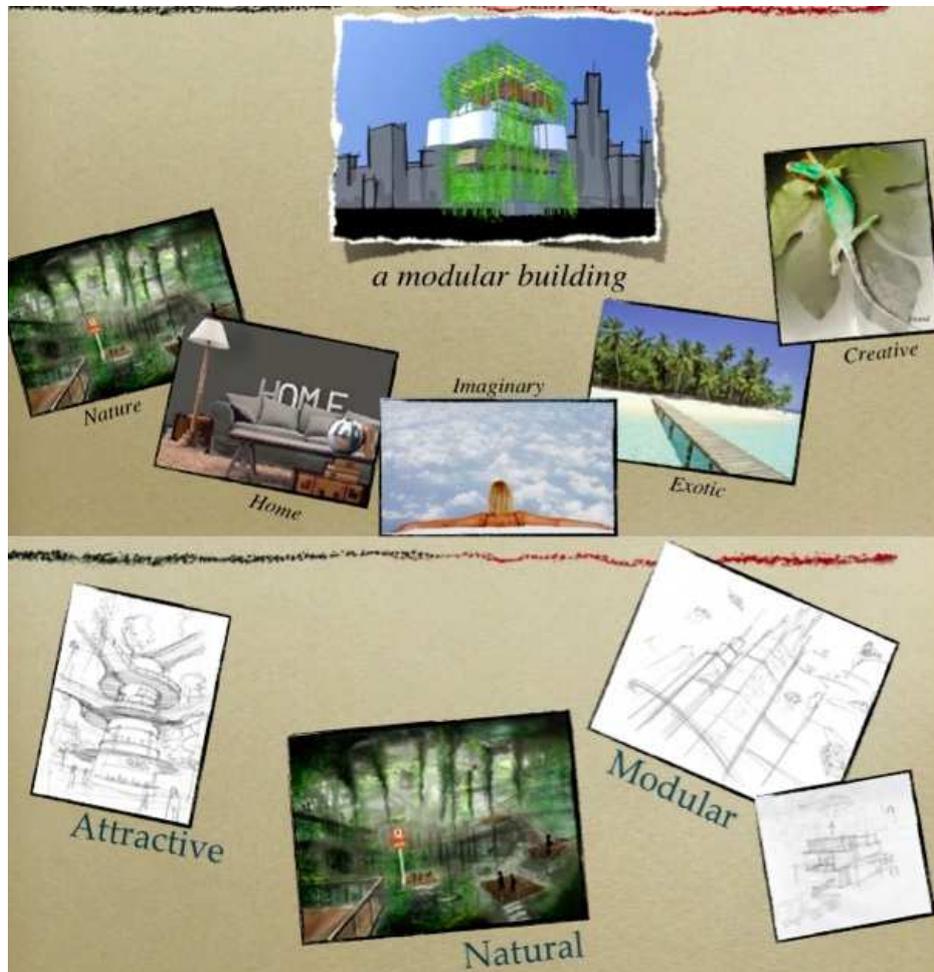


Figure 84 - Les grands principes architecturaux abordés par le groupe pour le développement de la proposition sans outil

Nous pensons que les points précédents ainsi que le peu d'originalité et de clarté dans la proposition ont conduit le jury à refuser cette proposition. En conséquence, ils ont demandé de produire une nouvelle proposition pour ce projet dans un délai très court : 1 semaine.

6.3.2. Projet avec éco.mod

Durant l'expérimentation, les étudiants ont recommencé leur travail depuis la détermination du programme de conception jusqu'à l'esquisse de la proposition. Les principes généraux de la conception du bâtiment, au moment de la définition collective du programme, se sont exprimés comme : l'accessibilité à vélo, la transparence, la luminosité, la modularité - cette

fois dans le sens de flexibilité - et la participation du bâtiment dans le concept d'une ville verte.

Ensuite, c'est pour achever leur travail d'esquisse qu'ils ont fait appel à notre outil. Ils ont élaboré deux scénarios en parallèle à l'aide d'éco.mod (Figure 85) pour achever deux propositions.

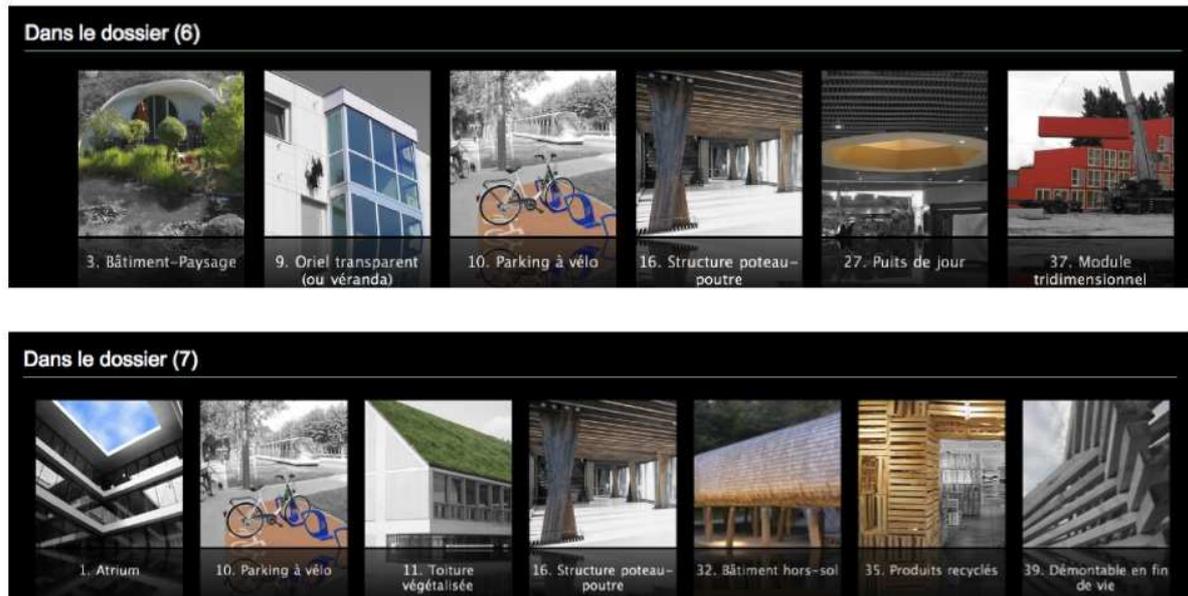


Figure 85 - Les deux scénarios abordés dans l'étape 2 de l'expérimentation [notre recherche]

Puis, les étudiants ont essayé de mettre ensemble leurs idées afin de converger vers une seule proposition. Pour ce faire, ils se sont confrontés à la fois à l'étude des éco-modèles, les fonctions prévues par le bâtiment et les ambiances souhaitées.

Les points de convergence des scénarios consistent en deux éco-modèles : Parking à vélo et Structure poteau-poutre. Les autres éco-modèles sont mis à l'étude pour choisir les plus pertinents pour répondre aux fonctions et aux ambiances et produire un scénario en commun.

Les idées de Bâtiment-paysage et de Toit végétalisé se sont rejoints très rapidement par une combinaison et la proposition d'une forme intégrale : Un toit végétalisé qui rejoint le sol. Pour s'assurer de la faisabilité de cette idée, les participants se sont référés à des cas de réalisation existants (e.g. Europos Parkas à Vilnius, Maison organique à Zurich, ...). Pour aider au développement de cette idée et dans la continuité du programme prédéfini, ils ont consacré l'espace couvert par la végétation pour l'usage de « *salle de sieste* » (cf. Figure 88-d). Ensuite, pour assurer une luminosité et la transparence dans le cas de changement d'usage, ils

ont ouvert cet espace vers le sud par des grandes baies vitrées. Ultérieurement, par un débordement de façade, ils ont suivi l'idée d'avoir des Masques proches.

Après l'étude des deux scénarios, nous avons constaté que la poursuite du principe de modularité du bâtiment a conduit au choix de différents éco-modèles par les deux binômes : le premier, pour exprimer cette idée, a utilisé le Module tridimensionnel et le second, le Démontable en fin de vie et les Produits recyclés. La première proposition a interprété la notion de modularité par des parties de bâtiment qui s'additionnent ou qui se réduisent facilement. L'autre binôme a interprété cette notion par une partie de bâtiment construit avec des bois recyclés et par un mode de construction qui permet d'être démonté en toute facilité en fin de vie pour une prochaine utilisation des produits. Les deux idées ont pu se rejoindre facilement par le développement d'un bâtiment construit avec une Structure poteau-poutre et des Produits recyclés. Cette partie du bâtiment est un Module tridimensionnel à ajouter au bâtiment qui est facilement Démontable en fin de vie. D'ailleurs cette partie du bâtiment a été gardée car proposée dans un des deux scénarios, comme un Bâtiment hors sol et sur pilotis afin de permettre un accès piéton et un Parking à vélo en dessous.

Un des points de divergence entre les deux propositions est sur l'utilisation de l'Atrium dans une et la combinaison de Véranda avec Puits du jour dans l'autre. La première proposition consiste à mettre en place un atrium dans la salle de restauration. Dans l'autre, l'idée est tournée vers la mise en place d'un Puits du jour pour le deuxième étage du bâtiment sur pilotis qui redevient une forme de Véranda ou de serre sur pilotis et qui contient des végétations.

Pour être assisté dans leur décision, l'ensemble de l'équipe a consulté l'analyse environnementale proposée par éco.mod. Pour ce faire, les éco-modèles choisis sont formalisés sous la forme d'un scénario unique appelé « scénario en commun ». A noter que ce scénario ne comprenait ni l'Atrium, ni la Véranda et ni le Puits du jour. Puis, une analyse environnementale est faite par comparaison du scénario en commun avec un scénario comprenant l'ajout de l'Atrium en premier lieu, puis l'ajout de la Véranda et du Puits du jour (Figure 86).

La comparaison des deux analyses les a convaincu de choisir le scénario contenant le Puits du jour et la Véranda. Un tel choix permet au scénario d'offrir un meilleur confort olfactif.

ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS DURABLES

Enfin, un scénario commun à l'équipe, avec la présence de 11 éco-modèles, est décidé (Figure 87) et le développement d'esquisse est poursuivi (Figure 88).

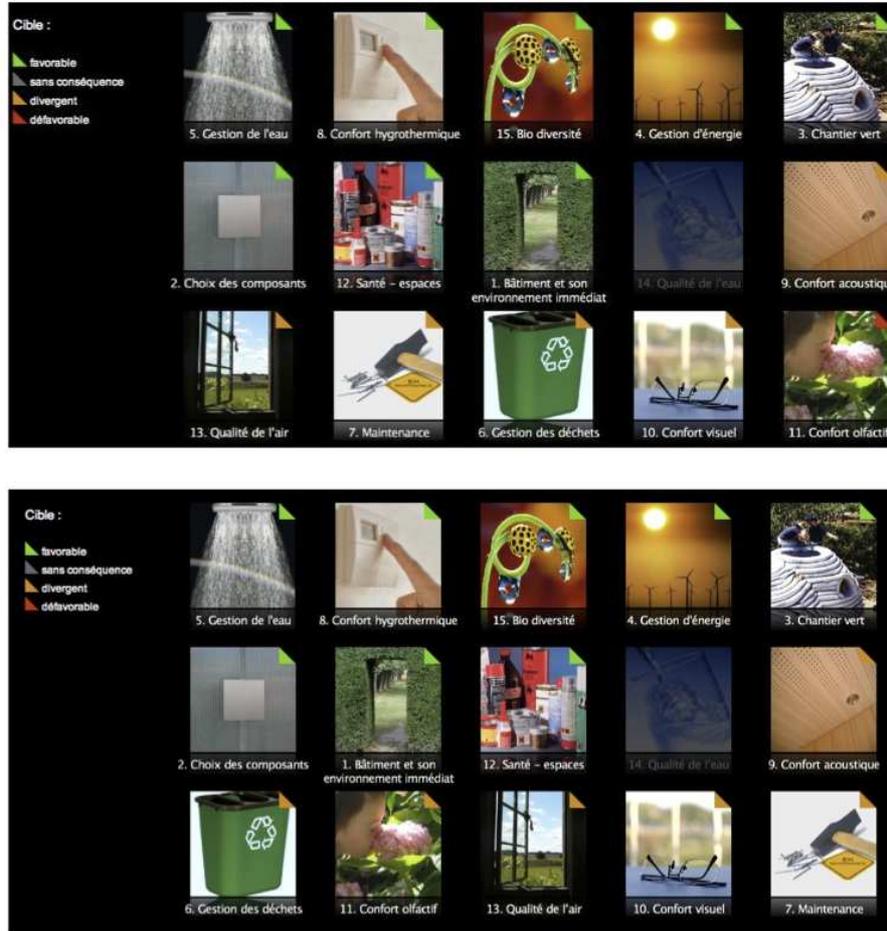


Figure 86 - L'analyse environnementale de scénario commun : en haut avec la présence de l'Atrium, en bas avec la présence de Puits du jour et Véranda [notre recherche]

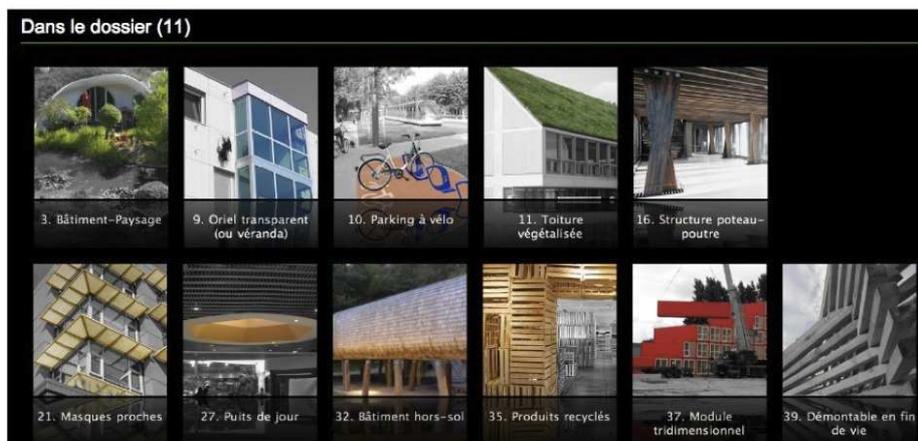


Figure 87 - Le scénario commun de l'équipe pour la proposition du bâtiment [notre recherche]

Dans la continuité des hypothèses faites sur les demandes futures d'un bâtiment de restauration rapide au centre-ville, un service de vélo-drive est envisagé dans la façade nord du bâtiment qui rejoint la cuisine dans le deuxième étage de bâtiment sur pilotis.

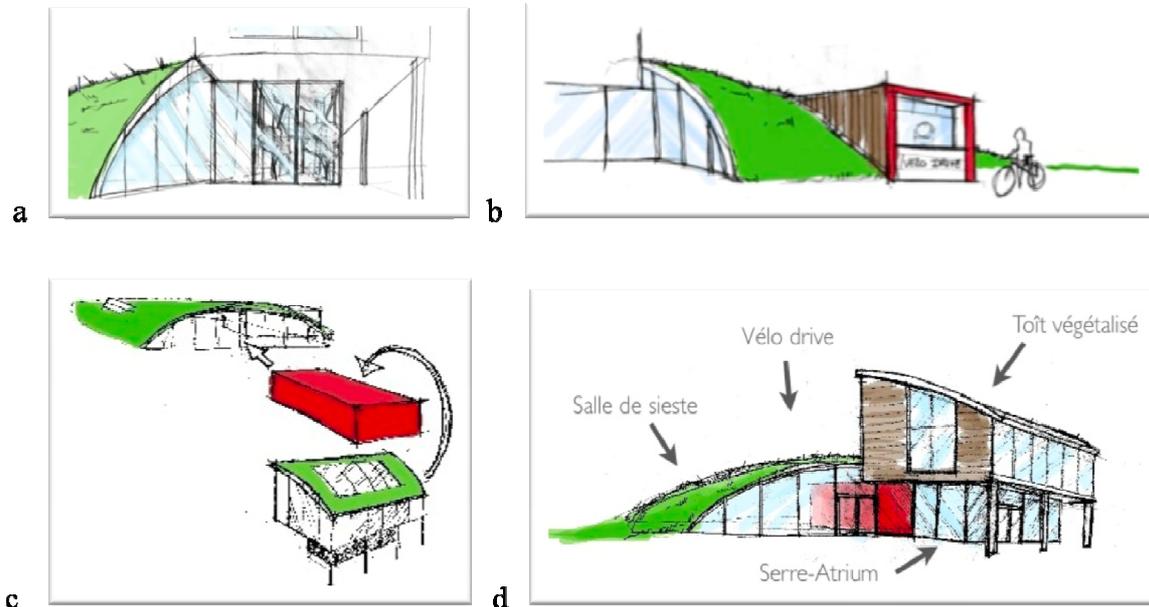


Figure 88 - Esquisses de proposition en commun : a) idée du puits du jour, pilotis et véranda ; b) idée de vélo-drive ; c) idée de modularité d) la vue sud-ouest du bâtiment proposé

Cette esquisse s'est basée sur les éco-modèles pour pousser vers la génération d'idées concrètes puis de les rendre sous une forme architecturale en s'inspirant des cas architecturaux réels. De plus, les cas architecturaux sont souvent consultés pour rassurer sur la faisabilité, en essayant de filtrer les cas par les conditions climatiques d'une région. Enfin, les analyses basées sur les cibles HQE[®] sont consultées pour aider le choix par un bon sens environnemental. Ainsi, les idées sont justifiées à la fois par un côté environnemental et opérationnel. Ceci a conduit à une validation de la proposition ressortie de cette séance par le jury qui a reconnu cette esquisse comme plus cohérente et plus originale que la première proposition.

6.3.3. Comparaison des projets conduits sans et avec éco.mod

Comme nous l'avons déjà précisé, le support de cette expérimentation porte sur un appel à concours pour la proposition d'un bâtiment de restauration rapide d'une grande chaîne à l'horizon 2050. Un cabinet de consultants choisi par la société a composé un jury de plusieurs experts. Ce jury a refusé l'ancien concept. Par contre, le nouveau concept après avoir été accepté par un jury académique - un ingénieur et un architecte - a été envoyé pour une

ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS DURABLES

nouvelle évaluation. À l’avis du jury académique, le nouveau concept - avec éco.mod - est plus acceptable que le premier - sans éco.mod - notamment par la prise en compte d’une réelle volonté environnementale. Il a de plus apprécié la rapidité de réponse que permet éco.mod. En effet, l’équipe a pu proposer un concept mieux réfléchi en moins de temps par rapport à la première esquisse. De plus, nous avons constaté des modifications dans le processus de conception au cours de l’expérimentation. Ce dernier point est résumé de façon comparative dans le tableau suivant (Tableau 35).

Tableau 35 - La comparaisons des projets sans et avec éco.mod [notre recherche]

	<i>Projet sans éco.mod</i>	<i>Projet avec éco.mod</i>
Formulation du programme	Par des principes généraux	Par des principes généraux
Formulation de l’esquisse	Par des principes généraux	Par des éco-modèles
Raisonnement	Basé sur des thèmes et des ambiances majoritairement non architecturaux	Basé sur les cas architecturaux
Échelle et superficie	Hors échelle pour un bâtiment de restauration rapide, avec des grandes superficies	Dans une échelle acceptable pour un bâtiment de restauration avec une flexibilité vers les changements de superficie
Respect de la phase	Hors de phase d’esquisse (trop de stratégies générales ou des précisions d’ambiances internes)	Dans les attentes d’une phase d’esquisse
Rendu	Plusieurs esquisses des ambiances internes Plusieurs plans d’étage Une esquisse de volumétrie du bâtiment	Plusieurs perspectives de volumétrie, Schéma expliquant les principes constructifs
Insertion urbaine	Manque de réflexion autour du sujet du flux de transport	Conception des espaces de parking à vélo, vélo-drive, accès piéton
Idée de modularité	Suivie par la définition de plusieurs niveaux et ambiances dans un bâtiment	Suivie par la définition des systèmes constructifs et des espaces composés
Durée de conception	Plusieurs mois	1 journée

6.3.4. Résultats et analyses à travers le questionnaire

Afin de connaître les retours des utilisateurs, nous avons mis en place une évaluation à partir d’un questionnaire (Annexe 7). Parmi les 5 participants, 4 ont répondu à ce questionnaire. Les 13 questions sont orientées par rapport aux utilisateurs et au profil de l’expérimentation. Donc, nous les avons interrogés pas seulement sur les aspects d’utilité d’éco.mod mais aussi sur l’apport d’éco.mod dans leur travail en équipe et sur leur créativité.

6.3.4.1. Les résultats des réponses au questionnaire

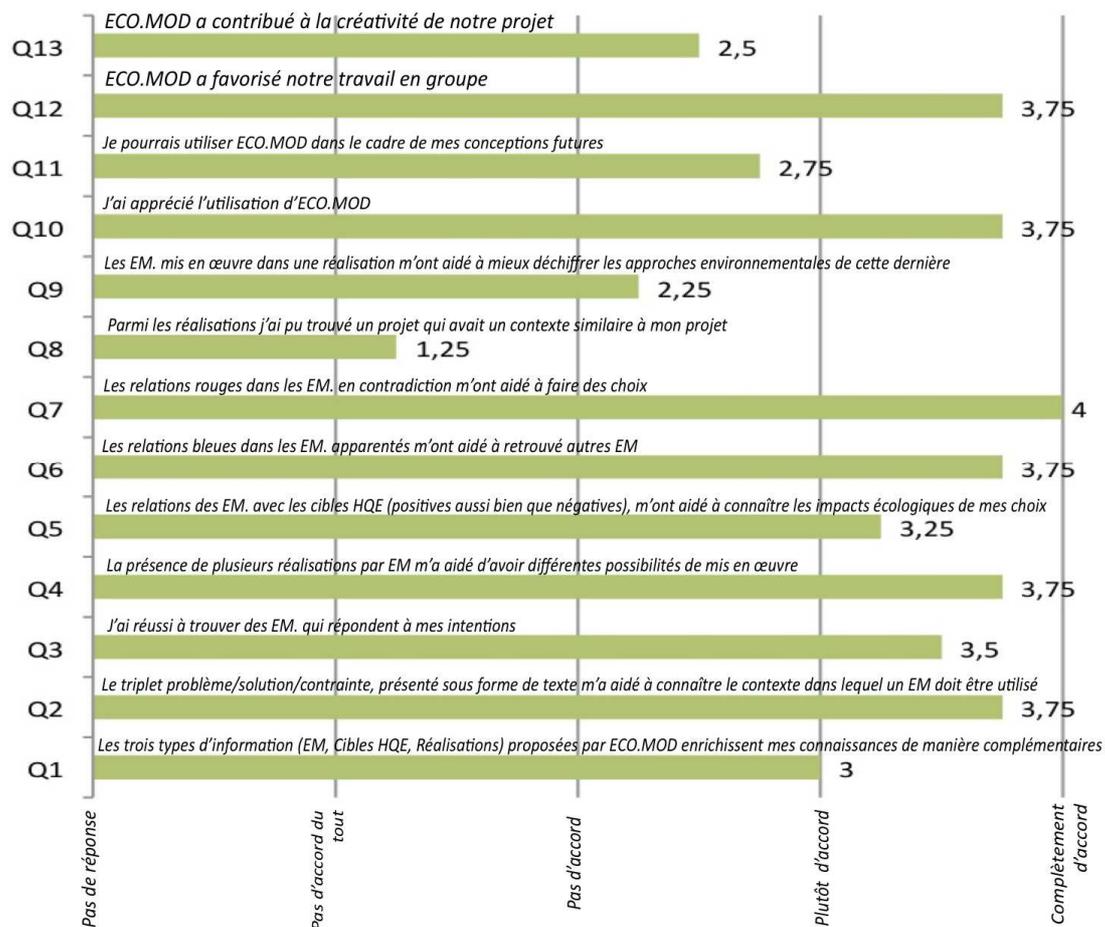


Figure 89 - Les moyennes des retours des participants par question [notre recherche]

Les questions ont été posées de façon affirmative et ont été accompagnées d'une partie de commentaire afin de connaître l'avis des concepteurs. Les moyennes des retours des étudiants par question sont présentées dans la figure suivante (Figure 89).

À part les questions 8, 9, 11 et 13, les autres questions ont fait l'objet d'une affirmation par l'équipe. La question 8 consiste en la présence de réalisations avec des similarités au projet en cours. La question 9 porte sur la pertinence de la présentation des éco-modèles mis en œuvre dans chaque réalisation. Les participants ont qualifié cet aspect par un faible niveau d'affirmation. Selon les réponses à la question 11, certains des participants n'ont pas retrouvé de réalisations qui ressemblent à leurs projets. Ainsi, ils ont exprimé une faible chance de réutilisation de l'outil. Enfin, à travers la réponse à la question 13 sur les apports de l'éco.mod pour favoriser les aspects créatifs de projet, la moitié des participants n'a pas affirmé ce fait mais elle ne l'a pas ignoré non plus.

6.3.4.2. L'analyse des retours du questionnaire

Ces retours quantitatifs sont traduits par des codes-couleurs afin de poursuivre l'analyse par une visualisation de type abaque de Reigner (cf. 5.3.3.1). La matrice colorée nous permet d'approfondir sur les retours marginaux avec des avis très dispersés (Figure 90).

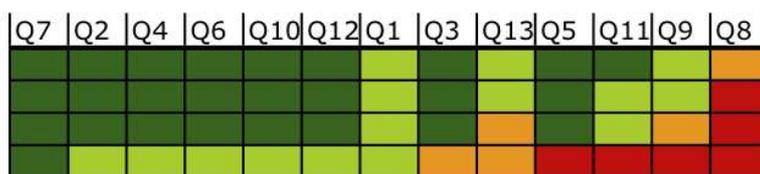


Figure 90 - La matrice couleur-votes à partir des réponses au questionnaire [notre recherche]

Les questions 7, 2, 4 et 12 ont fait l'objet d'une position affirmative. Par ces résultats nous pouvons tirer certains avantages d'éco.mod confirmés par l'utilisation :

- Les relations rouges parmi les éco-modèles en contradiction apportent une forte assistance à la prise de décision,
- Le contexte conceptuel de l'éco-modèle - problème/solution/contrainte - favorise le processus de réutilisation,
- Les cas d'utilisation des éco-modèles - les réalisations - augmentent la certitude sur la faisabilité de réutilisation d'un éco-modèle,
- Eco.mod non seulement s'intègre dans un travail en équipe mais aussi par son approche par les scénarios favorise le travail de conception.

D'ailleurs, par une réponse affirmative à la question 10, les utilisateurs ont apprécié cet outil.

Ce qui nous amène à prendre en compte pour l'évaluation de son acceptabilité une autre catégorie d'utilisateurs, les utilisateurs n'ayant pas de connaissances architecturales.

Pour pouvoir analyser les réponses aux autres questions, et ainsi conclure, nous nous sommes basés sur les commentaires associés.

La question 8 a obtenu le moins de réponse affirmative par les participants. Le recours aux commentaires nous a permis de connaître la raison du désaccord de l'équipe. En effet, les étudiants ont tenté de retrouver des cas de *bâtiment de restauration rapide*, de plus conçus pour le futur. Ils ont été déçus de ne pouvoir accéder à un bâtiment conçu pour un même sujet de conception. Ce résultat est lié à un malentendu qui réside dans la question : *contexte*

similaire. Les étudiants ont considéré le contexte de leurs projets comme étant le sujet de la conception. Par contre, ce que nous entendons par le contexte du projet est l'ensemble des critères présent dans l'outil à travers la filtration, c'est-à-dire : le climat, l'usage, la nature d'opération et le milieu (cf. Chapitre 4). Une telle différence dans la compréhension nous amène à certaines réflexions :

- la notion de *contexte* peut être entendue de différentes façons : il faut peut-être, donc, chercher un moyen de clarifier plus cette notion du point de vue de notre travail.
- l'*année de conception* du bâtiment est présente dans les annotations des réalisations mais l'*année de réalisation* peut aussi intéresser les concepteurs. Par exemple, dans le cas des retours à la question 8, nous remarquons que les concepteurs s'intéressent à l'année de la réalisation (e.g. prévue en 2050) et même ils ont tendance à le voir comme un critère de filtration parmi les réalisations.

La question 9 est une autre question qui n'a pas pu être affirmée par les utilisateurs. Les participants ont exprimé par des commentaires que les éco-modèles présents dans les réalisations les ont aidés à « *voir les possibilités qui sont présentes sur le marché* », mais l'étude inverse, « *déchiffrer les approches environnementales des réalisations* », ne leurs a pas paru essentiel pour leurs travaux.

Les réponses à la question 11 - sur la future utilisation d'éco.mod - donnent 3 accords complets et partiels et un désaccord. Les commentaires à cette question clarifient la raison de son résultat. Les élèves ingénieurs ont peu de chance d'être de nouveau dans la situation de conception d'un bâtiment et, donc, de réutiliser éco.mod comme un outil assistant. Cependant, ils expriment par des commentaires que ce désaccord n'est pas lié à non pertinence de l'outil (e. g. « *L'architecture ne m'intéresse pas énormément* », « *Je l'ai déjà recommandé à d'autres groupes de travail du GSI et de l'extérieur* », « *Il y a peu de chance que je retravaille dans un projet archi, mais si le cas se présente ça pourrait constituer une base du travail* »).

La question 5 a eu un seul désaccord lié à un manque d'attention d'un utilisateur à l'existence de la fonction liée à la pré-évaluation des éco-modèles. Ils ont tous évalué les impacts environnementaux de leurs scénarios mais la pré-évaluation d'un éco-modèle précis n'a pas été une fonction essentielle dans le travail de tous les utilisateurs. Sachant que les impacts environnementaux des scénarios sont issus des données sur les impacts environnementaux des éco-modèles, l'existence de ces derniers apparaît essentielle au travail d'analyse des scénarios. Cependant, nous pouvons repenser l'affichage des informations dans l'interface :

peut-on présenter seulement les impacts des scénarios - ensemble des éco-modèles - et non pas un éco-modèle précis ? Pourtant, un seul retour négatif dans un ensemble de retours très positifs ne permet pas de prendre une décision sur la nécessité d'affichage de cette pré-évaluation d'éco-modèle dans l'interface.

La question 13 est une des questions les plus importantes par rapport aux objectifs de cette expérimentation. Elle a pour objet de vérifier l'apport de notre outil dans une conception créative. La matrice nous alerte sur une incapacité de l'équipe à affirmer cet apport potentiel. Les commentaires des participants sur ce sujet peuvent nous aider à en connaître les raisons. Nous avons regroupé leurs réponses et leurs commentaires dans le tableau suivant (Tableau 36). À partir de ce regroupement, nous constatons les limites principales d'éco.mod pour être reconnu comme une aide à la créativité par les participants.

Tableau 36 - Les avis des utilisateurs sur l'apport créatif d'éco.mod [notre recherche]

<i>Avis</i>	<i>Commentaire</i>	<i>Contraintes</i>
<i>Pas d'accord</i>	<i>« Pour des idées créatives, il vaut mieux avoir des idées avant »</i>	<i>Moment d'intervention</i>
<i>Plutôt d'accord</i>	<i>« Je pense qu'il est plus pertinent de l'utiliser après une première phase de créativité »</i>	
<i>Pas d'accord</i>	<i>« Comme il offre des images concrètes et non conceptuelles, il freine la créativité »</i>	<i>Limites d'images</i>
<i>Plutôt d'accord</i>	<i>« Il a limité la créativité car c'est un outil basé sur des cas réels. Sur ce fait, toutes les idées un peu folles ont été oubliées »</i>	<i>Faisabilité</i>

Les réponses à la question posée ne portent pas, au niveau quantitatif, sur une affirmation totale à la question posée. Toutefois, les commentaires clarifient le type d'apport de créativité par éco.mod dans une conception :

- L'outil éco.mod clarifie les positions, aide à les mettre en discussion et à aller vers des idées combinées qui peuvent conduire à l'innovation et à la créativité. Il favorise *la créativité sous contrainte*, c'est-à-dire, une créativité guidée par le bon sens. La possibilité de mise à jour de la base de données contribue à améliorer le potentiel de cet outil par sa capacité à s'adapter à de nouvelles faisabilités dans le futur. Par contre,

il est important de confirmer le quatrième commentaire : éco.mod se base sur les « *projets réels* ». C'est justement cet aspect qui lui permet d'être plus réaliste. De ce fait, il aide à produire des propositions avec une forte probabilité d'*acceptabilité* et réduit le *risque d'échec*.

- Vu le fait qu'éco.mod est fortement basé sur la pensée visuelle du concepteur, il porte une contradiction liée à la nature de l'image vis-à-vis du souci de créativité : une image aide à mieux préciser les idées communes, inspire le concepteur pour générer des idées et facilite la communication, mais par contre a pour limite de stabiliser la représentation d'idées et d'empêcher de produire des images mentales différentes.
- Les éco-modèles aident à la génération des idées ou/et à la reformulation des idées. Ainsi, selon les expériences et les besoins de l'utilisateur, éco.mod peut intervenir en début du processus créatif pour aider la génération des idées ou une fois que les idées sont générées pour les concrétiser. Pour les deux cas, éco.mod ne propose aucun automatisme et le concept final est en grande partie dépendant de la créativité et de l'intelligence propres aux concepteurs.

Malgré que la question 3 soit affirmée par la majorité des étudiants, la visualisation par la matrice nous amène à connaître la raison du contraste parmi les réponses et à connaître l'avis minoritaire qui peut être aussi une voie d'amélioration. En effet, nous constatons que la question 3 est basée sur une hypothèse forte : les concepteurs possèdent certaines intentions en phase amont et cherchent à les formaliser. Un des participants a répondu à la question par un non-accord (2 ou orange) et commente la question : « *Je n'avais que peu d'intention à la base* ». Le même participant exprime par un autre commentaire que : « *l'outil a très bien marché. Nous n'avions pas d'idée précise du bâtiment que nous allions concevoir* ». Ces commentaires, partiellement contradictoires, nous ont conduits à reconnaître que l'hypothèse de la question étant incomplète. En effet, éco.mod peut favoriser la reformulation des intentions existantes mais il peut aussi aider à révéler des idées à partir de peu d'intentions. En conséquence, la question devrait être reformulée d'une façon plus générale ou être complétée par une deuxième question pour permettre de valider sa pertinence dans les deux cas.

Enfin, la plupart des participants – 3/4 - ont jugé les réalisations pertinentes grâce à la confirmation de la faisabilité par les éco-modèles. Cependant, au sujet de l'initialisation de la recherche - en réponse de la question 1- les utilisateurs trouvent les deux entrées par des éco-

modèles et des cibles suffisantes et l'initialisation de la recherche d'idée par des réalisations est reconnue comme étant peu pertinente.

6.3.4.3. Conclusion sur les retours du questionnaire

Les réponses affirmatives aux questions ainsi que les commentaires nous ont permis d'analyser l'avis des utilisateurs sur notre outil. À partir de cette analyse, nous avons regroupé des avantages mais aussi des points d'amélioration d'éco.mod d'après cette expérimentation pédagogique (Tableau 37).

Tableau 37 - Les avantages d'éco.mod d'après les commentaires des utilisateurs [notre recherche]

<i>Avantages</i>	
<i>Travail groupe</i>	<i>en</i> : La démarche de l'assistance à la conception proposée est utile à la conception en groupe
<i>Développement d'idées</i>	: Les éco-modèles aident à la génération des idées et/ou à la reformulation des idées
<i>Temps réponse</i>	<i>de</i> éco.mod accélère le processus de conception en phase amont
<i>Contextualisation</i>	: Le contexte conceptuel d'un éco-modèle conduit à une réutilisation réfléchie
<i>Certitude</i>	: Les exemples concrets d'éco-modèles (réalisations) augmentent la certitude dans les choix
<i>Vision relationnelle</i>	: Le contexte relationnel de l'éco-modèle aide le travail de scénarisation ; notamment, les relations de contradiction aident à la décision et les relations de combinaison renvoient vers de nouvelles idées
<i>Décision</i>	: Les analyses environnementales des scénarios ont aidé à la fois à la décision et à l'affirmation des choix
<i>Créativité réaliste</i>	: éco.mod aide à la créativité faisable (créativité réaliste) et par cela réduit le risque d'échec

Il en ressort la pertinence d'éco.mod en tant qu'assistant aux concepteurs qui n'ont pas forcément des connaissances architecturales. Sa facilité d'utilisation et son graphisme aident à réduire l'effet intimidant d'une première utilisation d'un outil numérique.

En conclusion, les participants et leurs tuteurs académiques ont exprimé leurs appréciations vis-à-vis du progrès rapide que permet éco.mod en phase amont de conception architecturale.

Conclusion de la partie 3

Le premier cas de l'expérimentation a porté sur le sujet de la conception environnementale d'un bâtiment d'accueil au sein de la ferme expérimentale de la Bouzule. Les 14 participants ont conduit leurs projets individuels durant deux séances du travail en atelier (8 heures). Les évaluations environnementales des esquisses sont effectuées sous 15 axes à l'aide d'un outil d'évaluation adapté à la phase d'esquisse : Éco-Profil. Les esquisses de la deuxième séance utilisant notre outil éco.mod, sont comparées au niveau des réponses environnementales à ceux de la première séance. Cette comparaison nous a permis de visualiser les progrès individuels de chaque participant dans le développement de 15 axes environnementaux. Comme résultat, 100 % des participants ont eu un meilleur Éco-Profil dans leurs deuxièmes esquisses par rapport à l'initiale et ceci est dû à l'utilisation des éco-modèles.

Par ailleurs, 76 % des utilisateurs ont annoncé leurs satisfactions par rapport à l'utilisation d'éco.mod avec des moyennes de 3, 3.5 et 3.9 sur 4, par ordre, sur l'utilité, l'utilisabilité et l'appréciation de l'outil.

Cette première expérimentation nous a prouvé qu'éco.mod est adapté à la phase amont du travail de conception de bâtiments. Cependant, nous avons lancé une deuxième expérimentation afin de compléter notre travail de validation.

Le deuxième cas d'expérimentation a porté sur le sujet de la conception d'un bâtiment de restauration rapide en 2050. Les participants dans un délai de 3 mois avaient proposé un projet en équipe multidisciplinaire et de manière autonome - sans intervention d'un outil. Une séance de 6 heures leur a permis de faire une deuxième proposition assistée par *éco.mod*. Durant cette expérimentation, nous avons pu reconnaître l'importance du scénario en tant qu'artefact pour achever des propositions communes dans une équipe de conception. Cet exercice a démontré l'avantage potentiel d'éco.mod dans le cadre d'une conception collaborative et multidisciplinaire. Cependant, son interface doit être adaptée à une telle démarche de conception. L'outil d'assistance leur a permis de clarifier et de mettre en discussion les positions de chacun des participants. D'ailleurs, cette discussion les a conduits vers des solutions combinées et créatives tout en s'engageant à la faisabilité et au réalisme des propositions. De plus, éco.mod a assisté l'équipe pour l'arbitrage entre différentes propositions par comparaison des impacts environnementaux. Par exemple durant la séance,

les étudiants se sont référés à la comparaison des analyses environnementales de deux scénarios pour en choisir un : une fois avec la présence de l'Atrium et une autre fois avec la Serre.

De plus, éco.mod assiste à concrétiser les propositions de solutions. À travers les représentations visuelles (les images), éco.mod a stabilisé la représentation d'idées et en conséquence il a pu conduire à la formalisation architecturale rapide des propositions communes. En ce sens, le rôle des éco-modèles se rapproche du rôle des Objets intermédiaires de Conception (OIC). Ils interviennent tout au long du processus de conception pour aider à gérer les divergences des idées. En ce sens, éco.mod a amélioré le processus créatif par ses OIC (les éco-modèles). L'abstraction des éco-modèles, ainsi que les relations parmi les éco-modèles favorisent cette intégration dans un processus créatif. Comme nous l'avons constaté dans cette expérimentation, l'application d'un éco-modèle isolé peut se rapprocher de l'imitation ou de la copie mais au contraire, l'application d'un ensemble d'éco-modèles conduit à la créativité. Par exemple, le fait d'avoir plusieurs éco-modèles sur un même thème – modularité - a lancé le débat sur les scénarios qui a conduit à la création des formes architecturales par les étudiants.

Par ailleurs, les résultats de cette deuxième expérimentation nous a démontré qu'éco.mod a considérablement réduit le temps de réponse pour produire un résultat adapté à la phase d'esquisse.

En conclusion, par les deux cas d'expérimentation, nous avons réussi à valider d'une part nos hypothèses de départ et d'autres part le bon fonctionnement de l'outil. De plus, les propositions des utilisateurs nous ont aidés à connaître les voies d'améliorations possibles dans la continuité de notre travail.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Ce travail de thèse est le fruit d'une collaboration entre deux disciplines : le Génie industriel et l'Architecture. Il en résulte un apport conjoint de ces dernières quant aux concepts, démarches et outils mobilisés dans ces travaux. Nous avons en premier lieu détaillé la phase amont de conception d'un projet architectural et montré en quoi la dimension collaborative est cruciale à cette étape. L'objectif poursuivi était d'apporter une aide méthodologique au concepteur afin de lui permettre d'intégrer des critères environnementaux dans les phases d'esquisses et d'APS. Nous avons montré que ceci contribuait aussi à réduire le temps de génération d'idées au regard d'un projet particulier. Nous avons aussi mis en avant l'importance de la capitalisation des connaissances acquises dans l'éco-conception des bâtiments au niveau mondial afin de favoriser le processus co-créatif en accédant aux expériences réussies et à des pratiques environnementales éprouvées.

Sur la base des travaux d'Alexander sur le concept des « *patterns* », nous avons proposé par extrapolation le concept d'éco-modèle qui prend en compte les bonnes pratiques

environnementales. Il faut cependant noter que ce concept de « *patterns* » est souvent critiqué et dénoncé comme étant réducteur de la créativité. Bien que notre notion d'éco-modèle soit fortement basée sur le concept de « *patterns* », elle s'en différencie par le fait que nous avons pris en compte cette critique dès la définition de l'éco-modèle. En effet, nous nous sommes attachés à définir deux critères durant la démarche de génération des éco-modèles permettant d'éviter cet écueil : le respect du niveau d'abstraction et la non-hiérarchisation des éco-modèles d'un niveau général vers un niveau détaillé comme le suggère [Alexander et al., 1977].

De plus, une analyse des besoins des concepteurs concernant la phase amont de conception nous a conduit à définir les fonctionnalités d'un outil permettant d'évaluer la faisabilité et la pertinence environnementales des scénarios de conception.

En ce sens, éco.mod permet de concrétiser les propositions de solutions. À travers les représentations visuelles (les images), éco.mod stabilise la représentation des idées et en conséquence il peut conduire à une formalisation architecturale rapide des propositions élaborées de manière collaborative au sein d'une équipe de conception. Ainsi, nous pensons que le rôle des éco-modèles se rapproche du rôle des Objets Intermédiaires de Conception (OIC) classiquement utilisés dans le domaine de l'ingénierie de la conception de nouveaux produits [Mer et al., 1995]. En effet, comme les OIC, les éco-modèles interviennent tout au long du processus de conception architecturale pour aider à gérer les divergences d'idées. En ce sens, nous pouvons affirmer qu'éco.mod améliore le processus créatif par l'utilisation d'OIC (les éco-modèles) au cours du processus collaboratif de génération de solutions. Le niveau d'abstraction que permettent les éco-modèles ainsi que la mise en évidence des relations existantes entre eux justifient la pertinence d'utilisation de l'outil lors d'un processus créatif.

Dans un souci d'être au plus proche des utilisateurs potentiels, nous avons procédé à une phase test d'un premier prototype puis à deux expérimentations sur la version finale de l'outil. Il en résulte une validation de notre hypothèse de recherche, à savoir qu'il est pertinent de mettre à disposition du concepteur un outil pour l'aider à améliorer la qualité environnementale de ses solutions tout en respectant l'aspect créatif des idées générées.

Les observations menées durant les expérimentations ainsi que les questionnaires soumis aux utilisateurs conduisent aux conclusions suivantes :

ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS DURABLES

- notre outil a été évalué adapté à l'activité de l'architecte durant la phase d'esquisse,
- il a été prouvé que l'utilisation de l'éco.mod améliorerait sensiblement la qualité environnementale des propositions,
- une meilleure reformulation des stratégies environnementales a été constatée,
- les participants ont bien adhéré à la logique proposée par la méthode des éco-modèles et ont souligné la simplicité d'utilisation de l'outil,
- la faisabilité des propositions est justifiée par les cas réels contenus dans la base de données (concept de *créativité réaliste*),
- l'existence des relations entre les éco-modèles s'est révélée être une source d'inspiration inattendue aussi bien individuelle que collective,
- l'utilisation des éco-modèles constitue d'un point de vue de la communication un support visuel facilitant l'explication du scénario choisi à une tierce personne. Nous avons clairement constaté cet aspect lors de la phase finale de confrontation des différents projets lors de nos expérimentations.

Nous pouvons donc conclure sur l'efficacité et la pertinence de cette première version d'éco.mod.

Cependant, nous ne pouvons négliger les propositions d'amélioration qui nous ont été suggérées lors des expérimentations. Cet aspect a été largement commenté en partie 3, c'est pourquoi nous ne reprendrons ici que les points fondamentaux à prendre en considération :

- l'interface est apparue peu adaptée au travail de groupe,
- l'ergonomie de construction des scénarios a été évaluée non satisfaisante,
- paradoxalement, les images ont à la fois été perçues comme source d'inspiration et comme limitant la créativité.

En prolongement de cette thèse et au-delà des améliorations possibles suite aux commentaires des utilisateurs de notre outil, des perspectives existent.

D'un point de vue méthodologique, la qualité de la démarche réside dans l'enrichissement et la mise à jour de la base de données. En effet, nous comptons à ce jour un nombre limité d'éco-modèles et de cas de réalisation. Or, le succès de la démarche réside dans l'exhaustivité des données afin d'augmenter la certitude d'avoir le meilleur choix possible. Ceci présuppose d'augmenter l'espace des solutions afin d'accéder à un niveau de variété des éco-modèles éprouvés le plus vaste possible et technologiquement actualisés.

Des investigations pourraient être menées afin de proposer un modèle mathématique support à l'analyse des scénarios construits. On pourrait penser à utiliser les techniques multicritères existantes pour affiner l'évaluation environnementale (jeu de poids donné par des experts permettant de différencier les éco-modèles entre eux, proposer la compensation d'un éco-modèle par un autre...).

Enfin, une validation par des utilisateurs professionnels s'avère nécessaire pour obtenir une version encore plus réaliste d'éco.mod.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références

- [Abalos, 2007] Abalos, I., 2007, *Sustainable?*, Colloque au CCA Study Center, Montréal.
- [ADEME, 2002] Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, 2002, *Qualité environnementale des bâtiments : Manuel à l'usage de la maîtrise d'ouvrage et des acteurs du bâtiment*, avril.
- [AECbytes, 2007] AECbytes, 2007, *Newsletter numéro 30 : AIA 2007*, National Convention and Exposition, Source web : http://www.aecbytes.com/newsletter/2007/issue_30.html [avril 2011].
- [Akin, 2001] Akin, O., 2001, *Simon Says: Design in Representation*, Source web: www.andrew.cmu.edu/user/oa04/Papers/AradSimon.pdf [avril 2010].
- [Alain, 1920] Alain (philosophe), 1920, *Les propos d'Alain*, Paris Nouvelle Revue Française, Numérisé par University of Ottawa, Collection de robarts; Toronto, Source web: <http://www.scribd.com/doc/52831484/Alain-Les-propos-d-Alain-1> [mai 2011]
- [Alexander et al., 1977] Alexander, Ch., Ishikawa, S., Silverstein, M., 1977, *A Pattern Language*, Oxford University Press, New York.
- [Alexander, 1979] Alexander, Ch., 1979, *The Timeless Way of Building*, Oxford University Press, New York.
- [Altitude, 2008] Altitude, 2008, *Presse de la société Altran*, n°13, mars.
- [Altshuller, 1988] Altshuller, G.S., 1988, *Creativity as an exact science*, Gordon and Breach, New York.
- [Architecture=Durable, 2008] *Architecture = Durable*, Exposition du Pavillon de l'Arsenal, 24 juin-19 octobre 2008, Paris.
- [Armaghan, 2009] Armaghan, N., 2009, *Contribution à un système de retour d'expérience basé sur le raisonnement à partir de cas conversationnel : application à la gestion des pannes de machines industrielles*, Thèse de doctorat, Institut Nationale Polytechniques de Lorraine, Nancy.
- [AssoHQE®] Association HQE®, Source web : <http://assohqe.org/hqe/> [octobre 2008].
- [Baxter et al., 2003] Baxter, E., Seller, D., Tsypin, M., 2003, *Commissioning of Smaller Green Buildings- Expectations vs. Reality*, Source web: http://www.peci.org/documents/PECI_SmallGreenCx1_1002.pdf [decembre 2010].
- [Belkadi et al., 2004] Belkadi, F., Bonjour, E., Dulmet, M., 2004, *Démarche de modélisation d'une situation de conception collaborative*, Document Numérique, 8 (1), pp. 93-106.
- [Ben rejeb, 2009] Ben Rejeb, H., 2008, *Phases amont de l'innovation : proposition d'une démarche d'analyse de besoins et d'évaluation de l'acceptabilité d'un produit*. Thèse du Doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy.
- [Bergmann, 2002] Bergmann, R., 2002, *Experience Management: Foundations, Development Methodology, and Internet-Based Applications*, Vol. 2432, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer-Verlag, Berlin.
- [Boudon et al., 1994] Boudon, P., Deshayes, P., Pousin, F., Schatz, F., 1994, *Enseigner la conception architecturale (cours d'architecture)*, Editions de la Vilette, Paris.
- [Boudon, 2009] Boudon, P., 2009, *Complexité de la conception architecturale : Conception et Représentation*, Synergies Monde, 6, pp. 105-110.

ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS DURABLES

- [Bouzule, 2010] Extrait de rapport en ligne du projet de la Bouzule, 2010, *Une entreprise agricole durable soucieuse de l'environnement, économiquement viable, socialement responsable en phase avec une recherche technologique de pointe*, Source web: http://blognit.nancy-universite.fr/uploads/media/Projet-Bouzule-EAT_01.pdf [decembre 2010].
- [Bridges, 2007] Bridges, A., 2007, *Scenario-based Design: Predicting the Future*, 25th eCAADe Conference Proceedings, pp. 441-446.
- [Broadbent et Brebbia, 2006] Broadbent, G., Brebbia, C.A., 2006, *Eco-architecture: Harmonisation Between Architecture and Nature*, Transactions on the Built Environment, 86, Édition du WIT Press, UK.
- [Brundtland, 1987] Rapport Brundtland, 1987, *Notre avenir à tous*, Commission mondiale sur l'environnement et le développement, Édition du Fleuve, Montréal.
- [Carson, 1962] Carson, R., 1962, *Silent spring*, Édition du Houghton Mifflin, Boston.
- [Chandra, 2006] Chandra, S., 2006, *Investing green building assessment tools: a risk-analysis based approach*, Ph.D. thesis, University of New South Wales.
- [Chebel, 2008] Chebel Morello, B., 2008, *Enjeux et processus du retour d'expérience*, Dans: Renaud, J., Bonjour, E., Chabel-Morello, B., Matta, N. (éd.), *Retour et capitalisation d'expérience: outils et démarche*, La Plaine Saint-Denis: AFNOR, p. 184.
- [Club de Rome, 1972] Club de Rome, 1972, *Halte à la croissance?*, Fayard, Paris.
- [Cole, 1999] Cole, R. J., 1999, *Building Environmental Assessment Methods: Clarifying Intentions*, Building Research & Information, 27(4/5), pp. 230-246.
- [Conan, 1989] Conan, M., 1989, *Les processus de conception architecturale*, Convention CSTB / Plan construction no.87 61 434. Paris, 1989.
- [Conan, 1990] Conan, M., 1990, *Concevoir un projet d'architecture*, L'Harmattan, Paris.
- [Contal et al., 2009] Contal, M. H., Magrou, R., Ménard, J. P., Gauzin-Müller, D., 2009, *Habiter écologique: Quelles architectures pour une ville durable?*, Dossier de presse, Actes Sud/Cité de l'architecture et du patrimoine, Paris.
- [Conte et al. 2001] Conte, A., Fredj, M., Giraudin, J. P., Rieu, D., 2001, *P-Sigma : un formalisme pour une représentation unifiée de patrons*, Inforsid, Genève.
- [Corbusier, 1923] Corbusier, 1923, *Vers une architecture*, dans la revue L'Esprit Nouveau cité et dans *Towards a New Architecture*, Dover Publications, 1985.
- [Cortes Robeles, 2006] Cortes Robles, G., 2006, *Management de l'innovation technologique et des connaissances: synergie entre la théorie TRIZ et le raisonnement à partir de cas*, Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, France.
- [Crawley et Aho, 1999] Crawley, D., Aho, I., 1999, *Building environmental assessment methods: application and development trends*, Building Research and Information 27 (4/5), pp.300-308.
- [Darses et al., 2001] Darses, F., Détienne, F., Falzon, P., Visser, W., 2001, *COMET: A method for Analysing Collective Design Processes*, Rapport de Recherche INRIA, 4258, Septembre.
- [Darses et Falzon, 1996] Darses, F., Falzon, P., 1996, *La conception collective : une approche de l'ergonomie cognitive*, dans De Terssac, G. F., *Coopération et Conception*, Octarès, Toulouse.
- [Darses, 1997] Darses, F., 1997, *L'ingénierie concourante : Un modèle en meilleure adéquation avec les processus cognitifs en conception*, in Brossard, P., Chanchevrier, C., Leclair, P., *Ingénierie Concourante: de la technique au social*, Economica, Paris.

- [Deshayes, 2005] Deshayes, C., 2005, *La Médiation de l'esquisse à main levée et de l'esquisse numérique dans le processus de conception*, dans: Séminaire de Conception Architecturale Numérique: École Nationale Supérieure d'Architecture de Paris Val-de-Seine, Paris.
- [Dieng-Kuntz et al. 2001] Dieng-Kuntz, R., Corby, O., Gandon, F., Giboin, A., Golebiowska, J., Matta, N., Ribière, M., 2001, *Méthode et outils pour la gestion des connaissances: une approche pluridisciplinaire du knowledge management*, Dunod, 2e édition, Paris.
- [Ding, 2008] Ding, K., 2008, *Sustainable construction: the role of environmental assessment tools*, Journal of Environmental Management, 86, pp. 451-464.
- [Dupont, 2009] Dupont, L., 2009, *Transfert du génie industriel vers l'ingénierie urbaine : vers une approche collaborative des projets urbains*, Thèse de doctorat, Institut Nationale Polytechniques de Lorraine, Nancy.
- [Dupont et al.] Dupont, L., Gholipour, V., Morel, L., Bignon, J. C., Guidat, C., *From urban concept to urban engineering: Distributed Collaborative Design as contribution to the management of urban projects* (under review).
- [Ehrlich, 1972] Ehrlich, P., 1972, *La bombe P: 7 milliards d'hommes en l'an 2000*, Fayard.
- [Eichholtz et al., 2008] Eichholtz, P., Kok, N., Quigley, J. M., 2008, *Doing Well by Doing Good? Green Office Buildings*, Program on housing and urban policy, Working paper series, University of California, Institute of Business and Economic Research and Fisher Center for Real Estate and Urban Economics, Berkeley, CA.
- [Émery, 2002] Emery, M., 2002, *Innovations durables*, Birkhauser, Basel ; Boston ; Berlin.
- [Evacology] *Environmentally Viable Architecture Tool*, Source web : www.evacology.org [mars 2009].
- [Fathy, 1977] Fathy, H., 1977, *Construire avec le peuple*, Sinbad, Paris.
- [Fischer, 2004] Fischer, G., 2004, *Social Creativity: Turning Barriers into Opportunities for Collaborative Design - Artful Integration: Interweaving Media, Materials and Practices*. Proceedings of the Eight Participatory Design Conference, pp. 152-161.
- [Flemming, 1987] Flemming, U., 1987, *More than the sum of parts: the grammar of Queen Anne houses*, Environment and Planning B Planning and Design, 14, pp. 323-350.
- [Fraefel, 2000] Fraefel, R., 2000, *Meilleure qualité de vie, faible consommation d'énergie*, Adaption française par Hadorn, Association MINERGIE / Verein MINERGIE, J. Ch., 2e édition.
- [Gabriel et Maher, 2002] Gabriel, G. C., Maher, M. L., 2002, *Coding and modelling communication in architectural collaborative design*, Automation in Construction, 11, pp. 199-211.
- [Geddes, 1915] Geddes, P., 1915, *Cities in Evolution*, Routledge, Londres.
- [Georgescu-Roegen, 1971] Georgescu-Roegen, N., 1971, *The Entropy Law and the Economic Process*, Harvard University Press, Cambridge, MA, USA.
- [Glaumann, 2000] Glaumann, M., 2000, *EcoEffect - a holistic tool to measure environmental impact of building properties*, In proceedings of the Sustainable Building Conference, Maastricht, the Netherlands.
- [Göbel, 1995] Göbel, V., 1995, *Sketches of Thought*, The MIT Press, Cambridge, MA, USA.
- [Grebici, 2007] Grebici, K., 2007, *La Maturité de l'Information et le Processus de Conception Collaborative*, Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'INP Grenoble.
- [Grégori et Brassac, 2001] Grégori, N., Brassac, Ch., 2001, *La conception collaborative d'artefacts*, Activités cognitives en situation dialogique, Epique'2001, Octobre, Nantes, France.
- [Haapio et Viitaniemi , 2008] Haapio, A., Viitaniemi, P., 2008, *A critical review of building environmental assessment*

- 2008]** *tools*. Environ Impact Asses Rev., Article in press.
- [Halin, 2004]** Halin, G., 2004, *Modèles et outils pour l'assistance à la conception: Application à la conception architecturale*, Habilitation à Diriger les Recherches, Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, France.
- [Hall, 1971]** Hall, E. T., 1971, *La dimension cachée*, Éditions du Seuil, Paris.
- [Hanser, 2003]** Hanser, D., 2003, *Proposition d'un modèle d'auto coordination en situation de conception: application au domaine du bâtiment*, Thèse de doctorat en sciences de l'architecture, Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, France.
- [Hartshorn et al., 2005]** Hartshorn, J., Maher, M., Crooks, J., Stahl, R., Bond, Z, 2005, *Creative destruction: building toward sustainability*, NRC Research Press, pp.170-80.
- [Hedstrom et al., 2000]** Hedstrom, G. S., Shopley, J. B., LeDuc, C. M., 2000, *Realizing the sustainable development premium*, Prism, pp. 5–19.
- [Heylighen, 2000]** Heylighen, A., 2000, *In Case of Architectural Design: Critique and Praise of Case-Based Design in Architecture*, Thesis (Ph.D.), Katholieke Universiteit Leuven, Belgium.
- [Ali et Al Nsairat, 2009]** Ali, H., Al Nsairat, S., 2009, *Developing a green building assessment tool for developing countries – Case of Jordan*, Building and Environment, 44, pp. 1053–1064.
- [Hou et al., 2008a]** Hou, J., Su, C., Wang, W., 2008a, *Knowledge management in collaborative design*, Proceedings of the International Conference on Service Operations, Logistics and Informatics, 1, pp. 848-852.
- [Hou et al., 2008b]** Hou, J., Su, Ch., Zhu, L., Wang, W., 2008b, *Partner selection system for collaborative design*, Proceedings of the International Symposium on Computational Intelligence and Design, 2, pp. 317-321.
- [Hult, 2008]** Hult, M., 2008, *Environmental rating according to Bygga-bo-dialogen - Comments and suggested revisions for application in different design stages*, White arkitekter, Stockholm.
- [Humbert et al., 2007]** Humbert, S., Abeck, H., Bali, N., Horvath, A., 2007, *Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) A critical evaluation by LCA and recommendations for improvement*, International Journal of LCA, 12 (1), pp. 46-57.
- [Jordanova et al., 2009]** Jordanova, I., Tidafi, T., Guité, M., 2009, *Librairie de référents interactifs proposant des approches environnementales*, Actes de SCAN (Séminaire de Conception Architecturale Numérique), Nancy, France.
- [Jordanova, 2008]** Jordanova, I., 2008, *Assistance de l'enseignement de la conception architecturale par la modelisation de savoir-faire des referents*, Université de Montreal, Canada.
- [IZUBA]** IZUBAénergies, Source web: <http://www.izuba.fr/logiciel/equer> [novembre 2010].
- [Kacher, 2005]** Kacher, S., 2005, *Proposition d'une methode de referencement d'images pour assister la conception architecturale: Application à la recherche d'ouvrage*, Thèse pour l'obtention du doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, France.
- [Kamsu Foguem et al., 2008]** Kamsu Foguem, B., Coudert, T., Béler, C., Geneste, L., 2008, *Knowledge formalization in experience feedback process: An ontology-based approach*, Computers in Industry, Published by Elsevier, 59, pp. 694-710.
- [Kats, 2003]** Kats, G., 2003, *Green Building Costs and Financial Benefits*, Massachusetts Technology Collaborative, USA. Source web: <http://www.usgbcolorado.com/downloads/articles/Kats-Green-Buildings-Cost.pdf> [avril 2011]

- [Kattan, 2009] Kattan, A., 2009, *La réalité virtuelle immersive comme outil de représentation dans le processus de design: Application au programme INTERREG III "Design dans la ville"*, Thèse de doctorat, Institut Nationale Polytechniques de Lorraine, Nancy.
- [Khadidja, 2007] Khadidja, G., 2007, *La Maturité de l'Information et le Processus de Conception Collaborative*, Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'INP Grenoble, Spécialité Génie Industriel, Grenoble.
- [Kohler, 1999] Kohler, N., 1999, *The Relevance of Green Building Challenge: An Observer's Perspective*, Building Research and Information, 27(4/5), pp. 309-320.
- [Koning et Eizenberg, 1981] Koning, H., Eizenberg, J., 1981, *The language of the prairie: Frank Lloyd Wright's prairie houses*, Environment and Planning B, 8, pp. 295-323.
- [Kubicki, 2006] Kubicki, S., 2006, *Assister la coordination flexible de l'activité de construction de bâtiment: Une approche par les modèles pour la proposition d'outils de visualisation du contexte de coopération*. Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy.
- [Kvan, 2000] Kvan, T., 2000, *Collaborative design: what is it?*, Automation in Construction, 9, pp. 409-415.
- [Laarousi, 2007] Laarousi, A., 2007, *Assister la conduite de la conception en architecture : vers un système d'information orienté pilotage des processus*, Thèse de doctorat, Institut Nationale Polytechniques de Lorraine, Nancy, France.
- [Larson, 2000] Larson, A., 2000, *Sustainable innovation through an entrepreneurial lens*, Business Strategy and the Environment, 9, pp. 304-317.
- [Lawson, 2006] Lawson, B., 2006, *How Designers Think*, Architectural Press, Oxford.
- [Leclerq, 2005] Leclerq, P., 2005, *Le Concept D'Esquisse Augmentée*, Présentation dans le Séminaire de Conception Architecturale Numérique, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Paris Val-de-Seine, Paris.
- [Lecoutois et Guéna, 2009] Lecoutois, C., Guéna, F., 2009, *Eco-conception et esquisse assistée*, Acte de Séminaire de Conception Architecturale Numérique, pp. 64-74.
- [Lee, 2006] Lee, Y. D., 2006, *A Design System Integrating TRIZ Method and Case-Based Reasoning Approach*, Van Leeuwen Éd., Progress in Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning, pp. 387-402.
- [Léglise, 2000] Légise, M., 2000, *Conception assistée : modélisation et interprétation*, Dans De Paoli, G., Tidafi, T., (Eds.), Modélisation architecturale et outils informatiques entre cultures, Les cahiers scientifiques, Acfas, pp. 51-66.
- [Liébard et De Herde, 2004] Liébard, A., De Herde, A., 2006, *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable*, Le Moniteur, Paris, p. 736.
- [Lowton, 1997] Lowton, R., 1997, *Construction and the Natural Environment*, Butterworth Heinemann, Oxford.
- [Lu et al., 2000] Lu, S. C. Y., Cai, J., Burkett, W., Udawadia, F., 2000, *A Methodology for Collaborative Design Process and Conflict Analysis*, Annals of the CIRP, 49 (1), pp. 69-73.
- [Malhorta, 2001] Malhotra, Y., 2001, *Knowledge management and business model innovation*, Idea Group Inc (IGI), p. 453.
- [Malmqvist, 2008] Malmqvist, T., 2008, *Environmental rating methods: selecting indoor environmental quality (IEQ) aspects and indicators*, Building Research & Information, 36(5), pp.466-485.
- [Mann et Cathain, 2001] Mann, D., Cathain, C. O., 2001, *Computer based TRIZ-Systematic innovation methods for architecture*, Proceedings of the International CAAD futures conference, de Vries, B., Van

- Leeuwen, J. P., Achten, H. H., Eindhoven, pp. 561-575.
- [Mann, 2006] Mann, D., 2006, *Using TRIZ in Architecture: Systematic innovation methods for architecture*, http://www.triz-journal.com/archives/what_is_triz/ [janvier 2010].
- [Marda, 1997] Marda, N., 1997, *La pensée visuelle dans la conception*, in : STOA numéro 2, AEEA, Louvain-la-Neuve, pp. 42-53.
- [Marin et al., 2008] Marin, Ph., Bignon, J. C., Lequay, H., 2008, *Generative exploration of architectural envelope responding to solar passive qualities : Integral evolutionary design-integrated to early stage of architectural, Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning*, Eindhoven.
- [Marin, 2010] Marin, Ph., 2010, *Exploration des mécanismes évolutionnaires appliqués à la conception architecturale : Mise en oeuvre d'un algorithme génétique guidé par les qualités solaires passives de l'enveloppe*, Thèse pour l'obtention du Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy.
- [Markus, 1969] Markus, Th. A., 1969, *The role of building performance measurement and appraisal in design method*, in : *Design Methods in Architecture*, edited by Geoffrey Broadbent and Anthony Ward, George Wittenborn, New York.
- [Marsh, 2007] Marsh, A., 2007, *Education as a Performance Metric: A Different Approach to Environmental Management*, Australia and New Zealand Architectural Science Association.
- [Maver, 1970] Maver, T., 1970, *A Theory of Architectural Design in which the Role of the Computer is Identified*, *Building Science*, 4, pp. 199-207.
- [McAloone et Bey, 2009] McAloone, T., Bey, N., 2009, *Environmental improvement through product development - a guide*, Press: SvendborgTryk, Denmark.
- [Mcdonald, 2003] Mcdonald, M., 2003, *Sustainable environmental design education (SEDE); A curriculum model for architects and landscape architects*, American Solar Energy Society (ASES) National Passive Conference, Austin.
- [Mer et al., 1995] Mer, S., Jeantet, A., Tichkiewitch, S., 1995, *Les objets intermédiaires de la conception : modélisation et communication*, Caelen, J., Zreik, K., (Ed.), *Le communicationnel pour concevoir*, Europa.
- [Meszaros et Doble, 1997] Meszaros, G., Doble, J., 1997, *A Pattern Language for Pattern Writing*, The Hillside Group, Source web : <http://hillside.net/index.php/a-pattern-language-for-pattern-writing> [janvier 2010]
- [Metallinou, 2006] Metallinou, V. A., 2006, *Ecological propriety and architecture*, *WIT Transactions on the Built Environment*, 86 (15-22).
- [Midler, 1993] Midler, C., 1993, *L'auto qui n'existait pas*, *Management des projets et transformation de l'entreprise*, InterEditions, Paris.
- [Mille, 2001] Mille, A., 2001, *Assister l'utilisateur dans sa tâche de résolution de problème: une évolution orientée vers la gestion des connaissances pour leur réutilisation en situation*, Conférence Invitée, Plateforme des conférences sur l'Intelligence Artificielle, AFIA'2001, Grenoble, Juin 2001. Source web : <http://liris.cnrs.fr/~amille/publications.html>, [avril 2011].
- [Mizzaro, 1998] Mizzaro, S., 1998, *Relevance, the whole history*, Dans T. B. (Eds.), *Historical studies in information science*, *Journal of the American Society for Information Science (special issue)*, pp. 221-243.

- [Morel et Boly, 2004] Morel, L., Boly, V., 2004, *Mastering Innovateness Potential : The result of an expert consultation*, REAd, Special Issue 42, 10 (6).
- [Morin, 1977] Morin, E., 1977, *La Méthode 1, La nature de la nature*, Seuil, Paris.
- [Morin, 1991] Morin, E., 1991, *De la complexité: Complexus*, Les théories de la complexité, pp. 283-296.
- [Moussis, 2002] Moussis, N., 2002, *Guide to European Policies*, 8e, Study Service, p. 454.
- [National Geographic, 1998] National Geographic, 1998, Source web: <http://www.nationalgeographic.com/xpeditions/activities/03/popup/climate.html> [janvier 2010]
- [ODE, 2008] Oregon Department of Energy, 2008, *Oregon Business Energy Tax Credit for Sustainable Buildings*, Source web: <http://www.oregon.gov/ENERGY/CONS/BUS/tax/sustain.shtml> [avril 2011].
- [Pélegrin et al., 2008] Pélegrin, F., Pélegrin Genel, E., Pouget, A., Bourguignon, Ph., Fleury, G., Thullier, A., 2008, *I.M.P.A.C.T.E.: Innovation Maîtrisée Pour l'Architecture Climatique, la Thermique et l'Environnement*, Source web: http://www.chantier.net/documents/impact_pres.pdf [avril 2011].
- [Peuportier, 2006] Peuportier, B., 2006, *COMFIE: Logiciel pour la conception bioclimatique*, Source web: http://www.cenerg.ensmp.fr/francais/themes/cycle/pdf/cvc_comfie.pdf [avril 2011].
- [Peuportier, 2008] Peuportier, B., 2008, *Eco-conception des bâtiments et des quartiers*, Les Presses-Mines Paris.
- [Pinson, 2007] Pinson, D., 2007, *USAGE dans L'espace anthropologique*, Les Cahiers de la Recherche architecturale et urbaine, 20-21, Monum Editions du Patrimoine, Paris , pp. 166-169.
- [Pompidou, 1970] Pompidou, G., 1970, *Extrait d'un discours à Chicago- 28 février1970*, Source web: http://www.assemblee-nationale.fr/12/contrôle/delat/dates_cles/discours_chicago.asp [novembre 2010]
- [Prost, 1992] Prost, R., 2003, *Explorer la phase amont des savoirs dans la phase amont des projets architecturaux et urbains*, in : Prost, R. (Ed) *Projets architecturaux et urbains : mutation des savoirs dans la phase amont*, Paris : PUCA, Collection Recherche, 143, pp. 13-37.
- [Rabardel et Béguin, 2001] Rabardel, P., Béguin, P., 2001, *Instruments and Design*, In W. Karwoski, *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors*, 2, pp. 938-940.
- [Rapoport, 1972] Rapoport, A., 1972, *Pour une Anthropologie de la maison*, Dunod, Paris.
- [Redon, 2010] Redon, A., 2010, *Qualité Environnementale des Bâtiments:Modélisation et visualisation de "Patterns" pour assister la conception*, Mémoire de Master Design Global, Spécialité "Architecture, Modélisation, Ecnvironnement", Institut Nationale Polytechnique de Lorraine, Nancy, France.
- [Ribière, 1999] Ribière, M., 1999, *Représentation et gestion de multiples points de vue dans le formalisme des graphes conceptuels*, Thèse de Doctorat en sciences (informatique), Université de Nice-Sophia Antipolis, France.
- [Roaf et al., 2005] Roaf, S., Crichton, D., Nicol, F., 2005, *Adapting Buildings and Cities for Climate Change*, Architectural Press, Oxford, UK.
- [Roberts et Marsh, 2001] Roberts, A., Marsh, A. J., 2001, *ECOTECH: Environmental Prediction in Architectural Education*, Source web: www.companyshead.com/downloads/documents/2001-ECAADE.pdf [octobre 2010].
- [Robin et al., 2007] Robin, V., Rose, B., Girard, Ph., 2007, *Modelling collaborative knowledge to support engineering design project manager*, *Computers in Industry*, 58(2), pp. 188-198.

ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS DURABLES

- [Rudofsky, 1964] Rudofsky, B., 1964, *Architecture sans architectes*, Che□ne, Paris.
- [Rumbaugh et al., 1991] Rumbaugh, J., Blaha, M., Premerlani, W., Eddy, F., Lorensen, F., 1991, *OMT Modélisation et conception orientée objet*, Prentice-Hall.
- [Salamatov, 1999] Salamatov, Y., 1999, *TRIZ: The Right Solution At the Right Time*, Insytec BV, Netherlands.
- [Scaletsky, 2003] Scaletsky, C., 2003, *Ro□les des références dans la conception initiale en architecture: contribution au développement d'un Système Ouvert de Références au Projet d'Architecture - le système "Kaleidoscope"*, Thèse de doctorat en sciences de l'architecture, Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, France.
- [Scaletsky, 2004] Scaletsky, C., 2004, *The Kaléidoscope System to Organize Architectural Design References*, IJAC, 2(3), pp. 351-369.
- [Schenk, 2010] Schenk, K., 2010, *The Haus Schminke*, Source web: <http://www.stiftung-hausschminke.eu/en/Startseite/> [septembre 2010]..
- [Scheuer et Keoleian, 2003] Scheuer, C., Keoleian, G. A., Reppe, P., 2003, *Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications*, Energy and Buildings, 35, pp.1049–1064.
- [ScIng] Sciences de l'ingénieur, *TRIZ : une méthodologie d'aide à l'invention*, Source web : http://www.si.ens-cachan.fr/accueil_V2.php?page=affiche_ressource&id=22, [novembre 2010].
- [SDTU, 2007] Service Développement des Territoires et Urbanisme, 2007, *Densité urbaine dans la Somme : Repères*, Rapport de Direction départementale de l'Équipement, Service Développement des Territoires et Urbanisme, Source web : http://www.somme.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/INTRODENSITE_cle767b44.pdf [Avril 2010].
- [Seebohm, 2007] Seebohm, T., 2007, *Paradigm Shift*, In: De Paoli, G., Zreik, K., Beheshti, R., (sous la direction de). *Digital Thinking in Architecture*, Civil Engineering, Archaeology, Urban Planning and Design: Finding the Ways. Proceedings of EuroIA'11: 11th International Conference on Design Sciences and Technology, Paris, France.
- [Short et al.] *Cabinet d'architecture de Short et associés*, Source web: <http://www.shortandassociates.co.uk/projects.asp>, [avril 2011].
- [Soebarto et Williamson, 2001] Soebarto, V. I., Williamson, T. J., 2001, *Multi-criteria assessment of building performance: theory and implementation*, Building and Environment, 36, pp. 681–690.
- [SternReview, 2006] SternReview, 2006, Étude réalisée par la Stern Review, à partir de données tirées du World Resources Institute, Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) base de données en ligne, version 3.0. Source web : <http://www.heatandpower.ltd.uk/Your%20Help.htm>, [septembre 2009].
- [Tenorio, 2007] Tenorio, R., 2007, *Enabling the hybrid use of air conditioning: A prototype on sustainable housing in tropical regions*, Building and Environment, 42, pp.605–613.
- [Thiault, 2007] Thiault, D., 2007, *Le modélisateur : de la modélisation des processus d'entreprise*, Collection finance gestion management, Hermès - Lavoisier, p. 238.
- [Thompson, 1961] Thompson, D. W., 1961, *On Growth and Form*, Cambridge University Press, GB.
- [Tichkiewitch et al., 1993] Tichkiewitch, S., Tiger, H., Jeantet, A., 1993, *Ingénierie simultanée dans la conception de produits*, Université d'été du po□le productique Rho□ne Alpes, Aussois.

- [**Tidafi, 2007**] Tidafi, T., 2007, *New digital cultures Facing Complexity: Archaeology and Modeling*, In: De Paoli, G., Zreik, K., Beheshti, R., (sous la direction de). *Digital Thinking in Architecture, Civil Engineering, Archaeology, Urban Planning and Design: Finding the Ways*. Proceedings of EuropIA'11: 11th International Conference on Design Sciences and Technology, Paris, France.
- [**Todd et al., 2001**] Todd, J. A., Crawley, D., Geissler, S., Lindsey, G., 2001, *Comparative assessment of environmental performance tools and the role of the Green Building Challenge*, *Building Research & Information*, 29 (5), pp. 324-335.
- [**Tricot, 2000**] Tricot, A. T., 2000, *Un cadre formel pour interpréter les liens entre utilisabilité et utilité des systèmes d'information (et généralisation à l'évaluation d'objets finalisés)*, Acte de Colloque Ergo – IHM, Biarritz, pp. 195-202.
- [**Trocmé et Peuportier, 2007**] Trocmé, M., Peuportier, B., 2007, *Analyse de cycle de vie d'un bâtiment*, JEEA - ENS Cachan, Energie et développement durable, 14 et 15 mars, France.
- [**USGBC, 2002**] U.S. Green Building Council, 2002, *An Introduction to the U.S. Green Building Council and the LEED Green Building Rating System*, Source web: <http://www.usgbc.org> [novembre 2010].
- [**Van Hal, 2006**] Van Hal, A., 2006, *The keyword is quality not ecology*, In Proceeding of the First International Conference on Harmonisation between architecture and Nature : Eco-Architecture, Wessex Institute of Technology, UK, pp.35-39.
- [**Visser et al., 2004**] Visser, W., Darses, F., Détienne, F., 2004, *Approches théoriques des activités de conception en psychologie ergonomique*, Dans J. H. (Eds.), *Psychologie Ergonomique : tendances actuelles*, PUF, Paris, pp. 97-118.
- [**Wang et al., 2002**] Wang, L., Shen, W., Xie, H., Neelamkavil, J., Pardasani, A., 2002, *Collaborative conceptual design – state of the art and future trends*, *Computer-Aided Design*, 34(13), pp. 981-996.
- [**Yi-Luen, 1996**] Yi-Luen, D.E., 1996, *The Right Tool at the Right Time: drawing as an interface to knowledge based design aids*, Dans F. O. McIntosh (Eds.), *Proceedings of the National Conference - Association for Computer Aided Design in Architecture*, pp.191-199.

Sources icônographiques

Figure 3 – À gauche, l'exemple de loggia du monastère grec Simon Petra, à droite des exemples de l'architecture transportable : en Guinée (en haut à gauche), en Inde (en haut à droite) et au Vietnam (en bas). [Rudofsky, 1964].

Figure 12 – Sources des icônes :

<http://www.sydneycloseup.com/sydney-opera-house-facts.html> ;
et <http://papertoys.com/images/sydney-opera-house-1.gif>, [septembre, 2010].

Figure 18 – [Short et al.], en haut de gauche à droite:

The Design Centre, Berkhamsted Collegiate School ; Harm A. Weber Library and Academic Center, Judson College , Lanchester Library, Coventry University , Chancellors Conference and Teaching Centre, Manchester ;
En bas de gauche à droite: Contact Theatre, Manchester , The Queens Building, De Montfort University, Leicester , School of Slavonic and East European Studies, University College London , School of Slavonic and East European Studies, University College London, Garrick, Lichfield.

Figure 19 – Sources des images de gauche à droite:

Cyclopaedia, 1728, http://metinsaylan.com/?attachment_id=647, [avril 2011] ; Yacht Design, 1998, *Blue Water Cruiser - Drawing #14005*, Source web : <http://www.skirayachtdesign.com> [Avril 2011].

Figure 37 – Sources des images de gauche à droite:

Jardin de Dolatabad à Yazd, Iran ; la mairie de Londres, Source web : <http://www.flickr.com/photos/fulbert05/5464780938/>, [avril 2011] ; la cité futuriste en Corée du Sud, Source web : <http://www.andrebio.com/article-les-gratte-ciel-futuristes-de-gwanggyo-50524789.html> [avril 2011] .

Figure 38 - Extrait des stratégies exprimées par le projet du siège d'une organisation internationale (OMPI) à Genève. Architectes : J.M. Ibos et M. Vitart. [Emery, 2002]

Figure 48 - Réalisations présentées dans la base de données éco.mod, disponible sur web :

<http://www.crai.archi.fr/eco.mod/eco.mod/EcoModele.html>, [Janvier 2011].

Les projets et les sources d'images:

(A-1) Bâtiment Renco à Pesaro (<http://www.mcarchitects.it/index.php?id=19&projid=37>); (A-2) Bibliothèque Lanchester à Coventry

(http://www.zhbluzern.ch/liberlag/PP_LAG_08/Wednesday/Noon_Budapest_08_def.pdf) ; (A-3) Bibliothèque à

Vancouver (<http://www.msafdie.com/#/projects/vancouverlibrariesquare>); (A-4) Bureaux Cocoon à Zurich

(<http://www.camenzindevolution.com/>); (A-5) Campus Michellin à Clermont-Ferrand

(<http://www.mcarchitectsgate.it/index.php?id=19&projid=118>); (A-6) Centre commercial à Luxembourg

(<http://www.architect.lu/>); (B-2) Chapelle à Red Oak (J.C. Bignon, 2008); (B-3) Complexe Debis à Berlin

(<http://de.wikipedia.org/wiki/Debis-Haus>); (B-5) Ecole Tevfik Seno Arda à Izmit Kocaeli

(http://www.constructalia.com/fr/resources/ContenidoProyect/04916531_FOTO_AMPLIADA.gif); (B-6)

Extension de la mairie à Koniz (J.C. Bignon, 2007); (C-1) Gare Hauptbahnhof à Berlin

(http://fr.wikipedia.org/wiki/Berlin_Hauptbahnhof); (C-2) Immeuble Daimler Chrysler à Berlin

(<http://www.arcspace.com/architects/rogers/benz/>); (C-4) Lycée Charles de Gaulle à Vannes

(<http://www.rialland-associes-architectes.com/Lycee-Charles-de-gaulle.html>); (C-5) Lycée Chevrollier à Angers (<http://www.nh-lungern.com/cgi-bin/wPrintpreview.cgi?source=http://www.nhlungern.com/wFrancais/news/lycee.asp>); (C-6) MUDAM Musée d'Art Moderne à Luxembourg (<http://www.mudam.lu/fr/le-musee/le-batiment/>); (D-1) Office fédéral de la statistique à Neuchâtel (J.C. Bignon, 2007) ; (D-3) Pavillon Lassonde à Montréal (http://fr.wikipedia.org/wiki/Pavillons_Lassonde); (D-4) Siège Guzzini à Recanati (<http://www.mcarchitetsgate.it/index.php?id=19&projid=100>); (D-5) Siège MMH à Nancy (<http://www.crit.archi.fr/produits%20innovants/ChantiersBatiments/MMH%20Nancy/MMH.html>); (D-6) Parlement Portcullis (http://www.flickr.com/photos/uk_parliament/2383628518/) ; (E-1) Siège Soochow à Suzhou (http://www.e-architect.co.uk/china/soochow_securities_headquarters.htm); (E-2) Torre cube à Guadalajara (http://www.e-architect.co.uk/mexico/cube_tower_guadalajara.htm); (E-3) Tour Agbar à Barcelone (http://www.acturban.org/biennial/diff_pages/img_excursions/torre_agbar_1_72_dpi.jpg); (E-5) Université de médecine à Nantes (<http://jplott.fr/>); (E-6) Université de sciences à San Francisco (<http://www.archdaily.com/6810/california-academy-of-sciences-renzo-piano/>).

Figure 57 – Source : Googlemap©, 2010.

Figure 59 - Esquisse de deux étudiants du master AME - promotion 2009, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy [janvier 2010].

Figure 60 - Esquisse d'une étudiante du master AME - promotion 2009, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy [janvier 2010].

Figure 61 - Esquisse d'un étudiant du master AME - promotion 2009, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy [janvier 2010].

Figure 71 - Esquisse de trois étudiants du master AME - promotion 2010, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy [septembre 2010].

Figure 72 - Esquisse de trois étudiants du master AME - promotion 2010, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy [septembre 2010].

Figure 73 - Les Eco-Profiles sont réalisés en collaboration avec Charline Weissenstein, Architecte et doctorante au laboratoire CRAI.

Figure 84 - Equipe des étudiants de Nancy, Projet architectural de GAIA, Année scolaire 2010-2011.

Figure 88 - Equipe des étudiants de Nancy, Projet architectural de GAIA, Année scolaire 2010-2011.

ANNEXES

Annexe 1- Environnement graphique d'éco.mod

L'ensemble de l'environnement de l'interface nécessite un graphique cohérent et compréhensible pour l'utilisateur. Afin de répondre à cet objectif, les éléments graphiques de l'interface d'éco.mod sont décomposés dans 4 grandes catégories :

- Icônes,
- Zones du texte (Étiquette) : sans interactivité,
- Les éléments séparateurs,
- Les pages de référence,
- La carte de géolocalisation.

Chaque catégorie a été le sujet de plusieurs essais graphiques. La cohérence de l'ensemble de graphiques est recherchée par la visualisation fréquente des essais.

a- Les icônes d'éco.mod

En ce qui concerne les icônes d'éco.mod, selon l'opération et le niveau, ils peuvent être deux types:

- icônes simples,
- icônes interactives.

Les icônes simples ont pour but de communiquer une information avec l'utilisateur à travers l'image et/ou aider l'utilisateur à retrouver son chemin parcouru de navigation.

Les icônes interactives, ont pour but de communiquer une information avec l'utilisateur à travers l'image, aider l'utilisateur à retrouver son chemin parcouru de navigation, mais aussi de transférer l'utilisateur d'une page à l'autre.

Au niveau du graphisme, les icônes selon l'élément ou les éléments qui représentent, empruntent différents types d'image :

- dessin abstrait,
- image réelle accentuée,
- image réelle.

ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS DURABLES

Un travail d'homogénéisation des icônes est effectué afin de faciliter la lecture d'utilisateur. Les icônes sont d'ailleurs équipés d'un agrandissement 3D pour faciliter la visualisation rapide.

Les icônes de la page d'accueil - représentent les grandes catégories du contenu - les éco-modèles, les cas, les cibles. Pour ces icônes interactives, des graphiques abstraits définissent mieux cette généralité et restent identiques à leurs catégories (Annexe 1-1).



Annexe 1 - 1 - Les icônes de la page d'accueil : à gauche cas de réalisation, au centre cible HQE[®] et à droite éco-modèle (notre recherche)

Les icônes dans les autres niveaux - 2, 3 et 4 – ne représentent pas une catégorie, mais un élément précis dans l'environnement d'éco.mod - un éco-modèle, un cas, une cible. Ces icônes sont identiques à leur élément représenté.

Pour les cas de réalisation, ils sont choisis parmi les images réelles ou de synthèse depuis l'extérieur du bâtiment (Annexe 1 – 2).



Annexe 1 - 2 - Trois exemples d'icône représentant les cas de réalisation : (du gauche à droite) Centre d'éducation d'Eupos Parkas à Vilnius, Maison individuelle à Saint-Rémy, Maison individuelle à Han-i-Ian (collecte et adaptation par notre recherche)

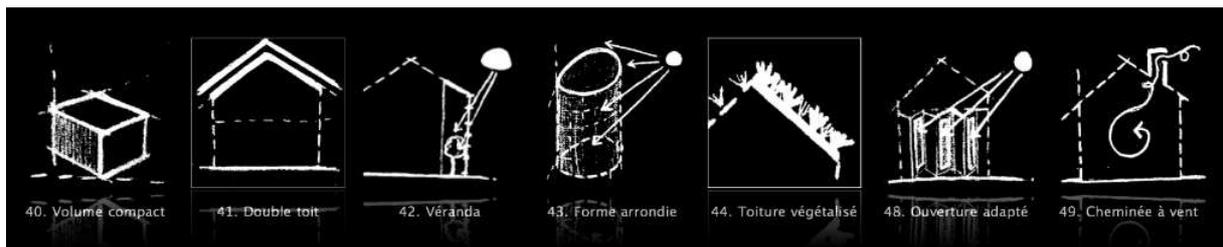
Par contre, les icônes des cibles sont des images réelles accentuées qui aident à une communication rapide des exigences des cibles. Ces icônes sont interactives et renvoient l'utilisateur vers les annotations de l'élément (Annexe 1-3).



Annexe 1 - 3 - Trois exemples d'icônes pour les cibles HQE® : C6-Gestion des déchets, C10-Confort visuel, C8-Confort hygrothermique (Collecte et adaptation par notre recherche)

Pour représenter les éco-modèles par des icônes, nous avons essayé deux types de représentation :

- le dessin abstrait (Annexe 1-4),
- l'image réelle accentuée (Annexe 1-5).



Annexe 1 - 4 - Essai de représentation par le dessin (notre recherche)



Annexe 1 - 5 - Essai de représentation par l'image réelle accentuée (collecte et adaptation par notre recherche)

L'outil éco.mod a comme caractéristique de permettre des mises à jour régulières. L'ajout de nouveaux éco-modèles ou de cas dans les répertoires, augmente le risque de non homogénéité des icônes (c'est-à-dire le recours à des styles de dessin variés). Cependant, nous avons souligné l'importance de respecter ce point, l'homogénéité des icônes, afin de ne pas affecter le choix des éco-modèles par l'utilisateur. C'est pourquoi nous avons décidé de garder le

ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS DURABLES

deuxième type d'icône, c'est-à-dire les images réelles accentuées, pour représenter les éco-modèles. Ces icônes interactives renvoient l'utilisateur vers les annotations des éco-modèles et leurs contextes relationnels et environnementaux.

Au niveau des répertoires, nous avons mis en place des icônes simples explicatives. Ces icônes avec un dimensionnement différent des icônes précédemment expliquées, n'apparaissent que dans les visualisations rapides des icônes des répertoires. Ils ont pour objectif de mieux expliquer l'icône et rassurer partiellement l'utilisateur de la compréhension de son choix avant d'aller à l'étape suivante. Pour les icônes d'éco-modèles, il s'agit de trois exemples de l'application d'éco-modèle dans le projet. Pour les cibles HQE[®], ce sont des images des réalisations respectant l'exigence. Enfin, pour les cas de réalisation, il s'agit des autres images du projet - vues internes ou d'autres angles de vue de bâtiments (Annexe 1 - 6).



Annexe 1 - 6 - à gauche : les exemples icônes explicatives ayant une fonction zoom dans le répertoire : en haut pour un cas de réalisation (Office fédéral de statistique à Neuchatel), au centre pour une cible (qualité de l'aire), en bas pour un éco-modèle (Toit-végétalisé) ; à droite : Exemple d'un aperçu zoom 3D (Office fédéral de statistique à Neuchatel)

Enfin, au niveau 4 (niveau d'analyse), certains icônes possèdent des codes couleur pour représenter les impacts et les relations des éco-modèles. Quatre codes- couleurs sont définis afin de permettre la visualisation des trois types de relation et les trois types de l'impact :

- Vert : Pour les impacts environnementaux, cette couleur représente un impact positif, pour les relations entre éco-modèles, cette couleur représente une relation d'équivalence
- Bleu : Pour les relations entre éco-modèles, cette couleur représente une relation de combinaison
- Gris : Pour les impacts environnementaux, cette couleur représente un impact neutre
- Rouge : Pour les impacts environnementaux, cette couleur représente un impact négatif, pour les relations entre éco-modèles, représente une relation de contradiction

Les codes- couleurs verts, bleus et rouges sont représentés par des triangles au coin des icônes identiques aux éléments. Le code-couleur gris est représenté par une diminution de luminosité de l'icône d'élément. D'ailleurs, ces icônes, sauf les gris, sont interactives. Aucune de ces icônes ne possède une option de zoom (Annexe 1-7).



Annexe 1 - 7 - Exemples des codes-couleurs vert, bleu, gris et rouge pour montrer les relations entre les éco-modèles et les impacts (notre recherche)

À l'aide de ces codes-couleurs nous pouvons communiquer non seulement une analyse rapide et visuelle à l'utilisateur, mais aussi les propositions d'amélioration et précaution avec des couleurs assez connues pour cet usage (e.g. rouge dans les signalisations, représente souvent la précaution ou le stop).

Autres types d'icônes sont utilisées pour la barre de haute page. Ceux-ci ont pour l'objectif de rappeler l'état de navigation et aider au retour. La composition de ces icônes varie selon le niveau : dans le niveau 1 il s'agit d'une icône d'éco.mod simple et dans les niveaux 2, 3 et 4, une composition des icônes interactives pour retour en arrière et les icônes simples pour le repère de navigation (Annexe 1-8).

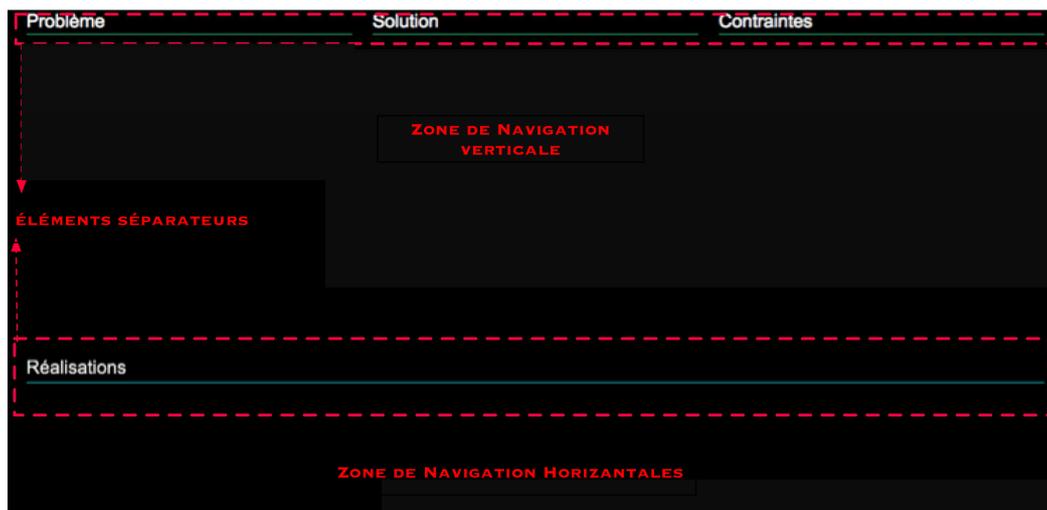


Annexe 1 - 8 - Exemples des icônes de barre de haute page : à gauche niveau 2 et à droite niveau 3 et 4 (notre recherche)

b - Les éléments séparateurs

Les éléments séparateurs sont des lignes avec des couleurs suivant le thème - en bleu dans les pages concernant réalisation, en vert dans les pages concernant les éco-modèles et en jaune dans les pages concernant les cibles - qui séparent les parties d'une page.

Leurs objectifs sont de faciliter la lecture des thématiques par l'utilisateur. Grâce à ces éléments, chaque partie de la page peut avoir sa propre règle de navigation - horizontale ou verticale. Cela permet aussi de diminuer le nombre des pages et la perte dans l'environnement de l'interface. Par exemple au niveau 3 - dans les annotations d'un éco-modèle - la partie du contexte conceptuel - problème/solution/contrainte - est séparée de la partie des réalisations avec des éléments séparateurs et leurs étiquettes (Annexe 1-9).



Annexe 1 - 9 - Les éléments séparateurs entre différentes zones de navigation (notre recherche)

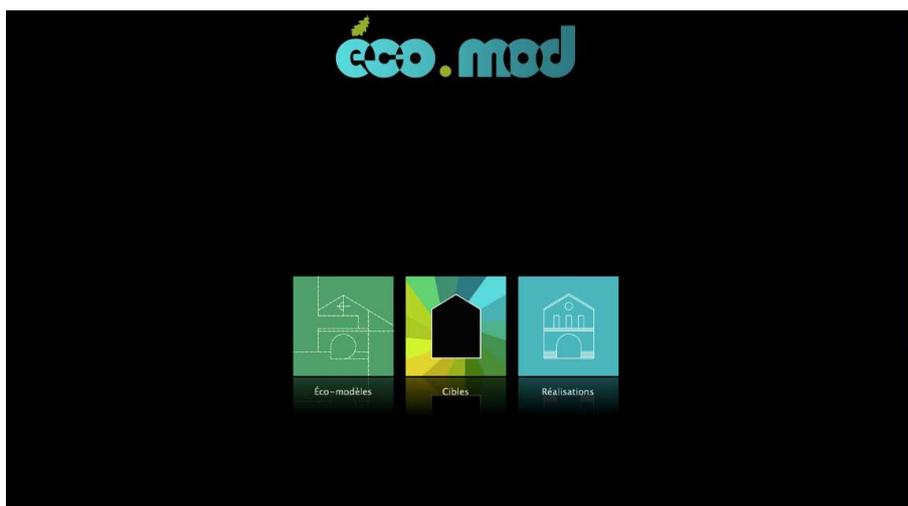
c - Les pages de référence

Au niveau des annotations des cas de réalisation, des informations retrouvées sur le cas - majoritairement les pageweb des architectes ou des revues - sont présentes en bas de page et dans la zone d'information. Ils sont, en effet, des références d'étude des cas. L'utilisateur peut directement les consulter sur l'éco.mod et cela sans ouvrir une autre fenêtre. Ces éléments gardent les identités graphiques et textuelles de leurs pages web d'origine.

d - La carte de géolocalisation

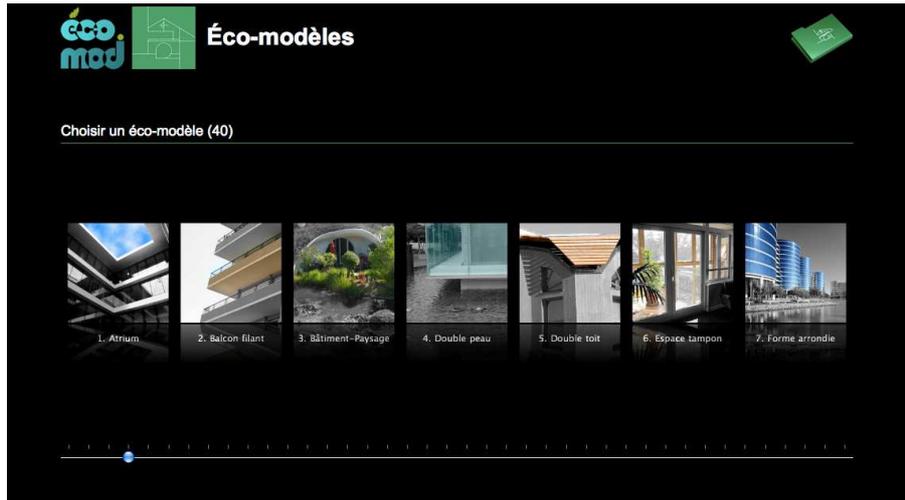
Dans le niveau 3, nous avons équipé les annotations des réalisations d'une carte de géolocalisation, empruntée à Googlemaps[®]. Elle possède tous les avantages de Googlemaps[®], c'est-à-dire le zoom, la vue des cartes routières ou de satellite, etc. Cette carte a pour objectif de renseigner l'utilisateur du positionnement géographique et urbain du cas en étude. Cette carte a été intégrée dans la page de réalisation sous une dimension lisible.

Les éléments graphiques nommés, ont été un par un conçus, et une fois mis ensemble, ils doivent répondre à une intégralité cohérente. Les zones de texte et la quantité de texte, ainsi que le positionnement des étiquettes et des fonctions du zoom sont étudiés de suite. Dans le (Annexe 1-10/16) nous amenons des exemples des pages de chaque niveau du prototype.

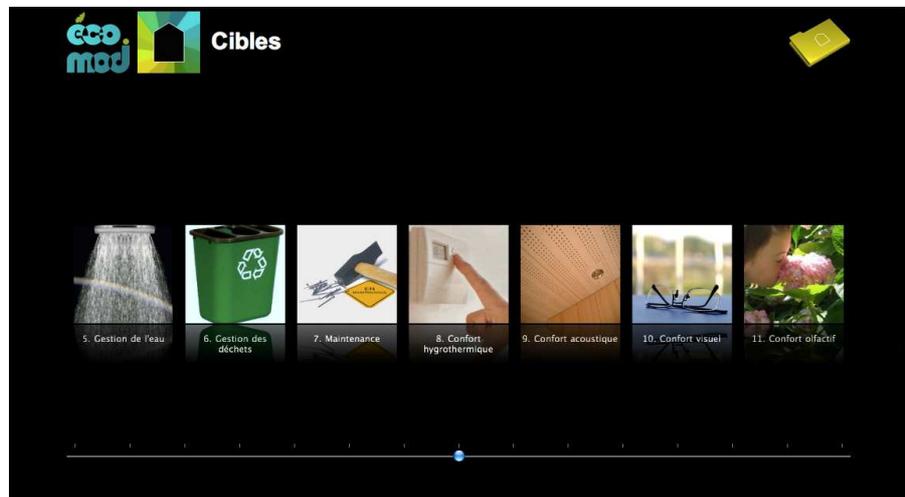


Annexe 1 - 10 – Niveau 1 d'éco.mod : Page d'accueil

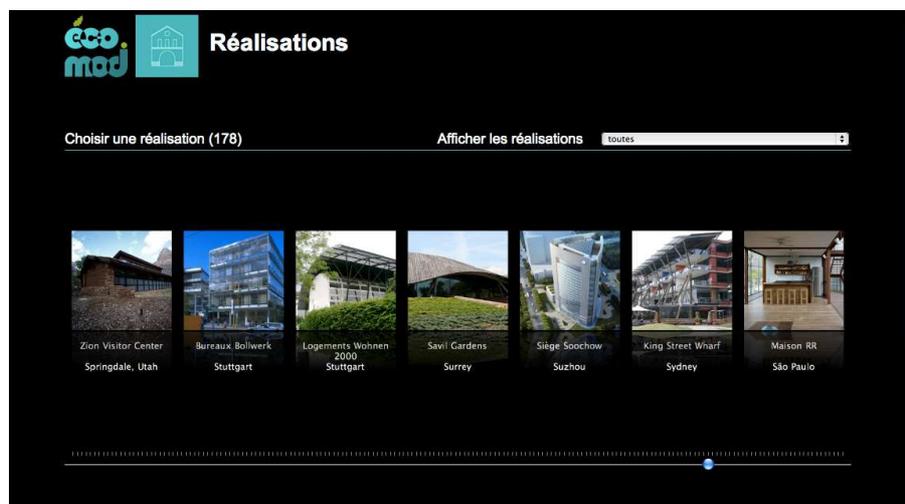
ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS DURABLES



Annexe 1 - 11 - Niveau 2 d'eco.mod : Page du répertoire des éco-modèles



Annexe 1 - 12 - Niveau 2 d'eco.mod : Page du répertoire des cibles HQE®



Annexe 1 - 13 - Niveau 2 d'eco.mod : Page du répertoire des réalisations




2. Balcon filant



Problème	Solution	Contraintes
<p>De plus en plus de bâtiments possèdent de grandes baies vitrées pour recevoir de la lumière naturelle et offrir de larges vues aux occupants. Mais ces baies peuvent entraîner des phénomènes de surchauffes climatiques l'été et ne sont pas toujours aisées à nettoyer.</p>	<p>Les balcons filants forment un brise-soleil continu permettant d'éviter les éblouissements et les surchauffes liés à l'ensolaînement de l'été. Ils jouent par ailleurs un rôle de déflecteur acoustique utile en bordure de zones bruyantes. Ils servent d'espace de maintenance pour faciliter le nettoyage des baies vitrées. Enfin ils peuvent être utilisés comme coursives de circulation et offrent des espaces à vivre semi-ouverts pour les étages s'ils sont assez larges (largeur supérieure à 1,80 m).</p>	<p>Économiques</p> <p>Les surfaces construites qui n'ont pas de fonctions bien précises sont souvent limitées au niveau de la programmation des bâtiments car elles apparaissent dans les budgets de construction comme un coût supplémentaire.</p> <p>Hygro-thermiques</p> <p>Les détails de conception des balcons sont très sensibles aux ponts thermiques. La structure des balcons et les jonctions avec la façade du bâtiment doivent être étudiées pour éviter au maximum les déperditions.</p>

Choisir une réalisation (13)
Afficher les réalisations



Habitations (The Aleph)
Buenos Aires



Centre multi-activités
Fribourg



650 appartements
Ljubljana



Bâtiment de bureaux
Metz



Logements HQE
Mulhouse



Ecole d'Architecture
Nantes



Université
New Castle

Cible :

- ▲ favorable
- sans conséquence
- ▲ défavorable

 2. Choix des composants	 4. Gestion d'énergie	 7. Maintenance	 8. Confort hygrothermique	 9. Confort acoustique
 10. Confort visuel	 1. Bâtiment et son environnement immédiat	 3. Chantier vert	 5. Gestion de l'eau	 6. Gestion des déchets
 11. Confort olfactif	 12. Santé - espaces	 13. Qualité de l'air	 14. Qualité de l'eau	 15. Bio diversité

Éco-modèle :

- ▲ équivalent
- complémentaire
- ▲ opposé

 21. Masques proches	 33. Encorbellement de façade	 1. Atrium	 7. Forme arrondie	 9. Oriel transparent (ou véranda)	 10. Parking à vélo	 12. Cheminées à vent
 3. Bâtiment-Paysage	 4. Double peau	 29. Paroi rideau photovoltaïque				

Annexe 1 - 14 – Niveau 3 d'éco.mod : Page des annotations (et des relations) d'un éco-modèle





10. Confort visuel



Objectif

Pour offrir un meilleur confort à l'utilisateur, l'éclairage naturel doit être privilégié, ainsi que la mise en place d'une relation visuelle avec l'extérieur, tout en évitant leurs inconvénients (gestion de l'éblouissement par exemple). Les sources complémentaires d'éclairage artificiel doivent être appropriées, et doivent concilier maîtrise des consommations d'énergie et confort. Le niveau d'éclairement doit pouvoir être optimal à chaque moment de la journée, et non éblouissant.

Choisir un éco-modèle (15)


1. Atrium


2. Balcon filant


7. Forme arrondie


8. Lumière du toit


9. Oriel transparent (ou véranda)


14. Lumière renvoyée


15. Pied de façade végétalisée

Annexe 1 - 15 – Niveau 3 d'éco.mod : Page des annotations (et des relations) d'une cible HQE®





Bibliothèque Lanchester



Type(s) : Bâtiment culturel et de loisir
Construction : Neuve
Milieu : Urbain dense
Climat : Continental
Adresse : Coventry University, Priory Street, CV1 5FB
 Coventry
Pays : Angleterre
Année : 2001
Architecte(s) : Alan Short
Maître d'ouvrage : Université de Coventry



Informations

<http://www.coventry.ac.uk/cu/library/>
<http://www.outilsolaires.com/Arch/ptin-fenetre6.htm>
<http://www.cwn.org.uk/heritagedays/2001/08/010828-lanchester-library.htm>



Adresse :
 Coventry University Priory Street CV1 5FB
 Coventry

Obtenir directions : [Jusqu'ici](#) - [D'ici](#)

Choisir un éco-modèle (6)


1. Atrium


6. Espace tampon


12. Cheminées à vent

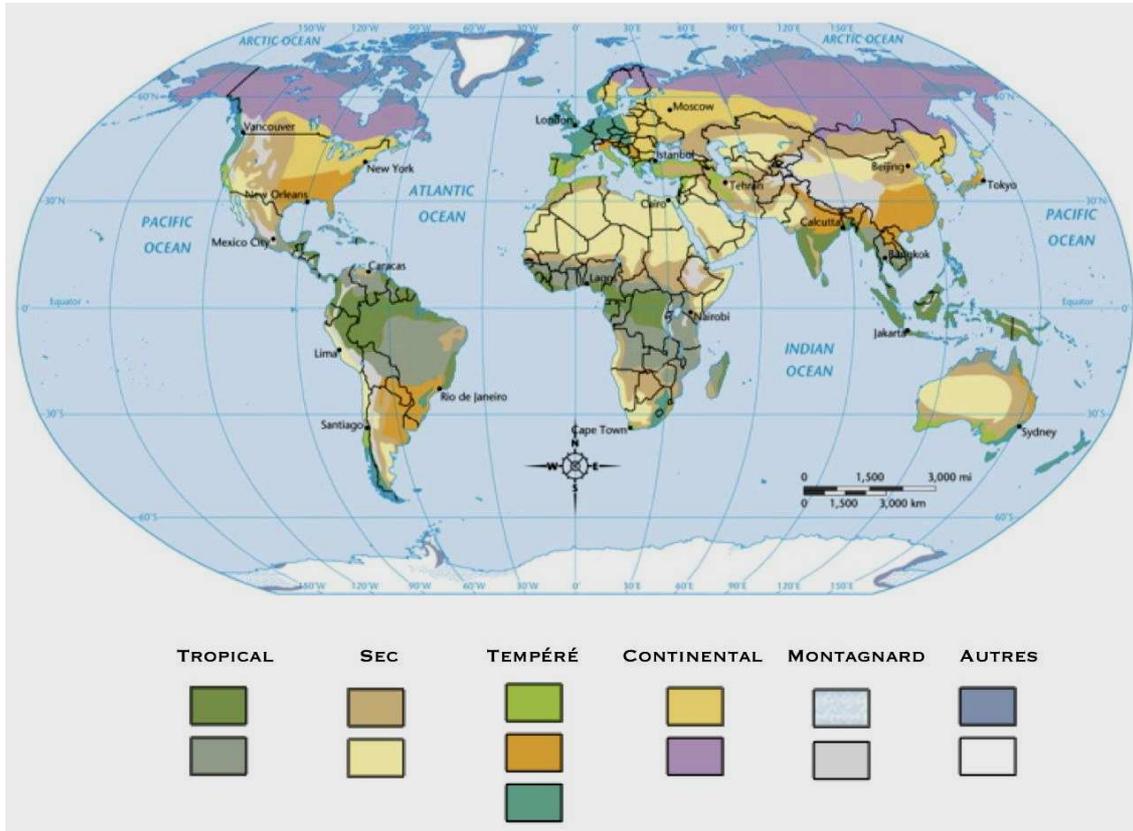

20. Fenêtre ouvrable


26. Mur massif


27. Puits de jour

Annexe 1 - 16 – Niveau 3 d'éco.mod : Page des annotations (et des relations) d'un cas de réalisation

Annexe 2- Catégorisation des climats dans le monde



Annexe 2 - 1 – La catégorisation du climat prise en compte dans notre recherche sur la carte du monde - adaptée de [National Geographic, 1998]

Annexe 3 – Environnement de la base de données

L'environnement de la base de données comprends deux fenêtré :

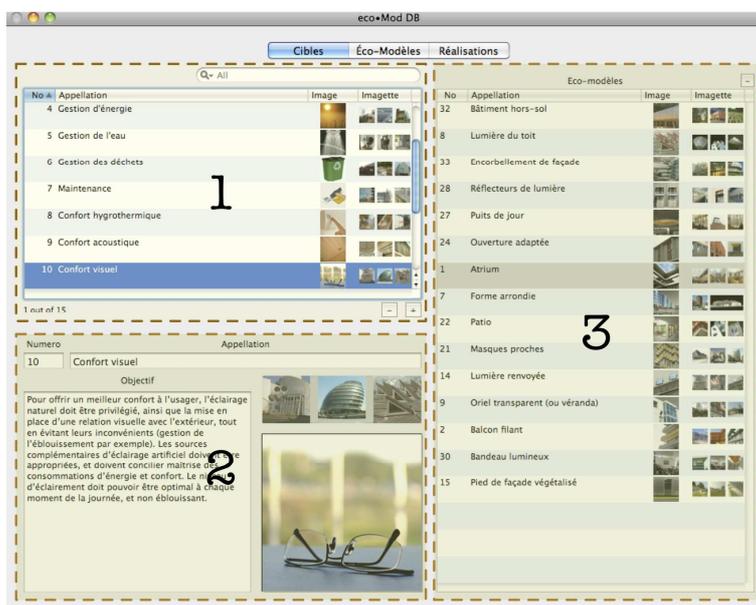
- La fenêtré principale de la base de données,
- La fenêtré de recours aux répertoires.

La fenêtré principale de la base de données contient trois onglet :

- L'onglet des cibles HQE® (Annexes 3-1/4),
- L'onglet des éco-modèles (Annexes 3-5/10),
- L'onglet des cas de réalisation (Annexes 3-11/16).

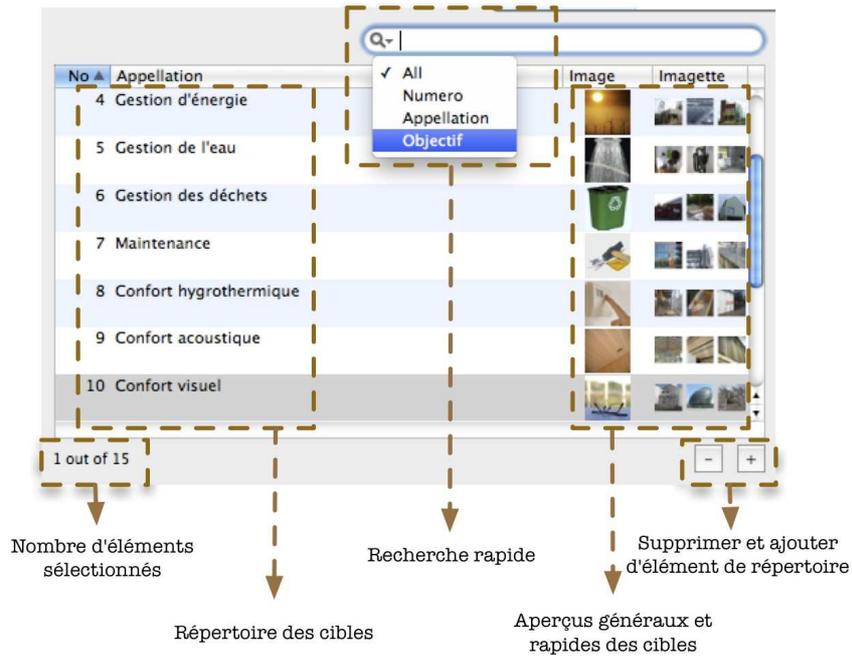
a- L'onglet des cibles

Dans la base de donnée d'éco.mod, l'onglet des cibles, comprend 3 zones (Annexe 3-1).



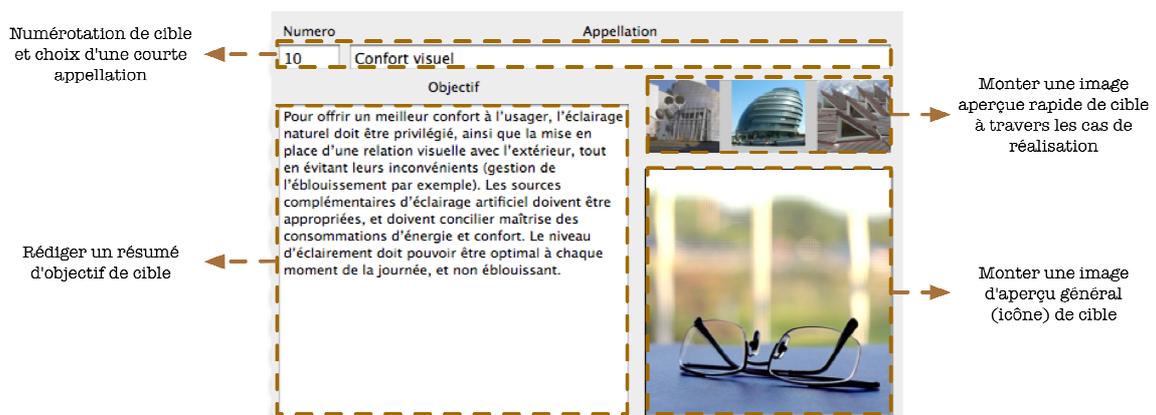
Annexe 3 - 1 - L'environnement de la base de données d'éco.mod, l'onglet des cibles : (1) zone du répertoire des cibles, (2) zone du saisie des annotations et (3) zone des relations

La zone 1 s'agit d'ajouter, de supprimer ou de chercher un élément du répertoire des cibles HQE®. Une option de recherche rapide est en disposition afin de permettre l'accès rapide à une cible par connaissance de son appellation, numéro ou les mots clés de l'objectif (Annexe 3-2).



Annexe 3 - 2 -L'environnement x d'éco.mod, zone 1 d'onglet des cibles

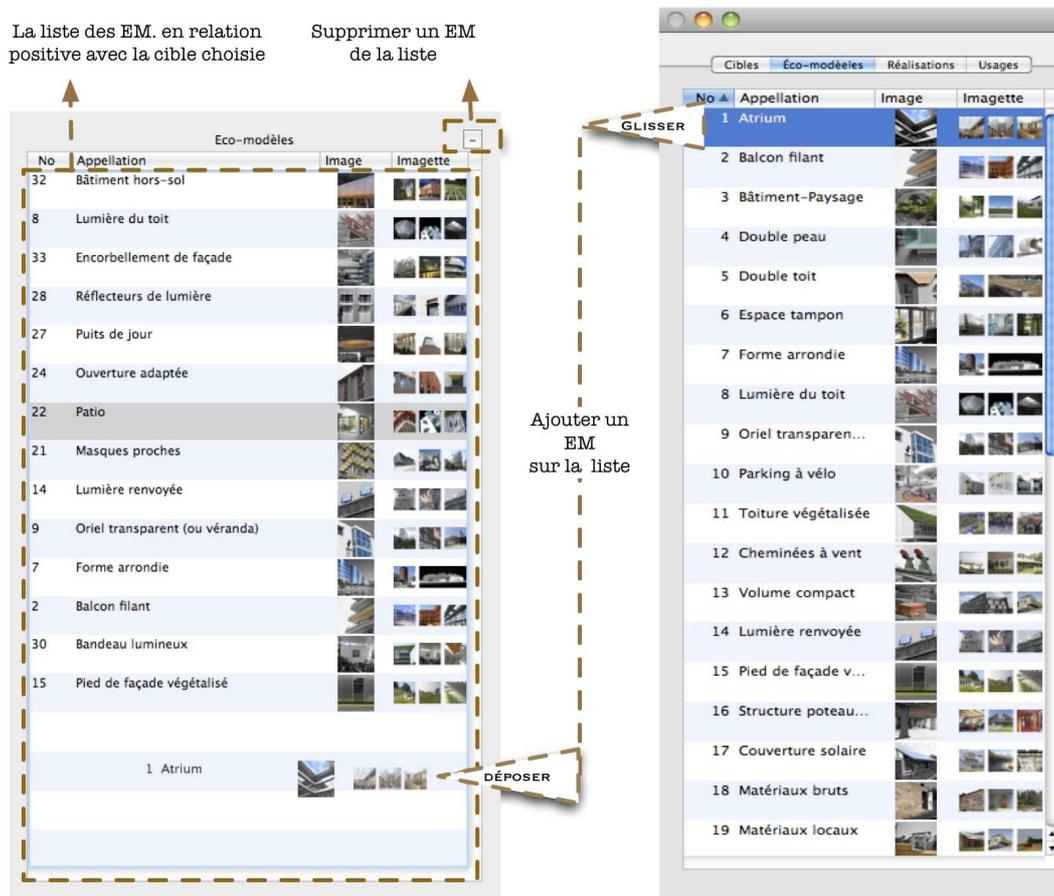
La zone 2 de cet onglet, s'agit d'un espace d'enrichissement des données concernant une cible. Cet enrichissement se fait par une numérotation de la cible (nous utilisons pour notre recherche les numéros des cibles définis par HQE®), choix d'une courte appellation (car les appellations des cibles HQE® sont parfois longues et difficiles à mémoriser), décrire l'objectif de cible à travers un texte court, monter les images nécessaires pour l'icône de la cible et son aperçu rapide à travers les cas de réalisation (Annexe 3-3).



Annexe 3 - 3 - L'environnement de la base de données d'éco.mod, zone 2 de l'onglet des cibles

ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS DURABLES

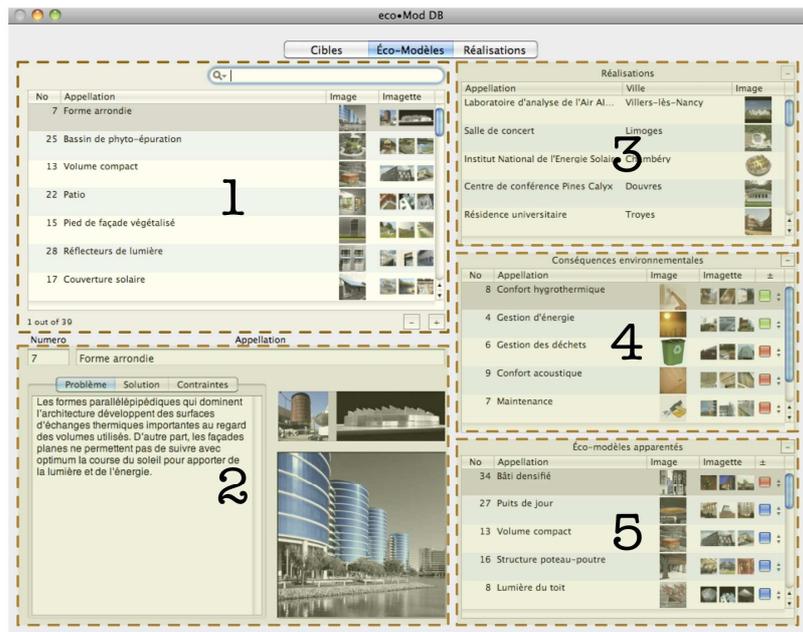
Finalement, la zone 3 de l'onglet des cibles, s'agit d'une liste des éco-modèles répondants à l'objectif de la cible. Pour diminuer le besoin de saisie, ces éco-modèles peuvent être transférées par la fenêtre de recours aux répertoires par un simple glisser - déposer (Annexe 3-4).



Annexe 3 - 4 - L'environnement de la base de données d'éco.mod, zone 3 de l'onglet des cibles

b- L'onglet des éco-modèles

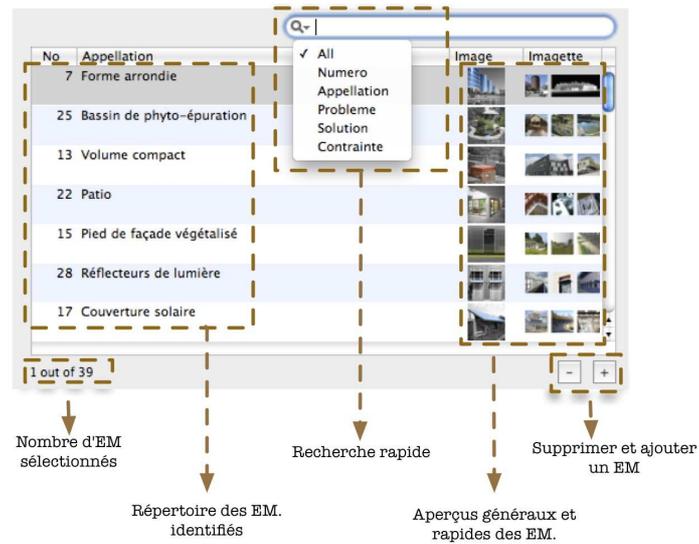
L'onglet des éco-modèles de l'environnement de la base de données d'éco.mod, contient 5 zones (Annexe 3-5).



Annexe 3 - 5 - L'environnement de la base de données d'éco.mod, l'onglet des éco-modèles : (1) Zone de répertoire de l'éco-modèle, (2) Zone de saisie des annotations, (3) Zone de cas d'utilisation dans les réalisations, (4) Zone de conséquences environnementales et (5) Zone des éco-modèles apparentés.

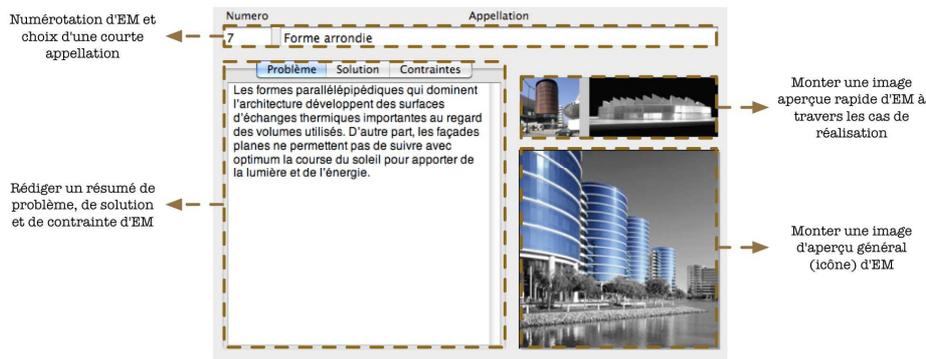
Dans la zone 1 de l'onglet des éco-modèles, il existe la possibilité d'ajouter, supprimer ou retrouver un éco-modèle dans le répertoire. Une option de recherche rapide est en disposition afin de permettre l'accès rapide à un éco-modèle par connaissance de son appellation, numéro ou les mots clés du problème, de la solution ou des contraintes (Annexe 3-6).

ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS DURABLES



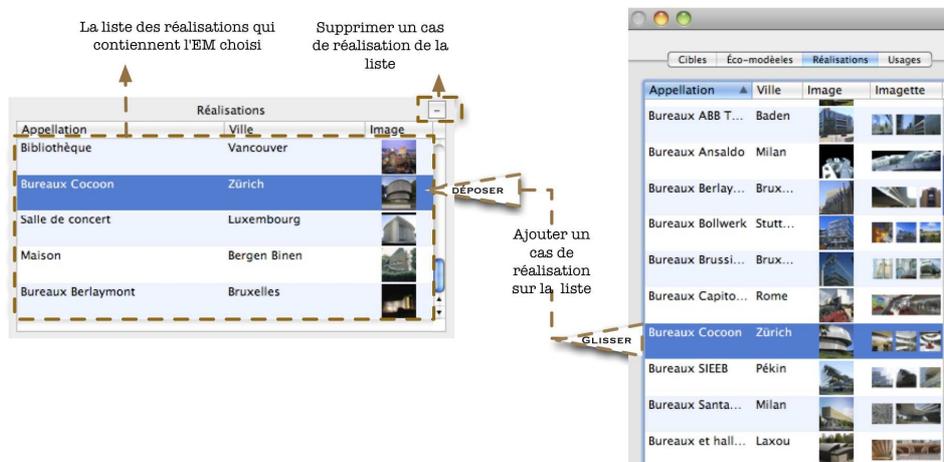
Annexe 3 - 6 - L'environnement de la base de données d'éco.mod, zone 1 de l'onglet des éco-modèles

La zone 2 de l'onglet des éco-modèles, contient les cadres de numérotation et les appellations des éco-modèles. Le numéro d'un éco-modèle sert à l'identification et mémorisation et ne possède pas un caractère d'hierarchisation entre les éco-modèles. D'ailleurs, une courte appellation aide à faire connaître l'éco-modèle et la recherche. Le « contexte conceptuel » de l'éco-modèle peut être décrit dans les 3 cadres de rédaction (Problème, solution et contrainte). Ensuite, un icône (une image d'aperçu général) sera monté pour représenter l'éco-modèle de façon visuel. Enfin, les images d'aperçu rapide de l'éco-modèle (contenant quelques exemples d'utilisation de l'éco-modèle) doivent être montées afin de favoriser une meilleure compréhension de l'éco-modèle et justifier son opérationnalité (Annexe 3-7).



Annexe 3 - 7 - L'environnement de la base de données d'éco.mod, la zone 2 de l'onglet des éco-modèles

La zone 3 de l'onglet des éco-modèles, contient une liste des réalisations qui ont appliqué l'éco-modèle choisi. Cela aide à justifier son opérationnalité mais aussi à connaître indirectement le « contexte physique » de son utilisation. L'ajout des cas de réalisation dans la liste se fait à l'aide d'une simple action de glisser déposer depuis le répertoire de réalisations et grâce à la fenêtre de recours aux répertoires (Annexe 3-8).

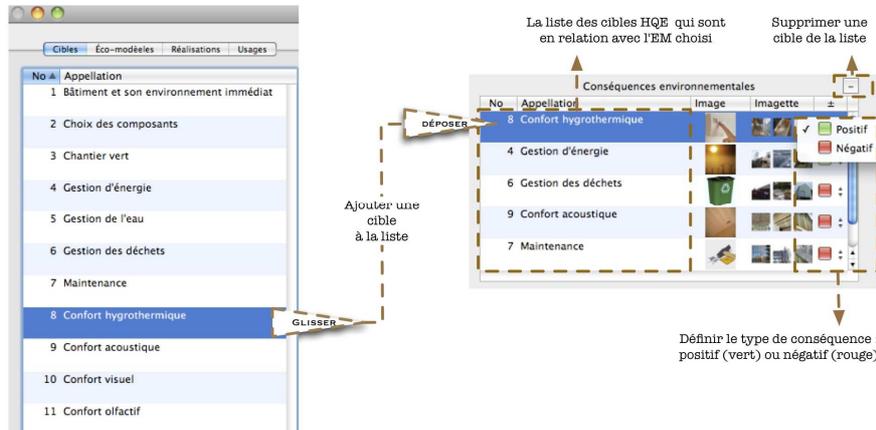


Annexe 3 - 8 - L'environnement de la base de données d'éco.mod, à gauche la zone 3 de l'onglet des éco-modèles, à droite la fenêtre de recours aux répertoires, ouverte sur la page du répertoire des réalisations

La zone 4 de l'onglet des éco-modèles, aide principalement au développement du « contexte environnemental » d'un éco-modèle A travers cette zone, nous disposons la possibilité de faire une liste des cibles HQE® en relation avec l'éco-modèle en développement (toujours à l'aide de la fenêtre des répertoires), mais aussi de définir le type de cette relation. Nous pouvons, donc, à l'aide des codes couleurs, saisir les conséquences environnementales

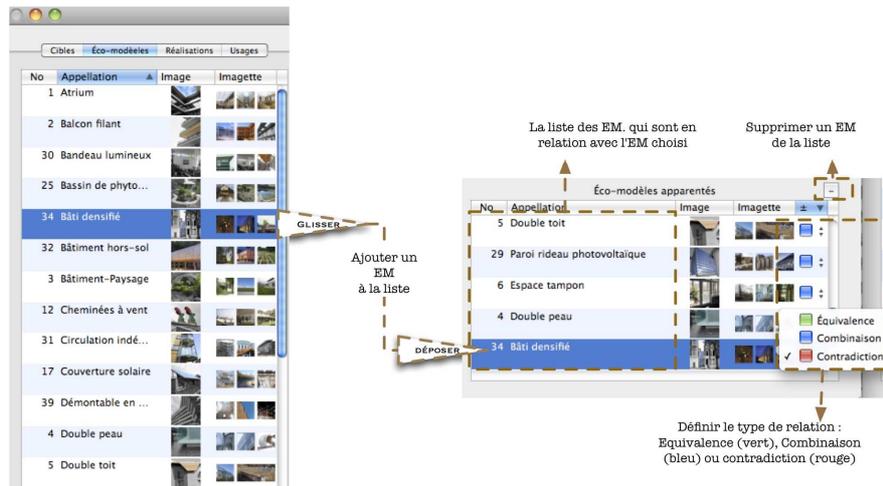
ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS DURABLES

positives et négatives de l'éco-modèle en développement par rapport à chaque cible HQE® (Annexe 3-9).



Annexe 3 - 9 - L'environnement de la base de données d'éco.mod, à droite la zone 4 de l'onglet des éco-modèles, à gauche la fenêtre de recours aux répertoires, ouverte sur la page du répertoire des cibles HQE®

Enfin, la zone 5 de l'onglet des éco-modèles, sert au développement de son « contexte relationnel ». Dans cette zone, grâce à la fenêtre de recours aux répertoires et sa liste des éco-modèles identifiés, la production d'une liste des éco-modèles en relation avec l'éco-modèle en développement devient possible. Cette zone est nommée dans la base de données les « éco-modèles apparentés ». Puis, nous pouvons définir un type de relation (équivalence, combinaison ou contradiction) pour chacune de ces relations (Annexe 3-10).

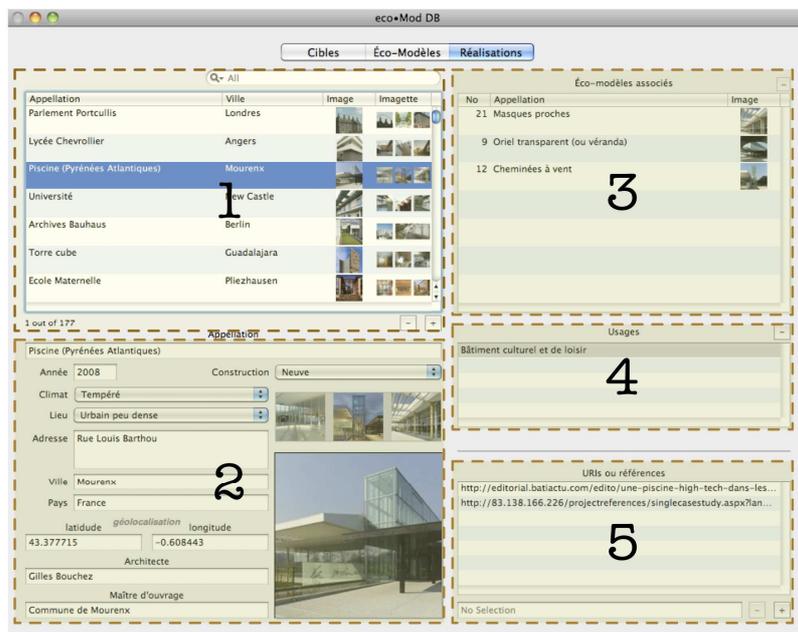


Annexe 3 - 10 - L'environnement de la base de données d'éco.mod, à droite la zone 5 de l'onglet des éco-modèles, à gauche la fenêtre de recours aux répertoires, ouverte sur la page du répertoire des éco-modèle identifiés

c- L'onglet des réalisations

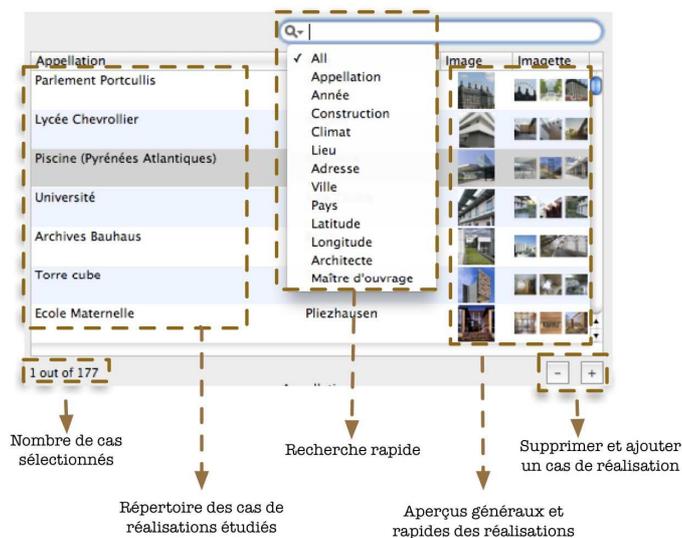
Cet onglet a pour objectif d'inscrire un cas en étude et son contexte physique dans la base de données. Il aide aussi à construire une liste des éco-modèles identifiés à travers une analyse des cas en étude. L'onglet de réalisations de l'environnement de la base de données d'éco.mod, contient 5 zones principales (Annexe 3-11). La zone 1 s'agit du répertoire des réalisations ; la zone 2 est consacrée à la saisie des annotations de cas de réalisation en étude ; la zone 3 présente les éco-modèles utilisés et identifiés dans la réalisation ; la zone 4 est consacrée à l'ajout des usages aux annotations de réalisation ; et enfin, la zone 5 pour renvoyer vers les sources des informations et des images utilisées pour l'étude et la représentation de ce cas.

ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS DURABLES



Annexe 3 - 11 - L'environnement de la base de données d'éco.mod, l'onglet de réalisations: (1) Zone du répertoire de réalisation, (2) Zone de la saisie des annotations, (3) Zone des éco-modèle utilisés dans la réalisation, (4) Zone d'usage de réalisation et (5) Zone des sources d'information

La zone 1 d'onglet de réalisations contient : un répertoire des cas analysés, une notification du nombre de cas et les options de modification (ajout ou suppression d'élément du répertoire), ainsi que la recherche rapide d'un cas précis (Annexe 3-12). Cette recherche rapide peut se faire par l'appellation, année de conception, nature de l'opération/construction, climat, milieu d'implantation/lieu, adresse, ville, pays, architecte ou encore la maîtrise d'ouvrage du projet.



Annexe 3 - 12 - L'environnement de la base de données d'éco.mod, zone 1 de l'onglet de réalisation

La zone 2 d'onglet de réalisation est assez chargée, car elle contient les attributs de deux classes du modèle de l'éco-modèle en même temps : la classe de « cas de réalisation » et la classe de « contexte physique de cas de réalisation ».

Cette zone aide à saisir toutes les annotations qui font connaître la généralité du projet. Une courte appellation et la ville ou le projet se trouve est indispensable pour entrer le cas en étude dans la base de données. La nature de l'opération, le climat et le milieu font référence à la nomenclature du « contexte physique » défini dans la démarche de l'éco-modèle.

Une saisie des données de géo-localisation du projet nous aide à retrouver la localisation exacte dans une carte numérique. Enfin, les images de représentations générales (l'icône de cas) et représentation rapide doivent être ajoutées afin de compléter cette zone pour un cas d'étude (Annexe 3-13).

Appellation	
	Piscine (Pyrénées Atlantiques)
Année de conception	Année 2008
Climat entourant le projet	Climat Tempéré
Milieu d'implantation	Lieu Urbain peu dense
La localisation du projet	Adresse Rue Louis Barthou
	Ville Mourenx
	Pays France
Les données de géolocalisation pour retrouver sur la carte	latITUDE géolocalisation longITUDE
	43.377715 -0.608443
Présenter les principaux acteurs du projet	Architecte Gilles Bouchez
	Maître d'ouvrage
	Commune de Mourenx

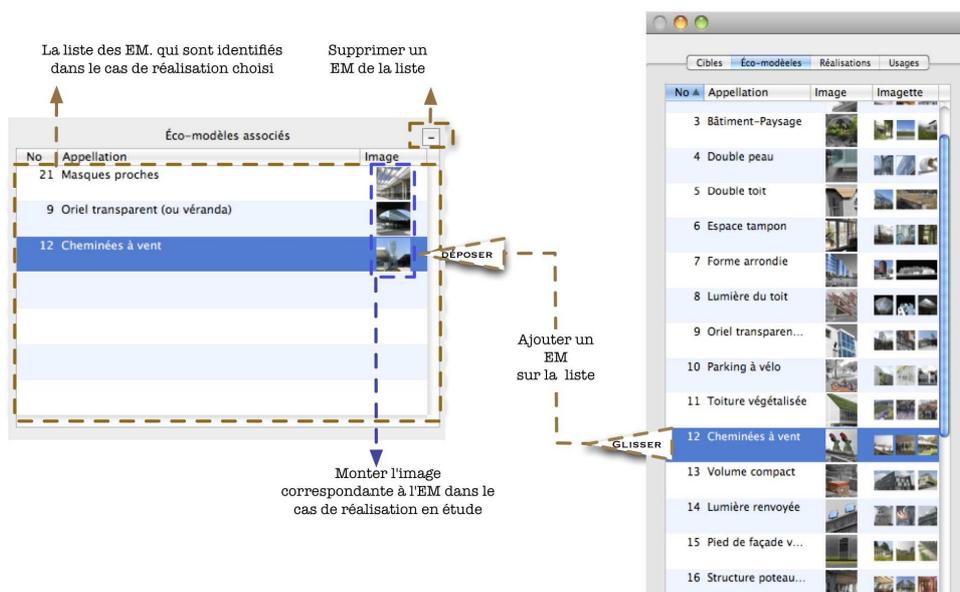
Annotations de droite :

- Choix d'une courte appellation
- Choix d'une nature d'opération
- Monter une image aperçue rapide de réalisation à travers les images de cas de réalisation
- Monter une image d'aperçu général (icône) de réalisation

Annexe 3 - 13 - L'environnement de la base de données d'éco.mod, zone 2 de l'onglet de réalisation

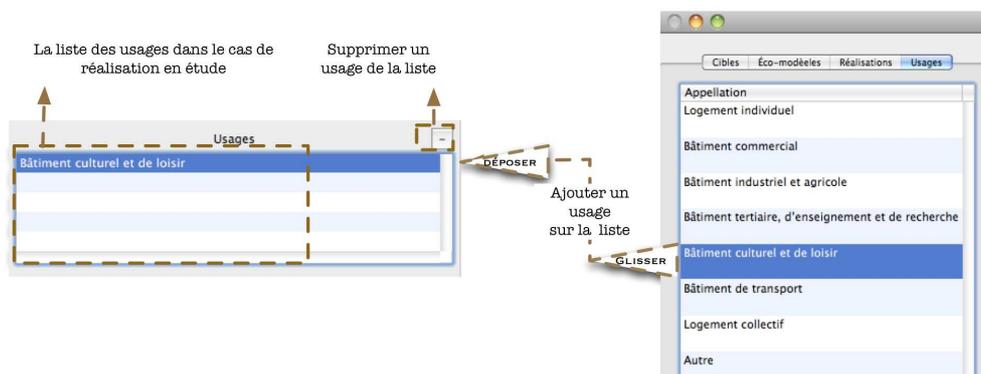
A travers la zone 3 de l'onglet des réalisations, nous présentons la liste des éco-modèles identifiés dans un cas de réalisation. D'ailleurs, afin de permettre une meilleure connaissance à la fois de la réalisation et de l'éco-modèle, nous pouvons ajouter l'image de l'éco-modèle dans le cas en étude (et non pas l'icône générique de l'éco-modèle). Grâce à la fenêtre de recours aux répertoires, nous pouvons ajouter les éco-modèles associés dans la liste (Annexe 3-14).

ÉCO-CONCEPTION COLLABORATIVE DE BATIMENTS DURABLES



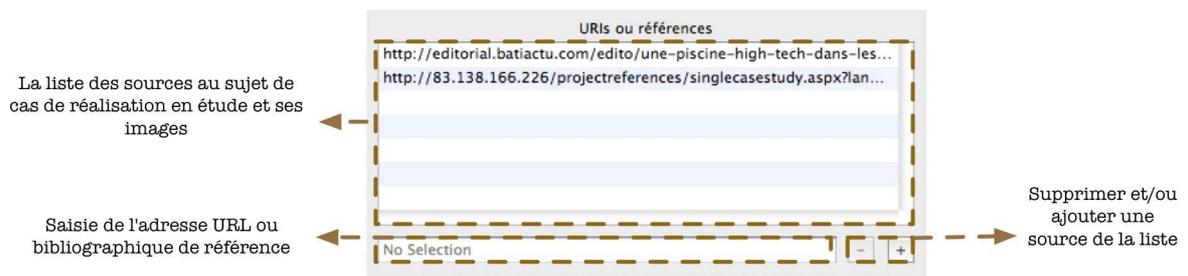
Annexe 3 - 14 - L'environnement de la base de données d'éco.mod, à gauche la zone 3 de l'onglet des réalisations, à droite la fenêtre de recours aux répertoires, ouverte sur la page du répertoire des éco-modèles identifiés

La zone 4 de l'onglet des réalisations, est une continuation de la saisie du « contexte physique de cas ». La saisie des usages est favorisée par l'intervention de la fenêtre des répertoires. Chaque réalisation peut connaître plus d'un usage (Annexe 3-15).



Annexe 3 - 15 - L'environnement de la base de données d'éco.mod, à gauche la zone 4 de l'onglet des réalisations, à droite la fenêtre de recours aux répertoires, ouverte sur la page de répertoire des usages de bâtiments

Finalement, la zone 5 de l'onglet, s'agit d'une partie indispensable de travail qui est à la fois aide à la recherche de plus d'information sur un cas de réalisation dans le futur, mais aussi les sources des référencés des informations et des images utilisées dans la base de données. Il peut être un lien internet ou une source bibliographique (Annexe 3-16).



Annexe 3 - 16 - L'environnement de la base de données d'éco.mod, zone 5 de l'onglet de réalisation

Annexe 4 – Dossier de la Bouzule

a – Comptes rendus des réunions

Stéphane Pacaud
JC Bignon
Vida Gholipour
V BOLDY
Excusée : L Morel

Le 20 novembre 2009

Objet de la rencontre : préparation de la phase expérimentale du travail « éco-conception collaboratives de bâtiments durables » sur le domaine de la Bouzule.

Vida Gholipour présente l'état d'avancement de son travail (voir dossier attaché). La démarche des patterns est exposée ainsi que l'outil logiciel « éco mod ».

Ce qui est nécessaire c'est de tester : identifier les écomodèles pertinents pour un projet constructif à la Bouzule, constituer une base de données qui permet de collaboration et acteurs de la conception et ensuite travail de conception (réalisation d'esquisses) avec et sans l'approche par écomodèles.

Aujourd'hui le projet Bouzule en est à la recherche d'un programmiste (Appel d'offre).

- On ne peut attendre le programme pour démarrer l'expérimentation car Vida est en 3^{ème} année de thèse.
- La recherche faites sur les étables durables montrent qu'il y a très peu d'écomodèles,
- Il y a en projet de hall d'exposition, démonstration (salle de conférences, espace d'exposition...). Un sentier pédagogique est prévu et le point de départ sera ce bâtiment.
- Il y a un bâtiment qui serait aussi réhabilité pour accueil de stagiaires,

Il est décidé le déroulement suivant :

- vérifier que des éco-modèles déjà existant sont pertinents sur ce bâtiment expo (**à faire par Vida**),
- constituer la base de cas (réalisations correspondantes et renseignements : problèmes/solutions/contraintes) (**à faire par Vida**)
- élaborer un pré-programme sur ce bâtiment *en décembre* (rédiger une page sur la localisation et l'orientation du bâtiment, fonctions du bâtiment et surfaces du local) (**à faire par S Pacaud, Laure Morel et Vida et validé par JC Bignon**),
- expérimenter *en janvier* : deux équipes de 6 élèves archi font des esquisses du bâtiment (avec et sans écomodèles) grâce eu programme réalisé précédemment (**pilotage JC Bignon**),

Prochaine réunion le 2 novembre 9H à l'ensgsi pour préparer le pré-programme

Réunion du 2 décembre :

Sujet : le pré-programme

Stéphane Pacaud, Vida Golipour, Vincent BOLDY

La Bouzule serait globalement

1. retour à l'herbe pour l'élevage implique que l'on ai 17 hectares proches de l'étable. Comme la traite se fait par robot il faut déplacer l'étable + le digesteur. La vache ne fait pas plus de 400m pour aller à la demande au robot. Donc on aura un système étable-digesteur+surface en herbe. L'ensemble permet : autonomie en Azote, autonomie énergétique, zéro rejet en eau...
2. un lieu d'expo pour politique, chambre d'agri (développement économique), agriculteur. Avec expo, cours, réunions, démonstration...
3. un sentier pédagogique fera le tour de l'étang, passera près du méthaniseur.
4. il faudrait mettre en place un autre chemin d'accès (par le carrefour avec l'INRA)
5. la zone d'accès (« no mans land ») pourrait être un verger
6. des logements seront prévus sur le bâtiment actuel avec bureaux / centre de traçabilité.

Le bâtiment sera :

A. un parking se ferait proche ou à la place des silos

B. Le bâtiment expo remplacerait l'étable actuelle.

C. Les fonctions :

- Exposition (hall, maquette, poster...)
- Formation
- Réunion
- Conférences
- Possibilité de faire un lunch/pot,
- Accueil de « touristes » « visiteurs »
- Accueil général de toutes personnes arrivant à la ferme,
- Une zone vestiaire et sanitaire tampon pour que les gens enfilent des bottes pour les visites du site, voir nettoyer des chaussures
- Point de départ du sentier pédagogique
- Espace de vente (fromages frais et pâtes fleuries, lait...) et de stockage en chambre froide. Un accès avec transpalette est nécessaire et un autre pour les acheteurs.
- Un bureau,
- Stockage pour le matériel de formation et d'expo,

b- Étude du site (Sujet du test du prototype et de l'expérimentation - cas 1)

CONCEPTION D'UN BATIMENT D'ACCUEIL ET D'EXPOSITION POUR LA FERME EXPERIMENTALE DE LA BOUZULE



Nancy-Université
INPL

1

Objectif :

L'ENSAIA, maître d'ouvrage de la ferme de la Bouzule, souhaite restructurer l'ensemble de ses bâtiments et équipements pour en faire une ferme « écologique » démonstrative. Certains bâtiments seront restructurés d'autres seront reconstruits.

Le présent travail porte sur la conception (niveau esquisse) d'un bâtiment qui servira à l'accueil de visiteurs (professionnels, scolaires, chercheurs...) pour présenter la ferme.



Figure 1- La Ferme expérimentale de la Bouzule, vue de ciel.

2

Contexte actuel du site du projet

Accès et Entrée:

La ferme se trouve sur la commune de Laneuvelotte qui est située à une quinzaine de Kilomètres de Nancy.

L'entrée actuelle du site est placée sur un virage en bordure de la route nationale N74. Quatre principaux espaces bâtis existent déjà dans le site.



Figure 2- L'entrée actuelle du site

Contexte actuel du site du projet

Constructions existantes:

1. Un bâtiment neuf destiné au stockage des machines dans le site (Figure 4).
2. Un bâtiment ancien avec une hauteur de trois étages. Ce bâtiment contient des laboratoires, une salle de réunion, une habitation et des bureaux. Dans ce bâtiment, il existe une partie fonctionnellement séparée, complètement refaite qui est destinée au centre de traçabilité. Ce bâtiment « traditionnel » joue comme un repère pour les arrivants à cet endroit (Figure 5).
3. Des Etables qui sont des bâtiments anciens (Figure 6).
4. Des silos qui sont des vieux bâtiments non utilisés actuellement (Figure 7).



Figure 3- La position des bâtiments existants du site



Figure 4- Le bâtiment N "1" destiné au stockage des machines



Figure 5 – De gauche à droit : les façades ouest, sud et est du bâtiment N°2 du site



Figure 6– L'extérieure et l'intérieure du bâtiment N°3 du site



Figure 7 – Les anciens silos du site (N°4)

5

Contexte actuel du site du projet

Caractères du site:

5. Un étang pour la récupération et le traitement de l'eau
6. Une nature environnante intéressante
7. Une pente douce
8. Un carrefour
9. Des vents dominants



Figure 8– Les caractères importants du site

6

Contexte futur du site du projet

•Pour des questions de sécurité et d'accessibilité, un changement d'entrée sur le site est prévu. L'entrée souhaitée du futur projet se trouvera à l'ouest du site (N°10) et à proximité du carrefour qui rejoint la route nationale (N74). Il existait déjà un chemin correspondant à l'ancien trajet de la N74 mais pour pouvoir être utilisé il nécessite une amélioration ainsi que la réfection d'un petit pont au niveau de l'accès à la route nationale.

•Le bâtiment de stockage (N°1) est neuf. Il restera à sa place et sera utilisé.

•Le bâtiment ancien (N°2) : Une partie de ce bâtiment a été rénové et il sera réutilisé avec des modifications. Les fonctions qui vont être ajoutées dans ce bâtiment seront des salles de cours et des logements pour les stagiaires et les invités.

•Les étables (N°3) existantes seront détruites et reconstruites sur un autre emplacement avec l'implantation d'un digesteur à côté de l'étable.

•Les silos (N°4) vont être détruits et on souhaite construire des parkings à leur place.

•La position souhaitée du bâtiment d'accueil est une position Est-Ouest pour avoir un maximum de lumière.



7

Contexte futur du site du projet

Les souhaits de Maitrise d'ouvrage:

•**Accessibilité:** Le bâtiment aura une accessibilité facile par la route (changement prévu d'entrée du site)

•**Accueil:** Il assurera l'accueil général du site et tous les arrivants au site se présenteront à cet espace

•**Parking:** La construction d'un parking est prévue à la place des silos, pour que le bâtiment d'accueil soit facilement accessible.

•**Lumière:** Un maximum de lumière naturelle sera utilisé dans ce bâtiment

•**Entrée:** Deux entrées sont prévues : une entrée par la zone grise/ferme, et une entrée par la zone propre/site d'accueil

•**Espaces:** Le bâtiment pourra se prolonger par des terrasses ou des zones semi-ouvertes

•**Hauteur:** Il n'existe pas de limite de hauteur pour ce bâtiment

•**Voisinage:** L'architecture proposée devra pouvoir dialoguer avec le bâtiment présent

Les considérations demandées par le maitrise d'ouvrage:

•**Problème d'insectes :** prévoir une stratégie contre les mouches dans le site, (cela pourra être résolu par un changement du lieu des étables dans le futur projet)

•**Problème de propreté:** Prévoir des dispositions spatiales ou un équipement pour le nettoyage des chaussures en venant de la ferme dans le bâtiment (rendre accessible les vestiaires depuis la ferme ou prévoir des bacs chlorés, etc.)

8

c - Le programme du bâtiment

Nom	Nombre	Fonctions	m ²
Accueil	1	Combinaison d'un Hall d'accueil et d'une salle d'exposition : <ul style="list-style-type: none"> • Accueil des chercheurs, des invités et du public • Exposition de posters, d'affiches concernant les technologies et recherches menées dans le site • Exposition éventuelle d'un robot de 10 m2 maximum • Espace pour les réceptions et les événements après les réunions 	60-100
Salle de réunion	2	Une salle de réunion pour environ 15 personnes + une salle de réunion (faisant aussi salle de formation) pour environ 50 personnes (plus intime qu'un amphi) : <ul style="list-style-type: none"> • Animation, projection des films • Présentations des projets • Eventuelles journées de formation 	80-130
Bloc sanitaire	1	Combinaison d'une zone vestiaire + toilettes <ul style="list-style-type: none"> • Accès handicapés • Zone vestiaire pour changement de tenue utilisée dans la ferme 	10-12
Bureau	1	Un bureau de travail + zone d'archive <ul style="list-style-type: none"> • Bureau de travail pour l'administration de bâtiment • Zone archive pour rangement des documents sur le projet 	15-20
Local technique	1	Rangements, entretiens, nettoyage	4-8
Local chauffage	1	<ul style="list-style-type: none"> • Espace pour une chaudière de chauffage central • Chauffage du bâtiment assuré par la chaleur de méthaniseur 	2-4
Boutique	1	Espace vente de produits de la ferme: <ul style="list-style-type: none"> • Fromagerie, autres produits • Ouvert au public 	5-30
Stockage	1	Stockage des produits de la boutique	5-20
Total	9		181 - 324

Annexe 4 - 3 - Le programme du bâtiment d'accueil défini à partir des études et des réunions et transmis aux participants du test du prototype et de l'expérimentation cas 1.

Annexe 5 – Grille d'Eco-Profil

Axe	Note	Axe	Note
Ressources		Choix des matériaux	
Utilisation des ressources énergétiques disponibles sur le site.		Limitation de l'énergie grise utilisée.	
Utilisation des ressources en matériaux disponibles sur le site.	■	Limitation de l'impact écologique.	
Création ou préservation du biotope.		Limitation de l'impact sur la santé.	
Impact dans le site		Choix de matériaux renouvelables, réutilisables ou recyclables.	
Ombre portée sur le voisinage.	■	Faciliter l'entretien.	
Droit à la vue du voisinage.		Favoriser les matériaux locaux et entreprises locales.	■
limiter et gérer les déblais et remblais		Gestion de l'eau	
limiter l'effet d'îlot de chaleur urbain	■	Gérer l'infiltration et l'écoulement des eaux sur la parcelle.	
Protection par rapport aux risques naturels.	■	Temporiser les fortes précipitations.	
Orientation/implantation		Se protéger des fortes précipitations.	
Orientation optimisée par rapport au soleil.		Récolter et utiliser l'eau pluviale.	
Orientation optimisée par rapport aux vents dominants.		limiter la consommation d'eau.	■
Orientation optimisée par rapport aux nuisances acoustiques.	■	Filter et nettoyer les eaux éventuellement polluées.	
Orientation optimisée par rapport aux vues.		Gestion de l'énergie et confort thermique	
intégration dans le site		Capter et gérer les apports solaires.(passif)	
Pertinence de la forme/volume par rapport au contexte et préservation patrimoniale.		S'isoler et conserver la chaleur.	
Compacité et économie de terrain.		système de chauffage et contrôle de la ventilation	■
Mise en valeur du site et de la morphologie, ou valeur ajoutée		Temporiser la chaleur. (déphasage)	
Gestion des raccordements (transport, chemin piéton, commerce, etc.)	■	Protection et isolation de la toiture renforcées.	■
Distribution, accessibilité et fonctionnalité		Porosité à l'air du bâtiment.	
Accessibilité de l'édifice.		Protection du rayonnement solaire.	
Circulation optimisée ou mutualisée		limiter l'échauffement de l'environnement extérieur.	
Prolongement extérieur et protection		limiter les surchauffes des parois.	■
Respect de l'intimité.	■	Organisation intérieure spécifique.	
Commodité et fonctionnalité.		Éclairage naturel des pièces.	
Aménagement particulier du rdc.	■	Utilisation d'énergie renouvelable.(actifs)	
Gestion		Gestion des déchets	
Pédagogie du bâtiment/sensibilisation des utilisateurs.	■	Dispositif de gestion des déchets ménagés.	■
Faciliter l'entretien et l'accès aux équipements techniques.		Limitation des déchets de chantier.	■
Accessibilité à l'entretien de l'ouvrage.		Qualité de l'air	
différenciation des zones de confort		système de renouvellement d'air	
Flexibilité adaptabilité		limiter les polluants	
Flexibilité des usages et des aménagements (volume, structure, façade ?)		Gestion de l'hygrométrie.	■
aménagement sur la parcelle et possibilité d'extension		Confort acoustique	
Système constructif		Optimisation de l'aménagement architecturale (zonage).	
Démontabilité des systèmes.		Traitement spécifique des façades exposées aux nuisances	■
Préfabrication et répétitivité des systèmes.		traitement acoustique de l'espace	
Dimensionnement et portée optimisée ?		Confort visuel	
Favoriser un chantier à faible nuisance.	■	limiter la lumière directe et l'éblouissement.	
		Apport de lumière naturelle suffisant.	
		Vue sur l'extérieur.	
		Qualité de la lumière artificielle.	■

Annexe 5 - Le grille de l'évaluation d'Eco-Profil : les cases gris représentent les critères ou sous critères non évaluer au stade d'esquisse (adpaté de Wesseinstein, 2009) à

Annexe 6 – Questionnaire de l’expérimentation : cas 1

Formation initiale

Suite à la manipulation d'ECO.MOD, nous souhaitons recueillir vos retours : 4 =complètement d'accord, 1 = pas d'accord du tout

<i>L'utilité</i>					
1	Les trois types d'information (EM, Cibles HQE, Réalisations) proposés par ECO.MOD enrichissent mes connaissances de manière complémentaires. <i>Commentaire :</i>	4	3	2	1
2	Le triplet problème/solution/contrainte, présenté sous forme de texte m'a aidé à connaître le contexte dans lequel un EM doit être utilisé. <i>Commentaire :</i>	4	3	2	1
3	J'ai réussi à trouver des EM, qui répondent à mes intentions. <i>Commentaire :</i>	4	3	2	1
4	La présence de plusieurs réalisations par EM m'a aidé d'avoir différentes possibilités de mis en œuvre. <i>Commentaire :</i>	4	3	2	1
5	Les relations des EM, avec les cibles HQE (positives aussi bien que négatives), m'ont aidé à connaître les impacts écologiques de mes choix. <i>Commentaire :</i>	4	3	2	1
6	Les relations bleues dans les EM, apparentés m'ont aidé à retrouver autres EM. <i>Commentaire :</i>	4	3	2	1
7	Les relations rouges dans les EM, en contradiction m'ont aidé à faire des choix. <i>Commentaire :</i>	4	3	2	1
8	Parmi les réalisations j'ai pu trouver un projet qui avait un contexte similaire à mon projet. <i>Commentaire :</i>	4	3	2	1
9	Les EM, mis en œuvre dans une réalisation m'ont aidé à mieux déchiffrer les approches environnementales de cette dernière. <i>Commentaire :</i>	4	3	2	1
<i>L'utilisabilité</i>					
10	La manipulation d'ECO.MOD est simple et sans ambiguïté. <i>Commentaire :</i>	4	3	2	1
11	Le fait d'avoir différents types d'entrée (EM, Cibles, Réalisations) me permet d'initier la recherche d'idées à ma manière. <i>Commentaire :</i>	4	3	2	1
12	Les graphismes et les représentations (photos) facilitent la navigation dans l'environnement d'ECO.MOD. <i>Commentaire :</i>	4	3	2	1
13	Les icônes photographiques des EM, m'ont paru pertinentes. <i>Commentaire :</i>	4	3	2	1
14	Les icônes photographiques des cibles HQE m'ont paru pertinentes. <i>Commentaire :</i>	4	3	2	1
15	Les icônes de haut de page, permettent de me retrouver facilement dans l'environnement d'ECO.MOD. <i>Commentaire :</i>	4	3	2	1
16	La présentation des EM, par ordre de numérotation m'a paru satisfaisante. <i>Autres suggestions :</i>	4	3	2	1
17	La présentation des réalisations par ordre alphabétique des villes dans lesquelles se situent m'a paru satisfaisante. <i>Autres suggestions :</i>	4	3	2	1
18	La possibilité de filtrer la recherche des réalisations par milieu, climat, usage et type d'opération m'a semblé pertinente. <i>Commentaire :</i>	4	3	2	1
<i>Général</i>					
19	J'ai apprécié l'utilisation de ECO.MOD. <i>Commentaire :</i>	4	3	2	1
20	Je pourrais utiliser ECO.MOD dans le cadre de mes conceptions futures. <i>Commentaire :</i>	4	3	2	1

- Après avoir consulté les EM est-ce que vous attendiez à une sortie particulière des choix que vous aviez fait ? Si oui lesquelles ?

- Si vous avez rencontré quelques problèmes lors de l'utilisation de ECO.MOD, n'hésitez pas à nous signaler : ...

- Si vous avez quelque propositions d'amélioration nous vous remercions de les partager avec nous : ...

Annexe 7 – Questionnaire de l’expérimentation : cas 2

Domaine d’étude:.....

Suite à la manipulation d’ECO.MOD, nous souhaitons recueillir vos retours : 4 =complètement d’accord, 1 = pas d’accord du tout

<i>l'utilité</i>					
1	Les trois types d’information (EM, Cibles HQE, Réalisations) proposées par ECO.MOD enrichissent mes connaissances de manière complémentaires.	4	3	2	1
	<i>Commentaire :</i>				
2	Le triplet problème/solution/contrainte, présenté sous forme de texte m’a aidé à connaître le contexte dans lequel un EM doit être utilisé.	4	3	2	1
	<i>Commentaire :</i>				
3	J’ai réussi à trouver des EM. qui répondent à mes intentions.	4	3	2	1
	<i>Commentaire :</i>				
4	La présence de plusieurs réalisations par EM m’a aidé d’avoir différentes possibilités de mis en œuvre.	4	3	2	1
	<i>Commentaire :</i>				
5	Les relations des EM. avec les cibles HQE (positives aussi bien que négatives), m’ont aidé à connaître les impacts écologiques de mes choix.	4	3	2	1
	<i>Commentaire :</i>				
6	Les relations bleues dans les EM. apparentés m’ont aidé à retrouver autres EM.	4	3	2	1
	<i>Commentaire :</i>				
7	Les relations rouges dans les EM. en contradiction m’ont aidé à faire des choix.	4	3	2	1
	<i>Commentaire :</i>				
8	Parmi les réalisations j’ai pu trouvé un projet qui avait un contexte similaire à mon projet.	4	3	2	1
	<i>Commentaire :</i>				
9	Les EM. mis en œuvre dans une réalisation m’ont aidé à mieux déchiffrer les approches environnementales de cette dernière.	4	3	2	1
	<i>Commentaire :</i>				
10	ECO.MOD nous a aidé dans notre travail collaboratif.	4	3	2	1
	<i>Commentaire :</i>				
11	ECO.MOD nous a aidé à développer nos idées créatives.	4	3	2	1
	<i>Commentaire :</i>				
<i>Général</i>					
19	J’ai apprécié l’utilisation de ECO.MOD.	4	3	2	1
	<i>Commentaire :</i>				
20	Je pourrais utiliser ECO.MOD dans le cadre de mes conceptions futures.	4	3	2	1
	<i>Commentaire :</i>				

- Après avoir consulté les EM est-ce que vous attendiez à une sortie particulière des choix que vous aviez fait ? Si oui lesquelles ?
- Si vous avez rencontré quelques problèmes lors de l’utilisation de ECO.MOD, n’hésitez pas à nous signaler : ...
- Si vous avez quelque propositions d’amélioration nous vous remercions de les partager avec nous : ...

Nancy-Université
INPL

AUTORISATION DE SOUTENANCE DE THESE
DU DOCTORAT DE L'INSTITUT NATIONAL
POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

o0o

VU LES RAPPORTS ETABLIS PAR :

Monsieur Jean-Jacques TERRIN, Professeur, Ecole d'architecture de Versailles

Monsieur Bernard YANNOU, Professeur, Ecole Centrale Paris, Châtenay-Malabry

Le Président de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, autorise :

Madame GHOLIPOUR Vida

à soutenir devant un jury de l'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE,
une thèse intitulée :

"Eco-conception collaborative de bâtiments durables. "

en vue de l'obtention du titre de :

DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

Spécialité : « **Génie des Systèmes Industriels** »

Fait à Vandoeuvre, le 20 juin 2011

Le Président de l'I.N.P.L.,

F. LAURENT



Institut National Polytechnique de Lorraine
inpl@inpl-nancy.fr | www.inpl-nancy.fr

2 av. de la Forêt de Haye BP 3
54501 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex
FRANCE
Tél. : +33(0)3 83 59 59 59
Fax : +33(0)3 83 59 59 55

Éco-Conception Collaborative de Bâtiments Durables

Résumé

Aider les concepteurs à améliorer la qualité environnementale de leur projet durant la phase d'esquisse peut contribuer à un meilleur profil environnemental des réalisations finales.

Face aux nouvelles exigences liées au développement durable (ressources énergétiques, matériaux de proximité...), les concepteurs doivent conduire un travail d'ajustement entre le contexte du projet et les solutions architecturales qui est de plus en plus complexe.

Pour aider les concepteurs dans ce travail, nous proposons une méthode fondée sur l'usage de *patrons de conception* orientés environnement que nous nommons *éco-modèles*. Ces patrons s'apparentent à des solutions types éprouvées par de nombreux concepteurs. Les éco-modèles et les réalisations où ils ont été utilisés ont été implémentés dans un outil numérique appelé *éco.mod*. Grâce à une interface spécifique, les concepteurs peuvent naviguer dans cette base de données, sélectionner des éco-modèles et construire un scénario environnemental adapté à leurs projets architecturaux. L'outil *éco.mod* leur permet de visualiser les conséquences environnementales de leurs choix.

Deux expérimentations, assistées par cet outil, ont largement confirmé nos hypothèses sur la pertinence de la méthode proposée et l'outil associé.

Mots-clés : éco-conception, phases d'esquisse, conception architecturale, éco-modèle, outil numérique

Collaborative Eco-Design of Sustainable Buildings

Abstract

Assisting designers in improvement of environmental quality of their project, early in the sketch phase, could result in a better environmental profile of the final product. Designers are facing new necessities related to sustainable development, such as considering sources of energy and usage of local materials, among others. To find a compromise between the project's context and architectural solutions, one has to carry out complex adjustment tasks to address this issue.

To help designers with these tasks, we proposed a method founded on the usage of environment-oriented "*design patterns*", which we have named "*eco-models*". By being used in their projects, these eco-models are approved by many designers as plausible solutions. The *eco-models* and the actual projects in which they have been used are gathered and implemented in a (web-based) digital tool, named "*eco.mod*."

The interface of *eco.mod* enable designers to navigate in the database, and select appropriate *eco-models* to create an environmental scenario for their own architectural project. The *eco.mod* tool allows users to visualize the environmental consequences of theirs choices. Two experiments assisted by this tool have been conducted, and have mainly confirmed our hypothesis about efficacy of this proposed method and its associated tool.

Keywords: eco-design, sketch phase, architectural design, eco-models, digital tool