

Université de Montréal

**Assistance de l'enseignement
de la conception architecturale
par la modélisation de savoir-faire des référents**

par

Ivanka Iordanova

École d'architecture

Faculté de l'aménagement

Thèse présentée à la Faculté de l'aménagement
en vue de l'obtention du grade de Philosophiæ Doctor (Ph.D.)
en aménagement

juin 2008

© Ivanka Iordanova, 2008

Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Cette thèse intitulée :

Assistance de l'enseignement de la conception architecturale
par la modélisation de savoir-faire des référents

présentée par :
Ivanka Iordanova

a été évaluée par un jury composé des personnes suivantes :

Président-rapporteur	Prof. Jean-Pierre Chupin,
Directeur de recherche	Prof. Giovanni De Paoli,
Membre du jury	Prof. Anne-Marie Emond
Examineur externe	Prof. Daniel Estevez, Enseignant, École d'architecture de Toulouse
Représentant du doyen de la FES	Prof. Tiiu Vaikla-Poldma

Résumé

Dans une époque de changements des moyens de représentation et communication en architecture, cette recherche porte sur l'enseignement de la conception architecturale et plus spécifiquement sur l'apport que l'informatique pourrait avoir dans ce processus. En nous basant sur une méthodologie qualitative, exploratoire et participative, nous y procédons par enchaînement de questions, celle de départ étant la suivante: Comment l'enseignement de la conception architecturale pourrait tirer avantage des moyens numériques? Notre objectif est de proposer des méthodes et des outils d'apprentissage aux étudiants en architecture pour enrichir leurs démarches de conception grâce à l'ordinateur.

Après une revue de la littérature dans le domaine, et un approfondissement de l'étude sur le rôle des référents architecturaux et sur la conception intégrée, nous avons procédé à une observation exploratoire du travail des étudiants en atelier d'architecture. Ces premières étapes de la recherche ont permis de dégager des discordances entre les positions théoriques et la pratique en l'atelier, pour concrétiser ultérieurement la question de recherche.

Dans le but de discerner des méthodes efficaces et innovatrices pour répondre aux discordances identifiées, nous avons engagé une étude de la littérature sur les théories cognitives par rapport aux connaissances, l'apprentissage et la conception. Certaines stratégies ont pu être définies, notamment la nécessité de représentation multimodale des référents architecturaux, l'importance de représenter le processus et non seulement le résultat, ainsi que l'avantage d'inciter les étudiants à travailler dans leur 'zone proximale' de développement.

Suite à ces recherches, une méthode d'enseignement complémentaire a été définie. Elle propose aux étudiants des explorations de l'objet en conception basées sur la manipulation des savoir-faire architecturaux. Cette méthode a été opérationnalisée d'un point de vue pédagogique ainsi que didactique et mise à l'épreuve auprès des étudiants en atelier. Un prototype de librairie de référents architecturaux interactifs (LibReArchI) a été créé dans ce but. Elle a été conçue en tant qu'environnement de conception et espace de partage de savoir-faire entre étudiants et enseignants.

Les principaux résultats de cette recherche démontrent le rôle positif de la méthode proposée pour le transfert des savoir-faire architecturaux lors de l'apprentissage en atelier. Son potentiel d'assister la conception intégrée et de stimuler l'émergence d'idées a été constaté. Au niveau théorique, un modèle d'un cycle du processus de design avec le numérique a été esquissé. En conclusion, des avenues de développements futurs de cette recherche sont proposées.

Mots-clés : enseignement de la conception architecturale, architecture numérique, référents interactifs, conception intégrée, modélisation de savoir-faire architectural

Abstract

Conducted in a period of transition in the representation and communication strategies in architecture, the present research focuses on architectural design teaching and especially on the contributions of digital means to this process. Based on a qualitative methodology, including participative and exploratory approaches, this research evolved around a progression of questions, the first one being “How could architectural design teaching take advantage of digital technologies?” Our objective was to define computer-assisted teaching methods and digital devices that could enrich the students’ design methods.

A starting point of the research was a comprehensive literature review of the domain, including in-depth studies of the role of architectural referents in the design learning process, as well as of the integrated design approaches. The findings from these theoretical studies were then confronted with evidence from observations of the students’ design processes when working on a small architectural task. This revealed some discrepancies between the theoretical positions and the teaching practices in the digital architectural studio. The research question was precised in consequence, in order to address them.

Specifically, the present research proposes efficient and innovative methods for resolving the discrepancies between theory and teaching practice, based on cognitive aspects of the underlying processes. Focusing on theories of knowledge, learning and design process, we were able to identify some pertinent cognitive strategies for attaining the objectives of this research, namely the necessity for multimodal representation of referents, the importance of representing the process and not only the result, as well as the advantage of motivating the students to work in their ‘zone of proximal development’.

As a result of these studies, a complementary design teaching method was defined. It incites the students to perform design explorations based on manipulations of architectural know-how during the conceptual phase of the project. Pedagogic and didactic strategies for the implementation of this method were developed. A prototype of a library of interactive architectural referents (LibReArchI) was created in order to enrich the students’ ‘design space’ and to serve as shared resource between students and tutors.

The main results from this research show a positive role of the proposed design teaching method for architectural know-how learning in the digital studio. It was found that this method has the potential to assist some integrated design strategies and to stimulate the generation of ideas. At the theoretical level, we propose a model of one cycle of the conceptual process when performed with digital means. In conclusion, some limitations of the research are mentioned and perspectives for its future development are drawn.

Keywords: architectural design teaching, digital architecture, interactive referents, integrated design, architectural know-how modeling

Table des matières

QUESTION DE DÉPART	6
MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE DE LA RECHERCHE	8
STRUCTURE DE LA THÈSE	11
PARTIE I. DE L'ÉTAT DE L'ART DANS LE DOMAINE.....	14
CHAPITRE 1. DE LA CONCEPTION ARCHITECTURALE, SON ENSEIGNEMENT ET LE ROLE DE L'ORDINATEUR DANS CES PROCESSUS	15
1.1 CONCEPTION ARCHITECTURALE ET STRATÉGIES DE CRÉATION	15
1.1.1 <i>Pratique ou science</i>	20
1.1.2 <i>Inspiration et créativité</i>	21
1.1.3 <i>Deux paradigmes par rapport à la conception architecturale</i>	22
1.2 LES APPROCHES D'ENSEIGNEMENT DE LA CONCEPTION ARCHITECTURALE	24
1.2.1 <i>Dans l'histoire</i>	24
1.2.2 <i>Pédagogie</i>	26
1.2.3 <i>Didactique</i>	28
1.3 LES MOYENS INFORMATIQUES EN ARCHITECTURE	31
1.3.1 <i>Histoire de développement</i>	32
1.3.2 <i>Communication et figuration architecturales</i>	34
1.3.3 <i>Modèles paramétriques</i>	36
1.4 LES MOYENS NUMÉRIQUES EN ENSEIGNEMENT DE LA CONCEPTION ARCHITECTURALE	39
1.4.1 <i>Architecture virtuelle et architecture numérique</i>	40
1.4.2 <i>Design collaboratif</i>	42
1.4.3 <i>Méthodes d'explorations formelles</i>	43
1.5 EN CONCLUSION DU CHAPITRE 1	46
CHAPITRE 2. LE RÔLE DES RÉFÉRENTS : INSPIRATIONS ET SAVOIR-FAIRE	48
2.1 LA QUÊTE AUX HEURISTIQUES : LE RÔLE DES MÉTAPHORES.....	48
2.1.1 <i>L'analogie</i>	49
2.1.2 <i>La métaphore</i>	50
2.1.3 <i>Métaphore iconique, discursive ou structurelle</i>	51
2.1.4 <i>Intra-domaine ou inter-domaine</i>	52
2.1.5 <i>Bons à penser</i>	53
2.1.6 <i>Applications informatiques</i>	53
2.1.7 <i>Conclusion</i>	54
2.2 LA RECHERCHE DU SAVOIR-FAIRE IMPLICITE : LE RÔLE DES PRÉCÉDENTS	55
2.2.1 <i>Les précédents comme porteurs de savoir-faire</i>	57
2.2.2 <i>Les référents en atelier d'architecture</i>	58
2.2.3 <i>Intra-domaine et inter-domaine</i>	59
2.2.4 <i>Transfert du précédent à la nouvelle œuvre</i>	59
2.2.5 <i>Objets-type</i>	63
2.2.6 <i>Applications informatiques</i>	63
2.2.7 <i>En enseignement de la conception architecturale</i>	65
2.3 EN CONCLUSION	66

CHAPITRE 3. ABORDER LA COMPLEXITÉ : L'APPROCHE INTÉGRÉE ET LE PROCESSUS	68
3.1 CONCEPTION ARCHITECTURALE INTÉGRÉE	68
3.1.1 <i>La conception intégrée: réponse à la complexité de la réalité</i>	69
3.1.2 <i>Les moyens numériques pouvant assister ou augmenter ce processus</i>	71
3.1.3 <i>L'enseignement de la conception intégrée : aspects collaboratifs et autres</i>	72
3.2 ENTRE PROCESSUS ET RÉSULTAT EN ATELIER D'ARCHITECTURE	73
3.2.1 <i>L'enseignement du processus de la conception architecturale</i>	73
3.2.2 <i>Actions ou évolutions qui génèrent un objet d'architecture</i>	75
3.3 EN CONCLUSION.....	76
DISCORDANCES RELEVÉES EN CONCLUSION DE LA PARTIE-I.....	77
QUESTION DE DÉPART : PRÉCISION-1	81
MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE : PRÉCISION DE L'APPROCHE QUALITATIVE.....	82
PARTIE II. OBSERVATIONS EN ATELIER D'ARCHITECTURE : RECHERCHE	
EXPLORATOIRE	92
CHAPITRE 4. MÉTHODE DE LA RECHERCHE EXPLORATOIRE EN ATELIER.....	94
4.1 SCHÉMA DES OBSERVATIONS TRIMESTRIELLES	94
4.1.1 <i>Observations longitudinales</i>	96
4.1.2 <i>Schéma des observations ponctuelles</i>	99
4.2 MÉTHODE DES OBSERVATIONS PONCTUELLES	101
4.3 DONNEES	106
4.3.1 <i>Analyse ou interprétation des données</i>	107
4.3.2 <i>Traitement des données</i>	108
4.3.3 <i>Codage des données</i>	112
4.4 REPRÉSENTATION DES RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION	117
CHAPITRE 5. ÉTUDE EXPLORATOIRE EN ATELIER : OBSERVATION-1.....	118
5.1 APPROCHE PÉDAGOGIQUE DANS L'ATELIER OBSERVÉ.....	119
5.2 OBJECTIFS DE L'OBSERVATION EN ATELIER	119
5.3 PROTOCOLE DE L'OBSERVATION	120
5.4 DONNÉES	120
5.4.1 <i>Micro-observations : hiver 2004</i>	120
5.4.2 <i>Micro-observations: automne 2004</i>	123
5.4.3 <i>Questionnaires</i>	127
5.5 RÉSULTATS: ANALYSE ET INTERPRÉTATION	128
5.5.1 <i>Actions du concepteur</i>	129
5.5.2 <i>Démarche de conception architecturale</i>	131
5.5.3 <i>Blocages provoqués par l'outil</i>	133
5.5.4 <i>Déclencheurs d'idées</i>	133
5.5.5 <i>Recours aux référents</i>	134
5.6 L'EFFET PEDAGOGIQUE DES MICRO-OBSERVATIONS	139
5.7 EN CONCLUSION.....	140

PAR RAPPORT AUX DISCORDANCES RELEVÉES	142
QUESTION DE RECHERCHE - PRÉCISION 2	144
PARTIE III. DE CERTAINS ASPECTS COGNITIFS DU SUJET	145
CHAPITRE 6. LA MÉMOIRE ET LES REPRÉSENTATIONS MENTALES.....	151
6.1 STRUCTURES ET FONCTIONNEMENT DU LTM	151
6.1.1 Structures de mémoires selon Norman	151
6.1.2 La mémoire constructive de Minsky	152
6.1.3 La mémoire dynamique de Schank	153
6.1.4 Le fonctionnement de la mémoire selon Richard.....	155
6.2 CONNAISSANCES : TYPES DE CONTENU	156
6.2.1 Connaissances relationnelles	156
6.2.2 Connaissances procédurales	157
6.2.3 Les processus qui produisent des connaissances.....	160
6.3 FORMATS DES REPRESENTATIONS DES CONNAISSANCES	160
6.3.1 Images mentales	161
6.3.2 Structure de caractéristiques (features)	161
6.3.3 Symboles amodaux	162
6.4 MÉMOIRE VISUELLE (IMAGÉE).....	163
6.4.1 Codage double.....	165
6.4.2 Représentations imagières construites	166
6.4.3 Modèles mentaux.....	167
6.5 LES CATÉGORIES.....	169
6.5.1 Structures représentant les catégories.....	169
6.6 INTERACTION ENTRE LES DIFFÉRENTS FORMATS DE MÉMOIRE DANS LA MÉMOIRE OPÉRATIONNELLE	170
6.7 CONCLUSIONS PAR RAPPORT À CETTE RECHERCHE	171
CHAPITRE 7. L'APPRENTISSAGE ET LE DÉVELOPPEMENT PERSONNEL	175
7.1 TYPES D'APPRENTISSAGE.....	176
7.2 PROCESSUS D'APPRENTISSAGE	177
7.2.1 Généralisation	178
7.2.2 Explication des échecs.....	178
7.2.3 Poser des questions	178
7.2.4 Manipulations profondes.....	179
7.3 INTERACTION ENTRE APPRENTISSAGE ET DÉVELOPPEMENT	179
7.4 ZONE DE DÉVELOPPEMENT PROXIMAL	181
7.5 SUR LA SPÉCIFICITÉ DE L'APPRENTISSAGE	182
7.6 L'APPRENTISSAGE ET LES SPÉCIFICITÉS COGNITIVES INDIVIDUELLES	183
7.6.1 Styles d'apprentissage	184
7.6.2 Styles cognitifs.....	185
7.6.3 En architecture	187
7.7 CONCLUSIONS POUR LA RECHERCHE.....	189
CHAPITRE 8. LA CRÉATIVITÉ ET LE PROCESSUS DE DESIGN	192

8.1	LA CRÉATIVITÉ	192
8.1.1	<i>Ressources cognitives</i>	193
8.1.2	<i>Le processus créatif</i>	195
8.1.3	<i>L'illumination</i>	197
8.1.4	<i>Créativité « volontaire »</i>	198
8.1.5	<i>Conclusions pour la recherche</i>	199
8.2	LES RECHERCHES COGNITIVES DU DESIGN	199
8.2.1	<i>Processus de design (conceptions de la conception)</i>	201
8.2.2	<i>Le rôle des représentations</i>	209
8.2.3	<i>L'enseignement de la conception architecturale</i>	215
8.2.4	<i>Deux paradigmes pour le développement de la profession</i>	219
8.2.5	<i>Conclusions pour cette recherche</i>	222
	COMMENT RESOUDRE LES DISCORDANCES PRECEDEMMENT RELEVES ?	224
	LA PROPOSITION (D'UNE MÉTHODE D'ENSEIGNEMENT COMPLÉMENTAIRE)	227
PARTIE IV. UNE APPROCHE PÉDAGOGIQUE		229
CHAPITRE 9. DÉFINITION D'UNE APPROCHE PÉDAGOGIQUE D'ENSEIGNEMENT DE LA CONCEPTION ARCHITECTURALE		230
9.1	STRATÉGIES PÉDAGOGIQUES	230
9.1.1	<i>Agir sur les processus</i>	231
9.1.2	<i>Décrire le processus</i>	233
9.1.3	<i>Générer des concepts multiples et des variances en intégrant des connaissances</i>	233
9.1.4	<i>Exercices propédeutiques</i>	233
9.2	EXERCICES PROPÉDEUTIQUES STRUCTURÉS SELON DES THÈMES ARCHITECTURAUX	235
9.2.1	<i>Explorations sur la forme</i>	237
9.2.2	<i>Exprimer des aspects sémantiques</i>	238
9.2.3	<i>Représenter la circulation et l'organisation fonctionnelle</i>	239
9.2.4	<i>Travail sur des aspects structuraux</i>	243
9.2.5	<i>Intégrer des aspects climatiques</i>	246
9.2.6	<i>Travail à partir d'un référent</i>	247
9.3	EXERCICES PROPÉDEUTIQUES STRUCTURES SELON LES METHODES NUMERIQUES	248
CHAPITRE 10. MISE A L'EPREUVE: OBSERVATION-2		250
10.1	L'ATELIER DE L'AUTOMNE 2005	251
10.2	OBJECTIFS DES OBSERVATIONS	252
10.3	PROTOCOLE DE L'OBSERVATION #2	253
10.4	DONNEES	254
10.4.1	<i>Au début du trimestre : papier et informatique</i>	254
10.4.2	<i>À la fin du trimestre : informatique</i>	255
10.4.3	<i>Observations des étudiants en maîtrise d'architecture (hiver 2006)</i>	256
10.4.4	<i>Questionnaires</i>	257
10.5	RESULTATS	257
10.5.1	<i>Actions du concepteur</i>	258
10.5.2	<i>Démarches de conception architecturale</i>	260
10.5.3	<i>Variances</i>	262

10.5.4	<i>Blocages provoqués par l'outil</i>	264
10.5.5	<i>Déclencheurs d'idées</i>	265
10.5.6	<i>Recours aux référents</i>	268
10.5.7	<i>Collaboration, communication</i>	269
10.6	EN CONCLUSION	271
PARTIE V. MOYENS DIDACTIQUES		274
CHAPITRE 11. MODÉLISATION D'UNE LIBRAIRIE DE RÉFÉRENTS INTERACTIFS		
D'AIDE À L'ENSEIGNEMENT DES SAVOIR-FAIRE ARCHITECTURAUX : LIBREARCHI		276
11.1	TERMINOLOGIE : MODELE ET MODELISATION	276
11.1.1	<i>Le modèle - syntaxe de la théorie</i>	277
11.1.2	<i>Le modèle comme structure</i>	278
11.1.3	<i>Modèle et apprentissage</i>	278
11.1.4	<i>Modèle théorique, mathématique ou informatique</i>	279
11.1.5	<i>Modèle systémique</i>	279
11.1.6	<i>Modélisation, modèle numérique</i>	280
11.1.7	<i>Modèle numérique</i>	282
11.2	CONTEXTE DES MOYENS DIDACTIQUES	282
11.2.1	<i>Aspects didactiques de la méthode d'enseignement proposée</i>	282
11.2.2	<i>Besoins relevés pendant la micro-observation #2</i>	283
11.3	MODÈLE THÉORIQUE D'UNE LIBRAIRIE DE RÉFÉRENTS INTERACTIFS	286
11.3.1	<i>Les référents</i>	287
11.3.2	<i>Chunks de savoir-faire</i>	288
11.3.3	<i>La Librairie de Référents Architecturaux Interactifs (LibReArchI)</i>	292
11.3.4	<i>Environnement de partage</i>	294
11.4	LE PROTOTYPE NUMÉRIQUE	295
11.4.1	<i>La librairie</i>	295
11.4.2	<i>Les référents</i>	298
11.4.3	<i>Les modèles interactifs</i>	299
11.4.4	<i>Interaction avec la librairie – Espace de conception</i>	301
11.4.5	<i>L'environnement de partage</i>	303
CHAPITRE 12. MISE A L'EPREUVE : OBSERVATION-3		305
12.1	APPROCHE PEDAGOGIQUE DE L'ATELIER	305
12.2	OBJECTIFS DES OBSERVATIONS	307
12.3	PROTOCOLE DE L'OBSERVATION #3	308
12.4	DONNEES	309
12.4.1	<i>Micro-observation</i>	309
12.4.2	<i>Questionnaires</i>	311
12.4.3	<i>Méthode d'analyse et interprétation des données</i>	312
12.5	RÉSULTATS	313
12.5.1	<i>Actions du concepteur</i>	313
12.5.2	<i>Démarche de conception architecturale</i>	314
12.5.3	<i>Variances</i>	316
12.5.4	<i>Blocages provoqués par l'outil</i>	316
12.5.5	<i>Déclencheurs d'idées</i>	318

12.5.6	<i>Recours aux référents</i>	319
12.6	RÔLE DE LA LIBRAIRIE DE RÉFÉRENTS INTERACTIFS	324
	VÉRIFICATION (À LA PLACE DE LA VALIDITÉ).....	328
	EXTRAPOLATION DE LA RECHERCHE (À LA PLACE DE LA VALIDATION EXTERNE).....	329
CHAPITRE 13.	DISCUSSION	331
13.1	ÉVALUATION CRITIQUE.....	332
13.1.1	<i>Approche intégrée à la conception architecturale</i>	332
13.1.2	<i>Figurations dans l'Espace de conception</i>	333
13.1.3	<i>Créativité et le numérique</i>	335
13.1.4	<i>Transférabilité des méthodes de design</i>	337
13.1.5	<i>Cognition distribuée</i>	339
13.2	LIMITATIONS DE LA RECHERCHE	340
13.3	AVENUES DE DEVELOPPEMENTS FUTURS DE LA RECHERCHE.....	341
13.3.1	<i>Élargir le contenu</i>	341
13.3.2	<i>Créer les bases : algorithme et géométrie</i>	342
13.3.3	<i>Extrapolation par rapport au domaine</i>	343
13.3.4	<i>Extrapolation par rapport à l'activité cognitive</i>	344
13.3.5	<i>Généralisation comme espace de partage</i>	344
13.4	EN CONCLUSION.....	344
	CONCLUSION GENERALE DE LA RECHERCHE	346
	<i>Contributions théoriques</i>	346
	<i>Contributions à la méthodologie de recherche</i>	348
	<i>Contribution à la pratique</i>	348
	SOURCES ÉLECTRONIQUES	350
	BIBLIOGRAPHIE.....	350
	ANNEXE-1 : QUESTIONNAIRE-TYPE DU DÉBUT DE TRIMESTRE.....	I
	ANNEXE-2 : QUESTIONNAIRE-TYPE DE FIN DE TRIMESTRE	III
	ANNEXE-3: RÉFÉRENCES DONNÉES AVANT UNE DES OBSERVATIONS	V
	ANNEXE-4: ÉNONCÉ DE LA TÂCHE DE CONCEPTION À ÊTRE RÉALISÉE PENDANT L'OBSERVATION.....	IX
	ANNEXE-5: RÉPONSES AU QUESTIONNAIRE DU DÉBUT DU TRIMESTRE (2005)	XI
	ANNEXE-6: RÉPONSES AU QUESTIONNAIRE DE LA FIN DU TRIMESTRE (2005).....	XIII
	ANNEXE-7 : ANALYSE DES DONNÉES DES MICRO-OBSERVATIONS PAR RAPPORT À L'ÉMERGENCE D'IDÉES (2006)	XV
	ANNEXE-8 : REPRÉSENTATION DES OBSERVATIONS ET LEUR ÉVOLUTION DANS LE TEMPS	XX

Liste des figures

Figure 1: Modèles de la conception architecturale : la métaphore de la spirale	19
Figure 2: Relations selon les composantes ‘temps’ et ‘implication du chercheur’ entre certaines méthodes qualitatives de recherche	88
Figure 3: Approche méthodologique adoptée	88
Figure 4: Schéma de la démarche de recherche	90
Figure 5: Schéma des observations trimestrielles	96
Figure 6: Le carnet numérique	98
Figure 7: Schéma de l’expérience d’observation en atelier pendant un trimestre. Le petit cercle blanc à gauche (au début de la ligne du temps) indique l’observation du travail avec le médium traditionnel (papier et crayon ; ou maquette en carton).	101
Figure 8: Séances de commentaires ajoutées après les séances de travail	106
Figure 9: Saisies d’écrans représentant l’enregistrement vidéo avec des images prises aux moments de changements-clé	109
Figure 10: Synchronisation des données du protocole rétrospectif d’observation	110
Figure 11: Exemple de synchronisation des données dans le cas de verbalisation naturelle par le dialogue: paroles des étudiants, description des gestes, image de la caméra ou de l’écran d’ordinateur, description des actions sur les représentations graphiques (observation-3).	111
Figure 12: Exemple de traitement des données de la première observation	116
Figure 13: Travail d’un étudiant : sur site-1 à l’ordinateur, et sur site-2 à la main levée	121
Figure 14: Travail de deux étudiants différents sur le même site-2	122
Figure 15: Travaux de deux étudiants	122
Figure 16: Réutilisation d’idées du projet trimestriel	123
Figure 17: Travaux de deux étudiants pendant la Micro-observation-3	124
Figure 18: Exemples de la première série d’images – ‘géométrique’	126
Figure 19: Exemples de la deuxième série d’images – ‘danseur’	126
Figure 20. Travaux des étudiants ayant travaillé avec la série d’images ‘géométrique’	126
Figure 21. Travaux des étudiants ayant travaillé avec la série d’images ‘danseur’	127
Figure 22: Idée : spirale ; réalisation : cerceaux désaxés	133
Figure 23 : « Se laisser guider par le logiciel »	134
Figure 24: The Greater London Authority (GLA) Building, de Foster & Partners	135
Figure 25: Structure basée sur un paraboloïde hyperbolique: (a) référence, (b) ‘compréhension’, et (c) effort de l’utiliser dans une nouvelle situation de design	136
Figure 26: Exemples de deux images et les écrits des étudiants pour chacune	136
Figure 27: À gauche : terminal de bus (arch. Zaha Hadid) ; à droite : arrêt de train léger - projet d’un étudiant.	137
Figure 28 : Le principe de la tension repris dans certains projets	138
Figure 29: Le principe d’équilibre momentaire ou dynamique, transposé dans les travaux	139

Figure 30: Schématisation du modèle d'interaction des différents formats de représentation des connaissances créés à partir d'une image; ensemble avec l'interaction entre représentations internes et externes	173
Figure 31: Simulation de la compréhension d'un précédent par un étudiant de façon autonome. Sans assistance, moins de features sont dégagés.	190
Figure 32: Simulation de la compréhension dans la zone proximale - avec assistance	190
Figure 33: Place de la proposition pédagogique dans le schéma méthodologique	229
Figure 34 : Combinaison (superposition) : circulation et organisation fonctionnelle	242
Figure 35: Travail à partir de la structure (méthode paramétrique)	245
Figure 36: Pour une structure à nœuds : fonction utilisée pour des jeux et animations (look-at)	246
Figure 37 : Exploration de l'ombrage minimal ou maximal d'une surface	246
Figure 38: Travail cognitif (transformation en gardant les caractéristiques de base) à partir de référents (a) précédent : l'aérogare de Stuttgart ; (b) fragment du projet de l'étudiante J. P.	247
Figure 39: Établir des relations entre des objets de la scène avec Xpresso	248
Figure 40: Changement du protocole des micro-observations (points rouges)	253
Figure 41: Micro-observation au début du trimestre : Automne 2005. (a) Travail en maquette ; (b) travail à l'informatique (Équipe M-S)	255
Figure 42: Micro-observation au début du trimestre : Automne 2005, (Équipe A-A). (a) Travail en maquette, (b) travail à l'ordinateur	255
Figure 43: « L'équilibre dynamique entre la légèreté et la masse » (a) équipe A-A ; (b) équipe M-S ; et (c) équipe E-J-S	256
Figure 44: (a) Dessin de la grille de base pour le travail en maquette de carton; (b) début de la maquette	260
Figure 45: Équipe L-A (plusieurs variantes)	263
Figure 46: (a) Équipe CA-A (le théâtre est situé sur une île qui est modélisé aussi); (b) Équipe L-S-L qui a travaillé sur le concept du théâtre en tant qu'animation	264
Figure 47: Moments d'émergence d'idées provoquées par le médium de travail (a) maquette en carton, (b) modèle numérique	265
Figure 48: Linkograph. A) Comparaison de moments de déclenchement d'idées à l'ordinateur (a1) et en maquette de carton (a2); Le codage des graphiques est selon les mêmes thèmes : la couleur indique différentes modalités de communication, tandis que la forme montre l'intervenant; B) Un extrait du travail à l'ordinateur, codé selon des thèmes différents : (b2) acteur et modalité de communication; (b2) sens des gestes et contenu de la communication; (b3) aspect du projet et contenu de la communication	266
Figure 49: (a) 'zoom' sur l'objet ; (b) création d'objets à l'intérieur d'autres objets	267
Figure 50: (a) un cône est utilisé comme support du parallélépipède ; (b) visualisation de la 'structure' du cône ; (c) distribution semi-aléatoire des tiges structurelles	268
Figure 51: Place de la proposition de stratégie didactique dans le schéma général de cette recherche	275
Figure 52: Types de représentations d'un référent dans le mental	289

Figure 53: Schématisation du modèle d'interaction de différents types de connaissances et leurs représentations respectives; ensemble avec l'interaction entre représentations internes – externes	291
Figure 54 : Interface de la librairie de référents à partir du modeleur (exemple de simulation de la propagation du son)	296
Figure 55: Exemples des différents thèmes architecturaux de la librairie - de gauche à droite : forme (sous le poids du matériau); analyse du site; structure; propagation du son	297
Figure 56: Treillis distribués de façon paramétrique (comme la structure de Waterloo Station par Nicholas Grimshaw & Partners). Le référent est représenté par : (a) image du bâtiment, (b) schéma de la structure (qui est la caractéristique qui a déterminé le choix de ce référent pour la librairie); et (c) modèle interactif	299
Figure 57: Relations paramétriques dans un objet ou entre objets : en haut : la pente des gradins est donnée par une formule; en bas : calcul du nombre approximatif de sièges sur les gradins à l'aide de Xpresso	300
Figure 58: Description d'algorithmes: en haut: à l'aide de l'interface graphique de programmation Xpresso; en bas : avec programmation – script avec COFFEE	301
Figure 59: Les résultats d'une recherche sont sauvegardés, ensemble avec la date et les caractéristiques recherchées	302
Figure 60 : Annotation personnelle des référents	302
Figure 61: Interface de l'environnement de partage	303
Figure 62: Génération d'une forme influencée par la musique (travail de J.T.) : a) Exploration basée sur un modèle de référent; b) idée pour le projet; c) le projet final.	307
Figure 63: Schéma de l'observation #3 : une micro-observation a été réalisée vers la fin du trimestre.	309
Figure 64: (a): Équipe de deux étudiants pendant les micro-observations; b) et c): explorations interactives du modèle paramétrique (équipe J.-R.).	310
Figure 65: Deux autres mini-projets réalisés pendant les micro-observations (M.-N. et C.-S.)	310
Figure 66: Mini projets des équipes qui n'ont pas utilisé des méthodes paramétriques (équipes A.A.-G. et A.S.-Y.)	311
Figure 67: Méthode d'analyse qualitative et interprétation des données	312
Figure 68: Schéma des modèles de conception observés pendant les micro-observations et leur lien avec la méthode de travail avec le numérique	315
Figure 69: Tableau des résultats: déclenchement d'idées	318
Figure 70. Comparaison entre un modèle interactif fourni par la librairie (à gauche) et deux réutilisations faites par les étudiants (au milieu et à droite)	322
Figure 71: (a) Modèle-référent de gradins (avec les règles de disposition encapsulées), et sa réutilisation dans un nouveau projet (b) en plan, (c) vue de la salle (projet de J.T.)	323
Figure 72: Schématisation de l'Espace de conception	327
Figure 73: Images des travaux de recherche des étudiants : (a) inspiration du poisson et les travaux de Frank Gehry; (b) inspiration d'une fleur et le temple de Bahāī.	343
Figure 74: Schéma d'un cycle possible du processus de conception avec le numérique.	347

*À mes parents qui m'ont montré la voie vers la recherche,
à mes professeurs et amis qui m'ont accompagnée,
et à mes deux fils qui la poursuivront à leur façon*

Remerciements

Il y a onze ans, le destin m'a amenée à l'École d'architecture de l'Université de Montréal et j'y ai découvert le Groupe de recherche en CAO. Après une brève rencontre avec Manon Guité dans la bibliothèque, et un parcours dans les couloirs de la Faculté, en chantier en ce moment, j'ai été introduite auprès Temy Tidafi. Et un nouvel univers s'est ouvert à moi: la recherche et l'innovation en architecture.

Mes remerciements vont tout d'abord à mon professeur, collègue et ami Temy Tidafi qui m'a accompagnée, conseillée, inspirée et soutenue tout au long de mon parcours, un peu comme le petit prince a aidé grandir sa rose. Sans lui, cette thèse n'aurait jamais vu le jour.

Ma profonde gratitude va aussi à mon directeur de recherche Giovanni De Paoli pour les discussions constructives et inspirées sur le sujet de ma thèse et sur la vie, pour les consignes justes et claires, pour le support inconditionnel et de tout type et pour l'attitude de collaboration pendant le travail sur les projets de recherche.

Merci également à Manon Guité qui m'a transmis son amour pour l'enseignement et m'a donné plusieurs opportunités de mettre en pratique mes recherches. Je la remercie également pour des discussions animées dans le cadre des projets de recherche, ainsi qu'à Jacques Lachapelle dont l'ouverture d'esprit est un exemple à suivre. J'aimerais aussi remercier Claude Parisel, le 'doyen' du GRCAO, dont la compétence et la curiosité scientifique sont une source d'inspiration.

Pendant mon cheminement de doctorante, j'ai eu également la chance de profiter de discussions, et de collaborations enrichissantes avec Thomas Seebohm, Jean-Marie Van der Maren et Lorna Heaton. Les crédits de recherche pris avec Jean-Pierre Chupin et Denis Bilodeau m'ont montré des points de vue différents et prodigieux. Les échanges avec Georges Adamczyk, Janos Baracs, Tiiu Poldma et Rob Woodbury ont contribué au développement de plusieurs facettes de cette thèse. J'aimerais aussi remercier tous les membres du GRCAO pour leur collaboration, support et amitié, entre autres, Jean-François

Rotgé, Nathalie Charbonneau, Nada El-Khoury, Mithra Zahedi, Samir Benkheira et Carl-Antony Dufault.

J'adresse une reconnaissance particulière à mes étudiants qui ont fait preuve d'une grande motivation et inspiration dans cette recherche. Ils ont accepté les défis du travail innovateur et exploratoire que je leur ai proposé et m'ont offert en retour leur passion pour l'architecture, leurs points de vue par rapport aux méthodes proposées et leurs encouragements.

Pendant les dernières quatre ans d'études doctorales, j'ai pu profiter d'une bourse des Fonds de recherche en sciences humaines du Québec, ainsi que de la Faculté de l'aménagement de l'Université de Montréal, qui ont été indispensables pour ma recherche.

Grand merci à mon amie Antonia Popova qui a pris au cœur la tâche ingrate de lire ma thèse et de corriger le français, tout en donnant des conseils judicieux.

Et enfin, je remercie chaleureusement mes parents qui m'ont initiée à la recherche il y a 30 ans, et qui m'ont toujours encouragée, supportée et cru en moi. Merci de tout mon cœur à mes deux fils qui ont des fois subi une maman très occupée, mais qui ont développé une maturité et un amour pour les vraies valeurs de la vie! Je remercie aussi ma sœur et mon beau-frère, ainsi que mon amie Gerri Spassova pour leur support et de m'avoir fait remarquer qu'il y a aussi d'autres choses dans la vie à part la thèse!

Introduction

« Existe-t-il deux univers de conception architecturale, celui de la souris et celui du crayon? » Cette question surgie lors d'un colloque pédagogique à l'École d'architecture de l'Université de Montréal en mai 2008, est assez éloquente. Elle vient démontrer la nécessité de recherches sur cette thématique, l'incertitude théorique et pratique par rapport au numérique et son rôle dans la conception architecturale, tout en suggérant l'éventualité d'un 'schisme' entre ces deux 'univers'.

Partant autant que possible des bases essentiellement architecturales, la présente recherche porte sur l'enseignement de la conception architecturale et plus spécifiquement sur l'apport que l'informatique pourrait avoir dans ce processus. Son sujet se trouve au carrefour des thèmes provenant de plusieurs domaines du savoir humain (conception architecturale, enseignement, communication, psychologie cognitive, informatique et environnement). C'est une synthèse de plusieurs années de questionnements et réflexion sur l'enseignement de la conception architecturale. C'est également le produit du travail avec les étudiants en atelier d'architecture sur l'apprentissage de cette profession, vue à la fois comme art, science et métier.

Dans le cadre de cette recherche, l'utilisation d'outils informatiques n'est pas un but en soi. Elle est vue en tant que moyen pour mettre en application des méthodes d'enseignement qui visent à répondre à certains besoins de la profession et de son enseignement.

Aujourd'hui, presque un demi-siècle après l'introduction de l'informatique, nous pouvons constater que celle-ci n'a pas profondément changé la profession architecturale, comme elle l'a fait dans d'autres domaines de l'activité humaine (Kalay, 2004). Des raisons d'ordres différents peuvent expliquer ce retard: la complexité du processus de la création architecturale et la multitude de disciplines y participant; le manque de tradition scientifique cognitive en architecture; l'esprit traditionaliste des architectes; et le sous-financement du domaine. Cependant, l'enseignement de la conception architecturale à l'aide d'outils informatiques profite ces dernières années d'un intérêt accru, comme le témoignent les thèmes des conférences mondiales sur la Conception Architecturale

Assistée par Ordinateur (CAAO) : eCAADe¹ -2003 « *Design E-Ducation* », eCAADe-2005 « *Digital Design: the quest for new paradigms* », CAADRIA-2005 « *Digital Opportunities : Education, Processes, Innovation* », CAAD Futures-2005 « *Learning from the Past – a Foundation for the Future* ». Un nouveau cadre théorique et méthodologique est en train d'émerger pour accommoder les spécificités cognitives du design² avec le numérique (Oxman, 2008). Il est fort probable que, très prochainement, nous assistions à un changement de paradigme dans le domaine, changement qui pourrait modifier la nature de la profession architecturale (Kalay, 2004).

De nos jours, le développement durable est une priorité planétaire et préoccupe à raison la pensée architecturale. Le défi posé à la profession de l'architecte par les effets négatifs de l'industrialisation (pollution, réchauffement global, épuisement des ressources non renouvelables, augmentation de 'l'empreinte écologique' des villes dans les sociétés de consommation, etc.) change considérablement les exigences par rapport à la formation des futurs architectes. Omniprésente dans les régions 'sous-développées', l'architecture écologique devient d'actualité dans les pays industrialisés depuis une quinzaine d'années. Cette attitude face à l'environnement artificiel est destinée à devenir la norme. Cependant, il semble que ce soient surtout les ingénieurs qui guident le progrès dans ce domaine. En conséquent, souvent, on est témoin d'une 'technicisation' des solutions architecturales (prêtant de l'intérêt surtout aux détails d'exécution et aux matériaux de construction) (Abalos, 2007), phénomène qui apporte un danger d'appauvrissement du design. Et pourtant, parmi les premières mesures de l'optimisation énergétique on retrouve celles qui prennent en compte l'orientation et la forme géométrique du bâtiment (Yeang, 2006). De cette manière, comme Abalos (2007) a su l'exprimer, après le principe « la forme suit la fonction », les architectes devraient adopter « la forme suit la durabilité » (*form follows sustainability*). Par contre, l'ordinateur n'apporte pas de possibilité d'explorer cette maxime pour l'instant. Au contraire, il est vu comme un outil qui ne permet pas l'intégration de connaissances du domaine pour pouvoir les exploiter pendant le processus

¹ ACADIA: Association for Computer-Aided Design in Architecture, CAADFutures: Computer Aided Architectural Design Futures, CAADRIA: Computer Aided Design Research in Asia, eCAADe: education in Computer Aided Architectural Design in Europe

² D'après l'Office québécois de la langue française, 2005, « En français, le mot design est réservé aux activités qui visent une harmonisation esthétique de l'environnement humain à partir des formes données aux productions industrielles. » Cependant, dans le cadre de ce texte, le terme 'design' est utilisé comme synonyme de 'conception'.

de conception. Sa contribution est présente pendant les tests de simulations thermiques, structurelles, acoustiques, etc. qui sont réalisés, dans la grande majorité des cas, après que le travail créatif de l'architecte soit fini. Une intégration des savoir-faire architecturaux via des outils numériques pourrait assister et même amplifier le processus de conception architecturale en y ajoutant des possibilités d'exploration ancrées dans les connaissances architecturales mêmes. La question de l'enseignement de la conception intégrée de l'architecture a été récemment le thème de la conférence de l'AIA¹ et de l'ACSA² (Friedman, 2008). Dans l'introduction aux Actes de cette conférence, il est écrit que la possibilité d'offrir aux étudiants un environnement numérique de design intégré pendant leur apprentissage, est encore loin d'être acquise :

Based on current industry trends, sooner than we think all students of architecture will routinely explore schematic design in data-rich four-dimensional virtual building environments. [...] - these educational skills and experiences remain stubbornly elusive. (Friedman, 2008 p.4)

Cette citation témoigne de l'actualité de la problématique de l'enseignement de la conception architecturale intégrée³ en atelier d'architecture et de l'important impact positif que cette approche pourrait avoir sur notre environnement de vie.

L'ordinateur est déjà une réalité dans les écoles d'architecture. À l'École d'architecture de la Faculté de l'aménagement de l'Université de Montréal, les premiers ateliers 'sans papier' ont apparu dans le curriculum de l'année académique 1999-2000. Cependant, la réflexion sur le numérique avait commencé bien avant au sein du Groupe de recherche en CAO (GRCAO). Les premières années du Groupe (au début des années 90), ont été animées par des recherches sur la modélisation volumique sans cas spéciaux à l'aide de la géométrie descriptive. La remise en question des logiciels commerciaux, la philosophie d'indépendance par rapport à eux, la modélisation du processus et non seulement du résultat final, ainsi que la préoccupation de transfert du savoir-faire ont été des principes fondateurs, et continuent d'être le fil conducteur d'une grande partie des projets de recherche menés par les membres du Groupe (Tidafi, 1996; Rotgé, 1998; De Paoli, 1999).

¹ *The American Institute of Architects*

² *Association of Collegiate Schools of Architecture* qui réunit toutes les écoles d'architecture accréditées en Amérique du Nord.

³ La définition de l'AIA de la pratique architecturale intégrée est comme suit : « *Integrated practice leverages early contribution of knowledge through use of new technologies, allowing architects to realize their highest potentials better as designers and collaborators while expanding the value they provide throughout the project lifecycle.* »

Cette pensée a fait naître des recherches plus spécifiques concrétisant les principes développés par rapport à différentes problématiques architecturales (Iordanova, 2000; Charbonneau, 2002; G. Hernandez, 2002; Birady, 2004). Ainsi, au moment quand la majorité des logiciels destinés à l'architecture visaient la représentation photo réaliste, la programmation informatique a été vue comme un moyen nécessaire pour la représentation intelligente et pour la communication en architecture au sein du GRCAO. Plus récemment, la réflexion sur la pédagogie avec le numérique a été approfondie dans le cadre des projets de recherche subventionnés par le CRSH¹. Des questions sur la communication pendant le travail en équipe sur un projet à l'ordinateur ont été étudiées dans les circonstances d'un projet de CITÉ² (chercheur principal L. Heaton). Proposant une large collaboration et échange d'idées entre chercheurs de différentes écoles d'architecture (de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université de Waterloo), ainsi qu'avec les départements de l'éducation et de la communication, certaines parties de ces projets ont servi de base pour la présente recherche.

En même temps, l'atelier 'sans papier' donné à l'École d'architecture de l'Université de Montréal, a évolué en tant qu'atelier thématique « Forme et fonction », spécialisé en CAO en troisième année du premier cycle de la formation en architecture; et encore, en tant qu'atelier spécialisé au niveau de la Maîtrise professionnelle. C'est notamment ces ateliers qui ont servi de terrain pour la recherche qui fait l'objet de cette thèse. Ainsi, les recherches théoriques menées par le Groupe viennent enrichir l'enseignement dans les ateliers spécialisés.

Cette mise en contexte témoigne du fait qu'il n'est plus question de discuter de l'introduction de l'ordinateur dans le curriculum. Il est d'actualité plutôt, d'observer comment sa présence influence l'apprentissage (Oxman, 2008), et d'essayer de trouver des méthodes d'enseignement qui mettront l'informatique à contribution pour l'acquisition et l'appropriation des connaissances et des savoir-faire pendant la conception architecturale. De cette façon, nous espérons pouvoir inverser la tendance décrite par Vasquez après avoir fait une étude auprès de 800 compagnies d'architecture aux États Unis:

¹ Conseil de recherches en sciences humaines du Canada; Titre du projet : Enseignement de la conception et techniques numériques: validation de stratégies et de dispositifs cognitifs numériques pour l'apprentissage de la conception en architecture; Responsable : G. De Paoli

² Chaire Bell en recherche interdisciplinaire sur les technologies émergentes; Projet : Traces, perspectives et processus: une analyse vidéo des pratiques de travail; Responsable L. Heaton

If we compare current figures with figures of previous years, we see that our students are improving in their computer skills at the same time that they are losing ground in other skills and fields of knowledge. [...] the reason is simple: Our students are too busy working on the computer and are failing to put attention to other important stuff. (Vasquez, 2002b, p.50)

En conclusion, l'objectif de cette recherche est de proposer des méthodes et des outils d'apprentissage autant pour arriver à endiguer la perte de connaissances architecturales (telle que remarquée par Vasquez, 2002a), que pour enrichir et 'augmenter'¹ le processus de design grâce à l'ordinateur.

¹ Avec le vocabulaire de John Gero comme *key-note speaker* à CAAD Futures-2007 : *Computer-Augmented Architectural Design*

The importance is to ask the right question,
finding an answer is a matter of time and effort. (Schank, 2006)

Question de départ

La problématique de la thèse se définissait au fur et à mesure que la recherche avançait. Des questions qui se sont posées au début étaient : Est-ce que l'informatique pourrait changer le processus de conception architecturale? Et si *oui*, de quelle façon? Comment ce changement pourrait être prévu et enseigné aux étudiants? Et encore : Comment un tel changement cohabiterait avec les approches traditionnelles en atelier?

Plus tard, le processus même de conception en architecture et son enseignement ont été questionnés: Qu'est-ce qu'on enseigne en atelier? Quels aspects de l'enseignement en atelier d'architecture nécessitent une amélioration? Est-ce qu'on devrait enseigner aux étudiants 'le processus de design'? Et si 'oui', Comment pourrait-on l'enseigner de façon que chaque étudiant puisse élaborer sa propre démarche de conception?

À ces questions se sont ajoutées celles concernant les besoins de la profession : Comment marier optimisation énergétique et créativité lors de la conception d'un bâtiment? Ou encore : Pourquoi la compétence en informatique ne va pas toujours de paire avec les connaissances approfondies architecturales?

Enfin, la composante informatique a été réintégrée dans les questionnements : Pourquoi l'informatique est vue par certains architectes et enseignants en architecture comme un obstacle aux processus créatifs? Comment pourrait-elle contribuer à l'enseignement de savoir-faire architecturaux? Comment pourrait-elle aider les futurs architectes à joindre exigences climatiques et structurelles avec créativité?

Ainsi, la question de départ se voit formulée de la façon suivante :

Comment l'enseignement de la conception architecturale pourrait tirer avantage des moyens numériques?

Dans le cadre de cette recherche, une attention spéciale a été portée sur la terminologie. Ainsi, le choix entre les termes ‘moyens informatiques’, ‘moyens numériques’, ‘ordinateur’ et ‘numérique’ a dû être fait. D’un côté, ‘ordinateur’ représente la machine (le *hardware*) qui est animée par les logiciels s’y trouvant, alors que cette étude n’y intervient pas; et de l’autre, le ‘numérique’ qui peut faire fonctionner différentes machines (caméras, télévisions, etc.) se trouve un terme trop général pour cette recherche. L’informatique¹ en tant que nom (*computer science* en anglais), est « la science du traitement automatique de l’information considérée comme le support des connaissances et des communications humaines » (Office québécois de la langue française, 2007, SE05). En tant qu’adjectif, ‘informatique’ (en anglais, *computational*) est synonyme de ‘computationnel’, mais ce terme n’est pas recommandé pour l’usage en français. En milieu architectural francophone, l’utilisation du terme ‘numérique’ est plus répandue et acceptée. Ainsi, le terme ‘architecture numérique²’ sera utilisé dans cette recherche pour indiquer de l’architecture qui ne peut pas être conçue, représentée ou réalisée sans l’aide de l’informatique.

Considérée traditionnellement comme outil dans un contexte architectural, en cours de cette recherche, l’informatique serait plutôt ‘promue’ en médium³ pendant le processus de design. En d’autres termes, elle pourrait être vue comme ‘membre’ de l’équipe de concepteurs, qui pourrait suggérer des éléments d’une solution architecturale recherchée, ou encore élargir l’Espace de conception. Dans la formulation de la question de recherche le terme ‘moyens’ est employé parce qu’il englobe les outils et les méthodes.

¹ Le terme *informatique*, qui serait apparu en 1962, est un mot-valise qui a été créé à partir des mots *information* et *automatique*.

² Traduction en anglais : ‘digital architecture’ ou ‘computed architecture’.

³ Médium signifie la participation de ce dernier dans la création d’un objet, par différence avec ‘outil’ qui reste ‘inerte’ et sert entièrement l’humain qui le manipule.

Qualitative research aims at understanding the meaning of human action.

(Schwandt, 2001)

Méthodologie générale de la recherche

Pour répondre à la question de départ, trois types différents de recherches ont été menés : (1) revue de la littérature concernant le processus de design architectural et son enseignement, ainsi que les mécanismes cognitifs qui les supportent, (2) recherche exploratoire participative auprès des étudiants en atelier d'architecture, et (3) recherche-action de modélisation théorique et développement.

Le choix de stratégies générales de recherche comprend deux étapes : (1) mener une recherche quantitative ou qualitative, et (2) quelle posture épistémologique adopter.

Recherche quantitative ou qualitative

Selon la littérature sur la méthodologie de recherche, les réponses à une question d'étude, commençant par « qu'est-ce que » ou par « comment », peuvent être emmenées seulement par une recherche qualitative (Creswell, 1998).

Les objectifs de cette recherche ne visent pas tellement d'établir des dépendances entre les variables (par exemple, le type d'utilisation de l'outil informatique, comme variable indépendante et le succès de l'introduction de certains aspects de l'enseignement, comme variable dépendante), mais plutôt de proposer une modélisation théorique de certaines nouvelles dimensions de l'enseignement de la conception architecturale, qui ont un potentiel de tirer des avantages de certaines caractéristiques informatiques.

Une recherche qualitative s'impose aussi par le domaine de l'étude (éducation, conception architecturale) et par le type de la situation étudiée (travail des enseignants et des étudiants en atelier). De nos jours, il n'y a presque plus de polémique sur le dilemme quantitatif/qualitatif quand il s'agit de recherche avec des personnes en situation de créativité ou d'éducation. De plus, quand un chercheur travaille avec de petits groupes (6-12 personnes) et quand il essaye de comprendre des processus cognitifs, inévitablement, il s'implique dans l'expérience-même. Une recherche quantitative chercherait à avoir un

grand nombre de cas d'étude, avec des données provenant de sources bien calibrées, pour y trouver (le plus objectivement possible) des liens de cause à effet. Cela n'est pas de même pour la recherche qualitative qui travaille avec un petit nombre de cas d'étude, desquels elle cueille une panoplie de données de différentes natures et essaye de comprendre le phénomène étudié en profondeur, pour pouvoir créer par la suite un modèle théorique selon l'interprétation du chercheur. La validation statistique exigée au cas d'étude quantitative est remplacée par la recherche d'une vérification de toute la recherche, ou encore d'une 'vraisimilitude' des résultats (qui sont souvent des modèles théoriques du phénomène étudié) en situation de recherche qualitative.

Selon Schwandt (2001), la recherche qualitative (la tradition *Verstehen*) a pour but la compréhension du sens des actions humaines. Ainsi, les principes universels deviennent compréhensibles seulement à la lumière de cas spécifiques. D'après le même auteur, un des points faibles de la recherche quantitative est qu'elle montre des 'coïncidences' mais la causalité¹ n'est pas sûre. De plus, elle est rarement en mesure de donner des explications. Si des relations causales sont recherchées, elles peuvent être établies à partir de données qualitatives, à l'aide d'une « induction analytique² » (Schwandt, 2001). Cependant, les approches phénoménologiques³ avancent la thèse qu'il est possible seulement de comprendre ou d'interpréter une action, mais pas de lui donner une explication causale. Cette position est très importante et entièrement endossée par la présente recherche.

L'implication du chercheur et sa participation directe dans les cas étudiés sont un phénomène fréquent en milieu d'enseignement. Cette subjectivité est récompensée par une compréhension profonde des problèmes et une possibilité d'action immédiate. Avec les mots de Schwandt:

¹ *the cause is a necessary and sufficient condition for the occurrence of an event (Creswell, 1998)*

² En anglais, *analytic induction*: méthode non expérimentale qui permet d'établir des liens causaux en utilisant des données qualitatives. Les méthodes expérimentales de recherche sont réalisées dans un environnement contrôlé avec une bonne isolation des variables. Les méthodes non expérimentales observent le contexte réel et ne prétendent pas être 'réplicables' à cause de la grande quantité de variables du contexte qui sont différentes d'un cas à l'autre.

³ Définition de la phénoménologie : description des phénomènes. Un phénomène est tout ce qui se manifeste à la conscience, que ça soit par l'intermédiaire du sens ou non. (Le nouveau Petit Robert de la langue française, 2007) Selon Schwandt (2001), les phénoménologistes insistent sur l'importance de décrire les expériences conscientes usuelles (*the life-world*) - décrire les choses comme elles sont senties.

The researcher has a role of active learner who can tell the story from the participant's point of view rather than as an "expert" who passes judgments on participants. (Schwandt, 2001, p. 18)

Dans un tel contexte, le chercheur fait partie de la recherche et la narration en première personne peut être utilisée dans le texte. Dans le cadre de cette thèse, les chapitres qui contiennent des expériences exploratoires d'observation ou encore de la recherche-action, pourront être rédigés à la première personne à cause de l'implication et de la subjectivité éventuelle de l'auteur.

Posture épistémologique

La posture épistémologique adoptée devrait être en mesure de prendre en considération et de respecter la complexité des processus étudiés. D'après Creswell (1998), pour bien comprendre une situation étudiée, le chercheur devrait passer beaucoup de temps sur le terrain, devrait prévoir la possibilité de faire évoluer le design de l'expérience, de servir comme instrument de cueillette de données de différentes natures, de prendre en compte l'opinion des sujets étudiés, etc. La maîtrise d'une telle situation complexe (qui se caractérise par des notions de transformations dans le temps et de relations entre phénomènes de tout ordre), pourrait être envisagée à l'aide d'une approche systémique par rapport à la recherche entreprise (Le Moigne, 1990). Les mêmes principes sont valables pour le développement de l'assistant à l'enseignement. Si au contraire, une approche analytique avait été adoptée, ceci simplifierait la compréhension de la situation étudiée ou modélisée, et la priverait d'une partie essentielle telles ses richesses et complexité.

Cependant, avec l'avancement de la recherche, la posture épistémologique a évolué. Étant un des acteurs du système étudié, je ne le voyais plus de l'extérieur, comme un système, mais de l'intérieur, comme une des composantes qui en interagissant créent le système (Maturana, 1980; Varela, 1998; Lyon, 2005). Cette position a été adoptée aussi par rapport au dispositif didactique développé, qui est devenu le produit de la contribution de plusieurs modèles numériques (référents) et intervenants (étudiants). De cette façon, la théorie de l'intelligence distribuée¹ a influencé notre recherche, ainsi la rendant ouverte et évolutive.

¹ L'intelligence distribuée signifie la mise en commun de l'intelligence de plusieurs personnes (ou 'agents') dans le but d'atteindre un objectif qui serait impossible ou très difficile sans cette coopération. Reprenant le principe de la complexité qu'un entier est plus grand de la somme des parties le composant, l'intelligence distribuée porte un regard de l'intérieur du système complexe, et ainsi, considère l'intelligence de chaque 'agent' ensemble avec les relations entre eux.

En résumé, cette recherche est de nature qualitative, et plus précisément, exploratoire et participative. Elle procède par des questions et non par formulation d'hypothèses. Elle s'inscrit dans le courant épistémologique constructiviste et distribué. Elle adopte, donc, une approche systémique pour sa capacité de supporter et d'étudier des phénomènes complexes comme l'apprentissage et la conception architecturale, en y portant un regard de l'intérieur du système.

Structure de la thèse

La structuration d'un travail écrit est très importante pour sa compréhension par le lecteur. Ceci est encore plus crucial quand il s'agit d'une thèse de doctorat qui est appelée à entrer dans la profondeur des thèmes mais sans perdre le fil conducteur de l'objectif global de la recherche. Étant un travail personnel, une thèse reflète également, à un certain point, la structure de la pensée de son créateur. Cependant, le lecteur potentiel pourrait avoir non seulement des compétences différentes, mais aussi un raisonnement structuré différemment. Il pourrait aussi poursuivre des finalités différentes pour lesquelles une autre structure que celle choisie par l'auteur, aurait pu être plus pertinente.

Faisant une analogie avec la structure de la mémoire humaine, c'est la structure dynamique qui aurait été appropriée (Schank, 1982). Sur un porteur électronique, ceci se fait déjà (Schank & Cleary, 2006). Des restructurations du contenu ainsi que des parcours partiels variés sont proposés aux lecteurs dépendamment de leurs intérêts. Cependant, étant sur papier, l'exposé de cette recherche adopte une structure fixe dictée d'un côté par les objectifs scientifiques du travail, et de l'autre, par le principe d'une spécialisation et un approfondissement graduels du contenu. La temporalité des expérimentations sera aussi respectée et représentée.

La structure de cette thèse suivra les questions de la recherche et leur reformulation. Ainsi, au début, une première Question de recherche a été formulée et certains concepts y participant ont été déjà définis.

En ce qui concerne la Première Partie, elle introduira la problématique de la recherche en exposant son contexte dans le domaine ainsi que la motivation. Les recherches théoriques sur la conception architecturale et son enseignement seront discutées. Le rôle de l'informatique dans ces domaines sera examiné. Suivant certaines conclusions de ce

survol, deux thèmes seront approfondis, notamment le rôle des référents pendant la conception architecturale (CA), et la façon dont la CA aborde la complexité de la réalité. En conclusion de la Première Partie, certaines discordances seront identifiées entre les positions théoriques et la pratique de l'atelier, comme décrites dans la littérature.

La Question de recherche et la Méthodologie seront précisées après.

La Deuxième Partie présentera une recherche exploratoire sur l'état de l'art dans le domaine, plus spécifiquement l'utilisation de l'informatique en atelier d'architecture. Ce chapitre présentera des expériences d'observation menées auprès des étudiants en architecture. En conclusion, les discordances identifiées à la fin de la Partie-I seront modifiées en cohérence avec les résultats des observations.

La Question de recherche sera de nouveau spécifiée après cette partie.

De sa part, la Troisième Partie portera attention sur certains processus cognitifs impliqués dans le processus du design et de l'apprentissage. Il s'agit notamment de la mémoire, de l'apprentissage, de la créativité et du processus de design. Certains sujets déjà abordés en Partie-I seront approfondis d'un point de vue cognitif. En conclusion de cette Partie-III, les trouvailles cognitives seront considérées en fonction de leurs contributions possibles pour la résolution des discordances précédemment relevées.

Une Méthode d'enseignement sera proposée sur la base des recherches des premières trois Parties.

Partie IV a l'objectif d'opérationnaliser l'approche pédagogique de la méthode d'enseignement proposée. Il s'agit d'une première étape de la recherche de développement qui vise à répondre aux discordances relevées dans les Parties précédentes ainsi que de contribuer à l'atteinte des objectifs de la recherche. La mise à l'épreuve de cette approche sera aussi exposée.

La dernière Partie V de la thèse est consacrée à l'opérationnalisation de la composante didactique de la méthode d'enseignement de la conception architecturale. Elle présentera la création d'une librairie de référents architecturaux interactifs (LibReArchI) conçue comme moyen didactique pour assister l'apprentissage de la CA. Sa mise en application en atelier d'architecture sera discutée. Une 'vérification de la fidélité' de la recherche aura aussi lieu.

À la fin, une discussion des résultats obtenus sera effectuée. Des réponses aux Questions de recherche seront élaborées. L'approche d'enseignement proposée sera évaluée par rapport à ses avantages et inconvénients. Des avenues pour des recherches à venir seront proposées.

À l'intérieur des chapitres, certains sujets sont d'abord abordés au niveau théorique, pour examiner plus tard le rôle de l'ordinateur dans le cadre du sujet, et pouvoir discuter à la fin, l'utilisation des méthodes numériques en atelier d'architecture.

Partie I. De l'état de l'art dans le domaine

Cette partie de la recherche représente une revue de la littérature sur la théorie et la pratique de la conception architecturale et son enseignement, ainsi que sur le rôle que l'ordinateur joue pendant ces processus. Le premier chapitre consistera en un survol du domaine, après quoi, suivant certains constats, deux thèmes seront approfondis d'avantage: Le rôle des référents en conception architecturale et son apprentissage; et L'approche intégrée à la conception architecturale : une réponse à la complexité de la réalité.

Méthodologie de la revue de la littérature

Il y existe, selon Schwandt (2001), deux approches de la revue de la littérature: une traditionnelle, et une non-traditionnelle. Pendant que la première se contente d'exposer les faits de façon fidèle et comme décrits par l'auteur, la seconde est orientée vers l'interprétation des faits et essaie de donner des perspectives intéressantes par rapport aux significations et circonstances. D'après cet auteur, une revue bibliographique peut donner place à des remises en question qui ouvriront de nouvelles pistes de recherche :

...the review should be less like a synthesis, but more like reexamination and reconsideration that unsettles and disturbs what we might take for granted as "already learned" (Schwandt, 2001, p. 229)

Dans son livre sur la recherche en éducation, Van Der Maren (1996) discute de trois phases de la revue bibliographique :

- analyse conceptuelle, qui « tentera de dégager quelle est l'intention ou la compréhension du concept et quelle est son extension ou son étendue » (p. 139).
- analyse critique, qui a pour fin « de mettre en évidence des lacunes, des contradictions, des paradoxes, des conditions, des présupposées, des implications et des conséquences, la plupart du temps non dites par les premiers auteurs » (p. 146).
- analyse inférentielle, qui a pour objectif le développement ou l'extension des théories, par exemple, le transfert de théories entre domaines sur la base d'analogies.

S'inspirant de ces consignes méthodologiques, la revue de la littérature dans cette thèse contient certains éléments d'interprétation et de critique dans le but de mettre en place un cadre théorique qui permettrait d'atteindre les objectifs de la recherche.

Chapitre 1. De la conception architecturale, son enseignement et le rôle de l'ordinateur dans ces processus

L'enseignement de la conception architecturale est inséparable de la conception architecturale elle-même. Comme nous allons le voir plus loin dans ce document, une partie essentielle de l'éducation en architecture est occupée par '*learning-by-doing*' en situation d'atelier¹ (Schön, 1985). Ainsi, la conception architecturale sera parmi les objets d'étude de la thèse, ensemble avec son enseignement et son apprentissage. Le rôle des moyens numériques comme médium de communication et de figuration pendant la conception d'un objet architectural, et surtout auprès des étudiants en atelier, sera également étudié dans le cadre de ce chapitre.

1.1 Conception architecturale et stratégies de création

En architecture, l'ordinateur fait ses premiers pas dans les années soixante, avec les tentatives de développement d'applications informatiques destinées aux architectes. Il est peut-être paradoxal, mais c'est alors, que l'intérêt pour la nature de la conception architecturale donne lieu à des essais de compréhension et modélisation des processus créatifs exercés par un architecte. Historiquement, il y a deux étapes dans l'intérêt envers la méthodologie en architecture²: La première, sous l'impulsion des grands symposiums anglo-saxons des années soixante, cherchera à légitimer une démarche scientifique rigoureuse en formulant des méthodes. La seconde, à partir des années quatre-vingts, consistera à transposer les approches cognitives dans le champ de la conception pour identifier des procédures (Fernandez, 2002).

¹ Dans le cadre de ce document, nous utilisons « atelier » dans le sens de l'atelier d'étudiants à une école d'architecture. Quand il s'agit du contexte professionnel, nous utiliserons « bureau d'architecture ».

² Sans considérer des essais de décrire le processus de conception de la part de certains auteurs de traités de l'architecture, comme J.-F. Blondel, par exemple (cité par Bilodeau, 1997, p. 215)

Essayant de définir la conception architecturale, il devient clair, que les définitions varient d'un auteur à un autre, dépendamment de la compréhension qu'ils ont de ce processus, autrement dit, de la vision du modèle de chacun. Il nous semble important de mentionner au début de ce chapitre qu'il n'existe pas un seul modèle de conception architecturale. Depuis que l'architecture s'est définie comme profession, il y a 500 ans, à la Renaissance, c'est plutôt le résultat de cette activité (la représentation du bâtiment projeté) qui est enseigné et non pas le processus de conception lui-même. Ceci a permis la mise au point de plusieurs modèles d'actions pendant la phase créative du travail architectural, dépendamment des qualités de l'architecte et/ou des circonstances autour du projet. Ainsi, la modélisation théorique de ce processus n'est pas évidente. Les théories essaient de réconcilier les côtés des fois opposés de cette profession : étant science ou pratique; basée sur des règles ou sur les inspirations 'magiques'; enseignée ou apprise par la pratique auprès des 'maîtres'.

Depuis quelques décennies déjà, les scientifiques essaient d'expliquer et proposent des modèles du processus de conception architecturale. Les théories émises se situent entre '*problem solving*' à base de règles; et l'activité heuristique, stimulée par des métaphores (Mitchell, 1990). Autrement dit : le concepteur-ordinateur – '*glass-box designer*' et le concepteur-magicien – '*black-box designer*' (Jones, 1969). Pour mieux nous situer, nous allons faire l'aperçu d'un éventail de théories se trouvant entre ces deux visions et nous allons essayer de voir ce que chacune d'entre elles implique pour l'enseignement en architecture en ce qui concerne les moyens informatiques à utiliser.

Parmi les travaux qui essaient de définir les différents modèles du processus de conception architecturale, l'ouvrage *Design Thinking* de Rowe est devenu un classique. Se basant sur des protocoles¹ d'analyse du travail des architectes, l'auteur définit trois modèles utilisés par des architectes différents : (1) dérivé du contexte (contextuel), (2) guidé par un type architectural (typologique), et (3) combinaison de deux (ou plusieurs) idées déjà existantes (conceptuel²). Rowe remarque aussi que:

¹ Description détaillée des actions d'un concepteur pendant son travail sur une tâche, accompagnée soit par une verbalisation de ses pensées et intentions en même temps, soit par des commentaires a posteriori.

² Nommés selon notre compréhension des descriptions

Quite often references are made to objects already within the domain of architecture. On other occasions, however, an analogy is made with objects and organizational concepts that are further afield and outside architecture. Sometimes these analogies serve designer's purposes for more than a single project and thus become incorporated as a central part of that individual's design thinking. (Rowe, 1998, p. 31)

Les modèles discutés étant assez différents, nous pouvons en conclure que l'enseignement en architecture devrait supporter l'élaboration d'une démarche de conception la plus appropriée possible pour chaque étudiant. Nous retenons aussi une place importante réservée au raisonnement basé sur des précédents dans le domaine.

De son côté, Broadbent (1973) formule quatre types de procédés de conception architecturale, soit : conception pragmatique, iconique, analogique et canonique. Pendant la conception 'pragmatique', l'architecte procède « par essais-erreur » en se basant sur les données physiques du site et les matériaux. Selon l'auteur, la conception 'iconique' « *amounts to a rather exact analogy* ». Elle utilise le raisonnement sur des cas 'parallèles' et sur des modèles, et cela à toutes les échelles de l'aménagement. La conception 'analogique' s'inspire des images provenant de la nature, de la peinture ou de la sculpture, des bâtiments existants et ainsi de suite, de façon à 'déclencher' des idées dans l'esprit du concepteur. Il est intéressant que Broadbent (1973) considère les analogies visuelles avec leur rôle comme déclencheurs du processus créatif, mais ajoute aussi : « *Clearly, too, the technology of building depends a great deal on design by analogy* » (Broadbent, 1973, p. 339). Et enfin, dans la conception 'canonique', selon l'auteur, l'architecte travaille à partir d'un système de règles qui sont la plupart du temps, mais pas toujours, géométriques. Il est possible de remarquer que certains modèles peuvent être superposés à ceux décrits par Rowe, mais avec une terminologie différente. D'ailleurs, ce manque de conformité dans la terminologie est loin d'aider l'avancement de la théorie de design.

Plus récemment, des résultats d'analyse des protocoles sur les activités cognitives des designers ont donné des évidences par rapport à quatre stratégies de design:

*In **problem driven design**¹ the designer focuses closely on the problem at hand and only uses information and knowledge that is strictly needed to solve the problem. [...] In **information driven design** the designer focuses on gathering information from external sources, and develops a solution on the basis of this information. [...] In **solution driven design** the designer focuses on generating solutions, and only gathers information that is needed to further develop a solution. [...] In **knowledge driven***

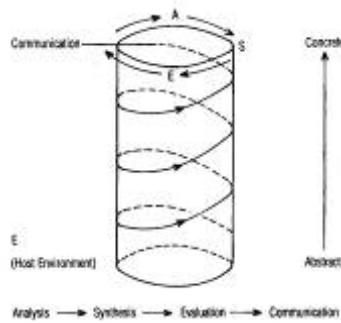
¹ Tout au long de ce document, le soulignement en gras dans les citations est introduit par leurs auteurs respectifs.

design the designer focuses on using prior, highly structured individual knowledge, and develops a solution on the basis of this knowledge. (Kruger & Cross 2001, p.11)

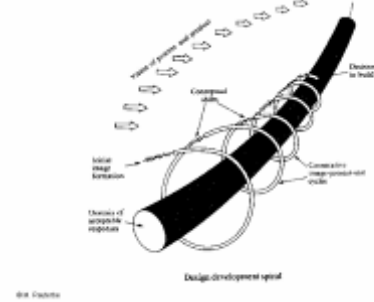
Au fait, selon nous, tous ces modèles n'existent pas dans un état 'pur'. Ils sont définis par rapport au modèle de raisonnement prédominant, en prenant en considération que les autres types y participent aussi mais à un certain degré. Néanmoins, ces études renforcent la thèse des différences importantes dans les modèles de conception en architecture et en design.

Plusieurs auteurs étudient les styles de raisonnement utilisés par un architecte pendant les différentes étapes de son travail créatif. Ainsi, Fernandez discute de quatre types de raisonnement en situation de création: l'activité inférentielle (déduction, induction), les activités de jugement (évaluation, prédiction), le raisonnement par analogie (transfert entre source et cible) et les activités de diagnostic (analyse, planification de l'action) (Fernandez, 2002). Selon lui, derrière des mots comme 'l'intuition', 'l'inspiration', se dissimule la notion consciente ou inconsciente de référence, lui attribuant ainsi sa valeur créative. Toujours d'après le même auteur, c'est en faisant appel à plusieurs situations-source et à de multiples domaines de connaissance que le concepteur se placera en situation de création et se démarquera ainsi de la copie.

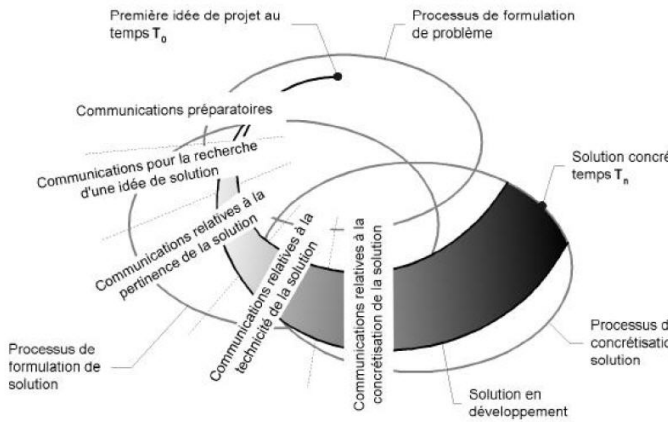
Dans les années 90, basé sur des modèles développés par l'I.A. de l'époque, John Gero (1990) crée le modèle *FBS (Function, Behaviour and Structure)*. Selon la description de l'auteur, à chaque moment de son travail créatif, un architecte effectue des actions se rapportant à un des aspects suivants : F – Les aspects fonctionnels du problème ; B - Les aspects behavioristes (de comportement) du problème, et S - Les aspects structurels du problème (John Gero, 1990). C'est un modèle qui se prête facilement à l'informatisation. Il est toujours au centre du discours scientifique des auteurs du Key Centre à Sydney. Cependant, à notre avis, il donne très peu d'indices sur les aspects d'apprentissage et de créativité.



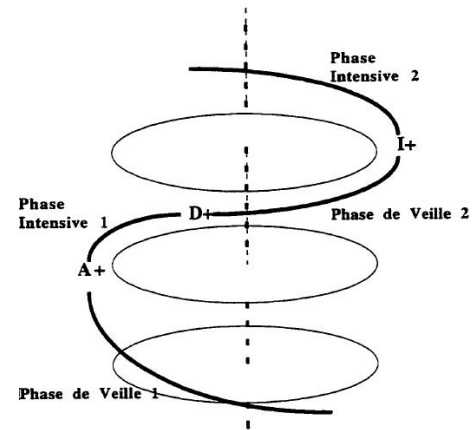
Modèle de Asimov



Modèle de Zeisel



Communication pendant la conception architecturale,
Tidafi (1996)



Modèle 'analogique' de Chupin (1998)

Figure 1: Modèles de la conception architecturale : la métaphore de la spirale

En plus d'étudier les façons de raisonner, divers auteurs se sont penchés sur l'aspect temporaire du processus de conception et de communication. La métaphore de la spirale est omniprésente dans leurs schémas de présentation (Asimov¹ ; Acher² ; Zeisel 1981³ ; Tidafi, 1996 ; Chupin, 1998) (fig. 2). La spirale dans les modèles d'Asimov et Zeisel signifie l'évolution du travail conceptuel vers la solution architecturale. Le modèle de la communication pendant la conception architecturale de Tidafi définit 5 types de communications qui évoluent par rapport au contenu, participants et moyens de réalisation avec l'avancement du projet. Travaillant sur le projet analogique, Chupin définit un modèle de la conception comme « mouvement hélicoïdal à trois temps ».

¹ Cité par Rowe, 1998

² Cité par Rowe, 1998 et Chupin 1998

³ Zeisel, 1981

Chaque tentative de systématiser ces modèles (de les visualiser par un tableau, par exemple) semble condamnée à l'échec. La complexité du processus de conception, ensemble avec ses variations dans le processus créatif d'un architecte à un autre, provoque une variété, autant dans les modèles que dans la terminologie utilisée pour leur formulation. Essayer de synthétiser nous amène à considérer (1) la variété de modèles, la complexité et la dynamique du processus créatif (représentées souvent par la spirale), (2) la restructuration de l'état initial pour arriver à un état-solution (qui peut être *problem-driven* ou *solution-driven*), et (3) le ressourcement à la fois en inspirations, en heuristique et en connaissances qui s'établit avec l'expérience professionnelle et autre.

1.1.1 Pratique ou science

Les deux extrémités de l'éventail des modèles mentionnés correspondent à deux compréhensions opposées (ou complémentaires) de la conception architecturale : celle d'une science qui peut être enseignée (l'architecturologie (Boudon, 1994)), et celle d'une activité créative qui peut être apprise en la pratiquant auprès des 'maîtres' (Schön, 1983)

Ainsi, l'école française, avec les travaux d'Edgar Morin, essaie de définir la conception (architecturale ou autre), comme objet de la connaissance scientifique. Il écrit que « l'objet en conception n'étant pas plus donné qu'un autre objet scientifique, c'est par la conception d'hypothèses modélisatrices que la conception pourra se constituer [...] en objet de connaissance » (Morin, 1986).

Philippe Boudon (1992) continue le travail dans cette direction avec la création d'une nouvelle discipline scientifique – l'architecturologie. Cette nouvelle science propose une approche 'idéaliste' vers la conception architecturale. Ceci signifie que l'architecturologie « modélise la conception architecturale a priori », en différence avec l'approche 'empiriste' qui la modélise 'a posteriori' (sur la base d'une perception et interprétation de l'objet architectural déjà conçu ou même construit). L'auteur, tente de faire un 'déplacement architecturologique', « déplacement qui consiste à s'intéresser à la conception architecturale, non à l'architecture (les objets architecturaux, les édifices). » (Boudon, 1994, p.1). Il développe cette théorie surtout pour les fins de l'enseignement de la conception aux futurs architectes. Toutefois, pendant une éventuelle mise-en-pratique de cette approche, il faut faire attention à la théorisation et au danger d'une coupure entre la théorie et la pratique.

De l'autre côté, Schön (1988), discute quelques tensions dans les théories relatives à la conception :

[Les architectes ont recours, à la fois, au:] Tacit and explicit knowledge (how do you explain the explicit and how do they hold the tacit); uniqueness and generality (general rules never decide concrete cases); generativity and cumutativity (if designers start always on the basis of their experience, how do they ever make anything new?); pluralism and commonality (many actors, different interests, one object of communication). (p. 181)

En essayant de comprendre, tout en évitant de mettre en conflit ces tensions, l'auteur réalise une étude à l'aide de protocoles qui enregistrent les commentaires (les réflexions à haute voix) des architectes en situation de conception. Il remarque alors que, pendant leurs activités créatives, les architectes font référence à des objets et à des métaphores de différents ordres. En s'attardant à la façon dont les architectes réfléchissent et les connaissances qu'ils utilisent, l'auteur conclut que la conception en architecture est un processus de *making* et non pas un *problem solving, information processing or search*. Donc, selon Schön, la conception d'un objet architectural est « *a process of making in the Design World* ». C'est un modèle constructiviste auquel nous adhérons pour cette recherche.

Il est, donc, possible de conclure que les aspects scientifiques et pratiques de la conception architecturale doivent se compléter pendant l'enseignement, et le meilleur lieu d'intégration serait l'atelier d'architecture, où « *the process of making in the Design World* » pourrait être bien expérimenté et approprié par les étudiants.

1.1.2 Inspiration et créativité

Au delà de la polémique entre les aspects scientifiques et pratiques de la conception architecturale, plusieurs chercheurs essaient de comprendre les processus cognitifs en phase de créativité et de trouver les facteurs d'inspiration ainsi que les déclencheurs d'idées.

Comme nous venons de le mentionner, l'activité créative de l'architecte est vue par Schön comme un « *process of making in the Design World* ». Dans cette Espace de conception, le concepteur trouve les 'déclencheurs d'idées' et il manipule des 'objets-type'¹ qui incarnent des concepts, des figurations et du savoir-faire nécessaires à l'élaboration de l'objet en

¹ Ce concept sera précisé plus tard dans ce texte.

conception. Ces objets-type peuvent être perçus à la fois comme des références et métaphores ainsi que comme source d'inspiration et de savoir-faire implicite.

Cet avis est partagé aussi par Kühn. D'après lui, il y a eu un « *shift from rule-based to case-based approaches* » dans la compréhension de ce processus créatif (Kühn & Herzog, 1993). Ceci signifie qu'à la place d'un processus de conception qui débute avec une solution envisagée de manière assez générale et qui consiste en la restriction de cette solution initiale par des règles pour la faire converger vers une solution finale, la conception est à présent plutôt comprise comme un processus créatif basé sur un jeu de métaphores et de précédents, organisés dans une nouvelle structure qui se présente comme la solution finale.

Le rôle de la pensée analogique, de la métaphore et du paradoxe pour la créativité est exploré et confirmé par plusieurs chercheurs (Faux, 1981; Chupin, 2002; Fernandez, 2002), de même par rapport aux précédents (qui sont pris du domaine de l'objet en conception) et les références (cherchées à l'extérieur de ce domaine) (Schön, 1988; Bonnardel & Rech, 1997).

Comment se positionnent ces réflexions par rapport au 'projet' - un concept très populaire et profondément exploité dernièrement? (Boutinet, 1990) Cette question s'avère pertinente car le discours autour du projet risque de condamner à l'oubli les phases de créativité – la conception architecturale. Au fait, cette dernière est comprise dans l'hétérogénéité du projet. L'avis de Boudon (2001) sur ce sujet, analysé et supporté par Le Moigne (2003), est qu'il ne faut plus utiliser « indifféremment le mot projet à la place du mot conception ». Ainsi, les objectifs de cette recherche visent spécialement les phases créatives de la conception, dans le cadre d'un projet architectural.

1.1.3 Deux paradigmes par rapport à la conception architecturale

À la fin de cet aperçu de la littérature sur la conception architecturale, il nous reste à aborder les paradigmes qui y règnent présentement. Kalay (2004) a essayé de résumer les modèles et les tensions théoriques déjà exposés, en deux paradigmes. Selon lui, si un concepteur essaie de trouver une solution qui répond aux objectifs définis et aux contraintes de la situation, il travaille en 'mode' résolution de problèmes : des solutions alternatives sont générées et comparées avec les objectifs du design, jusqu'à ce qu'une solution satisfaisante (*satisficing solution*) soit trouvée. D'un autre côté, s'il essaie de

formuler des objectifs qui sont cohérents avec le contexte spatio-temporaire du problème de design et qui peuvent être satisfaits par des solutions émergentes, l'architecte travaille en mode *Puzzle making* : construire à partir des éléments connus, un tout cohérent (*the paradigm of fitting parts into a coherent whole*) (Kalay, 2004). Comme les objectifs et le problème sont interdépendants, le processus de conception oscille entre ces deux modalités cognitives, formant ainsi un dialogue entre objectifs et solutions.

Kalay décrit l'activité de résolution de problèmes comme étant similaire au procédé de résolution du puzzle du Cube Rubik :

Since the characteristics of the solution, according to the Problem solving paradigm, are known prior to initiating the search for the solution, the search is goal-directed and can be guided to the desired solution by means-end analysis. Thus, the skills employed when following the problem-solving paradigm are mainly analytical. (computationally represented as backward-reasoning research strategy: operators are applied to the goal statement in order to convert it to a set of sub-goals that are relatively easy to solve. (Kalay, 2004, p. 14).

Quand les caractéristiques de la situation-cible ne sont pas formulées en avance par rapport à la recherche de solution et indépendamment d'elle, le processus est approximé par *Puzzle making* (dans le sens du *Tangram*¹) :

The additional information needed to complete the goals statement must either be invented as a part of the search for the solution or adapted from generalized precedents, metaphors and symbols. [...] The main skills employed by designers following the puzzle-making paradigm are, therefore, synthetic - the ability to compose given parts into new, unique wholes. Such data-driven approaches can be computationally represented as forward-reasoning searching strategies: operators are applied to the current state of the problem with the aim of transforming it according to predefined set of rules. (Kalay, 2004, p. 15).

Malgré la co-existence des deux paradigmes, Lawson conclut que les architectes préfèrent le mode : '*puzzle-making*'. Après une étude comparative sur les méthodologies de résolution de problèmes utilisées par des architectes², d'un côté, et par des scientifiques de l'autre, l'auteur écrit :

...while the scientists were selecting the blocs in their questions in order to discover the structure of the problem, the architects were proceeding by generating a sequence of high scoring solutions until one proved acceptable. [...] [M]ost fifth-year science

¹ Tamgram est un jeu d'origine chinoise qui permet de créer un grand nombre de figures à partir de seulement 7 formes géométriques (triangles, carré, parallélogramme).

² Cette question sera explorée d'avantage dans la Partie-III de ce document.

students did indeed operate what might be called a problem-focusing strategy, while most fifth-year architects by contrast adopted a solution focusing strategy. (Lawson, 1984, p. 218)

Ce résultat est très éloquent mais aussi prévisible étant donné la complexité du processus de la conception architecturale ainsi que sa nature multidisciplinaire. En ce sens, le ‘*puzzle-making*’ fait partie des méthodes heuristiques qui sont considérées par l’Intelligence artificielle comme le seul moyen d’arriver à une solution dans des cas très complexes.

En conclusion, cette recherche se situe dans le paradigme ‘*puzzle making*’ de la CA et adopte la compréhension du processus de création en tant que « *process of making in the Design World* ». L’importance du processus, ainsi que du rôle des précédents pour le design sont très perceptibles dans cette compréhension.

1.2 Les approches d’enseignement de la conception architecturale

Étant donné la nature complexe et multi facettes de la conception architecturale, ainsi que l’absence d’un consentement par rapport à un modèle de ce processus, il devient clair que de pareilles divergences dans les opinions peuvent créer également une polémique en enseignement. On se permet donc d’exposer ci-dessous, une image des méthodes d’enseignement, en commençant par une brève étude historique du problème. Par la suite, les aspects pédagogiques et didactiques de la question seront discutés.

1.2.1 Dans l’histoire

Comment se faisait l’éducation des architectes avant la fondation de la première école d’architecture (dans le sens moderne du terme), l’Académie Royale d’Architecture, en 1671 ? Pendant l’Antiquité, le savoir-faire architectural a été synthétisé dans les ordres classiques. Aux Moyens Age, comment construire les cathédrales était appris sur place, en participant au processus de l’édification même. Au fait, conception architecturale et construction n’étaient pas dissociées jusqu’à la Renaissance, quand des dessins du futur bâtiment (plan, coupe, élévation) ont été introduits comme moyens de communication entre les acteurs de la construction. Ainsi, le savoir-faire architectural se transférait de maître à apprenti directement sur le chantier. Le futur architecte apprenait le processus de composition et de construction du bâtiment et non seulement l’aspect final du résultat attendu (Tidafi, 1996).

Avec l'interruption de la tradition médiévale de transfert de savoir-faire architectural, la didactique des premières écoles a revitalisé les ordres classiques qui n'étaient plus adéquats au niveau du développement de la science et de la technologie de l'époque. Donc, l'enseignement mettait l'importance sur l'apparence du résultat final, en oubliant, plus ou moins, le processus de sa création. Ceci a provoqué une situation que Denès décrit ainsi : « L'École est un moule à architectes; ils en sortent tous presque semblables. [...] De sorte que lorsqu'un architecte sort de l'école, en voyant ses œuvres, on peut le classer soit dans les Huyot, les Percier ou les Lebas » (Denès, 1999). D'après Seitz (1995), au début de son existence, le curriculum de l'Académie ne comprenait aucun cours de pratique professionnelle. C'est une des raisons (en plus de la querelle entre les 'classiques' et les 'gothiques') pour la création de l'École spéciale d'Architecture en 1865. Si on fait un bref aperçu de la méthode moderne d'enseignement en architecture, on se rend compte que le transfert de savoir-faire a été remplacé par l'apprentissage du comment représenter le résultat final du projet, complètement détaché du processus de sa création.

D'après Akin (2002), un des moyens principaux d'enseignement a toujours été les précédents. C'était aussi le cas à l'École des Beaux Arts, où le style approuvé était basé sur de célèbres exemples de l'architecture grecque et romaine, minutieusement décrits et documentés. Mais l'absurdité de ces précédents par rapport à l'époque, a provoqué leur rejet total par le style International qui : « *simply mustered up the resolve to reject patterns of the past and replace them with brand new ones* » (Akin, 2002). Ainsi, les étudiants de l'époque du Modernisme, étaient placés dans un mode d'invention et non pas d'imitation. Les cours 'propédeutique' de VHUTEMAS (Khan-Magomedov, 1990), et du Bauhaus (Rainer, 2000) avaient comme but de donner une base artistique et pluridisciplinaire aux étudiants. Cette base de connaissances et habiletés générale était censée guider les étudiants dans leurs démarches architecturales ultérieures.

D'autres changements dans la pédagogie ont été induits avec l'arrivée du post-modernisme qui à son tour empruntait des patterns historiques. Et encore une fois, ce style a été anéanti plus tard par le déconstructivisme qui encourageait les étudiants à travailler à partir d'abstractions de formes et de compositions, rejetant ainsi à la fois les principes classiques et les principes modernistes.

Suite à ce survol historique, nous pouvons constater que dépendamment des positions idéologiques (qui déterminent le style à un grand degré), l'enseignement en architecture se

faisait soit sur la base de règles et de principes généraux, soit à partir d'exemples de précédents. Si cette logique se poursuit, vivant dans une époque de changements (provoqués par l'informatique ainsi que par la conscience écologique accrue), l'architecture d'aujourd'hui, se trouvant dans une période de changement, devrait être enseignée surtout à partir de règles et de principes. Cependant, nous pouvons remarquer qu'à la différence de l'enseignement des disciplines traditionnelles fondamentales : « *students are directed to a corpus of desirable outcomes rather than principles or theories* » (Akin, 2002).

Cette conclusion est susceptible de faire émerger des pistes de recherche qui essayeront de balancer cette tendance en accordant plus d'importance à l'enseignement de principes et des processus qui ont le potentiel de mener à un bon résultat, tout comme à la recréation de référents architecturaux, mais sur des bases différentes.

1.2.2 Pédagogie

De la polémique sur la nature de l'architecture comme art (pratique) ou science, provient la question : 'Teaching' ou 'coaching' en enseignement de la conception architecturale? Nous percevons l'avis de Schön plutôt du côté de 'coaching', et celui de Boudon, s'approchant de 'teaching'. Nous essaierons de trouver la place de chacune de ces deux approches pédagogiques sur le plan théorique.

En faisant recours aux théories traditionnelles de l'éducation, il est possible de voir qu'elles suggèrent que les meilleurs résultats sont atteints quand les étudiants apprennent (1) les principes fondamentaux d'une discipline, et (2) les procédés pour appliquer ces principes dans des situations spécifiques pour les faire fonctionner. Toutefois, dans l'éducation professionnelle, ce passage s'avère très difficile, et des fois impossible. Donc, les étudiants sont plutôt mis dans une situation 'expérientielle' où ils ont une multitude de précédents desquels apprendre une variété d'heuristiques. Ainsi, d'après Akin (2002):

Four forms of instruction, didactic, rhetorical, synthetic and experiential, have an important place in the context of a full architectural education program. Lecture courses generally rely on the didactic method. [...] Seminar classes use the rhetorical method more prominently. They rely on the understanding of sample texts and images from a relevant domain in the context of debate and discussion. Larger principles are derived from these discussions in an inductive fashion, as opposed to the deductive style of lecture courses. Studio instruction focuses on the repeated practice of synthetic skills interspersed with criticism (or rhetoric). The primary skill to be developed is,

*however, generative or synthetic. **Experiential** instruction situates the knowledge to be gained in a simulated context provided by a case study.* (Akin, 2002, p. 416)

De ces réflexions il est possible de discerner le fait que les deux dernières formes pédagogiques se prêtent d'une manière optimale à l'atelier d'architecture. Comme il a été déjà mentionné, l'enseignement d'un 'métier' est nettement avantage par l'exposition des étudiants à la pratique, où les connaissances formelles peuvent être « opérationnalisées » et appropriées. Les origines de cette idée remontent à une méthode spécifique développée au *Harvard Business School* dans les années 1960 et 1970. Elle offre une approche structurée de l'éducation professionnelle: on parle de la méthode d'enseignement par cas (Akin, 2002). Selon cette approche, le contexte de travail sur une solution est établi par des précédents qui incarnent les connaissances et le savoir-faire nécessaires dans une situation. Ainsi, les étudiants étudient les principes, mais aussi les processus liés à ces principes. Les précédents de leur part, sont documentés par des textes descriptifs. Un débat est mené dans le but d'améliorer la compréhension et de clarifier les spécificités de chaque précédent. Avec les mots de l'auteur même: « *In this way students learn about the principles of the domain through the cases or about knowledge through action* » (Akin, 2002). C'est à cette époque-là que Donald Schön, un des premiers disciples de cette méthode ainsi que figure d'importance dans le domaine de l'architecture, a créé le terme « *reflection in action* » pour décrire le processus d'apprentissage en atelier, qui est très proche de la méthode de cas.

Ainsi, d'après l'approche du praticien réflexif (*reflective practitioner*), développée par Schön, lors de la conception d'un objet, un architecte fait appel à « toutes les ressources de l'esprit, du cerveau et de la main de l'homme »; à des connaissances de différents ordres, à son expérience professionnelle, au contexte environnemental et social, etc. De plus, la conception « combine l'aptitude à former des images mentales avec les aptitudes à produire des images matérielles; elle utilise les mots, idées, concepts, théories; elle utilise le jugement; elle utilise l'imagination et les diverses stratégies de l'intelligence » (Schön, 1994). C'est inimaginable d'enseigner une telle activité comme une science. C'est pourquoi D. Schön propose un apprentissage par la pratique (*by coaching*).

Une troisième possibilité (à part 'teaching' ou 'coaching') est suggérée par Van der Maren (1996) dans son livre sur les méthodes de recherche pour l'éducation. D'après lui, il y a 'cinq savoirs':

- savoir scientifique (universel; explication, modélisation)

- savoir appliqué (opérationnalisation du savoir scientifique)
- savoir stratégique (concrétisation du savoir appliqué, formalisation-paramétrisation de la praxis)
- savoir pratique (réflexion-théorisation du savoir pratique)
- savoir pratique (contextualisé, réalité humaine, qualitatif) (Van der Maren, 1996, p. 49)

Cet auteur introduit l'idée de la troisième personne ('le troisième homme'¹) pour enseigner une connaissance pratique. Cette personne doit avoir un 'savoir stratégique', qui, d'après nous, correspond à la *poiétique* de l'architecture – le savoir-faire de l'architecte. Une méthode d'aide à l'enseignement de la conception architecturale pourrait essayer de prendre en charge un tel rôle.

Parmi les objectifs posés à l'enseignement par chaque école d'architecture, figurent des connaissances et des habiletés. Les connaissances donnent des principes généraux, mais qui sont difficilement opérationnalisables par les étudiants, tandis que les habiletés sont des fois apprises sans être comprises. Donc, il revient à la pédagogie en architecture d'offrir une balance optimale entre les deux. Les connaissances enseignées pendant les cours doivent être accompagnées par des applications immédiates, et les habiletés développées en atelier doivent être bien éclairées et appropriées par les futurs architectes. L'enseignement en atelier par expérience, 'par projet' (dans les termes de Boutinet) ou 'by doing' (avec les mots de Schön), étant largement accepté, la question qui se pose est « comment assister cet apprentissage? ». Elle nous amène aux recherches sur la didactique de l'enseignement en architecture.

1.2.3 Didactique

La didactique² de la conception architecturale se pose la question: Qu'est-ce qu'on devrait enseigner? S'il n'y a pas un modèle de conception que l'on pourrait apprendre aux futurs architectes, qu'est-ce qu'un professeur pourrait leur enseigner en atelier? Est-ce des

¹ Il s'agit d'un « chercheur qui, sans être un spécialiste de la praxis ou du savoir appliqué, pourra se situer à leur interface et établir des ponts entre eux » et les étudiants, (p. 57)

² Contenu de l'enseignement d'une discipline: On peut affirmer schématiquement que la pédagogie définit des méthodes, des démarches qui permettent de guider l'élève dans des apprentissages variés; la didactique, quant à elle, s'affirme davantage comme une réflexion sur ce que l'on nomme les « savoirs savants » et la façon de les transposer afin de les rendre accessibles aux élèves. (Boissinot, 1991)

connaissances, des habiletés, des exemples marquants de la profession ou du savoir-faire architectural? D'après la littérature, le savoir-faire (la *poiétique*) de l'architecture est l'essentiel que l'architecte doit maîtriser pour exercer sa profession qui est à la fois art, science et métier. Mais où trouver ce savoir-faire, quel « matériel didactique » utiliser pour permettre aux étudiants de l'acquérir? Dans le cadre de ce travail, le savoir-faire architectural est défini comme le savoir et la façon de faire d'un architecte, perceptibles dans les actions qu'il pose pendant la conception architecturale. Il comprend les dimensions suivantes : (1) Savoir scientifique : règles de construction (constructives, physiques, etc.); régulations et normes d'urbanisme; organisation fonctionnelle des espaces; (2) Connaissances de l'art : stylistique, composition formelle, etc. et (3) Façon de faire du métier – la *poiétique* architecturale.

D'après Akin, les bases du savoir-faire, les habiletés et les connaissances, vont souvent ensemble en atelier d'architecture. Par exemple, les étudiants peuvent être invités à utiliser activement des facteurs d'ensoleillement, d'isolation thermique et des idées structurelles pendant le travail sur un bâtiment. Ainsi, ils apprennent les concepts utilisés, mais aussi la façon dont ils sont exploités en situation de conception architecturale (Akin, 2002). Cependant, il y a souvent une déconnexion entre connaissances (enseignées dans des cours magistraux) et leur application pendant la conception architecturale en atelier.

Réfléchissant sur le processus du design, Schön donne une piste intéressante par rapport à la didactique de l'enseignement en atelier d'architecture. Comme nous l'avons déjà mentionné, d'après lui, la création d'une solution architecturale est « *a process of making in the Design World* » (Schön, 1988). Cet Espace de conception (*Design World*), est 'peuplé' d'objets qui incorporent le savoir-faire architectural et servent à la construction d'une figuration de la solution. Ces éléments, appelés par Papert (1980) *things to think with* (objets à penser), ont une sémantique très riche. L'auteur emploie le terme 'objets-type' pour signifier ces figurations qui représentent à la fois des cas précédents, l'objet à concevoir (en émergence), des métaphores et des règles de composition.

À notre avis, l'Espace de conception représente un environnement favorable pour l'épanouissement d'une variété de modèles de conception architecturale. L'enseignement de ses caractéristiques auprès des étudiants pourrait apporter de nouvelles aptitudes à leur formation comme architectes. Dans le but de cette recherche, l'Espace de conception (EC)

est défini comme le ‘monde’ particulier dans lequel se déroule le processus créatif d’un architecte et qui:

- réunit des concepts, des stratégies et des éléments de raisonnement et d’inspiration (*things to think with*);
- offre des outils d’analyse et de synthèse, de combinaison et d’organisation, applicables sur ces éléments de raisonnement;
- a comme finalité de faire évoluer l’objet architectural en conception jusqu’à ce qu’il atteigne un état de ‘solution’ architecturale.

Les éléments qui se trouvent dans cet EC et agissent avec le concepteur en évoquant chez lui différentes réactions cognitives et actions pratiques, les objets-type, sont les porteurs de savoir-faire architectural.

Appuyant la position de Schön, d’autres auteurs se sont penchés sur les caractéristiques de l’EC ainsi que sur la représentation et le rôle des objets-type s’y trouvant. Cependant, ce sujet est considéré si vaste et dépendant de l’expérience personnelle de chaque architecte, qu’il y a relativement peu de publications sur le thème. À citer aussi Woodbury et Burrow (2003) qui travaillent sur la structure de l’EC et qui trouvent que le seul vrai paramètre qui peut assurer le succès d’un EC est son accessibilité. Utilisant des techniques numériques, les auteurs mettent au point des stratégies de navigation dans cet ‘espace’ dans le but d’amplifier l’exploration architecturale. Ils envisagent deux types de représentations : fortes et faibles, les premières étant plus concrètes, et les deuxièmes plus floues (juste des indices). Une bonne représentation, d’après eux, ne devrait pas être ni trop forte, ni trop faible (pour permettre d’autres associations).

En synthétisant, nous sommes en mesure de souligner (1) que pendant une période de changement, il est crucial d’enseigner explicitement les principes et les règles; (2) l’importance d’un apprentissage de processus (vs. résultat), (3) l’utilité d’un ‘troisième homme’ pour enseigner une connaissance pratique, et (4) les possibilités données par une éventuelle appropriation de l’Espace de conception au niveau didactique.

1.3 Les moyens informatiques en architecture

Les moyens informatiques sont déjà omniprésents dans les bureaux et aussi dans les écoles d'architecture. Ils aident la productivité, la collaboration à distance et la présentation pendant le développement d'un projet. Dans les bureaux de génie civil, ils participent aux calculs structuraux et la vérification de la performance du bâtiment projeté.

Aujourd'hui, la question de la mise à contribution de l'informatique pendant les phases créatives de la conception architecturale est d'une grande actualité. Cet intérêt est surtout dicté par le fait qu'après déjà quelques décennies d'exploitation (Cross, 2002), l'outil informatique en architecture a à peine commencé à se distinguer des outils classiques, comme l'esquisse sur papier et la maquette. Et s'il reste une distinction à faire, elle est surtout à un niveau quantitatif (calculs constructifs, spécifications des matériaux de construction, etc.) et au niveau de son emploi à des fins de la présentation (rendus et perspectives, promenades virtuelles, etc.) (Porada, 2002a). Dans la majorité des cas, l'ordinateur est utilisé juste comme outil de dessin ou de production de maquettes digitales qui montrent le résultat final de la conception. Aujourd'hui, les étapes créatives se font primordialement en dehors du cadre informatique, que ça soit dans la pratique professionnelle ou en atelier d'architecture. À notre avis, parlant de la démarche conceptuelle, une telle approche ne peut pas être didactique et permettre des explorations architecturales basées sur des savoir-faire ou des inspirations créatives.

Ces dernières années, cette situation commence lentement à changer, suivant des pratiques avant-gardistes (Cache, 2003; Abel, 2004; Szalapaj, 2005; Rahim, 2006) et les travaux de certains groupes de recherche. Un autre facteur est susceptible de contribuer à l'utilisation innovante de l'ordinateur en architecture : l'exigence d'optimisation de la performance bioclimatique des bâtiments, qui a été jusqu'à présent vue comme une technicité du domaine du génie civil, basée sur des systèmes mécaniques et électriques.

Pour mieux comprendre les approches numériques utilisées aujourd'hui, elles devraient être situées par rapport au développement historique des outils. Étant donné que les moyens informatiques jouent un rôle pendant la communication et la figuration architecturale, certains aspects de ces activités seront brièvement présentés. Une revue des principales approches d'enseignement dans les « ateliers sans papier » sera faite à la suite.

1.3.1 Histoire de développement

Outils de CAO de première génération

Les années 70 voient le développement des systèmes de Conception assistée par ordinateur et Dessin assisté par ordinateur (CAO/DAO) de Première génération (Kalay, 2004). Ils évoluent dans deux directions : la voie de la modélisation géométrique (pour rencontrer les besoins de l'ingénierie, l'industrie automobile et l'aéronautique), et la voie spécifique aux bâtiments, qui devait supporter l'industrie de la construction.

Les premières applications de CAO sont développées à *Carnegie Mellon University* (par Eastman), et sont inspirées par les avancements de l'Intelligence Artificielle de l'époque. Elles sont centrées autour de l'aménagement des espaces en utilisant des bases de données et des opérations liées à la construction. Au MIT¹, le *Architecture Machine Group* approche les applications architecturales de point de vue de l'intelligence artificielle. Ce groupe (mené par Negroponte), rejette l'opinion que l'ordinateur et l'humain doivent être assignés à des tâches distinctes, selon leurs compétences, et propose un modèle de 'symbiose' où l'environnement (l'architecture) puisse initier des actions qui visent à satisfaire les besoins de ses habitants, sans l'intervention de l'architecte. Une autre voie de développement de cette époque, surtout en Angleterre, suit l'évolution des systèmes experts et crée des outils d'aide à l'aménagement des hôpitaux, postes, maisons, etc. La performance énergétique du bâtiment fait partie des problèmes étudiés pendant cette période.

Généralement, cette première génération d'outils de CAO approchait les problèmes d'un point de vue architectural et intuitif, et non pas d'un point de vue informatique. Par conséquent, les solutions proposées tenaient compte du processus de design, mais n'étaient pas assez développées pour être utilisées dans la pratique.

Outils de CAO de deuxième génération

La pratique a profité des outils de CAO/DAO pendant l'époque de leur deuxième génération. Ces applications informatiques sont de type plus général, dédiées au dessin et à la modélisation 3D dans des domaines variés. Paradoxalement, ces systèmes de seconde génération sont moins 'capables' du point de vue de la profession que ceux de la première

¹ Massachusetts Institute of Technology

génération. L'explication doit résider dans le fait que l'euphorie des applications de l'Intelligence Artificielle était passée sans donner de bonnes applications dédiées à la conception architecturale. Cela a donné comme résultat une orientation des efforts vers le développement de systèmes riches en graphique et pauvres en connaissance du domaine. Ainsi, les logiciels de CAO ne manipulaient plus des portes, des fenêtres et des murs, mais des polygones, des solides, des NURBS¹ et des blobs². De cette manière, les architectes ont gagné un Dessin Assisté par Ordinateur et de beaux rendus³, mais ils ont perdu la possibilité d'être assistés dans la confection du bâtiment.

Outils de CAO de troisième génération

D'après Kalay (2004), « *This “dumbing down” of architectural CAD happens while other disciplines [...] were making their own software more intelligent* ». A cette étape, on a pu observer un processus inverse qui a commencé à émerger. Des groupes de recherche universitaires ont recommencé à manipuler des objets architecturaux à la place de simples formes (Gero, 1986). Vers la fin des années 80, sont développés quelques outils qui fonctionnaient avec des bases de connaissances: World View⁴ et KAAD (*Knowledge assisted architectural design*)⁵, ainsi que le premier assistant basé sur des cas précédents : SEED⁶ ; et encore KOALA : « *knowledge-Based design-assistance environment in which elements of the evolving artifact actively participate in the development of the design solution* » (Pohl, Chapman, & Pohl, 2000). Cette orientation dans les recherches était également une des pistes de recherche du GRCAO⁷ de cette époque (Tidafi, 1996).

¹ NURBS : Non Uniform Rational B-Spline. Utilisé pour définir des formes gauches par des équations paramétriques, plutôt que par de nombreuses facettes

² Des formes organiques et arrondies créées surtout par la technique de 'metaball' offerte par certains logiciels, qui prend en compte une 'zone d'influence' autour des objets.

³ Représentation d'un modèle numérique 3D en tant qu'image. Le rendu photo réaliste est souvent très souhaité, mais selon certaines recherches, il n'est pas approprié pendant les phases de création parce qu'il donne un aspect défini et fini à l'objet en conception.

⁴ À l'Université de Buffalo, chef d'équipe Yehuda Kalay, 1987.

⁵ Dans le domaine de la conception des hôpitaux, Gianfranco Carrara, Université de Rome, 1994.

⁶ Carnegie Mellon University, Ulrich Flemming, 1990.

⁷ Université de Montréal, Tidafi 1996

En conclusion, les outils de CAO de troisième génération sont proches dans leurs objectifs, à ceux de la première génération. La différence vient des deux décennies de recherche en Intelligence Artificielle, en Programmation orientée objet et en systèmes de manipulation de bases de connaissances, qui ont su améliorer leurs capacités.

Par contre, ces assistants ne sont pas encore prêts à entrer dans la pratique architecturale. La difficulté de manipuler des attributs non-géométriques, au fur et à mesure avec la forme du bâtiment empêche le développement de systèmes efficaces et fiables pour l'instant. De l'autre côté, les architectes, après avoir exploité à pleine capacité les systèmes graphiques de deuxième génération, commencent à chercher de nouvelles voies de développement de la profession.

Génération #4

Après une période orientée vers le travail en collaboration (dans les années 1990), aujourd'hui, les outils de CAO essaient de mériter leur nom de ***Conception*** assistée par ordinateur. Poursuivant ce but, le jumelage interdisciplinaire avec les sciences cognitives semble de plus en plus présent. Ainsi, Borillo (2002) parle d'une « greffe de *technologies cognitives* sur les dispositifs techniques qui constituent les socles des sociétés de l'Information et de la Communication » (p.17).

En tant que *keynote speaker*, à la conférence *CAAD Futures 2007*, John Gero a souligné cette tendance en proposant un changement dans le sens du premier 'A' dans l'abréviation *CAAD* (en anglais) : de *assisted* en *augmented*. Ainsi, la Conception Assistée par Ordinateur deviendrait Conception Augmentée par Ordinateur. Des contributions de la psychologie cognitive et de la neuropsychologie pourraient être apportées à plusieurs niveaux : pour créer de bons outils de conception ou encore pour améliorer l'architecture elle-même. La présente recherche a comme objectif de renforcer cette tendance.

1.3.2 Communication et figuration architecturales

Les moyens informatiques sont utilisés en architecture pour la représentation et la communication. Nous aimerions situer cette recherche dans ce contexte.

Communication

D'après Tidafi (1996), il y a cinq principaux types de communication (voir aussi le graphique sur fig. 2-c):

Un premier type de communication a lieu au tout début d'un processus de conception. Les acteurs visent alors principalement l'énoncé d'un problème d'architecture. [...] Pour ce faire, ils peuvent communiquer par la parole, des documents écrits, des schémas, des photos ou tout autre moyen, tels des gestes, susceptible de les aider à exprimer et à échanger leurs premières idées relatives à un problème d'architecture.

Un second type de communication peut être reconnu au stade de la recherche d'une solution à un problème. Les acteurs essaient alors de donner une forme à une solution. Dans le temps, ce second type de communication peut être simultanément au premier type identifié. Les acteurs peuvent continuer à s'exprimer avec les mêmes moyens pour la communication précédente mais peuvent également avoir recours de plus en plus fréquemment à des dessins (croquis, ébauches) ou à des modèles réduits leur permettant de visualiser les orientations formelles qu'ils étudient pour une solution architecturale.

Dès qu'une solution architecturale est suffisamment formulée pour que sa forme puisse être traduite par la géométrie. Pendant cette communication, l'objectif est d'arriver à évaluer si cette solution est pertinente pour le problème formulé. Pour cela, les acteurs peuvent essayer de considérer la solution comme si elle était déjà concrétisée. [...]

Un quatrième type de communication peut avoir lieu lorsqu'une solution architecturale est acceptée pour être développée davantage. L'objectif des acteurs est alors de détailler les aspects techniques de cette solution. [...]

Un cinquième et dernier type de communication a trait directement à la concrétisation de la solution formulée. Ces communications concernent principalement les acteurs qui agissent sur le chantier de construction, tel un maçon ou un électricien. (Tidafi 1996, p. 24-25)

Les objectifs de notre recherche sont liés surtout aux étapes deux et trois de la communication, mais avec une vision d'intégration horizontale et verticale de l'objet de la communication. Horizontale, sans le sens de permettre une communication à plusieurs niveaux : avec soi-même, avec des collègues, avec le tuteur ou encore pour la présentation ; et verticale, en tenant compte des processus d'exploration, modification, etc. qui font évoluer l'objet en conception vers une solution architecturale.

Figuration

En architecture, le moyen par lequel les collaborateurs autour d'un projet, ou encore tuteur et étudiant peuvent communiquer, s'appelle traditionnellement « représentation architecturale ». Dépendamment des moyens et techniques d'expression, elle prend des formes différentes. Mais 'représentation' veut dire reproduction d'un objet ou phénomène réel. Donc, ce terme n'est pas approprié pour signifier un objet en développement, qui n'est pas encore tout à fait défini. Le terme figuration, avancé par Pousin comme « figure

anticipatrice » est plus souvent utilisé dans ce sens (Pousin, 1991; Tidafi, 1996; De Paoli, 1999). D'après Tidafi :

La substitution des termes est justifiée car la figuration invite plutôt à penser comment réaliser une action pour obtenir un résultat et non le résultat de cette action seulement. Le terme « figuration » permet d'exprimer des intentions et des idées sans s'attacher uniquement à ce que sera une solution concrétisée. Il présente l'avantage de laisser entendre que les acteurs d'un processus de conception peuvent aussi communiquer relativement aux actions qui leur permettent de réaliser un projet d'architecture. (p. 41)

Donc, pour pouvoir être utile pendant la conception architecturale, une figuration à la fois de la solution et du processus de son développement peut être souhaitable. Le terme de figuration est plus adapté à une communication relative à une solution en développement et c'est pour cette raison qu'il est adopté dans le cadre de cette recherche aussi.

Quand il s'agit de figurations numériques, selon Estevez (2001), « une véritable appropriation par l'architecte des outils infographiques, sur le terrain spéculatif, ne puisse voir le jour qu'à partir du moment où ces derniers permettront de résoudre la dualité entre une 'contrainte signifiante' et une 'liberté productive' dans l'activité de figuration. » (p. 169). C'est un défi et un objectif à poursuivre par cette recherche également.

1.3.3 Modèles paramétriques

Un bâtiment, qui normalement est assujéti à de multiples exigences et normes, pourrait être un objet parfait pour la paramétrisation qui pourrait décrire la réglementation et les lois qui le gouvernent. Toutefois, la complexité de l'architecture est telle que chaque modèle prenant en compte plusieurs de ses aspects, deviendrait soit trop simpliste, soit trop déterministe. De cette façon, un architecte pourrait interagir avec lui très difficilement et l'exploration du design deviendrait impossible. Ceci provoque une paramétrisation purement formelle. Comme l'écrit C. Hernandez (2006):

A parametric model is a computer representation of a design constructed with geometrical entities that have attributes (properties) that are fixed and others that can vary. The variable attributes are also called parameters... (p. 310)

Historiquement, cette tendance appartient à la troisième période du développement des moyens de CAO, où les caractéristiques architecturales d'un objet de design recommencent à être considérées. Des représentations symboliques des attributs de l'objet (exprimées par des modèles numériques paramétriques) apportent la possibilité de variations non-destructives d'une solution figurée.

Toujours d'après C. Hernandez (2006), « *parametric design is the process of designing in environment where design variations are effortless, thus replacing singularity with multiplicity in the design process* ». Cependant, les variations possibles peuvent être très différentes dépendamment de l'attribut qui est paramétré. Ainsi, varier les dimensions ne changera pas la topologie de l'objet; des relations paramétrées pourraient modifier les dépendances et les hiérarchies entre les parties d'un tout; laisser le choix de la procédure générative pourrait changer toutes les propriétés précédemment mentionnées; et ainsi de suite. Nous trouvons, donc, que le terme 'design paramétrique' n'est pas assez précis et que chaque contexte particulier devraient être spécifié pour une meilleure compréhension.

Un type spécifique de paramétrisation, proposé par Tidaï en 1996, 'modélisation d'actions', est capable de produire un modèle numérique qui vise des finalités particulières. C. Hernandez (2006), appelle un modèle similaire 'procédure de design' et le définit comme : « *a set of instructions that performs actions that generate parameterized geometrical models* ». Burry (1999), identifie les principes du design paramétrique, tandis que De Paoli (1999), décrit le 'modèle procédural' et envisage son utilisation pour la conception architecturale.

En fait, le sens architectural de l'attribut paramétré détermine le type de modèle qui sera produit, ainsi que les interactions possibles avec lui : modifier directement la forme, influencer la forme en changeant ses caractéristiques structurelles, ou encore, refléter des transformations induites par des forces de l'environnement physique ou autre (soleil, vent, son, trafic, etc.).

Classes paradigmatiques de modèles numériques

Oxman (2006b, 2006a) identifie quatre classes paradigmatiques de modèles numériques : CAO (qui supporte une automatisation a posteriori des dessins et des maquettes numériques), formation (qui exploite des différentes géométries et utilise la paramétrisation), génération (qui considère les formes en tant que résultat de processus génératifs pré-formulés), et performance (qui peut se baser sur la 'formation' ou la 'génération' mais inclut l'influence de forces externes comme charges structurales, acoustique, site, etc.). Les derniers trois paradigmes pourraient enrichir les méthodes de design de l'architecte par des méthodes rendues possibles grâce à l'ordinateur. Ils ont des modèles paramétriques et des algorithmes à la base. Le paradigme de la 'performance' est

celui dans lequel on situe notre recherche (depuis environ 10 ans) orientée vers les connaissances du domaine et vers la modélisation du savoir-faire, ainsi que sur leur possible réutilisation dans de nouveaux projets.

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. D'après nous, les modèles performatifs sont spécifiquement appropriés pour l'enseignement du design architectural à cause des connaissances qu'ils peuvent encapsuler et transférer à l'apprenant.

Le design paramétrique est caractérisé par des processus génératifs liés au mouvement, et il peut provoquer l'émergence de nouveaux éléments tectoniques (Liu & Lim, 2006). Certains logiciels avancés visent à donner aux architectes la possibilité de concevoir des projets par les processus de formation, génération et performance (*Generative Components*, par exemple). Cependant, l'utilisation de ces logiciels n'est pas facile, et encore moins pour des étudiants en architecture.

D'après la littérature spécialisée, un moyen informatique qui assiste un processus créatif devrait avoir (au moins) deux caractéristiques principales: permettre et stimuler l'expression créative du futur architecte, et augmenter son Espace de conception de connaissances, savoir-faire et inspirations heuristiques (Kalay, 2004). Or, les outils informatiques disponibles aujourd'hui, sont exclusivement destinés à la pratique professionnelle, et non pas à l'enseignement de la conception. De plus, une grande partie a pour but de faciliter soit l'élaboration de la documentation du travail (plans, coupes, élévations et détails), ou la préparation de présentations de l'objet architectural déjà conçu. L'utilisation de ces outils (logiciels de CAO/DAO) disponibles commercialement, est très peu pertinente pendant les étapes créatives du développement d'un projet. Ils sont encore moins appropriés pour l'enseignement de la conception architecturale. Les travaux qui peuvent nous servir comme repère et référence, sont ceux des centres et les laboratoires de recherche en CAO auprès de certaines écoles d'architecture et design (Cache, 2003; Weinand, 2004). L'expérience professionnelle et l'ingéniosité de chercheurs de différents domaines (architectes, pédagogues, informaticiens) sont réunies dans le but de développer

d'outils informatiques d'aide à l'enseignement en architecture. Des ateliers expérimentaux sont menés pour mettre à l'épreuve ces approches.

1.4 Les moyens numériques en enseignement de la conception architecturale

Les approches mentionnées dans cette partie du document n'ont pas l'ambition de représenter exhaustivement les méthodes d'enseignement avec le numérique reportées dans la littérature et dans les sources électroniques (sites-web des écoles). Les articles sur ce sujet se multiplient et les programmes changent à chaque trimestre, donc, nous allons uniquement essayer de présenter les tendances identifiées.

Dans les années 90, l'ordinateur est 'entré' dans les ateliers de certaines écoles d'architecture par le biais des 'ateliers sans papier' (*paperless studio*). Un exemple en est l'atelier mené par Tschumi à *Columbia University* à New York (SE01¹). Un tel atelier au niveau maîtrise a été créé à l'École d'architecture de l'Université de Montréal (sous la responsabilité de De Paoli). Réjouissant d'une popularité dans ces premières années, le vrai besoin de changement a été senti plus tard, et son évolution a été orientée vers l'enseignement de méthodes numériques plus spécialisées et avancées (sous la responsabilité de Tidafi). De son côté, l'atelier en CAO de troisième année, proposait des approches tridimensionnelles (sous la responsabilité de Guité et Lachapelle) et a évolué ces dernières années vers des méthodes de modélisation libres ou paramétriques (avec tuteur Iordanova).

De façon générale, tout comme dans la pratique architecturale, il est possible de remarquer deux façons (des fois opposées) d'utiliser l'ordinateur en atelier d'architecture : la première est une transposition de la façon traditionnelle de concevoir sur l'ordinateur (en gardant le rôle primordial de l'esquisse pour les étapes conceptuelles du travail créatif); la deuxième commence le projet directement à l'ordinateur en utilisant des méthodes numériques qui sont issues d'une symbiose entre architecture et informatique.

Dans le cadre de la première tendance, nous pouvons mentionner les travaux de Do et Cross (1996) sur l' '*architectural electronic napkin*' qui visent à 'augmenter' la façon

¹ SE signifie 'Source électronique'. La liste des 'SE' se trouve dans la Médiagraphie à la fin de ce texte.

traditionnelle de travailler des architectes (en esquisse) par des procédés numériques comme la reconnaissance de la forme, recherche d'objets par analogies, etc. Avec une posture similaire, Cheng et McKelvey (2005) combinent l'esquisse numérisé (mais dessiné à la main) avec des techniques infographiques pour atteindre les objectifs de leur atelier.

Cependant, certains chercheurs se posent la question si l'esquisse à la main libre est véritablement la façon 'naturelle' de concevoir un bâtiment, ou c'est une tradition instaurée à partir d'une période historique, provenant des outils de l'époque et étant aussi le produit d'apprentissage et de conventions. Une équipe de chercheurs (Knight, Dokonal, Brown, & Hannibal, 2005) donne une réponse négative à cette question: après avoir mené des expériences dans deux écoles en Europe, les auteurs arrivent à la conclusion que la conception architecturale par l'esquisse est un produit d'apprentissage (et n'est pas 'innée'), exactement comme la conception à l'ordinateur. Il est, donc, logique que l'éducation en conception architecturale ne souffrira pas si l'apprentissage commence directement à l'ordinateur. Ou encore, qu'il est tout à fait possible d'élaborer un projet d'architecture à l'ordinateur, dès la phase conceptuelle. Cependant, il est évident que les étudiants doivent connaître des méthodes numériques de travail pour pouvoir exercer leur créativité dans le cadre de cet environnement.

Parmi les différents ateliers spécialisés en CAO ou architecture computationnelle, les titres se réfèrent des fois au contenu architectural, des fois aux méthodes numériques. Cet éclectisme sera perceptible aussi dans les thèmes présentés dans ce qui suit: architecture virtuelle, architecture collaborative et méthodes d'explorations formelles.

1.4.1 Architecture virtuelle et architecture numérique

L'omniprésence de l'ordinateur et la vulgarisation de l'Internet ont énormément favorisé la diffusion des systèmes dits multimédia ainsi que la création de nouveaux modes d'expression en architecture, ce qui a mené à l'apparition de nouveaux concepts tels que la 'réalité virtuelle', le 'cyberespace'¹, 'l'architecture virtuelle', et autres.

Selon certains auteurs, l'architecture virtuelle n'est pas réelle (ou actuelle), mais a du potentiel² à le devenir. Cependant, le consensus de la littérature sur le sujet semble être

¹ le milieu communicationnel qui résulte de l'interconnexion des ordinateurs à l'échelle planétaire

² « Virtuel » vient du latin « *virtus* » qui veut dire « force ».

plutôt du côté de la thèse que l'architecture virtuelle ne vise pas à être construite (au moins au moment de sa création). Elle existe seulement dans une présentation numérique ou sous forme de prototype. Il existe tout de même quelques critères caractérisant l'architecture virtuelle, comme par exemple le fait de ne pas prendre en compte les contraintes de la réalité telles que les notions d'espace, de la gravité et de la matérialité. D'autres 'architectures' sont apparues sous la poussée de l'informatique et les technologies d'information et communication (TIC), telle que l'architecture liquide¹ et la transarchitecture².

L'architecture numérique (*digital architecture* ou *computational architecture* en anglais), de son côté, est composée de formes complexes qui ne sont pas concevable et/ou représentables avec les outils traditionnels, toutefois restant conçue pour être bâtie.

Contrairement à ce que l'on pourrait penser, l'architecture virtuelle n'est pas une invention de la société informatisée. Des utopistes, des architectes visionnaires et des auteurs de science-fiction ont toujours créé des images de l'architecture 'impossible'. Certains de ces 'projets' sont déjà devenus 'possibles' avec le développement des technologies. Comme l'architecture virtuelle n'est pas conçue pour être construite (au moins, pas immédiatement), elle ne peut pas être pratiquée en bureau d'architecture. Donc, elle devient plutôt objet de différentes expressions artistiques et médiatiques avant-gardistes. Cela change sa fonction qui n'est plus d'abriter l'homme, mais de lui donner une expérience perceptuelle.

Par contre, l'architecture virtuelle a déjà gagné une place dans les écoles d'architecture donnant lieu à des ateliers expérimentaux (surtout en deuxième cycle d'éducation en architecture). Ils jouent un rôle surtout comme des laboratoires d'exploration des moyens informatiques, dans le but de permettre aux étudiants de trouver de nouvelles méthodes d'expression architecturale. Un bon exemple en est l'atelier « Voir l'idée » de Porada (2002b), aussi appelé « *construction site of the imaginary* ». Les résultats visuels de cet

¹ L'architecture liquide est une architecture dynamique faite de surfaces déformables. Ses formes ne sont pas forcément souples et courbes mais également très proches de celles produites par les déconstructivistes (SE6). C'est aussi une architecture qui défie les notions d'espace et qui utilise l'interactivité à travers la participation des utilisateurs.

² La transarchitecture donne à l'architecture le droit de s'appréhender des domaines qui sortent du monde des arts plastiques. Ainsi, l'architecture peut intégrer la biologie, physique, psychologie et autres disciplines comme des 'rhizomes'.

atelier sont assez spectaculaires. Avec les mots de la chercheuse qui est aussi tuteur dans l'atelier :

Forms issued outside the historical architectural typology become accessible to architects but also become manageable and buildable. Rather than to use computer to recreate reality or to produce virtually its clichés, it must be used to create conceptual representations. These images of meaning can transform virtual architecture into a space of signification. (Porada, 2002b, p.578)

Cependant, il n'y a pas encore assez d'études sur l'impact de ce type d'ateliers sur la pratique architecturale. Leur rôle dans la pédagogie de la conception architecturale reste à être défini. Pour l'instant, certains auteurs même 'sonnent l'alarme' par rapport à une influence négative que ces ateliers pourraient avoir auprès des étudiants. Ou encore, ils voient l'architecture virtuelle comme réponse à l'évolution de la société :

[T]he expansion of virtual architecture is linked to the decline and decay of cities and architecture. While cyber architects resort to naive formalism in their attempt to clothe virtual architecture in the cloak of reality, the actual reality around us has begun to collapse. This collapse and the changes wrought on our bodies through contact with electronic media are ignored in most of the discussions of virtual architecture. The result is a formalistic pursuit of visual images. (Tanaka, SE03)

La voie de développement consiste, peut-être dans l'utilisation de l'architecture virtuelle dans le cadre d'exercices préparatoires qui peuvent servir à l'appropriation du nouveau médium du design - l'informatique, sans par contre enlever l'objectif de l'enseignement des architectes pour du travail dans notre monde réel et actuel.

1.4.2 Design collaboratif

L'informatique et l'accès à l'Internet ont permis de travailler sur un même projet sans être physiquement ensemble. Mettant à part certains aspects de la mondialisation que cette possibilité renforce (avec leurs conséquences positives ou négatives), les bureaux d'architecture en profitent pour la collaboration entre professionnels de différentes disciplines de l'équipe ou encore pour mettre ensemble des contributions de collaborateurs de différentes villes ou pays.

À travers ces ateliers collaboratifs, les étudiants s'initient à cette réalité et apprennent une façon de communiquer bien différente de celle en atelier traditionnel. Certains chercheurs se sont penchés spécifiquement sur l'impact des différents contextes de communication sur l'apprentissage de la conception architecturale (Kvan & Gao, 2005). Cependant, les

variables effectuant de pareilles recherches sont tellement nombreuses qu'il est difficile de les transposer pour d'autres situations.

Un exemple d'atelier collaboratif est celui organisé entre l'Université Laval et l'École d'architecture de Toulouse (SE02). Le sujet traité est l'architecture virtuelle, notamment conception d'un espace d'atelier virtuel collaboratif sur le Web. Le travail de conception, développement et présentation se fait en 'binômes' entre un étudiant de Québec et un de Toulouse. Outre la maîtrise des aspects techniques et les défis de la communication entre co-équipiers, ce type d'ateliers encouragent le mélange et l'enrichissement entre cultures et disciplines.

1.4.3 Méthodes d'explorations formelles

Une grande partie de la créativité architecturale s'exprime dans la forme. De plus, la forme, grâce à sa représentation géométrique, reste l'aspect architectural le mieux représentable à l'aide des moyens informatiques. Plusieurs ateliers spécialisés en CAO ont comme objectif l'enseignement de méthodes numériques d'exploration formelle. Ces méthodes varient entre l'utilisation avancée des fonctionnalités déjà présentes dans les logiciels, jusqu'à la création de fonctionnalités personnalisées par programmation informatique. Souvent, les logiciels ou les méthodes sont 'empruntés' à d'autres domaines: génie civil, aéronautique, création de films ou de jeux, design industriel, etc.

Animation

Par différence avec une maquette traditionnelle, un modèle numérique peut être facilement modifié, et donc 'animé'. Ainsi, le recours à l'animation est présent dans certaines approches d'enseignement spécialisées. Les thèmes du mouvement et du temps sont souvent explorés dans le cadre de ces ateliers. La création de *storyboards* ou des scénarios (Angulo, 2006) est utilisée comme stimulation pour la créativité et l'imagination des étudiants.

D'autres approches, apparentées à celle de Greg Lynn (1999, 2000), se sont basées sur des déformations animées de la forme. *Animate design* est défini par Greg Lynn comme la simultanéité du mouvement et des forces au moment de la conception formelle. Devançant ce millénaire, cet architecte et philosophe, a reproché à l'architecture d'être parmi les dernières pensées basées sur 'l'inerte' :

What makes animation so problematic for architects is that they have maintained an ethics of statics in their discipline. Because of its dedication to permanence, architecture is one of the last modes of thought based on the inert. [...] Challenging these assumptions by introducing architecture to models of organization that are not inert will not threaten the essence of the discipline, but will advance it. (Lynn 1999, p.10)

Malgré les avis divergents concernant l'approche de Lynn, les formes animées font partie du paysage des ateliers spécialisés aujourd'hui.

La représentation de l'information est aussi enseignée dans certaines écoles¹ (Schnabel, 2007). La variation dans le flux des données peut aussi animer une forme ou une composition architecturale.

Ainsi, à l'aide d'une animation, les étudiants peuvent voir plusieurs instances de la forme et en choisir celles qui conviennent le mieux à la solution recherchée. Sans doute, l'animation est une méthode avec beaucoup de potentiel exploratoire, mais il est important de porter une attention spéciale aux 'forces' qui la guident (purement aléatoires ou liées au contexte du projet, par exemple).

Paramétrique/algorithmique

Certains ateliers spécialisés en architecture numérique, surtout ceux agencés à des groupes de recherche en CAO, enseignent depuis quelques années des méthodes paramétriques et algorithmiques de génération de la forme architecturale. Cependant, ces approches sont toujours expérimentales et produisent des projets assez conceptuels, sans lien direct avec la réalité de la construction.

Les logiciels utilisés sont soit parmi ceux destinés à l'animation (jeux, films), soit des logiciels spécialisés produits pour (ou par) une compagnie à pratique d'avant-garde (comme *Generative Components* ou *Digital Project*). Très souvent, les étudiants sont appelés à programmer via le langage de *script*² de ces logiciels.

Un exemple d'atelier d'architecture qui utilise un logiciel spécialisé est celui enseigné par Oxman (2006a). Son approche pédagogique fait d'abord appel à des explorations génératives formelles, après quoi, une application architecturale (programme) doit être proposée.

¹ *Harvard School of Architecture*, entre autres

² Série d'instructions servant à accomplir ou d'automatiser une tâche particulière (SE04).

Un autre atelier ‘personnalise’¹ un logiciel (Pak, Ozener, & Erdem, 2006) pour permettre aux étudiants d’appliquer sur un objet des déformations de façon soit aléatoire, soit linéaire. Les résultats sont assez abstraits, conformément à la tâche architecturale : espace pour des cyber-habitants.

Le *script* est utilisé comme outil principal d’interaction avec l’ordinateur pour l’expression des intentions de design, dans le cadre de l’atelier « *Network Parallelism: Visible and Invisible Post-Public Structuring* » (SE01 : atelier avancé d’architecture à *Columbia University*). Les tuteurs expriment leurs objectifs pédagogiques ainsi:

... to explore the shift from the technique-based approach that has dominated generative architectural practices in the recent past, toward the more explicit computational approach by engaging with scripting directly in an open source manner, addressing a growing culture of collective computational knowledge emerging within the discipline. (SE01)

D’après certains auteurs (Burry, Datta, & Anson, 2000), le *scripting* correspond à une étape d’encadrement du problème (*problem framing*), qui sera après, suivie par période d’explorations des possibilités que cet encadrement offre.

Comme nous l’avons déjà mentionné, une modélisation paramétrique peut concerner des aspects de la performance du bâtiment. Cette question sera discutée avec plus de détail dans le Chapitre 3.

Approches hybrides

Deux hypothèses pour les approches hybrides peuvent être envisagées. Elles se sont développées soit suite à la transition du travail avec la maquette traditionnelle vers la numérique, soit comme réaction à la numérisation de l’espace de création architecturale, qui mène parfois à des perceptions erronées. En proposant une alternation de représentations physiques (maquettes traditionnelles) et numériques (modèles 3D), ces ateliers apprennent aux étudiants de profiter des forces de chaque type de représentation. Souvent, le passage d’un médium à l’autre nécessite des équipements spécialisés comme imprimante 3D et numériseur 3D. Cette méthode semble être très appropriée pour le design industriel (Dorta, 2005) à cause des dimensions plus petites des objets conçus par

¹ Personnalisation (*customisation* en anglais) d’un logiciel est l’ajout de fonctionnalités ou de modules qui ne sont pas prévus par le fabricant du logiciel, mais sont créés par l’usager. Ceci exige l’utilisation d’un langage de script (langage propre au logiciel et qui n’est pas très puissant habituellement) ou de programmation (de type C, C++, Prolog, LISP, etc.).

cette discipline, ainsi que grâce au rapport que l'utilisateur a avec l'objet – il n'y a pas nécessité de percevoir l'intérieur (comme c'est le cas avec un bâtiment, par exemple). Cependant, le grand changement d'échelle entre maquette et réalité en architecture, peut apporter des distorsions importantes au niveau structurel ainsi que perceptuel. Certains ateliers hybrides visent aussi à éliminer l'abysse qui sépare la pédagogie 'analogue' de l'architecture avec l'emploi de l'informatique.

En résumé, par rapport à l'utilisation des moyens numériques en atelier d'architecture, il est possible de constater que l'utilisation massive de l'ordinateur en atelier d'architecture sert à la représentation et tout en copiant les méthodes de travail avec les outils traditionnels en y ajoutant des parcours animés. Dans les cas des ateliers spécialisés, l'ordinateur commence à être vu comme médium de design, mais les explorations formelles restent détachées des projets réels architecturaux à cause de leur complexité.

1.5 En conclusion du Chapitre 1

Au courant du présent Chapitre, il a été défini que cette recherche se situe dans le paradigme « *puzzle making* » de la CA et adopte la compréhension du processus de création en tant que « *process of making in the Design World* ». L'importance du processus, ainsi que le rôle des précédents pour le design sont perceptibles dans cette compréhension.

Il a été aussi constaté qu'avec la méthode moderne d'enseignement en architecture, le transfert de savoir-faire a été remplacé plutôt par la représentation du résultat final du projet, complètement détaché du processus de sa création. Cette conclusion, ajoutée au fait que l'architecture vit aujourd'hui une période de changement, sont susceptibles de faire émerger des méthodes qui essayeront de balancer cette tendance. Toutefois, pour y arriver, il faut souligner l'importance de l'enseignement des principes et des processus qui ont le potentiel de mener à un bon résultat; ainsi que celle de la recréation de référents architecturaux, mais sur des bases différentes.

Par ailleurs, le savoir-faire architectural considéré essentiel pour l'enseignement de la conception, est défini comme le savoir et la façon de faire d'un architecte, perceptibles dans les actions qu'il pose pendant la conception architecturale. Il comprend les

dimensions suivantes : savoir scientifique, connaissances de l'art, et façon de faire du métier – la poïétique architecturale.

Au niveau pédagogique, l'utilité d'un 'troisième homme' pour enseigner une connaissance pratique a été relevée. Dans le cadre de cette recherche, ce rôle pourrait être facilité par un assistant numérique à l'apprentissage de la CA. Au niveau didactique, les possibilités données par une éventuelle appropriation de l'Espace de conception sont soulignées. Cet 'espace' dans lequel les concepteurs trouvent des inspirations et du savoir-faire est peuplé de précédents et métaphores. Le rôle de ces derniers pendant les phases créatives de la conception sera étudié avec plus de profondeur dans le chapitre suivant.

Par rapport à l'utilisation des moyens numériques en atelier d'architecture, il a été possible de constater que l'utilisation massive de l'ordinateur sert à la représentation et copie les méthodes de travail avec les outils traditionnels en y ajoutant des parcours animés. Dans les cas des ateliers spécialisés, l'ordinateur commence à être vu comme médium de design, mais les explorations formelles restent détachées des projets réels architecturaux à cause de leur complexité. De plus, certains auteurs parlent d'une situation 'alarmante' créée par l'introduction spontanée de l'ordinateur en enseignement de l'architecture. Ainsi, il est possible de formuler l'exigence que les habiletés informatiques ne soient pas développés au détriment des connaissances fondamentales de l'architecture. Des voies possibles pour leur réintégration au processus de conception devraient être explorées, ce qui fera l'objet du Chapitre 3.

Il est possible de sentir que les chercheurs s'attendent à un changement important de la pratique, dû au rôle que des moyens informatiques joueraient pendant le processus de création pour mériter le nom de Conception Augmentée par Ordinateur.

À partir de ces constats basés sur la brève revue bibliographique du domaine d'étude, et en vue des objectifs de cette recherche, notamment enrichir et 'augmenter' le processus de design grâce à l'ordinateur, les deux chapitres suivants seront consacrés à l'approfondissement de deux aspects relevés comme très importants pour l'apprentissage de la CA en atelier d'architecture. Il s'agit du rôle de référents comme porteurs d'inspirations et du savoir-faire pendant les processus créatifs; et de la façon d'aborder la complexité des projets architecturaux. L'explicitation du processus, ainsi que l'enseignement d'une méthode de design intégré seront discutés en tant qu'approches possibles.

At the same time, the shell also wanted to become a bird.

(Santiago Calatrava, 2002)

Chapitre 2. Le rôle des référents : inspirations et savoir-faire

Dans le cadre de ce travail, le mot ‘référent’ va être utilisé. Il lui est attribué un sens large : il comprend tous les objets et phénomènes auxquels on peut avoir recours, comme les métaphores, les types, les analogies, les précédents et les cas. Cependant, ce chapitre a deux points principaux reflétant les deux rôles principaux des référents: l’inspiration et la quête aux heuristiques (le rôle des métaphores); et l’incarnation du savoir-faire implicite (le rôle des précédents).

2.1 La quête aux heuristiques : le rôle des métaphores

Si on se réfère aux discussions dans le domaine de l’architecture, on se rendra vite compte que la créativité est un thème qui préoccupe et anime beaucoup les débats professionnels et scientifiques. Comment rendre notre environnement bâti plus beau, plus efficace, plus économique, plus écologique ? La créativité et l’esprit innovateur touchent à toutes les dimensions de la conception architecturale. Mais comment les enseigner aux étudiants ? Pour répondre à ces questions, les chercheurs étudient le travail des architectes qui sont reconnus pour leurs œuvres innovatrices, dans le but de comprendre leur « façon de faire », leurs connaissances et leurs inspirations. Lors de cette quête, il s’avère que la conception d’un édifice original peut se faire sur la base de choses ou phénomènes déjà vus ou vécus, qui agissent comme des métaphores ou précédents pendant le processus créatif. Ce sont les nouvelles organisations entre ces derniers, leur reconsidération par rapport au nouveau contexte et à l’objectif actuel, qui accompagnent et stimulent la créativité.

En effet, en faisant la revue des modèles de conception, nous avons remarqué que les architectes préfèrent travailler en mode ‘*puzzle making*’ au mode ‘*problem solving*’. Nous avons déjà pu identifier pendant l’étude des approches didactiques en atelier, l’apprentissage de la conception comme « *a process of making in the Design World* ». Nous avons également reconnu le rôle de la figuration d’un objet pour le travail de

conception. Il y a donc, toujours des composantes déjà existantes qui jouent le rôle d'heuristiques par rapport à plusieurs aspects de l'objet en conception, et aussi comme 'pâte à modeler' de laquelle va émerger la nouvelle œuvre. C'est la pensée analogique qui guide ces 'sauts' dans le développement d'un projet architectural.

Dans ce qui suit, nous allons faire une revue des travaux de recherche portant sur le rôle des métaphores et de la pensée analogique comme sources d'inspiration et de créativité en architecture.

2.1.1 L'analogie

L'analogie est perçue dans la littérature comme une triade : proportion - ressemblance – transgression. Ceci veut dire qu'il y a une ressemblance dans les proportions entre certaines caractéristiques de la 'source' et de la 'cible', mais aussi une transgression qui est au fait le porteur du nouveau sens créé par l'analogie (Secretan, 1984). Les recherches donnent de nombreuses évidences du rôle important des processus analogiques tout le long de la conception architecturale. Ce sont des processus évoqués dans l'imaginaire des architectes à toutes les étapes de la création d'une œuvre architecturale. Le type des formes analogiques varie selon la phase d'avancement du projet. L'exploitation efficace et profonde est, semble-t-il, indice de l'expérience et des qualités professionnelles d'un architecte. L'analogie est à la base du fonctionnement de la métaphore, le type, le précédent et le cas.

Plusieurs auteurs soulignent le rôle important 'abductif' de l'analogie (Chupin, 1998; Rowe, 1998; Kalay, 2004). Cette forme d'inférence, relativement négligée par les modèles de la conception, est appelée « la logique de la découverte » à cause du potentiel créatif, basé sur l'ouverture et l'esprit explorateur qu'elle incite. Les constructions d'abduction ne sont pas des propositions valides¹ dans le sens logique, mais elles jouent le rôle d'hypothèses.

¹ Parmi les formes d'inférence, seulement la déduction est logiquement valide (ex : Tous les hommes sont mortels; Socrate est un homme. => Socrate est mortel.). L'induction et l'abduction ne sont pas logiquement valides (ex. d'abduction : Tous les hommes sont mortels; Socrate est mortel. => Socrate est un homme.)

2.1.2 La métaphore

Une des définitions les plus éloquentes de la métaphore est donnée par Buchanon¹. Il écrit que la métaphore est une analogie compressée. Ainsi, le côté indéfini et énigmatique de certaines métaphores est pris en considération par la « comparaison de proportions » chez l'analogie.

D'après l'analyse de Chupin, les auteurs voient trois caractéristiques de la métaphore : substitution d'idées, transport ou déplacement de sens, et constitution du sens. La plus grande importance pour la stimulation de la créativité est donnée à l'écart entre la 'source' et le 'cible' (Chupin, 2000).

En architecture, un des exemples les plus connus du rôle de la métaphore, est bien sûr celui de Le Corbusier et son idée du toit de la chapelle à Ronchamp. Le concepteur célèbre a répété plusieurs fois que l'idée lui était venue d'une « carapace de crabe » ramassée sur Long Island, à New York, en 1947. En plus, d'après Tzonis (2001), la structure et la forme du toit ressemblaient en fait à un bateau, et, comme des piliers le soutenaient en air, on aurait dit un groupe d'hommes soulevant une embarcation. Le Corbusier ajoute aussi que la configuration du bâtiment est « en conformité avec les horizons » et « la réponse acoustique – l'acoustique dans le domaine des formes ». Une autre inspiration est la procession hélicoïdale rituellement exercée au Parthénon sur l'Acropole, lors des cérémonies religieuses. Il est remarquable l'influence que l'architecture vernaculaire a eu sur cette œuvre, suite à sa visite à Ghardaïa, par exemple (Ravéreau, 1981).

Nous pouvons donc, constater que ce procédé analogique est inspiré à la fois du site (qui crée des liens et métaphores), des 'objets à réaction poétique' de Le Corbusier, et aussi par de l'expérience entière en tant qu'architecte et personne.

Certainement, il y a toujours le risque qu'en faisant recours aux métaphores ou aux précédents, le concepteur risque de s'approcher de l'imitation et ainsi de rompre l'éthique professionnelle, ou tout simplement, de répéter quelque chose qui a été déjà créé. Ce sont des mises en garde valables, surtout pour les étudiants et les architectes novices qui n'ont pas encore la maîtrise de la manipulation des formes analogiques.

¹ Buchanon, Poetry and Mathematics, (p. 84), cité par Leatherdale, 1974, p. 127

2.1.3 Métaphore iconique, discursive¹ ou structurelle

Connaissant le rôle de l'image, du figuré, du visuel en conception architecturale (Oxman, 2000), nous pouvons imaginer que l'analogie iconique ou figurale aurait une place privilégiée dans ce processus. Dans la plupart des cas, les représentations de l'architecture, sont 'vues' ou 'ressenties' d'une façon purement visuelle. (Et pourtant, dans le temps de Vitruve, l'architecture a été plus souvent décrite et non pas dessinée pour être représentée.) Cette tendance est extrêmement renforcée dernièrement, avec l'accès facile à l'information – livres, journaux, et surtout l'Internet. Par contre, comme le mentionnent Chupin et Léglise (1997), il faut être prudent face à cette surconsommation visuelle qui peut amener à un effet de surface. Ceci se trouve être encore plus vrai pour les étudiants en architecture qui manquent d'expérience professionnelle.

En même temps, il existe un lien fort et incontestable entre une image et le sens qu'elle évoque, les concepts auxquels elle s'attache, l'image mentale qu'elle va créer ou stimuler. Ce sont les côtés non-figuraux d'une image et aussi d'une métaphore visuelle. Inversement, une idée, un concept ou un mot peuvent aussi évoquer une image mentale. Donc, le visuel ou le figuré sont présents dans les deux cas : quand le stimulus est visuel ainsi que quand il est d'une autre nature. Le processus cognitif mentionné étant beaucoup plus complexe que la description donnée ici (à mentionner même que sa nature n'a pas été encore bien étudiée et comprise par les sciences), nous tenons juste à souligner le lien entre le figural et le discursif, ainsi que la force et le sens profond de leur action conjointe.

Dans ce sens, il y a des expériences qui ont été réalisées pour établir le rôle des deux types de métaphores pendant la conception architecturale. Pendant la phase de la conception, les architectes peuvent avoir des références : soit des images, soit des concepts (des mots) représentant ces images (Bonnardel & Rech, 1997). Parmi les conclusions, les auteurs identifient le fait que l'image est susceptible de créer une fixation (sur l'instance exacte de ce qui est représenté), tandis que le concept stimule la créativité laissant une plus grande liberté au concepteur et lui permettant d'explorer plus en profondeur les caractéristiques de l'objet 'nommé' par le concept².

¹ Le sens de 'discursif' ici est légèrement différent de celui utilisé par De Coster

² L'exemple avec le '*rocking chair*' est assez parlant

Caractère structurel

Nous remarquons que dans les exemples cités, les métaphores sont souvent évoquées grâce à leur structure ou à cause du schéma organisationnel qu'elles incarnent. Et encore plus, il semble évident des réflexions des chercheurs qui étudient l'analogie, que ce type d'utilisation de la métaphore conduit à un sens plus profond et aide la créativité. Souvent, les métaphores évoquées en architecture sont basées sur une analogie structurelle. Elles servent de modèles implicites d'organisation de l'objet en conception au complet ou de certaines de ses parties. Porteur de cette fonction structurelle ou structurante peut être aussi bien une métaphore visuelle, qu'un concept qui l'exprime. L'importance est dans la perception, dans la lecture et l'interprétation que le concepteur lui donne. Une « lecture » superficielle guidera plutôt à une imitation, pendant qu'une interprétation profonde donnera des idées créatives.

2.1.4 Intra-domaine ou inter-domaine

Un phénomène remarqué par plusieurs chercheurs est qu'en fonction de la phase de créativité considérée, un concepteur peut avoir tendance à évoquer soit plus de références intra-domaines (provenant du même domaine de connaissances ou d'utilité), soit plus de références inter-domaines (qui ont seulement quelques caractéristiques en commun avec l'objet en conception) (Bonnardel et Rech, 1997). Les références intra-domaines, au tout début de la conception d'un objet, peuvent plus facilement devenir une fixation. De ce fait, il est important de ne pas proposer aux architectes des précédents qui se rapprochent beaucoup de l'objectif visé, mais aussi des 'objets-types' parmi lesquels ils peuvent discerner seulement quelques liens sémantiques.

Bonnardel et Rech (1997) trouvent qu'au tout début du processus de conception architecturale, la présence d'objets de référence inter-domaines est très inspirante et stimule la créativité du concepteur. À titre d'exemple, certains auteurs montrent que la suggestion de représentations graphiques d'objets susceptibles de répondre aux spécifications énoncées dans la définition d'un problème de conception amène les concepteurs à reproduire de nombreux aspects de ces objets, y compris ceux inappropriés ou incorrects (Jansson & Smith, 1987). Selon ces auteurs, « les concepteurs s'attacheraient moins aux caractéristiques de surface de l'objet [...] et rechercheraient dans des domaines

variés des objets connus présentant des principes de fonctionnement en partie communs avec ceux souhaités pour l'objet à concevoir ».

2.1.5 Bons à penser

Plusieurs auteurs utilisent le terme 'bons à penser'¹ quand ils parlent de ce qu'à notre avis sont des métaphores susceptibles d'évoquer des processus heuristiques chez le concepteur. Ces éléments sont (1) à la fois visuels et porteurs de concepts forts; (2) peuvent provenir de domaines différents de celui de l'objet en conception ; (3) et provoquent des réflexions soit poétiques, soit structurelles chez l'architecte.

Nous sommes tentés d'illustrer le concept de 'bons à penser' par les objets à réaction poétique de Le Corbusier:

Ces fragments d'éléments naturels, des bouts de pierre, des fossiles, des morceaux de bois, de ces choses martyrisées par les éléments, ramassées au bord de l'eau, du lac, de la mer... exprimant des lois physiques, l'usure, l'érosion, l'éclatement, etc., non seulement ont des qualités plastiques, mais aussi un extraordinaire potentiel poétique. (Hervé, 1972, p. 12)

Certains auteurs les considèrent plus comme des précédents qui provoquent la réflexion sur un de ses aspects caractéristiques (et non pas servir comme exemple intégral pour un bâtiment), ou encore comme des figurations ou des expressions visuelles de certaines règles ou lois du métier (Yakeley, 2000).

2.1.6 Applications informatiques

L'arrivée des outils informatiques a poussé énormément la recherche sur les processus de conception et apprentissage en architecture. Cependant, il n'existe toujours pas d'outil informatique capable d'assister ces processus. Les prototypes expérimentaux développés dans différents laboratoires de recherche, essaient de répondre à certains aspects cognitifs de la création architecturale, le recours aux analogies, entre autres.

D'après Cross (2002), au lieu d'imiter tout simplement les capacités humaines, certaines machines à concevoir devraient faire ce que le concepteur ne peut pas faire. Les choses que l'ordinateur fait le plus facilement, c'est calculer et garder en mémoire. C'est surtout cette dernière capacité qui se trouve exploitée par les applications qui veulent faciliter

¹ Terme utilisé par Yakeley, (2000) et Oxman, (1999)

l'utilisation de métaphores en phase de conception architecturale. Le plus souvent, elles prennent la forme d'une base de données. Les différences observées entre les différents prototypes développés se trouvent à plusieurs niveaux, entre autres : le(s) domaine(s) duquel les métaphores sont prises ; le créateur de la base de données ; le degré d'ouverture et de flexibilité du système ; le degré de personnalisation possible ; le type des liens entre les éléments dans la base ; le type de recherche possible (par mot ou par *sketch*) ; le niveau de transgression entre les éléments possible à atteindre ; le changement dynamique des liens lors de l'usage du système ; la possibilité de créer de nouveaux 'documents' ; etc.

Un exemple d'outil d'aide à la conception architecturale de ce type est le thesaurus d'analogies de Ellen Do et Mark Gross (1995) « *Drawing Analogies* », qui est : « *a shape-based reminding program that uses freehand sketches to index and retrieve visual references for creative designing* ». Les auteurs trouvent que : « *a graphical reminding scheme based on sketching can help designers find interesting references from various domains* ». Il est remarquable que cette application (qui est une des premières développées) intègre deux types de recherche – par mot et par dessin à main levée, une caractéristique qui est rarement présente dans les systèmes plus récents. Ces derniers sont aussi, dans la majorité des cas, basés sur les cas précédents.

2.1.7 Conclusion

Une très bonne synthèse sur le rôle des formes basées sur des références est donnée par Heylighen (2000). D'après elle, la métaphore agit à un niveau conceptuel ; l'analogie, plutôt au niveau structurel et comme source de connaissance. En ce qui concerne les types (dans leur sens classique) ils sont utilisés surtout pour l'organisation fonctionnelle des espaces tandis que le cas encapsule des connaissances par rapport aux solutions précédentes. Pour ce qui est des précédents, ils se trouvent pleins de détails et contiennent du savoir-faire par rapport aux composantes du bâtiment, ensemble avec leur intégration dans l'entier (Heylighen, 2000).

Dans le contexte du modèle de la conception architecturale comme « *a process of making in the Design World* », les 'bons-à-penser' feront partie des 'objets-type' déjà discutés. Ils pourront, donc, être considérés comme une composante importante d'un éventuel assistant de l'enseignement en architecture, qui aurait une fonction d'appui au développement de la créativité des étudiants.

2.2 La recherche du savoir-faire implicite : le rôle des précédents

Le rôle des précédents est très bien exprimé par Alvar Aalto (1957):

When I have to solve an architectural problem ... the ... demands are so numerous that they form a maze which cannot be worked out by rational methods. The ensuing complexity prevents the basic architectural idea from taking shape. [...] I start drawing, giving free rein to my intuition, and suddenly the basic idea is born, a starting point which links the numerous, often contradicting elements already mentioned and bring them into harmony with each other. (Alvar Aalto, 1957, cité par Heylighen, 2000, p. 1)

D'après Akin (2002), il y a trois types de faiblesses dans l'enseignement en architecture : difficultés dans la motivation, manque d'apprentissage du processus de conception, et insuffisance des connaissances acquises. Si la première raison mentionnée relève surtout des relations étudiants-critiques et de l'évaluation (qui ne font pas objet de nos préoccupations dans le cadre de ce travail), dans ce qui suit, nous allons discuter les recherches qui se font dans le but de résoudre les deux autres problèmes.

Plusieurs auteurs trouvent que les règles de composition ou de construction, et les lois logiques sont présentes à chaque phase de l'élaboration d'un projet d'architecture (Yakeley 2000; Kocaturk & Veltkamp, 2005). Cependant, pour un architecte, on peut les retrouver surtout dans la genèse des formes et des compositions et moins dans les formules mathématiques ou causales. Il arrive souvent qu'un architecte puisse donner un exemple de l'application d'une règle, mais il est incapable de formuler cette règle explicitement (Schön, 1988). Les lois et le savoir-faire, dont les architectes se servent, sont assez souvent très vagues, et parfois ne sont que des constructions dérivées d'autres objets-référents.

Ainsi, Léglise définit l'acte de concevoir un objet d'architecture comme le produit d'opérations cognitives « bien antérieures, sur des connaissances qui ne cessent pas de travailler chaque architecte à chaque moment de sa carrière ». En 1997, il écrit :

[P]our 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, p.97)

Un concepteur pourrait aussi extraire des connaissances à partir d'œuvres projetées par d'autres ou à partir de monuments anciens. Ce processus a deux étapes : une opération de lecture et d'interprétation et une opération de mémorisation (par écriture du résultat de

l'interprétation). Dans l'application informatique de cette idée, L'église (2000) facilite la sauvegarde de l'interprétation mais non pas le transfert du savoir-faire à l'origine de l'œuvre. La réutilisation de cette interprétation est limitée à la personne qui l'a réalisée initialement. Pourtant, l'auteur souligne que dans l'interprétation d'un précédent, il est bon de comprendre d'où l'architecte d'une œuvre a puisé ses inspirations.

La terminologie

Le concept du précédent est beaucoup plus complexe que celui de l'analogie, mais à notre compréhension, est toujours basé sur celle-ci, restant souvent (mais pas toujours) considéré comme dépendant du domaine.

Le concept de 'cas' est présent dans la pratique de plusieurs professions : en médecine, en droit, en architecture (Schön, 1983). L'Intelligence Artificielle, exploite le 'cas' dans le cadre des systèmes de CBR (*case based reasoning*) et CBD (*case based design*). La base théorique de ces systèmes est celle de la mémoire dynamique, créée par Schank (1992)¹. D'après cette théorie, la mémoire chez l'humain est stockée dans des exemples concrets ou leurs généralisations, qui sont réutilisables en de nouvelles situations².

Il se trouve par contre que malgré leurs définitions distinctes, ces deux termes soient souvent utilisés avec la même signification.

Un concept plus général de celui de 'cas' ou de 'précédent' est la 'référence'. Elle est définie par Fernandez comme : « l'action par laquelle un signe renvoie à un objet du monde ». L'auteur ajoute que : « par ailleurs, on s'accorde à reconnaître que derrière des mots comme « l'intuition », « l'inspiration » se dissimule la notion consciente ou inconsciente de référence, lui attribuant ainsi sa valeur créative ». (Fernandez 2002, p. 116) Le même terme est utilisé par Scaletsky (2003) qui attribue à l'image le rôle de principale source référentielle en architecture. Dans le cadre de cette recherche et par rapport à nos propres développements, nous utiliserons avec la même signification le terme 'réfèrent' parce qu'il est utilisé moins fréquemment avec d'autres sens.

¹ Cité par Heylighen, 2000.

² Ce thème sera discuté d'avantage dans la Partie-III de la thèse.

2.2.1 Les précédents comme porteurs de savoir-faire

Plusieurs auteurs dans leurs recherches identifient les précédents comme les astuces utilisées par les architectes pour trouver les connaissances et le savoir-faire qui leur est nécessaire pendant le processus de conception. Par exemple, Rivka Oxman définit le terme *précédent* pour désigner une connaissance que le projet renferme de façon ‘mémorable’¹:

[...] a recognized specific design in which the unique conceptual points and ideas are denoted as distinct knowledge chunks. [...] Precedent knowledge is here considered as the explication of the relevant insights of particular designs and the appropriate linkages of information between multiple design precedents. It is this organizational structure which contributes to the accessing of knowledge relevant to the problem in hand. (Oxman, 1994, p. 142)

Léglise met aussi l’importance sur le savoir-faire incarné par le précédent, rejetant même la nécessité que le bâtiment référé soit un projet architectural très connu ou célèbre. La seule chose qui compte d’après lui, est que le précédent possède un intérêt spécifique par rapport à un projet en phase de conception. Les mots de Léglise illustrent bien ce point de vue :

On voit par là qu’un précédent n’est pas un référent prestigieux. Par contre, un précédent est un objet qui contient de la connaissance encapsulée dans l’œuvre réelle ou figurée. Cette connaissance ne sollicite pas de la même manière chaque concepteur, et elle est, comme les sens d’un texte, *soumise à interprétation* (Léglise, 1998, p. 20).

Récemment dans le cadre de sa thèse de doctorat, Zarzar se penche sur la question des précédents comme porteurs de savoir-faire implicite. Elle écrit:

We argue that in architectural practice, the use of design precedents as a source of knowledge is often considered to be a more efficient strategy in developing designs than initiating a project from tabula rasa (Zarzar, 2003).

D’après Akin, les précédents sont des bâtiments ou des objets de design qui sont exemplaires dans un sens quelconque, et qui peuvent supporter le travail de conception architectural des étudiants. Dans ce cas, l’apprentissage se fait par « *examination, analysis and abstraction of the information contained in the case representation* » (Akin, 2002). Les projets reconnus dans le domaine, dans la plupart des cas, ont des idées qui permettent d’expliquer leur exemplarité, comme: « *the core and open-plan layout of the Farnsworth house by Mies van der Rohe, the served and servant spaces of the Salk Institute by Louis Kahn, the exploded box of Fallingwater by Frank Lloyd Wright* ». L’auteur trouve aussi

¹ Interprétation de Scaletsky, 2003.

que c'est exactement l'habilité de faire revivre ces principes dans de nouvelles situations qui doit être développée en atelier.

2.2.2 Les référents en atelier d'architecture

Comme nous en avons déjà discuté dans la première partie de cet exposé, l'enseignement en atelier d'architecture a comme objectif de fournir les aspects synthétique et expérientiel de la conception architecturale. Si on se réfère encore une fois à Akin (2002): « *The primary skill to be developed is, **generative or synthetic. Experiential instruction situates the knowledge to be gained in a simulated context provided by a case study*** ».

Comment exactement se passe ce processus d'enseignement, appelé par Schön (1983) 'coaching' ?

Pendant l'enseignement en situation d'atelier, les étudiants sont, dans la plupart des cas, laissés à eux-mêmes dans la quête de moyens de faire pour arriver à un résultat désiré. Normalement, il n'y a pas de règles générales ou de solutions miracles qui peuvent être 'prescrites' par le tuteur. Or, une telle activité ressemble à la recherche d'une aiguille dans une motte de foin, car les étudiants n'ont pas assez d'expérience pour structurer le domaine de la solution (la motte de foin) ni assez de maîtrise du processus pour l'adapter au problème (Akin, 2002). L'analyse de précédents est utilisée pour structurer leur démarche de conception. La dérivation de principes de design se fait dépendamment des intérêts personnels du tuteur ou encore, à la guise de l'étudiant. Il est clair, que la généralisation à partir d'exemples peut être assez inefficace ou même erronée si elle n'est pas guidée. Ceci peut amener à l'improvisation ou à la confusion par rapport aux principes de design recherchés.

En situation d'apprentissage par expérience (projet), le tuteur a un rôle clé à jouer pour faciliter ou guider la discussion sur les précédents. Il devrait les choisir et les présenter, après avoir structuré et codifié les connaissances qu'il aimerait montrer au travers d'eux. D'après Akin, les cas profiteront d'une description détaillée de trois points : (1) description du contexte du précédent, (2) description des étapes de progression par lesquelles est passé le cas avant d'arriver à son état final, ensemble avec la solution proposée, et (3) description des processus et méthodes relatifs à ces étapes. L'auteur souligne l'importance de ce dernier aspect:

It is important to underscore the significance of the latter — particularly for instruction in architecture — where the cases used traditionally consist of only context and state descriptions, by and large ignoring the process aspect. (Akin, 2002, p. 414)

Nous tenons à souligner l'importance de ces réflexions, parce qu'à notre avis elles soulèvent une problématique qui est à relever par l'enseignement architecturale.

2.2.3 Intra-domaine et inter-domaine

Comme les métaphores, les précédents peuvent provenir ou non du domaine de l'objet de conception. Dans le cadre de l'enseignement de l'architecture. Madrazo (1999) utilise des référents inter-domaines pour développer chez les étudiants les habilités à rechercher et à travailler avec des concepts et des abstractions, en provenance de domaines différents de l'art et de la vie. Un même concept abstrait est appliqué dans des situations différentes, ce qui fait travailler les étudiants à un niveau d'analogie et d'abstraction relativement élevé.

2.2.4 Transfert du précédent à la nouvelle œuvre

Comme nous venons de le montrer, la pratique de l'architecture moderne ne laisse pas de doute par rapport au recours aux précédents. Dans ce contexte, une des questions posées est : Comment se fait le transfert d'un aspect du précédent à la nouvelle œuvre en conception ? Et encore : Qu'est-ce qu'on transfère : des parties de précédents, des connaissances incarnées dans des parties ou d'autres aspects ?

Parlant de conception architecturale inspirée et nourrie par des précédents, Alexander Tzonis (1992) donne l'exemple de l'Unité d'Habitation de Le Corbusier :

Take the case of, the "pre-parametric" way he conceived the building's spatial concept, grasping from the outset, seemingly effortlessly and spontaneously, its fundamental aspects, inventing a truly complex multi-functional unprecedented form synthesized out of and in analogy to, a multitude of precedents: the savage hut, the liner, the winebottlerack, the Greek temple, and more, recalling these precedents from memory, examining them, dissecting them, trying them and recombining them, putting old tools to new uses and old ones in new compositions. (SE)

Cette phrase trace le chemin (ou plutôt le labyrinthe) riche et complexe parcouru dans l'imaginaire de l'architecte pour trouver, interpréter et assembler avec un nouveau sens des idées et des formes dérivées du précédent. Nous pouvons remarquer au moins deux aspects importants : la multitude de sources (précédents) utilisés, et leur interprétation et manipulation avant de les combiner dans une nouvelle œuvre.

Tzonis (1992) fait également une analyse du processus de la morphogenèse de l'Unité d'Habitation de Le Corbusier. Il remarque que chacune des formes décrites a deux caractéristiques : une qui indique la partie de la forme elle-même, et l'autre qui spécifie la relation syntactique de la partie de la forme avec la totalité de la forme du précédent. La partie 'syntactique' restreint les possibilités de liaison d'une partie d'artefact au reste. Elle met des contraintes sur la façon dont des parties de précédents peuvent être assemblées pour former un nouvel objet de design. Elle aide le nouveau design par la recombinaison des précédents. Cette discussion montre une considération primordiale des caractéristiques syntactiques entre les parties des précédents et l'entier.

Un autre auteur qui s'intéresse et explore beaucoup le rôle des précédents en conception architecturale est LÉglise (1997). Selon lui, dans les techniques de raisonnement à partir de cas, un précédent est représenté par un problème et sa solution. Il écrit : « Dans le champ qui nous occupe, les précédents sont des objets conçus en réponse à une demande. Interpréter un précédent peut revenir à identifier en quoi ce précédent peut, partiellement, après adaptation, servir à répondre à une nouvelle demande » (LÉglise, 1997, p. 273). Par rapport au mécanisme qui exploite les cas précédents, LÉglise poursuit :

Un précédent (objet d'architecture) peut donc devenir un objet de la conception (manipulé comme source de connaissance utile dans le contexte d'une nouvelle demande). Ce ne sont pas les cas qui sont mis en avant, mais leur interprétation par un concepteur donné, qui les rend opératoires dans un nouveau contexte, ou dans le contexte général de sa perception-conception du patrimoine architectural. (p. 273)

Nous trouvons cette considération formulée par LÉglise très importante par la relativité du rôle des précédents qu'elle exprime. D'un point de vue pratique, ceci vient nous dire qu'une référence peut inspirer (ou non) un architecte ou lui être utile (ou non), dépendamment de son interprétation et du contexte de travail sur la nouvelle œuvre.

Activation et mécanisme de la référence

Lassance¹ distingue trois modes d'activation de la référence en architecture : le transfert de dispositifs formels, la reprise de procédés et la référence indirecte.

De son côté, Tzonis étudie la découverte du bastion pour comprendre comment un processus entièrement basé sur des précédents peut engendrer une découverte. Au fait, la

¹ Cité par Fernandez, 2002, p. 116

découverte vient grâce au changement de la représentation du problème. Il faut se rappeler que, d'après Saul Amarel¹, « *All mathematical derivation can be viewed simply as change in representation, making evident what was previously true but obscure. This view can be extended to all of problem solving - solving a problem simply means representing it so as to make the solution transparent.* »

Ainsi, l'histoire de la découverte du bastion commence avec Alberti qui décide de satisfaire en même temps les points de vue de Vitruve et de Vegeti par rapport à la forme des fortifications :

He gives to the round Vitruvian fortification an angular Vegetian outline. The overall fortification is thus inscribed in a convex shape, while its outline consists of a sequence of embedded concave "angle" units that Alberti likens to a "Star with Rays running out to the circumference", extending "like the Fingers of a Man's Hand". Thus, while the global convex shape helps the defendand survey every point of the region that surrounds him, the local concave parts force the enemy to be trapped "between two (projected) angles (Book V Ch. IV). (Tzonis & Lefavre, 1994, SE²)

Après cette étape intermédiaire dans l'invention du bastion, c'est Leonardo Da Vinci qui met les touches créatives qui taillent la forme du bastion français. Sur l'image des fortifications, il ajoute les « lignes du feu ». Alors, l'action pour laquelle le bastion est construit va sculpter sa propre forme.

Pourquoi c'est Leonardo qui a pensé à ça ? La réponse trouvée par Tzonis réside dans l'analogie entre les « lignes du feu » et les « rayons de lumière (visuels) » utilisés par la perspective. Il en conclut que, par un processus analogique, le système de représentation développé pour la perspective et la sciographie est transféré vers les fortifications, créant de la sorte la correspondance entre le problème de la vision, déjà connu et celui de la balistique, qui reste à résoudre. Ce processus établit le lien entre l'art et la science de la guerre. Cette application de précédents et d'analogies conduit finalement à une solution nouvelle et optimale.

¹ *On the Mechanization of the Creative Process* IEEE Spectrum 3 (avril 1966), p. 112 - 114, cité par Simon (1996)

² Source électronique (la page de la citation ne peut pas être indiquée)

Façon d'extraire les parties utiles : Adaptation, évolution

Dans le cadre de sa thèse de doctorat, Zarzar (2003) essaie de comprendre les types de transferts qu'un architecte est susceptible de faire au moment où il se réfère à un précédent, tout en travaillant sur un nouveau projet. Avec ses mots:

In general, one can observe two kinds of transference. On the one hand, one may be interested only in the configuration of certain elements, such as Le Corbusier and the piloti of the savage hut. On the other hand, the designer may be concerned with the use of certain structures irrespective of the original use that the structure had, such as Calatrava's use of similar structures for different kinds of project; for example the "arch and hangers" of Lusitania Bridge (1988-91) in Mérida, Spain, and the "arch and hangers" of the roof of Tenerife Exhibition Hall (1992) in Tenerife. In this manner, instructions from a feature are isolated from their original design and transferred. (Zarzar, 2003, p.2)

Après avoir réfléchi sur les types de transfert, Zarzar remarque que les « instructions structurelles » d'un artefact transféré doivent correspondre à celles du nouveau projet en conception. Mais une fois, séparées de leur design original, elles peuvent évoluer et acquérir de nouvelles significations, comme le pilotis dans le cas de Le Corbusier. Ils deviennent un principe, et même font partie des « Cinq principes de l'Architecture Moderne ». À partir de ce moment, ce n'est pas la cabane sur pilotis qui sera utilisée comme référence, mais le principe.

Plus loin, Zarzar (2003) se pose la question : Quelles modifications et transformations subissent les parties (ou les aspects) transférés? Ainsi, elle aboutit à la définition d'un processus semblable à la sélection artificielle :

We are thus led to an artificial selection rather than natural selection. In this sense, "evolution in design" is closer to breeding than to evolution in nature. Breeding refers to artificial selection, i.e. to purpose. Breeders have an intention and select by phenotype plants or animals, each having a particular desired performance to improve the quality of their grains or animals in the generations to come. More than one generation will be necessary, but eventually the breeder will have a generation that approximates or matches his/her goal. (p.3)

La thèse de Zarzar définit un modèle évolutif du design, qui est utilisé comme heuristique pour proposer des précédents, avec leur usage possible dans un nouveau contexte de conception architecturale. Les tests qui sont effectués sur ce qui est connu d'avoir été le processus de design de certaines œuvres de Le Corbusier et Calatrava, se sont avérés adéquats.

2.2.5 Objets-type

Nous avons déjà mentionné que Schön utilise le terme ‘objet-type’ pour signifier des figurations qui représentent à la fois, des cas précédents, l’objet à concevoir (en émergence), des métaphores et des règles de composition. En fonction du rôle de ces objets-type pendant la phase initiale de la conception, l’auteur définit quatre classes d’objets-types: fonctionnels, types-références, *Gestalts* spatiaux et archétypes d’expérience (*experiential archetypes*). Selon lui, chacun de ces types joue un rôle différent et spécifique pendant le processus de conception. Le type considéré ici ne se réfère ni à la fonction, ni à la forme d’un bâtiment. Il regroupe les objets figurés d’après leur rôle dans l’Espace de conception architecturale. Il possède à la fois la généralité fonctionnelle, structurelle et logique d’un objet, mais peut aussi présenter sa spécificité visuelle. Il est possible de nommer cette notion de type ‘dynamique’.

À notre compréhension, les ‘objets-type’ englobent tous les référents se trouvant dans l’Espace de conception d’un architecte ainsi que les stratégies implicites, suite auxquelles l’objet en conception va émerger à partir et à l’aide des ‘objets-type’. De plus, Schön trouve que pendant la conception architectural: « [...] *the designer reflects-in-action on the construction of the problem, the strategies of action, or the model of the phenomena, which have been implicit in his moves* » (Schön 1983, p. 79). Au long de ce processus, les ‘objets-types’ subissent des transformations et passent à des états plus généraux ou plus spécifiques, selon le niveau de conception où ils se retrouvent (Deshayes, 1997). Et encore, toujours d’après Schön (1983): « *Rule-descriptions are derivative constructs. By reflecting on existing types, we may construct and codify their constitutive rules.* » (p. 183) Il n’est pas donc étonnant que Schön trouve utile la décodification de règles incarnées dans les types.

2.2.6 Applications informatiques

Il n’est pas évident de séparer les systèmes d’aide à la conception architecturale, basés (uniquement) sur des analogies et métaphores de ceux, basés sur des précédents. Au fait, il nous semble plus pertinent de construire des outils qui proposent les deux « sous le même toit ». Mais dans le cadre de cette recherche, nous essaierons de voir si le traitement des différents concepts de référence, décrits dans la littérature qui les explore, varie

dépendamment du rôle qu'ils sont susceptibles de jouer pendant le processus de conception d'un projet architectural.

Rappelons-nous l'expérience de Le Corbusier par rapport à l'invention de l'Unité d'Habitation ainsi que l'étude sur la création du bastion triangulaire par Leonardo Da Vinci pendant la Renaissance. Ces expériences sont loin d'être uniques dans l'histoire. Tzonis trouve que le même type d'intelligence du travail avec des précédents se trouve chez chaque architecte, dans un degré plus ou moins élevé. Réfléchissant sur les possibilités que les ordinateurs puissent apporter dans ce processus, Tzonis (1992) écrit :

How can the machine be intelligent in a similar manner, a fact that will make the whole effort of using computers in architectural offices more worth while. Doesn't the fact that architects succeed using precedents, rules and principles rather than departing from a tabula rasa, imply an approach? Doesn't their using qualitative as well as quantitative computation, and analogical, pre-parametric conception rather than analytical, parametric calculation, suggest a direction? (Tzonis, 1992, SE)

Rivka Oxman propose une nouvelle organisation des cas précédents : « *in distinction to current case-based design systems, memory is here organized by the knowledge chunks rather than by complete designs* ». Elle crée le système « PRECEDENTS » qui offre une organisation intelligente de cas d'architecture, ensemble avec des outils de recherche. Ce premier prototype n'est pas personnalisable.

Un autre exemple d'outil de type semblable est celui développé par Heylighen – DYNAMO. L'auteure base son système sur les principes de raisonnement par cas. La question à réponse difficile est la suivante: « *extracting knowledge from people (knowledge acquisition), representing this knowledge in a computer-understandable form (knowledge representation) and making the computer reason with this knowledge (reasoning schemes).* » (Heylighen 2000, p. 43). Dans DYNAMO la nouveauté est le rôle actif de l'utilisateur dans la construction du système. Partant du principe qu'il y a « *two ways of knowing : passive or scientific; and constructive - which is both embedded and developed through the action of designing, thus being in fact permanently "under construction* », Heylighen donne au concepteur le droit de participer dans l'enrichissement et l'organisation de son outil d'aide à la conception.

Très récemment, Scaletsky (2003) propose le système KALÉYDOSCOPE, basé sur l'image comme principale source d'une connaissance référentielle. L'auteur mentionne cinq idées qui ont servi comme guides pour le développement du prototype : (1) système

individualisable (information, connaissance et interprétation) ; (2) système ouvert de références ; (3) construction de thésaurus visuels de concepts ; (4) possibilité de recherche et navigation ; et (5) récupération et production de nouvelles connaissances.

2.2.7 En enseignement de la conception architecturale

Quel peut être le rôle d'une sensibilisation à la pensée analogique des étudiants en architecture ? Est-ce que ceci devrait se faire dans un cadre théorique (cours magistraux) ou en atelier ?

D'après la théorie de « *Reflection in action* » de Donald Schön, en atelier, les étudiants doivent faire ce qu'ils ne savent pas encore faire ; ils sont dans une situation de bureau ; avec la possibilité d'être 'critiqués' et de réaliser un recul critique eux-mêmes (Schön, 1983). C'est une thèse en support de l'idée d'introduire des références analogiques en situation d'atelier.

Cette théorie est à la base aussi d'un autre projet expérimental développé par Chupin et Légli (1997): « Dispositifs cognitifs et conception architecturale ». Le but étant « une utilisation de l'informatique dans les phases amont de la conception à partir d'une banque visuelle d'œuvres précédentes et de référents du projet », un rythme spécial est imposé aux étudiants : phases de veille (longues ; « propices aux recherches, explorations, investigations, dégagement de liens et de sens »), et phases intensives (courtes ; « nécessaire à la figuration du projet, où sont convoqués et pendant lequel se cristallisent les connaissances accumulées sur le long terme »). Les 'carnets numériques' créés, consultés, commentés et échangés par les étudiants, desservent plusieurs objectifs : mémoire, schématisation, conceptualisation, dialogue réflexive, collaboration, etc. Ils peuvent servir également d'objets 'pour penser avec', dans le sens de Papert et Oxman.

Des expériences similaires sont menées avec bases de références dans le cadre de l'enseignement de la conception architecturale. Anne Heylighen propose le système Dynamo à ses étudiants (Heylighen & Verstijnen, 2003). Rivka Oxman met à l'épreuve le système Think-Maps dans un atelier universitaire d'architecture. D'après elle:

In this framework, domain knowledge becomes explicit as a significant element to be taught and transferred in design education. The Think-Map proposes that by constructing a conceptual map that reflects one's thinking in a domain, we make explicit the knowledge learned. The learner constructs structured representations of concepts and their relationships to other concepts and fills these structures with the

content of the specific design domain or design task. This resulting structured representation of knowledge can later be accessed and expanded in additional processes of design thinking. (Rivka Oxman, 2004, p. 63)

Cet outil supporte aussi des processus collaboratifs et partage des « bases » personnalisées. L'approche utilisée est 'computational modeling' qui consiste en: « *Instead of teaching how to construct a model of a design object we teach how to organize domain knowledge and construct a model of knowledge structures.* » Dans la conclusion de l'article, l'auteur avance l'idée d'un nouveau paradigme en enseignement de l'architecture : expliciter le savoir-faire du concepteur pendant le processus d'apprentissage. Cependant, les entités représentées et manipulées sont souvent des concepts et des images.

2.3 En conclusion

Nous avons vu que le résultat architectural, comme le processus de sa genèse, peuvent être informés par des précédents. Nous avons pu également constater qu'il est possible d'affirmer le rôle primordial que ces derniers jouent durant les actes créatifs et pendant le développement d'un projet d'architecture. À la différence des métaphores qui servent comme générateurs d'idées, les précédents sont vus comme porteurs de connaissance ce qui les rend réutilisables dans de nouvelles situations. D'où, d'après nous, le besoin d'un traitement différent des deux types de références dans les systèmes d'assistance à la CA qui les proposent aux concepteurs.

Étant donné d'un côté, le fait que les 'Top 10' écoles d'architecture aux États Unis sont des adeptes de *Knowledge-Based Design philosophy* (Vasquez, 2002a), et de l'autre, qu'un manque de connaissances architecturales commence à se faire sentir chez la nouvelle génération d'architectes (produit de l'atelier numérique), nous arrivons à la conclusion que l'exploitation des précédents comme porteurs de connaissances et de savoir-faire architecturaux est susceptible de contribuer à l'enseignement en atelier. Ce processus sera probablement naturellement amplifié par la 'culture de l'information en réseau' de la présente génération d'étudiants.

Il nous semble très important de souligner le rôle de la perception et de l'interprétation individuelle des références par chaque concepteur. Comme écrit Bilodeau (1997):

Use of precedents is inconceivable outside more complex reasoning patterns and conceptual systems which ultimately relate to systems of belief. Therefore, an

intelligent and conscious use of precedent depends on a responsible integration of these structures in the critical, reflective process of design thinking. (p.290)

Nous pouvons remarquer aussi que les systèmes numériques basés sur les précédents, ont pour objectif d'assister le concepteur en lui laissant la liberté et la souplesse créatives. Le rôle de ces outils se limite à la proposition de références pertinentes au bon moment (sur demande de l'utilisateur et guidés par lui). L'individualisation de l'environnement et du monde référentiel est fortement incitée. Les auteurs parlent de manipulation, même de création de connaissance, mais au fait, elles sont exprimées par des concepts (mots-clés) et il est difficile de penser que de nouvelles 'connaissances' peuvent être créées seulement par la réorganisation des mots qui les représentent.

Il y a plusieurs avenues possibles pour le développement d'outils d'aide à l'enseignement en architecture. Plusieurs d'entre eux sont complémentaires. Toutefois, il nous semble que Porada (2002) réussit à voir une perspective très intéressante pour l'avenir des dispositifs d'aide à la conception et à l'apprentissage :

Les outils informatiques peuvent devenir des instruments de simulation des modèles mathématiques ou des phénomènes physiques. À plusieurs reprises dans l'histoire de l'art et de l'architecture, ces modèles ont suggéré les formes et les idées nouvelles. [...] Grâce à la présence du langage, aujourd'hui déjà, les logiciels procéduraux permettent de décrire en langage formel les modèles spatiaux/temporels des phénomènes physiques et des surfaces mathématiques encore jamais accessibles à l'architecte. La récupération de leurs descriptions langagières au lieu des bases de données permet de les expérimenter visuellement à travers des paramètres variés en les modelant par approximations successives. (Porada, 2002a, p. 220)

La modélisation et la simulation de phénomènes et processus sont des avenues qui seront reprises plus tard dans ce travail de recherche.

Je ne sépare plus l'idée d'un temple de celle de son édification
(Paul Valéry, *Eupalinos*)

Chapitre 3. Aborder la complexité : l'approche intégrée et le processus

La conception architecturale est un processus complexe qui prend en compte d'innombrables aspects du contexte et du 'prétexte' d'un projet. Elle est aussi fortement influencée par l'expérience et la personnalité du concepteur. Avec la position systémique adoptée pour cette recherche, les aspects en question ne peuvent pas être isolés pour être traités, mais au contraire, devraient être considérés comme un tout avec les interactions entre eux. Dans le contexte de la conception architecturale, ceci s'exprimerait par une approche intégrée, qui fera notamment l'objet du premier point de ce Chapitre.

La considération et l'explicitation du processus sont fondamentales pour cette approche. Un objet en conception ne pourrait pas tenir compte de la complexité et répondre aux changements s'il est représenté en tant que résultat final seulement. Par contre, le représenter à travers des processus qui desservent la conception ou la génération de l'objet peut être une façon de répondre à cette complexité. Ce sujet sera discuté en deuxième point du présent Chapitre.

3.1 Conception architecturale intégrée

D'après un rapport de *l'American Institute of Architects (AIA)* sur l'accréditation des écoles d'architecture (AIA-Advisory-Committee, 2007), l'exigence d'une meilleure qualité et efficacité des projets architecturaux suppose une approche plus collaborative et *intégrée*ⁱ pendant le processus de design, que celle en vigueur dans la pratique professionnelle d'aujourd'hui. Selon le même document, une approche intégrée peut être rendue possible grâce à des outils de design intégrés, mais elle exigerait également l'enseignement de nouvelles connaissances et compétences aux futurs architectes.

Autrefois intrinsèque à l'architecture (les Michel-Ange et les Brunelleschi et d'autres étaient à la fois artistes, ingénieurs et architectes), mais avec l'instauration de traditions comme celles des Beaux Arts dans plusieurs écoles d'architecture, les connaissances techniques approfondies ne font plus partie intégrale de la profession. Pourtant, même les ordres grecs et romains à l'origine visaient à encapsuler les connaissances du métier. Ainsi, les calculs de structure et les tests de performance du bâtiment (thermique, acoustique, etc.) sont habituellement réalisés après le design architectural complété. Ceci engendre souvent la nécessité de modifications pour remédier à des décisions architecturales prises pendant une démarche où l'architecte est seul « maître » de la forme. Cette approche ne s'avère être l'optimale ni pour le processus de conception (qui prend plus de temps), ni pour la dimension économique de son résultat (utilisation de plus de matériaux et d'énergie).

L'introduction de l'ordinateur porte aussi sa part de responsabilité pour la tendance formelle dans l'architecture et son enseignement. La possibilité de réaliser de belles images de rendu réaliste d'un côté, et l'incapacité des systèmes informatiques de répondre à la complexité d'un bâtiment ou d'un espace architectural de l'autre, sont vues par certains chercheurs comme raisons de l'appauvrissement des connaissances du domaine auprès des étudiants en architecture (Vasquez, 2002a).

Il est alors possible de comprendre la nécessité d'enseigner une approche holistique qui tient compte de la complexité et qui contribue à la formation d'architectes capables de considérer des aspects structuraux, environnementaux et sociaux tout en profitant de moyens informatiques.

La problématique de ce sujet peut être articulée autour de trois axes principaux :

- a. la conception intégrée comme réponse à la complexité de la réalité,
- b. les moyens numériques pouvant assister ou même augmenter ce processus, et
- c. l'enseignement de la conception intégrée, aspects collaboratifs et autres.

3.1.1 La conception intégrée: réponse à la complexité de la réalité

La conception architecturale intégrée se soucie de lier et d'intégrer des connaissances et du savoir-faire ayant comme source les arts et les sciences proches de l'architecture (Bachman, 2003). Il s'agit, de tenir compte de forces structurantes, structurelles et environnementales souvent abstraites, mais qui, si considérées, peuvent influencer la forme

du futur bâtiment pour optimiser sa performance. D'ailleurs, une analogie avec la nature (qui dans son rôle « d'architecte » optimise les formes de point de vue matériaux et énergie), nous amène à la pensée de d'Arcy Thompson: « La forme d'un objet est un 'diagramme de forces' qui ont agit ou agissent sur lui » (dans le livre *On Growth and Form*, 1917, (Thompson, 1942)

Entre les maintes aspects qui peuvent être intégrés au début du processus de design (social, culturel, économique, structurel, climatique, etc.), c'est surtout les aspects écologiques qui sont dernièrement le plus souvent considérés. Cet intérêt commence durant les années 1970-1980 pour perdre de force les années suivantes et réapparaître très récemment suite à l'inquiétude de réchauffement de la planète. Il représente la réponse indispensable des architectes pour contribuer à l'amélioration de l'environnement. Cependant, pour qu'il ne reste pas seulement un phénomène de mode, mais qu'il contribue à l'élaboration d'une nouvelle philosophie de design, il semble nécessaire que les considérations climatiques et environnementales soient comprises en profondeur. De plus, elles devraient être vues comme faisant partie d'une panoplie de paramètres non-géométriques (abstraites) qui pourraient influencer une forme architecturale (Seeböhm, 2007).

Ainsi, d'après Yeang (2006), le mot clé pour l'éco-design est *intégrer*. Selon cet auteur, il faut, en priorité, optimiser une forme architecturale en 'mode passif' sans utiliser de sources d'énergies non-renouvelables et en fonction des conditions locales. Et c'est seulement après que le concepteur devrait considérer l'implication d'autres modes pour améliorer encore plus la performance énergétique.

Au niveau structurel, il est possible de remarquer que des exemples marquants de l'architecture sont très souvent l'œuvre d'un créateur avec double formation d'ingénieur et architecte (Calatrava, 2002). Ainsi, ce sont les connaissances scientifiques de l'ingénieur ainsi que la créativité et la sensibilité sociale et culturelle de l'architecte qui peuvent donner naissance à des idées expressives et optimales des points de vue structurel et énergétique. Il serait, alors, avantageux pour les architectes de pouvoir utiliser et manipuler des connaissances scientifiques d'un niveau technique plus élevé pendant le processus de conception, pour ne pas laisser cette étape à des experts uniquement.

Cependant, acquérir les connaissances techniques n'est pas une garantie pour leur intégration pendant le processus créatif. Une compréhension du monde dans sa complexité s'impose. Ceci implique la nécessité d'une approche holistique au design des formes

architecturales (Seebohm, 2007; Tidafi, 2007). Comme la nature ne sépare pas ses efforts au niveau de l'esthétique, de la stabilité et du lien avec l'environnement, ainsi un architecte devrait penser, dès le début de la conception, de plusieurs aspects architecturaux et leur permettre d'influencer la forme architecturale en conception.

3.1.2 Les moyens numériques pouvant assister ou augmenter ce processus

Les outils informatiques déjà omniprésents dans la pratique d'architectes et d'ingénieurs, ainsi qu'à l'université, sont passés par plusieurs phases de développement et d'utilisation. Cependant, pour l'instant, ils s'avèrent non adaptés pour la conception intégrée (Seebohm, 2007). Les tests de structure et de performance sont habituellement faits par des spécialistes et ceci après la prestation de l'architecte. De cette façon, ils ne peuvent pas jouer un rôle de 'médiun' et contribuer à un design innovateur et optimisé.

La plupart des systèmes informatiques élaborés dans le but de suggérer des connaissances techniques à l'architecte, sont des systèmes experts basés sur l'évaluation des qualités de l'objet en conception selon les critères pris en compte. Un tel système est *The Expert Design Advisor* proposé par Pohl (2000). Les domaines considérés par lui sont: structurel, thermique, acoustique, lumière naturelle et artificielle, conservation de l'énergie et estimation des coûts. Cependant, cet assistant reste un outil d'évaluation du design et reste incapable de proposer des nouvelles solutions ou variations.

Se référant aux quatre classes paradigmatiques de modèles numériques identifiées par Oxman (2006b), c'est surtout la classe 'performance' qui s'applique à l'approche intégrée. Un nouveau terme, 'architecture performative', a été initié pour indiquer l'utilisation de la performance du bâtiment comme principe dominant du design (Kolarevic, 2003). Ce type de conception se base sur des simulations guidées par d'informations et de données abstraites. Ces dernières peuvent représenter des 'mondes' complètement différents: financier, spatial, social ou culturel, jusqu'au monde purement technique structurel, thermal, acoustique, etc.). Par conséquent, nous pouvons nous attendre que l'importance augmentée de la performance d'un bâtiment redéfinisse les attentes par rapport au design, son processus et sa pratique.

Ainsi, la complexité pourrait être prise en charge, au moins en partie, par les modélisations de l'objet en conception. Le processus de sa genèse deviendrait un élément essentiel au

modèle (Le Moigne, 1990). Ceci donnerait la possibilité aux designers de concevoir non pas seulement le résultat final de leurs idées, mais de créer une ‘potentialité’ de résultats modifiables à partir de processus génératifs et/ou forces d’influence. Nous pourrions, donc, commencer à considérer l’ordinateur comme membre de l’équipe qui a la ‘liberté’ d’assister des décisions et d’influencer directement la forme.

3.1.3 L’enseignement de la conception intégrée : aspects collaboratifs et autres

Dans ce contexte nécessitant un changement paradigmatique, une question s’impose : Comment les enseignants sauront continuer à répondre au ‘pourquoi’ du design, tout en ajoutant la nouvelle dimension du ‘comment’, et ceci en tirant profit du médium numérique.

Il existe peu d’exemples précurseurs d’enseignement en architecture utilisant une approche intégrée et profitant des méthodes numériques. Ainsi, (Weinand, 2004) présente une démarche architecturale mettant l’accent sur la conception de modèles susceptibles d’évoluer par la suite, en intégrant pendant une des phases du projet des étudiants en génie civil.

Dans le cadre d’un cours pour les futurs ingénieurs, Mullins & al. (2005) considèrent les forces des charges de la structure comme source d’inspiration pour la génération de la forme. Un logiciel spécial a été conçu pour ‘dessiner’ la forme nécessaire et suffisante pour la transmission des forces d’une configuration donnée. De cette façon, l’approche n’est pas évaluative, mais plutôt suggestive par rapport à la créativité.

Si la collaboration entre étudiants de différentes disciplines participantes dans le processus de conception d’un bâtiment pourrait être très enrichissante et formatrice, il n’y a pas un bon nombre de telles interactions. L’expérience du Décathlon Solaire est une de ces expériences de collaboration entre les Écoles d’architecture avec les ingénieurs civils, mais ce projet se soucie surtout des aspects de la performance environnementale d’un bâtiment et ne profite pas spécifiquement des moyens informatiques.

Malgré ces débuts prometteurs, il est possible de constater qu’une théorie permettant l’intégration de connaissances techniques approfondies dans le processus de projection architecturale reste à être développée. Plusieurs études cognitives montrent des différences dans les méthodes de création chez l’architecte et chez l’ingénieur (Lawson 1984). Mais la

question qui recherche une réponse valable est si ceci n'est que le résultat de la formation différente des uns et des autres, faudrait-il encourager cette différence.

Les cas du design intégré sont une précieuse source de connaissance pour les étudiants, mais ils restent souvent non-explicités, donc cachés. Tandis qu'il est d'une grande importance de communiquer le processus de design.

3.2 Entre processus et résultat en atelier d'architecture

La considération du processus ou seulement de son résultat peut être observée dans deux contextes liés à la problématique de cette recherche: par rapport à l'enseignement du processus de conception architecturale, et aussi, par rapport à la considération (ou non) des actions ou évolutions qui génèrent (ou ont généré) un objet d'architecture. Ces deux aspects sont liés entre eux, étant donné que c'est souvent notamment un certain processus de conception qui avait généré un objet donné. Mais, ce n'est pas toujours le cas. Dans ce qui suit, nous allons discuter ces deux volets de la problématique, tout en gardant une épistémologie constructiviste.

3.2.1 L'enseignement du processus de la conception architecturale

Certaines sources bibliographiques qui explorent l'enseignement de la conception architecturale, montrent la présence de deux approches opposées: l'approche behavioriste et l'approche constructiviste¹. La première valorise l'excellence du résultat obtenu lors des exercices pratiques de l'enseignement, alors que la seconde met l'importance sur l'apprentissage du processus qui mène à un bon résultat (Le Moigne, 1995; Yakeley, 2000). Dans la littérature spécialisée, l'approche behavioriste perçoit le cerveau comme une boîte noire qui n'a pas besoin d'être étudiée ou expliquée. Les processus mentaux ne sont pas considérés comme très importants. La complexité est subdivisée à des processus élémentaires qui peuvent être utilisés comme des briques de construction, de la façon qui ressemble à celle avancée par la méthode de « résolution de problèmes » (Yakeley, 2000). L'approche behavioriste ne semble pas appropriée pour l'enseignement d'un processus créatif et complexe comme la conception architecturale. Le futur architecte devrait et a besoin de s'approprier ce processus par une participation active dans l'apprentissage.

¹ Caractérisée dans Piaget, 1970.

C'est l'approche constructiviste qui offre cette possibilité aux étudiants. Schön décrit le modèle constructiviste de l'enseignement dans les écoles d'architecture ainsi: « *Students learn to develop their designs in small but significant incremental steps, to understand the link between process and product* ». Les étudiants sont incités à comprendre certains types de processus cognitifs chez les architectes expérimentés et ceci facilite l'élaboration de leur propre démarche de conception. Pour arriver à ce but, l'emphase est mise sur l'enseignement du processus et non pas du résultat. Ainsi, d'après Yakeley (2000):

[T]he process of designing is an activity of constant learning within a Constructionist framework. Therefore architectural education needs to teach students this Constructionist view of learning, often at odds with the predominantly Behaviourist view of learning taught to them through their high-school years. (p. 211)

Dans le contexte du design numérique, selon Oxman (2006b), il y a plus de possibilités d'accommoder la complexité. Mais il ne faut pas s'arrêter là, il faudrait aussi le supporter à l'avenir. Ainsi, en lien avec la surconsommation visuelle et le désir de montrer de belles images du projet, Rivka Oxman discute de la difficulté d'évaluer la démarche de conception architecturale en atelier. Les étudiants sont plutôt évalués selon la qualité et la communicabilité de leurs présentations devant les critiques. Cependant, même si la communication d'un projet d'architecture est une étape très importante dans le développement du projet, elle n'est pas l'essence de l'architecture conçue. La distorsion dans cette direction est encore plus grande après l'introduction de l'informatique comme moyen de représentation. D'après cet auteur, malgré l'assomption qu'une représentation externe démontre de la compréhension du processus de design, il n'est pas possible d'évaluer si elle ne démontre que la compréhension du processus de création de représentations externes (Oxman, 1999).

Akin exploite cette problématique du point de vue de l'appropriation d'un processus de design pour son utilisation dans une nouvelle situation. Nous avons déjà discuté des trois types de faiblesses dans l'enseignement en architecture que cet auteur a identifiés, soit:

Owing to its traditional focus on the product-based precedent in the design studio, students are often provided with little or no instruction on the process of design. When students analyze a precedent, they start by understanding its physical characteristics and from there they move on to abstracting the conceptual aspects of the design. Nowhere in this picture is there any room for analysis of the process. Unless for some unusual reason the process is manifested in the overt physical characteristics of the final design, such as in building failure cases, students are generally uninformed about the process of design. Thus the present form of design instruction does not support the teaching of process or design methods well enough. (Ömer Akin, 2002, p. 412)

Dans le cadre de cette thèse, une réponse à la question de la compréhension des référents sera recherchée par observation en atelier d'architecture (Chapitre 5).

En résumé, nous pouvons constater que plusieurs auteurs se préoccupent du manque d'enseignement du processus de la conception en architecture. Comme l'évaluation de l'élaboration d'un tel processus est très difficile (étant donné le type de présentations finales acceptées dans la pratique de l'atelier), certains chercheurs proposent des approches comme la programmation informatique pour faciliter l'élaboration d'une démarche individuelle. Ces sujets sont approfondis d'un point de vue cognitif dans le cadre du Chapitre 8 (point 8.2.3).

3.2.2 Actions ou évolutions qui génèrent un objet d'architecture

Le deuxième volet de l'importance du processus en enseignement de l'architecture, porte sur la considération (ou non) des actions ou évolutions qui génèrent (ou ont généré) un objet d'architecture. Nous avons déjà retenu l'importance des référents et des expériences précédentes dans le processus créatif. Nous avons aussi remarqué certaines caractéristiques essentielles que ces éléments devraient posséder pour convenir au raisonnement créatif architectural : expression visuelle, organisation dynamique, et, entre autres, incarnation de connaissances implicites. En conséquence, dans ce qui suit, nous allons considérer la question : Comment ces caractéristiques seraient mieux prises en charge dans un Espace de conception : par le processus de leur genèse ou par le résultat uniquement?

On a eu déjà l'occasion de discuter que dans un atelier spécialisé, Yakeley a comme objectif d'aider les étudiants de comprendre certains types de processus cognitifs chez les architectes expérimentés et de faciliter l'élaboration de leur propre démarche de conception. Pour arriver à ce but, elle met l'accent sur l'enseignement du processus et non pas du résultat.

It is proposed [...] that a separation of process from product in architectural pedagogy is of educational benefit to students. The separation of the architectural meaning of the student's work from the creation of the artifact traditionally used to express it, can give the student a unique chance to develop her own design process, freed from the constraints of studio brief requirements, jury restrictions, and model and drawing production. (Yakeley, 2000, p.93)

La modélisation par la programmation informatique est la méthode qu'elle utilise, ce qui amène les étudiants à expliciter leurs intentions, pour les encoder, et voir ensuite plusieurs

instances visuelles de leurs intentions (comme décrit à l'aide d'un langage de programmation).

Pour atteindre ces objectifs, Yakeley propose une approche d'enseignement en atelier par la programmation informatique. Voici comment elle décrit sa méthode et l'impact attendu sur l'apprentissage en architecture:

Computer programming used in a Constructionist pedagogical framework offers the opportunity to develop a better understanding of a personal design process; [...] this development is enhanced by the separation of process from product; and whilst the student is developing a better understanding of her own design process she is simultaneously developing her perception of the role of digital media in design. (Yakeley, 2000, p. 29)

Cette approche n'est pas encore véritablement considérée par les créateurs des logiciels en usage dans la pratique et en atelier. C'est très récent que certains logiciels commencent à offrir des langages de *script*¹, mais étant donnée l'absence de culture de programmation informatique chez les étudiants en architecture, l'introduction d'une telle approche devrait être d'abord bien étudiée et préparée.

On aura l'occasion d'explorer certains types de modèles paramétriques, qui commencent à gagner en popularité (Chapitre-1.4) sous l'influence de certains architectes avant-gardistes, et qui peuvent répondre au besoin de communiquer le processus (Aish, 2005; Oxman, 2006a).

3.3 En conclusion

Le Chapitre 3, a révélé la nécessité d'accommoder et même de supporter la complexité de la réalité ainsi que celle du processus de design. Une approche à la conception intégrant des connaissances de disciplines annexes à l'architecture et cela pendant la phase conceptuelle du projet aiderait à répondre à ce besoin. De plus, le design intégré est optimal dans le contexte d'exigences élevées par rapport à la durabilité et l'optimisation énergétique des bâtiments projetés.

Cependant, les moyens informatiques ne se font présents qu'en tant qu'évaluateurs d'un design déjà fait. Pourtant, suivant les modèles 'performatifs', l'exploitation de

¹ À l'exception de AutoCAD qui a toujours offert AutoLISP comme langage de programmation, lié au logiciel.

connaissances et du savoir-faire du domaine pourrait être une riche source d'explorations architecturales.

Il est possible aussi de souligner le rôle important que la notion constructiviste du 'processus' pourrait jouer en atelier d'architecture : au niveau de l'élaboration d'une démarche de conception propre à chaque étudiant, et aussi au niveau de sa mise à contribution pour la modélisation de l'objet en conception. Ainsi, enseigner le processus de design commence à être vu comme une nécessité pédagogique quand il s'agit de design avec le numérique. Une pensée de Yakeley va à l'extrême de cette direction. Elle émet l'hypothèse suivante: « *Advances in technology open up new possibilities for design pedagogy. Perhaps the best way to teach the design process is not through teaching design in studio.* » (Yakeley, 2000)

Toutefois, il n'y a pas beaucoup d'essais d'applications (informatiques ou autres) basées sur cette approche. Ceci s'avère donc une piste prometteuse à considérer comme moyen d'assistance de l'enseignement en architecture. Cependant, selon la grande majorité des chercheurs, l'atelier (*the studio*) semble incontournable comme lieu d'intégration de connaissances et de mise en pratique des principes déjà appris en cours ou découverts pendant l'atelier même. Ainsi, suivant l'objectif de proposer des méthodes et des outils d'apprentissage pour enrichir et augmenter le processus de design grâce à l'ordinateur, l'accent de cette recherche continue d'être mis sur l'enseignement en atelier.

Discordances relevées en conclusion de la Partie-I

Ayant comme point de départ l'objectif de cette recherche, qui est de proposer des méthodes et des moyens d'apprentissage pour enrichir et augmenter le processus de design grâce à l'ordinateur, et après la revue de la littérature faite dans la Partie-I, il est possible d'identifier les discordances suivantes entre les positions théoriques et la pratique de l'atelier comme décrites dans la littérature :

1. Nécessité de transférer du savoir-faire lors de l'enseignement de la CA en atelier :
 - C'est plutôt la représentation du résultat final qui est prisée.
2. Volonté de recourir aux référents pour y trouver des inspirations, des méthodes et du savoir-faire :

- À cause de la prédominance de la composante visuelle (images), les méthodes et les savoir-faire restent inconnus.
3. Exigence de concevoir des bâtiments de façon responsable et durable :
 - L'approche intégrée au design est rarement considérée.
 4. Besoin d'aider l'étudiant à créer sa propre démarche créative et de créer son propre Espace de conception :
 - Le processus est habituellement caché derrière des images fixes.
 5. Importance de créer son propre Espace de conception :
 - Ce concept ne semble pas être explicitement introduit en atelier, selon la littérature.

Toutes ces discordances sont amplifiées par le fait que les logiciels utilisés couramment en atelier ne se prêtent pas aux nécessités évoquées. Mais le développement des méthodes informatiques permettrait déjà de formuler une réponse, au moins partielle, à ces discordances.

Avec plus de détail, le premier constat mentionné plus haut concerne le transfert des savoir-faire architecturaux : La revue de la littérature a permis de constater qu'avec la méthode moderne d'enseignement en architecture, le transfert de savoir-faire a été remplacé par la représentation du résultat final du projet, souvent complètement détaché du processus de sa création. De plus, les méthodes de représentation numériques et l'effet attirant des rendus photo-réalistes faits à l'ordinateur accentuent la tendance de poursuivre (et évaluer) un 'beau résultat' sans nécessairement tenir compte du savoir-faire architectural acquis. Ainsi, certains auteurs parlent d'une situation 'alarmante' des connaissances architecturales des étudiants créée par l'introduction spontanée de l'ordinateur en enseignement de l'architecture. Il devient possible de formuler l'exigence que les habilités informatiques ne soient pas développés au détriment des connaissances fondamentales en architecture. Un autre objectif serait de mettre l'importance sur l'apprentissage des savoir-faire architecturaux et de trouver des moyens pour les évaluer.

La deuxième discordance est par rapport au recours aux référents : Se basant sur la littérature, il est possible d'affirmer le rôle primordial que ces derniers jouent durant les

actes créatifs et pendant le développement d'un projet d'architecture. À la différence des métaphores qui servent comme générateurs d'idées, les précédents sont vus comme porteurs de connaissance qui est réutilisable dans de nouvelles situations. Cependant, il est souvent difficile, même impossible d'extraire ces connaissances pour les appliquer dans des nouveaux projets. Ceci est valable tant pour les représentations traditionnelles (magazines) que numériques (bases de référents). De plus, la prédominance des représentations visuelles produit un effet de surface à l'heure du transfert analogique vers le nouveau projet.

La troisième discordance soulignée vient de la nécessité d'accommoder et même de supporter la complexité de la réalité ainsi que celle du processus de design. Une approche à la conception intégrant des connaissances de disciplines annexes à l'architecture encore pendant la phase conceptuelle du projet, aiderait à répondre à ce besoin. Cependant, les moyens informatiques ne se font présents qu'en tant qu'évaluateurs d'un design déjà fait. Pourtant, suivant les modèles 'performatifs', l'exploitation de connaissances et du savoir-faire du domaine pourrait être une riche source d'explorations architecturales.

La quatrième discordance relevée souligne le rôle important que la notion constructiviste du 'processus' pourrait jouer en atelier d'architecture : au niveau de l'élaboration d'une démarche de conception propre à chaque étudiant, et aussi au niveau de sa mise en contribution pour la modélisation de l'objet en conception. Comprendre et communiquer le processus de design commence à être vu comme une nécessité pédagogique quand il s'agit de design avec le numérique. Cependant, le processus reste habituellement caché derrière des images ou résultats figés, ne permettant pas sa compréhension et/ou évaluation. Au niveau pédagogique, le rôle d'un 'troisième homme' pour enseigner une connaissance pratique a été relevé. Dans le cadre de cette recherche, ce rôle pourrait être facilité par un assistant numérique à l'apprentissage de la conception architecturale.

Au niveau didactique, les possibilités données par une éventuelle appropriation de l'Espace de conception sont à considérer. La littérature ne donne pas d'indices pour son utilisation explicite en atelier.

La période de changements que l'architecture vit aujourd'hui est propice à l'émergence de méthodes susceptibles de résoudre ces discordances. Ainsi, les chercheurs s'attendent à un changement radical de la pratique, du au rôle que des moyens informatiques joueraient pendant le processus de création pour mériter le nom de Conception *Augmentée* par

Ordinateur. À un niveau plus concret, nous pouvons émettre l'hypothèse que l'exploitation des référents comme porteurs de connaissances et de savoir-faire architecturaux est susceptible de contribuer à l'enseignement en atelier.

Question de départ : précision-1

En relation avec les discordances relevées plus haut, il devient possible de spécifier la question de départ, notamment : Comment l'enseignement de la conception architecturale pourrait tirer avantage des moyens informatiques?

À présent, nous allons concrétiser les avantages ciblés par cette recherche en se basant sur les discordances relevées ci dessus. La question prend, à cette étape des recherches, la forme suivante :

Comment les moyens informatiques pourront être mis à contribution pendant l'enseignement de la conception architecturale dans le but de pouvoir transférer du savoir-faire, permettre de recourir aux référents pour y trouver des inspirations et des méthodes, répondre aux exigences de concevoir des bâtiments de façon responsable et durable, et aider l'étudiant à créer sa propre démarche créative ?

Une ébauche de réponse commence à émerger en poursuivant la deuxième partie de chaque discordance. Il s'agit de la prise en considération du processus, ainsi que de l'intégration de connaissances du domaine pendant la conception du projet. Cependant, cette réponse reste encore partielle et incomplète. Une solution mieux fondée et plus complète sera proposée et mise à l'épreuve dans les prochains chapitres. Dans ce qui suit, la méthodologie utilisée pour définir cette solution sera présentée.

Il est presque impossible, en sciences de l'esprit,
de séparer ce qui est l'objet de la recherche de ce qui relève du chercheur lui-même.
(Dilthey , 1883)

Méthodologie de la recherche : précision de l'approche qualitative

La méthodologie est la science qui étudie les méthodes selon lesquelles les recherches peuvent être menées. Elle est dynamique et évolue avec l'introduction de nouveaux instruments, outils et approches de recherche.

Dans son livre sur la recherche en pédagogie¹, Van der Maren (1996) définit une méthode de recherche comme :

Un ensemble d'opérations systématiquement et rationnellement enchaînées afin de:

- relier avec consistance l'intention, le but, l'objectif de la recherche; la manière de poser le problème; les techniques de constitution du matériel et leur validation; les techniques de traitement transformant les données en résultats; les procédures d'interprétation des résultats et de leur vérification; la justification des différents choix;
- répondre aux critères formels et opérationnels auxquels elles doivent s'astreindre pour se voir accorder la crédibilité recherchée. (Van der Maren, 1996, p. 112)

Dans l'Introduction, nous avons défini l'approche pour cette recherche comme nécessairement qualitative. Ici, la méthode utilisée est précisée.

Selon Creswell (2007), pendant les dix dernières années, on a été témoin d'une variation augmentée dans l'application des approches qualitatives principales, ainsi qu'à des méthodologies qui combinent deux ou plus de ces approches. Pour pouvoir définir la méthode la plus appropriée pour mener notre recherche, quelques méthodes qualitatives serviront de base. Il s'agit de méthodes utilisées largement en éducation et en sciences sociales : étude de cas, théorie ancrée et recherche action participative. Certaines spécificités de la recherche en design seront aussi prises en compte. Un schéma synthétisera le rôle de chacune de ces méthodes dans l'approche adoptée.

¹ Dans les livres qu'il écrit sur la recherche en éducation, Van der Maren se positionne parfois du point de vue d'un praticien (Van der Maren, 1999), et parfois, de la perspective d'un chercheur en pédagogie (Van der Maren, 1996).

Étude de cas

Parmi les « traditions¹ » de la recherche qualitative étudiées par Creswell (1998) (ethnographie, théorie ancrée², étude de cas, phénoménologie, biographie), c'est l'étude de cas qui pourrait contribuer le plus à cette recherche. Cette approche étudie en profondeur une situation bien définie dans l'espace et le temps. Elle se base sur de multiples sources d'information, avec plusieurs types de données recueillies. En résultat d'une recherche de ce type, le chercheur est capable d'établir un 'rapport' des 'leçons apprises' de ce cas d'étude.

D'après Creswell (Creswell, 1998, 2007), une telle recherche se concentre sur un événement ou un processus, pour lequel on aimerait avoir une perspective 'profonde'. La recherche commence avec une question ouverte, non-directionnelle (quoi, comment ou pourquoi). Souvent, l'étude de cas se base sur une théorie dès le début. Ceci n'est pas une caractéristique désirée pour les buts de la recherche exploratoire en atelier, mais d'autres caractéristiques de cette méthode sont précieuses pour nous.

Selon Yin (1989),

...case studies are the preferred strategy when "how" and "why" questions are being posed, when the investigator has little control over events, and when the focus is on a contemporary phenomenon within some real-life context. (p. 13)

Le rôle du contexte est très important quand il s'agit d'éducation et du design. Souvent il est impossible de séparer le processus étudié du contexte.

Une comparaison entre l'étude de cas et l'expérimentation³ (qui fait partie des méthodes quantitatives de recherche) montrerait que l'expérimentation crée une situation de laboratoire où le chercheur peut manipuler le comportement des participants de façon

¹ Creswell (1998) utilise le terme « tradition » pour signifier chacune des approches qualitatives.

² En anglais: *grounded theory* (Glaser & Strauss, 1967)

³ En anglais, *experiment* désigne le plus souvent une méthode contrôlée de laboratoire d'observer le comportement des « sujets expérimentaux » par rapport à des variables isolées (Schwandt 2001). En français, ce terme est souvent traduit par 'expérience'. De l'autre côté, le mot *experience* existe aussi en anglais et est utilisé plus souvent (mais pas uniquement) dans le sens de séance d'observation dans le cadre de recherches qualitatives. Dans le cadre de ce travail, nous utilisons le terme 'expérimentation' dans le sens de '*experiment*'. Les séances d'observations spéciales et ponctuelles que nous menons avec les étudiants sont appelées 'expériences d'observation' ou juste 'expériences'. Ce terme est encore plus justifié à cause de l'expérience pédagogique que ces séances représentent pour les étudiants.

précise et systématique (Yin 1989). De plus, les variables observées doivent être bien isolées ; la validité de l'expérimentation est assujettie à sa répliquabilité.

Inversement, il est impossible de répéter une étude de cas selon des conditions identiques. Dans ce cas, la théorie par laquelle la recherche commence, est utilisée comme matrice (*template*) de comparaison pour les résultats empiriques. Si deux 'cas' étudiés supportent la même théorie, une répliquabilité peut être proclamée (Yin 1989, 2004).

De façon similaire à l'expérimentation, une étude de cas peut être généralisée vers des propositions théoriques, mais non pas vers une population générale. La différence réside dans la méthode de généralisation qui est effectuée par la statistique dans le premier des cas, et par la 'généralisation analytique' dans le deuxième des cas (Yin 1989). A cette étape, il est à faire remarquer qu'étudier des 'cas' multiples n'est pas équivalent à avoir participants multiples dans une expérimentation (*sampling - in a survey*).

Étant donné le lien fort et toujours présent avec le contexte, une étude de cas peut être modifiée ou révisée même après le début de la recherche, pour mieux s'adapter au terrain ou aux objectifs scientifiques. Yin souligne une autre spécificité de cette approche: la participation directe du chercheur.

...in a case study, there is little room for the traditional research assistant. Rather, a well-trained and experienced investigator is needed to conduct a high-quality case study because of the continuous interaction between theoretical issues being studied and the data being collected. During data collection, only a more experienced investigator will be able to take advantage of unexpected opportunities rather than being trapped by them... (Yin, 1989 p. 62).

Ainsi, en enseignement, avec l'implication du chercheur, l'étude de cas commence à avoir des caractéristiques de la recherche-action participative.

Les données amassées pendant l'étude de cas proviennent de sources multiples: documents, enregistrements vidéo, entrevues, observations, observations participatives, photos, courriels, etc.

L'analyse se fait par la description et la recherche de thèmes communs.

La recherche de ce type résulte un rapport qui n'a pas de forme préétablie, mais s'approche d'une description du phénomène observé, identification des problèmes et parfois, recherche d'explications (Yin 1989, 2004). La complexité d'une telle étude ne permet pas

de conclusions strictes et scientifiquement rigoureuses. Cependant, la compréhension du cas étudié est approfondie et certaines explications pourront être trouvées.

Théorie ancrée

Des méthodes propres à la ‘théorie ancrée’ vont être aussi employées dans le cadre de cette recherche. Elles donnent des outils pour créer un modèle théorique d’une situation ou d’un processus étudié. Le focus de cette méthode est de développer une théorie ancrée dans les données réelles.

D’après Schwandt (2001), la méthode de cette approche qualitative emploie simultanément des techniques d’induction, déduction et vérification pour développer une théorie. Les expériences avec les données génèrent des hypothèses et des questions qui sont, après, poursuivies à l’aide de nouvelles données. Les réponses tentées et les concepts construits sont vérifiés par une nouvelle cueillette de données.

Ainsi, cette approche engendre un processus itératif de la cueillette des données :

Data collection in grounded theory is a "ziz-zag" process - out to the field to gather information, analyse the data, back to the field to gather more information, and so forth.... How many passes one makes to the field depends on whether the categories of information become saturated and whether the theory is elaborated in all its complexity. (Creswell, 1998, p. 56)

Dans le cadre de cette recherche, des observations en atelier devraient être alternées de travail d’analyse et modélisation théorique.

Au niveau de l’analyse des données, le chercheur développe des catégories d’information qui sont entre-reliés. Ce processus d’extraire des informations des données et de les comparer aux catégories émergents est appelé la ‘méthode de comparaison constante’ (*constant comparative method*) de l’analyse des données (Glaser & Strauss, 1967; Strauss & Corbin, 1990).

À la différence avec l’étude de cas, cette approche ne commence pas par une théorie. Cette dernière émerge à partir de la recherche et se base sur des constructions de catégories. La procédure de la méthode doit être systématique et bien explicitée dans le rapport de recherche.

La cueillette des données se fait typiquement par des entrevues. L’analyse des données a deux étapes : codage ouvert et puis, codage axial (*open coding, then axial coding*)

(Creswell 1998, 2007). Pendant le codage ouvert, le chercheur identifie les catégories initiales d'information sur le phénomène étudié en consolidant (*cementing*) l'information. Une fois cette étape terminée, les données sont assemblées d'une nouvelle façon, autour des axes principaux découverts.

La théorie créée est articulée vers la fin de la recherche. Elle est souvent représentée par des diagrammes et schémas visuels qui complètent les propositions théoriques et les hypothèses. Ce sont ces méthodes qui seront employées dans le cadre de cette recherche.

Recherche-action participative

Nous avons déjà mentionné le double-objectif de la recherche en éducation : faire avancer la science et en même temps améliorer et perfectionner sa propre méthode d'enseigner. De cette manière, le chercheur devient aussi acteur dans le contexte qu'il est en train d'étudier. Il est susceptible d'agir pour changer ce contexte en fonction des découvertes qu'il fait pendant sa recherche. Cette approche méthodologique s'appelle « recherche-action¹ » ou encore « recherche-action participative ».

Selon Dilthey (1883), cité par Poisson (1991) :

Il est presque impossible, en sciences de l'esprit, de séparer ce qui est l'objet de la recherche de ce qui relève du chercheur lui-même. Ce dernier peut arriver à une connaissance exacte des humains uniquement parce qu'il est en mesure de partager avec eux une "expérience de vie" commune. Le travail majeur de la personne qui fait des sciences humaines est en somme d'interpréter ce que vivent les êtres humains. Cette notion d'interprétation est fondamentale dans la recherche qualitative. (p. 13)

La nature de la présente recherche implique à la fois la participation du chercheur dans l'atelier qui sert de terrain d'étude, ainsi que des actions qui changent dynamiquement le contexte de la recherche. Dans ce sens, la recherche-action nous semble très appropriée pour l'expérience envisagée.

D'après Schwandt (2001), c'est une méthode de recherche qualitative, développée pour les disciplines sociales, qui se manifeste comme une spirale de cycles superposés de planification, action, observation et réflexion. De leur part, (Dewey, 1966) et (Argyris & Schön, 1978) parlent de 'science-action' qui essaie d'avancer la connaissance théorique,

¹ Par recherche-action, on désigne une recherche qui est menée de sorte que les acteurs sociaux sujets de la recherche s'y trouvent eux-mêmes engagés en contribuant à identifier et à élaborer une solution du problème étudié (Poisson, 1991, p. 23).

tout en essayant de résoudre des problèmes pratiques. Plus tard, dans le contexte de l'éducation, (Parsons, Hinson, & Sardo-Brown, 2001) cette méthode est définie comme une recherche qui est provoquée par un problème pratique, et est planifiée et menée par la personne qui, très probablement, profiterait le plus des résultats. A la fin, les résultats sont incorporés dans la pratique. Ainsi décrite, cette méthode promet un enrichissement de la recherche entreprise.

Une étude de la méthodologie des recherches en design, a montré qu'il n'y a pas une méthode consensuelle. Plutôt, une amalgame d'approches qualitatives et quantitatives est mise en place pour répondre à chaque question spécifique posée.

Méthodologie qualitative définie dans le cadre de cette recherche

Selon Van der Maren (1996): [la recherche qualitative] tente de se rapprocher au plus du monde intérieur, des représentations et de l'intentionnalité des acteurs humains engagés dans des échanges symboliques comme ils le sont en éducation (p. 103). Ainsi, nous avons choisi une approche qualitative. A cause des multiples facettes de l'apprentissage étudiées, et aussi du fait que la recherche se déroulait au fur et à mesure avec la pratique d'enseignement en atelier, plusieurs méthodes qualitatives contribuent également à la définition de la méthode de recherche adoptée.

Le schéma sur la Figure 2 démontre notre compréhension de la relation entre quatre des approches de base, par rapport à la composante 'temps' ainsi qu'en fonction du niveau d'implication du chercheur sur le 'terrain'. Il faut noter que ce sont les seuls deux critères pris en considération sur la figure et qu'ils ne représentent pas du tout toutes les différences entre les méthodes dont les noms apparaissent dans les quatre coins du schéma¹.

¹ Tableaux comparatifs sur les approches qualitatifs selon différents critères peuvent être trouvés dans Creswell (1998, 2007)

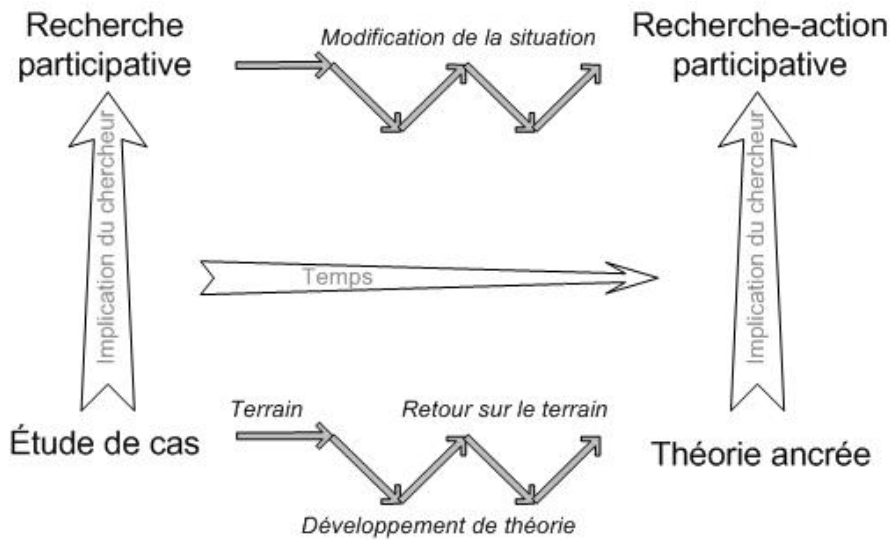


Figure 2: Relations selon les composantes 'temps' et 'implication du chercheur' entre certaines méthodes qualitatives de recherche

Étant donné qu'aucune des méthodes qualitatives ne pouvait pas être appliquée dans son état pur pour cette recherche, nous avons combiné des aspects de plusieurs d'entre elles pour en définir une qui conviendrait aux objectifs définis (Fig. 3). Ainsi, l'implication du chercheur devient essentielle dans le contexte de l'éducation. La durée dans le temps et les objectifs de la recherche ont fait réaliser plusieurs études de cas. Elles ont servi comme 'terrain' sur lequel la théorie développée en parallèle a été 'ancrée'. Les actions du chercheur-enseignant, font changer la situation (les méthodes d'apprentissage, par exemple). De cette façon, chaque fois quand le chercheur retourne sur le terrain pour vérifier et 'ancrer' sa théorie, il réalise une étude de cas dans un contexte évolué par rapport à la situation précédente.

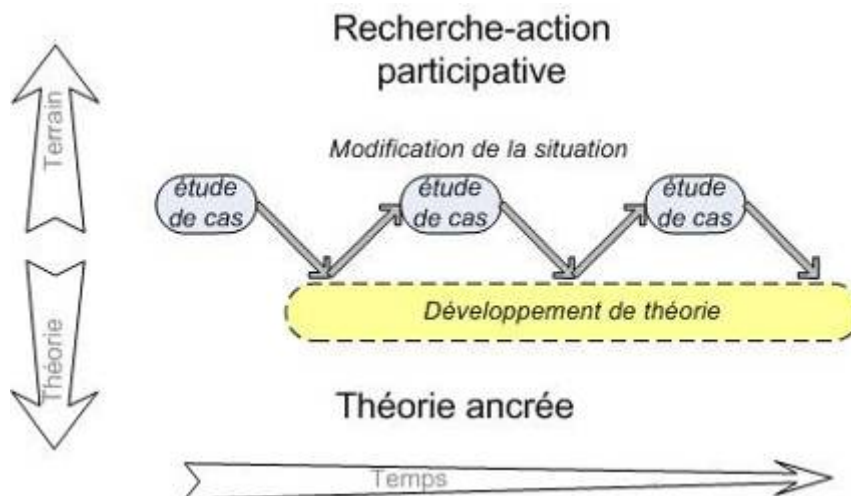


Figure 3: Approche méthodologique adoptée

La validation est une autre étape de la recherche qui vient à la fin et permet de s'assurer que les théories et les énoncés formulés par elles sont crédibles. C'est la partie la plus importante dans les recherches quantitatives. Cependant, la 'vérification' d'une recherche qualitative est souvent impossible à cause de la grande quantité de variables et de l'influence du contexte. Donc, la théorie construite à la base d'une méthodologie qualitative peut juste être vérifiée par rapport à la véracité des données et la 'crédibilité' des procédures qui ont généré la théorie. Ceci peut se faire à l'aide d'une approche appelée 'triangulation' (Schwandt 2001). Elle consiste en l'utilisation de multiples sources de données pour étudier le même phénomène. De cette façon, la superposition de données sur un même concept identifié, est la 'preuve' pour sa véracité.

Plus tard dans la recherche, pendant la création d'hypothèses et théories, multiples investigateurs, multiples perspectives théoriques et multiples méthodes sont recommandés (Yin 1989, 2004, Creswell 1998, 2007, Schwandt 2001). C'est l'approche sur laquelle nous nous sommes basés pour assurer la validité de la présente recherche.

Démarche de la recherche

La démarche envisagée est représentée par le schéma sur la Figure 4. Sans revenir sur les détails des recherches bibliographiques qui ont défini la problématique et proposé des voies théoriques, la démarche comprend les étapes suivantes :

1. Observation exploratoire en atelier pour étudier certains processus pendant l'apprentissage de la conception architecturale, et aussi pour établir une base de comparaison pour les observations subséquentes :
 - a. création d'un portrait théorique de la situation en atelier numérique
 - b. identification de problèmes à résoudre.
2. Proposition d'une approche d'enseignement qui répondrait aux objectifs de la recherche :
 - a. modélisation théorique d'une méthode d'enseignement de la conception architecturale, utilisant les bases théoriques discutées;
 - b. définition d'une approche pédagogique pour atteindre aux objectifs identifiés.

3. Observation et expériences en atelier – mise à l'épreuve de l'approche proposée.
4. Proposition d'une méthode d'aide didactique à l'apprentissage en atelier :
 - a. modélisation théorique de la méthode;
 - b. modélisation informatique de dispositifs numériques d'aide à l'enseignement et leur intégration dans un environnement de travail en atelier.
5. Observations et expériences subséquentes en atelier pour introduire l'approche pédagogique et les dispositifs de l'enseignement développés, et observer leur influence sur l'apprentissage de la conception architecturale.
6. Retour sur les modèles théoriques, suite à la mise-à l'épreuve.

Ces étapes seront continuellement enrichies de point de vue théorique et pratique par la littérature spécialisée en éducation, design, informatique et par la psychologie cognitive. Cette dernière ne fait pas partie de notre domaine de recherche, mais peut l'alimenter de façon importante. En conséquent, une partie de la thèse y est consacrée.

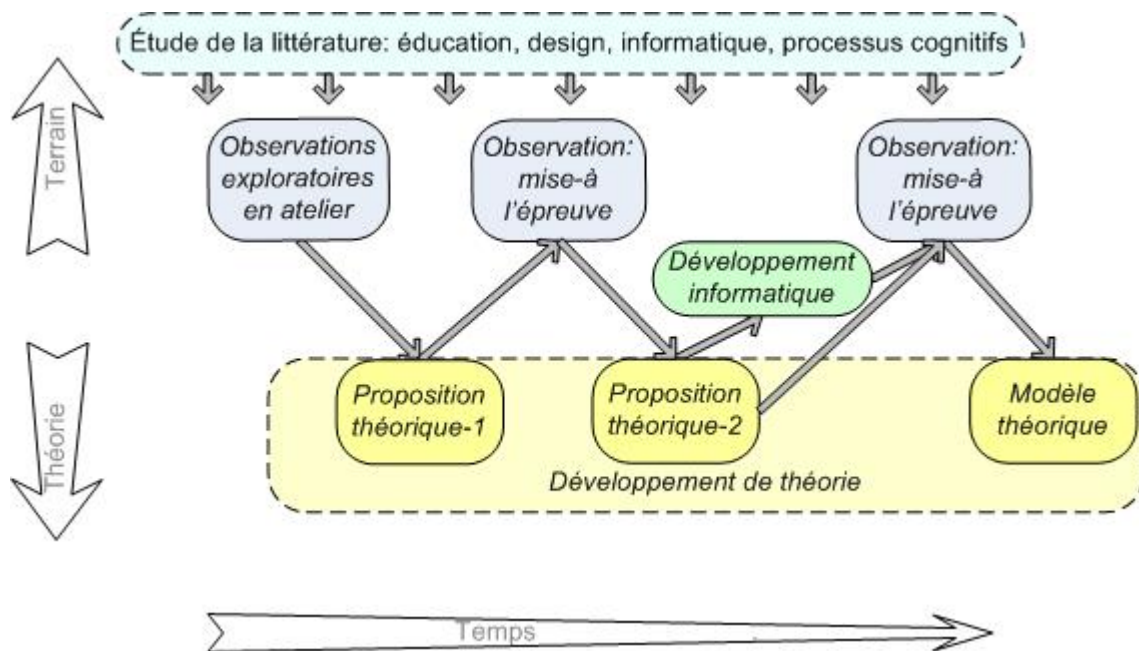


Figure 4: Schéma de la démarche de recherche

Sur le schéma de la démarche adoptée, chaque étude de cas correspond à des observations de durée d'un trimestre. Ainsi, la situation d'atelier est considérée dans sa complexité, et

les étudiants sont observés dans leur plénitude et non pas comme des numéros participants dans des expérimentations. Les observations prévues par cette recherche, sont en situation d'atelier d'enseignement d'architecture, à mi-chemin de leur apprentissage (en troisième année de l'université). Elles sont espacées dans le temps et menées avec des étudiants différents, (le tuteur étant le chercheur lui-même).

Il existerait un lien et un contexte de comparaison entre toutes les situations d'observation, mais elles ont également leur importance et leur poids en tant qu'expériences séparées. On travaillerait donc, dans le schéma général de la recherche proposée, avec une première observation qui sert comme source de compréhension de la situation en atelier d'architecture, mais aussi comme une des bases pour le développement de la proposition théorique d'aide à l'enseignement. Elle aurait également le rôle référence par rapport aux observations conséquentes qui offrent une mise à l'épreuve des propositions théoriques et informatiques. En même temps, toutes les observations enrichissent la compréhension du processus d'apprentissage de la conception architecturale et contribuent au modèle théorique.

Partie II. Observations en atelier d'architecture : **recherche exploratoire**

L'aperçu de la littérature spécialisée dans le domaine a permis de créer un portrait des théories développées et des potentiels possibles pour une contribution de l'informatique à l'enseignement de l'architecture. La question principale de la recherche a été précisée en fonction des conclusions de la Partie I de nos explorations du sujet. Il était nécessaire, cependant, de prendre connaissance directe et profonde du travail des étudiants en atelier. Ceci donnerait la chance aux idées théoriques d'affronter celles issues de la pratique de l'enseignement et une compréhension ancrée dans la réalité pourrait être construite.

La recherche dans le domaine de l'éducation a souvent un objectif double : d'un côté de faire avancer la science, et de l'autre, de contribuer à l'apprentissage et à l'enrichissement personnel du chercheur en tant qu'enseignant.

Par rapport au premier aspect mentionné, produire des connaissances, c'est produire des énoncés théoriques qui ont la prétention de s'appliquer de la manière la plus générale possible. Mais d'après Van der Maren (1996), les particularités de la recherche en éducation font qu'il est plus exact d'utiliser le terme *principes* que *lois* scientifiques, par ce que le contexte de la recherche risque de ne jamais se répéter.

En relation avec le deuxième aspect de l'objectif, nous avons pu étudier dans la Partie I de cette recherche, que pour enseigner une profession, il faut un 'troisième homme' qui possède des savoirs stratégiques se trouvant entre les savoirs appliqués et la praxis. Selon le même auteur, pour construire un savoir stratégique, il faut mener une recherche descriptive et réflexive à partir de deux sources:

- à partir des écrits (ce que nous avons déjà fait dans la partie précédente de ce document) ; et
- théoriser les pratiques éducatives quotidiennes.

Cette deuxième source pour le savoir stratégique fera l'objet de la présente partie de ce document. Des observations dans l'atelier d'architecture serviront de champ d'exploration.

D'après Schwandt (2001), l'observation consiste en: « *direct firsthand eyewitness accounts of everyday social action. What's going on here?* »

Selon cette définition, l'observation a pour but de témoigner de la réalité comme elle se manifeste indépendamment de la recherche menée. Aucune situation artificielle n'est créée spécialement pour la recherche.

De cette manière, nous avons amorcé des observations sans hypothèses préétablies, juste dans le but de comprendre : Quel est le processus de conception des étudiants en atelier d'architecture quand ils travaillent à l'ordinateur; et Quel est l'impact de l'outil numérique sur ce processus? Nous considérons qu'il s'agit d'une recherche exploratoire dont la méthode utilisée sera discutée dans le Chapitre suivant. Les observations elles-mêmes et les résultats qu'elles ont révélés feront l'objet du Chapitre 5.

...il ne faut pas confondre la carte avec le paysage, bien qu'il ne soit pas sans rapport entre eux.

(Van der Maren, 1996)

Chapitre 4. Méthode de la recherche exploratoire en atelier

La méthode présentée dans ce chapitre par rapport à la recherche exploratoire en atelier sera utilisée aussi dans le cadre des observations de validation présentées plus tard dans cette thèse. Le schéma des observations trimestrielles comprend une observation longitudinale (tout au long du trimestre), ainsi que des observations ponctuelles. Le protocole pour la réalisation de ces micro-observations sera présenté en lien avec les sources bibliographiques sur la problématique. La méthode pour coder, analyser et interpréter les données sera proposée à la fin du chapitre.

4.1 Schéma des observations trimestrielles

Selon la littérature écrite sur ce sujet, les méthodes pédagogiques devraient être évaluées d'après leurs efficacité à améliorer le processus d'apprentissage (Van der Maren, 1996). L'apprentissage implique obligatoirement une incrémentation positive dans les connaissances des étudiants à la fin de la période observée par rapport à leurs connaissances préalables. La revue des résultats seulement n'est pas consistante avec la posture constructiviste de l'éducation adoptée pour cette recherche. Ceci implique qu'il faut également essayer d'évaluer notamment l'incrémentation pour savoir si une méthode s'avère être efficace.

L'objet d'étude de ce travail de recherche est l'apprentissage du processus de conception, donc, pour nous, ce processus devrait être observé dans sa totalité. Mais ce processus peut durer quelques journées, semaines ou même des mois pour la conception d'un objet d'architecture. À notre avis, dans un processus long et graduel comme l'apprentissage, deux types de schémas sont envisageables : le premier étant de suivre attentivement l'évolution pendant toute la durée de l'apprentissage (un trimestre, dans notre cas) et noter les moindres changements observés; et le deuxième de se fier sur des observations ponctuelles – une au début du processus et une autre à sa fin. Chacun de ces types a ses

avantages et ses inconvénients : d'un côté observer le travail des étudiants tout au long du trimestre permettrait de s'approcher d'une compréhension de la 'réalité'. Mais, d'un autre côté, ils ne travaillent pas toujours dans les locaux de l'École ce qui rend une observation complète impossible; et encore, l'ampleur des données recueillies les rendrait inexploitable. Dans le cas des observations ponctuelles, ces inconvénients sont évités. Par contre, prenant seulement des 'clichés' du début et de la fin d'un processus, il est possible de mesurer l'incrément, mais sans comprendre comment elle a été atteinte. De plus, pour pouvoir observer un processus entier dans le cadre restreint de quelques heures, il est nécessaire de donner de petites tâches et de s'abstraire de certains éléments du contexte, comme l'interaction avec le client, par exemple.

Ainsi, l'idée de donner aux étudiants des petites tâches de conception (à être réalisées dans un délai de 1h30-2h30) s'avère répondre mieux aux objectifs énoncés. Toutefois, nous ne voulons pas nous priver des informations provenant du travail sur le projet trimestriel. Elles se trouvent recueillies de façon beaucoup plus souple et holistique – par les témoignages des participants (enseignant, moniteur, étudiants, critiques).

En conclusion, pendant le déroulement de l'atelier, deux types d'observations sont faites : (1) des observations ponctuelles du travail des étudiants (enregistrés avec caméra vidéo) et (2) observation du travail le long du trimestre. Le premier type d'observation (qu'on appelle 'observation ponctuelle' ou 'micro-expérience'¹) sert comme recueil de données par rapport au processus de conception et apprentissage à un micro niveau. Également, elle nous fournit un 'cliché' au début de la période étudiée, et une autre – à sa fin, facilitant ainsi le 'mesure' de l'incrément de l'apprentissage. Les observations du deuxième type donnent le contexte des observations ponctuelles et nous renseignent sur le déroulement de l'atelier et les résultats d'apprentissage.

Par rapport au traitement des données, celles des observations ponctuelles sont analysées avec plus de détail, tandis que les informations amassées pendant tout le trimestre nous aident à reconstituer l'image globale de l'observation.

Toutes les méthodes de cueillette des données utilisées dans le cadre de cette recherche sont présentées sur le schéma de la Figure 5.

¹ De point de vue des étudiants, les séances de travail sur des petites tâches constituent une 'micro expérience' de conception. Le volet pédagogique de cette approche sera discuté plus tard dans ce document.

Schéma d'une observation trimestrielle

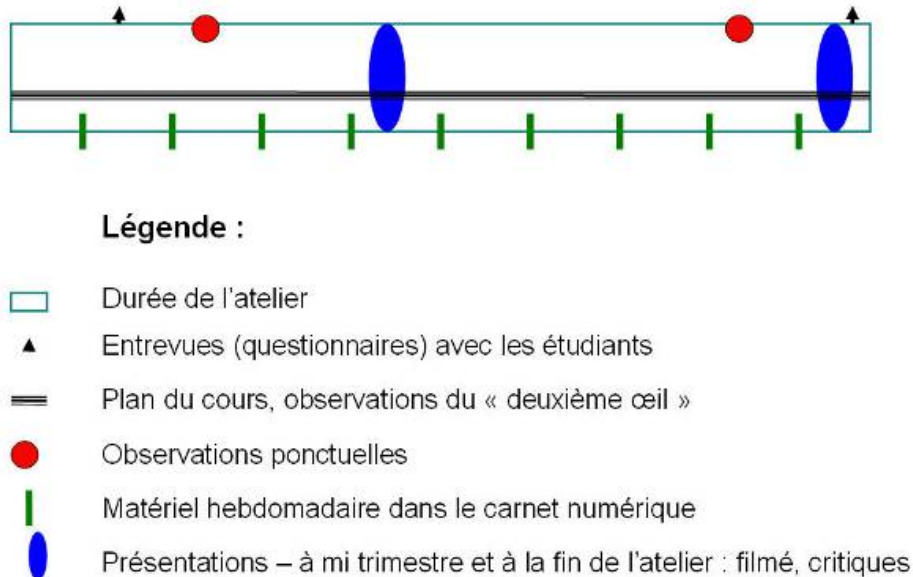


Figure 5: Schéma des observations trimestrielles

4.1.1 Observations longitudinales

Plusieurs méthodes pour observer l'avancement des étudiants et d'entendre leurs opinions et problèmes ont été mises en place. De cette façon une triangulation des données (diversification des sources d'information) est réalisée dans le but d'assurer la crédibilité de la recherche.

Entrevues / questionnaires

Certains chercheurs en éducation vont baser leurs recherches uniquement sur des données cueillies par des entrevues ou questionnaires. L'utilisation d'entrevues semi-structurées est recommandée, au détriment des entrevues structurées et des entrevues ouvertes (Poisson, 1991; Yakeley 2001). Cette approche permet au chercheur de guider l'entretien en fonction des objectifs de la recherche et selon le protocole d'observation qu'il a élaboré. En même temps, l'entrevue semi-structurée laisse une liberté d'expression au sujet, permet l'ajout de nouvelles catégories jugées intéressantes par le chercheur, dans le protocole d'observation. Nous utilisons des questionnaires semi-structurés lors de cette recherche.

Cependant, la verbalisation des pensées des participants sur leur propre expérience ou sur les phénomènes étudiés, en direct devant le chercheur, ne peut pas remplacer l'observation

de leur processus de travail. En conséquent, dans le cas de cette étude, le rôle des questionnaires est assez modeste - il y a deux questionnaires: au début et à la fin du trimestre. Le questionnaire au début du trimestre nous aide d'un côté de recueillir d'information sur le parcours et l'expérience des étudiants avant de commencer l'atelier expérimental (profil d'éducation avant l'université, méthodes de travail en atelier d'architecture), et d'un autre coté, de recenser leur connaissance des logiciels et des environnements informatiques (voir Annexe-1). Celui de la fin de l'atelier redemande aux étudiants d'évaluer leurs connaissances des logiciels, d'indiquer les méthodes de travail utilisées en atelier pendant le trimestre observé, et d'évaluer certains aspects de l'approche pédagogique, ainsi que leur appréciation (voir Annexe-2).

Les questionnaires combinent des réponses aux choix multiples avec des questions aux réponses courtes. Des séances de discussion dirigées par l'enseignant (une fois les questionnaires remplis ainsi que pendant le trimestre) ont pour but d'avoir le retour de la part des étudiants et également d'enrichir la compréhension du contexte de la situation étudiée.

Présentations

L'avancement du projet trimestriel est suivi par le biais de présentations internes (devant les étudiants de l'atelier et le tuteur) et des présentations avec évaluation devant des critiques invités. Les étudiants communiquent (primordialement sur support numérique) l'état d'avancement de leurs projets.

Selon la 'culture de l'atelier', l'importance est mise sur la qualité du 'résultat' présenté pendant ces 'critiques'. Cependant, quand il s'agit d'apprentissage du « comment concevoir un objet d'architecture », le processus est essentiel. Plusieurs chercheurs, y compris (Oxman 2006, 2008) se mettent d'accord qu'il est très difficile, voire impossible, de comprendre et d'évaluer le processus de conception par lequel un étudiant est arrivé à un résultat présenté. Étant donné qu'un des accents de l'atelier expérimental est mis sur la compréhension du processus, les étudiants ont été invités de le communiquer le mieux possible. Dans ce but, plusieurs façons d'y arriver ont été proposées.

Carnet numérique

A cause de leur courte durée (20-30 min) et leur caractère « officiel » (invités; évaluation), les présentations ne reflètent ni tout le travail accompli par l'étudiant, ni ses pensées, problèmes et questionnements. Pour remédier à ce manque, un espace dans l'environnement Web de l'atelier a été créé pour chaque étudiant. Chaque semaine, l'étudiant devait y déposer du contenu sur son travail en lien avec le projet d'atelier. Un gabarit de page-Web a été proposé, mais les étudiants étaient libres de le changer à condition de garder de l'espace pour l'avancement de chaque semaine (Fig. 6). Le travail de l'étudiant sur son carnet numérique représentait 10% de sa note trimestrielle.

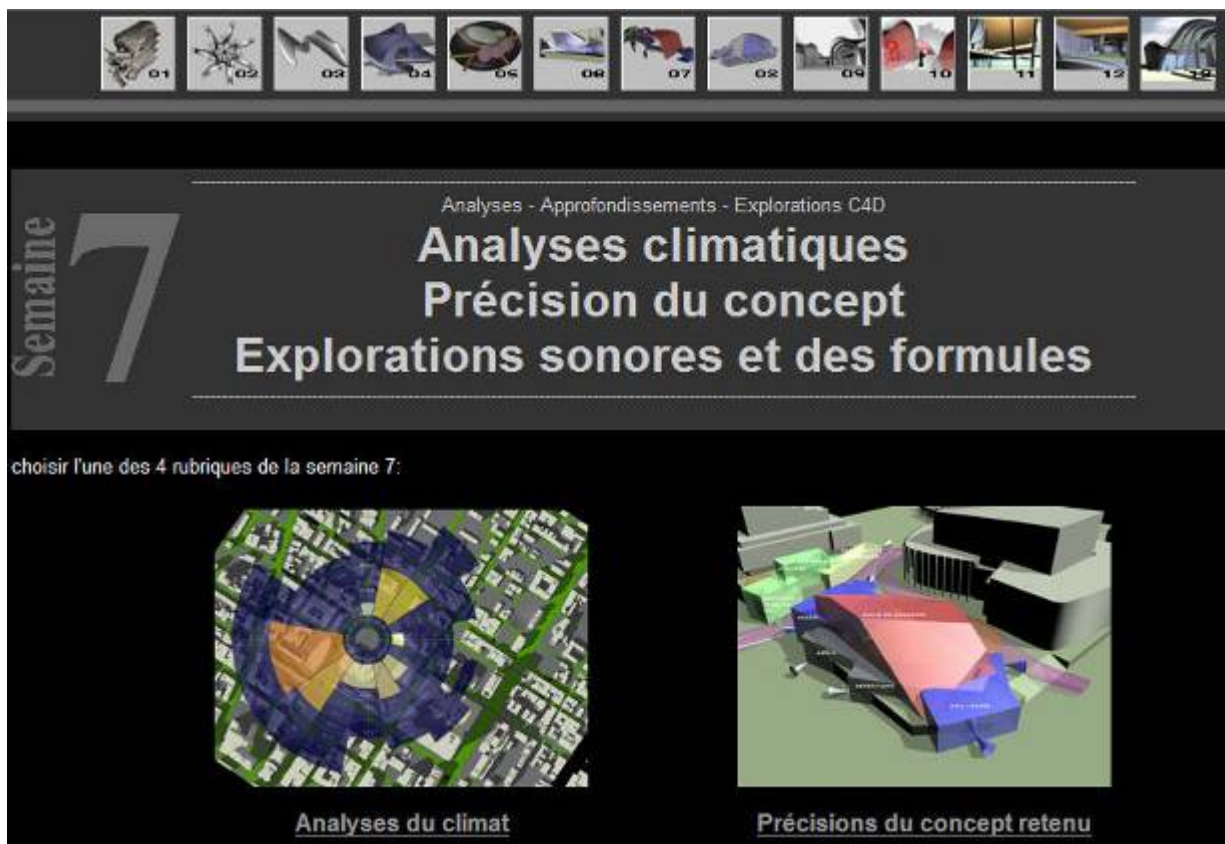


Figure 6: Le carnet numérique

Le carnet numérique offre aux étudiants un outil pour organiser et garder les traces de leur travail (Guité, 2007). Il facilite aussi la préparation du matériel de communication du projet (pour les présentations, par exemple). Ayant ce support, les étudiants sont facilités dans la communication de certains aspects de leur processus de conception. Un autre effet positif est la possibilité de communiquer en tout temps avec le tuteur, ainsi que de partager des idées et du contenu avec les autres étudiants de l'atelier. Les meilleurs exemples de

carnets numériques sont un ‘cahier ouvert’ de réflexions, esquisses, explorations, informations, modèles, etc., qui témoignent du parcours de l’étudiant pendant le trimestre.

Plan du cours et témoignages du tuteur

Le plan de cours représente les objectifs de l’atelier ainsi que les méthodes de les atteindre. Les témoignages du tuteur qui suit les étudiants de tout près permettent de faire un portrait le plus complet possible des phénomènes observés.

Les méthodes longitudinales d’observation pendant le trimestre contribuent à la compréhension du contexte des observations ponctuelles et assurent un point de vue plus global sur les résultats. Étant donné le temps beaucoup plus restreint de ces observations, comparé à la durée du trimestre, nous les appelons aussi ‘micro-observations’. Comme pour les étudiants le travail pendant ces observations représente une expérience pédagogique spécifique, le terme ‘micro-expérience’ sera également utilisé.

4.1.2 Schéma des observations ponctuelles

La disposition dans le temps des observations ponctuelles est un point important du design de la recherche exploratoire (Fig. 5). L’ouvrage de Campbell et Stanley *Experimental and Quasi-experimental Design for Research* reste un classique dans le domaine, malgré sa date de publication assez éloignée (1963). Dans leurs exposés sur cette problématique, les auteurs (Campbell & Stanley, 1963) font un inventaire des approches disponibles pour l’expérimentation et la ‘quasi-expérimentation’ en science de l’éducation. C’est ce deuxième terme que les auteurs utilisent pour nommer des recherches qui ne sont pas tout à fait ‘scientifiques’ du point de vue de la vérification de leurs résultats. Ils définissent 12 facteurs qui risquent de compromettre (*jeopardize*) la validité d’une recherche. Un regard quantitatif est porté sur ces facteurs dans le cadre de l’ouvrage cité, mais un chercheur ‘qualitatif’ devrait être conscient de leur existence et les prendre en compte. Nous allons nous attarder sur quatre d’entre eux : (a) *histoire* – des événements qui se produisent entre une première et une seconde expérience et qui peuvent influencer les résultats (en plus de l’influence de la variable qui est changée); (b) *maturation* – au cas où l’expérience se fait sur le même groupe d’individus, il faut tenir compte du fait qu’ils changent avec l’âge (grandissent, deviennent plus riches, ou plus pauvres, ou plus fatigués, etc.); (c) *test* – la situation de test (ou expérience) change la situation, surtout si une deuxième expérience se fait avec le même groupe de gens; (d) *instrumentation* – changement dans les

instruments de ‘mesure’ ou des observateurs. Ce dernier facteur prend une grande importance dans le cadre d’une recherche qualitative. Il s’agit de l’interprétation subjective du chercheur par rapport au phénomène étudié et aussi de son implication dans l’expérience. Dans le cadre de cette recherche, encore un facteur peut être ajouté : le fait que les étudiants qui participent dans les observations en atelier ne sont pas les mêmes chaque année.

La grande variété de schémas possibles et le doute en leur ‘scientificité’ confirme la nécessité de considérer les schémas qui seront exploités à l’aide d’approches qualitatives. Yin (1989) souligne clairement la distinction entre les schémas de validation et une étude de cas : « *case study IS NOT a quasi-experimental design (the one-shot post-test-only design)* » (p. 28).

Ainsi, le schéma adopté prévoit deux observations ponctuelles : une au début du trimestre, et une autre juste avant sa fin (comme montré sur la Figure 7). Cependant, ce schéma est modifié avec les années, pour mieux répondre à certains objectifs définis plus loin dans la recherche.

Traditionnel et numérique

Quand il s’agit de conception architecturale avec le numérique, il est habituel de se poser la question : Quelle aurait été la différence si le même objet architectural avait été conçu de façon traditionnelle – avec crayon et papier ou en maquette? Ou encore : Comment le processus de conception aurait été différent dépendamment des médiums de travail?

Pour pouvoir obtenir des réponses à ces questions, ainsi que pour pouvoir enrichir le portrait de la situation d’atelier étudiée, deux séances de conception ont été prévues au début de l’année : une avec médium traditionnel (représentées avec un point vert dans la partie gauche du schéma sur la Figure 7) et une autre à l’ordinateur (représentées avec un point rouge). La légende a déjà été donnée sur la Figure 5.

De cette façon, les micro-observations au début du trimestre peuvent témoigner du processus créatif des étudiants avec et sans outil numérique. De l’autre côté, des comparaisons et des évolutions intéressantes peuvent être examinées suite à l’observation ponctuelle de la fin de l’atelier.

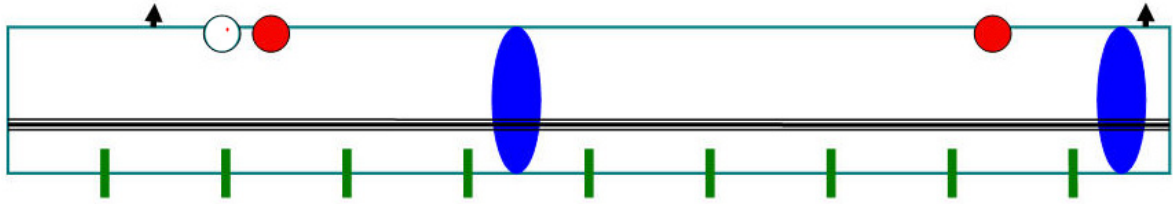


Figure 7: Schéma de l'expérience d'observation en atelier pendant un trimestre. Le petit cercle blanc à gauche (au début de la ligne du temps) indique l'observation du travail avec le médium traditionnel (papier et crayon ; ou maquette en carton).

4.2 Méthode des observations ponctuelles

Comme il a été prévu dans le schéma trimestriel, les observations ponctuelles ont comme objectif principal de témoigner du processus de design des étudiants dans sa totalité (du début d'une tâche architecturale de conception jusqu'à sa communication) tout en explorant le rôle du médium numérique dans ce processus.

La recherche en design existe depuis bientôt cinquante ans. Du point de vue des études sur le processus de design et de la conception architecturale, plusieurs méthodes sont appliquées. Cross (2002) propose une brève histoire des études cognitives sur la conception qui se résumant en trois types:

- Des entretiens (peu structurés) avec les concepteurs ;
- Des études de protocole (sur des projets artificiels) avec des novices ou des experts
- Réflexion et théorisation

Les méthodes utilisées pendant ces études sont surtout empruntées aux sciences sociales ou aux sciences humaines. Ainsi, des approches qualitatives et quantitatives sont utilisées par différents chercheurs. Une différence peut être remarquée dépendamment de l'école de pensée dans le cadre de laquelle une recherche est menée : l'école Anglo-Saxonne préfère les méthodes quantitatives, pendant que celle francophone a un penchant vers les qualitatives. Toutefois, un des pères de la recherche en design, Charles Eastman, a récemment fait une critique des méthodes quantitatives, les accusant de ne pas pouvoir saisir le sens des phénomènes observés. Il s'attaque à la segmentation et au codage des

données : manipulations par lesquelles des corrélations, des fréquences et des patterns sont recherchés. D'après cette source bibliographique:

Encoding a designer's utterance as evidence of movement through an unknown problem space seems unfortunately like trying to follow the movement of a mouse through an invisible maze to better understand mouse's behavior. In this case, every twitch could be read as a purposeful move and vice versa. (Eastman, McCracken, & Newstetter, 2001, p. 21)

Ainsi, selon Eastman, patterns and corrélations trouvés dans les données de protocoles pourraient seulement refléter le biais conceptuel du schéma de codage ou, au mieux, indiquer une relation entre comportements sans pouvoir par contre l'expliquer. Cependant, des fois, pour permettre aux chercheurs de travailler de façon réflexive avec les deux approches, une symbiose entre analyse qualitative et schémas de codage est utilisée.

La spécificité des méthodes employées pendant les recherches sur le processus de design est liée à la méthode d'observation ou d'extraction des données. L'activité de design comprend des processus cognitifs qui restent cachés pour l'observateur. De différentes méthodes seront utilisées par les chercheurs pour pouvoir en observer les indices. Craig (2001) rapporte quatre approches principales pour mener une telle recherche:

- protocoles de verbalisation à haute voix (*think-aloud protocols*),
- analyse de contenu (*content analysis*),
- étude de processus isolés (*process isolation*) et
- études situées dans la réalité (*situated studies*).

Chaque méthode a ses particularités : Les protocoles de verbalisation assument que le processus de design peut être décrit comme tel ; L'analyse de contenu se base sur l'analyse de la structure et le contenu des représentations externes pour comprendre le comportement d'un concepteur ; Les chercheurs qui isolent des processus cognitifs assument que le design, comme objet de la cognition, peut être décomposé ; Pendant que les études situées dans la réalité mettent l'importance sur le rôle de l'environnement et le perçoivent en tant que système intégré avec le concepteur. La plupart des fois, ces stratégies sont utilisées ensemble. Dans la majorité des études, ces stratégies sont utilisées parallèlement. C'est également l'approche que nous avons adoptée dans le cadre de cette recherche (toutefois,

sans étudier des processus isolés) en attribuant aussi une grande importance aux protocoles de verbalisation.

Certains chercheurs essaient de simuler la pensée humaine (Gero & Sudweeks, 1998) en se basant sur des méthodes empruntées de l'intelligence artificielle. Ainsi, modélisant de façon computationnelle le 'saut' créatif (*the creative 'leap'*), Rosenman & Gero (1993) and Gero (1994), s'arrêtent sur cinq procédures qui peuvent enclencher un design créatif: combinaison, mutation, analogie, design à partir de principes premiers et émergence. Malheureusement, en analysant ce phénomène à partir des protocoles, les auteurs n'ont pas pu identifier selon laquelle des procédures le 'saut' a eu lieu (Cross 2006).

De façon similaire, Cross (2006) souligne que la méthode « Linkograph » développée par Goldschmidt (1994) arrive à identifier les moments importants dans le processus de conception, mais sans pouvoir expliquer pourquoi ils sont importants. Ceci montre encore une fois, les faiblesses des approches quantitatives quand il s'agit d'études sur des phénomènes complexes.

Dans les buts de cette recherche, nous travaillerons à partir des protocoles de verbalisation à cause de leur pertinence pour la situation étudiée.

Protocoles de verbalisation

Afin de comprendre les processus cognitifs d'un architecte pendant son travail, un chercheur peut s'appuyer sur les actions que le créateur pose. Cependant, la motivation et l'intention derrière ces actions restent souvent cachées. Le concepteur peut, alors, verbaliser ses pensées pour extérioriser les processus mentaux. Même si cette verbalisation n'est jamais un miroir parfait de l'intérieur, elle reste sa plus proche réflexion.

La plupart des recherches cognitives sont présentement réalisées exactement à la base de protocoles de verbalisation. L'histoire de l'analyse des activités des architectes par protocoles commence par Eastman (1970). Plus tard, Akin continue à développer ces activités. Dans son ouvrage sur le '*reflective practitioner*', Schön se base sur : « *either one subject think-aloud protocol, or dialogue exchanges between two or more collaborating subjects* » (Schön 1983). Malgré ces deux approches utilisées par lui, il dit de ne pas pouvoir comprendre le travail d'un architecte par les protocoles uniquement. Dans les années 90, une grande expérience a eu lieu à l'Université de Delft, donnant la naissance par la suite à un ouvrage important *Analysing Design Activity* (Cross, Christiaans, & Dorst,

1996). Plusieurs analyses et recherches cognitives sont faites sur la base des données recueillies lors de cette expérience.

Les types de protocoles les plus utilisés sont:

- (1) « protocoles rétrospectifs » : enregistrement vidéo d'une courte séance de conception (45-90 min) et après, commentaire du film vidéo avec le designer lui-même (il explique chaque activité et son but) (J. S. Gero, 2000)
- (2) « protocoles concurrents » : enregistrement vidéo de la séance de conception avec des commentaires simultanés de la part du concepteur, par rapport à ses pensées, intentions, etc. (Tang & Gero, 2000)
- (3) Dialogue entre deux architectes pendant leur travail créatif sur un projet architectural (selon la méthode de Brassac, cité par Scaletsky, 2003, p. 139).

Pour l'expérience à l'aide d'un protocole concurrent, le concepteur est amené à travailler et à verbaliser ses pensées en même temps. Pour un protocole rétrospectif, c'est le design qui se fait d'abord sans verbalisation, pour inviter après le concepteur à commenter ses propres actions, en consultant le matériel visuel qu'il a produit ou/et l'enregistrement vidéo de son propre travail de conception (J. S. Gero & Tang, 2001). Les protocoles concurrents sont utilisés plus dans le but de définir les actions et les processus pendant l'activité de conception d'un objet, tandis que le protocole rétrospectif donne de meilleurs résultats par rapport à l'aspect cognitif de la « réflexion en action », comme la décrit D.Schön (1983).

Est-ce que la verbalisation représente vraiment les processus cognitifs qui se passent dans la tête du concepteur ? D'après Lloyd: « *When the designer stops verbalizing, these seem to be points of value where decisions are made but we have no idea of the thinking behind these decisions.* » (Lloyd, Lawson, & Scott, 1996, p. 445). Et encore: « *There is some evidence that the methodology is interfering with the design process. - the designer tries to 'second-guess' and say what the experimenter 'wants to hear' and often seems engaged in an activity that he feels he should do rather than what he would normally do.* » (p. 452)

Ces observations par rapport aux protocoles concurrents sont plutôt enquêtantes vis à vis leur représentabilité des processus cognitifs. De plus, Akin et Chengtah (1996) remarquent que les moments de réflexion sont les plus difficiles à découvrir dans un protocole et demandent des indices secondaires pour les détecter.

D'un autre côté, par rapport aux protocoles rétrospectifs, d'après Schön (1983): « *Often, merely by asking a question like, "How are you thinking about it now?" we produce an intended or unintended intervention which changes the subject's understanding and shifts the direction of action* ».

A part la déformation éventuelle du processus cognitif, d'après Craig (2001), les protocoles de verbalisation sont susceptibles de mésinterpréter les processus adjacents à cause de l'incompréhension du designer même. Ainsi, il se peut des fois que l'on ne puisse pas se rendre compte de certains stimuli ou liens qui ont jalonné certaines actions ou décisions pendant la séance d'enregistrement. Ceci est valable surtout pour les protocoles rétrospectifs, mais peut aussi être observé avec les autres types de protocoles.

Un autre danger est celui de produire une explication pour une action donnée mais sans qu'elle soit véritablement valable. Donner une justification après qu'une décision a été prise, semble se produire souvent quand les designers sont mis dans une situation contrôlée, comme l'observation, par exemple.

Finalement, il semble clair que chaque externalisation des processus cognitifs les déforme ou est déformée. Mais elle contribue à une meilleure compréhension de l'ensemble. Ce n'est pas la méthode par excellence, mais c'est la meilleure dont on dispose pour le moment.

Le dialogue entre deux participants dans le même processus créatif donne la possibilité de provoquer une verbalisation de façon naturelle. Ainsi, l'interférence avec les processus cognitifs est moins importante. Cependant, des protocoles de ce type ciblent plus le contenu et la sémantique du travail architectural et moins les actions des concepteurs. De plus, ils sont applicables seulement quand le travail se fait en équipe.

Un protocole de 'dialogue' assez particulier a été utilisé par Bailey (2000) qui enregistre une séance de travail d'une équipe de deux personnes : une des personnes est 'la main' (the *hand*), pendant que l'autre est 'la conscience' (the *mind*). De cette façon chaque directive que 'la conscience' veut donner à 'la main' doit être verbalisée.

La découverte des aspects cognitifs du processus de conception nous servira à la fois à l'élaboration d'un modèle de la conception architecturale ainsi qu'à la précision du rôle du médium pour pouvoir esquisser, à une étape ultérieure, les caractéristiques recherchées des dispositifs d'aide à cette activité créative. Dans les buts de notre recherche, nous trouvons

que les protocoles rétrospectifs sont plus pertinents, vu qu'ils ne perturbent pas le travail, et en plus, le commentaire rétrospectif offre à l'étudiant une occasion de réfléchir sur sa propre démarche de conception architecturale.

Ainsi, l'observation trimestrielle prend une forme détaillée avec des moments de commentaires ajoutés après chaque observation ponctuelle (représentés par le carré bleu sur la Figure 8):

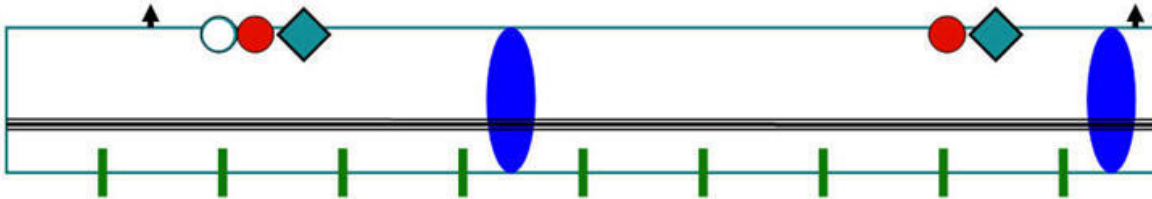


Figure 8: Séances de commentaires ajoutées après les séances de travail

Au fil des expériences et après les analyses des premiers résultats des observations exploratoires, nous avons changé cette stratégie pour utiliser une verbalisation plus naturelle, notamment par le dialogue entre les membres d'équipes de deux étudiants. Nous allons discuter cette nouvelle stratégie plus tard dans ce document (Chapitre 10.3).

4.3 Données

Selon Creswell (1998, 2007), la recherche qualitative se base sur quatre types d'informations (1) observation : participative ou non-participative, (2) entrevues : de semi-structurées à ouvertes, (3) documents : privés ou publics, et (4) matériel audio-visuel : photos, graphiques, vidéos, etc. Ainsi, pendant cette recherche des évidences de type et de nature différents seront utilisées comme matériel d'étude, dans le but d'étudier et comprendre la situation dans sa complexité :

Du point de vue de l'étudiant :

- Micro niveau : séances d'enregistrement avec caméra vidéo et après, commentaire du film de la part de chaque étudiant enregistré (protocole rétrospectif)
- Macro niveau : matériel dans les carnets numériques, organisation des données sur les ordinateurs; résultats graphiques et discours de l'étudiant; entrevues / questionnaires au début et à la fin du trimestre.

Du point de vue du tuteur :

- Micro niveau – commentaires sur l’enregistrement de l’observation ponctuelle;
- Macro niveau : plan de cours, objectifs, méthodes, observations sur le travail des étudiants (au long du trimestre), commentaire sur l’apprentissage et les résultats de l’atelier.

Du point de vue d’autres tuteurs et chercheurs :

- Micro niveau – commentaires sur l’enregistrement de l’observation ponctuelle;
- Macro niveau : critiques par rapport aux présentations des travaux à mi-trimestre et à la fin de l’atelier.

Une quantité énorme de données est collectée pendant les observations. Pour pouvoir les structurer et utiliser dans les buts de la recherche, elles doivent être analysées.

4.3.1 Analyse ou interprétation des données

Selon Schwandt (2002), l’analyse des données qualitatives est l’activité qui permet de dévoiler le sens des données, de les interpréter, d’en faire des théories. C’est à la fois art et science. Plusieurs méthodes sont mises en contribution pendant ce processus qui zigzague entre données et idées. D’après le même auteur, l’analyse commence par l’organisation et la ‘réduction’ des données (segmentation et codage), continue avec la description des données, et finit par tirer des conclusions ou d’interprétations.

Plusieurs méthodes sont proposées par la littérature dans le domaine pour analyser les données. Schwandt (2001) énumère les méthodes suivantes pour analyser des données qualitatives : *Constant Comparative Method*, induction analytique, analyse de type ‘théorie ancrée’, ou interprétation. Cette dernière est souvent vue comme une activité différente de l’analyse, par ce qu’elle est basée sur la compréhension et la re-représentation des phénomènes observés par le chercheur, ce qui n’est pas une procédure strictement définie.

Van der Maren (1996) comprend l’interprétation des résultats en tant que création d’une ‘interface’ entre les données et le lecteur. D’autres termes qu’il utilise pour expliquer cette méthode qualitative de générer les résultats d’une recherche sont : traduction, mise-en-scène, dévoilement du caché (divination).

Pour structurer et comprendre les données, nous adoptons une méthode qui combine l'analyse qualitative et l'interprétation : analyse partielle des données et interprétation intégrale, basée sur des méthodes purement qualitatives. D'un côté, un codage détaillé des données nous permet de bien les comprendre et de 'voir' des aspects qui seraient passés inaperçus si le travail attentif du codage n'était pas fait. Mais d'un autre côté, une interprétation globale nous donne la possibilité de créer une image de synthèse qui prend en compte les témoignages de tous les types de données, celles qui proviennent des observations au long du trimestre inclusivement.

Dans ce qui suit, les méthodes d'organisation, segmentation et codage des données pour les buts de l'analyse partielle, seront présentées.

4.3.2 Traitement des données

À la fin d'une observation, le chercheur dispose d'une multitude de données de type et de formes variés à traiter. Ce recueil des données est d'habitude suivi par leur 'traitement' dans le but de les regrouper et de les catégoriser pour les rendre synthétiques et compréhensibles. Les méthodes pour cette opération varient autour de '*chunking*'¹, 'catégorisation', 'codification' (Creswell, 1998).

Schön (1983) décrit deux types de langages en atelier d'architecture: « *language of designing* » - (dessiner, parler et gesticuler simultanément); et « *language about designing* » – métalangage qui introduit la réflexion sur les actions engagées en situation de conception (*the reflexion on the action of designing*). Pour avoir l'image la plus complète possible des processus étudiés, tous ces côtés de l'expression devraient être pris en compte. Dans le cadre de cette recherche, l'expression verbale, les actions (graphiques ou autres), la représentation graphique du design, ainsi que les gestes constituent des aspects inséparables. Cependant, ils peuvent venir de sources de données différentes (matériel graphique, film de caméra ou saisie d'écran). Donc, une première mise-en-commun des données s'impose.

¹ Trouver dans le corpus des phrases ou séquences d'actions qui ont du sens par elles-mêmes et pourront être décrites avec une phrase courte et claire.

Synchronisation des données

À cause des particularités de chaque type d'expression ou représentation externes, ainsi que dû à l'utilisation de protocole rétrospectif pour les premières observations, toutes les données devaient d'abord être 'synchronisées' (Fig. 9 et 10). Ceci implique au moins deux étapes: (1) trouver un support commun pour les données enregistrées sur différents supports (vidéo avec son, saisie d'écran, feuilles avec dessins, maquettes en carton, maquettes digitales); et (2) trouver des façons à représenter tous les types d'expressions sur ce support.

Des saisies d'écrans (*snapshots*) des films ont été réalisées pour marquer les moments importants. Les images ainsi obtenues sont nommées avec un nom indiquant le temps et la raison de la prise du *snapshot* (Fig. 9).

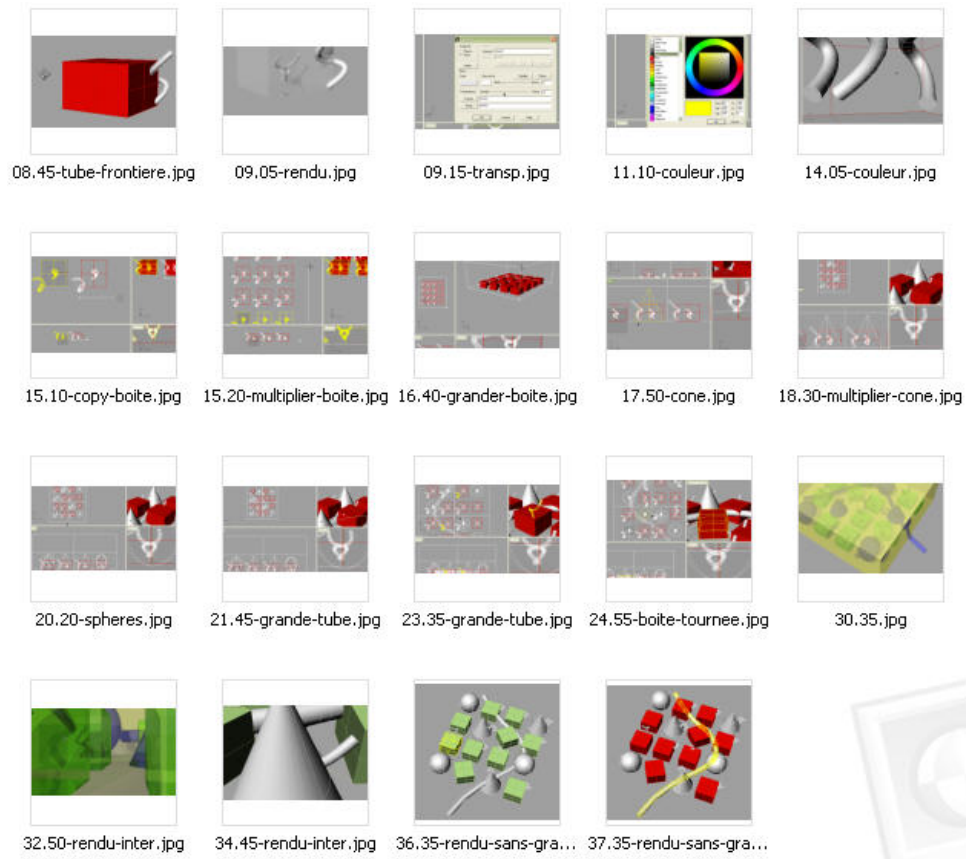


Figure 9: Saisies d'écrans représentant l'enregistrement vidéo avec des images prises aux moments de changements-clé

A l'étape suivante, un tableau à plusieurs colonnes a été utilisé comme support abritant de l'information textuelle et imagière (Fig. 10). L'information verbale (provenant de la séance

de travail ou des commentaires) y a été transcrite; les actions graphiques ont été décrites; les gestes ont été également décrits, de plus, les plus importants ont été représentés par des images de l'enregistrement-vidéo; des images de l'avancement du projet (prises soit des feuilles, soit des maquettes, soit des écrans d'ordinateurs) sont insérées pour que l'objet de travail ou de discussion soit explicitement illustré à chaque moment (Fig. 10, 11). Le temps se trouve indiqué dans la première colonne selon le déroulement de la séance de travail (et non pas en fonction des commentaires).



20.20			dessine silhouette des autres bâtiments autour		
21.15			dessine les trois tours de sa proposition		Oui. J'ai mis les trois tours...
			hachelure		
21.50			dessine des arbres		Je rajoute tout le temps des arbres partout, parce que ça me donne une idée des
22.05	change de stylo - couleur verte				
					... C'est des sacrés arbres ça!
					Oui. C'est très gros, ha-ha
					... Des séquoia
					Ils sont vieux, c'est pour ça
22.30			colore les arbres, la ligne de base (terrain)		... Ça veut dire encore une fois que le site est très grand... L'échelle n'est pas évidente des cartes aériennes...
23.10	change de stylo - couleur brune		colore les bâtiments		24.20 Puis ça, la couleur pour moi c'est toujours un moyen de continuer à travailler quelque chose, mais en réfléchissant à d'autres choses. Parce que ça demande aucun... ça demande aucune... J'ai pas besoin de réfléchir quand je fais ce que je fais, je peux continuer à faire un autre processus en même temps. Je mets plein de couleur, mais c'est pas juste pour avoir un dessin plus beau, c'est parce que je réfléchis à d'autres choses en même temps.
23.20			réfléchit (regarde)		... ok
24.00			(caché)		... Tu n'aimes toujours pas, ou?
24.50		modifie	prend le dessin en plan		Non, j'aimais pas. Ah, c'est mes trois tours...

Figure 10: Synchronisation des données du protocole rétrospectif d'observation

Une fois les données ainsi transcrites, on les segmente et code pour pouvoir mieux analyser (Fig. 11). La méthodologie mise au point dans le cadre de cette recherche a recours au codage juste pour pouvoir entrer plus en profondeur des processus étudiés. L'analyse elle-même ne se fait pas de façon quantitative, mais à l'aide des méthodes qualitatives comme l'interprétation des données.

	L Est-ce que ça crée un espace intérieur? Normalement oui hein?			change le type d'affichage pour mieux voir la surface
17,30	A Ben là ici, oui là.	Lucie pointe quelque chose de précis à l'écran et fait le geste de tirer vers le haut.		zoom, re-position de la caméra
	L Ouais je pense que ça devrait aller.	Annie fait un grand geste de la main vers le haut.		
	Là on a pas de dessous, mais si tu lèves les deux points là ça va faire des..	Lucie pointe à l'écran, recule, repointe et tourne son doigt autour d'un point précis à l'écran. Elle appuie sa tête dans ses deux mains.		
	A Oui, pis si tu lèves dans le milieu, ben ça va faire un espace intérieur.	Annie appuie sur un bouton.		
	L Prend ça de points là... oh pardon. Prend le point... tout en... bon point sur le...	Lucie pointe son doigt vers le haut, près de l'écran et le fait monter.		sélectionne des points et « tire » vers le haut
	A ici?			modifie

Figure 11: Exemple de synchronisation des données dans le cas de verbalisation naturelle par le dialogue: paroles des étudiants, description des gestes, image de la caméra ou de l'écran d'ordinateur, description des actions sur les représentations graphiques (observation-3).

Dans ce qui suit, nous présentons les méthodes de segmentation et de codification des données pour les fins de l'analyse détaillée partielle.

Segmentation des données

Selon la méthodologie définie, le matériel des micro-observations est segmenté pour faciliter son analyse après. Il s'agit d'une transcription de l'enregistrement vidéo par des unités sémantiques élémentaires, qui seront plus tard 'codées' selon certaines catégories. Nous adoptons une définition flexible du segment, inspirée par Creswell (1998, 2007) et Purcell (1996):

- il peut être de longueur variable dans le temps ;
- il correspond à une action quelconque du concepteur (dans le cas de l'enregistrement du processus de conception), et
- il correspond à une phrase qui a du sens par elle-même, ou encore, à un geste (dans le cas des commentaires).

Notre approche est basée sur un codage multiple des segments, selon les catégories identifiées. De plus, la longueur élémentaire peut être différente pour les différents thèmes de codage. Ainsi, par exemple, trois segments du thème « actions cognitives » peuvent correspondre à un segment du thème « modèle /stratégie de conception »

4.3.3 Codage des données

Selon Van der Maren (1996) :

Le codage consiste à accoler une marque à un matériel. Le but du codage est de repérer, de classer, d'ordonner, de condenser pour, ensuite, effectuer des calculs qualitatifs ou quantitatifs. (p. 436)

Le codage peut contenir plusieurs niveaux :

- rubriques (correspondent habituellement aux questions de la recherche)
- catégories (regroupements que l'analyste fait des réponses)
- sous-catégories
- valeurs (qui représentent le plus petit grain d'information)

Nous avons adopté l'approche de 'codage ouvert' utilisée dans le cadre des recherches qualitatives de type 'théorie ancrée'. Cette méthode commence par la définition de quelques catégories initiales de codage, qui ne sont pas fermées, mais restent ouvertes pour être modifiées ou enrichies par d'autres catégories.

Une grille de 'thèmes' nous a servi comme guide d'identification des catégories plus détaillées pendant le processus de codage. Comme recommandé par Creswell (1998) les protocoles comprennent des notes 'descriptives' aussi bien que des notes 'réflexives' (McNeil et al., 1998). De plus, nous avons remarqué que l'attention des auteurs varie entre le processus et le contenu du travail de conception, selon les objectifs de la recherche menée. Un schéma très exhaustif pour comprendre des aspects orientés vers le processus du design est utilisé. De l'autre côté, Suwa (1998) a développé un schéma pour la compréhension des aspects orientés vers le contenu du travail de conception.

Pour mieux répondre aux objectifs de notre recherche, le codage des données est fait selon deux groupes de thèmes :

- Celui issu des données – c'est-à-dire qui prend en compte les activités : dessiner, réfléchir, examiner, parler, écrire, écouter (Akin, 1996), et les liens entre elles (Goldschmidt, 1996)
- Celui guidé par des théories, par exemple, les modèles de conception ou les questionnements théoriques de recherche.

Un exemple du premier type de thèmes est réalisé pendant une expérience qui cherche à expliquer le rôle de l'esquisse dans le processus de design. Dans ce cadre, les actions des concepteurs sont codées selon quatre niveaux cognitifs : physique, perceptuel, fonctionnel et conceptuel (Suwa, Purcell, & Gero, 1998). Les auteurs expliquent cette division ainsi:

Past literature in cognitive science supports the proposition that information coming into human cognitive processes is processed first sensorily, then perceptually and semantically. Physical actions correspond to sensory level, perceptual actions to perceptual, and both functional and conceptual to semantic (p. 459).

Les auteurs explorent les relations entre les différents types d'actions et essaient de trouver leur incidence avec le 'déclenchement' d'idées.

Il est possible de donner comme exemple de thème guidé par les théories une recherche de Dorst et Dijkhuis (1996) qui essaie de trouver si le modèle positiviste de 'solution de problèmes' ou le modèle constructiviste de 'action réflexive' est utilisé en design. Une autre recherche, menée par Kruger et Cross (2001) étudie les stratégies cognitives de conception selon quatre principes moteurs : guidés par le problème, par l'information, par la solution, ou par le savoir-faire, dans le but d'identifier celle qui mène au meilleur résultat de design. Purcell (1996) utilise un schéma de codage basé sur le modèle de design « FBS » (*Function-Behaviour-Structure*).

Il faut noter que toutes ces recherches sont menées avec des concepteurs travaillant de façon traditionnelle (sur papier) et nous avons été obligé de modifier leurs approches (au moins) pour les rendre compatibles avec l'outil informatique.

Les données ne sont pas segmentées de façon que chaque segment puisse être classé seulement dans une catégorie. Au contraire : le tableau avec la transcription est régulièrement revisité avec les différentes catégories en vue. Ainsi, chaque segment peut être codé selon toutes les catégories, et de plus, la longueur du segment peut varier selon la catégorie.

À la lumière de ces travaux de recherche, nous avons donc défini les thématiques suivantes :

Thèmes issus des données :

Actions du concepteur

Ce codage comprend des catégories qui correspondent à la fois à la conception architecturale traditionnelle (à main levée) et aussi à l'ordinateur. La modification d'un concept, ainsi que la façon d'exprimer l'état de «réflexion» représentent des objectifs d'observation importants. Étant donné l'intérêt de cette recherche vers les représentations mentales multimodales, nous avons essayé de les identifier à cette étape – avant qu'une interprétation ait eu lieu.

Type de figuration/représentation graphique utilisé

Nous avons porté une attention spéciale sur la réalisation d'actions sémantiques et sur la représentation graphique d'éléments non-géométriques pendant le travail à l'ordinateur. Un autre aspect observé est le type de support utilisé comme fond (ou comme référence) du travail graphique.

Thèmes guidés par les théories

Les thèmes de codage guidés par les théories découlent directement des objectifs de la recherche qu'elles servent. Étant donné que les premières observations menées dans le cadre de cette recherche sont purement exploratoires, les thèmes sont assez larges et non-spécifiques. Ils visent à créer un portrait du travail d'enseignement et d'apprentissage en atelier, et non pas à prouver des hypothèses spécifiques. Certains thèmes sont plus spécialisés et représentent l'intérêt accru vers des phénomènes identifiés dans les parties précédentes de ce document comme étant importants pour l'apprentissage de la conception architecturale : le recours aux référents comme source d'inspiration et de savoir implicite; la production de plusieurs variantes de la solution qui a une incidence positive à la créativité et au processus de conception; le rôle du médium.

Grandes étapes du processus de conception

Sachant que l'outil informatique est surtout utilisé comme moyen de représentation de la solution finale d'un projet, nous avons voulu observer les grandes étapes par lesquelles passent les étudiants en travaillant sur leurs tâches.

- Compréhension préliminaire du problème;

- Design : conception, développement, représentation;
- Révision (sans dessiner).

Type de démarche itérative

Étant données que pendant la visualisation du matériel vidéo des observations, nous avons remarqué une différence dans l'attitude envers les dessins déjà faits et leur réutilisation, nous avons décidé de débiter une étude sur les itérations dans les démarches des étudiants, qui s'est avérée très parlante par rapport à ce questionnement. Voici les catégories indiquées dans le codage sur ce thème:

- travaille sur un concept,
- travaille sur plusieurs concepts,
- reprend un concept et fait des variantes (garde le concept original)
- modifie un concept après un retour critique (sans garder le concept original)
- abandonne une démarche et recommence.

Référent, inspirations, connaissances

L'étude du travail des étudiants avec les références et le rôle de ces derniers comme inspirations ou comme sources de connaissance sera essentielle pour notre recherche. Mais nous aimerions voir ce rôle dans le contexte global du travail de conception, et c'est la raison pour laquelle nous ne nous contentons pas seulement de ce type de codage. Voici les catégories que nous envisageons dans le cadre de la première observation:

- Support (image, texte, modèle, autre)
- Contenu (démarches d'autres architectes, bâtiments connus, bâtiments, inspirations non architecturales, éléments du site)
- Type (Métaphores visuelles, Métaphores structurelles, Fonctionnement similaire, Précédent du même domaine)
- Utilisation (Directe (Copie), Compréhension d'une connaissance, Réutilisation d'une connaissance, Déduction, abduction ou induction)

Blocages / déclencheurs

L'outil informatique est presque toujours perçu comme un inhibiteur de la pensée créative, comme une source d'obstacles pendant un processus de conception architecturale. En même temps, c'est connu que des fois, l'outil de travail peut déclencher une idée, une découverte. Comme l'écrit Cross (2002) par rapport au croquis : il nous aide à franchir un blocage par un processus de dessin-réflexion, pendant lequel l'architecte fait la critique et la découverte en même temps. La question se pose : comment le travail en informatique influence ces processus? Ainsi, nous avons défini une thématique de codage qui considère les différents aspects des blocages et des déclencheurs pendant la conception d'un projet architectural, aussi que leurs origines. Nous avons mis l'emphase sur les obstacles provoqués par l'outil et la façon de les surmonter, aussi que sur les déclencheurs inspirés par le médium de travail.

Les catégories de tous ces thèmes d'intérêt seront mises ensemble dans un tableau de synthèse pour donner une image globale de l'expérience. Ainsi, l'interprétation des résultats tiendra compte de tous les aspects de l'étude et leurs interactions.

Le travail sur les observations préalables a donné le tableau suivant qui synthétise les données pour un(e) étudiant(e), à chaque moment de la séance de travail : les données de l'enregistrement vidéo (transcrites), le texte des commentaires, images du matériel graphique et le codage selon les catégories d'analyse (fig. 12).


5_m11		informatique												
temps	logiciel	support	action	codage ACTION	Codage TECHNIQUE	Autres observations	temps commentaire	commentaire	Grandes Etapes	Micro stratégie de Niveau d'abstraction	Type de démarche itératif	CBR - références	Blocages - illuminations	Organisation de l'information
0.00	AutoCAD	la carte de la ville		A-RgS A-PoCv				... J'ai ouvert AutoCAD... puis quand j'ai ouvert le fichier c'était pour avoir des mesures du terrain... je voulais prendre des mesures du terrain sur la carte photo carte parce qu'on n'a pas de papier avec les mesures exactes.	GE-C					
			conversation: c'est en mètres le plan? Oui, c'est en mètres.	A-RgS				Puis j'allais juste prendre les mesures et peut-être faire un carré de même dimensions dans FormZ Et ensuite partir de ça carrément pour faire quelque chose mais là j'ai des difficultés	GE-C				B-RS	
2.20			mesure sur le plan	A-Ou				... OK donc là tu cherches des mesures? En fait je cherchais les fonctions pour donner les mesures et ça donnait un chiffre mais je suis même pas sûre de ce que ça veut dire donc j'essayais 3-4 fois pis c'était pas les mesures exactes	GE-C					
2.47			ferme AutoCAD	A-Ou										B-SCo
3.30	FormZ	aucun	dessine un carré	A-Ou				J'ai pris les mesures et j'ai en FormZ donc je vais faire un carré dans FormZ avec les dimensions du site... j'arrivais vraiment pas	GE-C					B-ROPI
			efface le carré	A-Ou				... Mais pourquoi tu dis qu'il faut apprendre AutoCAD en bac? FormZ ça ne suffit pas?	GE-C					B-ROPI

Figure 12: Exemple de traitement des données de la première observation

Vu la très grande quantité de données ramassées, le codage est partiellement complété. Certains moments importants sont sélectivement codés après une première ‘lecture’ des données dans le but d’y découvrir plus de détails.

4.4 Représentation des résultats et interprétation

Les résultats des observations exploratoires en atelier seront tirés suivant les méthodes de l’analyse inductive et l’interprétation des données. Ils représentent une mise en relation des différentes catégories de données. Ils seront décrits et aussi présentés en tant que schémas et théories.

Étant donné que plusieurs observations seront menées dans le cadre de la recherche ici présentée, leurs résultats seront mis en relation et interprétés ensemble. Ainsi, la comparaison entre les expériences, menées avant et après l’introduction de la nouvelle méthode d’enseignement envisagée, nous permet de la mettre à l’épreuve. Toutefois, conçues comme un système ouvert, les méthodes pédagogiques et didactiques peuvent être modifiées et enrichies après chaque mise à l’épreuve.

Plus tard, les résultats seront interprétés. D’après Van der Maren (1996), malgré la liberté offerte par une ‘interprétation’ des résultats, il y a des principes à suivre :

- Respecter les contraintes et les exigences contenues dans les résultats sans y projeter de désir ni détruire ce qui est gênant.
- Maintenir une claire correspondance entre les « données apparentes et dévoilées, en s’interdisant d’introduire [...] un écart favorisant l’interprète et son pouvoir au détriment de l’évidence des données ou de l’intelligence de ses informateurs et de ses lecteurs ». (Van der Maren, 1996, p. 471)

Ces balises sont identifiées pour protéger le public de la subjectivité du chercheur.

Après avoir fait le choix de la stratégie de recherche, de la méthode qualitative à utiliser et du type de protocole à employer, nous allons présenter l’étude exploratoire en atelier.

...we are obliged to investigate very seriously cultural constructs, architectural theory, as well as the human design cognitive apparatus. In doing so mechanization achieves what people usually tend to ignore that machines can do: it offers a better understanding of human nature, thus making humans more human. (Tzonis, 1992)

Chapitre 5. Étude exploratoire en atelier : Observation-1

L'étude exploratoire menée en 2004 comprend deux observations trimestrielles : celle de l'Hiver 2004 et celle de l'Automne 2004¹, dans le cadre du même atelier thématique 'Forme et fonction', spécialisé en CAO. Les étudiants de troisième année à qui s'adresse cet atelier, ont été spécialement ciblés, se trouvant à mi-parcours d'apprentissage. Au moment de l'expérience, ils ont déjà accompli les 60 crédits préparatoires du cours d'apprentissage et ont commencé à travailler sur des projets architecturaux dans le cadre de l'approche «apprendre en faisant» (*learning by doing*) utilisée en atelier. Ils ont aussi suivi le cours d'initiation aux outils numériques de DAO/CAO, donné à l'école d'Architecture en deuxième année du premier cycle. Tous ses facteurs nous permettaient d'avoir le groupe optimal pour nos observations.

Les étudiants inscrits dans l'atelier venaient de deux cohortes consécutives d'étudiants de l'École d'Architecture de l'Université de Montréal. Six étudiants (deux femmes et quatre hommes) était inscrits dans l'atelier pendant le trimestre d'hiver, et huit (quatre femmes et quatre hommes) en automne. À la mesure du possible, et étant donné que la méthodologie d'observation a été la même, les données de ces deux trimestres seront considérés comme un ensemble, et seront référées en tant qu'Observation-1. Des distinctions seront faites seulement pour souligner certaines spécificités.

¹ Les étudiants qui ont suivi ces ateliers étaient différents. À cause d'une modification du programme de premier cycle, l'atelier thématique en CAO qui se donnait en deuxième trimestre de troisième année (hiver 2004), a été reporté au premier trimestre, toujours de la troisième année d'études (automne 2004).

5.1 Approche pédagogique dans l'atelier observé

La spécialisation en CAO de cet atelier s'exprime dans l'objectif d'apprendre aux étudiants des méthodes à concevoir un objet directement en trois dimensions et à l'aide de moyens numériques. Techniquement, les approches se basent sur l'utilisation avancée des fonctionnalités déjà présentes dans les logiciels. Un choix a été laissé au niveau de l'utilisation des logiciels, avec une préférence vers les logiciels de modélisation 3D (et non de DAO). L'apprentissage des logiciels de modélisation (LightWave dans ce cas) se faisait dans l'atelier même, sans cours préparatoire. Étant donné que les cours se basent habituellement sur la modélisation d'objets existants, et non sur la création, ce qui mène à des préconceptions nocives à l'utilisation créative d'un logiciel, nous avons émis l'hypothèse que : apprendre un logiciel en travaillant sur un projet de création, permettrait plus d'exploration du projet-même.

5.2 Objectifs de l'observation en atelier

Étant conçue comme recherche exploratoire, pendant cette observation, indépendamment de certains objectifs fixés au préalable, nous sommes restés ouverts à explorer les données pour en dégager d'autres aspects intéressants et ainsi, nourrir les caractéristiques d'une méthode d'enseignement en atelier. Cette observation a aussi servi dans le cadre du projet de recherche sur la pédagogie avec le numérique, subventionné par le CRSH (responsable De Paoli, SE04).

Au niveau observation, les objectifs suivants ont été posés : (1) de décrire les démarches de conception utilisées par les étudiants quand ils travaillent à l'aide de l'outil informatique, (2) de voir si cette démarche est différente de celle utilisée pendant leur travail sur papier à la main levée, et (3) de trouver comment cette démarche (à l'ordinateur) a changé (ou non) vers la fin de l'atelier. Il faut mentionner que dans la littérature, il n'y a pratiquement pas de témoignages d'observations détaillées faites en situation de travail conceptuel à l'ordinateur. Les études sont menées surtout sur des séances de travail de façon traditionnelle.

Au niveau analyse et compréhension, nous aimerions identifier : (1) l'utilisation que les étudiants font des références (métaphores, précédents, connaissance et autres), (2) les

aspects du travail avec l'informatique qui les bloquent (3) les moments ou les actions qui servent comme déclencheurs d'idées;

5.3 Protocole de l'observation

Comme il a été spécifié dans le chapitre précédent, la méthode du protocole rétrospectif a été utilisée pour la cueillette des données. Malgré le fait que la verbalisation se faisait une fois le travail de conception accompli, l'enregistrement du processus de travail lui-même nous dit long, et apporte des éléments d'un protocole concurrent.

Le processus de travail sur les tâches de conception a été enregistré par caméra vidéo, individuellement pour chaque étudiant. Le champ de vision était tourné vers les feuilles (dans le cas de travail à la main levée) ou vers l'écran, quand l'étudiant utilisait l'ordinateur. Toutefois, certains gestes des mains ainsi que les conversations sont enregistrés. Un logiciel de capture de session d'écran (Camtasia) a été utilisé pour enregistrer plus de détails sur le travail avec l'outil numérique. Les commentaires sont filmés de façon semblable, montrant l'écran où est projeté l'enregistrement du travail de l'étudiant.

Dans ce qui suit, nous présentons la description des observations exploratoires, en commençant par les micro-observations.

5.4 Données

Seulement les données des micro-observations et celles des questionnaires seront présentées, les autres servant de fond général (comme décrit dans le Chapitre-4).

5.4.1 Micro-observations : hiver 2004

Les micro-observations sont faites en tenant compte des activités d'atelier et des compétences des étudiants. Pour faciliter cette mise en situation, nous les avons invités à répondre à deux questionnaires: un avant la première observation et l'autre après la deuxième.

Au début du trimestre

Cette première micro-observation a été menée au début du trimestre d'hiver 2004. L'énoncé de la tâche prévoit un développement architectural nommé « Habiter le Havre de Montréal ». Les exigences sont les suivantes :

Habiter le Havre de Montréal :

1. Travail en phase de conception : proposer une solution d'implantation (concept), ensemble avec son expression formelle
2. Niveau de détail qui montre: la hauteur approximative des bâtiments, l'emprise au sol, leur forme conceptuelle en 3 dimensions, l'emplacement des différentes zones fonctionnelles et l'emplacement des entrées principales
3. Programme :
 Développement résidentiel d'occupation mixte (prévoir aussi des logements à prix abordables), avec des fonctions supplémentaires publiques ou touristiques

Les deux sites donnés aux étudiants pour cette tâche étaient déjà analysés en classe. Chaque étudiant devait d'abord réaliser la tâche demandée à l'ordinateur pour 45 minutes, et après, travailler à la main levée sur la même tâche mais dans le contexte de l'autre site proposé, pendant 45 minutes.

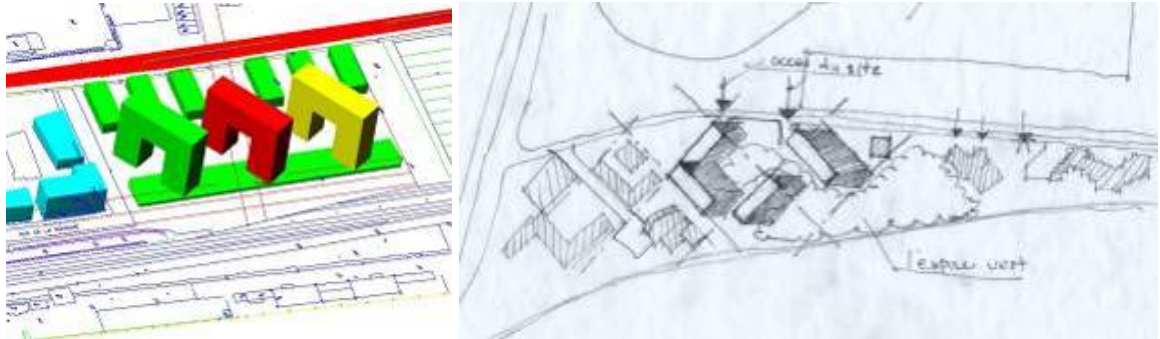


Figure 13: Travail d'un étudiant : sur site-1 à l'ordinateur, et sur site-2 à la main levée

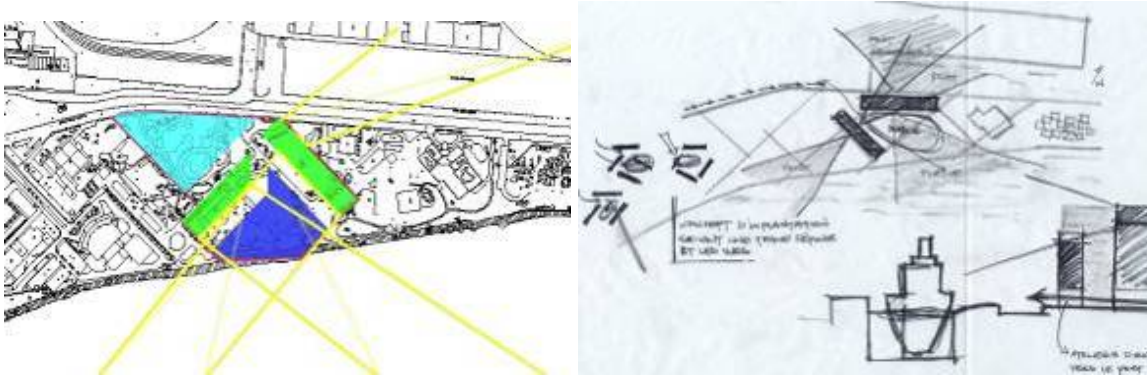


Figure 14: Travail de deux étudiants différents sur le même site-2

À la fin du trimestre

La deuxième micro-observation a été menée à la fin du trimestre d'hiver 2004, dans le même atelier et avec les mêmes étudiants comme la première expérience. Cette fois, la tâche architecturale est la suivante :

« S'arrêter au Havre de Montréal »

1. *Travail en phase de conception* : proposer une solution d'implantation (concept), ensemble avec son expression formelle.
2. *Niveau de détail* qui représente : la forme conceptuelle en 3 dimensions, l'emplacement des différentes zones fonctionnelles, expression d'une « matérialité » par la transparence et l'opacité.
3. *Programme* : Arrêt de tramway (ou de train léger) avec espace d'attente fermé, guichet ou distributeurs de tickets, espace d'attente semi-ouvert

La tâche devait être réalisée à l'ordinateur, toujours dans le cadre de 45 minutes.

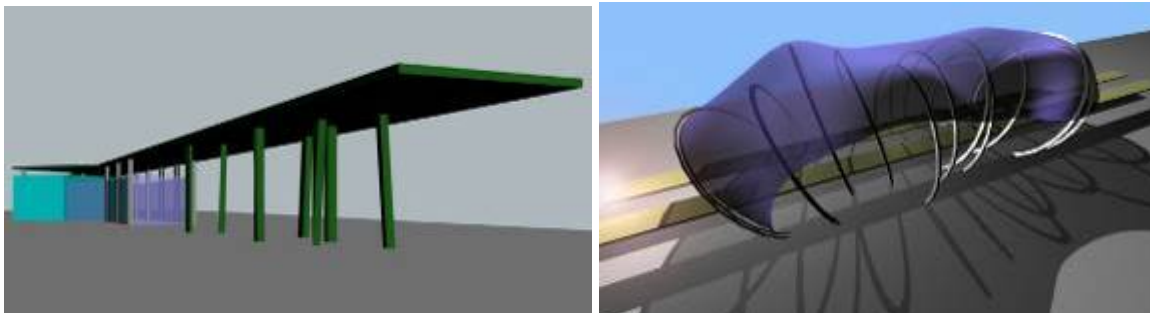


Figure 15: Travaux de deux étudiants

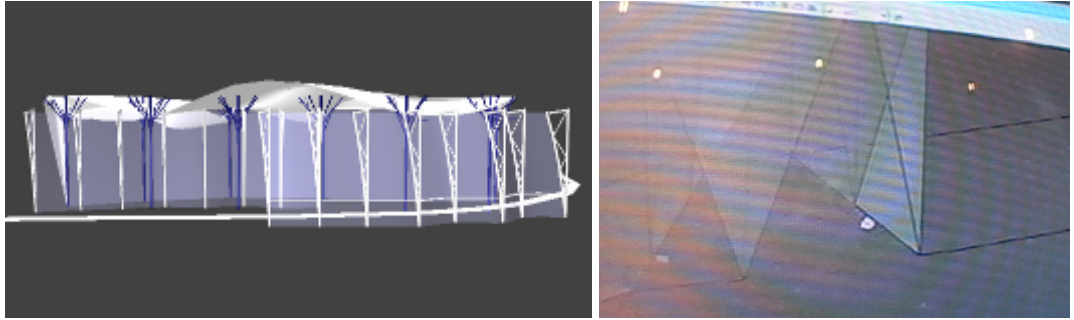


Figure 16: Réutilisation d'idées du projet trimestriel

Étant donnée la jonction des buts pédagogiques aux objectifs scientifiques du travail réalisé dans le cadre des micro-observations, nous avons opté pour des tâches architecturales liées au projet du trimestre. Ceci a provoqué une différence dans l'ordre de grandeur des tâches données au début et à la fin du trimestre. Au début, tout le projet était à développer, pendant qu'à la fin, on pouvait seulement proposer la conception de bâtiments ou espaces supplémentaires.

Une autre conséquence provoquée par l'utilisation du même contexte pour le projet trimestriel et les micro-observations, était la réutilisation de certains idées ou éléments déjà développés pour le projet, dans le cadre de la tâche demandée pour l'expérience. D'un côté, ceci est une façon tout à fait naturelle d'assurer la cohérence de l'ensemble architectural, mais de l'autre, il enlève la *tabula rasa* de la première micro-observation au moment de la deuxième.

Nous avons essayé de neutraliser ces déséquilibres pendant le deuxième trimestre d'observations.

5.4.2 Micro-observations: automne 2004

Cette fois, c'est seulement la tâche de la première micro-observation qui se trouvait être en relation avec le programme et le site du projet trimestriel. Lors de la micro-observation de la fin du trimestre, nous avons demandé la conception d'un objet architectural détaché du contexte du projet principal pour éviter l'effet de la réutilisation de concepts et éléments déjà créés.

Micro-observation du début du trimestre

Cette troisième micro-observation est au fait, la première pour les étudiants de cet atelier, et a été menée au début du trimestre d'automne 2004. L'énoncé de la tâche prévoit un développement architectural nommé « Spectacle-Transit : Vivre, créer et se divertir dans le Quartier des spectacles » de Montréal. Les exigences étaient les suivantes :

« Spectacle-Transit: Vivre, créer et se divertir dans le Quartier des spectacles » de Montréal.

1. Proposer une solution d'implantation (concept), avec son (une) expression formelle (parti)

2. Le niveau de détail doit montrer : la composition de l'ensemble (forme conceptuelle en 3 dimensions), la hauteur approximative des bâtiments projetés, l'emprise au sol des espaces et des bâtiments, le schéma fonctionnel, l'accès et les entrées principales.

3. Programme : Développement d'un centre avant-gardiste et « vivant » qui abrite des fonctions mixtes : des spectacles spontanés, des expositions « nomades » et d'autres fonctions publiques (communications, circulation, métro, sport) ou touristiques; Prévoir aussi des habitations pour artistes et/ou étudiants

La tâche s'inscrivait dans le contexte du projet trimestriel de l'atelier, et devait être réalisée une fois à la main levée en 45 minutes, pour élaborer après un deuxième concept à l'ordinateur, toujours en 45 minutes. Malgré la petite différence dans l'énoncé par rapport à Micro-observation-1, nous considérons les descriptions assez proches pour servir les buts de cette recherche.

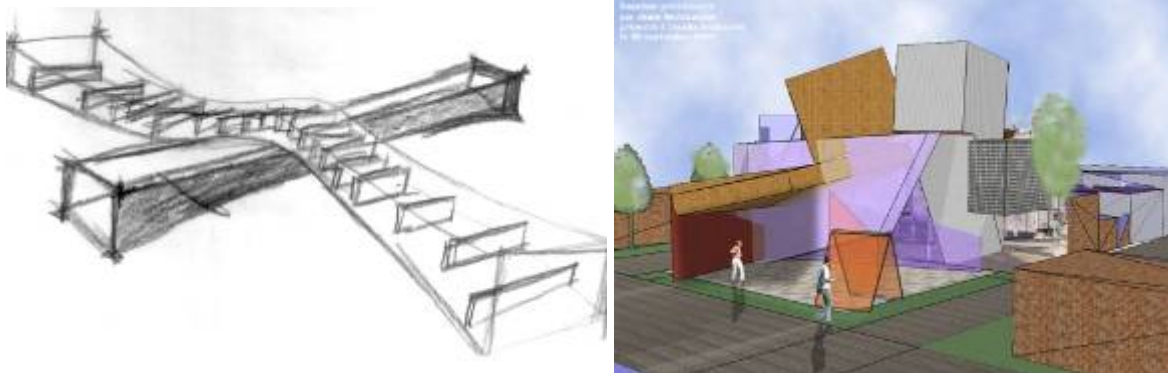


Figure 17: Travaux de deux étudiants pendant la Micro-observation-3

Micro-observation de la fin du trimestre

Il s'agit de la deuxième micro-observation pour les étudiants de l'atelier d'automne. Elle a été menée à la fin du trimestre d'automne 2004, dans le même atelier et avec les mêmes étudiants comme la micro-observation-3. Cette fois-ci, l'énoncé de la tâche a été modifiée pour :

1. Atténuer l'effet du contexte du projet trimestriel qui incitait les étudiants à réutiliser les idées et éléments architecturaux déjà développés pendant le trimestre; et
2. Apporter une nouvelle dimension à étudier (notamment l'expression en 3D et à l'ordinateur d'idées sémantiques véhiculées par différents types d'images), afin d'aider la définition de dispositifs numériques d'aide à l'enseignement.

La tâche architecturale à réaliser pendant cette micro-observation, consistait à :

Donner une expression spatiale de la phrase: "... entre la légèreté et la masse"

Pour mieux comprendre l'énoncé, les étudiants devaient interpréter les images sur la feuille de l'énoncé, qui représentaient l'idée d'un équilibre dynamique. Au fait, les trois points au début de la phrase « ... entre la légèreté et la masse » devaient être 'rempli' par le concept véhiculé par les images. Les étudiants étaient divisés en deux groupes selon le matériel graphique donné comme référence :

- Images représentant de l'équilibre dynamique de façon schématique + dessins géométriques sur le même thème
- Images représentant de l'équilibre dynamique de façon schématique + images expressives sur le même thème

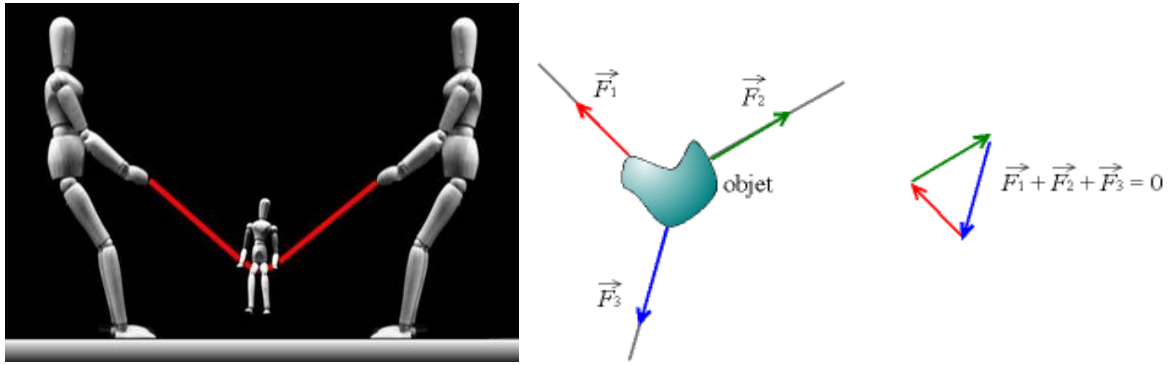


Figure 18: Exemples de la première série d'images – 'géométrique'



Figure 19: Exemples de la deuxième série d'images – 'danseur'

Le travail sur cette tâche a donné des résultats originaux de point de vue architectural, et aussi cognitif (Fig. 20 et 21).

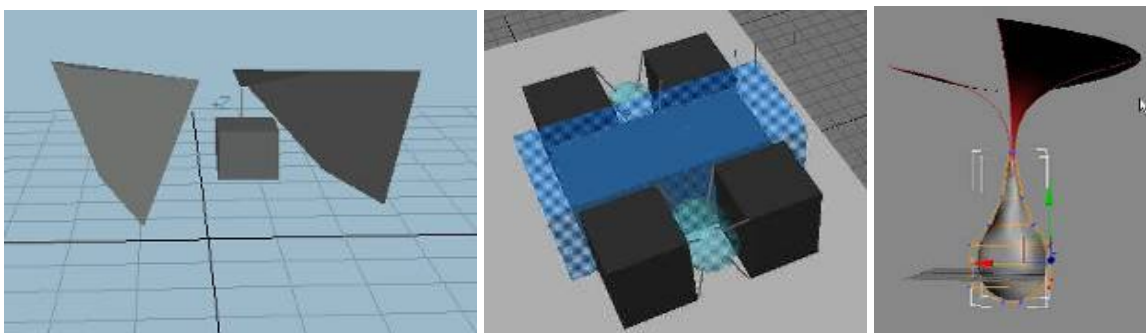


Figure 20. Travaux des étudiants ayant travaillé avec la série d'images 'géométrique'

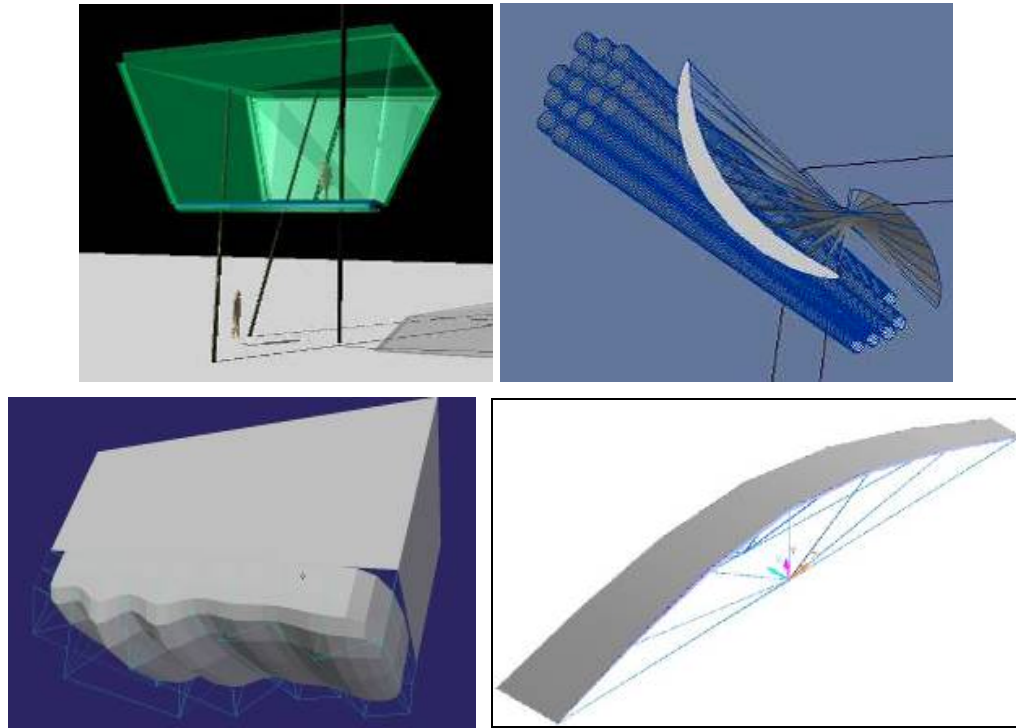


Figure 21. Travaux des étudiants ayant travaillé avec la série d'images 'danseur'

Tous les étudiants ont interprété le matériel graphique de façon acceptable. Certains étudiants ont même pu 'deviner' la phrase « équilibre dynamique » qui était visée par nous avec les images. Par contre, la nature différente des séries d'images proposées en tant que référents n'a pas influencé considérablement le caractère des projets.

5.4.3 Questionnaires

Les questionnaires sont largement utilisés dans le cadre des recherches du domaine de l'éducation (Heylighen, 2000; Yakeley, 2000; Rivka Oxman, 2004). Ils ont également un rôle complémentaire aux autres expériences dans notre recherche, notamment pour recenser l'état des connaissances et de l'expérience professionnelle des étudiants au début du trimestre; et voir, à la fin du trimestre l'évolution (avouée par eux) dans ces connaissances. Le regard porté par les questionnaires (voir Annexe-1 et 2) est plutôt quantitatif¹, à l'exception de certaines questions qui exigent des réponses descriptives. Des données obtenues à l'aide de cette interrogation aident le positionnement de chaque étudiant dans l'image variée de connaissances préalables à l'atelier, que ça soit au niveau

¹ Les résultats sont quantifiés, mais aucune manipulation statistique n'est appliquée, comme le suggèrent certaines approches interprétatives et 'combinées' proposées par Creswell (2007), Creswell & Vicki (2007)

expérience architecturale ou informatique. Elles nous aident aussi à créer un portrait des méthodes de conception et des médiums utilisés par les étudiants en atelier de façon générale.

Une partie des questions porte sur les méthodes de travail que les étudiants utilisent en atelier. Au début du trimestre, dessin à main levée et maquette étaient les méthodes préférées, suivies par CAO, infographie et collage. À la fin du trimestre, le dessin à la main levée avait toujours une place privilégiée, mais elle a été partagée avec l'élaboration de maquettes en 3D et avec l'infographie comme approches préférées. La proportion de l'utilisation d'outils traditionnels vers les outils informatiques a changé de 3 : 2 au début du trimestre, à moins de 1 : 3 à la fin du trimestre.

Une autre partie des questions vise les connaissances des étudiants de logiciels de CAO, d'infographie, de présentation et de publication sur le Web. Le portrait au début du trimestre était comme attendu : connaissances d'un logiciel de CAO et quelques logiciels de présentation et infographie. Rarement quelqu'un montrait de connaissances de design de page Web. L'évolution représentée dans le questionnaire de la fin du trimestre est quelque peu surprenante parce qu'elle montre à peine une amélioration de 10% dans les compétences informatiques des étudiants. Cependant, une évolution très positive a été constatée de la part de l'enseignant de l'atelier et aussi des étudiants eux-mêmes, dans leurs commentaires (on entendait souvent: « on a énormément appris »). Ce décalage entre la 'mesure' quantitative et les données qualitatives peut être attribué à un changement dans la perspective des étudiants par rapport aux logiciels après qu'ils ont travaillé intensivement à l'ordinateur pour leurs projets architecturaux. Pour nous, à la fin de l'atelier ils étaient plus conscients des difficultés ainsi que des multitudes de possibilités qui accompagnent l'utilisation de l'informatique, et par conséquent, ils étaient plus prudents dans l'estimation¹ de leurs connaissances.

5.5 Résultats: Analyse et interprétation

Comme il a été déjà mentionné dans le Chapitre-4, à cause de la méthodologie qualitative adoptée pour cette recherche, les données ne sont pas traitées statistiquement pour être

¹ La connaissance de chaque logiciel a été jugée selon une échelle de graduation: nulle–faible–bonne–excellente

analysées. Un codage partiel a été réalisé, surtout dans le but de nous permettre d'entrer dans le détail et améliorer la perception de micro processus et phénomènes. Les données de 2 des 14 étudiants ont été entièrement transcrites et codées. Ceci a aidé la 'lecture' plus précise et approfondie du reste des données. Ainsi, les données ont été partiellement codées, mais analysées entièrement.

Dans ce qui suit, les résultats de cette recherche exploratoire seront présentés en commençant par deux thèmes non-spécifiques : actions du concepteur (thème guidé par les données), et démarche de conception architecturale (thème guidé par la théorie). Après, les thèmes orientés plus spécialement vers les objectifs de cette recherche (blocages et déclencheurs d'idées, ainsi que le recours aux référents) seront discutés. Des comparaisons qualitatives seront effectuées entre le travail à l'ordinateur du début et de la fin du trimestre, ainsi qu'entre la conception en esquisse sur papier et celle à l'ordinateur.

5.5.1 Actions du concepteur

Actions

En général, les actions du concepteur ont l'air beaucoup plus saccadées à l'ordinateur. Elles sont interrompues soit par des recherches de commandes dans les menus, soit par des opérations échouées, soit par des 'undo' et 'erase'. Une très grande partie de ces interruptions sont dues au niveau non-satisfaisant de connaissance du logiciel utilisé, ainsi qu'à son ergonomie qui ne facilite pas l'apprentissage en travaillant.

La présentation d'éléments non géométriques et non formels est difficile, et se trouve rarement dans les travaux réalisés avec l'outil informatique (comme des flèches, des codes de couleurs, etc.), tandis qu'elle est beaucoup plus présente sur papier. Les annotations sont tout à fait absentes des travaux à l'ordinateur et omniprésentes sur papier.

L'ambiance du projet semble être plus facilement exprimable par les étudiants sur papier (silhouettes architecturales, voitures, personnages, verdure). En informatique, l'effet se trouve à être des fois même meilleur, mais dépend des sources extérieures comme des photos, des personnages déjà créés, etc.

Les périodes de réflexion sont présentes d'une façon semblable dans les deux médiums de travail, par exemple la souris est bougée tout comme le crayon dans la main, mais sans laisser de traces sur le dessin ou dans le modèle. Cependant, certains des indicateurs de la

réflexion, qui relie des actions motrices (hachurer, colorer, enfoncer un trait, dessiner un arbre) et la perception (l'étudiant regarde son dessin en même temps) pendant le travail de façon traditionnelle, ne sont pas présents à l'ordinateur. Cette absence est susceptible de jouer un rôle négatif au niveau de la créativité. D'autres explorateurs de la problématique (Akin & Chengtah, 1996) trouvent que les idées émergent surtout quand il y a des actions motrices, de perception et de réflexion au même moment.

Techniques utilisées

Dépendamment du logiciel choisi, les étudiants travaillaient soit en 2D au début, et 'extrudaient' après les formes pour obtenir le 3D (AutoCAD, FormZ) ; soit directement en 3D (à partir de dessins sur 3 plans de références, quand le logiciel en donne la possibilité: Rhino, 3DS, LightWave ; ou directement en 3D relatif aux autres objets dans la scène : SketchUp). La facilité de modéliser directement en 3D a été très appréciée par les étudiants. Manipuler et modifier interactivement un modèle en 3D a été plus propice à l'émergence de moments de 'voir comme' pendant le processus de design. La manipulation facile du modèle en rendu 'solide', combinée avec une possibilité de montrer et de cacher des parties de l'objet, ont été identifiées comme des éléments d'une bonne ergonomie de travail.

Il est possible de remarquer qu'à part le travail en 3D et la possibilité de manipuler le modèle interactivement et sous différentes représentations numériques, ces logiciels n'offrent pas des techniques paramétriques ou génératives pour création et exploration de la forme architecturale.

Apprentissage de logiciels de CAO en travaillant sur le projet trimestriel

L'hypothèse que l'apprentissage d'un logiciel en travaillant (*'hands-on' learning*) peut être avantageux pour l'exploration architecturale s'est avérée crédible. La compréhension et la maîtrise de ces logiciels a été assez bonne à la fin du trimestre. Pourtant, ceci n'a pas été reflété dans les réponses aux questionnaires à la fin du trimestre (déjà mentionné dans ce Chapitre). Elles démontrent une amélioration d'à peine 10% dans l'évaluation du niveau de maîtrise des logiciels en général, ce qui est à notre avis dû à une attitude plus critique des étudiants vis-à-vis de leurs connaissances du numérique à la fin du trimestre.

Cependant, nous pensons que des dispositifs spécifiques pourront être mis en place pour aider les étudiants dans le processus d'apprentissage des méthodes numériques en même temps avec le travail sur un projet d'architecture.

5.5.2 Démarche de conception architecturale

Après une comparaison des démarches de conception des étudiants pendant le travail à la main levée sur papier, nous avons remarqué qu'il n'y a pas un modèle de conception qui est plus répandu qu'un autre : il y a des étudiants qui passent beaucoup de temps en réfléchissant sur différentes versions de l'ensemble architectural à 'projeter'; il y en a d'autres qui travaillent à la représentation de leur idée, après avoir eu une seule solution; il y en a qui travaillent en reprenant des dessins conçus précédemment pour les modifier; et de suite. Cette diversité semble normale, de plus que Kruger (Kruger & Cross, 2001), dans l'étude sur les « Quatre stratégies cognitives » remarque que : *The different strategies appear not to be related to overall solution quality in any straightforward manner.* Cependant, il y a des étudiants qui ont besoin de corriger certains aspects de leurs démarches créatives. En général, il y a eu beaucoup plus d'exploration à l'heure des observations à la fin du trimestre qu'au début.

Papier vs. ordinateur

Malgré les différences et les difficultés de travailler à l'ordinateur, la comparaison entre les premières tâches de conception (au début du trimestre) réalisées à l'ordinateur et sur papier, nous a fait remarquer des similitudes dans les démarches des étudiants avec les deux médiums de travail. La plus importante est que l'étudiant qui se contentait d'une idée, travaillait de la même façon avec les deux outils. Et aussi – l'étudiant qui travaillait en faisant des changements sur un concept principal, en le modifiant, essayait de travailler de la même manière (parfois, avec beaucoup de difficultés en informatique). On a pu également remarquer que les préférences des étudiants pour la forme des volumes étaient identifiables dans les deux cas, mais plus difficilement exprimées avec l'outil informatique.

Ces résultats peuvent, à notre avis, mener à deux conclusions : que les étudiants ont déjà (en troisième année de leur formation d'architecture) des démarches de conception et des préférences formelles relativement bien établies; et qu'avec l'outil informatique ils essaient

de continuer les mêmes démarches, en ‘copiant’ quelque peu les méthodes de travail traditionnelles.

Ordinateur au début vs. ordinateur à la fin du trimestre

Pendant le premier travail en informatique au début du trimestre, les étudiants n’étaient pas prêts à concevoir leurs projets à l’aide de l’ordinateur. Dépendamment de leurs connaissances en CAO/DAO, ils ont passé beaucoup de temps à essayer les logiciels sur leurs ordinateurs et à déclarer un ‘échec’ après avoir travaillé 5-10 minutes avec chacun. Les résultats obtenus étaient plus ou moins probants seulement à l’aide de l’infographie, où l’ordinateur a été utilisé comme crayon ou presque. Le travail se faisait surtout en ‘faux 3D’¹. Il n’y avait presque pas d’étude de différents concepts et la représentation du modèle accaparait la plupart du temps de travail de l’étudiant.

La comparaison entre les deux séances de conception à l’ordinateur (au début et à la fin du trimestre) nous démontre que grâce à la panoplie de logiciels essayés, et l’expérience accumulée en atelier, les étudiants ont réussi à choisir le logiciel qui convenait le mieux à leurs démarches. La réutilisation de dessins ou modèles précédemment réalisés était beaucoup plus fréquente et réussie. Le travail de représentation graphique a été beaucoup plus court, l’emphase étant mise sur l’exploration des volumes et des espaces architecturaux. Il faut, toutefois, remarquer que cette exploration se déroule surtout à un niveau formel, les éléments sémantiques, non-volumiques et symboliques étant difficilement représentables à l’aide des logiciels utilisés. À souligner aussi qu’au début, la plupart des étudiants travaillaient sur le même modèle, sans sauvegarder des étapes pour y revenir et les reprendre éventuellement par la suite. À la fin du trimestre, plus de variations ont été explorées et des étapes de travail sauvegardées.

Toutefois, certaines préconceptions par rapport aux moyens numériques sont restées. Il s’agit d’au moins deux types d’étudiants : qui ont déjà eu une formation sur des logiciels de dessin ou modélisation dans un contexte de production et non pas de création; ou qui ont été inculqués de la pensée que l’ordinateur empêche la créativité et que la conception architecturale devrait se faire de façon traditionnelle.

¹ axonométrie ou perspective dessinées avec un logiciel d’infographie.

5.5.3 Blocages provoqués par l'outil

Par rapport aux blocages provoqués par l'outil, nous constatons qu'ils étaient beaucoup plus présents pendant la première observation, comparativement à la deuxième. Les étudiants essayaient de changer le logiciel pour surmonter les obstacles, ou encore, abandonnaient leur idée initiale pour la changer avec une autre, selon le médium utilisé. Toutefois, il n'est pas clair s'ils étaient conscients de ce changement 'imposé'. Des affirmations de type : « Je n'ai pas changé l'idée, mais je l'ai représentée d'une autre façon » témoignent de ça. Le résultat d'un tel changement est représenté sur la Fig.16.



Figure 22: Idée : spirale ; réalisation : cerceaux désaxés

Un autre type de blocage s'est manifesté en tant qu'inhibiteur : ne pas se permettre de commencer une idée parce qu'on sait qu'on ne pourrait pas la développer à l'ordinateur. En fait, si le numérique est vu comme un 'matériau' avec lequel on s'apprête à faire une maquette, on peut bien se dire qu'on suit les contraintes de ce matériau. Mais le numérique est du 'matériau' virtuel et devrait pouvoir simuler les propriétés de différentes matières, ce qui est en réalité loin d'être acquis.

5.5.4 Déclencheurs d'idées

Quant aux déclencheurs d'idées, c'est le site d'intervention et les référents qui ont servi le plus souvent comme inspiration. Pour certains auteurs (Suwa, Gero & Purcell 1999), les déclencheurs pendant un processus de conception architecturale sur croquis sont provoqués par « *the combinations of previous drawings and observing the sketches from a different meaning* ». C'est rare que l'outil informatique puisse supporter une telle ambiguïté qui favorise les processus cognitifs. Cependant, nous avons constaté à quelques reprises, presque exclusivement pendant la deuxième expérience de travail en informatique, un déclenchement d'idées provoqué par l'outil. Ce sont des résultats surprenants et non-attendus pendant une manipulation de la forme ou encore pendant la génération d'un volume à partir de données non-déterminantes avec la 'participation' de l'outil.

Pendant la 4-ème micro-observation, le travail des étudiants était plus libre. Un exemple est le travail représenté sur la Fig. 17. Pendant les commentaires, on a entendu des témoignages de type : « se laisser guider par le logiciel », qui font penser à un rôle assez prononcé du médium informatique dans le processus. Un moment de cette nature est rapporté de la façon suivante pendant les commentaires après l'enregistrement : « le toit s'est effacé et j'ai trouvé que ça faisait bien ». Dans l'absolu, il n'est pas souhaitable de laisser un logiciel de modélisation 'guider' le processus de design, mais dans ce cas, il s'agit de quelques moments de découvertes inattendues que l'étudiant accepte ou non selon son jugement.

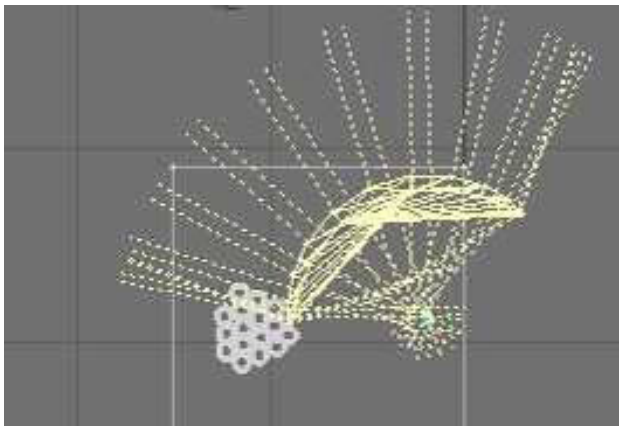


Figure 23 : « Se laisser guider par le logiciel »

Il reste, par contre, que les déclenchements d'idées provoqués par l'outil sont presque exclusivement de type formel et jamais de nature sémantique ou fonctionnelle.

5.5.5 Recours aux référents

Dans le Chapitre-2, le rôle des référents en tant que source d'inspiration et du savoir-faire a été étudié. Nous avons, alors, conclu que le transfert de caractéristiques structurelles ou fonctionnelles d'un référent est apte à apporter des analogies profondes à l'objet en conception. Or, à cause de la prédominance de la composante visuelle dans la représentation des référents, les méthodes restent inconnues. La compréhension de ce qui est exemplaire dans un précédent est la première marche vers la création d'analogies profondes.

Comprendre l'essence et la transférer à un nouveau projet

Pendant les observations en atelier d'architecture, nous avons essayé de voir quelle est l'utilisation que les étudiants font des référents. En d'autres mots, à part de s'en inspirer, est-ce qu'ils apprennent d'eux, et si oui, comment? Nous avons alors, identifié deux problèmes :

- (1) Au cas où un référent a seulement des représentations visuelles (par exemple photos ou dessins), souvent les étudiants ne comprennent pas son 'essence' (les caractéristiques qui l'ont rendu exemplaire), qui reste cachée derrière les images. Par exemple, 100% des étudiants n'ont pas compris que la forme spécifique du bâtiment de *Greater London Authority* (arch. Foster & Partners) est le produit de considérations écologiques et savoir-faire architectural (Fig.24). Dans certains cas, ce problème est résolu par la présence de mots-clés et du texte qui accompagne le support visuel (65% des étudiants).



Figure 24: The Greater London Authority (GLA) Building, de Foster & Partners

- (2) Le deuxième problème rencontré c'est que dans certains cas, même quand les étudiants comprennent l'essence d'un référent, ils ne sont pas capables de faire le transfert analogique à cause du manque de savoir-faire. Dans l'exemple donné sur la Figure 25, un paraboloïde hyperbolique a été correctement reconnu comme tel par un étudiant qui avait choisi cette image comme référence. Mais le fait d'avoir pu nommer l'objet et son 'essence' ne lui a pas permis de le transférer vers la nouvelle situation de design (qui implique un rôle structurel de la forme aussi). Cette réalisation lui a pris beaucoup de recherches et d'efforts, juste pour représenter l'objet en 3D, vu que les logiciels de CAO usuels n'offrent pas cet objet géométrique. Dans ce cas, une description du processus qui a généré la forme ou les principaux morceaux de savoir-faire utilisés, aurait pu aider.

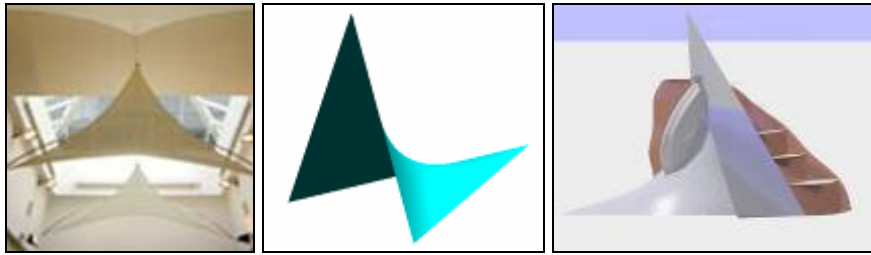
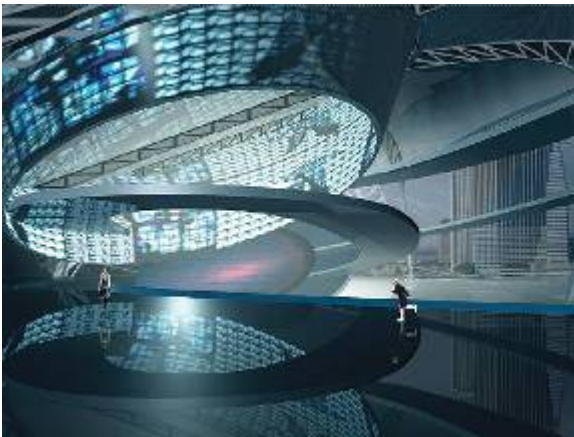


Figure 25: Structure basée sur un paraboloïde hyperbolique: (a) référence, (b) 'compréhension', et (c) effort de l'utiliser dans une nouvelle situation de design

'Suggestion' au début de l'exercice de design

Une autre expérience consistait dans la 'suggestion' d'images aux étudiants au début de leur travail sur la tâche architecturale faisant objet de la micro-observation, avec l'invitation d'écrire ce que chaque image leur inspire (voir Annexe-3). Plus tard, les étudiants étaient invités de commencer à travailler sur leur tâche de conception sans qu'on leur demande de se référer à ces exemples.

Deux exemples d'images et les commentaires qu'elles ont évoqués chez les étudiants sont montrés sur la Figure 26.



Aspiration, Fluidité, Dynamique
 Tourbillon, Vortex, Succion
 Mouvement, Vie, Surréal
 Dynamique, Lumière, Espace, Étalement
 Circulation continue
 Collage, Technologie, Multimédia
 Découverte de parcours, Espace ouvert,
 Libre

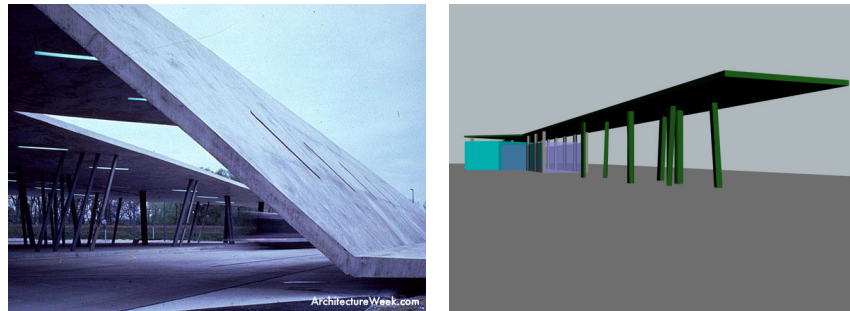


Compact, Hybride
 Œuf, Coquille
 Organique, Futuriste, Instable
 Contraste, Déformation, Couches, Étages
 Conflit
 Technologie, Ancien versus nouveau,
 Contraste, Dualité
 Le mariage entre le passé et le présent

Figure 26: Exemples de deux images et les écrits des étudiants pour chacune

Cet exercice a confirmé qu'une compréhension de l'image n'est pas toujours présente. Au fait, l'interprétation donnée par les étudiants est basée sur leur expérience professionnelle et personnelle. Or, l'expérience professionnelle est au début de sa formation chez l'étudiant en troisième année d'études. Donc, des connaissances et des expériences supplémentaires doivent être fournies pour que le résultat soit atteint. Cependant, il faut tenir compte des interprétations non-standards et innovatrices qui sont un atout dans certaines situations.

Un seul référent a été référencé (par un étudiant) pendant le travail sur les tâches architecturales, qui a suivi l'interprétation des images (Fig. 27). Il est possible de remarquer que malgré la déclaration de s'être référencé à ce projet de Zaha Hadid, l'étudiant a fait des analogies assez timides, qui ne transfèrent pas la spécificité du projet (colonnes inclinées et toit en pente) vers la nouvelle situation.



*Figure 27: À gauche : terminal de bus (arch. Zaha Hadid) ;
à droite : arrêt de train léger - projet d'un étudiant.*

Le fait que les étudiants ne se sont pas référés aux images suggérées au début de la séance de travail (sauf une exception) amène à la pensée qu'ils utilisent surtout leur expérience passée. On ne peut pas négliger le fait que des référents bien intériorisés sont appelés à l'heure du travail sur une tâche courte de conception et le facteur 'temps' y joue un rôle aussi. C'est aussi à cause des contraintes temporelles assez serrées, que les étudiants ne voulaient pas 'perdre' du temps avec de nouveaux référents. Cependant, ce constat indique aussi que les étudiants prennent le temps d'intérioriser un référent avant de s'y référer.

Référents expressifs ou explicites

Comme déjà décrit, la micro-observation à la fin du trimestre automne-2004 a exploité des référents imagiers pour la définition de la tâche de conception architecturale (voir point 5.3.2). L'objectif a été d'étudier la différence (s'il y en a) dans la compréhension d'un

concept quand celui-ci est représenté (1) de façon explicite par un dessin géométrique; ou (2) de façon implicite par une image expressive (voir Annexe-4).

Les travaux des étudiants démontrent que les images sont d'abord interprétées, et les concepts retenus guident le travail par la suite. Entre les trois types d'images proposées (expressive, fonctionnelle et mathématique¹), celle qui illustre le fonctionnement du phénomène présenté, était la plus exploitée par les étudiants. Le schéma mathématique de l'équilibre des forces n'était pas du tout parlant, d'après leurs avis. L'image expressive du danseur a surtout ajouté des nuances dans la compréhension. Les schémas géométriques ont servi seulement comme images et non pas comme source de connaissance. Ce fait pourrait être expliqué en partie par le fait que les étudiants ont tendance de ne pas utiliser tout de suite de l'information qu'ils viennent d'acquérir (Casakin & Goldschmidt, 1999). Ils utilisent surtout des connaissances préalables qui (dans 80% des cas) n'étaient pas suffisantes pour donner des résultats consistants. De plus, les architectes sont connus pour ne pas appliquer dans leur démarche de conception des formules mathématiques explicitement, mais plutôt de les transposer par des exemples qui les incarnent. Les projets des étudiants ayant observé les images expressives ont montré une créativité légèrement supérieure par rapport aux autres. Ceci nous amène à l'idée que les connaissances devraient être implicites dans des référents expressifs visuels.

Au niveau de type de transfert analogique qui a été fait par rapport aux références, nous avons remarqué qu'il n'y a pas eu de copie directe de la forme, mais seulement de la fonction. La force de tension montrée sur le schéma de fonctionnement a été reprise dans plusieurs projets (voir Fig. 19).

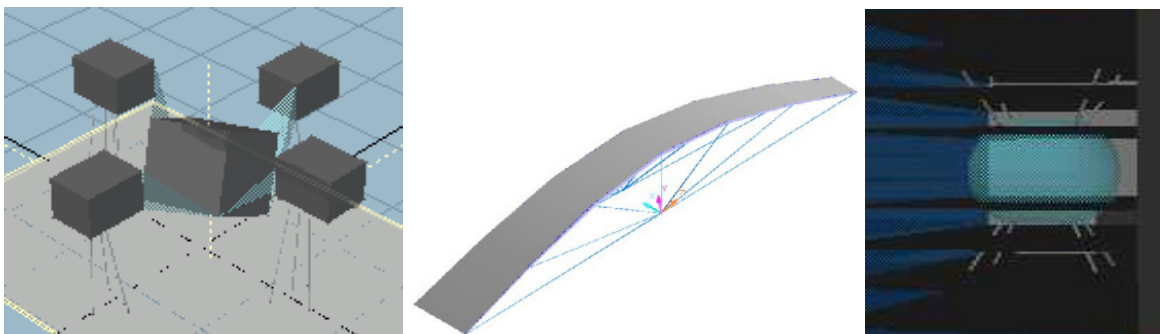


Figure 28 : Le principe de la tension repris dans certains projets

¹ Voir les figures 18 et 19, ainsi que Annexe 4.

Dans d'autres travaux, juste le principe de la dynamique et la nature momentaire de l'équilibre est repris et illustré.

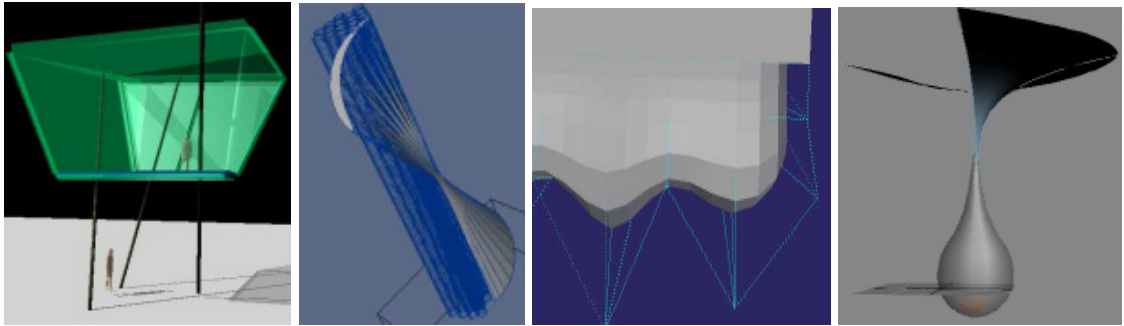


Figure 29: Le principe d'équilibre momentaire ou dynamique, transposé dans les travaux

Ces résultats parlent d'une bonne capacité de la plupart des étudiants de l'atelier de transposer des références dans leur travail créatif. Ils nous permettent de constater aussi que les références choisies pour l'expérience ont incité des analogies profondes et non pas de surface. Ainsi, nous estimons ne pas être tombés dans le piège décrit par Casakin et Goldschmidt (1999):

When a potential source and a target share surface features, novices tend to generate irrelevant analogies. On the other hand when the source shares structural similarities with the target problem, experts are likely to establish a relevant analogy more spontaneously than novices. (p. 155)

Cependant, les connaissances explicites structurales (représentées par dessin vectoriel et formule mathématique) n'ont été reprises par aucun des étudiants. Ce fait nous indique la forme inappropriée sous laquelle elles étaient offertes, ainsi que les raisons: la culture visuelle et non-analytique dans laquelle les futurs architectes sont formés; et aussi l'impossibilité (ou la difficulté) des logiciels de modélisation de représenter ces connaissances.

5.6 L'effet pédagogique des micro-observations

Les étudiants ont trouvé enrichissant le commentaire des vidéos et la discussion sur leur démarche avec l'enseignant. Ils ont avoué avoir remarqué des choses dont ils n'étaient pas conscients avant d'avoir regardé la vidéo. La visualisation du matériel vidéo et les commentaires ont été une source précieuse d'information pour l'enseignant qui pourrait mieux personnaliser son approche pédagogique sur cette base. Nous considérons cette expérience comme une approche pédagogique fructueuse.

Il faut, toutefois, tenir compte de l'effet de l'observation et aussi de la participation du chercheur pendant ces expériences. D'après Schön (1983):

In order to study reflection-in-action, we must observe someone engaged in action. We may set a task for performance, or may try to learn how someone is thinking and acting as he carries out a task that he has set for himself. In some cases, we may interview a subject to ask him to think out loud as he works on the task. In other cases, we may combine research and intervention, seeking, for example, to help the subject think his way through a situation of cognitive failure. Often, merely by asking a question like, "How are you thinking about it now?" we produce an intended or unintended intervention which changes the subject's understanding and shifts the direction of action. (p. 322)

En participant dans les expériences, le chercheur doit être conscient de l'influence qu'il a sur les phénomènes qu'il essaie de comprendre, juste en y participant.

Un autre désavantage du protocole rétrospectif est l'inévitable lapse de temps qui sépare la séance de design de la séance de commentaire. Plusieurs témoignages d'étudiants parlent de ce problème : « Je me rappelle même pas c'était quoi ça »... « J'essaie de voir... de faire des volumes, je me rappelle plus trop ». Cependant, la grande partie des intentions ont été reconstituées, et sont ainsi devenues une source précieuse pour la recherche.

5.7 En conclusion

La recherche présentée dans ce Chapitre est partie avec les questions suivantes :

Quel est le processus de conception des étudiants en atelier d'architecture quand ils travaillent à l'ordinateur; et Quel est l'impact de l'outil numérique sur ce processus?

D'autres questionnements en lien avec les objectifs de cette recherche se sont ajoutés en cours de l'observation exploratoire, notamment par rapport aux blocages et aux déclencheurs d'idées provoqués par l'outil; et concernant le recours aux référents pendant le design.

Par rapport au processus de conception des étudiants en travaillant avec les deux médiums utilisés (ordinateur et esquisse sur papier), les grandes phases du processus ont tendance à rester les mêmes. Cependant, le processus numérique est saccadé par des blocages provoqués soit par la connaissance non-suffisante des logiciels, ou par l'impossibilité de ces derniers de répondre à certaines nécessités de représentation. Il est aussi possible de

remarquer une tendance de copier la façon de travailler avec les outils traditionnels, fait qui ne permet pas d'explorer de nouvelles possibilités offertes par le nouveau médium.

Plusieurs aspects de l'enseignement de la conception architecturale sont entravés par les logiciels de DAO/CAO en utilisation courante. Les aspects qui souffrent le plus sont l'expression d'idées sémantiques, la figuration d'un processus en développement dans le temps, ainsi que le transfert de savoir-faire. Certains manques ont été identifiés au niveau cognitif, ce qui détériore la fluidité et la créativité du processus. La nature flexible et dynamique des objets figurés et de leur organisation est très difficile à obtenir. D'autres aspects, par contre, se sont améliorés, comme la représentation formelle, la qualité graphique des présentations et la possibilité de créer des animations. Pendant que l'apprentissage des logiciels en travaillant sur le projet trimestriel a donné de relativement bons résultats, nous considérons que l'utilisation créative du logiciel est restée à un niveau de base. De plus, des préconceptions par rapport au travail avec l'informatique sont restées, dans certains cas, sans être corrigées (dans trois cas¹ (sur 14) de cette première observation).

Par rapport aux référents utilisés pendant le travail de conception, il a été constaté que souvent, le savoir-faire encapsulé dans des référents n'est pas compréhensible si seulement du matériel visuel est fourni aux étudiants. Dans des cas où il est élucidé, le transfert est souvent difficile suite au manque de connaissances chez l'étudiant. Par exemple, les caractéristiques structurelles d'un référent sont considérées mais seulement intuitivement, car le savoir-faire ne peut pas être transféré. Il a été constaté que les référents expressifs provoquent plus de créativité chez les étudiants. Il serait donc un défi devant cette recherche de trouver une façon d'encapsuler du savoir-faire architectural dans des référents expressifs.

Il a été remarqué que l'Espace de conception numérique des étudiants était à son stade embryonnaire et son organisation assez rigide, ce qui ne permet pas une utilisation intuitive et optimale. La création d'un environnement personnalisé, en lien avec un espace de partage pourrait contribuer au développement de l'Espace de conception.

¹ Ces trois étudiants utilisaient des logiciels de DAO/CAO qu'ils avaient appris au préalable. Ils n'ont pas fait le choix d'apprendre un autre logiciel pendant l'atelier.

Par rapport aux discordances relevées

Après les observations exploratoires en atelier, il est possible de conclure que l'approche pédagogique présentée et les logiciels couramment utilisés ne sont pas susceptibles de répondre (sauf partiellement) à aucune des discordances identifiées à la fin de la Partie-I de ce document. Dans ce qui suit, elles ont été modifiées en cohérence avec les résultats de l'observation.

1. Nécessité de transférer du savoir-faire lors de l'enseignement de la CA en atelier :
 - C'est plutôt la représentation du résultat final qui est considérée, la représentation du processus étant assez difficile.

Le temps d'apprentissage du logiciel perturbe le déroulement de l'atelier et entrave certaines activités sur le projet. Les logiciels utilisés de façon traditionnelle ne permettent pas la communication du savoir-faire qui est à la base de la génération de la forme. L'exploration de variances est difficile à cause de la difficulté de créer des liens entre les objets.

2. Volonté de recourir aux référents pour y trouver des inspirations, des méthodes et du savoir-faire :
 - À cause de la prédominance de la composante visuelle (images), les méthodes et les savoir-faire restent inconnus; et en lien avec la culture visuelle et non-analytique des architectes, les connaissances explicites ne sont pas reprises pour de nouveaux projets.
3. Exigence de concevoir des bâtiments de façon responsable et durable :
 - L'approche intégrée au design est rarement considérée (et/ou possible).

La durabilité et l'optimisation énergétique des bâtiments conçus par les étudiants dans le cadre de leur projet d'atelier sont prises en considération de façon traditionnelle. Les logiciels couramment utilisés offrent des facilités pas rapport à la représentation de l'ensoleillement et l'ombrage, mais une approche intégrée à la conception est très difficilement réalisable.

4. Besoin d'aider l'étudiant à créer sa propre démarche créative qui tire avantage du médium de travail:

- Le processus est habituellement caché derrière des images fixes; les méthodes numériques utilisées ne profitent pas assez des possibilités de l'ordinateur, car les étudiants ont tendance de copier les méthodes traditionnelles avec l'outil numérique;

Les objectifs pédagogiques de l'observation visaient un début de résolution de cette discordance. Les commentaires que les étudiants ont été invités à faire sur leur travail en regardant l'enregistrement vidéo a été une façon de les faire prendre conscience de leur processus de conception et de débiter une réflexion sur lui. Cependant, l'outil numérique ne proposait pas des méthodes pour développer une démarche qui tire avantage des puissances de l'ordinateur pour répondre à des exigences architecturales.

5. Importance de créer son propre Espace de conception :

- Cet 'espace' est plutôt saccadé et difficilement utilisable; l'intégration de connaissances, méthodes, référents et expérience passée est difficilement réalisable dans un même environnement.

Une autre discordance a été identifiée suite aux observations en atelier. Elle est par rapport à l'utilisation des moyens numériques.

6. Besoin de représenter des concepts sémantiques et des processus :

- L'utilisation courante des logiciels n'offre pas de façon intégrée et conviviale ces types de représentations.

Les discordances 4 et 5 sont à un niveau plus général et leur éventuelle résolution est susceptible d'amener des réponses aux autres problèmes identifiés. L'un autre point de vue, les discordances 1, 2, 3 et 5 donnent des voies plus précises sur la façon d'aborder les objectifs plus généraux, notamment la démarche de conception et l'Espace de conception. Ainsi, il serait nécessaire, à notre avis, d'introduire des dispositifs numériques spécifiques, ainsi que de définir des méthodes dédiées à l'enseignement de la conception architecturale en atelier pour aider les étudiants dans le processus d'élaboration de leur propre démarche de conception avec le numérique. Mais comment s'y prendre? La revue de la littérature spécialisée a donné certaines pistes possibles, mais leur pertinence de point de vue cognitif, ainsi que leurs mécanismes restent non-explicités.

Question de recherche - précision 2

Étant donné que le sujet de cette recherche doctorale se situe au cœur de processus mentaux complexes comme l'apprentissage et la conception architecturale, nous avons voulu comprendre les mécanismes cognitifs qui les gouvernent. Ainsi, pendant la recherche de développement, nous pourrions faire des choix éclairés sur une base cognitive scientifique. Cette nécessité était encore plus prononcée à cause du rôle accru que l'informatique a été appelée à jouer en tant que médium dans ces processus. Ainsi, la question suivante a été posée :

Selon les théories cognitives d'aujourd'hui, y-a-t-il des mécanismes mentaux qui pourraient servir de base pour la définition de nouvelles méthodes d'enseignement de la conception architecturale?

À partir des points déjà discutés, il est possible de remarquer qu'un concepteur manipule des informations de formes cognitives différentes : visuelle, conceptuelle et procédurale. Une question se pose alors : Quelle pourraient être les interactions entre les différents aspects d'un référent au niveau cognitif? Et aussi : Comment se fait l'intégration des ces aspects différents dans l'état mental (sachant que la représentation externe est le plus souvent visuelle)?

À un niveau plus concret, la réponse à la question suivante pourrait donner des bases cognitives solides à notre recherche de développement:

Qu'est-ce que les savoir-faire architecturaux et quels sont les mécanismes de leur apprentissage?

La recherche sur ces questions ainsi que sur d'autres qui surviendront le long de cette étude, fait l'objet de la partie suivante.

Partie III. De certains aspects cognitifs du sujet

La conception architecturale ainsi que son apprentissage sont des processus mentaux complexes. Ils sollicitent des mécanismes cognitifs d'ordres variés : commençant par la perception et les activités motrices, passant par le stockage en mémoire et création d'images mentales et englobant les activités les plus évoluées comme la prise de décision et la créativité. Cette partie de la thèse présente une revue de la littérature sur le sujet. Étant donnée les objectifs de la recherche, il s'agit également d'un essai de structurer les connaissances sur les processus mentaux de façon permettant d'envisager des méthodes nouvelles pour aborder l'apprentissage de la conception architecturale.

Depuis l'invention de l'ordinateur et la naissance du désir de créer l'intelligence artificielle, l'informatique et les sciences du cerveau s'enrichissent les unes des autres. Même si cela semble paradoxal, la recherche sur l'intelligence artificielle a propulsé la compréhension du cerveau humain et de son fonctionnement. Plusieurs domaines de la science profitent de ce développement. L'architecture et l'éducation essaient d'y trouver leur chemin aussi (Eastman et al., 2001).

Plusieurs recherches d'observation ont été menées dans le but de comprendre les actions et les processus cognitifs pendant la conception architecturale, avec l'objectif de créer des logiciels accommodant ces processus (Gero & Tang, 1999; Bilda & Gero, 2005). Cependant, la plupart de ces observations sont réalisées en situation de design de façon traditionnelle : en esquissant sur papier. En même temps, l'histoire témoigne que l'introduction d'un nouvel outil a toujours provoqué des changements radicaux dans les façons de faire, ainsi que dans le résultat final du design architectural. Avec l'introduction de l'ordinateur dans la pratique architecturale, ceci est peut-être en train de se produire aussi présentement.

Avec cette recherche, nous essayons de trouver des réponses à certaines questions surgissant lors de la représentation des objets figurés en design architectural et pendant son enseignement. Nous cherchons aussi des théories cognitives qui sont susceptibles de

fournir les bases d'une méthode d'enseignement qui pourrait contribuer à l'apprentissage de la conception architecturale.

Méthodologie de la revue de la littérature

N'étant pas spécialiste en psychologie cognitive, cette partie se fie exclusivement sur les recherches des spécialistes dans le domaine. La méthodologie de lecture a été d'un esprit exploratoire : commençant par les auteurs cités dans des travaux de recherche dans le domaine de la conception architecturale et son enseignement, les publications originales des chercheurs en psychologie cognitive ont été retracées et explorées. Ainsi, un portrait non-biaisé de l'évolution dans le domaine a pu être créé. Des découvertes intéressantes, non-exploitées dans le domaine de l'enseignement en architecture pour l'instant ont été réalisées.

Cette étude de la littérature sur le thème discuté n'a pas l'ambition d'être exhaustive de point de vue cognitif. Les concepts étudiés sont choisis en fonction de leur pertinence par rapport aux objectifs de cette recherche doctorale. Ainsi la mémoire, les représentations mentales, l'apprentissage et la créativité en font objet.

Par contre, plusieurs autres aspects psychologiques et cognitifs importants pour la conception architecturale et son enseignement ne sont pas pris en compte dans le cadre de cette recherche, comme par exemple la perception ou la psychologie environnementale, ce qui est dû aux limites établies.

Méthodes de la psychologie

Un aperçu des méthodes de la psychologie nous démontre qu'elles sont étroitement liées aux étapes de son développement. Elles dépendent aussi des postures philosophiques adoptées par les chercheurs. Ainsi, selon Varela (1996), les étapes du développement des sciences cognitives sont les suivantes : jeunes années (logique, cybernétique), cognitivisme (les symboles, l'intelligence artificielle, le traitement de l'information dans le cerveau), connexionnisme (émergence, auto-organisation), et 'enaction'. Cette dernière étape se caractérise par le rôle attribué à l'objet étudié, notamment comme participant dans la recherche. Avec les mots de Varela (1996): « celui qui sait et ce qui est su, le sujet et l'objet, sont la spécification réciproque et simultanée l'un de l'autre ». Cet auteur adopte une position épistémologique intéressante, qui peut être aperçue dans la phrase suivante :

... les facultés cognitives sont inextricablement liées à l'historique de ce qui est vécu, de la même manière qu'un sentier au préalable inexistant apparaît en marchant. (Varela, 1996, p. 111)

Cette vision exprime la complexité des phénomènes étudiés par les sciences cognitives, leur lien avec l'environnement et avec le vécu, ainsi que le rôle actif qu'ils peuvent avoir pendant la recherche même.

La psychologie a ses propres méthodes de recherche et expérimentation. Dans son livre « *Mental Imagery and Human Memory* » (1980), Richardson passe en revue les approches de la psychologie. Il parle de :

- introspection: qui est bonne pour des événements cognitifs simples comme images, sensations, etc., mais n'est pas appropriée pour des situations complexes de résolution de problèmes, par exemple;
- béhaviorisme : qui propose une étude 'objective' et 'mesure' du comportement (*behaviour*). Selon cette approche, les phénomènes mentaux ne peuvent pas faire l'objet d'investigation scientifique (Watson, 1914 cité par Richardson, 1980); et
- simulation des processus (modélisation cognitive) (Smith & Kosslyn, 2007)

Aujourd'hui, la psychologie est aidée par la neuroscience dans ses méthodes.

Terminologie

Le champ des sciences cognitives est large. Les modèles cognitifs de la mémoire et du processus de traitement de l'information, avancés par différents chercheurs, sont parfois assez divergents. Ceci mène à des variations dans la terminologie utilisée ou encore, dans le sens d'un même terme employé dans différentes contextes.

Psychologie cognitive

La cognition est étudiée par la psychologie, mais le développement effervescent de ce domaine de la science (surtout depuis l'invention de l'ordinateur) a donné naissance à plusieurs sciences qui ont des approches d'étude différentes. Voici les définitions données par Smith et Kosslyn (2007).

- La psychologie cognitive étudie la manipulation d'information (*information processing*) ou en d'autres mots, les activités mentales.

- L'intelligence artificielle se situe au même niveau d'étude, mais elle essaie de programmer les ordinateurs à réaliser des tâches cognitives.
- La neuroscience essaie de comprendre le cerveau (*the wetware*) à tous les niveaux de fonctionnement
- La neuroscience cognitive se situe entre la neuroscience et la psychologie cognitive

Comme les activités mentales sont au centre de l'intérêt par rapport à la cognition de ce travail doctoral, seulement la littérature sur la psychologie cognitive sera étudiée dans ce chapitre.

Activités cognitives – activités mentales

En psychologie, les chercheurs distinguent les activités cognitives et les activités mentales.

D'après Richard :

Les activités mentales sont une partie des activités cognitives : elles sont en aval du traitement des informations sensorielles, d'origine environnementale ou langagière, et sont en amont de la programmation motrice, de l'exécution et du contrôle des mouvements. Elles constituent donc l'entre-deux qui intègre des informations d'origine diverse et élabore les décisions d'action. (Richard, 2004, p. 8)

Dans ce chapitre, ce sont les activités mentales qui seront discutées, vu qu'elles ont un rapport à la conception architecturale et son enseignement.

Types de mémoire

Selon la psychologie cognitive, il existe deux types de mémoires : mémoire à long terme (*Long-Term Memory - LTM*) et mémoire opérationnelle (*working memory*). Ce dernier terme remplace la 'mémoire à court terme' dans les recherches récentes (Smith & Kosslyn, 2007). Dans la LTM sont stockés les connaissances et les croyances. Pour qu'une personne soit en mesure d'utiliser un enregistrement de la mémoire dans les buts de la réflexion ou de design, par exemple, ce morceau de mémoire doit être activé et de cette manière, mis à disposition de la mémoire opérationnelle. La mémoire opérationnelle est l'endroit où les représentations du contexte et les mémoires activées sont rendus disponibles au processus de traitement de l'information (Richard, 2004; Smith & Kosslyn, 2007). Par exemple, pendant le processus de conception, l'information du contexte pourrait être la définition du problème, ou encore, de l'information perceptuelle du site architectural; les mémoires activées, de l'autre côté, pourraient représenter une image déjà vue, un événement vécu ou encore une construction mentale conceptuelle. Le processus d'éveil de ces mémoires sont

nombreux et dépendent du format du ‘cue’¹ (qui pourrait être une image, un son, une odeur ou un mot, par exemple).

La notion de représentation mentale

La notion de représentation est très importante en design. Les recherches sur le rôle des représentations imagées externes (esquisses, maquettes, etc.) ou des figurations d’un projet architectural sont nombreuses. Ce concept a souvent des définitions différentes et même opposées selon les auteurs en psychologie cognitive. Ainsi, Smith et Kosslyn (2007) ont nommé un chapitre dans leur livre récent *Representation and Knowledge in Long-Term Memory*, pendant que Richard (2004) distingue connaissances et croyances (qui sont dans la mémoire longue) des représentations qui sont transitoires et circonstancielles (ce qui nous amène à l’idée qu’elles se trouvent seulement dans la mémoire opérationnelle).

Selon Richard (2004), « les représentations sont des constructions circonstancielles faites dans un contexte particulier et à des fins spécifiques. [...] Elles sont transitoires: une fois la tâche terminée, elles sont remplacées par d'autres représentations liées à d'autres tâches ». De l’autre côté, « les connaissances sont aussi des constructions, mais elles ont une permanence et ne sont pas entièrement dépendantes de la tâche à réaliser: elles sont stockées en mémoire à long terme et, tant qu'elles n'ont pas été modifiées, elles sont supposées se maintenir sous la même forme. » (p. 9)

La définition de ‘représentation’ donnée par Smith et Kosslyn (2007) est la suivante:

A representation is a physical state (such as marks on a page, magnetic fields in a computer or neural connections in a brain) that stands for an object, event or concept. Representations carry information about what they stand for. (p. 152)

Nous adopterons cette définition dans le cadre de cette recherche. Les représentations mentales peuvent être de forme différente dépendamment du format sous lequel elles communiquent l’information. Ainsi, l’image mentale en est une, la description verbale en est une autre.

Étant donné que l’étude de l’enseignement des savoir-faire architecturaux est parmi les objectifs premiers de ce travail de recherche, en Chapitre-6, les types de connaissances seront le premier sujet étudié. Suivra le mécanisme de mémorisation et rappel de

¹ Indice, signal (*cue* en anglais)

connaissances (*knowledge retrieval*). Les différences entre connaissances conceptuelles et images seront également discutées. La nature des figurations mentales sera étudiée comme une des représentations cruciales en architecture. Dans le Chapitre-7, les différentes théories de l'apprentissage seront passées en revue et des ouvertures par rapport à l'enseignement de la conception architecturale seront identifiées. Les styles cognitifs d'apprentissage seront explorés en vue des implications qu'ils peuvent avoir pour les méthodes d'enseignement. À la fin, dans le cadre du Chapitre-8, les facteurs favorisant la créativité seront étudiés en mettant un accent spécial sur les théories cognitives de la conception architecturale.

We can know more than we can tell
(Polanyi, 1983)

Chapitre 6. La mémoire et les représentations mentales

Pour mieux comprendre le processus d'apprentissage et pour être capable de mieux concevoir les approches d'enseignement, un regard en profondeur sur la mémoire humaine s'avère nécessaire. Si la mémoire est l'endroit où l'information est manipulée et l'apprentissage se fait, la connaissance de sa structure et de ses mécanismes devient très utile pour l'élaboration d'approches d'enseignement basées sur la cognition. En faisant cette recherche, il est possible de se rendre compte de la difficulté de séparer la mémoire de l'apprentissage, vu qu'en fait, apprendre, c'est modifier la structure de la mémoire. En conséquent, le 'modèle de la mémoire' va déterminer les 'modèles d'apprentissage' possibles. Malgré cette difficulté, le contenu sur l'apprentissage a été séparé dans un chapitre à part, pour pouvoir y intégrer la revue des travaux sur la méthodologie de l'enseignement, de point de vue cognitif.

Ainsi, dans ce qui suit, les structures de mémoire et leurs façons de fonctionner seront passées en revue dans le but d'aider la réponse aux questions posées.

6.1 Structures et fonctionnement du LTM

Avant d'entrer dans les détails de la mémoire, il est indispensable d'avoir une compréhension de ses structures et du modèle de son fonctionnement. Plusieurs auteurs proposent des modèles différents qu'on essaiera de résumer ci-dessous.

6.1.1 Structures de mémoires selon Norman

D'après Norman (1982) l'étude de la mémoire 'secondaire' (cet auteur nomme ainsi la LTM) devrait être individualisée parce que chaque personne a sa propre et unique façon d'enregistrer ses expériences et de les organiser d'une manière 'idiosyncratique'. Par contre, il trouve que les principes d'utilisation de la mémoire sont communs pour tous les humains. Il propose les structures suivantes en tant qu'organisatrices de mémoire : réseaux sémantiques, schémas et *scripts*.

Le ‘réseau sémantique’ est une structure dans laquelle « *relevant pieces of information are linked together in appropriate ways* ». (Norman, 1982). Ce concept est basé sur la nature associative de la mémoire humaine.

Les ‘schémas’ sont des paquets de connaissances et représentent un niveau de connaissance plus élevé que celui des réseaux sémantiques. En revanche, leur domaine de pertinence est limité. Ils peuvent contenir à la fois des connaissances et des règles pour l’utilisation de connaissances.

Selon Norman, les *scripts* représentent une généralisation typique de l’ordre des actions, aussi que des interactions des participants dans un événement. L’idée vient du fait que certaines séquences suivent des patterns relativement fixes, comme s’ils étaient des *scripts* pour guider le comportement. Il trouve que: « *Such scripts allow the observer of an event to predict what will happen next; in the case of a new instance of a common event, the script provides guidance on how to proceed.*” (Norman 1982, p. 55)

Par contre, quand il n’y a pas de *script* pour un événement donné, le réseau sémantique est sollicité et la décision d’agir est élaborée par des inférences.

Il est possible de remarquer l’importance des liens entre les éléments, ainsi que l’efficacité augmentée de la performance cognitive par des schémas ou des *scripts*. Dans le cadre du domaine étudié, ces derniers peuvent être vus comme des référents utilisés par les architectes lors de leur travail de design.

6.1.2 La mémoire constructive de Minsky

Dans les années 70, Minsky (1975) propose une organisation des connaissances dans des ‘cadres’ (*frames*). Un ‘cadre’ peut représenter un objet ou un concept et peut avoir leurs attributs attachés. Quand le ‘cadre’ est utilisé dans des manipulations cognitives, les attributs peuvent être modifiés pour correspondre à la situation concrète. La structure devient beaucoup plus intéressante si d’autres ‘cadres’ sont utilisés comme des attributs. Ceci produira un ‘réseau de cadres’ (*framework*).

Plus tard, en 1985, dans le livre *Society of Mind*, Minsky expose sa vision par rapport à la conscience et la mémoire, entre autres. Il crée l’idée de la mémoire constructive qui est le produit d’une organisation de processus plus élémentaires, plus précisément:

I'll call "Society of Mind" this scheme in which mind is made of many smaller processes. These we'll call agents. Each mental agent by itself can only do some simple things that need no mind or thought at all. Yet when we join these agents in societies - in certain very special way, this leads to true intelligence. (Minsky, 1985, p. 17)

Il faut remarquer que de cette façon, Minsky pose les bases de la théorie de l'intelligence distribuée qui est un des paradigmes de l'Intelligence Artificielle aujourd'hui. Après avoir introduit le concept principal de *l'agent*, voici comment il voit la structure de la mémoire:

We keep each thing we learn close to the agents that learnt it in the first place. That way, our knowledge becomes easy to reach and easy to use. The theory is based on the idea of a type of agent called a "Knowledge-line" or "K-line" for short. [...] Whenever you "get a good idea", solve a problem or have a memorable experience, you activate a K-line to "represent" it. A K-line is a wirelike structure that attaches itself to whichever mental agents are active when you solve a problem or have a good idea. (p. 82)

Il explique le processus de 'rappel de la mémoire' comme une activation de cette ligne de la structure (*K-line*). Ainsi, quand à l'heure du 'rappel' on active la *K-line*, les *agents* y attachés sont excités et mettent la personne dans l'état mental où elle se trouvait au moment quand elle a « eu l'idée » ou « résolu le problème ». Ceci de son côté faciliterait la résolution de nouveaux problèmes similaires.

La théorie de la mémoire constructive démontre que la complexité est basée sur une organisation de composantes élémentaires. Elle pourrait être utilisée pour les buts de la création d'outils didactiques destinés à l'enseignement de la conception architecturale.

6.1.3 La mémoire dynamique de Schank

Le concept de la mémoire dynamique est avancé dans les années 1980 par Schank. Il reflète à la fois la structure de la mémoire et son fonctionnement (Schank, 1982). Très récemment, Schank and Cleary publient un livre numérique sur l'Internet (Schank & Cleary, 2006). Ce livre opte pour une structure dynamique comme illustration du concept innovateur d'un de ses auteurs. L'importance du modèle cognitif de mémoire adopté pour les méthodes utilisées dans l'éducation est soulignée comme suit:

The structures that memory contains must be processing structures as well as knowledge structures. That is, the very knowledge that was stored away in memory helped to process new situations. Or, to put it another way, the intelligence that helps us understand the world is the very same stuff we have been remembering about the world all our lives. Memory mechanisms and information processing mechanisms have to be exactly the same stuff in order to work the way they do. (Schank & Cleary, 2006, SE)

Les mêmes auteurs défendent la position que la mémoire n'est pas un modèle 'd'entrepôt' dans lequel nous gardons les connaissances pendant que nous ne les utilisons pas. Ses structures ne peuvent pas être statiques, parce que chaque nouvelle chose apprise perturbe les connaissances déjà existantes pour pouvoir trouver sa place dans la mémoire. Alors, à la place du modèle d'entrepôt, les auteurs proposent un modèle de 'workhouse'.

So, instead of viewing memory as a warehouse for static structures, we began to see it as a workhouse. The notion of a "dynamic memory" implies that memory structures are not shipped off for use by some outside process, but instead employ internal processes. Each of the structures actively proposes expectations, and then tracks what comes next to see whether the expectations are fulfilled or not. The structures not only provide knowledge, they update that knowledge. They are the nexus of learning. Memory certainly is a place where we store knowledge, but it is much more. It is a place where we process knowledge, dynamically changing what we know by the processing we do. (Schank & Cleary, 2006, SE)

Ce modèle de fonctionnement de la mémoire proposé par Schank et Cleary (2006) est proche du modèle des 'agents autonomes' qui décident par eux-mêmes leur comportement. Cependant, il peut sembler opposé au modèle appuyé par Richard (2004), discuté dans le point suivant.

Selon la théorie de la mémoire dynamique, les connaissances se trouvent dans deux types de structures: *scripts* (ou *scriptlets*) et MOPs (*Memory Organization Packets*) (Schank, 1982; Schank & Cleary, 2006). Leur définition des *scripts* (appelés encore *scriptlets* pour montrer leurs limitations) est la suivante:

Scriptlets are memory structures that capture what we know about how things happen in typical situations we find ourselves in. [...] Examples of scriptlets include looking at a menu, putting ketchup on a hamburger, brushing one's teeth, or parking the car. (Schank & Cleary, 2006, SE)

Les *scriptlets* sont très importants pour la cognition. D'après Schank (1982), ils portent le secret des 'compétences' (*skills*). Ils opèrent de façon subconsciente des fois, mais il est difficile de décrire ce qu'ils contiennent pour l'expliquer à quelqu'un d'autre.

Comme les *scriptlets* couvrent une petite portion de notre expertise, d'autres structures assument la représentation des séquences plus longues - les MOPs, décrits comme suit :

MOPs contain knowledge about typical sequences of events; they break down events into individual scenes. A restaurant MOP, for example, contains scenes such as "being seated," or "ordering," or "paying." Those scenes then point to scriptlets which contain our knowledge about how to understand and handle ourselves in those situations. (Schank and Cleary, 2006, SE)

D'après les auteurs, cette organisation nous permet d'apprendre de chaque tâche ou activité et de pouvoir transférer des connaissances vers d'autres tâches, à condition que ces tâches partagent des *scriptlets* communs.

Les *scriptlets* sont le produit de beaucoup d'entraînement de la mémoire, qui mène à des automatismes. Cependant, ils ne sont pas intéressants de point de vue de l'enseignement parce qu'ils ont perdu leur contenu cognitif.

6.1.4 Le fonctionnement de la mémoire selon Richard

Richard (2004) se pose la question « Quel est le modèle pour le fonctionnement cognitif? » et présente les deux modèles discutés présentement dans la psychologie cognitive :

- la conception la plus répandue, où « le contrôle est assuré par une architecture cognitive qui définit une séquence de traitements. [...] une fois qu'une opération est terminée le contrôle est transféré à l'opération suivante qui utilise les résultats de l'opération précédente... » (p.13). C'est un modèle modulaire et hiérarchique, qui ne prend pas en compte les effets de contexte.
- l'autre modèle est celui auquel l'auteur adhère. D'après lui, le contrôle consiste en « une interaction entre une structure interne qui fournit des buts à atteindre et un environnement qui offre les possibilités d'action: le contrôle consiste alors à exploiter au mieux les possibilités d'action offertes par l'environnement... » (p.13). Selon ce modèle, il n'y a pas de planification fine dès le début.

Nous trouvons que ce deuxième modèle couvre la possibilité d'une mémoire dynamique, comme celle proposée par Schank (1982).

En révisant les modèles des structures dans la mémoire et son fonctionnement : les réseaux sémantiques de Norman, la mémoire constructive de Minsky et la mémoire dynamique de Schank, il est possible de se rendre compte qu'ils révèlent le caractère interconnecté et dynamique de la mémoire. Ces caractéristiques seront exploitées pendant l'élaboration de la proposition d'outils didactiques et d'approche pédagogique pour l'enseignement de la conception architecturale plus tard dans cette recherche.

6.2 Connaissances : types de contenu

La raison d'être de la mémoire réside dans la possibilité de nous permettre de nous souvenir au bon moment. Ainsi, 'se souvenir' veut dire de réussir trois processus : acquérir de l'information, la retenir, en enfin la récupérer de la mémoire. D'après Norman (1982), le moment dans l'histoire quand la distinction entre la mémoire à long terme et celle à court terme a été faite remonte à la fin du 19 siècle :

Distinction between the availability of memory of the just present and the memory of the past so impressed the American philosopher and psychologist William James that in 1890 he proposed two different mechanisms, or processes, were responsible. The first, which allows effortless retrieval of the just present, he called primary memory; the second, which requires effort and search, he called secondary memory. (p.10)

Avec l'évolution de la psychologie et ses branches, les termes 'mémoire à long terme' et 'mémoire à court terme' sont devenus courants. La mémoire à long terme est aussi ce qu'on appelle les 'connaissances'. Par contre, le concept de la 'mémoire à court terme' a évolué pour devenir 'mémoire de travail' ou 'mémoire opérationnelle' (*working memory*).

Selon les chercheurs (par exemple, Norman 1982), il y a une différence importante entre les connaissances de quelque chose (*knowing about*) et la connaissance de comment faire quelque chose (*knowing how-to*). Les premières sont aussi appelées 'déclaratives' ou 'relationnelles', et les secondes 'procédurales'.

Richard (2004) fait d'abord une distinction entre représentations « qui font l'objet d'un codage explicite par le langage » et celles basées sur la perception (comme les images mentales) et la motricité. D'après lui, les représentations basées sur le langage, portent essentiellement sur des objets, des propriétés et des actions. Les liens entre ces 3 concepts sont exprimés par l'auteur ainsi :

« Les objets sont le support des propriétés et les actions produisent des changements des propriétés des objets. » (Richard 2004, p. 25)

Selon une des hypothèses par rapport au type de représentation des connaissances dans la mémoire, la notion de propriété est fondamentale pour décrire la signification d'un mot.

6.2.1 Connaissances relationnelles

Par rapport aux connaissances de quelque chose (*knowing about*), Richard (2004) préfère le terme 'connaissances relationnelles' au terme 'connaissances déclaratives'. Selon les

définitions données par cet auteur aux ‘connaissances relationnelles’ et aux ‘connaissances procédurales’:

Les premières décrivent les objets en précisant leurs composantes élémentaires et la nature des relations existant entre ces composantes. Les secondes décrivent des organisations d'actions permettant d'atteindre un but donné par les possibilités d'action sur les objets. Ces deux types de connaissances sont souvent considérés comme relevant de deux types d'organisations sémantiques distinctes. (Richard, 2004, p. 19)

Selon le même auteur, le réseau sémantique des actions est aussi complexe et aussi structuré que celui des concepts.

6.2.2 Connaissances procédurales

Les connaissances procédurales (*knowing how-to*), représentent une partie importante de la méthode d'enseignement qui fait objet de cette recherche. Ici, nous présentons d'un point de vue cognitif, leur contenu, leur organisation dans la mémoire et leur transfert pendant l'apprentissage.

Contenu

D'après Richard (2004), deux types d'informations sont essentiels pour la représentation des actions:

- le déroulement, car il indique comment l'action est exécutée;
- le résultat de l'action, car c'est cette l'information qui permet de choisir l'action adéquate quand on a un objectif défini et qu'on cherche à le réaliser. (p. 66)

Des données d'expériences béhavioristes indiquent que la représentation de l'action achevée est très forte et que l'information concernant le but est traitée en premier. Ainsi, l'exécution d'une action est plus rapide quand le résultat à obtenir est indiqué en premier et ensuite la façon de faire que lorsqu'on procède en sens inverse (Richard, 2004). De plus, pour se rappeler d'une action, la mémorisation du résultat est meilleure que la mémorisation du moyen par lequel le résultat a été atteint.

Ainsi, il est possible de comprendre l'importance de communiquer la finalité, ou le résultat de l'action achevée lors de l'enseignement des actions et des processus en architecture. Cependant, étant donné qu'un processus peut engendrer une potentialité de résultats, il serait intéressant de définir la nature de ce ‘résultat’, ou encore la forme sous laquelle il pourrait être présenté.

Connaître la finalité ou les résultats possibles d'un savoir-faire spécifique fait partie de son explication, mais une autre partie du 'pourquoi' réside dans les raisons ou les bases scientifiques de la façon de réaliser une action donnée. Ainsi, d'après Cornu (1990), « quand on apprend un nouveau travail, on nous apprend en nous montrant *comment* faire. Et moi, je comprends mieux quand on m'explique *pourquoi* il faut faire comme-ça ».

Ces réflexions nous emmènent à la conclusion que pour être bien compris et appris, les savoir-faire nécessitent trois composantes qui, ensemble, expliquent le « pourquoi » et le « comment » d'une action:

- La finalité (fait partie du « pourquoi? » - à quelle fin?)
- Le déroulement et le contexte (le « comment ? »)
- Les raisons et les connaissances impliquées (font partie du « pourquoi » = « pour quelle raison? », « sur quelle base ? »)

Malgré le fait que certains chercheurs soulignent la primordialité de la finalité pour l'apprentissage des savoir-faire (par exemple, Richard 2004), des transferts analogiques peuvent se faire à chacun de ces niveaux (Fernandez 2002). Ceci implique l'importance de fournir aux étudiants tous ces aspects au moment de l'enseignement de la conception architecturale.

Organisation

Au niveau de l'organisation des actions, Richard (2004) voit des schémas d'action qui sont des structures de procédures (actions élémentaires : payer, prendre un objet, etc.). Les connaissances sur les actions ne sont pas 'encapsulées' dans des procédures avant d'arriver à un niveau 'expert'. Avant d'y arriver, les propriétés sont construites progressivement, et c'est exactement cette phase qui est intéressante de point de vue cognitif, ainsi que par rapport à l'apprentissage.

Un des modèles possibles des réseaux sémantiques des actions (Poitrenaud et al., 1990) est présenté par Richard (2004) de la façon suivante :

Ce modèle approfondit l'idée que dans les savoir-faire il y a beaucoup de connaissances sémantiques concernant les propriétés des objets et pas seulement des automatismes. Ces connaissances sont implicites et accessibles seulement dans l'action, mais elles jouent un rôle considérable dans les acquisitions, positif dans certains cas, négatif dans d'autres. (p. 75)

À notre avis, cette recherche entame un changement important dans la compréhension des connaissances procédurales en leur donnant des aspects sémantiques normalement réservés pour le domaine des concepts. Par contre, d'après l'auteur, cette sémantique n'est pas communicable verbalement.

En faisant une analogie avec les savoir-faire d'une profession, il devient compréhensible pourquoi ces derniers ne peuvent pas être enseignés autrement qu'« en faisant ».

Un autre modèle des réseaux sémantiques des connaissances techniques met les savoir-faire à la base de l'organisation. Il repose sur trois hypothèses :

- « les connaissances sont organisées à partir des buts et des procédures et non pas à partir de connaissances relationnelles sur les objets ». Ceci permet une meilleure généralisation et un transfert analogique (qui est plus fréquent entre des situations où le but à atteindre est le même, et ceci même si la structure relationnelle n'est pas semblable).
- « les procédures sont des propriétés des objets et elles constituent les bases de la catégorisation des objets ». Ainsi, les objets sont dotés de propriétés fonctionnelles.
- « les connaissances relationnelles sont secondes et sont construites pour justifier les procédures ». (Richard 2004, p. 75-76)

Ce modèle qui met les connaissances procédurales à la base de l'organisation des connaissances, sera très intéressant par rapport aux outils didactiques pour l'enseignement de la conception architecturale en atelier. Cependant, une autre question surgit : étant donné qu'un processus a le potentiel de servir à des finalités différentes, quel est le mécanisme de son transfert analogique dans un tel cas?

Description, transfert

Nous avons déjà souligné la difficulté ou même l'impossibilité de décrire des savoir-faire pour les communiquer ou transférer à une autre personne. D'après Biggs (2004), les limitations du langage contribuent à la difficulté d'exprimer par le langage des connaissances procédurales:

Language cannot express everything. It is difficult if not impossible to explain to someone who cannot ride a bicycle what they must do in order to master this practice. As Polanyi puts it "we can know more than we can tell". (Biggs, 2004)

Cette conclusion a des implications au niveau méthodologique de la recherche présente. Pour vérifier l'apprentissage de savoir-faire, il serait mal approprié de demander aux étudiants de le décrire ou de nommer ses composantes : il serait plus adéquat d'observer le processus de leur travail et d'évaluer la présence des savoir-faire en question dans leurs actions.

Dans le cadre de son livre sur le transfert de savoir-faire Chevalier (1990) se penche sur « l'introuvable objet de la transmission ». Il se pose la question : « La transmission des techniques ne s'accompagne-t-elle pas toujours d'une explication, et donc d'une réinterprétation, tout à la fois de l'objet et du milieu dans lequel il s'insère? » (p. 9). L'objet de la transmission est ainsi « introuvable » parce qu'il sera réinterprété et mis dans un nouveau contexte, donc différent de l'objet initial. Cette nature dynamique et contextuelle du savoir-faire ajoute de la difficulté pour réussir leur définition, enseignement et description informatique.

6.2.3 Les processus qui produisent des connaissances

Les processus qui produisent les représentations sont la catégorisation et la compréhension, d'après Richard (2004). Il identifie deux types de raisonnements dont:

- les conclusions sont plus générales que les prémisses (orientés vers la construction de connaissances)
- les conclusions sont plus spécifiques que les prémisses (orientés vers l'application des connaissances existantes à des contenus particuliers).

Ces processus qui contribuent à l'apprentissage, seront explorés d'une manière plus approfondie dans le Chapitre-7 dédié à cette activité cognitive.

6.3 Formats des représentations des connaissances

D'après Smith et Kosslyn (2007), le 'format' des représentations mentales montre la façon dont elles sont encodées, mais aussi les caractéristiques des processus qui les manipulent pour extraire de l'information.

Ainsi, Norman (1982) imagine deux formats, notamment: (1) représentation propositionnelle: les réseaux sémantiques et les schémas; et (2) images mentales. D'après lui, ces deux formats coexistent et peuvent se référer l'un à l'autre :

It must be possible to refer to images through words, through inferences. It must be possible to construct new images from parts of old images, to make inferences, to have images organized in such a way that appropriate ones can be found when needed.
(p. 64)

Dans cette division, il est possible également de remarquer une distinction entre représentations langagières et imagées. Cette classification se trouve approfondie par Smith et Kosslyn (2007). Ils classifient les formats¹ dans deux grands groupes par rapport à la façon dont ils sont encodés dans la mémoire: dépendant de la modalité (*modality specific*) et amodal. Les représentations modales sont liées soit à la perception, soit au système moteur. Nous remettons la discussion sur le rôle du modèle mental comme médiateur entre image et pensée pour les chapitres à venir.

6.3.1 Images mentales

Parmi les formats dépendants de la modalité, les images se démarquent comme étant les plus importantes pour la cognition, et surtout pour le processus de design et sont étudiées d'une manière plus détaillée.

D'après Norman (1982) « *mental images are elusive* ». Elles sont différentes chez les différentes personnes. Et encore, elles sont le mieux situées pour répondre aux questions sur l'espace et le temps.

Des évidences neurologiques (le pattern d'activation du cerveau d'un singe, qui est similaire au stimulus visuel) citées par Smith et Kosslyn (2007), suggèrent que le cerveau utilise une représentation imagière quelconque pendant les premières étapes de la manipulation visuelle. Cependant, la mémoire humaine n'est pas une camera qui enregistre en pixels tout ce qui se trouve dans son champs de vision. Alors, comment cette première représentation est-elle encodée et stockée dans la LTM?

6.3.2 Structure de caractéristiques (*features*)

Les caractéristiques (*features*) ont un rôle principal dans ce processus. Selon la définition: « *A feature is a meaningful sensory aspect of a perceived stimulus* » (Smith & Kosslyn, 2007, p. 162). Il s'avère qu'un système spécial de détection de caractéristiques contribue au filtrage de l'information à être retenue, ainsi qu'à sa structure. Ce processus de manipulation de l'information est décrit par les auteurs comme suit:

¹ Richard (2004) utilise le terme 'formes de représentation' pour signifier le même phénomène.

The collection of feature detectors active during the processing of a visual object constitutes a representation of that object. This representational format, unlike an image, is not depictive; its elements do not correspond to spatial points of contrast, or to edges of the object. Instead, it draws on different meaningful features of the object. (Smith & Kosslyn, 2007, p. 162)

Les auteurs suggèrent qu'une telle représentation composée de 'caractéristiques' complémente l'image du même objet qui peut exister dans des endroits organisés topographiquement tôt après la perception. C'est un processus qui peut être observé pendant la conception architecturale, en travaillant avec des référents. Il est aussi intéressant à remarquer qu'une image ne peut pas être recodée avec d'autres *features* sauf si elle est perçue de nouveau et recodée d'une autre façon (par de nouvelles caractéristiques sémantiques). C'est la théorie cognitive explorée par Oxman (2001) pour développer l'idée de re-représentation et re-description du design.

6.3.3 Symboles amodaux

Les symboles amodaux décrivent des propriétés et des relations entre les objets. Ils assurent des fonctionnalités fondamentales des connaissances comme catégorisation, inférence et compréhension. Cependant, il y a toujours un débat sur la question si les symboles amodaux existent et de quelle façon ils peuvent être liés à l'information imagée, par exemple. D'après Smith et Kosslyn (2007), les représentations amodales existent en trois formes : cadres (*frames*), réseaux sémantiques (*semantic networks*) et listes de propriétés (*property lists*). Les symboles amodaux continuent l'interprétation amorcée par la détection de caractéristiques (*feature detection*) sur une image. De cette façon, ils complètent les images de signification (*meaning*) et leur offrent une manipulation à un niveau plus élevé.

Richard (2004) appuie un modèle semblable par rapport au format des connaissances basées sur le langage. D'après lui, le modèle privilégié est le modèle prédicatif dans lequel la structure de base est 'prédicat-argument'. Ce modèle est apte à représenter aussi bien des connaissances relationnelles que des connaissances procédurales. Pour les premières, les propriétés sont les prédicats, et les objets - des arguments. Cela fait que pour la deuxième catégorie de connaissances, les actions jouent le rôle des prédicats qui impliquent des entités – les arguments.

Selon Smith et Kosslyn, les chercheurs en cognition commencent à abandonner la théorie des formats de description abstraits étant à la base de toute connaissance. L'idée que des

formats multiples – images, caractéristiques (*features*), symboles amodaux et des ‘représentations statistiques’ travaillent ensemble, gagne de plus en plus de terrain. Ce changement d’idées et de théories s’avère très important pour les recherches en design.

Cependant, il nous semble important de tenir en compte que, pendant qu’une image visuelle doit être re-représentée pour se doter d’une signification différente (par une nouvelle structure de caractéristiques), des manipulations mentales de symboles amodaux sont complètement possibles par les processus de compréhension et inférence sans extériorisation.

6.4 Mémoire visuelle (imagée)

La mémoire visuelle mérite un traitement spécial dans ce document à cause de sa grande sollicitation pendant le design. Ainsi, Arnheim défend l’unité dans la perception visuelle et la pensée. Dans son livre *Visual Thinking* (1969), il cite Aristote: « *the soul never thinks without an image* ».

Arnheim (1969) écrit que : « *Thinking calls for images and images contain thought* », et propose un modèle d’interprétation des images qui est proche de celui discuté plus haut et décrit par Smith et Kosslyn (2007), mais en d’autres termes. De plus, d’après Arnheim, la perception jumelée à un concept a comme résultat la naissance d’un ‘type’. Ceci est en accord avec la nature de la perception et avec la nécessité d’avoir une sémantique liée aux figurations : « *The abstractness of the concepts is supposed to (somewhat) free them from their visual character and therefore make them suitable for intellectual operations.*» (Arnheim 1969, p.29)

La symbiose entre perception d’un côté, et pensée, connaissances préalables ou imagerie mentale de l’autre, explique, selon Arnheim (1969), le fait qu’on puisse reconnaître ce qu’on voit. Pour cet auteur :

The past in the present: Perception cannot be defined to what the eyes record from the outer world. A perceptual act is never isolated; it is only the most recent phase of a stream of innumerable similar acts, performed in the past and surviving in memory. [...] Perception in a broader sense must include mental imagery and its relation to direct sensory observation. (p. 80)

Memory images serve to identify, interpret and supplement perception. No neat borderline separates a purely conceptual image - if such there is - from one completed

by memory or one not directly perceived at all but supplied entirely from memory residues. (p. 84)

Ces pensées expliquent éloquemment la théorie de la ‘pensée visuelle’ avancée par Arnheim (1969) et formulée de la façon suivante : « *The thought elements in perception and the perceptual elements in thought are complementary. They make human cognition a unitary process* ». (p. 153)

L’auteur se pose la question quelle est la correspondance entre l’image mentale nécessaire pour la réflexion, et celle créée pendant la perception. D’après lui le type d’image mentale nécessaire pour réfléchir n’est probablement pas une réplique complète, colorée et exacte d’une scène réelle.

C’est Richard (2004) qui complète cette théorie en disant que le code imagé n’est pas décomposable en parties. Il donne l’exemple suivant : « on peut bien former l’image du Parthénon mais non en compter les colonnes ». Ceci appuie l’idée que l’on ne peut recoder une image mentale d’une façon différente de celle où elle a été codée au moment de la représentation de l’image physique. Cela différencie l’image mentale de l’image physique: cette dernière pouvant être ré-analysée et recodée d’une autre façon que la première fois.

Dans le contexte d’un projet architectural, un architecte s’imagine le bâtiment en conception en se construisant une image mentale de celui-ci. En faisant des croquis (ou d’autres types de visualisations), il entame le processus de raisonnement visuel pendant lequel l’image mentale extériorisée sert à la fois comme mémoire à long terme, et comme stimulation des processus cognitifs du concepteur. Les images mentales deviennent des images externes et activent la perception de l’architecte. Ainsi, commence à évoluer la solution recherchée. D’après Tidafi :

La différence significative entre ces deux activités mentales [imagerie et perception] se situe au niveau de leur prise d’information. Alors que le produit de la perception est élaboré à partir d’une configuration spatiale présente et tangible, l’image mentale est constituée sur la base d’une connaissance mémorisée relative à une configuration absente. Mais, un fragment ou la totalité de cette connaissance, peut aussi être issue d’une ou plusieurs perception(s) antérieure(s) pouvant être différente(s) aussi. À partir de là donc, il est possible de soupçonner une parenté et une interférence entre les deux processus, et peut-être même une filiation de l’image mentale à l’égard de la perception. (Tidafi, 1996, p. 79)

6.4.1 Codage double

Nous avons parcouru dans les points précédents les deux formes principales de représentation : codage explicite par le langage; et représentations basées sur la perception et la motricité, comme les images mentales et les représentations motrices préparatrices à l'exécution (Richard 2004). Il est aussi possible de remarquer que les représentations perceptives et motrices sont très liées par le fait qu'une action se fait dans l'espace.

Il existe des avis opposés sur la question si ces deux formes de représentations sont codées de la même façon (et dans la même structure), ou de manières différentes (et dans des structures séparées) dans la mémoire: moniste (représenté par Pylychyn) et dualiste radical (comme Paivio et Bower). Entre les deux se trouvent des dualistes modérés comme Kosslyn. En citant Anderson (1980), Richard (2004) écrit :

Il apparaît peu discutable qu'il existe un double code et que le code imagé a des propriétés différentes de celles du code verbal. La question est de savoir si ce code conserve ou non toutes les propriétés de la perception. [...] En fait, le code imagé retient un certain nombre des propriétés perceptives de l'objet ou de la scène, plus que ne le fait le code verbal, mais il ne les retient pas toutes. (p. 56)

À l'extrême moniste, certains auteurs comme Pylychyn (1973) soutiennent la thèse qu'il est possible d'exprimer en termes propositionnels tous les types d'informations, y compris les informations événementielle ou même figurative. Il suffit de définir des prédicats appropriés (Richard 2004). Un autre exemple moniste est donné par Bower (1972) qui propose un concept radical d'une 'structure profonde conceptuelle' dans laquelle sont 'traduites' les phrases verbales ainsi que les expériences perceptuelles pour être stockées. Cette structure est capable après, de générer des expressions langagières et imagières.

À l'extrême dualiste, Paivio soutient l'idée que le système verbal est abstrait et logique, en comparaison avec le mode de raisonnement concret et analogique qui caractérise l'imagerie mentale (Paivio, 1975, cité par Richardson 1980). Il fait aussi l'assomption que l'organisation de ces formes de connaissances est différente : celle du système imagier est synchrone et parallèle, pendant que celle du système verbal est séquentielle.

Les recherches de Kosslyn sur l'imagerie mentale ont mis en évidence « des comportements d'exploration et de manipulation sur des représentations mentales qui possèdent beaucoup d'analogies avec les mêmes comportements quand ils portent sur des objets réels » (Richard 2004). Une telle évidence a été fournie par le test de reconnaissance

des lettres tournées où la vitesse de reconnaissance a été comme si la rotation se faisait sur l'objet réel. Ainsi, Kosslyn crée la théorie de la nature quasi-perceptive de l'image mentale.

Il y a présentement des évidences neuroanatomiques pour la 'double dissociation' dans la LTM entre l'encodage imagier (qui semble se trouver dans le lobe droit temporal du cerveau) et le codage verbal (se trouvant dans le lobe gauche temporal) (Goel, 2001). La théorie du codage dual peut alors être considérée comme l'approche théorique la plus appropriée pour l'étude de l'image mentale.

6.4.2 Représentations imagières construites

Pendant des expériences cognitives, il a été remarqué que le codage imagé peut, grâce à ses propriétés spatiales, servir à organiser des informations qui n'ont en elles-mêmes aucun caractère spatial (Richard, 2004). La question qui s'est posée alors, est si ces codes imagés sont des représentations construites ou des connaissances provenant de la LTM.

D'après Richard, dans la plupart des résultats expérimentaux, il s'agit indiscutablement de représentations qui ne sont pas récupérées en mémoire à long terme, mais sont construites pour les besoins de la tâche. Avec les mots de l'auteur « Les seules images qui relèvent de la mémoire à long terme sont ceux qui concernent les cartes mentales. [...] mais même là, il y a des erreurs dues à l'utilisation de connaissances générales » (Richard, 2004).

Richardson (1980) appelle cette utilisation de l'image mentale 'constructive' et voit ses origines fonctionnelles dans des descriptions abstraites propositionnelles. D'après lui:

...constructive use of mental imagery as a form of non-verbal, short-term, working memory [...] may be largely employed in the representation, preservation and manipulation of spatial and pictorial information. (p. 143)

Johnson-Laird (1998) supporte la théorie que nous pouvons nous construire une image mentale à partir de parties existantes. Il voit ce processus de la façon suivante:

They can retrieve the canonical shape of an object and then in their mind's eye assemble that shape out of the preexisting components—a process that calls for moving one shape in relation to another, juxtaposing or superimposing them, and so on (Johnson-Laird 1998, p. 464).

Cependant, les détails dans une telle image mentale seront limités à ceux se trouvant dans les formes canoniques initiales.

Une découverte intéressante décrite par le même chercheur est le fait qu'une image mentale construite peut être 'interrompue' (*disrupted*) par une tâche cognitive concurrente si elle inclut de la manipulation de l'information spatiale ou visuelle.

Dans le contexte de la conception architecturale, les diagrammes et les schémas sont des images construites.

6.4.3 Modèles mentaux

Plusieurs expériences démontrent qu'il existe deux types d'information visuelle encodée dans le cerveau (Richard 2004): l'une, topologique, qui garde l'information de ce qui est représenté dans l'image mentale, et l'autre euclidienne, qui encode l'information reliée aux distances et grandeurs des objets.

Du fait de consulter de nombreuses sources bibliographiques, on a pu constater que la question de la deux- ou trois-dimensionnalité de ces représentations n'a pas été étudiée. Des évidences indirectes ont été utilisées par Johnson-Laird (1983) qui a développé la théorie des modèles mentaux. Dans cette théorie, se basant sur des expériences visuelles, cet auteur a pu observer que certaines des transformations spatiales demandées et exécutées avec succès par les sujets, ne peuvent pas être réalisées sans un modèle qui encadre l'image (*underlying model*), soit:

Underlying an image of an object or scene is a three-dimensional (3-D) model, and operations on such models correspond to physical or spatial operations on the entities or scenes represented in the models (Johnson-Laird, 1998, p. 457)

Cette théorie représente une alternative consistante au modèle de codage double dans la mémoire en expliquant le format dans lequel une personne encode l'information pour la manipuler ou réfléchir sur elle, notamment des modèles mentaux. Ces modèles sont des analogues structuraux de la réalité. Autrement dit, chaque fois qu'on reçoit de l'information, un modèle mental est construit pour refléter la structure réelle du phénomène communiqué, selon la compréhension de la personne. Les modèles mentaux peuvent comprendre ou non des aspects visuels.

Selon cette théorie, des modèles mentaux peuvent être construits à la base de la perception visuelle (Marr, 1982), comme à partir d'une compréhension verbale (Johnson-Laird, 1983). Leur caractéristique essentielle est que leur structure correspond à ce qu'ils représentent réellement (Johnson-Laird, 1998). De plus, les modèles n'ont pas besoin d'être

visualisables et se distingue des images suite au fait qu'ils peuvent représenter plusieurs possibilités différentes. Un autre désavantage des images par rapport aux modèles est qu'elles ne peuvent pas représenter une négation.

Comparés à l'information verbale (alphanumérique), un modèle qui pourrait la représenter en tant que diagramme, aide la réflexion et facilite la compréhension de l'information. D'après le même auteur, il est plus facile d'identifier des instances d'un concept sur un diagramme, parce qu'une représentation iconique est plus rapidement reconnaissable qu'une description verbale.

Ainsi, Johnson-Laird conclut que les modèles et les images ont des caractéristiques différentes :

Models can be 3-D, and can embody abstract predicates that are not visualizable. Hence, they can represent any situation, and operations on them can be purely conceptual. In contrast, images represent how something looks from a particular point of view. They are projected from the visualizable aspects of underlying models. Images and diagrams, however, can be used in a symbolic way (Johnson-Laird 1998, p. 464).

De point de vue de la conception architecturale, les modèles mentaux sont susceptibles de jouer un rôle important d'un côté grâce à leur potentiel de présenter des possibilités multiples, et de l'autre, du à leur nature tridimensionnelle qui permet des manipulations spatiales et l'« examen » de points de vue différents.

D'après un livre de Genter et Stevens (1983), les modèles mentaux et les mécanismes selon lesquels ils sont construits peuvent être différents dépendamment du problème ou du domaine. Ceci est cohérent avec la nature flexible et constructive des représentations mentales, déjà discutée dans ce chapitre.

Se basant sur ces théories cognitives, Tidafi (1996) conclut que pendant la communication autour d'un projet d'architecture, les intervenants se construisent un modèle tridimensionnel de la solution envisagée. Ainsi, cet auteur propose une méthode de modélisation de telles solutions possibles, basée sur les actions posées pour leur création.

Un essai de transposer la théorie des modèles mentaux dans le contexte de l'apprentissage de la conception architecturale évoque la possibilité que le travail en esquisse soit moins disposé à assister la création de modèles mentaux qu'une maquette ou modèle 3D, par exemple. Dans le cadre du présent travail, les caractéristiques des modèles mentaux seront exploitées pour assister l'apprentissage de la conception architecturale.

6.5 Les catégories

Les catégories (*category knowledge*) proviennent du fait que plusieurs représentations peuvent partager des caractéristiques communes. La catégorie est de *nature multimodale*. Ceci signifie qu'une catégorie existe autrement que par son nom et ses propriétés, soit par son image, odeur, son, goût, action et toucher (Smith & Kosslyn, 2007). La question qui se pose est comment le cerveau intègre le nom de la catégorie avec toutes les autres informations pertinentes à travers des différentes modalités de représentation.

Certaines théories comme celles de Damasio (1989), se trouvent citées et développées par Smith et Kosslyn (2007) en proposant l'existence d'une « zone de convergence » qui intègre les connaissances des catégories à travers les modalités. D'après cette théorie, la zone de convergence n'est pas spécifique aux modalités. L'importance des symboles *amodals* est ainsi suggérée. Ceci signifie que des 'parties' de la connaissance d'une catégorie sont distribuées dans de différentes zones modales et peuvent être activées par des *cues* conceptuels ou perceptifs encodés. De plus, il y a des évidences neurologiques et behavioristes par rapport au caractère multimodal de ces catégories.

Certaines études sur la cognition du design proposent des théories différentes de celle-là, surtout par rapport au format sous lequel l'information est intégrée. Ainsi, dans le cadre d'une recherche sur les différences entre architectes et autres concepteurs, Akin écrit que : « *architects use analog representations for integration of all modalities* » (Akin, 2001, p. 121). De son côté, Goldschmidt (2001) met en avant l'analogie visuelle comme une manière de réfléchir qui est spécifique aux designers, mais sans en trouver les évidences scientifiques et neurologiques.

6.5.1 Structures représentant les catégories

Les structures par lesquelles les catégories sont représentées dans la mémoire peuvent donner des idées efficaces par rapport à la façon d'approcher les référents en situations de conception architecturale. Smith et Kosslyn (2007) rapportent quatre types de structures représentant des catégories, deux desquelles (*exemplaires* et règles) pourront directement être liées à l'utilisation des référents :

- Les '*exemplaires*' sont des membres individuels d'une catégorie et ils sont très forts pendant la reconnaissance de la dite catégorie.

- Les ‘règles’ assurent de l’information précise par rapport aux critères d’appartenance à la catégorie. Elles ne sont pas les premières à être utilisées mais fournissent une base beaucoup plus stable pour la reconnaissance. Certains membres d’une catégorie peuvent rester non-reconnus comme tels s’ils n’existent pas en tant qu’*exemplaires*. Les règles sont indispensables dans ces cas. Les différents cerveaux sont habitués à représenter soit des *exemplaires*, soit des règles.
- Les ‘prototypes’ spécifient quelles propriétés sont le plus probablement vraies¹ dans la représentation d’une catégorie.
- Les connaissances de la ‘situation’ (*background knowledge*) sont similaires aux schémas discutés par (Norman, 1982).

Les spécialistes de la neuropsychologie trouvent que quand une catégorie est accédée, l’information codée est activée de façon sélective en faisant de la sorte que seule l’information qui est pertinente pour la situation donnée serait ‘allumée’. Les parties activées peuvent changer d’un instant à un autre, ainsi créant une représentation dynamique de la catégorie.

Des recherches en design ont trouvé que le type de structure à être activé dépend du type de problème à être résolu (Goldschmidt, 2001). Ainsi, pour des problèmes bien structurés, le système de règles se trouve activé, tandis que pour des problèmes mal définis, c’est un système basé sur les similarités (lié probablement avec une des autres 3 structures de représentation des catégories) qui s’active.

Selon plusieurs auteurs, le codage avec plusieurs modalités est une base pour un meilleur apprentissage (Norman, 1982; Schank & Cleary, 2006; Smith & Kosslyn, 2007). Ceci est consistant aussi du point de vue de la théorie des styles cognitifs d’apprentissage² (Richard Riding, 2000).

6.6 Interaction entre les différents formats de mémoire dans la mémoire opérationnelle

Il s’agit de l’interaction entre concepts propositionnels, actions et images pour créer une représentation cohérente. Une fois activés dans la LTM, les enregistrements de

¹ Les membres typiques sont similaires au prototype

² Cette théorie sera discutée plus tard dans cette Partie

connaissances sont disponibles pour la mémoire opérationnelle. Les études cognitives ont découvert deux buffers - un pour l'information visuelle – le calepin visuel (*the visual scratchpad*), et un autre pour l'information verbale - (*the phonological loop*). Des processus centraux (*central executive*) contrôlent l'accès et la manipulation de l'information (Richard, 2004; Smith & Kosslyn, 2007). Il n'y a pas d'évidence explicite clarifiant la place des connaissances procédurales dans cette organisation. La préparation à une action envoie des signaux au système moteur, mais à notre compréhension, les savoir-faire du design devraient être organisés par les processus centraux.

Ces réflexions suggèrent que l'intégration est soit faite dans un format 'ad hoc', soit assurée par des liens directs entre les formats. Il n'y a pas d'évidence cognitive pour l'intégration de toute l'information sous un format en particulier. De plus, l'existence de différents modes de représentation assure la richesse d'une catégorie et augmente le nombre de façons de l'activer.

La théorie des modèles mentaux de Johnson-Laird (1998) pourrait être une autre alternative pour l'intégration de l'information. Développée pour expliquer l'intégration entre images mentales et logique propositionnelle, elle propose le modèle mental comme format de réflexion. Pour nous, il est possible de la généraliser pour d'autres formats de représentation des connaissances.

Pendant le processus de conception, les architectes ont recours à une représentation externe de l'image mentale qui se forme dans leur imaginaire. Le lien entre l'image mentale et la représentation externe sera abordé dans le Chapitre 8 qui s'intéresse plus spécifiquement au contexte de la conception architecturale.

6.7 Conclusions par rapport à cette recherche

Étant donné que notre recherche porte sur l'enseignement de la conception architecturale, et qu'apprendre signifie modifier la structure de la mémoire, ce chapitre a eu comme objectif de faire un portrait de la structure, du contenu et du fonctionnement de la mémoire humaine.

Au niveau de l'organisation et le fonctionnement de la mémoire, trois théories semblent intéressantes par rapport à cette recherche : la mémoire constructive qui conçoit la complexité comme résultat de l'organisation de composantes élémentaires; la mémoire

dynamique qui s'active dépendamment du contexte; et l'organisation des connaissances en réseaux sémantiques.

La présence de deux types de contenu fait plus ou moins consensus selon la littérature : connaissances relationnelles (*knowing about*) et connaissances procédurales (*knowing how to*). Ces dernières sont particulièrement intéressantes pour l'apprentissage de la conception architecturale, mais s'avèrent très difficiles à décrire et transmettre. Sur la problématique de la représentation optimale des connaissances procédurales, trois composantes sont identifiées comme très importantes : la finalité; le déroulement et le contexte; ainsi que les raisons (les bases, les prémices). L'importance de les communiquer tous les trois, en commençant par les finalités a été soulignée. Les formats de représentation des connaissances dans la mémoire peuvent être modaux ou amodaux. L'image mentale est la représentation modale qui est la plus importante pour la cognition, surtout dans le contexte de notre recherche. Après la perception d'une image, un enregistrement topographique et schématique est gardé en mémoire. Il est complété par des caractéristiques sémantiques (*features*), parmi lesquelles des connaissances propositionnelles peuvent être déduites (Figure 30). Il est important à remarquer que ce n'est pas possible de recoder une image avec de nouvelles caractéristiques sans la re-représenter sur un support extérieur.

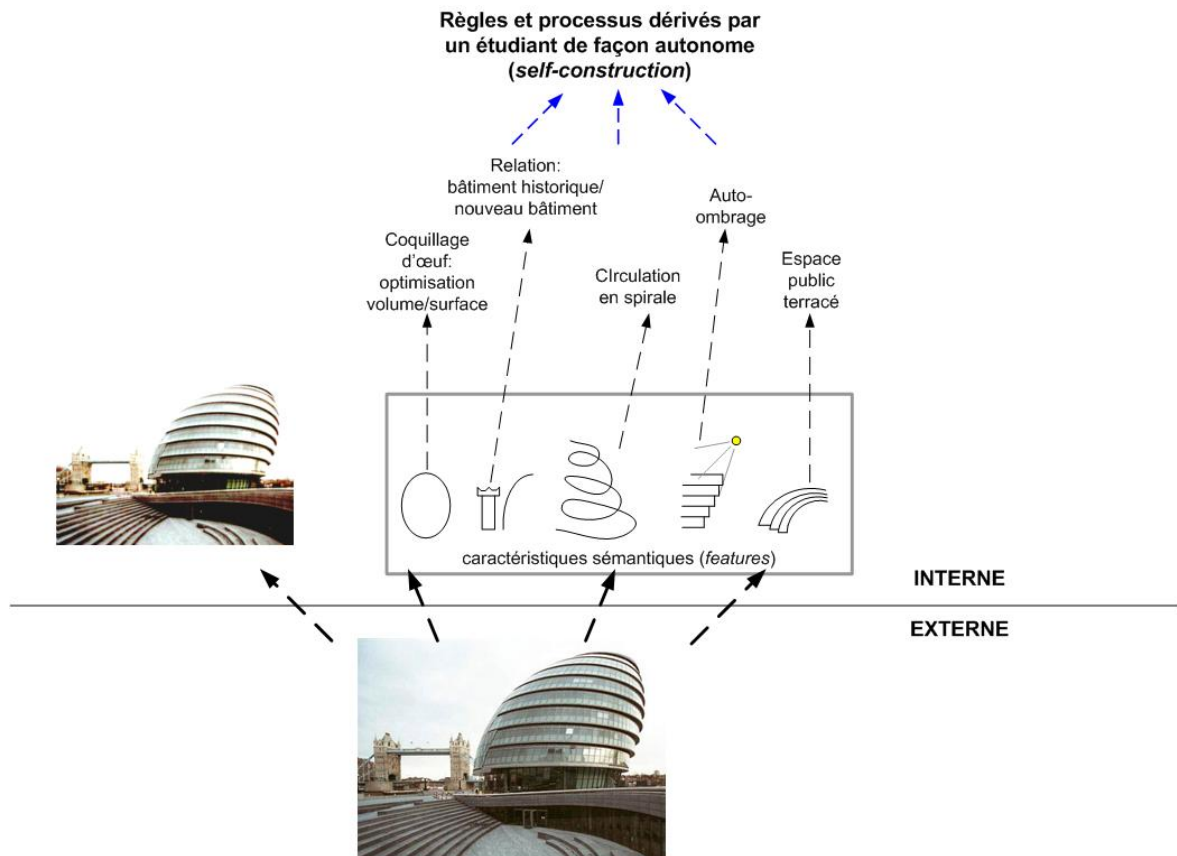


Figure 30: Schématisation du modèle d'interaction des différents formats de représentation des connaissances créés à partir d'une image; ensemble avec l'interaction entre représentations internes et externes

Dans la représentation mentale des catégories, il est important d'avoir des structures différentes, notamment des *exemplaires* et des règles, car les premiers assurent l'aspect visuel et la vitesse de la reconnaissance d'une catégorie, pendant que les deuxièmes garantissent sa stabilité et cohérence.

La théorie des modèles mentaux avancée par Johnson-Laird (1998) offre une alternative du codage double (imagier et propositionnel) des connaissances. Ces modèles sont des analogues structuraux de la réalité selon la compréhension de la personne. D'après d'autres auteurs, un modèle mental peut aussi servir de contexte d'intégration de tous les formats de représentation des connaissances autour d'une catégorie, par exemple. Ceci aurait des implications importantes pour l'enseignement de la conception architecturale (travailler en 3D, entre autres).

Ceci nous permet de faire des conclusions intéressantes par rapport à la description des référents architecturaux. Selon nous, ils devraient, notamment : (1) être présentés avec tous les formats de connaissances possibles (imagière, structure de caractéristiques et symboles

amodaux); (2) fournir de l'information déclarative et procédurale (incluant l'objectif et la structure d'actions); et (3) supporter la création d'*exemplaires*, règles, prototypes et connaissances de la situation dans le but de créer une représentation de la catégorie riche et stable.

Le Chapitre suivant étudiera spécifiquement les théories cognitives de l'apprentissage.

These are the "buds" or "flowers" of development rather than the "fruits" of development.
(Vygotsky, 1978)

Chapitre 7. L'apprentissage et le développement personnel

Les découvertes de la psychologie cognitive par rapport à l'apprentissage fournissent des pistes intéressantes pour la présente recherche qui porte sur l'enseignement de la conception architecturale. L'intérêt envers ce domaine a même donné naissance à la neurologie de l'apprentissage – une science qui étudie le fonctionnement du cerveau pendant l'apprentissage.

D'un point de vue cognitif, l'apprentissage est un changement permanent du comportement ou des capacités, qui est acquis par l'expérience (Parsons et al., 2001). Il existe plusieurs théories de l'apprentissage. Les *cognitivistes*, par exemple (comme Piaget et Vygotsky), considèrent que l'apprentissage est un changement dans les processus internes et ne peut pas être observé directement. Des changements dans la façon de penser ou dans les émotions d'une personne peuvent seulement être des indicateurs des processus internes d'apprentissage. Les *néo-behavioristes* offrent une théorie de l'apprentissage qui reconnaît comme observables le comportement, ainsi que les motivations qui se cachent derrière lui (et qui se prêtent moins à l'observation). Les *behavioristes* (représentés par John Watson) défendent l'idée que les psychologues devraient se concentrer seulement sur le comportement observable et mesurable de la personne.

Une autre définition de l'apprentissage est donnée par Schank et Cleary (2006) :

Learning means the dynamic modification of memory. A system can be said to have learned if it is different at time t1 from the way it was at time t0. Under this kind of definition, even forgetting is a kind of learning. Learning means change - change that causes a system to act differently on the basis of what is contained within it. Human memories are in a constant state of dynamic modification. (Schank & Cleary, 2006, SE)

La deuxième partie de cette définition se trouve être pratiquement la même comme celle de Parsons et al. (2006), mentionnée plus haut, mais le début donne une idée plus précise de l'apprentissage et tient compte de son caractère dynamique. Le fait que l'oubli fait aussi partie de ce processus, en plus de son aspect négatif, peut aussi être vu sous un prisme positif, notamment, quand il s'agit d'oublier de vieilles habitudes ou préconceptions pour

les remplacer de nouvelles. Schank et Cleary continuent la description de l'apprentissage ainsi:

Learning depends upon inputs. Each word you read and each sight you see changes your memory in some way. The role of memory is the interpretation and the placement of those inputs. Memory must decide what's worth keeping by determining what the meaning of an input is and where it fits in relation to previous knowledge it has already stored. (Schank & Cleary, 2006, SE)

L'apprentissage est perçu donc comme un processus complexe et omniprésent qui est loin de se produire seulement à l'école ou à l'université. On apprend de l'environnement dans lequel on vit. Certaines théories de l'apprentissage favorisent l'environnement naturel d'apprentissage, même quand il s'agit d'apprentissage de haut niveau : scientifique, technique ou professionnel (Kolb, 1984).

7.1 Types d'apprentissage

Comment les nouveaux concepts appris sont 'rangés' dans la mémoire à long terme? D'après la psychologie cognitive, il y a différents processus qui s'activent dépendamment de l'issue d'une 'comparaison' de ce nouveau concept à ceux déjà existants dans la mémoire : Est-ce qu'il amplifie les connaissances que l'on a déjà, ou il les contredit. Piaget (1969) identifie deux processus d'apprentissage: intégration et substitution. Norman (1982), de sa part, parle de trois modes d'apprentissage: accréation, structuration et ajustement (*tuning*) (définis ensemble avec Rumelhart) :

1. Accretion. Accretion is the addition of new knowledge to existing memory schemas. The framework exists, but new data are entered. [...]

2. Structuring. Structuring is the formation of new conceptual structures, of new conceptualizations. The existing schemas will no longer suffice; new schemas must be formed. [...]

3. Tuning. Tuning is the fine adjustment of knowledge to a task. (Norman 1984, p. 81)

L'accréation est le mode le plus fréquent et le plus ordinaire d'apprentissage. Par contre, la structuration (ou même, on pourrait dire restructuration) n'est pas fréquente et demande beaucoup d'efforts pour vaincre la résistance des connaissances et des croyances existantes. D'après Norman (1984), c'est probablement le mode le plus important d'apprentissage. Le troisième mode, l'ajustement (*tuning*) se manifeste si les connaissances existent mais ne sont pas assez concrètes pour l'exécution d'une tâche précise. Selon l'auteur, l'ajustement peut être acquis seulement par la pratique.

Des expériences menées par Norman (1984), ont démontré qu'après un « plateau » de la courbe d'apprentissage, un changement dans la courbe (accélération de l'apprentissage) peut être remarqué s'il y a une restructuration des connaissances :

Spurts of learning, abrupt jumps in the learning curve are attributable to restructuring of the problem, learning anew with more appropriate memory structures. (p. 82)

Ainsi, quand il y a une restructuration, elle induit une amélioration abrupte dans la compréhension. Mais, d'après Piaget, il y a un équilibre à surveiller entre les deux processus quelque part opposés – l'accrétion (ou intégration) et la structuration (ou substitution). L'excès dans chacun des deux directions produirait des effets cognitifs non désirables.

Lequel des deux processus est plus important? Il n'y a pas de réponse claire à cette question. Ainsi, d'après Schank et Cleary (2006) « *Thinking depends upon our ability to generalize and merge new knowledge with older memories.* » Selon d'autres auteurs (Kolb, 1984, par exemple), apprendre des concepts qui contredisent ce qu'on connaît déjà est plus profitable pour l'apprentissage :

Ideas learned by integration become highly stable parts of a person's conception of the world [...] On the other hand, when the content of a concept changes by means of substitution, there is always the possibility of a reversion to the earlier level of conceptualization and understanding, or to a dual theory of the world. (p. 28)

Ce constat est très intéressant et pourrait être exploité dans le développement d'outils numériques d'aide à l'apprentissage en architecture, où souvent, dans cette époque de changement, on peut voir des opinions traditionnalistes résister aux nouvelles méthodes.

7.2 Processus d'apprentissage

Le processus d'apprentissage passe par la compréhension qui, d'après Norman (1984), consiste en partie à trouver des schémas existants qui peuvent nous servir comme guide pour le développement de nouveaux schémas appropriés pour une situation donnée. Il y a deux processus principaux qui mènent à la création de nouvelles connaissances : la généralisation et l'explication des échecs (Norman, 1982; Schank, 1982)

7.2.1 Généralisation

La généralisation est un processus mental qui se produit grâce à l'identification de caractéristiques partagées entre plusieurs enregistrements dans la mémoire. La création de concepts et de règles (lois) a déjà été discutée en lien avec les formes de mémoire. Ici, nous l'observerons de point de vue de son apport à l'apprentissage. Ainsi, Schank et Cleary (2006) posent la question de savoir quand est le bon moment pour généraliser. Voici leur avis sur la question, et plus précisément sur l'enseignement de règles (lois) :

Schools tend to present generalizations before specifics. But a generalization is really only valuable if you make it yourself. The reason for this is simple enough. The generalizations we remember are those we make ourselves.

If someone teaches you a generalization (a formula, for example, is a type of generalization that is typically taught) then it better be useful nearly every day, or you will most likely forget it. Generalizations come from cases, lots of cases. When we're faced with lots of cases, we are forced to make generalizations as a way of tying together what we know in a useful form. When we make such generalizations, we can be sure to remember them because we obviously needed them in the first place. (Schank & Cleary 2006, SE)

Cette opinion se trouve surtout valable parlant de l'ordre d'enseignement des exemples concrets et de leurs généralisations. Cependant, comme nous l'avons déjà exploré, la connaissance des règles est indispensable dans certains cas (Smith & Kosslyn 2007).

7.2.2 Explication des échecs

L'autre processus qui est mis en contribution pour produire des connaissances est l'explication des échecs (*failures*) (Schank & Cleary, 2006). Quand les prévisions basées sur les connaissances déjà acquises s'avèrent erronées, il est clair que la théorie qui a produit ces prévisions doit être modifiée. Mais pour la modifier, il faut d'abord trouver une explication de l'échec, trouver ses raisons.

7.2.3 Poser des questions

Poser des questions est une activité qui déclenche les processus d'intégration et de généralisation et ainsi, contribue à l'apprentissage à long terme. Ce qui est intéressant dans ce cas, d'après Schank et Cleary (2006), c'est le fait qu'une fois la réponse trouvée, la mémoire 'sait' où la placer. De plus, poser des questions incite une réflexion plus profonde sur les phénomènes étudiés, et ainsi mène à un meilleur apprentissage.

7.2.4 Manipulations profondes

Des expériences sur le type de manipulation favorisant l'apprentissage ont montré que les étudiants se souviennent mieux après qu'ils ont eu un exercice d'analyse sur un objet, qu'après qu'on leur avait dit de 'l'apprendre' (Schmeck, 2000). Une autre expérience menée par le même auteur (Schmeck 1983), cible la différence entre les manipulations profondes et celles de surface. Les étudiants participant dans cette expérience ont été divisés en deux groupes : apprenants superficiels (*shallow learners*) et apprenants approfondis (*deep learners*) et le résultat a été :

After learning a list of words, subjects were given deep recall cues, or hints, to help them remember others. Deep cues were of the sort: "This word is a type of.....". Shallow cues were of the sort: "This word rhymes with". It was assumed that if deep cues improve recall more than shallow ones, learners must have processed the words deeply while learning them. Indeed, the results showed that deep learners were helped more by category than by rhyme cues, and shallow learners were helped more by rhyme cues than by category cues. [...] Deep learners showed an overall better reading comprehension. (Schmeck 1983, p. 85-86)

Il est possible de remarquer qu'il y a une différence dans les préférences d'apprentissage chez les étudiants. Cependant, il serait avantageux d'encourager la manipulation profonde de l'information à apprendre, étant donné qu'elle amène généralement à de meilleurs résultats.

Un autre facteur à prendre en considération est la finalité de l'apprentissage et la situation éventuelle où les connaissances sont susceptibles à être utilisées. Il a été prouvé que l'apprentissage est plus réussi si les manipulations cognitives correspondent au type d'utilisation qui est censé évoquer les connaissances après. Il s'agit aussi de la correspondance entre les *cues* par lesquels une connaissance est encodée et ceux qui vont l'évoquer après.

7.3 Interaction entre apprentissage et développement

Plusieurs chercheurs ont travaillé sur un modèle de l'interaction entre le développement individuelle de la personne et l'apprentissage (Piaget, 1969; Vygotsky, 1978; Parsons et al., 2001). Même s'il a vécu à l'URSS (en Ukraine) après la Révolution d'Octobre, le travail de Vygotsky a été découvert par l'Occident il y a 30 ans, après la publication de la traduction de ses manuscrits en 1978. Plusieurs de ses idées développées au début du siècle

dernier sont d'une actualité et sont même avant-gardistes. Ainsi, à l'époque où il a travaillé, Vygotsky a pu recenser au moins trois modèles qui se différencient par rapport au lien entre le développement et l'apprentissage qu'ils favorisent :

1. Le développement est un pré-requis pour l'apprentissage. En d'autres mots, dans le temps, l'apprentissage traîne toujours après le développement. C'est la thèse supportée par Piaget, par exemple);
2. L'apprentissage est le développement coïncident dans le temps (modèle de James¹);
3. Le développement est basé sur deux processus différents mais liés de façon que chacun d'eux influence l'autre. D'un côté on a la maturation, de l'autre, l'apprentissage. La maturation prépare et rend possible un processus spécifique d'apprentissage. Après, le processus d'apprentissage à son tour, stimule et fait avancer le processus de maturation.

Une variation du dernier modèle est proposée par Koffka² (qui fait partie des gestaltistes). D'après lui, le développement est toujours plus large que l'apprentissage. En conséquence: « *in making one step in learning, a child makes two steps in development.* »

Vygotsky a trouvé des défauts à toutes ces théories et a proposé un modèle inspiré par le 'matérialisme dialectique' de Karl Marx. D'après ce modèle, les phénomènes sont étudiés en tant que processus en mouvement et en changement. Ainsi, Vygotsky réussit à prendre en compte la complexité des processus mentaux par rapport à leur environnement. Son idée de '*mediated behavior*' est décrite de la façon suivante :

In higher forms of human behavior, the individual actively modifies the stimulus situation as a part of the process responding to it. (Vygotsky 1978, p. 14)

L'approche utilisée par lui pour l'analyse des fonctions mentales complexes est basée sur trois principes, nouveaux pour son époque : (1) analyser des processus et non pas des objets (un processus peut durer une fraction de seconde ou quelques journées ou semaines); (2) expliquer, et non seulement décrire (d'après lui, une simple description ne démontre pas les liens causals et dynamiques qui sont à la base des phénomènes); et (3) éviter d'analyser des processus psychologiques 'fossilisés' qui sont automatisés, donc ne portent plus leurs caractéristiques cognitives originales.

¹ Cité par Vygotsky (1978)

² Ibid.

L'exemple qui suit, illustre clairement le contraste entre l'approche conventionnelle (orientée vers la performance) et l'approche de Vygotsky (orientée vers le processus, et inspirée aussi par les méthodes de Piaget). Des listes de mots ont été données aux enfants pour qu'ils les apprennent. Selon la première approche, le nombre de mots retenus par les enfants et l'ordre du rappel ont été analysés. La deuxième approche donne les instructions suivantes:

Instruct children to do whatever they want with the given materials to help them remember. Then, observe children's attempts at classifying the items, the kinds of grouping they made, and other indices of children's tendency to use organizational strategies in remembering. A central question is: What are the children doing? How are they trying to satisfy task demands? (Vygotsky 1978, p. 13)

D'un point de vue méthodologique, on constate qu'une approche quantitative est remplacée par une autre qualitative et constructiviste.

Selon Kolb (1984), Vygotsky a créé les bases de l'apprentissage par l'expérience « *experiential learning* » en avançant l'idée dialectique qu'en même temps que l'environnement influence l'homme et son apprentissage, l'homme influence l'environnement par ses actions et par sa compréhension.

7.4 Zone de développement proximal

La théorie de la 'zone du développement proximal' (*Zone of proximal development*) est le modèle que Vygotsky propose pour expliquer l'apprentissage et son lien au développement. Ainsi, il rejette les trois théories décrites ci-dessus, et affirme que ce qu'un enfant est capable de faire avec de l'assistance (d'un enseignant ou un pair) est aussi important!

Dans le livre de Parsons et al. (2001), l'approche de Vygotsky est donnée comme l'alternative à celle de Piaget et se trouve décrite ainsi :

Vygotsky believed that children are often at a cognitive level where they can solve problems independently. He termed this level as the zone of actual development. In contrast, he believed that there are times when a child can solve problems with support, and this he identified as the zone of proximal development. From this perspective, he posited that learning takes place when the child is working in her zone of proximal development. Tasks within this zone are ones that the child is not yet capable of doing herself, but can be accomplished if she is given assistance by a peer or teacher. (Parsons et al. 2001, p. 54)

Ainsi, la zone de développement proximal est la distance entre le niveau de développement actuel de l'étudiant, comme déterminé par ses capacités de résoudre des problèmes de façon indépendante; et le niveau de développement potentiel, déterminé par résolution de problèmes sous la surveillance ou en collaboration avec de pairs plus avancés.

D'après les mêmes auteurs, ce modèle a des implications pratiques très intéressantes. Il favorise le travail en équipe, le travail avec les pairs, l'évaluation dynamique (qui évalue des niveaux différentes d'apprentissage). Il procure un 'échafaudage' à l'étudiant quand il travaille dans sa zone de développement proximal.

Vygotsky (1978) propose les exercices suivants pour accompagner l'étudiant dans ce processus:

- *run through an entire demonstration and ask the children to repeat it*
- *initiate the situation and ask the children to finish it*
- *offer leading questions (p. 84)*

Vygotsky trouve les mérites de son approche surtout dans le fait qu'elle évalue les 'bourgeons' et les 'fleurs' du développement, et non ses 'fruits'.

Ce modèle offre un grand potentiel par rapport à l'enseignement de la conception architecturale. Dans un contexte de changement des façons de faire dans la profession, des modèles de savoir-faire qui proposent de l'assistance dans les activités d'apprentissage et conception, pourront aider au développement du potentiel des étudiants.

7.5 Sur la spécificité de l'apprentissage

La question de la spécificité de l'apprentissage essaie de prévoir si une situation vécue ou un concept appris sont applicables seulement pour des cas presque identiques, ou au contraire, pourront s'appliquer dans des cas variés représentant certaines caractéristiques communes. Vygotsky (1978) cite deux auteurs par rapport à la spécificité de l'apprentissage. Ainsi, Thorndike considère que le développement d'une activité spécifique signifie rarement le développement d'autres :

The mind is not a complex network of general capabilities such as observation, attention, memory, judgment, and so forth, but a set of specific capabilities, each of which is to some extent, independent of the others and is developed independently. (Vygotsky 1978, p. 82)

Par contre, d'après Koffka et l'École Gestaltiste, apprendre une nouvelle méthode peut être transféré dans d'autres sphères d'activités :

The influence of learning is never specific. From their study of structural principles, they argue that the learning process can never be reduced simply to the formation of skills but embodies an intellectual order that makes it possible to transfer general principles discovered in solving one task to a variety of other tasks. (Vygotsky 1978, p. 83)

D'autres auteurs parlent de la possibilité de transférer des *scriptlets* ou des *chunks*¹ d'une situation à une autre (Schank et Cleary 2006).

Une autre possibilité de transfert est réalisée par les généralisations ou les règles (qu'elles soient construites par la personne ou acquises de l'extérieur).

Le raisonnement par analogie ou par cas utilise des schémas comme un squelette commun entre des situations qui ont des ressemblances structurelles. Ainsi, ce qui est transférable, c'est des *chunks*, des généralisations ou des règles.

7.6 L'apprentissage et les spécificités cognitives individuelles

Chaque individu est unique par sa personnalité, par la façon dont il perçoit le monde, ainsi que par les actions qu'il y exerce. Les styles individuels d'apprentissage diffèrent aussi. Dans le livre *Educational Psychology*, Parsons et al. (2001) définissent le 'style d'apprentissage' (*cognitive learning style*) ainsi « *biological and socialized differences or preferences for how students learn* ».

Même s'il est souvent associé avec le style d'apprentissage, le terme 'style cognitif' a une définition plus précise. Il signifie la façon préférée d'un individu de penser, d'organiser et de représenter l'information pour ses activités cognitives (Riding & Rayner, 1998). Voici une définition donnée dans le contexte de l'enseignement: « *Cognitive style (is) students'*

¹ La traduction du mot *chunk* en français s'avère assez difficile. Le Petit Robert le traduit comme 'morceau'. Le Grand dictionnaire terminologique publié par l'Office québécois de la langue française le traduit par 'bloc' (dans un contexte informatique) ; ou par 'unité' dans un contexte d'urbanisme. En fait, le mot *chunk* est utilisé par les sciences cognitives, ainsi qu'en informatique et signifie à la fois un fragment d'un tout, et aussi un regroupement (capsule) de plusieurs éléments encore plus petits. Dans ce sens, il représente un terme important dans l'organisation d'une structure. Pour bien exprimer la richesse dans la signification de ce terme, dans le cadre de notre recherche, nous allons utiliser le mot anglais (en italique) : *chunk*.

most comfortable, consistent, and expedient ways of perceiving and making sense of information in the environment » (Parsons et al., 2001).

Malgré les différences qui peuvent exister entre ces deux concepts, on peut également retrouver des liens entre eux. Dans ce qui suit, les types de styles d'apprentissage et les types de styles cognitifs seront passés en revue dans le but de comprendre le lien entre style cognitif, méthodes d'enseignement et apprentissage.

7.6.1 Styles d'apprentissage

Le schéma mis au point par (Kolb, 1976) prend en compte deux dimensions de l'apprentissage : percevoir et manipuler (*perceiving and processing*). La première décrit la façon de penser : concrète ou abstraite; et la seconde le type de manipulation de l'information : active ou réflexive. Ainsi, les bi-pôles suivants sont créés :

concrete experience - abstract conceptualization

reflective observation - active experimentation (Kolb 1984, p. 61)

Ces dimensions sont intégrées pour former quatre 'styles d'apprentissage' :

- Le style convergent combine la conceptualisation abstraite au niveau de la perception, avec une expérimentation active au niveau de la manipulation de l'information. La plus grande force de cette approche est dans la résolution de problèmes ou encore quand il faut prendre des décisions ou appliquer des idées en pratique. Ceux qui utilisent ce style d'apprentissage ont besoin de suivre des étapes séquentielles et détaillées quand ils réfléchissent ou apprennent.
- Le style divergent a des forces opposées à celles du convergent, notamment l'expérience concrète et l'observation réflexive. Ainsi, il favorise l'imagination, la génération d'idées alternatives et la prise en considération des valeurs et émotions. Les gens avec ce style doivent être personnellement engagés dans le processus d'apprentissage pour obtenir des meilleurs résultats.
- Chez le style assimilatif, les habilités dominantes sont celles de conceptualisation abstraite et d'observation réflexive. Il favorise la pensée inductive, et la création de modèles théoriques (logiques et précises).

- Le style accommodatif a les forces inverses de celles du style assimilatif : il est basé sur l'expérience concrète et sur l'expérimentation active. Les gens qui ont ce style d'apprentissage aiment faire des choses, réaliser des plans et des tâches. Ils cherchent de nouvelles opportunités, prennent des risques. Le style est nommé 'accommodatif' parce qu'il est le meilleur pour des situations où l'on doit s'adapter à des circonstances qui changent. Dans ces cas, une personne à style accommodatif laissera tomber les théories et les plans, pendant qu'une personne de style assimilatif réexaminerait les faits qui ont changé. (Kolb 1984)

Rayner et Riding (1997) font une analyse des styles d'apprentissage proposés par Kolb, et attirent l'attention sur la façon dont ces styles sont formés :

Interestingly, Kolb's model appears to presuppose a mix of 'hard-' and 'soft-wiring' in an individual's learning style, but lends greatest weight to the developmental nature of learning ability and style. The model therefore reflects a less stable set of individual differences, which can change over time. This is perhaps not surprising, given Kolb's primary interest in experiential learning and process-bound learning theory (Rayner et Riding 1997, SE).

Il devient clair que Kolb ne conçoit pas les styles d'apprentissage comme étant fixés une fois pour toute dans le cerveau, mais prévoit la possibilité qu'ils évoluent avec le développement cognitif de la personne. Ceci pourrait avoir des implications importantes sur les méthodes d'enseigner et leur impact sur le style cognitif de l'étudiant. En d'autres mots, en même temps qu'une méthode d'enseignement devrait prendre en compte le style cognitif de l'étudiant, elle peut à son tour agir sur celui-ci et le modifier.

7.6.2 Styles cognitifs

Comme c'était déjà mentionné, le terme 'style cognitif' est souvent associé au 'style d'apprentissage' mais il donne une définition plus précise de la façon de réfléchir, d'organiser et manipuler de l'information. Les styles cognitifs sont évalués en tant que proximité de deux extrémités (pôles) d'une 'dimension'. Dans une revue des styles cognitifs, Roberts (2006) énumère les dimensions suivantes:

- tendance à penser analytiquement, ou tendance à penser intuitivement;
- penser globalement ou analytiquement;
- préférence à organiser l'information comme un ensemble (nommé 'wholist') ou de subdiviser cette information à des petits 'morceaux' (nommé 'analytic');

- tendance à représenter mentalement l'information avec des mots (nommé 'verbaliser') ou en images (nommé 'imager').

D'après Roberts (2006), il y a une dépendance (*consistency*) entre ces dimensions de styles : les individus avec style cognitif global, holiste ou intuitif sont susceptibles d'agir par intuition et de voir une image générale, plutôt que de la subdiviser pour la comprendre ; ceux avec un style cognitif analytique ont tendance à subdiviser les choses et de procéder l'information de manière séquentielle.

Essayant de synthétiser les styles cognitifs de point de vue de l'apprentissage, (Riding & Cheema, 1991 ; Richard Riding, 2000) définissent les styles suivants :

1. The Wholist-Analytic Style dimension in which an individual tends to organize information about wholes and parts

2. The Verbal-Imagery Style dimension in which an individual is inclined to represent information during thinking verbally or in mental pictures (Riding, 2000, p. 316)

Ces recherches ont déclenché une discussion sur la question si un enseignant devrait préparer son matériel didactique de façon à rencontrer les spécificités des styles cognitifs de ses étudiants. Il s'agit à la fois de la structure du matériel éducatif, de son mode de présentation et du type de son contenu (Riding 2000). Ainsi, d'après Saracho (2000), la tradition dans le champ de l'éducation est que les professeurs révisent leur façon d'enseigner pour répondre aux spécificités individuelles des étudiants. Cette tradition reflète la connaissance des différences dans le développement cognitif des étudiants.

Mis à part le souci de l'enseignant par rapport au type cognitif de ses étudiants, le type cognitif de l'enseignant-même a une incidence sur sa façon d'enseigner et de là, sur la performance des étudiants de différents types cognitifs. Avec les mots de Saracho (2000):

Individual teachers respond to their students in their own unique way. The teachers' cognitive style motivates their selected teaching style, acquiring a "format preference", that has an impact on their distinctive qualities. Cognitive teachers employ a realm of teaching strategies and select the ones that are most appropriate to the instructional task and content, based on their cognitive style. (p. 300)

L'opinion opposée est exprimée par Yates (2000) qui critique l'idée d'utiliser des approches différentes pour les étudiants de types cognitifs différents. À son avis, la théorie sur ce sujet n'est pas encore assez développée et il ne faut pas fonder des approches pédagogiques spécifiquement sur elle. Par contre, il trouve avantageux pour tous les

étudiants d'avoir un enseignement varié : « *All students take advantage of the eventually multimodal presentation of the material* » (Yates, 2000).

Cette conclusion est cohérente avec les évidences par rapport au renforcement des catégories dans la mémoire par le biais des représentations multimodales.

7.6.3 En architecture

Pour étudier les styles cognitifs des étudiants en architecture, Roberts (2006) se base sur l'analyse du style cognitif qui est: « *a computerised measure which reveals an individual's tendency to think visually or verbally and to process information wholistically or analytically* » (Riding, 1991; 1994; Rayner & Riding, 1997).

Certaines spécificités de l'enseignement en architecture sont susceptibles à donner avantage aux étudiants d'un style et de désavantager d'autres. Il s'agit notamment de l'apprentissage par projet où l'étudiant ne cherche pas une réponse 'correcte', mais est plutôt invité à explorer la situation et à faire des propositions. Souvent, ces réponses peuvent relever beaucoup plus de l'interprétation et de l'intuition que d'un processus rationnel qui applique des connaissances théoriques à une situation (Schön 1985). D'après Roberts (2006), une grande partie des étudiants en architecture n'ont pas d'expérience de ce type d'apprentissage et en conséquent, l'éducation en architecture essaie d'inculquer des habilités nouvelles, des valeurs et des conceptions considérées comme étant propres aux architectes.

Effectivement, plusieurs recherches visent à trouver les particularités cognitives des architectes en comparaison avec la population en général ou encore en comparaison avec d'autres créateurs ou scientifiques. Roberts (2006) énumère les recherches suivantes:

Authors such as Schön (1983) and Proudfoot (2000) have suggested a continuum between an intuitive, phenomenological approach to design learning and an approach based upon technical rationality. Lawson (1997) suggests that architects tend to approach the design process using a number of parallel lines of thought in a simultaneous, rather than sequential, manner at both the detailed and global levels. (Roberts, 2006, p. 169)

De son côté, Durling et al. (1996) ont testé la tendance de penser holistiquement des étudiants en architecture. Les résultats ont montré que 79% parmi eux ont une préférence vers la pensée intuitive. Ce résultat est beaucoup plus élevé que celui chez les gestionnaires, chez les ingénieurs ou chez la population en général. Lawson (1993) a aussi

observé que les architectes ont la tendance d'adopter une approche intuitive pendant leur travail sur un problème.

D'autres recherches ont démontré que les étudiants en architecture sont considérablement plus analytiques qu'un groupe comparatif d'étudiants provenant d'autres domaines. La recherche menée à Cardiff par Roberts (2006) montre des différences intéressantes à l'intérieur de ce groupe. D'après l'auteur:

A review of the literature suggested that students with a tendency to think holistically may have an advantage in learning to become architects than more analytic students. The results from this research provide no evidence to support this. Moreover, the results suggest the reverse of the initial hypothesis, with those students categorised as 'analytic' performing better than the other groups, especially in the early stages of their architectural education. Nevertheless, the results suggest that any advantage that analytic students may have in their first year may have become less apparent by the time they complete their degree. (Roberts, 2006, p. 179)

Dans la discussion sur les résultats, l'auteur émet l'hypothèse que la différence dans la performance pourrait être due au fait que les tâches au début du parcours universitaire sont plus petites et se prêtent plus facilement à une approche analytique, pendant que vers la fin des études, les projets deviennent plus grands, et doivent être abordés de façon holistique.

D'après Durling (1996), généralement, les designers préfèrent l'enseignement qui :

- *begins with the big picture, with concepts, and then explains details;*
- *is focused toward future possibilities and gives alternative viewpoints;*
- *has lightweight structure, allowing for guided exploration;*
- *mostly shows objective data, is logical and analytical, and is based on exemplars showing things. (However, about a third of designers will be happier with more subjectivity, a person-centered approach, and the utilisation of value judgments). (p. 92)*

Après l'aperçu des recherches sur les styles cognitifs des architectes, nous pouvons remarquer que, indépendamment de leur préférences cognitives avant d'entrer à l'université, pendant l'éducation en architecture, les étudiants sont formés pour devenir des 'holistiques visuels' (Roberts, 2006).

7.7 Conclusions pour la recherche

Ce chapitre a permis d'identifier plusieurs théories cognitives susceptibles d'aider et de servir comme base à la proposition des méthodes innovatrices d'enseignement de la conception architecturale.

Ainsi, il s'est avéré que pour enlever les 'préconceptions' (connaissances, idées erronées acquises au préalable), une restructuration des connaissances est nécessaire. Ce type d'apprentissage est le plus difficile (en comparaison avec '*accrétation*¹' et 'ajustement'), mais s'il est réussi, il provoque un 'saut' dans la courbe d'apprentissage.

Nous avons également relevé l'importance des généralisations pour le transfert de connaissances et de procédures d'une situation à une autre. Même si dans le processus cognitif les règles et les lois agissent après les *exemplaires* (les exemples particuliers), il est important de les expliciter pendant l'apprentissage. Le mécanisme optimal pour l'apprentissage est celui où les étudiants découvrent les généralisations par eux-mêmes, à partir de l'étude de plusieurs cas. Un autre constat est qu'on apprend mieux en manipulant les connaissances de façon profonde (*deep processing*). La pratique d'apprendre en faisant (*learning by doing*) profite également de ce mécanisme cognitif.

Une autre découverte a été la 'zone d'apprentissage proximal' dans laquelle un étudiant est capable de réaliser, avec assistance, des tâches beaucoup plus avancées que celle qu'il est capable de résoudre de façon autonome. Travailler dans cette 'zone' représente un stimulus important pour l'apprentissage. Évaluer les capacités des étudiants de travailler de cette façon, serait une manière d'estimer le potentiel de son développement.

Il est, donc, possible de poser la question, à savoir, si la présence de règles et de *chunks* explicites de connaissances dans l'Espace de conception numérique des étudiants, joueraient un rôle d'artefacts cognitifs pour l'apprentissage de la conception architecturale. Des simulations de la compréhension d'un précédent par un étudiant de façon autonome et avec assistance sont présentées sur les Figures 31 et 32.

¹ Processus d'ajout, d'incrémentation (voir la définition dans le point 7.1).

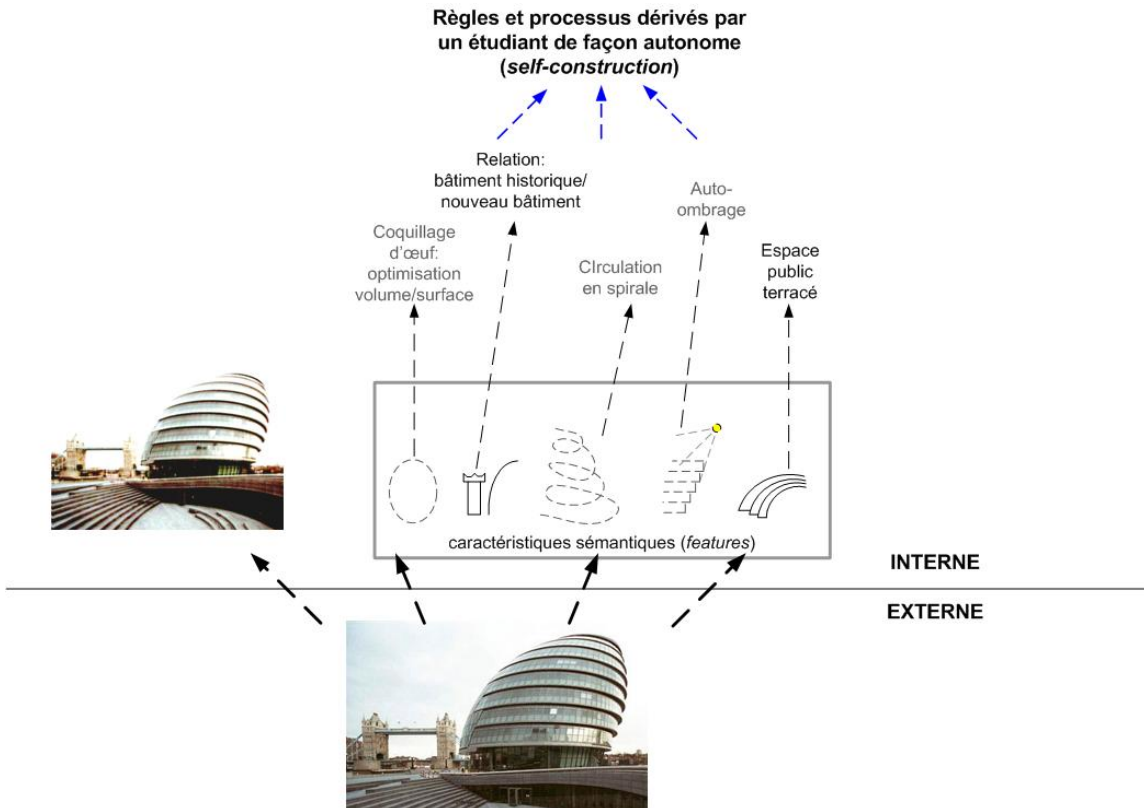


Figure 31: Simulation de la compréhension d'un précédent par un étudiant de façon autonome. Sans assistance, moins de features sont dégagés.

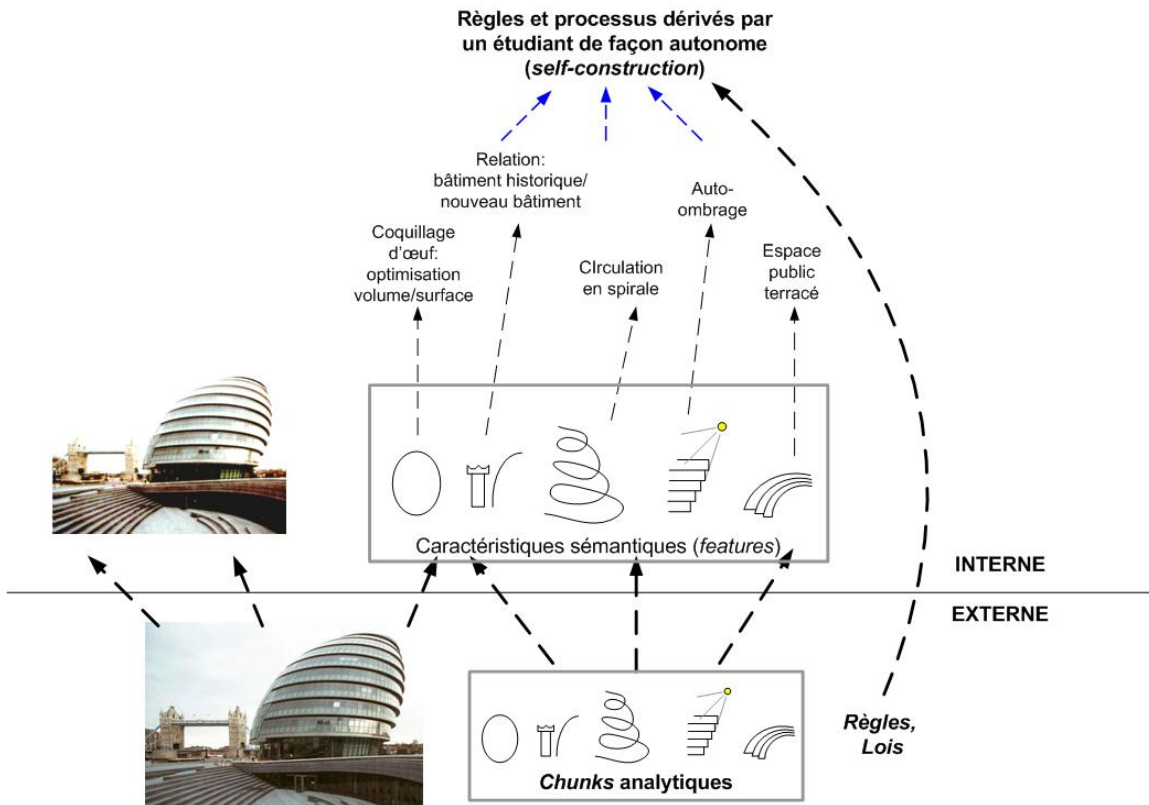


Figure 32: Simulation de la compréhension dans la zone proximale - avec assistance

Comme montré à la Figure 32, la présence de règles et de *chunks* explicites de connaissances facilite la compréhension. De plus, les formes de représentations de l'objet ajoutées à l'image stimulent d'autres types de mémoire et enrichissent les mécanismes d'apprentissage. Ainsi, des étudiants avec des styles cognitifs différents sont accommodés.

Et encore, les styles cognitifs d'apprentissage influencent la façon dont les étudiants assimilent les connaissances. À la place de spécifier les différents formats de représentations pour accommoder chaque type de style cognitif, il est préférable de mettre tous les formats de représentation disponibles pour tout le monde. De cette façon, des catégories plus riches et stables pourraient être créées dans la mémoire. Cependant, étant donné que les architectes sont formés surtout comme des 'holistiques visuels', il serait approprié de proposer des référents, des analogies et des représentations imagées.

It is by logic that we prove, but by intuition that we discover

(Henri Poincaré)

Chapitre 8. La créativité et le processus de design

L'architecture étant un art (aussi bien qu'un métier et une science), la créativité occupe une place importante dans la pratique de la profession. En quoi consiste-t-elle, est-ce qu'elle peut s'enseigner ou s'entraîner? Ce sont des questions auxquelles ce chapitre essayera de trouver une réponse.

8.1 La créativité

La pensée créative est mise à contribution chaque fois qu'une *nouvelle* découverte ou événement a lieu. Le terme 'conception' exprime de façon juste ce processus. En design, on parle de niveaux différents de créativité, qui se situent dans un continuum : du travail non-crétatif, peu créatif, moyennement créatif et très créatif (Lubart, 2003). Ce dernier type indique une œuvre qui se distingue de tout ce qui a été conçu avant. C'est rare que de telles œuvres soient créées, par contre ce sont elles qui marquent l'époque de façon significative et influencent les créations à venir. La créativité est une qualité très prisée chez les architectes. Sous cette perspective, nous allons essayer de comprendre ses bases cognitives et éventuellement les mettre en œuvre pendant l'enseignement en architecture. Il est reconnu que la créativité dépend d'une combinaison interactive de facteurs cognitifs, conatifs, émotionnels et environnementaux (Lubart, 2003). Dans l'étude présente, l'intérêt sera porté surtout aux facteurs cognitifs.

Voici la définition consensuelle de la créativité que Lubart (2003) donne: « ...la créativité est la capacité à réaliser une production qui soit à la fois nouvelle et adaptée au contexte dans lequel elle se manifeste ».

Cette définition est très pertinente pour la créativité en architecture à cause du caractère utilitaire de cette dernière. Ainsi, le contexte est une des spécificités des œuvres

architecturales qui les distinguent des créations artistiques ou des découvertes scientifiques qui peuvent avoir un caractère plus générale et indépendant.

Lawson ajoute également la composante personnelle de la créativité en citant Do Bono (1976) : « *Creativity is a value word and represents a value judgment - no one ever calls creative something new which he dislikes* » (Lawson, 1980, p. 107)

Il n'est pas possible de négliger cet aspect de la créativité, mais en ce qui suit, nous allons nous concentrer sur ses aspects objectifs.

8.1.1 Ressources cognitives

Les années de travail sur la simulation de l'intelligence artificielle ont aidé à identifier des processus de traitement et transformation de l'information impliqués dans la créativité. Il s'agit du processus de création d'analogies, de recherche et d'élaboration des idées ou encore de synthèse (Lubart 2003). D'après le même auteur, les capacités intellectuelles considérées comme essentielles dans l'acte créatif sont celles qui servent:

- à identifier, à définir, et à redéfinir le problème (la tâche)
- à relever dans l'environnement des informations en rapport avec le problème (encodage sélectif);
- à observer des similitudes entre des domaines différents qui éclairent le problème (analogie, métaphore, comparaison sélective);
- à générer plusieurs possibilités (pensée divergente);
- à auto-évaluer sa progression vers la solution du problème;
- enfin, à se dégager d'une idée initiale pour explorer de nouvelles pistes (flexibilité) (Lubart 2003, p. 15)

Le premier point de cette liste est souligné comme étant important par plusieurs chercheurs. Ainsi, Kolb (1984) écrit que les gens créatifs trouvent des problèmes nouveaux! Ce n'est pas la réponse qui crée la nouveauté, mais c'est bien le problème qui est neuf. Dewey continue dans le même esprit disant que: « Un problème bien posé est à moitié résolu ».

D'après Lubart qui cite Guilford (1956, 1967), c'est plutôt la pensée divergente qui est sollicitée par la créativité. Elle est définie comme « la capacité de trouver un grand nombre d'idées à partir d'un stimulus unique » (Lubart, 2003).

Cette capacité de pouvoir générer plusieurs possibilités (variances) de solutions est souvent négligée comme nécessaire pour arriver à une solution innovatrice. Pourtant, certaines recherches font ressortir un lien entre la quantité des idées générées et la qualité des ces idées (Osborn, 1965).

Selon Lawson (1980), la créativité est une balance entre la convergence et la divergence dans la pensée. Le même avis est partagé par Runco et Albert (1985), qui trouvent que la pensée convergente, ensemble avec la divergente a des contributions importantes à la créativité pendant la résolution des problèmes. D'après Hanna et Barber (2006) :

Convergent thinking is prescriptive as it follows a single prescribed path to arrive at a single solution to the problem. Divergent thinking on the other hand is speculative and unstructured as it explores ideas and combinations to arrive at 'possible' solutions to the problem (Hanna & Barber 2006, p. 102)

Osborn (1965) attire l'attention sur l'importance de l'analyse. D'après lui, « l'analyse, par elle-même, peut fournir des pistes qui augmentent notre puissance d'association d'idées et nourrissent ainsi notre imagination » (p. 110). C'est une idée intéressante qui n'est pas assez exploitée pour la créativité pour l'instant.

De son côté, Torrance a identifié quatre paramètres principaux qui peuvent opérationnaliser la créativité: abondance (générer un grand volume d'idées); flexibilité (avoir une variété dans les idées); originalité (sortir du commun); élaboration (développer l'idée) (Torrance, 1966). Ce dernier paramètre souligne l'importance de la persévérance, mise dans le développement pour l'aboutissement d'une idée. Ceci confirme la pensée de Thomas Edison que « la créativité c'est 99% de transpiration et 1% d'inspiration ».

Plusieurs auteurs s'entendent sur le fait que les connaissances dans le domaine sont indispensables pour la créativité. Ainsi, Pasteur (cité par Lubart, 2003) dit que « dans le champs de l'observation, le hasard ne favorise que les esprits préparés ».

Cependant, souvent, les préconceptions et les 'moules' de la pensée, créées par le système d'éducation, sont capables de freiner les processus créatifs.

Une autre qualité cognitive est identifiée comme avantageuse pour la créativité : le savoir-faire des processus indépendant du domaine (Christiaans 1992). De plus, cet auteur trouve que les étudiants créatifs réussissent mieux à élucider les connaissances procédurales (de processus). Ce constat est intéressant de point de vue de notre recherche à cause du lien qu'il fait entre créativité et connaissances procédurales.

Par rapport aux styles cognitifs qui avantagent la créativité, Lubart (2003) trouve que « le style global¹ est censé être propice à la créativité, particulièrement lorsqu'il s'agit d'appréhender la nature d'un problème et de le définir » (p. 39). Selon Goldsmith (1987), les styles cognitifs ne prédisent pas le degré de créativité, mais sa nature.

Ainsi, aux ressources cognitives de la créativité connues, comme la pensée divergente, l'abondance d'idées et l'originalité, il est possible d'ajouter l'analyse préalable, le développement de l'idée et la nécessité de posséder de bonnes connaissances du domaine.

8.1.2 Le processus créatif

Comme il a été mentionné dans la Partie I de cette thèse, chaque concepteur a sa façon de travailler, et de plus, celle-ci pourrait différer selon les circonstances. Il n'existe pas un modèle idéal pour le processus créatif. Il y a par contre, des phases qui semblent se répéter chez des créateurs et des inventeurs différents. Voici la description que Lubart (2003) donne sur ce sujet, se fiant sur les réflexions de Poincaré (1908², p. 27).

...le processus créatif semblait débiter par un travail conscient sur un problème. Cette étape est alors suivie par d'un travail inconscient qui, s'il réussit, aboutit à une "illumination subite". Une autre phase de travail conscient vient ensuite pour "mettre en œuvre les résultats de cette illumination, en déduire les conséquences immédiates, les ordonner, rédiger les démonstrations, mais surtout il faut les vérifier. (p. 86)

Un modèle à 'quatre étapes', notamment préparation, incubation, illumination et vérification, a été adopté par certains chercheurs (Wallas, 1926 ; Partick, 1935 ; Amabile, 1996, cités par Lubart, 2003). Cependant, d'autres ne sont pas d'accord avec la séparation de ces processus dans des étapes distinctes et essaient de prouver que plusieurs d'entre eux sont simultanés ou encore répétés à plusieurs reprises (Calwelty et al. 1992, cité par Lubart, 2003). De plus, ils trouvent que : « Dans un processus créatif, il n'est pas nécessaire de séparer les étapes de définition du problème et de résolution du problème » (Getzels et Csikszentmihalyi 1976, p. 90 ; cité par Lubart 2003). Le modèle de Eindhoven et Vinacke (1952) par exemple, conçoit le processus créatif comme un mélange dynamique de divers types de pensées qui surviennent de façon récursive, tout au long du travail.

¹ Nommé style *holistique* selon d'autres auteurs

² Poincaré, H. 1908, Science et méthode, Paris, Flammarion

D'autres théories plus récentes le perçoivent comme une organisation de sous-processus multiples qui sont impliqués dans la résolution de problèmes. Un modèle à deux types de processus : génératifs et exploratoires, est proposé par Finke et al. (1992). Le premier type comprend la construction d'idées approximatives (structures pré-inventives) par les processus de la recherche de connaissances, l'association d'idées, la synthèse, la transformation et le transfert analogique; pendant que le deuxième réalise l'évaluation et le développement de ces pré-idées.

Étant donné la diversité des domaines où la créativité se manifeste, ainsi que ses variations individuelles, il ne semble pas possible d'arriver à un modèle polyvalent. L'idée de périodes composées de sous-processus multiples, qui peuvent revenir de façon cyclique et récursive semble, par contre, bien résumer un modèle possible du processus créatif.

Qu'est-ce qui rend, alors, un processus créatif ? D'après Lubart (2003), la différence entre un processus créatif et un processus standard est que :

Le processus créatif nécessite un traitement actif et attentif avec des périodes multiples de réflexions divergentes et convergentes, alors que le processus standard consiste en une activation, une production et une application beaucoup plus directe. (p. 94)

Ceci pourrait servir d'indice pour la distinction du processus créatif, l'application ou le développement.

L'importance de l'incubation est considérée comme un élément indispensable pour la naissance des idées. Voici une anecdote que Csikszentmihalyi (2006) raconte sur ce sujet:

One famous computer researcher who made a lot of discoveries in the computer field said that his firm lost several million dollars because they did not install a \$14,000 shower in his office, since all his good ideas come when he's showering. When he moved to a new firm that had a shower, his ideas kept coming out. For some people it's the shower; some people get it driving, others while walking the dog. (SE)

Osborn (1965) supporte cette importance affirmant que les périodes d'incubation provoquent l'illumination, et qu'il faut laisser 'vagabonder' la pensée, recourir aux hobbies pour permettre à la créativité de se manifester.

Certaines recherches trouvent que le temps de réflexion a aussi une incidence sur la qualité des idées. Ainsi, d'après des expériences (Simonton 1999), les idées les plus créatives viennent vers la fin d'une séquence de génération d'idées. L'auteur conclut qu'un temps de réflexion suffisant semble donc être un paramètre essentiel dans la recherche de nouvelles

solutions. Mais il est, toutefois, possible que les solutions les plus ‘osées’ qui s’éloignent le plus du ‘normal’, sortent à la fin, dues à l’effet psychologique du fait qu’il n’y aura pas d’autres chances (les participants sont plus timides et réservés au début de la séance).

8.1.3 L’illumination

En design, ‘l’illumination’, ou le moment quand une idée créative est née, est souvent nommée avec le terme ‘saut créatif’ (*creative leap*) et d’après Archer (1965), il est essentiel pour le processus de conception.

Cependant, d’après Cross (2006), l’acte perceptuel qui est à la base de ‘l’illumination’ n’est pas un saut mais plutôt un pont qui est jeté entre l’espace du problème et l’espace des solutions (*...more akin to 'bridging' between problem space and solution space*), et essaie de répondre aux deux en même temps. L’auteur décrit le mécanisme qui déclenche ce processus comme un changement de perspective, ou comme un déplacement de l’attention vers une autre partie de l’espace de solution où le designer trouve un concept approprié. Si on se réfère à Cross (2006):

During the design process, partial models of the problem and solution space are constructed side-by-side, as it were. But the crucial factor, the 'creative leap', is the bridging of these two partial models by the articulation of a concept which enables the partial models to be mapped onto each other. (p. 57)

Ainsi, c’est un modèle plus complexe et dépendant du contexte que les designers mettent en œuvre. En conséquence, pour stimuler la créativité, des représentations variées de l’espace du problème et de celui de la solution seraient utiles.

À l’opposé du ‘saut créatif’, il est possible, pendant un processus de création, d’arriver à une impasse ou un blocage. Souvent, ces moments sont provoqués par une fixation qui ne permet pas à la pensée d’explorer de nouvelles possibilités. Selon Richard (2004) :

Le terme de fixation est utilisé pour caractériser un certain nombre de phénomènes qui manifestent une attitude qui est opposé de *l'insight*, c'est-à-dire l'opposé de la restructuration du champ. (p. 240)

Dans des cas de fixation sur la première idée, juste une proposition de design est poursuivie. Ceci semble influencer négativement la qualité du résultat final, parce que Smith and Tjandra (1998) trouvent que: « *the quality of design solutions seems to be dependent upon the willingness to reconsider early concepts* ». Cependant, explorer un nombre excessif d’idée n’est pas une stratégie gagnante non plus (Fricke 1993, 1996).

D'après certains auteurs, il y a un lien entre la forme de représentation d'un référent et le rôle qu'il pourrait jouer pendant un processus de conception. Ainsi, Bonnardel et Rech, (1997) trouvent que les représentations visuelles provoquent plus souvent des fixations qu'une description textuelle du même objet, par exemple. Les résultats de cette étude ont des implications importantes par rapport à un assistant de l'enseignement de la conception architecturale, basée sur les référents.

8.1.4 Créativité « volontaire »

D'après Osborn (1965), l'expérience est le carburant de la créativité. Mais comment pourrait-on stimuler ou forcer la créativité ? Plusieurs procédés ont été identifiés par les chercheurs, parmi lesquels *l'association* a une place importante. Selon Osborn, (1965) « Le procédé fondamental de production d'idées c'est l'association ». Encore les Grecs anciens avaient découvert sa force et avaient proposé les trois règles de l'association: la contiguïté, la similitude et le contraste, qui restent toujours valables.

Osborn (1965) propose quelques principes pour une idéation volontaire, parmi lesquels figurent : réserver son jugement et « la quantité fournit la qualité » ; ou encore, produire activement des idées par des listes d'attributs, par des correspondances forcées et par une analyse morphologique de l'objet ou du phénomène. Des procédés comme l'adaptation, la modification et la substitution peuvent aussi aider ce processus, ainsi que le réarrangement, le renversement et la combinaison au niveau formel et sémantique.

Cependant, selon certains auteurs, la composante consciente ou volontaire devrait des fois laisser place aux processus inconscients qui permettraient aux idées d'émerger (Runco & Albert, 1990). Ainsi selon Runco (1990): « *practice thoughtfully but play by memory - without specific reminders and rules* », ce qui fait que les périodes de pause et de recul peuvent devenir des incubateurs d'idées.

L'importance de poser des questions et de pouvoir identifier des problèmes est soulignée par plusieurs auteurs (Hanna & Barber, 2006; Schank & Cleary, 2006). Il s'agit à la fois du début d'un processus de conception, ainsi que de la période d'exploration et de développement. Pendant cette dernière, le problème peut être redéfini ouvrant ainsi des perspectives pour de nouvelles solutions et cela peut avoir des répercussions très avantageuses si utilisé en enseignement.

8.1.5 Conclusions pour la recherche

Cette étude sur la créativité a pu identifier le processus créatif comme étant une combinaison entre processus génératifs et exploratoires, entre pensée divergente et convergente. L'importance de la pensée analogique, mais aussi des connaissances comme ressource pour la créativité a été soulignée. L'élucidation du processus semble être un indice pour la créativité. Sur un plan plus pragmatique, il s'avère que la quantité des idées (ou des variantes) mène à une meilleure qualité. Le recours aux référents et le transfert analogique joue un rôle crucial pour la créativité. Et enfin, les périodes d'incubations font partie de ce processus et ne devraient pas être négligées.

8.2 Les recherches cognitives du design

Dans les chapitres précédents, nous avons identifié des théories cognitives qui pourront être intéressantes de point de vue de leur application en enseignement de l'architecture. Il s'agit notamment des points suivants:

- en ce qui concerne la mémoire et les connaissances
 - o la théorie de la mémoire dynamique
 - o l'interaction entre les différents formats de connaissances
 - o le besoin des représentations visuelles d'être externalisées pour être réinterprétées
 - o la question de la nature 3D du modèle mental
- en éducation
 - o l'importance de la restructuration des connaissances (*anti-misconceptions*)
 - o l'importance des généralisations (règles) et des manipulations profondes des connaissances
 - o la théorie de la « zone du développement proximal »
 - o le lien entre styles cognitifs et format de représentation du matériel didactique

- la théorie cognitive de l'apprentissage (enseigner explicitement le processus de design)
- par rapport à la créativité
 - l'importance des connaissances comme ressource pour la créativité
 - la quantité des idées (ou des variantes) qui mène à une meilleure qualité
 - les périodes d'incubation
 - la pensée analogique

L'objectif du présent chapitre sera de passer en revue les recherches qui étudient le design de point de vue cognitif pour pouvoir identifier les problématiques qui restent non-résolues ou repérer les pistes non-explorées, ce qui permettrait de les prendre en considération dans le cadre de cette recherche doctorale.

Les études qui visent à comprendre les processus cognitifs du processus de design sont de plus en plus nombreuses. Elles ont été encore stimulées par la création de l'ordinateur et de là, par le rêve de créer de l'intelligence artificielle. Le développement des 'sciences de l'artificiel' (Simon, 1996) ouvre les champs de l'exploration du processus de résolution de problèmes. Il s'est avéré alors, que les 'problèmes' du design ne sont pas bien définis, et leur solution ne consiste pas en une solution 'correcte', mais plutôt en plusieurs solutions possibles parmi lesquelles le concepteur choisit une 'optimale'. Aujourd'hui, on parle plutôt de design stimulé ou assisté par ordinateur à cause, d'un côté, de la très grande complexité des processus, et de l'autre, de la forte composante personnelle qui s'y trouve.

Ce chapitre commencera donc avec une revue des recherches cognitives sur le processus de conception. Certaines différences entre la façon de penser des architectes et les autres créateurs seront investiguées. Les distinctions entre les processus de conception chez les designers experts et novices seront explorées plus tard. A l'étape suivante, une attention particulière sera portée à l'importance des représentations et des figurations pendant le processus créatif, ainsi qu'au rôle de leur format (visuel, propositionnel, procédural). A la fin, on parcourra les recherches sur les aspects cognitifs de l'enseignement de la conception architecturale pour y rajouter des implications qui découleront.

8.2.1 Processus de design (conceptions de la conception)

La conception architecturale fait partie de l'activité de design en général. Ainsi, une partie des recherches discutées portent sur les caractéristiques du design indépendamment du domaine, (Cross, 2001, 2002, 2006); tandis que d'autres, se concentrent sur les différences entre la conception en architecture et celle des autres domaines (comme le design industriel ou le génie mécanique, par exemple) (Lawson, 1980, 1984, 1994, 2004 ; Akin, 1986, 1995, 2001).

Dans les années 60, certains chercheurs, pionniers dans le domaine, ont commencé à étudier le processus de design à l'aide de protocoles. Dans l'article *On the analysis of intuitive design processes*, Eastman (1969) décrit ce processus en tant que résolution de problèmes qui comprend une phase d'identification du problème, suivie par évaluation des solutions possibles.

Une première revue spécialisée dans le domaine, *Design Studies*, commence à être publiée en 1979 dans le but d'établir les bases théoriques du design comme discipline. Bruce Archer fait une première contribution défendant le design comme une troisième sphère de l'éducation, les deux autres étant les sciences pures et les sciences humaines (Cross 2006). Ceci implique un changement de l'attitude envers le design, jusqu'à là enseigné juste comme profession. D'après Cross, la manière de penser des designers (*designerly ways of thinking*) devrait être enseignée à tout le monde, et cela dans le cadre du cursus général d'éducation (à l'école secondaire, par exemple). Ainsi, une bonne compréhension des processus du design est nécessaire pour son enseignement et sa promotion auprès des jeunes.

En 1994, le *Delft Protocols Workshop* offre un champ d'exploration d'envergure aux scientifiques dans le domaine de la cognition du design. Les séances de travail de plusieurs designers (parfois en équipe de 2, 3 ou 4) ont été enregistrées. Les données ont été mises à la disposition de plusieurs chercheurs qui ont, chacun, y porté un regard différent. Ces études ont été publiées dans le livre *Analyzing Design Activity* avec Cross, Christiaans et Dorst comme éditeurs (Cross et al., 1996). Une partie des articles s'intéresse au processus de design (Akin & Chengtah, 1996; Dorst & Dijkhuis, 1996; Goldschmidt, 1996; Visser, 1996), une autre, aux méthodes possibles pour son étude (Lloyd et al., 1996; Purcell et al., 1996; Takeda et al., 1996).

Cross, qui a créé l'expression « *designerly ways of knowing* », définit les capacités nécessaires pour le design ainsi :

Design Ability is summarized as comprising abilities of resolving ill-defined problems, adopting solution-focusing cognitive strategies, employing abductive or appositional thinking and using non-verbal, graphic/spatial modelling media. (Cross 2006, p. 20)

Il est possible de remarquer une correspondance entre les capacités évoquées et les ressources cognitive pour la créativité, discutées précédemment. L'auteur recommande que : « *design educators should nurture the development of these abilities in their students* ».

Dans ses recherches, Cross essaie de répondre à la question comment les concepts significatifs sont générés. Il discute de l'impossibilité d'arriver à une conclusion cohérente en utilisant deux méthodes différentes pour analyser le processus de conception. Il s'agit notamment de la méthode de Linkograph créée par Goldschmidt, qui réussit à identifier les moments significatifs dans le processus, mais n'arrive pas à donner une explication pourquoi ils sont survenus. L'autre méthode discutée est basée sur une modélisation computationnelle du 'saut créatif', développée par Rosenman et Gero (1993), et Gero (1994). Ces auteurs identifient cinq procédures qui peuvent provoquer un 'saut créatif' : combinaison, mutation, analogie, design à partir de principes primaires (dans le sens de Darke (1984)) et émergence. Mais en analysant les moments créatifs à partir de protocoles, Cross admet ne pas être en mesure de définir selon laquelle de ces procédures l'idée a été générée. Cette impasse est éloquent par rapport au niveau de développement toujours immature de la méthodologie des études du processus de design.

Comme nous l'avons déjà mentionné, d'après Schön, la conception architecturale est une « conversation réflexive avec les matériaux de la situation » (Schön 1983, 1988; Schön & Wiggins, 1992). Malgré le consensus général sur cette définition du design, étant donné son caractère constructiviste et le fait qu'il se base sur le travail à partir de référents (incluant l'expérience personnelle de l'architecte), ce modèle n'offre pas un cadre facilement observable. Dans l'absence de détails et d'indicateurs clairs, il n'est pas facile d'identifier cette approche de design et de la distinguer parmi d'autres. Ainsi, Dorst n'arrive pas à cerner ce processus (Dorst & Dijkhuis, 1996) et conclut que la théorie de Schön a besoin d'être détaillée. En comparant d'autres recherches qui ont comme base théorique la même compréhension du design, il devient clair qu'il y a des variations dans l'interprétation du concept de *reframing*. Selon Dorst et Dijkhuis (1996): « *The frames are*

based on an underlying background theory, corresponding with the personal view of the designer and his or her personal goals. »

Plus tard, un de ces auteurs, Dorst, ayant Valkenburg comme co-auteur (1998)¹, parle de *reframing* comme une reconsidération des éléments de « l'espace du problème » à prendre en considération pendant le travail sur l'objet en conception. C'est une compréhension plus restreinte de celle que nous avons identifiée (Iordanova et al., 2007). Toutefois, Valkenburg et Dorst rapportent des expériences sur le rôle du *reframing* pour le succès d'une tâche de design. Ainsi, parmi deux équipes qui ont été observées, celle qui a fait cinq *reframings* a réussi sa tâche beaucoup mieux que celle qui est restée avec sa position de départ, sans faire du *reframing*.

Il nous semble important de se poser la question : Y a-t-il une différence entre cette compréhension du *reframing* et une génération de variantes. À notre avis, le *reframing* est provoqué par un phénomène inattendu dans le développement de l'objet en conception. Ceci peut être un effet formel, une nouvelle association ou une réinterprétation (*seeing-as*).

Une recherche sur l'identification de caractéristiques 'discriminatives' de la 'conversation réflexive' (Iordanova et al., 2007), a donné les indicateurs suivants :

- Rester ouvert à la découverte de phénomènes non prévus au début, et les intégrer dans le processus (Schön, 1983).
- Explorer plusieurs variantes comme solutions possibles à la tâche architecturale (et non pas travailler en limitant le problème et en l'orientant vers une seule solution) (Kalay, 2004)
- Utiliser de l'expérience passée (Schön, 1983)

Ces caractéristiques serviront d'indicateurs pendant les observations du processus de design des étudiants en architecture, menées dans le cadre de cette recherche.

Dans une expérience menée par Kruger et Cross (*Kruger & Cross, 2001*), quatre différentes stratégies de design ont été étudiées: « *problem driven, information driven, solution driven, and knowledge driven design* ». Les conclusions des auteurs sont que les

¹ Cité par Cross, 2006.

styles différents n'ont pas beaucoup d'impact sur la qualité générale du design. La seule différence remarquée est par rapport au degré de créativité :

Designers using a solution driven strategy tended to have lower overall solution quality scores but higher creativity scores. Designers using a problem driven design strategy tended to produce the best results in terms of the balance of both overall solution quality and creativity. (Kruger et Cross, 2001, p. 205)

Cependant, Cross (2006) attire l'attention vers un désavantage de la stratégie orientée vers la solution. D'après lui: «...*designers may be too ready to re-use features of known existing designs, rather than to explore the problem and generate new design features* ».

Il s'avère aussi que la stratégie orientée vers la solution favorise l'apparition de fixation. (Cross 2006). Comme il a déjà été mentionné, poursuivre la première idée de design sans explorer d'autres possibilités n'est pas considéré comme une approche propice à la créativité ni à la qualité du design.

Travaillant sur le modèle de la conception architecturale, Chupin (1998) définit une correspondance entre les trois types d'inférence (abduction, déduction et induction) et les passages entre les phases du développement du projet (Fig. 1). Dans ce modèle de la conception « comme mouvement hélicoïdal à trois temps », l'hélice commence par une phase de veille, passe à une phase intensive, pour recommencer une deuxième phase de veille, et finir avec une deuxième phase intensive. D'après l'auteur, ces trois hélices correspondent aussi aux trois niveaux de développement: invention, preuve et exposition, d'un objet en conception.

Les recherches en design n'arrêtent pas d'ajouter de plus en plus de facettes dans la compréhension du processus de design qui s'avère à la fois complexe et varié chez les différents concepteurs.

Les architectes et les autres

La question de savoir si le processus créatif est différent dépendamment des domaines a intéressé plusieurs chercheurs. Ainsi, Lawson (1997) étudie les particularités de ce processus chez les architectes et chez les scientifiques. Il découvre que les premiers adoptent une stratégie orientée vers la solution, pendant que les deuxièmes, se fient plutôt à une approche orientée vers la problématique. Ce phénomène cherche aussi des explications

probables dans les ‘cultures’ différentes de ces domaines ou encore dans la nature différente des problèmes à résoudre (définis vs. mal-définis).

Si nous recherchons des différences dans le domaine de la conception, nous allons commencer par la définition que Herbert Simon lui donne dans son livre « Sciences de l’artificiel » 1969 :

Quiconque imagine quelques dispositions visant à changer une situation existante en une situation préférée est concepteur. L’activité intellectuelle par laquelle sont produits les artefacts matériels n’est pas fondamentalement différente de celle par laquelle on prescrit un remède à un malade ou par laquelle on imagine un nouveau plan de vente pour une société, voire même une politique sociale pour un État. La conception, ainsi conçue, est au cœur de toute formation professionnelle. C’est elle qui fait la différence entre sciences et professions. (Simon, 1969, cité par Fernandez, 2002, p. 111)

L’auteur adopte la position que la conception ne se manifeste pas différemment dépendamment du domaine. Et ceci est vrai si c’est juste les objectifs généraux du processus qui sont considérés. Cependant, les spécificités manifestées dans le cadre des différentes professions viennent nous parler de certaines différences.

Ainsi, Akin (1995, 2001) – étudie les variations dans la cognition de design (*variants of design cognition*) dépendamment des domaines. D’après lui:

What distinguishes architectural design from other design fields are rich representations, indiscriminate use of inventive strategies, non-standard problem solving schema, and strategies of complexity management.(Akin, 2001, p. 105)

Une autre différence majeure qu’il remarque est le fait que les problèmes architecturaux sont toujours ‘situés’ et dépendent du contexte. De plus, d’après lui, les architectes se distinguent par le fait qu’ils utilisent des représentations ‘analogiques’ pour intégrer tous les autres modes de représentations ; ils génèrent une grande variété de représentations et sont penchés à créer plus d’alternatives pour une solution (à cause de leur volonté de créer une œuvre unique).

Stacey (2005), de sa part, trouve que les ingénieurs préfèrent des représentations avec des termes propositionnels, plus abstraits parce que de cette façon, ils peuvent mieux prévoir les conséquences des changements éventuels. Travailler en utilisant comme référents des précédents et leur comportement est une stratégie gagnante seulement pour les ingénieurs expérimentés. Les novices sont susceptibles de ne pas remarquer l’effet de certains petits changements et ils ont besoin de règles pour bien faire leur travail.

Purcell et Gero étudient la fixation chez les ingénieurs, d'un côté, et chez les designers industriels de l'autre (Purcell et al., 1996). Les participants devaient réutiliser des principes de design à partir de précédents et devaient créer un design avec un degré d'innovation élevé. Il s'est avéré que les designers industriels n'étaient pas influencés par les précédents. D'après les auteurs, leur 'fixation' était de rester différents¹! Un phénomène similaire (désir d'être différent) a été identifié par Lawson (1994) chez les architectes.

Experts et novices

Les différences dans les stratégies de design utilisées par les experts et par les novices ont suscité beaucoup de recherches cognitives. Ainsi, Newsletter et McCracken (2001) trouvent une préférence de la méthode de recherche de solution 'd'abord en largeur' (*breadth-first search*) chez les experts. De cette façon ils génèrent plus de variances au début du processus. Cross (2001) confirme ces observations et donne une explication:

Novice behavior is usually associated with 'depth-first' approach to problem solving... while the strategies of experts are usually regarded as being predominantly top-down and breadth-first approaches. [...] while depth-first approach minimises cognitive load, a breadth-first approach minimises commitment and optimises design time and effort. (p. 94)

Il semble qu'avec l'expérience, des actions cognitives qui exigent plus d'efforts et d'implication deviennent possibles. Dans son livre récent *Designerly Ways of Knowing*, (2006), Cross donne un avis moins tranché sur cette différence. Il écrit que les experts adoptent plutôt une stratégie mixte, selon la nature du problème à résoudre. De plus, il ajoute qu'un problème 'mal défini' pour un novice peut être vu comme 'défini' par un expert à cause de son expérience - de quoi faire changer la stratégie utilisée.

Voici quelques autres observations faites par Newstetter et McCracken (2001) qui aident à comprendre la problématique tout en restant à la recherche de solutions valables:

Novices tend to scope out the problem less and seek less information than experienced designers. At the same time, however, they decompose the problem into more solvable parts without attention to the whole design. [...] novices interpret design problems as well-defined and as a result, did little elaboration to explore and close the design space. [...] novices fail to generate hypotheses or use models for reasoning. (p. 66)

Le fait que l'information est organisée selon des *chunks* a fait l'objet de plusieurs articles (Schank, 1982 ; Oxman, 1994, 2004 ; Newstetter & McCracken, 2001 ; Akin 2001) et a été

¹ En anglais: fixated on being different

exploité dans le système d'organisation de précédents proposé par Oxman, ainsi que par d'autres chercheurs qui travaillent dans le cadre de design à partir de précédents. Des outils pour l'enseignement de la conception architecturale ont été développés sur cette même base (Oxman, 2004).

Une étude cognitive sur des experts et des novices, réalisée par (Göker, 1997) à l'aide d'enregistrement EEG¹, a montré que les experts utilisent beaucoup moins le raisonnement verbal et abstrait et beaucoup plus de raisonnement visuo-spatial que les novices.

Cognition située

Comme nous l'avons déjà mentionné, une des différences fondamentales de l'architecture par rapport aux autres domaines de design est sa contextualité. Un bâtiment ou un ensemble architectural est normalement conçu pour un site précis. Ainsi, il s'insère dans le paysage visuel, physique et culturel du lieu en les redéfinissant. De l'autre côté, l'architecte prend en compte ces aspects, ainsi que le climat, les matériaux, la culture locale, etc. pour concevoir le projet. De cette façon, les mêmes principes de création ou de construction peuvent se manifester différemment selon le site. Ceci rappelle la théorie de la mémoire dynamique de Schank (1982) déjà discutée dans le cadre de nos recherches précédentes. La propriété dynamique de la mémoire rend possible le côté 'situé' autant de la mémoire que de la conception architecturale.

Mis à part l'aspect fonctionnel de la 'situation' en architecture, la théorie de la 'cognition située' développée par Clancey (1991) se base, elle aussi, sur une compréhension dynamique de la mémoire lui attribuant la possibilité de produire des structures comme des représentations mentales (Clancey, 1991, 1997). D'après Gero et Kulinski, selon cette théorie, les représentations sont construites en même temps que se déroule le processus de réflexion ou de création. À leur avis, un modèle constructif de la mémoire longue pourrait accommoder cette variabilité. (John Gero & Kulinski, 2000)

Un lien direct entre la situation (lieu d'implantation par exemple) et les processus cognitifs semble évident à partir des études de Stacey et Lauche (2005). Ils pensent que:

A lot of what we know how to do (what psychologists term procedural knowledge) is tightly bound to particular situations; and much of human thought is inseparable from

¹ Electroencéphalographie – enregistrement de l'activité électrique du cerveau

perception of one's environment and action in direct response to it, guided by conscious and latent goals. (Stacey & Lauche, 2005, p. 212)

Ainsi, la connaissance, et même parfois la perception de la situation, s'avèrent primordiales pour plusieurs processus cognitifs, et surtout ceux qui impliquent des connaissances procédurales. Les auteurs considèrent les connaissances procédurales comme faisant partie de l'information visiospatiale (Stacey & Lauche, 2005).

Connaissances et le processus de design

Le rôle des connaissances pour le processus de conception est souvent resté sur le plan arrière dans les recherches en design, devancé par les études sur la créativité et le modèle du processus. Dernièrement, les recherches dans cette direction se sont intensifiées, peut-être en réponse à l'impact, souvent jugé négatif, de l'utilisation de l'ordinateur en architecture. Une prise de conscience est survenue par rapport au fait que l'ordinateur ne peut pas « tout faire », encore moins par lui-même. Ainsi, il est devenu indispensable de définir les types de connaissances auxquelles un concepteur a recours pendant le processus de design.

À partir des évidences neuropsychologiques (sur un patient avec des lésions du cerveau), Goel (2001) trouve une dissociation entre les deux types de connaissances nécessaires pour le design architectural :

- connaissances explicites et articulées, dépendantes du domaine, et
- connaissances inarticulées, indépendantes du domaine: des connaissances procédurales

Malgré cette dissociation au niveau neurologique, certains chercheurs soutiennent la thèse que parfois, les connaissances du domaine sont accessibles seulement dans l'action, comme par exemple Richard (2004), parmi d'autres.

À un niveau plus pragmatique, Christiaans (1992) propose un schéma qui met en relation les connaissances et le processus de design. Voici les types de connaissances qu'il définit comme nécessaires ainsi que leurs définitions :

1. *declarative knowledge - factual information within certain domain*
2. *procedural knowledge - how to use declarative knowledge in certain processes and routines. (actions and manipulations that are valid in a domain)*

3. *situational knowledge (conditional knowledge) - entails the understanding of when and where to access certain facts or employ particular procedures*
4. *strategic knowledge: knowledge of processes that are effortful, systematic, and consciously evoked to facilitate the acquisition and utilisation of knowledge. (Christiaans, 1992, p. 57)*

Les connaissances stratégiques incluent des algorithmes et des heuristiques pour la planification des actions qui mènent du problème à une solution. L'auteur remarque que l'acquisition de connaissances d'un type ne garantit pas automatiquement l'acquisition de connaissances des autres types.

En faisant des comparaisons entre les connaissances acquises pendant le travail sur une tâche de conception, Christiaans (1992) trouve qu'au début, ce sont surtout les connaissances de base qui sont acquises, comparée au peu de connaissances procédurales ou stratégiques. La situation se voit changer vers la fin, quand des quantités relativement égales de chaque type de connaissances sont acquises. L'auteur trouve aussi que les étudiants créatifs arrivent à mieux expliquer les connaissances procédurales.

8.2.2 Le rôle des représentations

Pendant le processus de conception, les architectes ont recours à une représentation externe de l'image mentale qui se forme dans leur imaginaire. Plusieurs chercheurs se posent la question sur les relations entre ces représentations et sur leurs liens avec d'autres constructions mentales (Schön 1983; Eastman, 2001; Goldschmidt, 2004). Dans la partie sur la communication et la figuration en architecture (point 1.3.2), nous avons constaté une différence entre le sens de 'représentation' et l'image mentale ou extériorisée d'un objet imaginé (ou en conception). Pousin (1991) a proposé le terme figuration comme plus adéquat pour exprimer la nature non-définie de l'objet en conception, ainsi que le processus de sa création.

Parlant de représentations (dans le sens avec lequel utilisent ce terme la plupart des auteurs), nous pouvons en trouver deux types : internes (mentales) et externes (esquisse, maquette, schéma, description verbale, etc.). Pendant le processus de design, il y a un va-et-vient entre le monde mental et les représentations externes. Plusieurs relations entre les représentations dans ces deux espaces sont étudiées. Cependant, la nécessité d'avoir une représentation externe pour pouvoir concevoir un objet architectural est mise en question (Bilda & Gero, 2005; Bilda et al., 2006). Dans un article intitulé *Do designers need to*

produce and utilize external representations in the very early phases of conceptual design, ils arrivent à la conclusion que les experts n'en ont pas besoin. Nous trouvons que cette conclusion n'est, valable que pour des tâches de routine, qui ne comportent pas une grande complexité. Se basant sur les théories cognitives exposées plus haut, il est possible de prévoir que les solutions proposées en travaillant de cette façon, risquent de ne pas comporter des éléments d'innovation. De plus, les résultats ne vont pas dans le même sens pour les novices à cause de la charge cognitive plus importante qu'ils subissent en situation de design (Bilda & Gero, 2007), ce qui les oblige à extérioriser leurs images mentales. La théorie, qui a le plus d'adeptes parmi les chercheurs (Schön, 1983; Akin, 1986; Lawson, 1997; Lubart 2003) est que l'imagerie visuelle et surtout l'esquisse, facilite la résolution d'un problème.

Par contre, Angulo, Davidson et Vasquez (2001), en explorant la problématique, se posent la question presque inverse. Ayant constaté que les étudiants ont des difficultés à dessiner des perspectives, ils se demandent si ces derniers sont incapable de dessiner à la main parce qu'ils ne peuvent pas imaginer quoi dessiner? Avec les mots des auteurs:

Our hypothesis is that students cannot draw because they cannot imagine. In other words, their third eyes are not working. (Angulo et. al., 2001, p. 293)

Les auteurs ont tendance à attribuer au travail avec l'outil informatique la perte de cette habilité chez les étudiants. Ils proposent des exercices combinés entre le numérique et l'esquisse pour augmenter la compréhension des étudiants et ainsi améliorer leurs aptitudes de dessiner des perspectives correctement.

D'après nous, cette recherche évoque l'idée de l'apprentissage actif : au fait, l'enseignant ne se rend compte de la méconnaissance des étudiants qu'après qu'ils aient échoué une tâche active de dessin. Il faut toutefois, se poser la question si l'outil numérique ne développe pas d'autres capacités mentales qui pourront servir l'imaginaire pendant le processus de conception.

De nombreuses recherches sont consacrées au rôle de l'esquisse¹ (*sketching*) pour la conception en architecture (Akin 1986; Lawson 1997; Cross 2006). Tout en les prenant en considération, il faut tenir compte du fait que pour la majorité des expériences et des

¹ Le mot anglais *sketching* transmet mieux le processus de l'élaboration de l'esquisse. Comme l'utilisation du verbe avec la même racine (esquisser) n'est pas très courante, il serait peut-être mieux d'utiliser 'dessiner'.

protocoles communiqués, l'esquisse est synonyme de représentation externe, l'option de représentation numérique n'étant pas disponible (ni possible dans la plupart des cas). Ainsi un rôle important de l'esquisse pour le processus créatif de design a été identifié. Son interaction avec les connaissances propositionnelles et symboliques ainsi que son pouvoir d'être réinterprété (processus qui peut provoquer un 'bond créatif' pendant le travail de design) ont été constatés. Mais si nous considérons l'esquisse plus généralement comme une représentation visuelle, certains désavantages peuvent être également identifiés. L'effet de fixation, par exemple, est beaucoup plus fréquent quand il y a une représentation visuelle que quand on travaille seulement avec des descriptions verbales ou schématiques Cross (2006).

Une expérience intéressante, qui vient appuyer ce fait, est menée par une équipe de chercheurs (Verstijnen et al., 2001). Ils mettent des architectes dans des situations de design, mais sans leur donner la possibilité de dessiner (ou de faire des représentations externes). Après l'étude des protocoles, il s'avère que ce sont les analogies qui peuvent servir comme support au processus créatif en absence de l'esquisse. C'est un rôle inattendu des analogies qui peut être mise en contribution dans un contexte numérique par un assistant à l'enseignement de la conception architecturale.

La multimodalité des figurations fait objet de plusieurs recherches (Goldschmidt, 2001; Akin, 2001). Selon Goldschmidt, l'imagination mentale a des interactions avec les connaissances symboliques or propositionnelles, ainsi qu'avec la représentation externe (l'esquisse dans ce cas). D'après Akin (2001) l'architecte utilise tout les formats de représentations mentales mais l'intégration se fait au niveau visuel. Après une étude approfondie des théories cognitives dans le domaine, nous nous permettons de remettre en question cette hypothèse. Pour nous, il est possible que l'activité mentale visuelle ne serve pas autant d'intégration, que de préparation à l'externalisation de la figuration mentale. Étant donné que la représentation externe d'un projet architectural est en grande partie imagière (ou en tout cas, visuelle), c'est l'activité mentale visuelle qui devrait la préparer. Estevez et Tiné (2007) parlent de perception-conception pour signifier un regard actif pendant le processus de conception.

Un autre chercheur qui se penche sur la problématique comment les représentations externes sont liées aux internes est Eastman (2001). Une des hypothèses assume qu'il y a une correspondance complète entre l'esquisse et l'image mentale, spécialement dans les

premières étapes de dessin sur un projet de design. D'après Goldschmidt (1994) ces premières esquisses qu'elle appelle du 'griffonnage' (*doodling*) sont ambigus, tout comme l'image mentale est mal-défini et ambiguë. Ainsi, ils servent d'extension de la représentation mentale pour des objets et des phénomènes trop complexes à se figurer et à garder en mémoire sans externalisation.

Goldschmidt (1991) identifie ce qu'elle appelle 'la dialectique de l'esquisse' (*dialectics of sketching*) qui se manifeste dans le cycle 'voir-que' et 'voir-comme' (*seeing-that* et *seeing-as*). D'après Eastman (2001), le 'voir-comme' est l'interprétation perceptuelle de l'esquisse qui permet la restructuration, pendant que le 'voir-que', applique des arguments non-figurés à l'esquisse. De cette façon un cycle de 're-représentation' s'installe pendant le design pour permettre aux images mentales d'être réinterprétées pendant qu'elles sont représentées à l'extérieur, Oxman (2001).

Plusieurs recherches sont menées dans le but d'identifier quel type d'activité favorise l'émergence d'idées pendant le processus de design : les activités graphiques et spatiales ou celles liées au verbal et au conceptuel. Ainsi, Akin et Chengtah (1996) codifient six types d'activités dans des protocoles de design: dessiner, réfléchir, examiner, parler, écrire, écouter. La conclusion de cette recherche est très intéressante mais aussi logique : « *Nouvel Design Decision are frequently the result of triple-mode activities. (Examining, Thinking and Drawing, for example.)* »

La question de la représentation 2D ou 3D de l'objet en conception pourrait être aussi abordée du point de vue de la théorie de Johnson-Laird (1983) sur les modèles mentaux. La nature tridimensionnelle du modèle mental, ainsi que ses caractéristiques structurelles et structurantes le rendent très intéressant pour l'éducation en design architectural.

En exploitant les théories cognitives, Newsletter (2001), propose pour un objet ou un phénomène des représentations sous trois formes: propositionnelle, modèle mental (qui est l'analogue structurel de situations réelles ou imaginées); et images – modèle mental sous une perspective particulière (qui est la situation). Selon Stacey et Lauche (2005), les représentations mentales comprennent de l'information propositionnelle, visio-spatiale (la procédurale est incluse ici), et épisodique (qui est seulement expérientielle. Le multi-format des représentations est une approche qui sera reprise pour la partie de développement de la présente recherche.

Les référents

La question du rôle des références a déjà été discutée dans le Chapitre 2. Ci-dessous, nous allons présenter seulement quelques recherches au niveau cognitif.

Nous avons déjà défini les référents en tant que « ressources de l'esprit » abritées dans l'Espace de conception (selon la compréhension de Schön (1983)) comme des projets précédents, des savoirs scientifiques, des expériences passées, des métaphores, des analogies, des relations et d'autres phénomènes.

Les référents participent dans le processus de design à travers des mécanismes de transfert analogique. L'analogie peut fonctionner en chaque mode de représentation (visuel, propositionnel, procédural, etc.). D'après Goldschmidt (2001), l'analogie visuelle est un type d'analogie spéciale qui se trouve être parfois autosuffisante. Le rôle primordial accordé aux représentations propositionnelles n'est pas justifié d'après cet auteur et elle se réfère à Kaufman (1980) « *sweeping linguistic imperialism* » pour en parler. Elle attribue un rôle essentiel aux analogies visuelles et trouve que c'est normal de les rechercher à cause de l'aspect formel des objets architecturaux.

Cependant, un effet de fixation quand on travaille avec des référents visuels est constaté par Purcell et Gero (1996). Ces auteurs trouvent qu'une description verbale laisse beaucoup plus de liberté d'interprétation et mène de cette manière à des variations créatives.

Selon Goldschmidt (2001), si un problème à résoudre est bien structuré, le système de règles est activé dans le cerveau. Par contre, si un problème est mal-défini, le système basé sur des similarités sera activé.

It is true that the carrying over of surface features only, without a structural similarity to underpin them, may lead to a false analogy and consequently to a wrong solution of a problem. [...] But design problems are often concerned with form giving and therefore this question is of particular relevance to us. (Goldschmidt, 2001, p. 202)

C'est une position très intéressante et pertinente dans le cadre de l'enseignement en atelier d'architecture.

Dans une étude sur l'utilisation d'analogies, Leclercq et Heylighen (2002) trouvent qu'en moyenne, les designers utilisent « *5.8 analogies per hour* ». Ils constatent aussi que l'origine des analogies est plutôt dans l'expérience personnelle, que dans les documents

fournis pendant la séance de conception observée. Ce phénomène témoigne peut-être de la nécessité d'assimiler un référent avant d'être capable de s'y référer. Les séances de travail enregistrées étant assez courtes, cela ne permettrait pas une bonne opérationnalisation du référent. Nous avons trouvé le même effet pendant l'observation exploratoire en atelier, présentée dans le Chapitre 5 (p. 5.5.5).

Dans un système informatique destiné à l'enseignement, *Think Maps*, Oxman (1994) combine des représentations propositionnelles (concepts) et des images pour créer une sorte de carte conceptuelle d'aide à la conception. Des principes semblables sont utilisés par Heylighen dans le système DYNAMO.

De point de vue cognitif, ces systèmes destinés à enrichir et structurer le monde conceptuel de l'architecte reposent sur la représentation de catégories et *exemplaires* comme points de référence.

Image et savoir-faire architectural

En architecture, le 'résultat' du processus de conception est le plus souvent présenté par une image ou un autre type de représentation visuelle - maquette, modèle numérique ou animation. Mais, voir et penser sont-ils vraiment distincts? La perception se fait à la base d'un contact direct avec l'objet mais évoque d'autres objets qui ne sont présents pour compléter leur connaissance (Piaget, 1970). Le processus inverse est aussi valable, que le caractère abstrait des concepts les libère des aspects imagiers et permet des opérations intellectuelles avec eux, selon Arnheim (1969).

Nous avons déjà exploré la théorie constructiviste de la mémoire. Il semble que la mémoire visuelle fonctionne de la même façon. Ainsi, d'après Tidafi (1996), « l'image mentale pourrait [...] à la fois être formée d'unités structurées et servir à la définition d'une nouvelle structure de ces unités en fonction des besoins de l'action d'une personne » . Cette conclusion n'est pas encore assez exploitée par les moyens informatiques d'aide à la conception et à l'enseignement en architecture.

Des résultats semblables sont découverts pendant une étude menée par analyse de protocoles sur la connaissance constructive ou passive. Les auteurs trouvent: « *two ways of knowing : passive or scientific; and constructive - which is both embedded and developed through the action of designing, thus being in fact permanently 'under construction'* » (Heylighen & Neuckermans, 1999).

Comme nous l'avons déjà mentionné, le terme 'figuration' permet d'exprimer des intentions et des idées sans s'attacher uniquement à ce que sera une solution concrétisée. Elle « invite plutôt à penser comment réaliser une action pour obtenir un résultat et non le résultat de cette action seulement » (Tidafi, 1996). De plus, d'après la littérature, pour pouvoir être utile pendant la conception architecturale, une figuration à la fois de la solution et du processus de son développement peut être souhaitable. Nous pouvons en conclure que des figurations de l'objets-type se trouvant dans l'Espace de conception d'un architecte pourront assister son travail créatif. Ainsi, elles pourront répondre aux trois propriétés énoncées par Kaplan (1977, p. 223)¹ par rapport à la représentation cognitive des unités d'un problème chez le professionnel-expert: « *both compact and abstract; part of a rich and highly developed network; make possible the capacity to manipulate the critical elements of the problem* ».

Cette conception de la figuration en conception architecturale ouvre la possibilité d'une combinaison du stimulus visuel avec de l'information d'un autre ordre, sémantique ou savoir-faire, par exemple. Une des premières exploitations informatiques de cette idée est la modélisation d'action développée par Tidafi (1996). Dans le contexte de la conception architecturale, cette approche a été introduite par De Paoli comme modélisation par « opérateurs sémantiques » (De Paoli, 1999). L'auteur prouve qu'il est possible de traduire la logique et l'histoire de la construction d'un objet d'architecture par une description algorithmique, et il trouve que : « *it is also possible to operate during the design process, with some semantic operators like acoustic and visibility* » (De Paoli & Bogdan, 1999).

8.2.3 L'enseignement de la conception architecturale

Nous avons déjà abordé la question de l'enseignement de la conception architecturale à d'autres occasions dans cette thèse. Dans ce qui suit, nous allons y ajouter quelques aspects cognitifs spécifiques.

En 2001, un livre intitulé *Cognition in design education* apparaît sous la rédaction de Charles Eastman (Eastman et al., 2001). Il recueille des articles de chercheurs reconnus dans le domaine qui ont participé dans une conférence au *Georgia Institute of Technology*. C'est un premier essai de fonder une 'science de l'apprentissage de design' (*Science of design learning*). Certains de ses objets de recherche seront présentés ci-dessous.

¹ Cité par Tidafi, 1996.

Une des préoccupations en enseignement universitaire est comment aborder les connaissances déjà existantes. Souvent, elles peuvent entraver le nouvel apprentissage et plusieurs enseignants sont de l'avis qu'il est plus facile d'enseigner aux étudiants qui n'ont pas du tout des connaissances sur un sujet, qu'aux étudiants qui ont déjà une base, mais qui n'est pas cohérente avec les nouveaux objectifs poursuivis. Dans ces cas, les nouvelles structures de connaissances doivent se construire après restructuration (ou destruction) des structures préexistantes. Voici l'avis de Newstetter et McCracken (2001) qui étudient l'apprentissage comme un changement conceptuel :

It seems a certainty that prior knowledge is an essential variable in design learning. Unfortunately, however, prior knowledge is often incorrect. Various referred as preconceptions [...], naïve theories [...], alternative frameworks [...] and alternative theories [...], these incorrect notions based on experience coalesce into knowledge structures that operate in theory-like ways. As such, they have explanatory power, inform action and often resist change even when there is repeated instructional evidence that the stored information is faulty. (p. 64)

Pour réaliser l'apprentissage dans les cas de préconceptions, les auteurs voient les possibilités suivantes: «*for learning to occur, at least replacement, often restructuring, and possibly even demolition of the knowledge base has to occur*» (Newstetter & McCracken, 2001). Cependant, ils remarquent qu'il n'y a pas de consensus sur le type de restructuration, ni sur la façon de la réaliser.

Les auteurs discutent trois types de préconceptions (*misconceptions*) identifiées par Ferrari et Chi (1998): erronées, non-consistantes (non-cohérentes) et incompatibles. Tandis que les premières correspondent à des propositions erronées et sont relativement faciles à changer (vu que les étudiants peuvent se rendre facilement compte qu'une proposition est erronée), les deuxièmes font partie d'un modèle plus large qui a sa structure. Cette structure peut s'avérer robuste et résistante, même si elle n'est pas correcte. Elle correspond à un paradigme complètement structuré et avec un pouvoir d'explication, qui est par contre inconsistant avec la compréhension des experts sur le même objet de connaissance. Ce type de préconception est le plus difficile à changer. Il exige un changement de paradigme pour être corrigé. D'après Ferrari et Chi (1998), les préconceptions incompatibles ne sont jamais complètement éliminées, mais restent 'endormies' pour donner des explications erronées dans certains cas. Pour réussir à provoquer un changement de concept, Chi (2005) propose d'enseigner la structure causale du nouveau concept, qui faciliterait ce processus. Nous utiliserons ce principe dans la partie de développement de la présente recherche.

Dans le point 3.2.1 de ce document, nous avons présenté deux approches parfois opposées à l'enseignement de la conception architecturale : behavioriste et constructiviste. Ici, ces approches seront approfondies et détaillées d'un point de vue cognitif.

D'après Rivka Oxman (2001), il y a trois paradigmes de l'éducation en conception architecturale.

1. Approche par projet (*problem-oriented approach*) en atelier, inspirée par la tradition des 'beaux-arts'.
2. Cours fondamentaux introduites par les modernistes de Bauhaus et VKHUTEMAS. Ces cours ne sont pas basés sur des projets, mais enseignent les principes de design. D'après cet auteur:

This approach was rich in its psychological and educational theoretical sources including theories of perception, developmental psychology as well as educational theories. (Oxman, 2001, p. 272)

3. Enseigner explicitement des processus de réflexion et des stratégies en design. Avec les mots de Oxman: « *the education of designerly thought processes in design reasoning and design strategies* ». L'idée est de développer chez l'étudiant une approche d'acquisition de connaissances, qui aurait plus de sens et d'importance que l'objet de design par lui-même.

Ce dernier paradigme ne fait pas l'unanimité et certains chercheurs et enseignants pensent qu'un architecte ne pense pas à la théorie du processus de design quand il conçoit un bâtiment. Mais il ne faut pas oublier que nous sommes dans un contexte d'apprentissage et non pas dans la pratique de l'architecture. Ce qui a l'air normal et acquis chez les architectes expérimentés n'est pas encore construit chez les novices. D'après les théories cognitives, une personne a besoin de règles surtout au début de son apprentissage pour avoir une base d'appui pour des problèmes pour lesquels il n'y a pas d'*exemplaires* (surtout d'*exemplaires négatifs*). Il s'agirait de connaissances du domaine, de structures de connaissances et de façons de les exploiter.

D'après Rivka Oxman (1999), le focus de l'éducation est toujours sur la représentation de l'objet en conception et non sur l'articulation explicite de connaissances. Voici ce que l'auteur trouve être le contenu souhaitable de l'enseignement de la conception architecturale :

It is our hypothesis that learning in design is the acquisition of the cognitive ability to manipulate the representations of design knowledge, to acquire basic schema in design thinking, to understand knowledge structures and to be able to manipulate characteristic strategies of design thinking such as generic and typological design, adaptive design, analogical thinking and creative exploration. (Oxman, 1999, p. 110)

De plus, quand il s'agit de connaissances, l'important n'est pas d'en posséder beaucoup, mais plutôt, d'avoir des méta-connaissances permettant de trouver les informations dont on aurait besoin, et d'organiser les connaissances acquises.

D'après cet auteur, représentations, réflexion et connaissances devraient être introduites en tant que contenu de l'éducation en design. Une approche qui pourrait faciliter cette tâche est d'inciter la recherche-action pendant l'éducation en design. Les bénéfices sont décrites ainsi:

... research-oriented approach to design education (through modeling of knowledge structures and strategies the student gradually develops a conceptual understanding of design) (Oxman, 2006, p. 280)

Une des méthodes proposées par Rivka Oxman pour augmenter la conscience des étudiants par rapport à leur processus de design est à travers des observations basées sur des protocoles du processus de design. L'idée est que les futurs architectes étudient leurs propres protocoles pour formuler leurs propres modèles de conception ou comprendre leurs processus réflexifs (Oxman, 2006a). Cette approche devrait compléter, augmenter et renforcer les approches traditionnelles en enseignement du design (Oxman 2001).

Une instrumentalisation de cette approche constructionniste dans les buts de l'enseignement propose aux étudiants des explications de structures de connaissances et leur exploitation, ainsi que des structures cognitives qui sont à leur base. Dans la réalisation numérique d'un outil d'aide à ce type d'apprentissage, Oxman applique le formalisme 'problème-concept-forme' (*Issue-Concept-Form formalism*) pour organiser les analogies et les métaphores dans un réseau sémantique dans lequel les étudiants peuvent naviguer. Comme résultat de cette approche, l'auteure a observé chez les étudiants des changements dans la façon de réfléchir du processus de design, ainsi qu'une capacité augmentée de manipuler et résoudre la complexité du design, et de réfléchir sur la dynamique de leur propre performance.

L'enseignabilité des connaissances explicites sur le design font l'objet de certaines publications (Chupin, 2002 ; Oxman, 2004). Selon Oxman, la question « comment adresser

le problème de la formulation et le transfert des connaissances explicites pendant l'enseignement ? » trouve sa réponse en des *Think-maps* dans lesquels les étudiants peuvent 'ranger' leurs connaissances. C'est un système qui sert à la fois de base de données et de carte conceptuelle par rapport aux référents et connaissances.

Les processus de design de certains architectes connus font objet de certaines sources bibliographiques. Dans le livre *Design in mind*, Lawson (1994) présente des entrevues avec des architectes et discute sur leur façon de travailler. Dans le cadre d'un atelier d'architecture, Achten (2003) a proposé aux étudiants de travailler selon la méthode de Peter Eisenman, Van Berkel ou Greg Lynn. D'après la conclusion de l'auteur, le choix de méthode de travail n'a pas eu beaucoup d'influence sur le résultat final du projet. Cependant, une réflexion plus approfondie sur la méthode de design a eu lieu.

Avec l'introduction de l'ordinateur comme médium de design, la nécessité d'enseigner explicitement des connaissances méthodologiques et théoriques sur le design s'impose (Achten 2003). Cependant, la méthode de cet enseignement auprès des étudiants pourrait être plus conviviale.

8.2.4 Deux paradigmes pour le développement de la profession

Plusieurs sont ceux qui se mettent d'accord pour dire que la profession architecturale se trouve en ce moment devant un dilemme: rester fidèle à sa méthode traditionnelle ou se laisser changer par l'informatique. Kalay (2004) appelle figurativement ces deux paradigmes: '*the square-peg-in-a-round-hole*' et '*the horseless carriage*'. Selon cet auteur, le premier paradigme « *requires a clear identification of the different actions that comprise the design process and developing computational tools that can truly be of assistance. This amounts to "rounding off" the square peg* ». Et le deuxième paradigme « *views technology as means to alter the self-perception of a practice as it is transformed by a new technology*» (Kalay, 2004, p. 477).

Cette thématique de recherche comporte (au moins) deux volets : un qui étudie l'impact d'un éventuel changement de la méthode sur les processus cognitifs du concepteur, et un autre qui se préoccupe de l'influence qu'un rôle augmenté de l'ordinateur pourrait avoir sur la profession architecturale.

Entre croquis et formes génératives

La plupart des recherches cognitives dans le domaine de l'architecture et du design ont été effectuées en vue du premier paradigme mentionné. Elles ont comme objectif de bien comprendre les processus créatifs pour pouvoir développer une assistance informatique adéquate. Au fait, à l'aube de l'introduction de l'intelligence artificielle, des essais sur la modélisation de ce processus ont été effectués, toutefois sans succès à cause de sa complexité. Aujourd'hui, ce problème est exploré sous un angle différent: si les moyens informatiques pourraient innover la profession, ils le feront à leur propre façon et non pas en essayant d'imiter les processus cognitifs de l'architecte.

Mais ceci impliquera des changements dans les processus cognitifs du créateur, parce que le médium de sa réflexion sera différent. Pendant la méthode traditionnelle de conception architecturale, le plus puissant 'objet' cognitif est le croquis. Les études lui attribuent un rôle par rapport à la réinterprétation de la représentation; l'association avec des concepts abstraits et avec du sens sémantique ou fonctionnel; ainsi que la stimulation de la découverte ou 'l'émergence'¹. (Suwa et al., 1998; Goldschmidt 2001)

Se basant sur une analyse de protocoles et d'activités des architectes, Suwa et al. (1998) arrivent à la conclusion que l'esquisse sert non seulement comme mémoire externe et comme fournisseur de « *visual cues for association of non-visual information* », mais aussi comme un environnement physique où le concepteur peut épanouir ses pensées librement. La question qui se pose est: est-ce que l'ordinateur pourrait avoir un tel rôle?

Une grande partie de ces interactions entre processus cognitifs et figuration externe ne seront plus présents dans le cas d'un rôle augmenté de l'ordinateur pendant la conception architecturale. En revanche, d'autres possibilités de stimulation de la créativité seront ajoutées. Une possibilité est la génération de formes par l'ordinateur, selon des algorithmes définis au préalable. Le développement de l'intelligence artificielle permet déjà plusieurs approches, qui n'arrivent pas quand même à prendre en charge tous les aspects de la conception architecturale. Ces approches sont déjà enseignées dans les ateliers avancés et expérimentaux de certaines écoles d'architecture (Zurich, Columbia, Berkley, etc). Ils donnent des méthodes de travail avec des:

¹ L'émergence est définie par Gero et Yan (1994) comme le processus de transformation d'une propriété implicite en explicite

- a. Formes génératives (SE01 – les ateliers avancés de Columbia)
- b. Objets évolutifs (animés, avec des paramètres) (Lynn, 1999, 2000)
- c. Programmation (MIT – Yakeley, 2000)

Même si elles restent à un niveau formel, ces approches remplacent la représentation fixe d'une forme (normalement en trois dimensions), par des instances produites suite à son processus génératif. Voici une description de ce processus:

*In the process of genetic coding, the central issue is the **modeling of the inner logic rather than external form**. Other equally important issues are the definition of often ill-defined and conflicting criteria and how the defined criteria operate for the selection of the "fittest". Equally challenging is the issue of how the interaction of built form and its environment are transcribed into the morphological and metabolic processes. (Kolarevic, 2000, p. 253)*

Plusieurs auteurs s'inspirent de la nature pour proposer de nouvelles formes pour l'architecture (Jirapong & Krawczyk, 2002). La représentation et le calcul structural de plusieurs formes organiques sont maintenant rendus possibles par l'ordinateur. La modélisation de leurs lois de génération (création, croissance) pourrait être une bonne source d'analogues pour l'architecture. De plus, les principes d'optimisation de la performance et de responsabilité environnementale propres à toutes les formes naturelles, seraient transposés vers les objets architecturaux.

Toutefois, il faut mentionner que ces formes générées par l'ordinateur, pour l'instant, jouent le rôle surtout de déclencheurs créatifs ou pendant la phase conceptuelle du projet. Il est rare qu'elles puissent être reprises dans le développement d'un projet d'architecture. De plus, dans plusieurs cas, il est possible d'observer une rupture entre les formes évolutives ayant servi comme déclencheur du concept, et le bâtiment réalisé à la fin du processus. Par contre, si un tel objectif est poursuivi, l'outil informatique risque de devenir 'accaparant' et de ne plus laisser la liberté d'expression à l'architecte. C'est l'équilibre entre ces extrémités qui pourrait donner la meilleure alternative.

Implication pour la profession

La question qu'on peut poser sur le deuxième paradigme n'est plus comment l'informatique peut assister la conception architecturale, mais plutôt comment elle change la pratique de design (Kalay 2004). Il s'agit de l'impact d'une précision accrue des figurations dès le début du processus de design; de la communication via des fichiers

numériques et écrans; et aussi de la connaissance qui peut maintenant être encapsulée dans des ‘grains’ informatiques. Il n’est pas difficile à deviner que l’organisation du travail de conception, aussi que les fonctions de l’architecte vont changer si le deuxième paradigme est accepté. Dans l’histoire, un changement semblable s’est produit au quinzième siècle après l’introduction du dessin comme représentation d’un projet d’architecture. Les bureaux d’architecture en ont découlés.

Cet éventuel changement n’est pas très bien accueilli par la communauté architecturale (Kalay 2004). Il y a une résistance qui s’explique par la jeunesse des moyens informatiques, par leur incapacité de prendre en charge la complexité de la conception architecturale, et aussi par le fait que la plupart des architectes ne connaît pas bien cette technologie. D’après Kalay (2004), le deuxième paradigme va donner naissance à une nouvelle profession qui travaillerait ensemble avec des ingénieurs et architectes sur les projets des bâtiments : ‘*the toolmakers*’.

8.2.5 Conclusions pour cette recherche

Dans le cadre de ce chapitre, un aperçu des recherches cognitives sur la créativité et sur le processus de design a été effectué. De cette manière, plusieurs pistes pertinentes pour notre travail ont été identifiées.

Ainsi, l’étude sur la créativité a pu la caractériser comme étant une combinaison entre processus génératifs et exploratoires, entre pensée divergente et convergente (cf. p. 194). La pensée analogique, ainsi que les connaissances du domaine ont été reconnues comme ressources importantes pour la créativité. Ce constat renforce le besoin de transfert de savoir-faire dans le but d’assister l’apprentissage de la conception architecturale. Le recours aux référents et le transfert analogique à différents niveaux : imagier, structural, fonctionnel, procédural, etc., y jouent un rôle crucial. En conséquence, la description d’un référent devrait être capable d’offrir tous ces niveaux. Il s’avère aussi que la quantité des idées (ou des variantes générées) mène à une meilleure créativité. Étant donné que l’ordinateur offre une assez grande vitesse de calcul (et de représentation), il serait naturel de trouver les bonnes méthodes pour les exploiter et ainsi déclencher la créativité. Et enfin, les périodes d’incubation font partie de ce processus et ne devraient pas être négligées.

Les recherches cognitives sur la conception architecturale ont confirmé que ce processus est une ‘conversation réflexive avec les matériaux de la situation’ (Schön, 1985). Nous

avons pu déterminer des indicateurs plus précis de ce modèle de conception, qui pourraient aider son enseignement auprès des étudiants.

Une bonne approche pédagogique à l'enseignement de la conception architecturale, pourrait aider la plus rapide appropriation de stratégies employées par les architectes-experts. Il s'agirait par exemple, d'une stratégie de design orientée vers la solution. Cependant, avec les novices, il faut se méfier de la fixation possible sur un résultat visuel, vu trop tôt dans le processus. Une autre stratégie pourrait être la recherche de solutions 'd'abord en largeur' (breadth-first search), qui implique la génération de variantes tôt dans le processus de conception. L'organisation de l'information en *chunks* est une autre méthode cognitive par laquelle les experts optimisent leur travail. Un assistant à l'apprentissage de la conception pourrait en tenir compte aussi. Développer la pensée visio-spatiale des étudiants pourrait également améliorer leurs capacités de design. Des représentations inspirées par les 'modèles mentaux' seront à notre avis susceptibles de répondre à ce besoin. Une flexibilité de ces modèles en fonction du contexte serait consistante avec la 'cognition située' décrite dans la littérature.

Le savoir-faire architectural et son transfert vers la nouvelle génération d'architectes représente un point principal de notre travail. Les recherches sur le processus de design architectural classifient les connaissances nécessaires en quatre types : déclaratives, procédurales, par rapport à la situation, et stratégiques. Les connaissances procédurales ou stratégiques seraient les plus difficiles et les plus lentes à acquérir. D'où, entre autres, la nécessité d'enseigner explicitement ces connaissances, même dans un contexte d'apprentissage en faisant, tel que l'atelier.

Le rôle des représentations externes de l'objet en conception occupe une place spéciale dans le contexte des changements de moyens de représentation que l'on vit présentement. Est-ce que l'ordinateur pourrait offrir un type de représentation qui serait susceptible de jouer un rôle cognitif semblable à celui de l'esquisse? Bien sûr, ce n'est pas des similitudes qui devraient être recherchées, mais plutôt des analogies profondes qui expriment les rôles principaux des figurations externes traditionnelles (esquisse et maquette). Il s'agirait à notre avis, de deux aspects cruciaux : offrir un support externe pour l'image ou le modèle mental de l'objet en conception; et permettre son évolution (fluide ou interrompue) vers plusieurs solutions possibles et en fonction du contexte. Tirant avantage de l'informatique,

une figuration numérique pourrait intégrer des rôles supplémentaires, comme encoder des connaissances et proposer des formats multiples de représentation.

Les représentations des référents utilisés dans le cadre de l'enseignement en atelier pourront s'inspirer des représentations des catégories de connaissances, ainsi que du 'morçèlement' de l'information. Ainsi, en plus de les représenter seulement par des *exemplaires*, l'ajout de règles et de lois leur donnera une plus grande stabilité et précision. Ceci est susceptible aussi d'aider dans l'élaboration de leur démarche de conception, les étudiants ayant un style d'apprentissage cognitif plus analytique et abstrait. Une telle méthode complémentaire de représentation permettrait aussi d'encoder des connaissances déclaratives, procédurales et stratégiques dans les référents.

Certaines approches numériques enseignées en ateliers expérimentaux sont assez prometteuses, notamment : formes génératives, objets évolutifs et programmation (*scripting*). Cependant, leur appropriation par les étudiants et leur utilisation dans le cadre de vrais projets architecturaux ne sont pas atteintes.

Après les discussions sur les deux paradigmes de la profession de l'architecte, nous pouvons ressentir que le temps d'un changement approche. Par conséquent, les enseignants devraient essayer à prévoir ce changement pour préparer d'une façon adéquate la nouvelle génération d'architectes.

Comment résoudre les discordances précédemment relevées ?

Dans la Partie-III, nous avons pu identifier des théories cognitives qui proposent des mécanismes mentaux qui pourraient servir de base pour la définition de nouvelles méthodes d'enseignement de la conception architecturale. Étant donné qu'une nouvelle méthode devrait essayer de résoudre les problèmes précédemment identifiés, dans ce qui suit, nous allons considérer nos recherches cognitives en fonction de leurs contributions possibles pour la résolution des discordances relevées.

1. Nécessité de transférer du savoir-faire lors de l'enseignement de la CA en atelier :
 - C'est plutôt la représentation du résultat final qui est considérée, la représentation du processus étant assez difficile.

Voici ce que notre recherche sur les théories cognitives nous a appris par rapport à cette discordance :

- Le transfert du savoir-faire comprend les étapes suivantes : communication, compréhension par l'étudiant, et opérationnalisation (qui permet une future réutilisation)
 - Expliciter les lois et les processus pendant l'enseignement en atelier d'architecture
 - Pour les connaissances procédurales, communiquer d'abord les finalités (à quelle fin?), puis le déroulement (le comment?), et les raisons scientifiques ou conceptuelles (le pourquoi)
 - Représenter les différents contenus des savoir-faire architecturaux : connaissances du domaine, connaissances procédurales, contextuelles et stratégiques.
 - Travailler avec le savoir-faire nouvellement enseigné (*deep processing*) pour se l'approprier
2. Volonté de recourir aux référents pour y trouver des inspirations, des méthodes et du savoir-faire :
- o À cause de la prédominance de la composante visuelle (images), les méthodes et les savoir-faire restent inconnus; et en lien avec la culture visuelle et non-analytique des architectes, les connaissances explicites ne sont pas reprises pour de nouveaux projets.

Les voies suggérées par les théories cognitives passées en revue sont les suivantes :

- Utiliser des représentations multimodales (imagière, propositionnelle et procédurale) pour les référents
- Offrir des structures variées pour représenter une catégorie (image, caractéristiques, lois et règles)
- Intégrer des connaissances dans des modèles numériques, qui s'inspirent des modèles mentaux

- Inviter les étudiants à réutiliser les savoir-faire intégrés dans les modèles dans le but de se les approprier (apprentissage par action, selon Legros (2002) et Richard (2004)).
 - Créer des structures dynamiques de ‘morceaux de connaissances’, qui permettrait une flexibilité des modèles, ainsi que le transfert de ‘morceaux’ vers de nouvelles situations.
3. Exigence de concevoir des bâtiments de façon responsable et durable :
- L’approche intégrée au design est rarement considérée (et/ou possible).
 - Intégrer des connaissances des domaines annexes dès le début du processus de conception
 - Utiliser des référents pour y encoder des connaissances et des savoir-faire.
 - Se servir de ce savoir-faire pour explorer l’objet en conception et en créer des variantes.
 - Mettre au point de méthodes numériques qui permettraient ces explorations
4. Besoin d’aider l’étudiant à créer sa propre démarche créative qui tire avantage du médium de travail:
- Le processus est habituellement caché derrière des images fixes; les méthodes numériques utilisées ne profitent pas assez des possibilités de l’ordinateur, car les étudiants ont tendance de copier les méthodes traditionnelles avec l’outil numérique;

Comment s’y prendre?

- Inviter l’étudiant de travailler dans sa ‘zone de développement proximal’
- Inciter des explorations divergentes par la création de variantes
- Pouvoir expliciter le processus dans la génération-même de l’objet en conception
- Proposer des stratégies orientées vers la solution et utilisées par des architectes experts

- Essayer d'éliminer les préconceptions par des explications sur le bien-fondé des nouvelles méthodes proposées et par des liens avec d'autres structures de mémoire déjà existantes chez l'étudiant.
5. Importance de créer son propre Espace de conception :
- o Cet 'espace' est plutôt saccadé et difficilement utilisable; l'intégration de connaissances, méthodes, référents et expérience passée est difficilement réalisable dans un même environnement.

Suivant les recherches cognitives :

- Inciter le regroupement de connaissances dans les *chunks of knowledge*, comme dans les stratégies des architectes-experts
 - Commencer à créer une repository de modèles pour futur référence et éventuelle réutilisation
 - Pouvoir y garder des informations de différents formats : imagier, propositionnel, procédural.
 - Mettre l'importance sur l'aspect structural et tridimensionnel des modèles, s'inspirant de 'modèles mentaux'
6. Besoin de représenter des concepts sémantiques et des processus :
- o L'utilisation courante des logiciels n'offre pas de façon intégrée et conviviale ces types de représentations.
 - Proposer des méthodes, se basant sur les caractéristiques propres de l'ordinateur (grande mémoire, mise-en-relation par un langage, vitesse de calcul, représentations visuelles) et tenant compte des exigences cognitives identifiées.

La proposition (d'une méthode d'enseignement complémentaire)

Le cœur de cette recherche consiste en la définition et l'introduction en atelier d'une approche d'enseignement de la conception architecturale centrée sur l'étudiant, et basée sur le transfert des savoir-faire architecturaux par le biais de référents (métaphores et précédents) interactifs. Cette approche est rendue possible par les moyens numériques. La

finalité de notre proposition est d'aider les étudiants dans l'élaboration de leur démarche de conception ainsi que dans la création de leur Espace de conception. Une synthèse des solutions possibles pour la résolution des discordances, nous permet de définir la méthode suivante :

Explorations de l'objet en conception basées sur la manipulation des savoir-faire architecturaux

Étant donné que les théories cognitives trouvent que la génération de plusieurs idées augmente la créativité chez les novices (Osborn 1965), la méthode devrait provoquer l'exploration et donner des moyens pour générer des variantes et déclencher de nouvelles idées. L'approche pédagogique en atelier devrait proposer des méthodes pour intégrer des connaissances du domaine dès le début du processus créatif, répondant ainsi, entre autres, aux préoccupations écologiques de notre époque. Ces connaissances peuvent devenir des 'forces' qui forment l'objet architectural (Oxman 2006). Pour ce faire, des connaissances procédurales devront être modélisées dans les figurations de l'objet en conception. Tenant compte de la culture holistique et visuelle des architectes, ces connaissances pourront être encodées dans des modèles de référents. L'étudiant pourrait s'y référer, extraire le processus et le pratiquer soi-même pour bien le comprendre et internaliser dans le but d'une utilisation future. Le potentiel du médium numérique de simuler des processus et de donner la possibilité d'agir sur les actions qui ont généré une forme pour l'explorer, pourront être utilisés. Pour des fins éducatives, la démarche de conception devrait être explicitée.

Dans les deux prochaines parties de cette thèse, cette méthode sera opérationnalisée par le biais d'une approche pédagogique et par la création de moyens didactiques conçus pour l'enseignement en atelier d'architecture. Le fait que la méthode proposée est opérationnalisée en deux étapes est dicté par nos deux préoccupations:

- Essayer d'étudier l'impact de l'approche pédagogique séparément, sans que le dispositif didactique soit introduit; et
- Être fidèle à l'évolution temporelle du développement de la recherche, ainsi qu'aux observations de validation menées en atelier

Partie IV. Une approche pédagogique

Cette Partie est consacrée à l'approche pédagogique définie avec l'objectif d'opérationnaliser la méthode d'enseignement proposée. Il s'agit d'une première étape de notre recherche de développement qui vise à répondre aux discordances relevées dans les Parties précédentes et ainsi de contribuer à l'atteinte des objectifs de la recherche, notamment : de proposer des méthodes et des outils d'apprentissage pour arrêter la perte de connaissances architecturales mais aussi pour enrichir et 'augmenter' le processus de design grâce à l'ordinateur.

La proposition qui fait l'objet de cette Partie, représente l'aspect 'développement théorique' de la démarche de cette recherche et sera mise à l'épreuve dans le contexte de l'atelier, comme c'est démontré sur le schéma de la Figure 33. Ainsi, elle contribue au développement d'un modèle théorique 'ancré' dans la réalité.

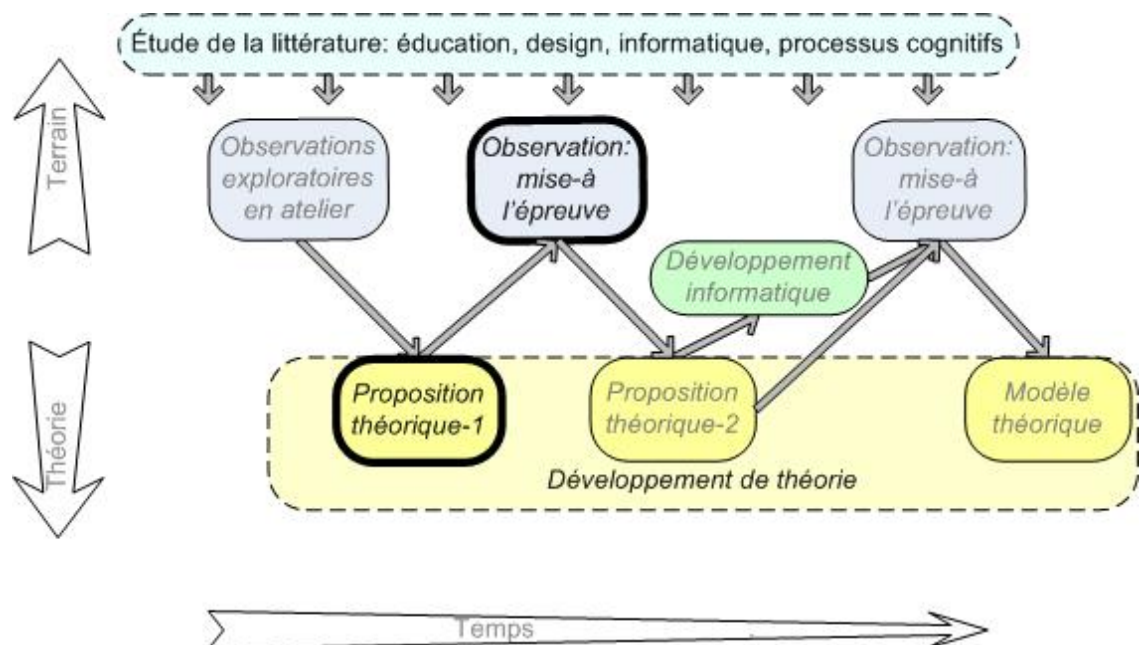


Figure 33: Place de la proposition pédagogique dans le schéma méthodologique

L'observation qui suivra la description de l'approche pédagogique, mettra à l'épreuve cette dernière et fournira de nouvelles pistes de développement pour le dispositif didactique.

The Meno to Soctares:

But how will you look for something when you don't in the least know what it is?
How on earth are you going to set up something you don't know as the object of your search?

To put it in another way, even if you come right against it,
how will you know what you have found is the thing you didn't know?

(Plato¹)

Chapitre 9. Définition d'une approche pédagogique d'enseignement de la conception architecturale

Ce chapitre expose l'approche pédagogique développée pour opérationnaliser la méthode d'enseignement déjà définie. Il s'agit d'une approche qui pourrait compléter les approches traditionnelles déjà utilisées dans la pratique et sans viser aucunement de les remplacer.

Au début du Chapitre, nous présentons des stratégies pédagogiques générales établies en fonction de la méthode proposée. Suite à cela, des exercices propédeutiques qui concrétisent ces stratégies auprès des étudiants seront présentés.

9.1 Stratégies pédagogiques

Les stratégies pédagogiques ont été établies en fonction des discordances identifiées et ont comme objectif d'offrir des moyens pour les résoudre. En décortiquant la méthode proposée, il est possible d'identifier les aspects pédagogiques suivants (sans respecter l'ordre de leur apparition dans la description de la méthode):

- Expliciter la démarche de conception lors du travail sur le projet en atelier
- Proposer des méthodes pour intégrer des connaissances du domaine dès le début du processus créatif, répondant ainsi, entre autres, aux préoccupations écologiques de notre époque.
- Des savoir-faire pourraient être modélisés dans les figurations de l'objet en conception.

¹ Cité dans Schön, 1985, p. 56

- Ces connaissances peuvent devenir des ‘forces’ qui forment l’objet architectural ; la méthode devrait provoquer l’exploration et donner des moyens pour générer des variances et déclencher de nouvelles idées.
- Utiliser le potentiel du médium numérique de simuler des processus et de donner la possibilité d’agir sur un procédé de génération de forme pour l’explorer.

Ainsi, les stratégies mises à contribution sont les suivantes :

- proposer aux étudiants des méthodes qui permettent d’agir sur le processus de création d’un objet plutôt que sur la représentation de son résultat seulement;
- enseigner des manières de ‘décrire’ ce processus, ainsi que de modéliser des connaissances et savoir-faire architecturaux;
- encourager la génération d’idées multiples sur la base d’explorations qui intègrent des connaissances du domaine; et
- introduire le logiciel de modélisation par des exercices propédeutiques qui donnent des méthodes de travail avec le numérique dans le contexte du projet trimestriel et incitent la création de référents réutilisables plus tard dans le projet.

Ces stratégies seront revues avec plus de détails ci-dessous.

9.1.1 Agir sur les processus

En s'appuyant sur le potentiel de l’ordinateur de calculer des représentations imagière très vite, il est possible, dans certains cas, de simuler des processus et de les ‘voir’ en temps réel. C’est une ressource qui est difficilement disponible dans les environnements traditionnels de design (à cause du plus d’efforts, du prix et du temps exigés, ainsi qu’à cause de la nature destructible des objets physiques).

Lors de n’importe quel processus, chaque modification des composantes ou des liens et des transformations entre elles peut entraîner la modification du résultat final. Ainsi, agir sur le processus peut être une source de variations et de déclenchement de nouvelles idées.

D’un autre côté, la nécessité d’intégrer des connaissances du domaine pendant le design à l’ordinateur a été soulignée par les chercheurs (Akin 2002). Étant donné qu’un processus peut encapsuler des connaissances et du savoir-faire architecturaux (Tidafi, 1996; De Paoli,

1998; Iordanova, 2000), il devient intéressant d'inciter les étudiants de travailler plutôt avec des processus qui génèrent des formes, qu'avec des descriptions statiques des objets.

L'approche constructiviste qui nous inspire pendant cette recherche, met l'importance sur les liens entre les composantes et sur les relations entre elles. Il devient donc possible, de modifier la nature de ces relations pour changer toute la structure qu'elles forment.

À l'ordinateur, une des façons de décrire, communiquer et rendre opérationnel un processus est l'algorithme. D'autres représentations comme un film (animation ou enregistrement vidéo) ou un texte explicatif avec des images, peuvent bien décrire et communiquer un processus, mais sans toutefois le faire produire l'effet désiré, ni permettre une interactivité qui modifierait le résultat final.

D'après C. Hernandez (2006), « *parametric design is the process of designing in environment where design variations are effortless, thus replacing singularity with multiplicity in the design process* ». Mais les variations possibles peuvent être très différentes dépendamment de l'attribut qui est paramétré (dimensions, relations ou algorithmes génératifs). Alors, nous trouvons le terme 'design paramétrique' pas assez précis, vu sa base computationnelle, ainsi que son sens architectural peuvent varier. Dans le cadre de ce travail, nous essayerons de spécifier chaque contexte particulier pour une meilleure compréhension.

Dans le contexte de la conception architecturale, le potentiel de la programmation et du design paramétrique est exploré d'avantage pour des projets virtuels ou encore pour des installations architecturales, le design d'intérieur ou le relief de façade. Cela a été démontré par les projets architecturaux de certains architectes et bureaux d'architecture reconnus (Foster, NOX, Rahim, Diaz Alonso, dECOI, parmi d'autres). Généralement, il s'agit de savoir-faire bien gardé par des équipes avant-gardistes, accessible seulement via la littérature spécialisée (et surtout de façon théorique) (Abel, 2004; Leach, Turnbull, & Williams, 2004). Parmi les exemples expérimentaux d'introduction de ces approches en atelier d'architecture, la méthode de Weinand (2004) est remarquable parce qu'elle combine des processus paramétriques avec du travail sur la structure du futur bâtiment.

Ainsi, l'approche pédagogique proposée dans le cadre de cette recherche, encourage l'exploration architecturale par la modification des processus représentés par des modèles

algorithmiques et paramétriques. Cette méthode incite des réflexions sur les intentions du designer et le processus de conception.

9.1.2 Décrire le processus

Étant donné que les logiciels n'offrent pas de telles 'descriptions' d'objets, encapsulées dans des objets (et représentées par des icônes), un concepteur serait obligé de décrire lui-même les processus qui l'intéressent. Ceci implique la création d'objets paramétriques ou l'utilisation d'algorithmes. Dépendamment du logiciel choisi, il pourrait être nécessaire d'utiliser un langage de programmation (ou *script*), ou une interface graphique de programmation. Ces techniques naturelles pour mathématiciens et informaticiens, sont non seulement inconnues pour la plupart des architectes, mais aussi considérées comme des obstacles à la conception architecturale. Enlever cette préconception et apprendre aux étudiants l'utilité de ces méthodes pour leur travail, seraient les tâches primordiales de l'approche pédagogique proposée.

9.1.3 Générer des concepts multiples et des variantes en intégrant des connaissances

Pour stimuler la pensée divergente qui augmente la créativité (voir Chapitre 8), chaque étudiant est appelé de proposer au moins deux concepts différents pour son projet trimestriel. A l'étape suivante, il est incité à travailler sur plusieurs (2-3) expressions formelles (partis) du concept choisi. De cette façon, une pensée divergente est encouragée et aussi l'effet de 'fixation' au premier concept est évité (ou diminué).

Vu que la modélisation de figurations de l'objet en conception peut être abordée en tant que processus influencé par plusieurs données du contexte, du programme, etc., de nombreuses variantes peuvent être créées par des simples variations des paramètres qui représentent ces données. De cette façon, le principe d'agir sur le processus (déjà discuté), pourrait devenir une puissante méthode numérique de stimulation de la pensée divergente. Le processus de conception de son côté, peut intégrer des aspects de la structure et de la performance du bâtiment.

9.1.4 Exercices propédeutiques

Les exercices propédeutiques dont il est question ici, sont inspirés par les cours propédeutiques donnés à VHUTEMAS (Khan-Magomedov, 1990), et à Bauhaus (Rainer,

2000) (voir Chapitre 8.2.3). Puisque le temps limité et le contexte différent de l'atelier, les objectifs poursuivis dans notre cas sont moins généraux et plus orientés vers la pratique. Cependant, l'idée principale des cours propédeutiques : de préparer les étudiants pour leur travail sur le projet, a été sauvegardée.

Les exercices visent plusieurs objectifs : (1) permettre aux étudiants de faire connaissance du logiciel de modélisation en explorant des différentes méthodes dans un contexte de création ; (2) travailler sur les préconceptions de certains étudiants, et (3) stimuler et supporter la réflexion sur des thèmes différents du projet (forme, fonction, sémantique, structure, considérations climatiques, etc.). Les stratégies pédagogiques déjà discutées (agir sur le processus, décrire le processus, et générer des variantes en intégrant des connaissances du domaine) y sont aussi incorporées.

Prenant en considération que, selon les études cognitives du design, les référents jouent un rôle important dans le processus de conception architecturale (cf. Chapitre 2), un des objectifs de l'introduction des exercices propédeutiques est de permettre aux étudiants de créer eux-mêmes des référents qui pourraient leur servir plus tard dans le travail sur un projet.

Cette approche pédagogique vise à montrer les liens possibles entre les méthodes numériques et certaines caractéristiques d'un objet architectural. Ainsi, ils comprennent à la fois plusieurs méthodes (objet paramétrique, animation, cinématique, algorithme, particules, etc.) et différents aspects architecturaux (forme, fonction, structure, etc.). Par contre, il reste à trouver une réponse à la question comment structurer ces catégories : par méthodes ou par thèmes architecturaux.

Les deux approches sont valables, et ont été mises à l'épreuve mais dans des contextes différents : la structure par thèmes architecturaux - dans le cadre de l'atelier spécialisé en CAO en troisième année d'architecture, et la structuration par méthodes – au niveau maîtrise. En effet, dans ce dernier cas, les méthodes numériques enseignées ont été poussées à un niveau plus approfondi (incluant programmation algorithmique et *scripting*), pour justifier une introduction explicite des méthodes. Dans notre étude, la structure des exercices organisés par thèmes architecturaux sera discutée d'une manière plus approfondie; tandis que la structuration par méthodes numériques est courante dans les cours d'informatique et sera présentée de façon plus brève à la fin de ce chapitre.

9.2 Exercices propédeutiques structurés selon des thèmes architecturaux

Les exercices propédeutiques ont été donnés dans le cadre des ateliers d'architecture à l'École d'architecture, de l'Université de Montréal. Les étudiants étaient en 3^e année de Bac en architecture, sessions d'automne 2005 et 2006. Tuteur de l'atelier était Ivanka Iordanova (qui assume le rôle de chercheur et de tuteur à la fois). Chaque exercice a été introduit et expliqué en atelier, les objectifs annoncés et des techniques numériques à utiliser ont été montrées.

Les étudiants avaient une semaine pour travailler sur chaque exercice. En parallèle, ils avaient aussi d'autres tâches :

- liées à l'atelier (recherches, prendre connaissance avec le site d'intervention architecturale, etc.)
- ou dans le cadre des autres cours dispensés dans le programme (normalement, au nombre de trois).

Pendant la semaine de travail sur chaque exercice, les étudiants pouvaient consulter le tuteur, poser des questions ou demander de l'aide. La communication était possible aussi par le site-web de l'atelier ou par courrier électronique.

À la fin de la période dédiée, chaque étudiant présentait son travail sur l'exercice en cours (de façon informelle) devant ces collègues et le tuteur. Ces moments ont donné lieu à des précieuses échanges entre les étudiants.

Finalités, buts et objectifs pédagogiques des exercices préparatoires

Selon Hameline (1979, p. 105) pour chaque exercice, il faut spécifier:

- finalité: affirmation de principe à travers laquelle une société (ou un groupe social) identifie et véhicule ses valeurs. Elle fournit des lignes directrices à un système éducatif;
- but: énoncé définissant de manière générale les intentions poursuivies soit par une institution, soit par... individu, à travers un programme ou une action déterminée de formation;
- objectif général: énoncé d'intention pédagogique décrivant en termes de capacités de l'apprenant l'un des résultats escomptés d'une séquence d'apprentissage

En ce qui concerne les exercices propédeutiques proposés dans le cadre de cette recherche :

- la finalité (qui coïncide avec les objectifs de cette recherche) est de limiter la perte de connaissances architecturales et aussi enrichir et ‘augmenter’ le processus de design grâce à l’ordinateur.
- le but : permettre à l’étudiant de découvrir, par le biais de ces exercices, comment mettre à contribution des moyens numériques pour modéliser et explorer différents aspects architecturaux d’un bâtiment.

Objectifs pédagogiques sont formulés comme suit :

- À l’issue des exercices préparatoires, (1) l’étudiant sera capable d’intégrer des connaissances et du savoir-faire architecturaux dès le début du processus de conception ; (2) l’Espace de conception de l’étudiant sera enrichi de nouvelles méthodes de création et exploration de la forme, ainsi que de référents numériques qui pourraient lui être utiles dans le cadre de futurs projets architecturaux.

Dans ce qui suit, les exercices sont présentés dans l’ordre chronologique de leur introduction auprès des étudiants. Le premier exercice est introduit dès la première séance effective en atelier, après une première démonstration générale du logiciel de modélisation.

Les exercices ont été conçus comme une activité qui se déroule au début de l’atelier, mais également en parallèle avec le projet trimestriel. Une question y a surgi - est-ce que ces exercices devraient être liés au projet et au site, ou non. Les approches des architectes et des tuteurs varient. Il est possible d’identifier deux approches : la première – celle de l’école de pensée qui propose de commencer toujours du site (Berkel & Bos, 2000); et la deuxième, qui préfère de ne pas donner aux étudiants le site au début – pour laisser s’exprimer leur créativité conceptuelle librement, sans restrictions et conditionnement du site (un tel exemple est l’approche de Weinand (2004) dans son atelier à Lausanne).

Nous avons proposé de débiter par des exercices non-liés au site. L’idée de commencer le travail avec le logiciel de façon exploratoire était importante comme approche. Plus tard, avec l’avancement du projet et avec l’aspect ‘analyse du site’ introduit dans les exercices, le lien avec le projet se fait de façon spontanée et naturelle.

Des exercices propédeutiques des types suivants ont été prévus pour l'atelier :

1. sur la forme (rectiligne, courbe, objets paramétrés, géométrie curviligne, etc.)
2. sur la sémantique (légèreté, masse, lumière, transparence, dynamique, statique)
3. par rapport à la fonction du bâtiment et l'analyse du site (circulation, différentes fonctions du programme, communication entre les espaces, etc.)
4. au niveau de la structure de l'objet architectural projeté (créer la structure au début ; ou la créer après que le coquillage est conçu, différents types de structures)
5. par rapport aux différents aspects climatiques et à l'interaction du bâtiment avec eux (chaleur, froid, vent, soleil, ombre, son)
6. travail à partir d'un référent (a) le schématiser (b) le transformer selon les 5 thèmes précédents.

Nous sommes conscients du fait qu'à cause de l'approche 'en largeur' que nous avons adoptée (montrer et faire essayer aux étudiants plusieurs méthodes et façons de penser avec le médium numérique, et non pas aller en profondeur dans une ou deux méthodes), le temps du trimestre s'avère insuffisant (surtout quand une partie des étudiants touche au 3D numérique pour la première fois).

L'introduction des exercices se fait de la façon suivante : (1) énoncé de la tâche, et (2) démonstration et explication de techniques et méthodes pour réalisation des exercices. Après approximativement une semaine de travail (en atelier et à la maison), les étudiants doivent présenter de façon informelle leur travail et aussi le 'poster' dans leur carnet numérique. Cette activité se déroulait en parallèle avec les tâches sur le projet trimestriel.

9.2.1 Explorations sur la forme

Au début, nous avons proposé des exercices sur la forme et les différentes façons de sa production et modification à l'aide du logiciel choisi.

Énoncé de l'exercice N°1: Travail sur la forme

Objectif: L'étudiant sera capable utiliser des méthodes numériques de création et d'exploration de la forme; son Espace de conception sera enrichi de référents numériques qui pourraient lui être utiles dans le cadre de futurs projets architecturaux.

1. **Création d'une forme hétérogène:** Créer une forme tridimensionnelle qui comprend une partie orthogonale et une partie en formes libres

(techniques: primitives; création de surfaces à partir de courbes; transition

entre les deux parties)

2. **Modification**: Isoler 3 zones de l'objet déjà créé, et transformer chaque partie de façon différente:

- a. globalement (*techniques*: translation, rotation, scale),
- b. paramétriquement (*techniques*: twist, bevel, ...), ou
- c. localement (*techniques*: magnet, etc).

2. **Distribution, rythme**: Créer un autre volume et le multiplier :

- a. en gardant le lien avec l'original (*technique* : instance)
- b. sans lien avec l'original (*technique* : copy)
- c. distribuer les copies dans l'espace selon différentes règles (*techniques* : array, polar array, avec scale, etc.)

3. **Composition** : Combiner 2 et 3 pour créer une composition.

4. **Matériaux** : Ajouter des textures (transparence, brillance, bump)

5. **Visualisation** : Faire un rendu

6. **Animation** : Montrer quelques étapes de votre travail en animation

9.2.2 Exprimer des aspects sémantiques

Cet exercice a comme objectif d'encourager une réflexion sur des questions différentes de la technique et de la forme pendant le travail avec le numérique. De cette façon, nous avons essayé de vaincre la croyance qu'à l'ordinateur, il est uniquement possible de représenter des objets déjà conçus (au moins 'dans la tête') ; et de mettre les étudiants dans une situation où ils sont obligés de réfléchir et concevoir en travaillant sur l'ordinateur.

À partir de cet exercice, certains travaux ont déjà été liés au projet trimestriel suite au fait que le site était déjà connu et l'analyse avait commencé. D'autres, par contre, ne l'étaient pas. Une liberté du choix a été laissée aux étudiants.

Énoncé de l'exercice No2 : Travail sur la sémantique

Objectif : L'étudiant sera capable utiliser des méthodes numériques de création et exploration de la forme et de sa sémantique; son Espace de conception sera enrichi de référents numériques qui pourraient lui être utiles dans le cadre de futurs projets architecturaux

À partir de la composition de l'exercice sur la forme (ou avec une partie d'elle):

1. Exprimer un mouvement par votre composition (*voir les réflexions plus bas*)
2. Créer une forme (ou une composition) qui montre le contraste entre la légèreté et la masse
3. Créer un volume (ou une composition) en équilibre dynamique (instantané)
4. Faire des rendus

Sur 1) Comment pourrait-on exprimer le mouvement via un volume qui ne bouge pas ?
 Quelques réflexions que vous pouvez continuer par vous-mêmes:

- par des formes qui nous rappellent des objets qui sont en mouvement (vagues, vent, rivière, oiseau, etc.)
- en créant des perspectives et des vues différentes en s'approchant du bâtiment, ou quand on marche autour de lui
- par un rythme bien présent et dynamique
- en ajoutant des éléments qui changent avec le temps :
 - = des couleurs qui changent avec le soleil ou l'illumination et l'éclairage le soir
 - = des stores, parasols, auvents, etc. qui changent de position ou de configuration

... à continuer sur les points 2) et 3) de façon similaire...

Il est certain qu'avec une meilleure maîtrise d'un logiciel, les obstacles techniques et les blocages du travail diminuent, ce qui facilite la réflexion plus abstraite et conceptuelle de la part de l'étudiant. Cet exercice a comme but de montrer que c'est possible et 'normal' d'avoir des activités cognitives plus abstraites en travaillant avec un logiciel de modélisation.

9.2.3 Représenter la circulation et l'organisation fonctionnelle

Indépendamment du fait que le concept pour un bâtiment soit évoqué par des facteurs extérieurs (site, références, etc.) ou des phénomènes intérieurs (programme, symbolique, organisation, parcours, etc.), l'analyse du site ainsi que l'organisation des fonctions dans le bâtiment jouent toujours un rôle important (que ça soit au tout début ou un peu plus tard dans le processus) (Rahim, 2000). Donc, il nous semble important que les étudiants aient des méthodes pour représenter les différentes 'forces' du site pour pouvoir les exploiter et nourrir leur concept ou projet. Comme constaté pendant les observations exploratoires, la représentation d'objets non-géométriques, de données abstraites et de phénomènes qui fluctuent dans le temps n'est pas évidente avec des logiciels de modélisation.

Parmi les nombreux facteurs que l'on a analysé sur le site d'intervention, nous avons choisi la circulation surtout à cause de son aspect temporaire (flux des gens, fluctuation dans le temps, dépendance des saisons, etc.). L'organisation fonctionnelle a été choisie comme représentant des aspects 'internes' du bâtiment. À cause des techniques semblables proposées par rapport à l'analyse de site (circulation) et par rapport à l'organisation fonctionnelle, nous les avons combinées dans un même exercice.

Énoncé de l'exercice No3 :**Travail sur la circulation et sur l'organisation fonctionnelle**

Objectifs : L'étudiant sera capable d'intégrer des informations abstraites par rapport au contexte du site, ainsi que d'explorer différentes organisations fonctionnelles du futur bâtiment dès le début du processus de conception ;

L'Espace de conception de l'étudiant sera enrichi de nouvelles méthodes de création et exploration de la forme, ainsi que de référents numériques qui pourraient lui être utiles dans le cadre de futurs projets architecturaux.

Sur le site de votre projet trimestriel, à l'aide de couleurs, volumes, transparence, etc. :

1. **Circulation - types** : Exprimer les différents types de circulation : voitures, bus, piétons
2. **Circulation - piétons-types** : Parmi les piétons, séparer les passants, les voyageurs, les étudiants, etc. et montrer leurs parcours.
3. À l'aide de variations dans la section des volumes, représenter :
 - **Circulation-volume** : Le flux des gens (nombre par unité de temps)
 - **Circulation-vitesse-durée** : Le temps que les piétons passent à un endroit donné
(*technique* : le passant rapide laisse une trace plus fine, pendant que celui qui prend un café, crée une 'tache'). Considérer la pensée : "Duration is construction" Paul Valery
4. **Fonctions** : À l'aide de volumes à une forme souple, représenter l'espace nécessaire pour les différentes fonctions du programme du projet et les liens nécessaires entre eux.
5. **Combinaison entre circulation et fonctions** : Superposer la représentation de la circulation avec celle des fonctions.

Quels liens pourrait-on faire entre les deux types de volumes ?

Quels liens pourrait-on faire entre la vitesse de déplacement et l'espace nécessaire pour l'accommoder ?

La circulation étant un point important du programme, quelle place lui réservez-vous dans votre composition ?

Les méthodes proposées pendant cet exercice s'approchent de certaines méthodes utilisées par des architectes avant-gardistes, décrites dans le numéro *Contemporary processes in architecture* de la revue *Architectural Design* (2000). Ces méthodes sont basées sur la temporalité et les 'forces' du site d'un côté, et sur les concepts et les 'forces' du programme de l'autre, intégrant ainsi des facteurs externes et internes. Ces phénomènes abstraits sont nommés par les auteurs 'architectural notations'.

Ainsi, des diagrammes sont utilisés comme expressions abstraites et dynamiques (Keller, 2000). Ils ne sont pas créés comme des formes, mais plutôt comme un produit d'actions et leurs variations, leurs relations à la matière, etc. Cette approche constructiviste permet de

multiplés explorations sur les mêmes phénomènes, et aussi une évolutivité du modèle. Par contre, elle demande à l'usager soit de programmer ses propres fonctionnalités numériques, soit d'utiliser des ajouts spécialisés aux logiciels de modélisation¹. Le processus est engendré par un algorithme de génération de formes (qui représentent des forces, des données, etc.) et dépend des relations entre ces dernières. Les valeurs paramétriques et les variations de la composition spatiale peuvent être modifiées étudiées ultérieurement (Keller, 2000).

Le flux des gens, les circulations et l'occupation des espaces existants sont aussi un facteur qui est examiné en détail par cet auteur. Selon ces auteurs, une grande importance est accordée à la superposition par des couches, transparence, etc. (i.e. la considération simultanée) de différents facteurs. C'est une méthode que nous avons également utilisée dans l'atelier.

Cette approche accorde beaucoup d'importance à la composante 'temps'. Comme c'était suggéré dans le cadre de l'atelier expérimental de l'Université de Montréal, le flux des gens, la circulation, et leur dynamique fluctuante selon les rythmes des jours et des saisons sont représentés par des formes en 3D dans un logiciel (souvent, il s'agit d'une application 'maison') (Berkel & Bos, 2000). Les usagers de l'espace et les types d'usage qu'ils y font, sont représentés en fonction de l'heure de la journée. Un code de couleur et un schéma tridimensionnel aident la visualisation de ces informations. Ce type d'architecture qui se base sur la visualisation d'information est nommée '*informed architecture*'.

Selon cette approche, des paramètres et des algorithmes guident la forme de la représentation. Cependant, n'ayant pas de dispositif d'aide à la représentation de ce type d'information, dans les exercices préparatoires proposés en atelier, les étudiants ont été demandés de faire la 'paramétrisation' eux-mêmes (dans leur imaginaire). Ainsi, par exemple, la section de la forme qui représente le flux de gens serait plus grande si le flux est plus important ; ou encore, si les gens passent par un espace plus lentement, ou restent à un endroit plus longtemps, ceci créerait une forme plus étalée ou plus volumineuse (exemples-images Fig. 34). Les différents types de circulations sont représentés par des couleurs différentes. Bien sûr, il faut admettre que la possibilité d'étudier plusieurs

¹ Un développement appelé « *abstract machine* » est utilisé par Keller, 2000.

variations est beaucoup plus réduite quand la forme n'est pas paramétrée numériquement par rapport aux facteurs qu'elle représente.

Comme prochaine étape suggérée par la méthode de *l'informed architecture*, les formes qui permettent de visualiser l'organisation fonctionnelle, sont superposées aux autres thèmes visualisées, au mouvement des gens, par exemple. Ainsi, se génèrent des surfaces qui à la fois inspirent la réflexion et font émerger un volume schématique du futur bâtiment.

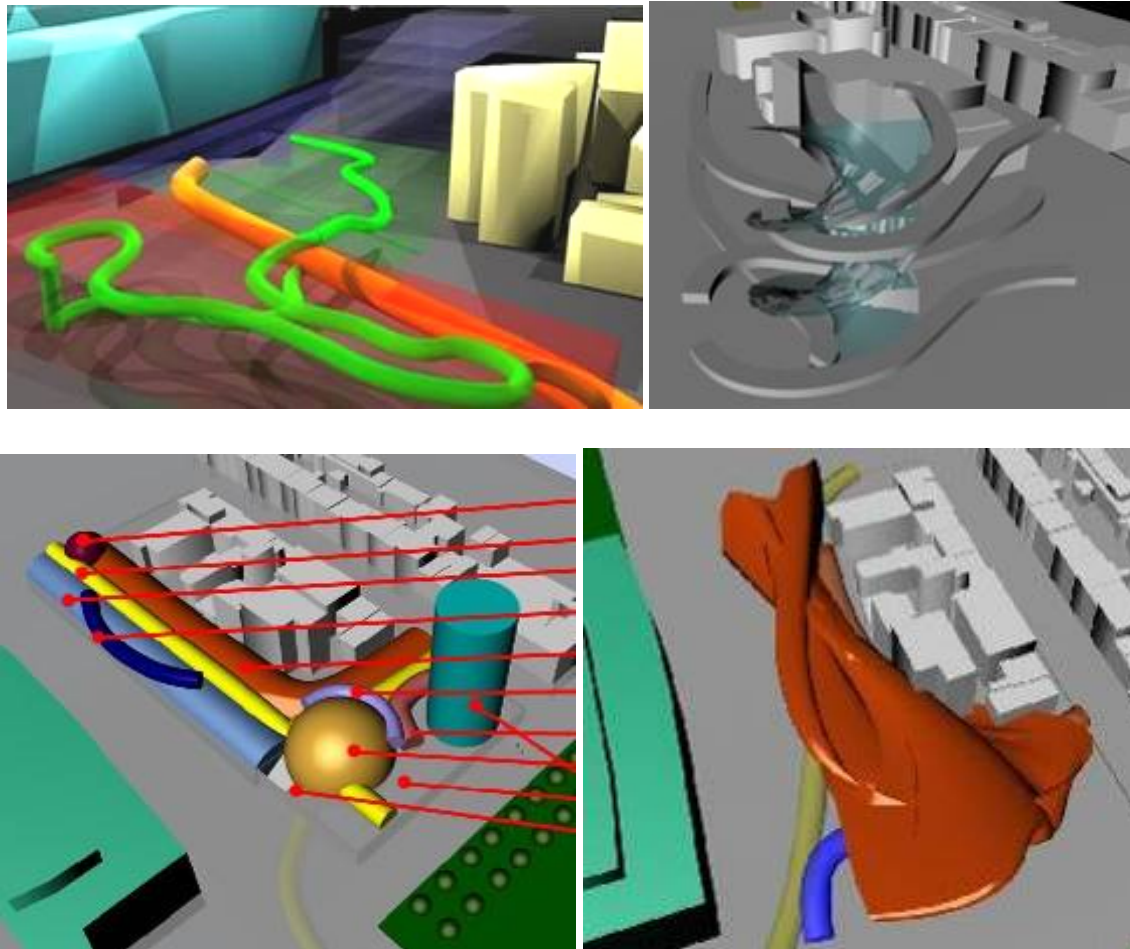


Figure 34 : Combinaison (superposition) : circulation et organisation fonctionnelle

Nous pouvons constater que les facteurs étudiés et les méthodes proposées pour représenter des informations non-géométriques dans l'atelier expérimental de ne sont pas différents de ceux décrits par la littérature spécialisée comme pratique de certains architectes qui basent leur travail créatif sur des médiums numériques. Même les images de visualisation avaient souvent des aspects semblables. Par contre, la possibilité d'exploration en atelier reste plus limitée à cause de l'utilisation courante du logiciel de

modélisation, sans paramétrisation des valeurs et des ‘forces’ des facteurs représentés. Si l’introduction de telles techniques semble, pour l’instant, difficile en troisième année d’architecture, elles pourraient être mieux utilisées au niveau maîtrise.

9.2.4 Travail sur des aspects structuraux

Dans le cadre des ateliers observés, souvent, il a été constaté qu’un travail bien réussi au niveau conceptuel, subit des métamorphoses non désirables pendant la phase de développement. Le passage de la forme sculpturale et virtuelle (souvent très fluide, avec des parties transparentes, etc.) à un objet de l’architecture ‘réelle’ sous-entend des changements d’échelle, de matérialité, de couverture (peau) et de structure qui puisse la supporter.

Toutefois ce problème existe aussi chez certains architectes reconnus pour leur esprit avant-gardiste et leur méthode de travail inspirée par les techniques numériques, comme Greg Lynn (2000), Ocean D et Decoi. D’après Weinand (2004), « si on observe leurs projets de plus près, un décalage apparaît entre la production d’images et de formes virtuelles et la production de projets d’architecture constructibles. » (p. 39). C’est un défaut que l’on reproche souvent aux étudiants, mais au fait, c’est un piège même pour des architectes d’expérience.

Liés à cette problématique, des exercices sur des aspects structuraux du bâtiment ont été proposés. Deux approches opposées ont été considérées : (1) expression architecturale basée sur la structure (à la Calatrava, Frei Otto, Foster) ; et (2) forme qui sert comme ‘peau’ pour le bâtiment et doit être supportée (construite) (à la Greg Lynn, ou Frank Gehry par exemple).

Énoncé de l’exercice No4 : Travail sur des aspects structuraux

Objectifs : L’étudiant sera capable d’intégrer des connaissances et du savoir-faire architecturaux par rapport à la structure du bâtiment dès le début du processus de conception ;

L’Espace de conception de l’étudiant sera enrichi de nouvelles méthodes de création et exploration de la forme en lien avec la structure, ainsi que de référents numériques qui pourraient lui être utiles dans le cadre de futurs projets architecturaux.

Utilisant les formes créées pendant l’exploration formelle du logiciel, ainsi que les volumes conceptuels de votre projet trimestriel, essayez de penser sur la structure et de la représenter:

1. Représenter la fenestration (meneaux des fenêtres)

(technique : fonctions atom-array, bevel, extrude edge, extrude surface, etc.)

2. Créer l'épaisseur d'une forme de type 'coquillage' - épaisseur constante, épaisseur variable.

(technique : fonctions scale, offset, variable offset, etc.)

3. Concevoir la structure porteuse d'un bâtiment à forme 'organique'

(technique: fonction align along path, along spline; iterator, grid array, etc.)

4. Représenter une structure à noeuds

(technique : fonction look-at-target, atom-array, etc.)

Quelles fonctions (du logiciel) permettent de modifier la structure à partir des éléments qui sont portés (le coquillage) ? Quelles fonctions permettent de modifier la peau en déplaçant des éléments de la structure?

Certaines méthodes montrées dans le cadre de cet exercice proviennent des parties d'animation, cinématique et dynamique des logiciels utilisés. Cet emprunt enrichit les moyens de modélisation, et les méthodes de design.

Les calculs structuraux ne sont pas pris en compte dans le cadre de ces exercices. Cet aspect très important de la structure peut être travaillé dans le cadre d'un logiciel dédié à la structure des bâtiments (avec simulation des charges, etc.). Toutefois, ces logiciels destinés aux ingénieurs, ne sont pas faciles à utiliser par les architectes. De plus, ils visent à tester (à analyser) une solution plus au moins finalisée, et habituellement, ne donnent pas de possibilités d'exploration.

Un pas dans la direction des logiciels qui utilisent des calculs structuraux dans le but de proposer des variations formelles sur un objet architectural en conception est fait par le logiciel expérimental Odessy (Mullins et al., 2005). Les auteurs combinent l'analyse structurale d'un objet avec la 'synthèse' de nouvelles propositions formelles, basées sur des calculs structuraux. Cependant, le résultat reste imagier et n'est pas directement transformable en un modèle 3D.

Certaines recherches menées par des étudiants en maîtrise du GRCAO ont approfondi le lien entre un bâtiment et certains aspects climatiques comme l'ensoleillement (G. Hernandez, 2002) et l'acoustique d'une salle (Biradi, 2004). Elles ont servi comme source de connaissances pour certains exercices préparatoires.

Au niveau pédagogique, l'atelier mené par Weinand à Lausanne met l'importance sur les aspects structuraux du bâtiment, et explore des techniques numériques qui peuvent améliorer la compréhension des étudiants (Weinand, 2004). Une approche

multidisciplinaire met ensemble des étudiants en architecture et en génie civil qui travaillent ensemble sur un projet trimestriel.

Ces pistes d'intégration des aspects structuraux des bâtiments dès le début du processus de conception, sont susceptibles d'enrichir de nouvelles méthodes l'Espace de conception des étudiants. Les exemples sur la Figure 35 et 36 font partie des travaux réalisés par les étudiants dans le cadre de cet exercice. Ces techniques ont été retrouvées plus tard dans leurs projets trimestriels.

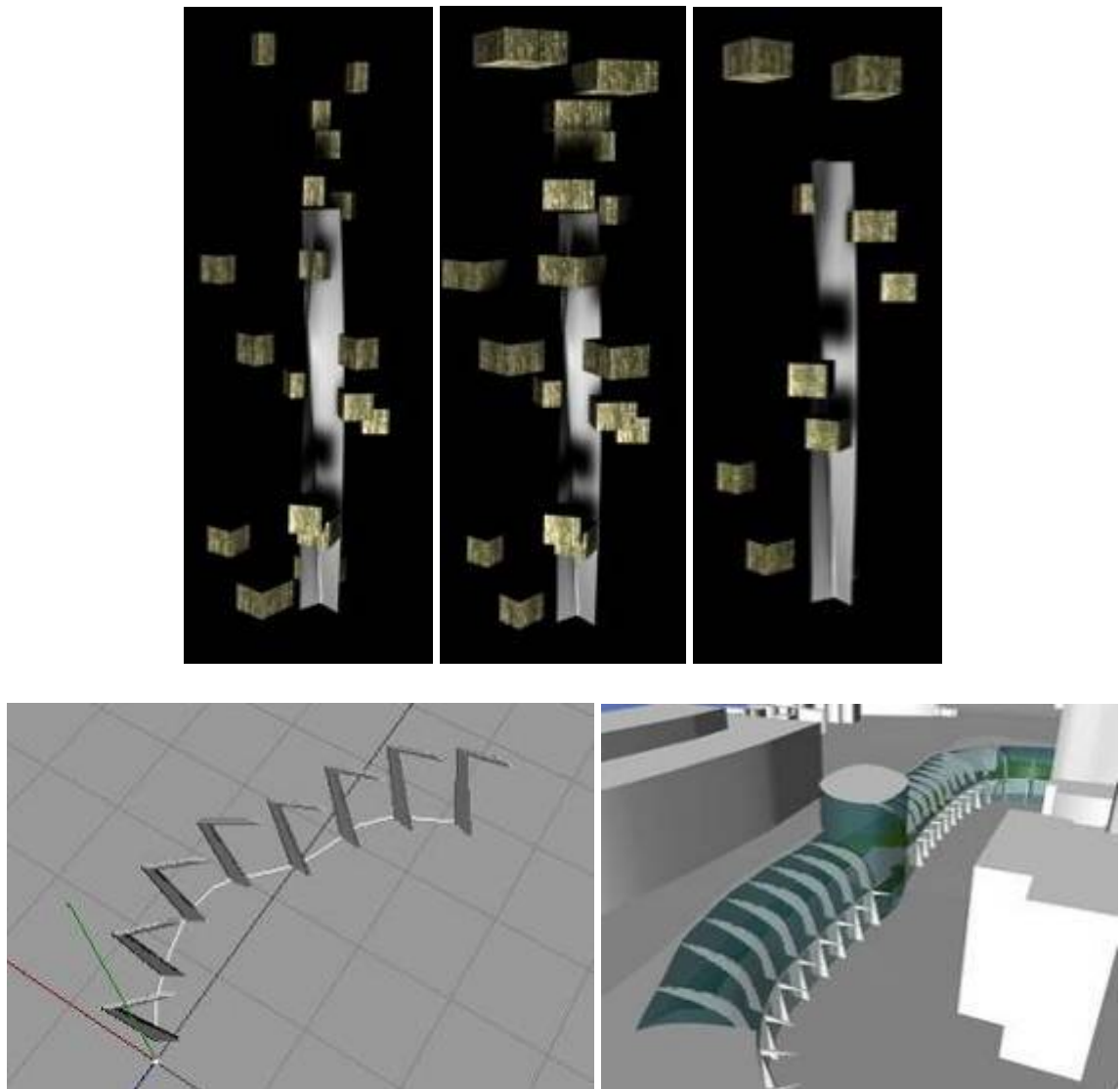


Figure 35: Travail à partir de la structure (méthode paramétrique)

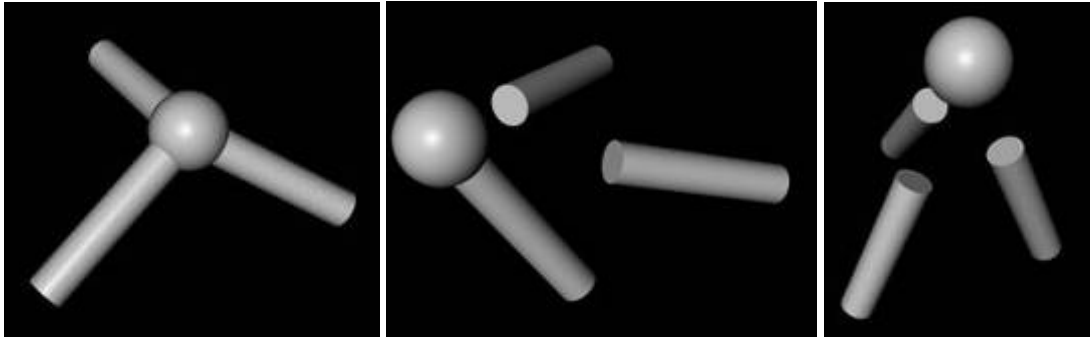


Figure 36: Pour une structure à nœuds : fonction utilisée pour des jeux et animations (look-at)

9.2.5 Intégrer des aspects climatiques

Un exercice préparatoire a été conçu par rapport aux différents aspects climatiques et l'interaction du bâtiment avec eux (soleil, ombre, vent, son, chaleur, froid, etc.). Le déroulement de celui-ci a coïncidé avec le travail sur le projet trimestriel. Ainsi, les réflexions et les méthodes proposées ont servi directement le projet où un ou plusieurs de ces aspects ont été approfondis par chaque étudiant (Fig. 37).

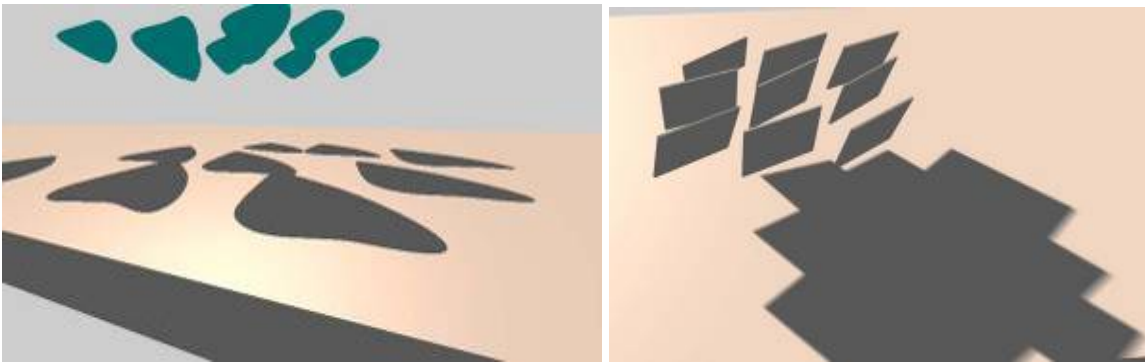


Figure 37 : Exploration de l'ombrage minimal ou maximal d'une surface

Les objectifs pédagogiques de cet exercice sont formulés comme suit : (1) L'étudiant sera capable d'intégrer des connaissances et du savoir-faire par rapport au contexte climatique du site d'intervention, ainsi que par rapport à la performance énergétique du bâtiment assez tôt dans le processus de conception ; (2) L'Espace de conception de l'étudiant sera enrichi de nouvelles méthodes de création et exploration de la forme en lien avec le climat, ainsi que de référents numériques qui pourraient lui être utiles dans le cadre de futurs projets architecturaux.

Il s'est avéré très difficile ou même impossible de réaliser ces exercices avec les ressources fournies par le logiciel et en tenant compte du niveau de familiarisation des étudiants avec les méthodes numériques. Nous avons identifié cette impasse comme un des objectifs de notre travail futur.

9.2.6 Travail à partir d'un référent

Le dernier des exercices propédeutiques prévus au début de l'atelier a été conçu en visant le travail cognitif avec des référents. Il s'agit de schématiser un référent, d'identifier certaines de ses caractéristiques remarquables et après, de les transformer pour qu'elles deviennent appropriées pour un autre contexte. Par exemple, un schéma structurel qui porte un toit plat a pu être adapté pour un toit avec ondulations (forme organique).

Dans le même ordre d'idées, un précédent dont la forme a été influencée par des considérations de performance aérodynamique contre le vent, pourrait être 'transformé' en gardant le même principe de performance, mais dans un autre contexte (force, vitesse et température du vent différentes).



Figure 38: Travail cognitif (transformation en gardant les caractéristiques de base) à partir de référents (a) précédent : l'aérogare de Stuttgart ; (b) fragment du projet de l'étudiante J. P.

Cet exercice a aussi été réalisé dans le cadre du projet trimestriel. Encore une fois, les fonctionnalités du logiciel, le niveau 'débutant' de connaissance de l'outil numérique par les étudiants, ainsi que les limites du temps, n'ont pas permis des explorations plus approfondies sur ce thème. Ce manque sera étudié à la recherche de propositions valables dans le Chapitre 11 de cette thèse.

9.3 Exercices propédeutiques structurés selon les méthodes numériques

Comme il a déjà été mentionné, les exercices ainsi structurés ont été introduits au niveau maîtrise spécialisée en CMAO¹, et le regroupement différent a été imposé par les méthodes numériques plus avancées introduites dans cet atelier.

Les exercices préparatoires pour cet atelier proposent les méthodes numériques suivantes pour création et exploration de l'objet en conception: forme libre (création et modification); composition à partir d'objets paramétrés; animation; création de liens entre les objets et/ou leurs propriétés par l'interface graphique de programmation (Xpresso²) (Figure 39); distribution algorithmique des objets dans l'espace (utilisation du plug-in Jenna); et finalement, création d'objets algorithmiques avec un langage de *script* (COFFEE *script*). Toutes ces méthodes ont été essayées par les étudiants dans un contexte de projet préparatoire mais la dernière a été adoptée seulement par quelques uns.

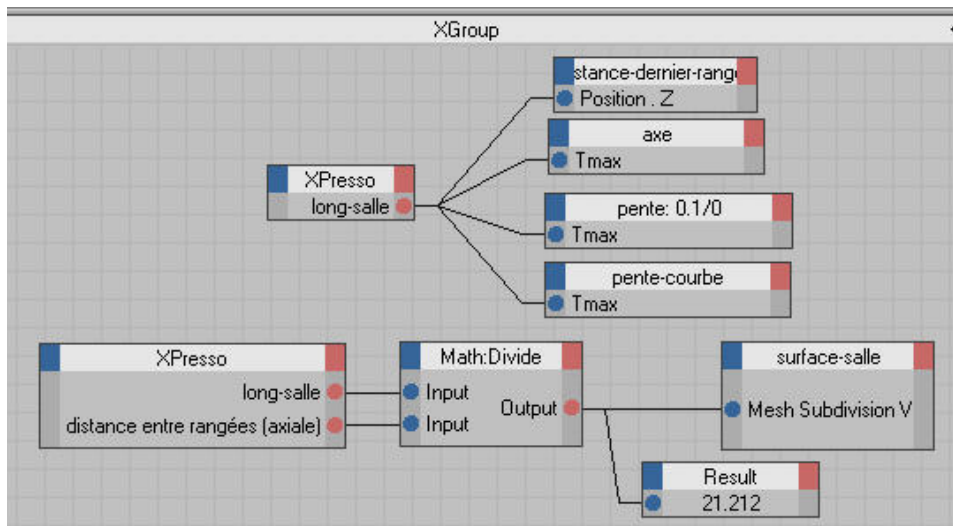


Figure 39: Établir des relations entre des objets de la scène avec Xpresso

Le projet préparatoire sur lequel ces méthodes devaient être essayées était un quai de gare. Il a été choisi à cause de sa liberté relative par rapport aux aspects sociaux et d'autres, normalement impliqués dans le processus de design architectural, ainsi que grâce à la

¹ Conception et modélisation architecturales assistées par ordinateur, École d'architecture, Université de Montréal

² L'interface graphique de programmation de Cinema 4D

fonctionnalité dynamique qu'il abrite. L'intention a été d'inciter des représentations dynamiques de l'objet qui d'après notre hypothèse, allaient stimuler la réflexion sur les processus de design impliqués.

Pour ce projet, les étudiants ont utilisé avec un intérêt particulier le plug-in de distribution et modification algorithmiques d'objets. Un nouveau monde s'était ouvert à eux. Le fait qu'une forme change avec la modification de valeurs numériques a été une découverte pour la plupart d'entre eux. La possibilité d'introduire des variations aléatoires contrôlées pendant la génération des formes a été un fort stimulus pour des variations dans le design. Certaines explorations de ce type ont été particulièrement fructueuses au niveau créatif.

Les animations ont été appréciées aussi, à la fois pour stimuler le processus de design et pour sa communication. Les autres méthodes ont été utilisées avec un intérêt variable dépendamment de la personne. Ceci pourrait être du à la banalité de certaines d'entre elles (création de formes libres) ou encore, du à la difficulté de travailler avec d'autres (Xpresso, and Coffee). Certains étudiants ont accepté et apprécié le défi de la programmation.

En conclusion : A travers ces exercices propédeutiques, les étudiants ont été incités à apprendre à travailler avec un logiciel de modélisation dans un contexte similaire à celui de leur travail sur un projet d'architecture. Comme il a été discuté dans le Chapitre 7, de point de vue cognitif, il est important d'avoir des repères dans le contexte, surtout quand il s'agit d'apprentissage de savoir-faire, où les connaissances sont perceptibles dans le processus lui-même. De plus, les étudiants sont appelés à utiliser par eux-mêmes les principes et les méthodes enseignés, ce qui est une condition importante pour la compréhension et l'opérationnalisation des connaissances professionnelles. Un autre aspect significatif du travail à partir d'exercices préparatoires est la création par l'étudiant lui-même de référents encapsulant les principes enseignés. Ainsi, pendant le travail sur le projet trimestriel ou même plus tard pendant ses études, un étudiant pourrait se référer à ces modèles et réutiliser les principes qui y sont intégrés.

Chapitre 10. Mise à l'épreuve: Observation-2

Selon la littérature en pédagogie Hameline (1979), l'analyse des résultats des exercices devrait se faire selon une grille où figurent : le comportement observable (par rapport à une capacité recherchée), niveau d'exigence et critères de réussite des exercices. Dans notre cas d'apprentissage de la conception architecturale en situation d'atelier, il n'y a pas de comportement directement observable. Le processus de travail des étudiants sur les exercices préparatoires n'est pas observé en totalité (les étudiants travaillent pendant une semaine, souvent à la maison, etc.). Cependant, certains aspects du processus peuvent être déduits à partir du résultat final, étant donné qu'un objet numérique est susceptible de 'porter' en soi la méthode de sa génération (Rabardel, 1995). Une description verbale ou textuelle des intentions et du processus de travail accompagne la présentation (informelle) des étudiants.

Les capacités recherchées sont les suivantes : lier des éléments, apprendre à réfléchir de façon algorithmique (complémentaire à la façon traditionnelle enseignée), représenter des informations abstraites, non-géométriques.

Le niveau d'exigence comprend découverte, compréhension et exploration des méthodes numériques. L'étudiant devrait être capable à reprendre les mêmes principes dans un autre contexte, éventuellement avec de l'aide.

Les critères de réussite (évalués pendant les présentations hebdomadaires et/ou dans le cadre du projet trimestriel) d'un étudiant sont qu'il :

- utilise adéquatement les méthodes numériques ;
- explore la forme et interprète les différentes instances ;
- s'exprime avec compréhension et avec terminologie adéquate (architecturale ou informatique) ;
- découvre de nouvelles utilisations (dans d'autres contextes, pour d'autres buts et aspects architecturaux) ;

L'atelier spécialisé du trimestre d'automne 2005 a été le terrain de la mise à l'épreuve de l'approche pédagogique ainsi définie. Cette observation s'est déroulée aussi pendant un trimestre et dans le même type d'atelier comme les observations précédentes, mais plus tard dans le temps. La différence consiste dans l'introduction en atelier des exercices propédeutiques développés dans le cadre de cette recherche doctorale et présentés dans le Chapitre précédent (cf. Annexe-8). De cette façon, nous avons essayé d'évaluer la pertinence de cette approche pédagogique et son influence sur la démarche ainsi que sur les résultats des étudiants.

Une opportunité de mettre à l'épreuve au niveau maîtrise les exercices préparatoires structurés selon l'approche numérique utilisée a été saisie. Il s'agit de l'atelier de l'hiver 2006 de la maîtrise, option CMAO¹. Le déroulement de cet atelier, ainsi que les résultats des observations effectuées dans ce cadre seront brièvement présentés aussi.

10.1 L'atelier de l'automne 2005

Après une revue de la littérature sur les méthodes actuelles de design numérique, il s'est avéré que des logiciels de modélisation sont préférés (aux logiciels de DAO) par plusieurs auteurs-architectes à cause de la liberté relative d'expression 3D qu'ils offrent (Weinand, 2004). Un autre critère de choix a été la disponibilité d'un langage de *script* pour la création de fonctionnalités personnalisées. Deux logiciels de modélisation ont été retenus pour le trimestre d'automne 2005 - Rhino3D et Cinema4D. Comme c'était le cas avec les ateliers précédents, le logiciel de modélisation allait servir comme noyau pour le travail de conception, mais plusieurs autres logiciels supportaient les différents aspects du projet.

Étant donné que les étudiants ont créé des modèles numériques illustrant ou encapsulant les différents aspects architecturaux introduits par les exercices propédeutiques, et que l'approche pédagogique incite la réutilisation de ces modèles en tant que référents pendant le travail sur le projet plus tard pendant le trimestre, il était intéressant de voir si les méthodes et les aspects enseignés se sont retrouvés dans les présentations ou dans les projets trimestriels.

¹ Professeur : Temy Tidafi

Effectivement, il y a un lien direct entre les travaux des étudiants dans le cadre des exercices préparatoires et le projet en ce qui concerne les exercices sur le site et la fonction; la structure, le climat et les référents.

Les liens entre les exercices sur la forme et le projet trimestriel ne sont pas directement perceptibles, parce que les fonctions explorées du logiciel permettent une grande variété de formes. De plus, cet exercice avait comme objectif d'inciter les étudiants à toucher à une large panoplie de fonctions du logiciel pour apprendre leur fonctionnement.

En ce qui concerne les idées et les formes de l'exploration sémantique, certaines d'entre elles se sont retrouvées dans les explorations conceptuelles sur le projet trimestriel. Ainsi, l'utilité des exercices propédeutiques pour le projet trimestriel a pu être confirmée. Leur apport à la création d'un Espace de conception s'est avéré assez timide, étant donné le fait que (probablement de manque de temps) le nombre de variantes générées pour chaque exercice n'était pas grand, et de plus, il n'y avait pas un esprit de partage développé. En ce qui concerne leur contribution à l'élaboration d'une démarche de conception avec le numérique, nous avons mené des expériences d'observation pour étudier cette question.

10.2 Objectifs des observations

Les observations effectuées pendant le trimestre d'automne 2005 dans l'atelier spécialisé en CAO ont eu les objectifs suivants :

- Valider l'approche pédagogique, basée sur des exercices préparatoires. L'apprentissage de la conception architecturale sera observé et évalué par rapport aux critères déjà définis pendant l'observation exploratoire présentée dans le Chapitre 5. Des comparaisons qualitatives seront faites entre les résultats de cette première observation et celle décrite dans le présent Chapitre, ainsi qu'entre un travail en maquette et un travail avec le médium numérique observés en automne 2005.
- Observer les différences dans l'effet des exercices préparatoires dépendamment de la stratégie de leur introduction en atelier. Deux stratégies ont été évaluées : lancer les exercices propédeutiques au début du projet trimestriel, ou les appliquer sur un projet préparatoire. Dans le deuxième cas, le projet trimestriel commence une fois que les exercices préparatoires sont réalisés (et le projet préparatoire fini).

- Recenser les défauts et esquisser des voies complémentaires de développement de l'approche d'enseignement.
- Compléter la compréhension des démarches cognitives des étudiants, ainsi que l'influence des moyens informatiques sur elles, déjà esquissée à partir de l'observation exploratoire décrite dans le Chapitre 5, et la mettre à jour en fonction avec l'évolution de la nouvelle cohorte d'étudiants et les outils numériques.

10.3 Protocole de l'observation #2

Nous avons réalisé des observations sur le travail des étudiants selon le schéma établi dans le Chapitre 4. Cependant, certains changements ont été introduits dans le protocole des micro-observations dans le but d'améliorer leur fidélité comme témoins de processus cognitifs. Pour un tableau récapitulatif des protocoles d'observation, voir Annexe-8.

Le changement le plus important est le remplacement du travail individuel par du travail en équipe de deux. Ainsi, le protocole rétrospectif de verbalisation a été remplacé par un dialogue naturel entre les étudiants de chaque équipe (Fig. 40; légende sur la Fig. 5). De cette façon, les commentaires ont été faits simultanément avec le processus de conception et n'étaient pas déformés par l'oubli (comme c'était souvent le cas avec le protocole rétrospectif). Un autre effet positif était la simultanéité des données enregistrées pour chaque instant de travail : saisie d'écran, gestes et paroles. De cette façon, le travail de synchronisation n'est plus nécessaire, et la durée de visionnement des enregistrements est sérieusement diminuée. Pour permettre aux étudiants de se 'voir en travaillant' et de prendre conscience de leur démarche, les films ont été mis à leur disposition.

Un autre changement est le remplacement du travail en esquisse (à main levée sur papier) par du travail en maquette pour la séance de conception avec des moyens traditionnels. De cette façon, dans les deux cas, l'environnement de travail est en 3D.

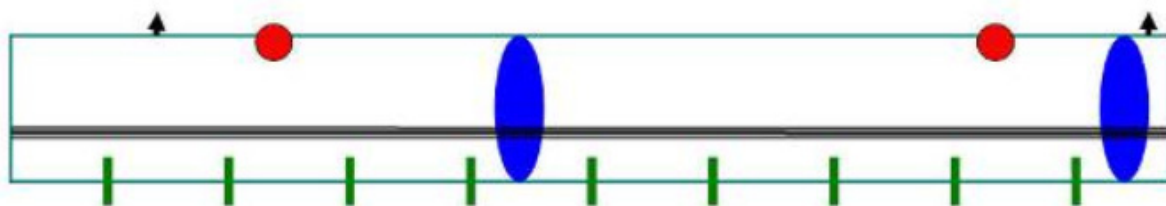


Figure 40: Changement du protocole des micro-observations (points rouges)

Chaque équipe d'étudiants a été explicitement invité à présenter son projet à la fin de la séance. Une caméra libre a été mise en disposition à cette fin. Cette présentation a deux objectifs : (1) mieux comprendre le projet et avoir une vue d'ensemble, et (2) voir le niveau de satisfaction des étudiants vis à vis de leur travail. Cela représentait une bonne expérience pour les étudiants aussi, parce qu'ils étaient obligés de faire un retour sur leur travail, de réfléchir sur ce qu'ils avaient fait, et de l'évaluer.

Un dernier changement technique a permis à chaque équipe de travailler à l'ordinateur avec deux souris : une pour chaque membre. De cette façon, la communication et l'interaction se sont faites de façon fluide.

10.4 Données

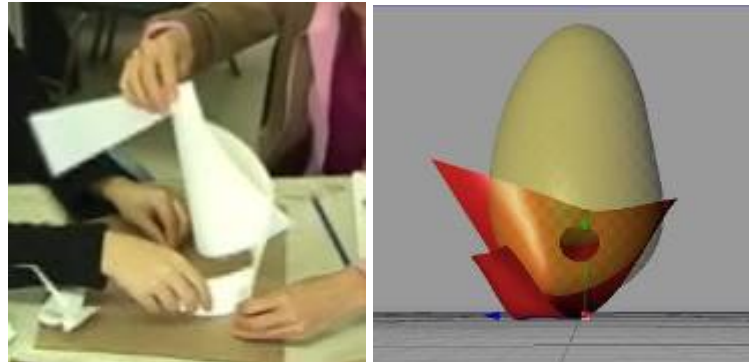
Dans ce qui suit, nous présentons les données recueillies pendant les micro-observations au début et à la fin du trimestre, ainsi que celles des questionnaires. Les projets trimestriels servent de fond pour l'interprétation des résultats et ne sont pas spécifiquement discutés. En troisième année de bac, 3 équipes ont participé aux micro-observations. Au niveau maîtrise, aussi 3 équipes ont été formées.

10.4.1 Au début du trimestre : papier et informatique

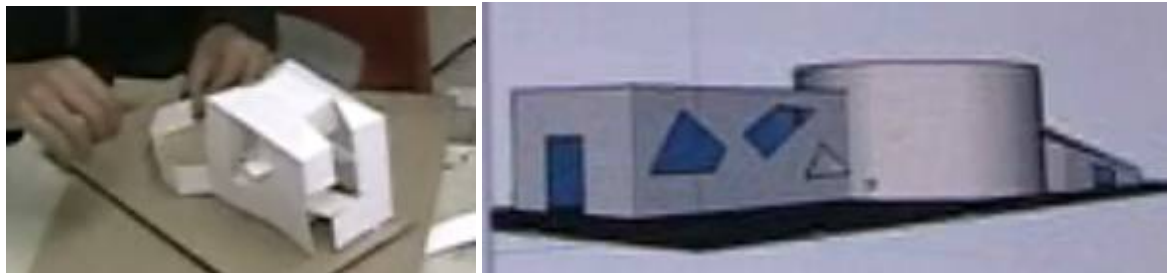
La tâche de la première séance d'enregistrement invite les étudiants à concevoir une composition architecturale sur le thème : « Accueil, rencontres et départ ». La démarche de ce projet devait se faire en maquette de carton et consistait à générer un espace tridimensionnel à partir d'un élément planaire (feuille de carton) par le seul jeu de plis et de coupes. Deux images de ce travail sont présentées sur la Figure 41-a et Figure 42-a.

Une séance d'enregistrement de travail de conception à l'ordinateur a eu lieu juste après le travail en maquette. La tâche architecturale portait sur le thème : « Mouvement, échanges et lumière ». D'après les conversations entre les étudiants, ce deuxième thème s'est avéré un peu plus difficile que le premier. Cependant, de bons projets conceptuels ont été élaborés. Deux équipes ont utilisé le logiciel de modélisation en 3D (dont ils avaient pris connaissance seulement au début du trimestre) et une équipe a utilisé SketchUp (qu'ils avaient appris dans le cours de CAO en deuxième année). Selon les chercheurs-évaluateurs, les modèles créés par les deux premières équipes étaient plus abstraits, plus

conceptuels (Fig. 41-b), tandis que le travail de l'équipe qui a utilisé SketchUp était plus architectural, mais aussi plus conventionnel. (Fig. 42-b).



*Figure 41: Micro-observation au début du trimestre : Automne 2005.
(a) Travail en maquette ; (b) travail à l'informatique (Équipe M-S)*



*Figure 42: Micro-observation au début du trimestre : Automne 2005, (Équipe A-A).
(a) Travail en maquette, (b) travail à l'ordinateur*

Les équipes sont restées les mêmes pour leur travail à l'ordinateur. Des exemples des mini-projets des deux équipes sont présentés sur les Figures 41 et 42, de l'équipe M-S et A-A respectivement. Certaines ressemblances peuvent être observées entre les maquettes numériques et celles en carton, réalisées par chacune des équipes.

10.4.2 À la fin du trimestre : informatique

Le thème du projet conceptuel demandé aux étudiants pendant la séance de micro-observation à la fin du trimestre, était le même que celui des observations exploratoires: «L'équilibre dynamique entre la légèreté et la masse». La figure 43 montre des exemples de ces projets.

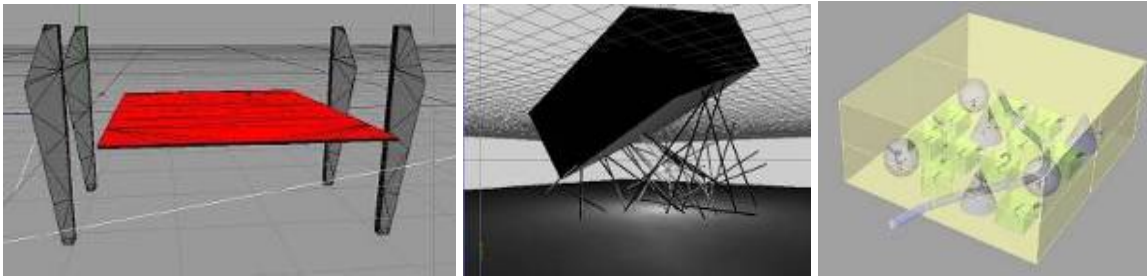


Figure 43: « L'équilibre dynamique entre la légèreté et la masse » (a) équipe A-A ; (b) équipe M-S ; et (c) équipe E-J-S

Toutes les trois équipes ont travaillé avec un logiciel de modélisation. Les projets de deux d'entre elles (Fig. 43 b et c) ont évolué avec discussions et explorations de variantes, pendant que celui sur la Fig. 43-a était décidé au tout début de la séance mais n'a pas pu être terminé.

10.4.3 Observations des étudiants en maîtrise d'architecture (hiver 2006)

Une autre structure d'exercices propédeutiques a été proposée dans le cadre de l'atelier de maîtrise en architecture (orientation CMAO). L'approche enseignée dans cet atelier privilégie la compréhension des processus créatifs et des précédents sans viser uniquement les résultats finaux du travail (De Paoli, 2002; Heylighen & Verstijnen, 2003).

L'exploration du médium à travers des exercices propédeutiques a été lancée dans le but d'offrir aux étudiants la possibilité d'essayer plusieurs stratégies de travail avec le numérique. Ceci pourrait aussi satisfaire les exigences des étudiants avec des différents styles cognitifs d'apprentissage. Après avoir parcouru et essayé des méthodes variées pendant la période préparatoire, ils pourraient choisir celles qui leur conviendraient le mieux.

Juste un logiciel a été choisi pour cet atelier de maîtrise (Cinema4D). Ce choix (parmi d'autres logiciels de modélisation 3D) a été déterminé par les critères suivants: la facilité relative d'apprentissage, caractère non-destructif des objets de la scène et leur organisation (en arborescence), ainsi que l'intégration de toutes les façons possibles de modélisation paramétrique et algorithmique : objets paramétriques, *plug-ins* algorithmiques, interface graphique de programmation (Xpresso) et langage de *script* (COFFEE).

Des séances d'observation du travail avec le médium numérique ont été tenues au début et à la fin du trimestre. Le protocole a été le même comme celui des observations en

troisième année d'architecture. La tâche pour la première séance a été de développer un « concept pour un bâtiment 'sensible' au soleil et à la lumière, qui abrite une salle d'exposition ». Le projet demandé pendant la deuxième séance était: « Théâtre d'été avec espace d'exposition au bord de la mer ».

10.4.4 Questionnaires

Deux questionnaires ont été remplis par les étudiants – un au début et un à la fin du trimestre. Les sommaires des réponses se trouvent dans les Annexes-5 et 6. L'analyse des données montre que l'estimation des étudiants par rapport à leur connaissance de logiciels a augmenté de 30% entre le début et la fin du trimestre. La proportion de l'utilisation de moyens informatiques par rapport à des méthodes traditionnelles a été inversée (de 3:2 en faveur des méthodes traditionnelles au début du trimestre, à 6:1 en faveur de l'informatique à la fin de l'atelier). Cependant, il faut tenir compte du fait que l'atelier a été spécialisé en CAO, donc les étudiants se sentaient obligés de travailler à l'ordinateur. Une indication plus objective de leur appropriation du médium informatique pour le travail sur des projets d'architecture, serait de répéter le questionnaire un an plus tard, par exemple. Un tel suivi a été fait avec les étudiants de la dernière cohorte observée (voir Chapitre 12).

Un regard plus détaillé sur les moyens informatiques utilisés pendant les différentes étapes du projet a démontré une préférence pour la modélisation 3D et les logiciels de DAO/CAO pour les activités suivantes: genèse d'un concept, mise en forme, validation et développement du projet. L'infographie et la page-web étaient préférées pour l'analyse et la présentation. Dans le cadre de l'atelier en maîtrise, la modélisation en 3D était préférée comme moyen, sauf pour l'analyse et la présentation.

L'appréciation générale de l'atelier par les étudiants a été assez positive. Des recommandations par rapport à l'ampleur du projet et l'organisation de l'atelier ont été faites.

10.5 Résultats

Ces observations ont l'objectif de valider l'approche pédagogique proposée par rapport à l'apprentissage des étudiants. Ceci se fera au travers d'analyses de la démarche de conception, les blocages et les idées déclenchés par le médium, le recours aux référents et le rapport au processus. Grâce au changement du protocole, un nouveau thème s'est ajouté

à ceux déjà présents dans les observations exploratoires (voir Chapitre 10.3): la communication pendant le design à l'ordinateur en équipe.

En cohérence avec la méthodologie qualitative adoptée pour cette recherche (voir Chapitre-4), les données ne sont pas traitées statistiquement pour être analysées. Une transcription et représentation synthétique a été faite pour tous les travaux (par rapport aux actions graphiques, expressions verbale et gestuelle, accompagnées d'images de l'avancement du projet). Trois séances de travail ont été codées entièrement, par rapport aux thèmes spécifiques d'intérêt théorique. Des moments identifiés comme cruciaux pour le projet ont été codés plus en détail - par rapport aux actions des concepteurs. Les données ont été interprétées par la suite.

Les résultats de cette première observation de validation seront présentés dans: actions du concepteur (thème guidé par les données), et démarche de conception architecturale (thème guidé par la théorie). Plus tard, les thèmes orientés plus spécialement vers les objectifs de cette recherche (blocages et déclencheurs d'idées, ainsi que le recours aux référents) se trouveront discutés. Des comparaisons qualitatives seront effectuées entre le travail à l'ordinateur du début et de la fin du trimestre, ainsi qu'entre la conception en maquette de carton et celle à l'ordinateur.

10.5.1 Actions du concepteur

Les actions du concepteur sont analysées surtout à partir des micro-observations suivantes : du travail en maquette de carton (au début du trimestre), et du deuxième travail à l'ordinateur (à la fin de l'atelier). Nous considérons que pendant le premier travail à l'ordinateur (au début de l'atelier) l'appropriation du logiciel n'était pas suffisante pour permettre l'observation du processus de conception, toutefois, certaines comparaisons ont pu être faites.

Actions

La segmentation des données a montré la présence de plus d'actions pendant le travail en maquette qu'à l'ordinateur. Ceci pourrait servir d'indicateur de la plus grande facilité de travailler en maquette en carton, mais peut aussi être dû au caractère différent des actions. Cette observation nous permet de considérer le recensement des idées émergées comme un indicateur plus révélateur que le nombre d'actions (voir le point 10.5.5 de ce Chapitre).

La présentation d'éléments non géométriques et non formels est restée difficile pendant le travail à l'ordinateur. Toutefois, il faut remarquer qu'avec les deux médiums de travail (carton et ordinateur), les étudiants utilisaient une feuille de papier pour écrire et ainsi extérioriser, noter et communiquer leurs idées, ce qui nous fait penser que la maquette en carton ne permet pas par elle-même la présentation de ces éléments abstraits, non plus.

Pendant le travail à l'ordinateur, les étudiants profitaient de la possibilité de 'se promener' dans l'espace intérieur de leur projet. La perception à partir d'un tel point de vue reste difficilement réalisable avec les médiums de travail traditionnel. Elle contribue certainement à la réflexion sur les qualités des espaces architecturaux créés.

Moments de réflexion

Des moments de réflexion étaient observés pendant la contemplation du modèle (maquette en carton ou numérique), ainsi que lors de changements de points de vue. Ces derniers s'exprimaient par modification de la position de la caméra à l'ordinateur (rotation, translation, *zoom*). En travaillant sur une maquette en carton, en plus de sa manipulation dans l'espace, les étudiants changent la position de la tête ou même du corps pour bien explorer l'objet. Ceci ajoute de la dynamique dans la communication et est susceptible de tirer des avantages de ces actions motrices (comme mentionné dans le Chapitre 6). Un autre contexte de réflexion a été observé pendant le travail à l'ordinateur : les moments du rendu. Les étudiants prennent ces moments (qui peuvent durer des fois quelques minutes) pour contempler l'apparition de l'image et pour commenter le modèle. Des associations d'idées émergent pendant ces moments.

À notre avis, la réflexion est l'activité qui a changé le plus pour les deux types de travail (individuel et collectif). Une grande partie des moments de réflexion est remplacée par des questionnements ou pensées exprimées à haute voix. Les moments de réflexion individuelle sont, presque toujours 'expliqués' après, pour en informer le co-équipier.

Techniques utilisées

Toutes les techniques numériques proposées par les exercices propédeutiques ont été essayées par la plupart des étudiants. Cependant, pendant les micro-expériences, chaque équipe a utilisé une ou deux techniques selon leurs préférences et aptitudes. Il est

intéressant de remarquer que les mêmes techniques ont été préférées pendant le travail sur les projets trimestriels.

10.5.2 Démarches de conception architecturale

Les démarches de conception observées pendant l'année académique 2005-2006 n'étaient pas individuelles mais en équipe. Ainsi, il est difficile de tirer des conclusions par rapport à la démarche de chaque étudiant. Cependant, la démarche collective est le produit de celles des individus y participants. De plus, souvent les aptitudes de chacun des co-équipiers sont exprimées dans les dialogues.

Maquette en carton - modèle numérique

Encore une fois, comme lors des expériences décrites dans le Chapitre 5 de ce document, nous avons remarqué des similitudes dans les expressions formelles observées en maquette et à l'ordinateur. Cet effet peut être remarqué sur les images des travaux de l'équipe M-S (Fig. 41 a, b), ainsi que celles de l'équipe A-A (Fig. 42 a, b).

Des ressemblances dans les méthodes de travail ont été observées également. L'équipe A-A, par exemple, a choisi une façon très 'rigoureuse' d'aborder le projet : en commençant par des primitives géométriques de base dans le cas du travail numérique, et par une grille de carrés pendant le travail en maquette-papier (cf. respectivement, Fig. 42b et Fig. 44 a,b).



Figure 44: (a) Dessin de la grille de base pour le travail en maquette de carton; (b) début de la maquette

Le travail avec le matériau (le carton) a été précédé par des discussions (qui ont duré 5 (M-S) et 10 (C-S-E) minutes). Une des équipes (A-A) s'est seulement dotée de méthode de travail (une grille) pendant les premières 18 minutes de la séance (Figure 44).

Le travail avec le logiciel a été précédé par des discussions qui ont duré entre 7 et 15 minutes (ce temps inclut l'interprétation des images sur l'équilibre dynamique). Les premières idées, qui sont, des fois, restées les plus fortes, ont surgi pendant ces discussions. Souvent, les groupes mettaient sur papier les points importants qui ressortaient. Cette activité les a aidés à mieux s'organiser et à ne pas oublier des idées. Une des équipes a eu recours à l'esquisse pour préciser la façon d'aborder les idées.

Étant donné que la conception architecturale est vue comme une « conversation réflexive avec les matériaux de la situation » (Schön 1983), nous avons essayé d'observer les indicateurs de ce modèle de conception dans le travail des étudiants, notamment : (1) rester ouvert à la découverte de phénomènes non prévus au début, et les intégrer dans le processus; (2) explorer plusieurs variantes comme possibles 'solutions'; (3) et exploiter l'expérience passée. Dans chacun des ateliers, une des équipes (M-S en bac et A-A en maîtrise) a adopté une posture très exploratoire et ainsi répondait bien aux indicateurs 1 et 2 mentionnés plus haut. Toutes les équipes ont eu recours à leur expérience précédente. À l'ordinateur, les essais de réutiliser directement cette expérience et de la transférer dans la nouvelle situation sous forme numérique se sont avérés difficiles.

Avec les deux médiums, les discussions précédant le travail sur l'objet étaient animées par des gestes qui imitaient la forme ou le fonctionnement du bâtiment à concevoir. Plus rarement, des aspects formels ont été dessinés sur papier pour mieux les communiquer au co-équipier.

Numérique - début du trimestre vs numérique - fin du trimestre

Le travail sur la petite tâche de conception a démontré des similitudes assez prononcées entre le travail en carton et avec le numérique au début du trimestre chez les étudiants en troisième année de Baccalauréat. Des ressemblances formelles, ainsi que des stratégies similaires à la genèse de la forme ont été relevées (Fig. 41 et 42). D'après nous, ce constat est dû au fait qu'au début du trimestre, les étudiants ne possédaient pas encore assez d'habiletés avec le numérique, donc ils essayaient de copier leur méthode de travail avec les médiums traditionnels. À la fin du trimestre, ils voulaient profiter des possibilités qui leur ont été offertes par le médium numérique. Ceci a amené des résultats différents (Fig. 43).

L'effet des exercices préparatoires était assez présent pendant la micro-observation du début de l'année dans l'atelier de Maîtrise où les méthodes numériques avaient un 'poids' relativement plus important par rapport à ceux de l'atelier en troisième année. Une explication possible est le fait qu'en maîtrise, les exercices préparatoires ont été structurés explicitement selon les méthodes numériques. Ceci aurait dû marquer plus les étudiants et les inciter à continuer l'exploration de ces techniques avancées pendant les micro-observations. Par contre, il n'y a pas eu une telle différence dans les méthodes de travail pendant les séances observées à la fin du trimestre en Baccalauréat et en Maîtrise.

Numérique - exploratoire vs. Numérique - mise à l'épreuve

Le travail en équipe a incité une discussion très riche au sein de toutes les équipes. Le côté sémantique et conceptuel a été exploré en profondeur. Deux des trois équipes (Fig. 43 b, c) ont fait des explorations très intéressantes. Une des équipes (Fig. 43-a) a eu une idée dès le début et a essayé de la représenter pour le reste du temps de travail (sans pour autant, pouvoir finaliser son travail à cause de manque de connaissances sur le logiciel).

Le temps d'exploration chez deux des trois équipes a été beaucoup plus long que le temps de présentation, ce qui est une différence comparativement aux observations des années précédentes. Il est nécessaire aussi de mentionner que l'approche pédagogique de tout l'atelier a mis une grande importance sur l'exploration.

La plupart des équipes sont restées ouvertes à la découverte de phénomènes non prévus au début du processus, pour les intégrer dans leur projet, ce qui est un indicateur de la présence d'une « conversation réflexive avec la situation ».

En général, nous avons identifié moins de préconceptions par rapport au design avec le numérique.

10.5.3 Variances

La génération de variances est un pré-requis pour la créativité et la conception d'un projet d'architecture en général (voir Chapitre 8). Nous avons analysé donc l'effet du travail avec le numérique sur cet aspect de la méthode de travail des étudiants.

Maquette en carton – modèle numérique

Cette comparaison a pu être faite avec les observations en troisième année de Bac. La différence entre le nombre d'idées générées en travaillant avec les deux médiums au début du trimestre est restée assez importante chez deux des trois équipes (M-S et E-C-S). Notamment, les variantes générées en maquette de carton ont été plus nombreuses que celles proposées en travaillant à l'ordinateur¹. La troisième équipe de chaque observation ne générait pas de variantes avec aucun des moyens de travail. Il faut noter que le niveau d'apprentissage du logiciel de cette équipe n'était pas satisfaisant, ce qui pourrait expliquer le résultat.

Numérique - exploratoire vs. Numérique - mise à l'épreuve

Les stratégies de conception observées chez les étudiants participant dans les observations exploratoires et chez les équipes de cette expérience de validation étaient aussi variées. Ainsi, une des équipes a fait plusieurs variantes sur la même idée (cinq variantes et deux modifications d'une des variantes, Fig. 45). Une autre équipe a travaillé sur la même idée et sur le même modèle numérique pendant toute la séance (Fig. 46 a). Un troisième groupe a développé son idée architecturale non pas en tant qu'objet statique, mais comme un objet en mouvement. Par conséquent, ils ont travaillé sur une animation, et ont présenté leur projet de cette façon (Fig. 46-b). Ce projet représente une 'potentialité' de solutions dépendamment du contexte (exprimée par le parcours de l'animation). Une des équipes de Bac a exploré des variations à partir de la distribution paramétrique des objets avec composante aléatoire (Fig. 43-b).

Voici quelques exemples des travaux sur la tâche de l'observation ponctuelle : théâtre d'été au bord de la mer :



Figure 45: Équipe L-A (plusieurs variantes)

¹ La micro-observation à la fin du trimestre a été prise en compte.

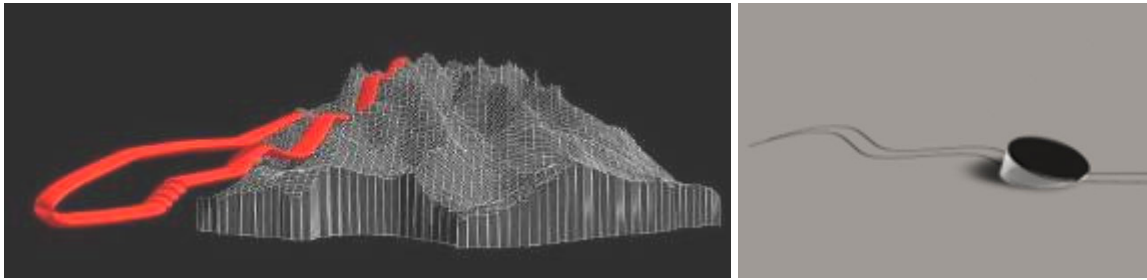


Figure 46: (a) Équipe CA-A (le théâtre est situé sur une île qui est modélisé aussi); (b) Équipe L-S-L qui a travaillé sur le concept du théâtre en tant qu'animation

Il est possible de remarquer une plus grande souplesse et variation dans les méthodes utilisées pendant cette observation de validation qu'à l'heure des observations exploratoires présentées dans le Chapitre 5. La tendance d'explorer différentes pistes vers des solutions possibles est aussi renforcée.

10.5.4 Blocages provoqués par l'outil

Certains blocages ont été observés en travaillant avec les deux médiums. Un bon exemple est le pliage du papier pour faire le toit en pente. Comme le 'matériau' pour le toit à 4 pentes se trouvait au milieu de la 'croix' qui devait produire toute la maison (Fig. 44-b), il a fallu faire un pli négatif pour réaliser une forme en pente. Ainsi, les contraintes du matériau, ont mené à une 'invention'.

À l'ordinateur, les blocages les plus prononcés se sont présentés chez une des trois équipes de Bac. Il semble que ces étudiants n'étaient pas du tout à l'aise avec le logiciel de modélisation et ceci a donné un travail non-fini comme résultat. Au fait, un des étudiants de cette équipe n'a pas utilisé le même logiciel pour son projet trimestriel, cependant, c'est celui-ci qui 'menait'¹ l'équipe. Mis à part les problèmes de cette équipe, les blocages rencontrés par les autres équipes, étaient liés aussi aux fonctionnalités du logiciel peu utilisées pendant le trimestre, et donc, pas bien connues.

Nous avons été témoins de difficultés de représenter une idée par un modèle numérique. Un tel exemple est de modéliser une toiture de type 'chapiteau de cirque' de façon de pouvoir 'jouer' avec les cordes de la structure, et de faire suivre le tissu couvrant. Un autre exemple est de faire un volume 'épouser' un autre (par exemple un bâtiment qui 'descend'

¹ Dans le cadre du projet de recherche CITÉ, nous avons observé 3 types de collaboration entre les membres d'une équipe : (1) travail ensemble; (2) un 'meneur' dans l'équipe, pendant que l'autre membre l'aide (3) alternance du 'meneur' dans l'équipe.

sur un terrain en pente irrégulière). Nous trouvons qu'en général, les difficultés illustrées par ces exemples sont liées à la modélisation d'objets qui sont interdépendants, mais qui restent assez flexibles pour permettre des explorations conceptuelles.

10.5.5 Déclencheurs d'idées

Un regard attentif a été porté également sur les déclencheurs d'idées pendant le travail observé. Le début de la séance comportait toujours une discussion nourrie par l'énoncé, qui durait entre 7 et 14 minutes pour les différentes équipes. Ainsi, les premières idées sont nées de façon verbale et gestuelle. Étant donné que ce schéma était omniprésent et indépendant du médium de travail, dans ce qui suit, nous discuterons surtout les idées provoquées par le travail avec l'outil. Dans ce cas, il s'agit de l'émergence d'idées par le phénomène de 'voir-comme' Goldschmidt (1996), ou par les 'transformations latérales' identifiées par Goel (1995). Si on peut appeler ce phénomène 'idée provoquée par le médium', il serait possible de trouver de tels événements pendant le travail en maquette de carton et aussi en numérique.

Un tel exemple remarqué pendant les micro-observations était le repositionnement accidentel d'une partie de la maquette en carton, qui a reçu une attention spéciale et est devenu après, un élément structurant du projet (Fig. 47-a). Un autre phénomène de 'voir-comme' a été la reconsidération d'une opération arbitraire de modification de la forme comme espace fonctionnel du bâtiment (Fig. 47-b).



Figure 47: Moments d'émergence d'idées provoquées par le médium de travail (a) maquette en carton, (b) modèle numérique

Linkograph

Comme les intérêts de cette recherche combinent de différents domaines de connaissances et incluent des actions multimodales (verbales, graphiques, gestuelles) qui doivent être

considérées dans leur interaction simultanée, une méthode qui permet d'intégrer cette information a dû être trouvée. Ce besoin a évoqué l'idée d'un outil qui permet un codage interactif des actions selon les thèmes d'intérêt, et une visualisation des liens entre elles. Sans oublier qu'il est important d'étudier l'influence de ces actions sur la génération d'idées.

Dans ce but, le Linkograph développé par Goldschmidt (1994, 1996) a été pris comme base pour la création d'un prototype numérique d'analyse des actions et de la communication des équipes. Ainsi, des catégories de différents thèmes peuvent être assignées interactivement à chaque action. La couleur et la forme qui représentent chaque action ont des significations par rapport aux différents thèmes de codage (voir les légendes sur les graphiques de la Figure 48). Le 'pattern' obtenu dans le Linkograph par l'enchaînement d'actions liées entre elles, indique l'ampleur et la provenance des idées. Les résultats obtenus à l'aide de cette méthode d'analyse ont fait l'objet d'une communication par rapport au travail en équipe à l'ordinateur et le langage de communication (Iordanova, Heaton, & Guité, 2006).

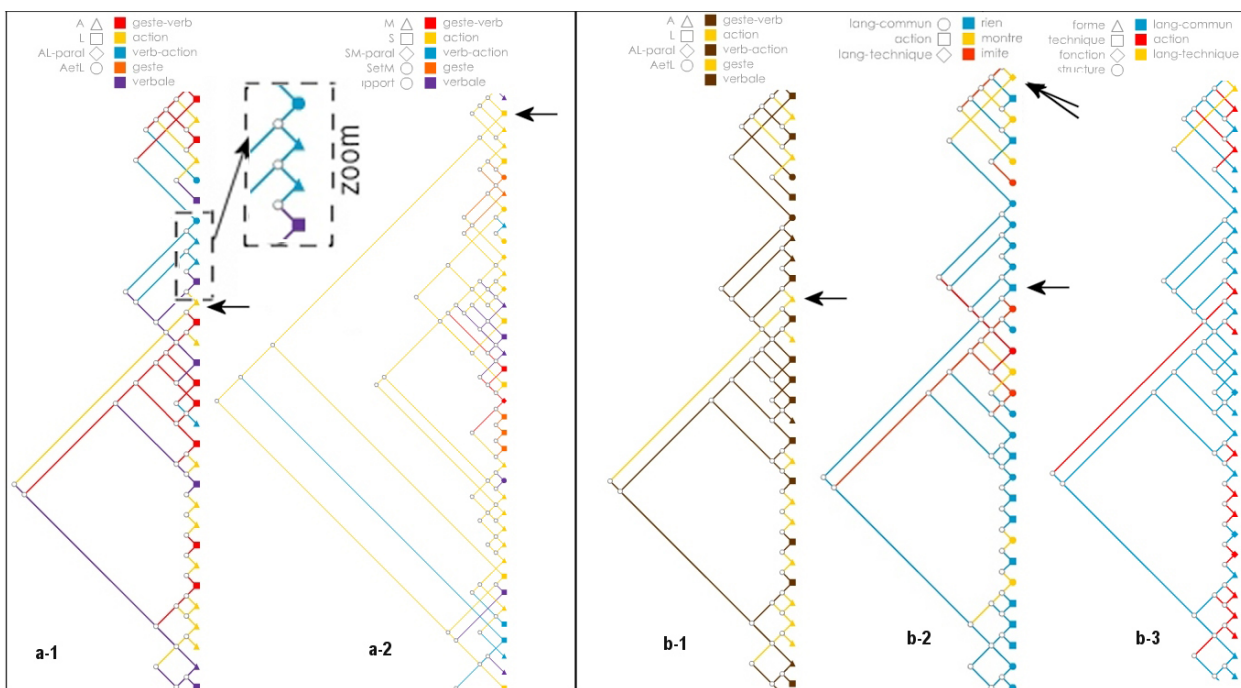


Figure 48: Linkograph.

A) Comparaison de moments de déclenchement d'idées à l'ordinateur (a1) et en maquette de carton (a2); Le codage des graphiques est selon les mêmes thèmes : la couleur indique différentes modalités de communication, tandis que la forme montre l'intervenant;

B) Un extrait du travail à l'ordinateur, codé selon des thèmes différents : (b2) acteur et modalité de communication; (b2) sens des gestes et contenu de la communication; (b3) aspect du projet et contenu de la communication

En étudiant les liens entre le ‘type de communication’ et le pattern généré à l’aide du Linkograph, nous avons remarqué que les idées émergées après la première discussion (donc, pendant le travail sur l’objet en conception) sont provoquées plutôt par une action sur l’objet. Ceci peut être remarqué sur les exemples a-1 et a-2 de la Figure 48 où l’origine du grand triangle est codée en tant qu’action graphique dans les deux cas (travail numérique et modèle en carton).

L’analyse à l’aide du Linkograph est réalisée pour des moments d’émergence d’idées. Le but est de comprendre l’effet des catégories étudiées sur le processus créatif. Malgré l’intérêt prononcé de travailler à l’aide du Linkograph, après quelques cas analysés, nous nous sommes rendu compte qu’étant donné l’absence de manipulation statistique des données, le Linkograph ne nous donne pratiquement pas d’information supplémentaire par rapport aux processus observés. Autrement dit, après le codage de chaque segment selon les thèmes d’intérêt et en lien avec les moments de déclenchement d’idées, une ‘lecture’ attentive des données ainsi traitées peut produire les mêmes interprétations des données. Ce fait n’est pas sans rappeler la critique de Cross (2006) par rapport au Linkograph, notamment qu’il ne peut pas expliquer pourquoi une idée a de l’importance ou non. La méthode purement qualitative d’interprétation des données s’avère plus susceptible à répondre à ce type de questions sur la compréhension des phénomènes observés.

Lien entre explorations et déclenchement d’idées

Les périodes d’explorations dynamiques de l’objet en conception ont été spécifiquement étudiées pour établir leurs liens au déclenchement d’idées. Les deux équipes qui ont mené plus d’exploration autour de leur objet en conception, ont eu des idées provoquées par la manipulation de la maquette numérique dans le logiciel. Ainsi, une idée (d’imbriquer des ‘mondes’ à différentes échelles) a été provoquée par l’effet du ‘zoom’ sur l’objet numérique (Fig. 49-a).

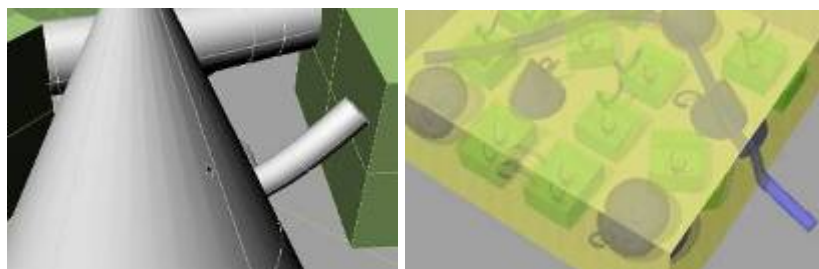


Figure 49: (a) ‘zoom’ sur l’objet ; (b) création d’objets à l’intérieur d’autres objets

Une autre idée a été provoquée par l'application d'une fonction qui révèle la 'structure' (les arêtes) de l'objet numérique. Ce changement dans la représentation a évoqué l'idée d'utiliser une autre fonctionnalité du logiciel qui permet d'ajouter une composante aléatoire dans la scène. La finalité que le premier objet visait a été gardée, et même sa performance en tant que support s'est trouvée améliorée (fig. 50-a, b, c).

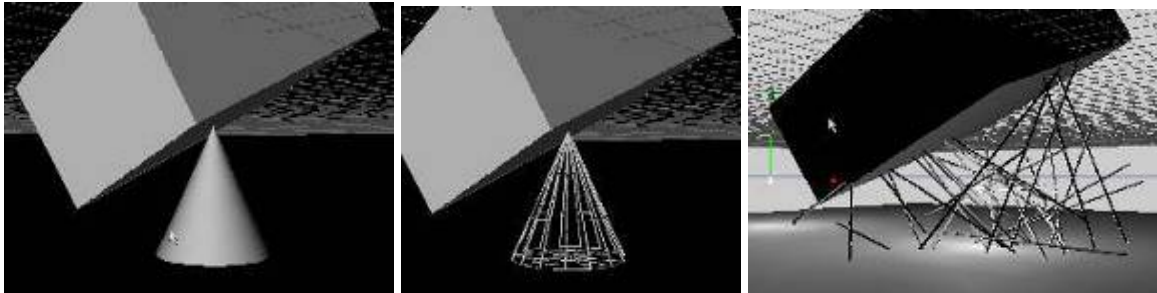


Figure 50: (a) un cône est utilisé comme support du parallélépipède ; (b) visualisation de la 'structure' du cône ; (c) distribution semi-aléatoire des tiges structurelles

Le travail d'exploration a souvent été fait à l'aide de modification des valeurs des fonctions paramétrées. Souvent les étudiants disaient 'amuse-toi' et commençaient à 'jouer' avec les nombres des paramètres (et non pas avec l'objet lui-même), laissant de cette manière une partie du contrôle sur la scène au logiciel.

La transparence a été utilisée comme outil d'exploration aussi. Les étudiants 'faisaient des promenades' à l'intérieur des objets pour mieux imaginer l'atmosphère et la lumière dans les espaces qu'ils ont créés.

Cette observation nous a démontré encore une fois qu'après une connaissance adéquate de l'outil informatique, il peut devenir un médium de travail, ainsi déclenchant des idées créatives pendant l'élaboration du projet. Cependant, il serait utile d'avoir des fonctionnalités permettant d'explorer aussi des caractéristiques non formelles des objets. À notre avis, l'étudiant devrait posséder plus de méthodes de manipulation et de modification du modèle possible, pour pouvoir faire surgir de nouvelles idées.

10.5.6 Recours aux référents

Ce thème n'était pas spécialement observé pendant cette expérience. Il le sera pendant les observations de validation des stratégies didactiques proposées dans le cadre de cette recherche (Chapitre 12).

Si nous considérons les modèles réalisés par les étudiants pendant le travail sur les exercices propédeutiques comme référents, il est possible d'observer leur utilisation ou non pendant les séances de micro-observation.

Encore une fois (comme lors de la deuxième expérience de l'automne 2004), 'l'équilibre dynamique devait être 'trouvé' à partir d'images de référence. Le travail d'interprétation des images et la phrase de l'énoncé sont assez réussis et les discussions intenses. Toutes les équipes ont 'correctement' interprété les images. À différentes étapes de la discussion, elles ont mentionné littéralement la partie de la phrase remplacée par les points de suspension : 'équilibre dynamique', même si elles ne se sont pas arrêtées nécessairement à elle pour le concept de leur design. Ce n'est que des référents expressifs qui ont été donnés aux étudiants (voir Fig. 19, Chapitre 5.4)

10.5.7 Collaboration, communication

Cet aspect du travail a déjà fait objet d'une communication (Iordanova et al., 2006), et les résultats ne seront que présentés brièvement ici. Nous avons été témoin de diverses stratégies de travail de la part des trois équipes. Au niveau de la façon de collaborer autour du projet, il y a eu une équipe avec un seul 'meneur' (la personne qui prend les décisions les réalise aussi) ; une équipe où les rôles étaient un peu plus équilibrés (alternance de la prise de décision, mais l'exécution se faisait toujours par la même personne) ; et enfin, une équipe où la discussion se faisait à trois, et la personne qui manipulait la souris réalisait les demandes de ses collègues. En général, la souris (la main de contrôle) passait assez régulièrement d'une personne à une autre. C'étaient des passages naturels qui se faisaient dans le respect de l'autrui et de ses idées.

Nous avons remarqué des périodes d'explorations parallèles de l'objet en conception pendant le travail en maquette de carton (chaque participant travaillait sur sa propre petite maquette). Pendant le travail à l'ordinateur, une alternation séquentielle des rôles s'installait (en travaillant avec deux souris), ou encore, une relation de 'instruction-réalisation' a été observée quand les étudiants avaient une souris pour les deux coéquipiers.

En ce qui concerne l'attitude envers l'ordinateur, nous avons identifié des passages continus de l'espace réel (imaginé et imité) vers l'espace virtuel de l'ordinateur. Il est alors, possible de conclure que l'espace virtuel est une prolongation du monde réel, mais aussi de celui dans l'imaginaire. Un objet virtuel commence par une représentation à

l'ordinateur des premières intentions par rapport au projet (transposition du monde réel ou mental), mais peut après évoluer de façon à ne plus correspondre à une figuration mentale existante. Ceci pourrait expliquer les moments de surprise et de découverte que l'on trouve pendant le processus de conception. Dépendamment des méthodes numériques utilisées, l'objet de conception peut être plus au moins complémentaire à l'objet réel ou imaginé qui a été à son origine. Dans cet aspect, l'ordinateur peut être considéré comme un 'membre' de l'équipe qui a une contribution à l'évolution du projet.

En observant les gestes de 'montrer' et 'd'imiter', nous avons trouvé des comportements similaires avec les deux médiums de travail. 'Imiter' est un peu moins répandu en travaillant avec la maquette en carton. Ceci peut être le résultat de la présence physique de l'objet en conception qui peut être utilisé pour montrer directement sur lui-même (modifications, flux des gens, etc.).

Nous avons aussi étudié les différences dans l'expression langagière en travaillant avec les deux médiums. Dans les deux cas, une quantité considérable de langage 'technique' (lié à l'outil ou au matériau) a été relevée. Un dialecte 'technique' a été d'usage constant pendant le travail à l'ordinateur, étant donné que le vocabulaire spécifique a été familier pour les deux coéquipiers et ne provoquait pas de malentendus. En cherchant des liens entre le 'contenu du design'¹ et le type de langage utilisé, nous avons trouvé qu'à l'exception du 'contenu spécifique à l'outil', le langage technique a été utilisé pour le contenu 'formel', mais beaucoup moins quand il s'agit de contenu 'fonction' ou 'structure'. Par exemple, l'élaboration de l'idée de design présentée par le grand triangle sur l'image b-3 de la Figure 48, a été réalisée seulement avec du 'langage commun'.

Les expressions verbales de l'étudiant qui manipule l'ordinateur restent souvent non-terminées et influencées par la terminologie du logiciel. Ce résultat est compréhensible, et montre que pour réaliser les actions à l'ordinateur, l'étudiant en question a besoin de réfléchir et ceci interrompt sa verbalisation. La réflexion peut concerner la concrétisation d'une intention, mais aussi sa réalisation technique.

Cette recherche a montré une collaboration enrichissante entre les étudiants en travaillant sur un projet à l'ordinateur. Ils ont été très satisfaits de leur expérience de travail en équipe de deux. En ce qui concerne la communication entre eux, il s'est avéré qu'elle est

¹ Les catégories de ce thème sont : forme, fonction, structure, contenu spécifique à l'outil

influencée par l'outil et par le matériau du travail, surtout pendant la discussion de la forme, et beaucoup moins pendant la réflexion sur la fonction et la structure de l'objet architectural en conception.

10.6 En conclusion

Une discussion organisée après la critique finale des projets, a pu démontrer que les étudiants ont beaucoup apprécié leur expérience en atelier. Plusieurs d'entre eux ont été contents d'avoir essayé « une approche différente » du design architectural. Ils ont dit d'avoir compris que l'ordinateur peut changer la méthode de conception, aussi que l'architecture créée. D'après eux, cet atelier a apporté un changement important dans leur façon de penser l'architecture en leur donnant beaucoup plus de liberté (par rapport à leur imagination, aussi que dans l'expression des idées).

Par rapport à l'utilisation des fonctionnalités paramétriques du logiciel, nous avons remarqué que les étudiants qui ont travaillé avec Cinema4D, ont tous utilisé le plug-in de distribution paramétrique Jenna. Trois d'entre eux disent de l'avoir utilisé 'très souvent' et un 'souvent'. Pratiquement tous les étudiants ont eu recours à Jenna pour la conception et la réalisation des structures répétitives dans leurs projets. De plus, pendant les séances de micro-observation, une bonne partie de l'exploration se faisait avec des variations paramétriques. Ceci est à l'encontre de l'avis de Talbott (2004) qui trouve que les logiciels paramétriques ne permettent pas à la pensée créative de se manifester de façon optimale. Nous allons discuter d'avantage sur ce sujet dans la dernière partie de cette étude.

À partir des moments de blocage observés pendant le processus de création à l'ordinateur, nous avons identifié la difficulté (ou l'impossibilité) de représenter des informations non-géométriques comme une des raisons pour ces blocages. Une autre intention qui est difficile à exprimer avec les outils de CAO, est le lien entre certains éléments (entre la structure et l'élément soutenu, par exemple). Il est évident que la stratégie pédagogique n'a pas réussi à améliorer ces difficultés relevées lors de l'Observation #2, ici reportée.

Sur la base des observations des moments de déclenchement d'idées 'provoquées par le médium', nous avons trouvé: (1) que les moments de pause et de 'contemplation' de l'objet en conception sont propices à la naissance d'idées; (2) que la manipulation de la caméra pour avoir de différents points de vue de l'objet, ainsi que pour l'explorer de

l'intérieur apportent un regard différent sur les espaces et le projet; (3) que les différents types de transformations appliquées sur l'objet peuvent créer une multitude de moments de 'voir-comme' qui mènent à de nouvelles idées. Cependant, les explorations basées sur la manipulation des savoir-faire architecturaux sont assez limitées (par rapport à l'ensoleillement et l'analyse du site, par exemple).

Même si les manifestations d'une 'conversation réflexive' avec l'objet en conception sont difficiles à cerner, nous pensons avoir identifié de tels moments. Souvent, ils se produisent quand l'étudiant induit des changements non-contrôlés sur le modèle. À ces moments-là, la réponse du médium est 'attendue'. Ce sont alors les variations continues des paramètres d'une fonctionnalité du logiciel qui jouent le rôle d'exploration et de découverte.

D'autres auteurs, travaillant sur ce thème trouvent aussi que la 'perte de contrôle' pendant le travail avec des algorithmes qui génèrent des volumes, est souvent utilisée pour créer un effet de surprise, et ainsi, pour apporter une nouvelle idée. Souvent, ces algorithmes sont inspirés par des lois et des formes de la nature (par exemple : géométrie de la nature, géométrie de la mousse (Weinstock, 2006); *Morphogenetic Design* (Hensel, 2006); *Polymorphism* (Menges, 2006b), etc.). Des algorithmes sont des fois écrits spécialement pour modéliser le comportement d'un phénomène ou élément architectural, ou encore, pour servir à des fins spécifiques, comme l'analyse urbaine (Lang, 2000), la simulation du vent *Wind Flow* (Weinstock & Statopoulos, 2006), ou la configuration de la structure d'un bâtiment avec une volumétrie complexe (Kolatan & MacDonald, 2000). Un tel exemple est la toiture de la cour du *British museum* dont la forme est générée à l'aide d'algorithmes qui optimisent la distribution des efforts dans les nœuds de la structure (Menges, 2006a). À notre avis, il serait très profitable pour les étudiants d'avoir accès à de telles connaissances et savoir-faire sans avoir à les créer entièrement.

Suivant les stratégies pédagogiques établies au début de cette Partie-IV, l'atelier devrait : (1) proposer aux étudiants des méthodes qui permettent d'agir sur le processus de création d'un objet plutôt que sur la représentation de son résultat seulement; (2) enseigner des manières de 'décrire' ce processus, ainsi que de modéliser des connaissances et savoir-faire architecturaux; et (3) encourager la génération d'idées multiples sur la base d'explorations qui intègrent des connaissances du domaine. Il est possible de conclure que ces stratégies ont été suivies par l'enseignant. Les étudiants ont tous eu l'occasion de les utiliser et de les intégrer (ou non) dans leurs démarches de conception. En cohérence avec les évidences

cognitives du Chapitre 7, nous sommes d'avis que même si ces connaissances et méthodes ne soient pas utilisées tout de suite, elles seront reconsidérées et éventuellement reprises à une étape ultérieure du développement de l'étudiant. De plus, les moyens didactiques déployés dans le cadre de la Partie V de ce document donneront des bases plus stables pour cette intégration. Sur un plan plus général, la démarche des étudiants a été enrichie par des méthodes nouvelles. Leur Espace de conception a été élargi, mais à notre avis, pas à un degré suffisant pour permettre le recours aux savoir-faire architecturaux variés. Ces lacunes seront reconsidérées dans la Partie suivante.

Partie V. Moyens didactiques

Cette dernière Partie de la recherche doctorale est consacrée à l'opérationnalisation de la composante didactique de la méthode d'enseignement de la conception architecturale, définie à la fin de la Partie III de la thèse. Cette méthode est fondée essentiellement sur des explorations de l'objet en conception basées sur la manipulation de savoir-faire architecturaux. Elle vise à compléter les méthodes d'enseignement déjà utilisées dans les écoles par une approche qui tire profit des possibilités du médium numérique pour enseigner des savoir-faire architecturaux et aider l'élaboration d'une démarche de conception chez chaque étudiant.

Dans le cadre de la Partie-I de ce document, nous avons identifié le rôle important et les fonctions variées des référents dans l'Espace de conception des architectes. À partir de l'étude de la littérature sur la cognition du design, il a été conclu que les précédents et les *scripts* (déroulement d'une situation déjà connue, cf. Chapitre 6) servent de raccourcis encapsulant de savoir-faire contextuel, qui est aussi transférable en d'autres situations. Nous trouvons donc approprié d'assister les étudiants dans l'élaboration de leur démarche de conception par le biais de référents qui encodent des savoir-faire architecturaux. Ces derniers contiennent des connaissances procédurales, donc, ont un aspect dynamique. Pour garder cette caractéristique, les référents seront interactifs. Étant donné la potentielle multiplicité de ces derniers, il semble pertinent de les organiser dans une librairie facilement accessible dans l'environnement numérique de travail de conception.

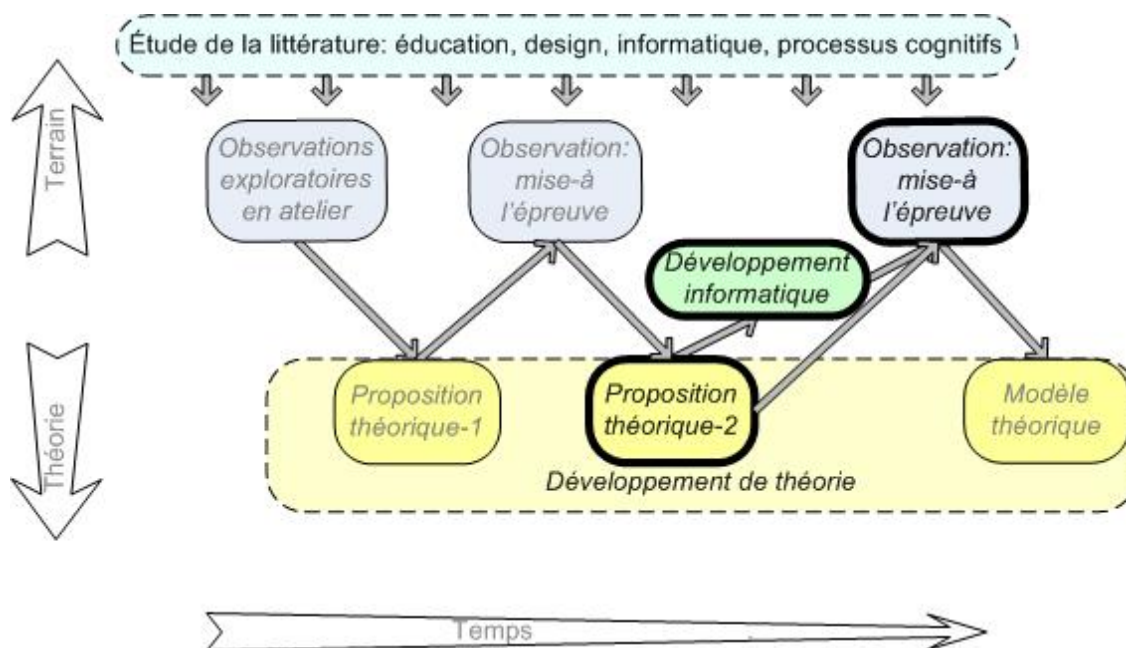


Figure 51: Place de la proposition de stratégie didactique dans le schéma général de cette recherche

Dans l'étude qui suit, nous allons créer un modèle théorique de la librairie de référents interactifs, susceptible d'assister les étudiants dans leur apprentissage. De point de vue méthodologique, créer un modèle théorique est l'objectif d'une recherche de type 'théorie ancrée'. Cette modélisation devrait se baser sur des observations en atelier, comme nous les avons présentées dans le cadre de Chapitres 5 et 10. La démarche schématisée sur la Figure 51, est rendue à sa phase centrale, l'élaboration d'un modèle théorique de la proposition des moyens didactiques (en gras sur le schéma).

Le modèle théorique de la librairie, ensemble avec un prototype numérique réalisé sur cette base feront l'objet du Chapitre 11. Son introduction en atelier d'architecture sera discutée dans le Chapitre 12. La validation de la librairie sera réalisée au travers d'observations en atelier selon le protocole établi déjà par les observations précédentes.

Nous ne raisonnons que sur des modèles

(Paul Valéry, *Eupalinos*)

Chapitre 11. Modélisation d'une librairie de référents interactifs d'aide à l'enseignement des savoir-faire architecturaux : LibReArchI

Dans ce chapitre, nous allons d'abord proposer un modèle théorique d'une librairie de référents interactifs qui aurait comme objectif d'assister les étudiants dans l'élaboration de leurs propres démarches de conception avec le numérique. Il s'agit de l'aspect didactique de la méthode d'enseignement proposée à la fin de la Partie III. Après, nous nous attarderons sur la réalisation pratique de cette librairie. Un prototype numérique sera créé dans le but de valider le modèle proposé.

Utilisant le terme modèle nous ressentons la nécessité de parler du sens dans lequel il est utilisé dans le contexte de cette recherche. Dans le cadre du Chapitre 6, nous l'avons mentionné dans son sens cognitif, par rapport au 'modèle mental' de Johnson-Laird (1983). Nous l'utilisons à plusieurs reprises concernant le modèle théorique de la librairie de référents proposée, ainsi que les modèles des référents eux-mêmes. Plus tard, quand il s'agira du prototype numérique, nous parlerons de modèle numérique interactif de chaque référent ou morceau de savoir-faire. Dans ce qui suit, nous essayerons d'étudier et clarifier ce terme.

11.1 Terminologie : modèle et modélisation

Le modèle est un concept complexe et basé sur l'analogie, qui a une grande diversité de significations, fonctions et utilisations. Une confusion peut être introduite encore par ses deux significations de base: quelque chose qui sert comme modèle (exemple) d'une autre chose ; et ... son opposé – la 'chose'-même !

D'après Hesse (1966), il n'y a pas de consensus dans la littérature sur la signification du terme 'modèle' par rapport à la science. Le concept 'modèle' couvre, ensemble avec le

concept ‘analogue’ un spectre large et continu d’exemples. Broadbeck¹ ajoute que s’il demande à dix constructeurs de modèles « qu’est-ce qu’un modèle et à quoi il sert ? », il va recevoir au moins cinq réponses différentes, ou apparemment différentes.

Il serait logique de supposer que le sens premier du modèle est le modèle réduit et/ou simplifié d’un objet (ou phénomène). L’acceptation courante du sens différent de celui du ‘modèle réduit’, se fait dans un contexte scientifique, dans les travaux de Kevin et Maxwell en 19^e siècle. Maxwell² appelle cette méthode ‘analogie physique’ et la décrit ainsi: « *By physical analogy I mean that particular resemblance between the laws of a science and the laws of another science which makes one of the two sciences serve to illustrate the other* ».

Si nous établissons un lien entre les analogues d’une construction d’analogie et le modèle, nous pouvons dire que le modèle est un élargissement, une complexification des analogues discutés dans le Chapitre 2 de ce travail. De plus, il s’occupe de la ressemblance dans les structures et les organisations des ‘analogues’ et non pas de n’importe quelle autre caractéristique. Dans certains cas, un modèle peut servir à la fois de représentation (objet d’analyse) et aussi d’aide à l’explication du fonctionnement d’un phénomène réel. Ce dernier objectif peut sembler absurde, mais il ne faut pas oublier que la modélisation informatique des processus physiologiques dans le cerveau a permis la découverte de nouveaux principes de fonctionnement du cerveau biologique (Pinker, 1999)!

11.1.1 Le modèle - syntaxe de la théorie

Turbayne (1970) écrit que les modèles sont un prélude nécessaire à la création de théories. L’auteur comprend le modèle comme étant la structure de la théorie. Nash (cité dans Leatherdale, 1974) pousse cette réflexion plus loin en écrivant:

Always a scientific theory is the aggregate of a formalism and a model. The formalism constitutes the deductive machinery required for the theory's function as a correlative device; the model gives rise to the multitude of semantic rules and, [...] much more besides. (Leatherdale 1974, p. 45)

Ces réflexions démontrent que le modèle est une généralisation de la théorie, basée sur sa structure ou son organisation syntactique. De cette façon, nous pouvons imaginer plusieurs théories attachées au même modèle de structure, organisation ou fonctionnement.

¹ Cité dans Leatherdale, 1974

² *ibid*

11.1.2 Le modèle comme structure

Le sens du modèle comme structure et organisation touche aux propriétés les plus profondes des objets, des théories ou des phénomènes modélisés. Ainsi, pour comprendre comment et pourquoi un objet ou un phénomène manifestent certaines propriétés, le chercheur est amené à imaginer (ou modéliser) la structure ou l'organisation interne de ce phénomène, qui cause la manifestation de ces propriétés.

De la même façon, Achinstein (1968) voit le rôle du modèle comme attribution d'une structure interne, d'une composition ou d'un mécanisme aux objets ou aux systèmes dans le but d'expliquer leurs caractéristiques et propriétés. Le rôle du modèle dans la science est vu aussi comme une analogie neutre qui donne une base, un programme pour l'extension d'une théorie à laquelle il est attaché; ou encore comme des lois sémantiques qui nous permettent de prévoir ou de 'prédire' des attributs à des objets qui ne peuvent pas être observés ou perçus. Le niveau le plus haut de généralité de ces modèles est atteint par le modèle mathématique des simulations de phénomènes. Le modèle est le lien obligatoire entre la théorie mathématique et l'expérience. Il joue un rôle crucial à la fois heuristique et explicatif en science.

11.1.3 Modèle et apprentissage

Les modèles jouent un rôle important pour l'apprentissage. D'après Morgan (1999), l'apprentissage à partir de modèles se produit de deux façons : en construisant un modèle et en le manipulant. L'auteur souligne qu'il n'y a pas de recette pour la méthode de construction de modèles, mais même la réflexion sur le 'comment' nous apprend sur le phénomène à modéliser. Une fois le modèle bâti, il faut le manipuler pour élucider ses secrets. Cette opinion est cohérente avec les conclusions des études cognitives sur l'apprentissage, ainsi qu'avec la posture constructiviste adoptée par notre recherche.

La méthodologie utilisée pour construire et pour manipuler un modèle peut être différente dépendamment de la matérialité du modèle. Certains modèles dynamiques, qui incluent la composante du temps, sont réalisés en tant que simulations (SE06). Ces dernières représentent l'évolution dans le temps d'un phénomène ou d'un objet. Ainsi, on peut conclure qu'une simulation est le modèle d'un processus (Hartmann, 1996). Avec la possibilité de décrire un processus, la simulation sera un élément important du

développement des moyens didactiques pour l'enseignement de la conception architecturale.

11.1.4 Modèle théorique, mathématique ou informatique

Leatherdale (1974) considère que les modèles jouent un rôle essentiel dans la réduction de la multiplicité des phénomènes aux systèmes conceptuellement maniables. C'est exactement ici que repose le danger d'une utilisation non avertie ou irresponsable des modèles. Dépendamment de la compréhension avec laquelle un modèle est fait et la portée qui est attribuée aux résultats produits, son fonctionnement peut s'avérer correct ou non du point de vue scientifique.

Comme nous l'avons déjà mentionné, pour arriver à la création d'un modèle informatique, il faut d'abord avoir un modèle théorique du phénomène à modéliser. À l'étape suivante, dépendamment de la nature de ce phénomène, le chercheur passera ou non par la construction d'un modèle mathématique (ou logique). Certains phénomènes se prêtent directement à une modélisation informatique. Il existe des phénomènes qui ne sont même pas modélisables mathématiquement. Dans ce cas, la modélisation informatique se fait avec des langages de haut niveau qui permettent une description du modèle théorique et son fonctionnement.

Par rapport à la simplification des modèles mathématiques, en passant par un modèle théorique, Fürth (cité par Leatherdale, 1974) écrit:

... the parameters, appearing in the equations meant to express the laws of physics, do not refer to actual physical systems, but to fictitious systems which are constructions of the theoretical physicist and only bear a certain resemblance in their behaviour to real physical systems. (Leatherdale, 1974, p. 81)

Ceci nous rend conscients du danger de créer un modèle faux, insuffisant ou mensonger qui nous entraînerait vers des voies scientifiques erronées. Une approche systémique essaiera de résoudre ce problème.

11.1.5 Modèle systémique

Le modèle systémique est une structure formalisée utilisée pour rendre compte d'un ensemble de phénomènes perçus comme complexes. Il aborde la problématique de la complexité du monde réel et essaie d'en tenir compte dans les modèles qui le décrivent. Ce

concept est développé dans sa plénitude dans les travaux de Edgar Morin (1986) et Le Moigne (1990). Une réflexion de Pascal¹ sur le sujet vient les appuyer:

Toutes choses étant causées et causantes, aidées et aidantes, médiatisées et immédiates, et toutes s'entretenant par un lien naturel et insensible qui lie les plus éloignées et les plus différentes, je tiens impossible de connaître le parties sans connaître le tout, non plus que de connaître le tout sans connaître particulièrement les parties.

D'après la définition de Jean-Louis Le Moigne (1990): « Un modèle est une production de l'esprit visant à représenter symboliquement un phénomène. »

Selon G. Bachelard, (1934), c'est une modélisation qui exprime cette « méditation de l'objet par le sujet qui prend toujours la forme de projet », elle se veut toujours téléologique ou projective (quel projet?) et phénoménologique (quelles actions et fonctions?). Elle diffère fondamentalement de la modélisation analytique, vu qu'elle assume explicitement le rôle du modélisateur et de ses projets, et qu'elle privilégie toujours la modélisation de 'l'acte' sur 'la chose': au lieu de partir de la question « de quoi c'est fait? » en cherchant à y répondre par une énumération exhaustive 'fermant le modèle', elle part de la question « qu'est-ce que ça fait, pourquoi? » en maintenant toujours 'le modèle ouvert': l'identification de quelques fonctions (fonctionnements et finalités) ne prétend jamais à l'exhaustivité (Le Moigne, 1995, p. 81).

Pour assurer une ouverture et une dynamique du modèle, nous allons explorer le processus de sa modélisation.

11.1.6 Modélisation, modèle numérique

Pourquoi parlons-nous de modélisation, et non de modèle? La modélisation met l'importance sur l'action humaine (Tidafi, 1996), tout en gardant le principe d'organisation des unités du modèle par les relations entre elles. Ceci est cohérent avec les objectifs éventuels de transfert du savoir-faire du processus de conception, ou des gestes humains.

Dans la même direction vont les réflexions de Heath (1984), qui définit la méthode en architecture sur la base d'actions, ainsi:

Method, which we have been calling the model of the activity, is then the list of actions that must be performed to get from the problem to the solution, the "design" and

¹ Cité par Morin, 1999, p.28,

ultimately the building; the actions themselves are the problem-solving process or the design process. (Heath, 1984, cité par Tidafi, 1996, p. 19)

De plus, la modélisation garde l'aspect dynamique et non-déterminé en avance du processus de conception architecturale et d'après Boudon :

[Si] le processus est modélisé a priori, la modélisation de phénomènes d'émergence ne reste-t-elle pas aussi possible. C'est [...] ce que met en valeur le passage du concept de modèle au concept de **modélisation**. (Boudon, 2001)

Il s'agit de la modélisation systémique, développée notamment par Le Moigne, sur la base de travaux de J. Piaget, H. Simon et E. Morin. Elle privilégie la modélisation de 'l'acte' sur celle de 'la chose'. Ne part pas de la question : « de quoi c'est fait? », mais de « qu'est-ce que ça fait? Pourquoi? », ainsi mettant l'importance sur le fonctionnement et les finalités du phénomène perçu complexe et modélisé pour être mieux compris (Le Moigne, 1995).

Selon Le Moigne (1990), la modélisation systémique est: « Action d'élaboration et de construction intentionnelle, par composition de symboles, de **modèles** susceptibles de rendre intelligible un phénomène perçu complexe, et d'amplifier le raisonnement de l'acteur projetant une intervention délibérée au sein du phénomène; » (p.5)

Cependant, il ne faut pas négliger le fait qu'un architecte tient toujours à disposer d'un côté visuel de l'objet de sa réflexion. C'est la raison pour laquelle une modélisation destinée à l'architecture, devrait avoir une expression visuelle : un modèle, vu comme une instance, un échantillon temporaire de sa modélisation.

La modélisation peut donner le pouvoir de formaliser et de mettre en action le savoir-faire architectural qui est une connaissance critique et récursive. Selon les écrits de Kant, cité par Le Moigne:

Tout est fin et en même temps moyen, et au fil de la conception-construction, les fins se transforment pendant que les moyens sont mis en œuvre, transformation qui suscite l'invention de nouveaux moyens, lesquels à leur tour... (Le Moigne, 2003)

Le Moigne donne l'exemple de « la conception-construction de la Sagrada Família de Gaudi à Barcelone » comme la métaphore exemplaire de ce processus dynamique et récursif. L'auteur souligne « l'importance du développement d'une théorie de la modélisation-symbolisation, qui nous permette d'échapper à la fermeture sclérosante des modèles faits avant et ailleurs qu'il faille seulement appliquer. »

11.1.7 Modèle numérique

Si nous considérons qu'un modèle réduit la complexité de la réalité, un modèle numérique est assujéti aussi aux contraintes de la technologie utilisée pour sa création. Bien sûr, la technologie se développe et les contraintes sont censées diminuer en nombre avec le temps. Mais un autre danger pourrait surgir et provoquer l'effet opposé : augmenter la complexité et le nombre de paramètres sans avoir un modèle bien fondé (SE06). Ainsi, le modèle risque d'arrêter de servir son rôle premier : donner une représentation compréhensible du phénomène étudié.

Cependant, les simulations effectuées à l'ordinateur sont des fois le seul moyen d'apprendre sur certains phénomènes dynamiques. D'après Humphreys (2004), elles deviennent des 'extensions de nous-mêmes'. Elles ont aussi un rôle heuristique important en offrant la possibilité d'explorer l'espace paramétrique d'un modèle numérique (Hartmann, 1996). C'est une fonction très intéressante par rapport au travail de design.

En conclusion, malgré l'ambiguïté terminologique autour du 'modèle', l'importance de son rôle pour le développement des sciences n'est pas remise en question. Ce rôle est encore plus renforcé avec l'arrivée des nouvelles technologies qui quêtent à modéliser ou simuler des activités humaines. Si on cite Nouvel (2002), « il n'y a certainement pas de bons modèles en soi », avant de s'engager dans une modélisation, il faut impérativement se demander à qui (ou à quelle fin) va servir le modèle. La réponse à ces questions déterminera la bonne démarche pour la modélisation.

11.2 Contexte des moyens didactiques

En modelant une proposition, il est indispensable de se baser sur les raisons de son existence, ainsi que de décrire (autant que possible) les mécanismes cognitifs selon lesquels elle fonctionnerait. De cette façon, il serait bien une modélisation que nous ferions, et non un modèle relativement figé et inexpliqué.

11.2.1 Aspects didactiques de la méthode d'enseignement proposée

La méthode d'enseignement de la conception architecturale, définie après la Partie III, contient plusieurs aspects didactiques. Leur opérationnalisation fait l'objet de ce Chapitre de la thèse. Ainsi, l'approche didactique en atelier devrait proposer une intégration des

connaissances du domaine dès le début du processus créatif, répondant ainsi, entre autres, aux préoccupations écologiques de notre époque. Ces connaissances peuvent devenir des ‘forces’ qui formeraient l’objet architectural.

Pour ce faire, des connaissances procédurales devront être modélisées dans les figurations de l’objet en conception. Tenant compte de la culture holistique et visuelle des architectes, ces connaissances pourront être encodées dans des modèles de référents. L’étudiant pourrait s’y référer, extraire le processus et le pratiquer lui-même pour bien le comprendre et intérioriser dans le but d’une utilisation future. Le potentiel du médium numérique de simuler des processus et de donner la possibilité d’agir sur un procédé de génération de forme pour l’explorer pourrait être également utilisé.

11.2.2 Besoins relevés pendant la micro-observation #2

Après avoir mis à l’épreuve l’approche pédagogique ayant pour but l’enseignement de la conception architecturale en tirant profit des moyens numériques, nous avons constaté chez certains étudiants des modifications dans leur processus de conception. Elles reflétaient notamment les possibilités de travailler sur des aspects de l’objet en conception non disponibles avec les outils traditionnels, comme l’animation et l’utilisation des forces génératives du médium pour provoquer des moments de découvertes. Cependant, les observations en atelier nous ont fait remarquer que :

- 1) seulement une partie des étudiants arrivent à tirer avantage de ces approches numériques,
- 2) les étudiants manquent de support par rapport à l’utilisation de ces approches, et enfin,
- 3) plusieurs besoins ressentis pendant le travail de conception n’ont pas pu être satisfaits par le médium numérique, par exemple :
 - a) lier des éléments ou des comportements
 - b) représenter des informations abstraites, non-géométriques
 - c) expliciter des processus de création et/ou de modification

Étant donné que les méthodes d’exploration numérique sont enseignées dans le cadre de l’atelier et en parallèle avec le travail sur le projet architectural, à notre avis, il serait souhaitable que les étudiants aient un ‘assistant’ pouvant les aider aux moments de

blocages, soutenir et amplifier leur démarche créative. Ceci leur permettrait de travailler dans leur ‘zone proximale’ du développement et optimiserait ainsi leur apprentissage (cf. Chapitre 7.4).

Les besoins relevés dans le cadre de l’observation de validation de la stratégie pédagogique seront exposés en détail ci-dessous, dans le but de trouver des méthodes pour les combler à l’aide de moyens didactiques à mettre au point.

Lier des objets ou des comportements

En informatique, un lien entre objets ou entre leurs comportements, peut être créé en faisant partager à ces objets certaines de leurs données d’origine ou leurs caractéristiques (position, grandeur, temps, etc.).

Récemment, le paradigme de *Building Information Management* est venu répondre à ces besoins des architectes. Des logiciels comme Revit (de AutoDesk) et ArchiCAD (de GraphiSoft) proposent une gestion centralisée de l’information du modèle, tout en permettant la construction de visualisations différentes. Ainsi, une modification effectuée sur une des représentations, serait inscrite dans le noyau du modèle et répercutée dans d’autres représentations. Ces logiciels traitent aussi les matériaux, les détails constructifs, etc. Une grande quantité d’information se trouve stockée et exploitée par ces modèles. Cependant, seulement des designs plus ou moins conventionnels peuvent être élaborés avec ce type de logiciels. La créativité est limitée par l’emprise des manipulations ‘permises’ ou non.

Fait paradoxal, selon plusieurs auteurs dont notamment Yessios¹ (2006), il s’avère beaucoup plus stimulant pour la créativité d’utiliser des logiciels qui ne sont pas dédiés spécifiquement à l’architecture. C’est notamment l’approche que nous avons adoptée pour les ateliers expérimentaux en CAO, cela fait déjà quelques années (voir Chapitre 5 et 10). Cependant, comme nous l’avons constaté, la possibilité de faire des liens selon la demande du créateur, est souvent nécessaire pendant le travail de conception. Des modèles paramétriques d’objets numériques et/ou de leur comportement, peuvent être introduits pour répondre à cette nécessité.

¹ Créateur du logiciel FormZ

Critique des modèles paramétriques

Comme il a été déjà mentionné dans le Chapitre-1, les modèles paramétriques permettent la modification de certaines caractéristiques des objets ou de leur comportement à travers les valeurs alphanumériques (longueur, position, couleur, subdivisions, arrondi, etc.). Parfois, ces valeurs peuvent aussi avoir une représentation graphique qui est plus facile à manipuler par le concepteur. Toutefois, les qualités de base de l'objet, dont les paramètres sont modifiés, restent conservées.

Nous avons pu identifier une certaine opposition dans la littérature concernant l'utilisation des modèles paramétrés pendant un processus de conception (Talbot, 2004). D'après la théorie de '*intermittent divergence*' qui étudie les modalités qui nourrissent la créativité, les conditions suivantes sont nécessaires pour engendrer des occasions d'émergence d'idées : (1) chaque pas de l'élaboration du modèle génère des possibilités de divergence intermittente ; (2) attention sur un contexte local ; (3) visualisation de positions et transformations alternatives. Or, selon Talbot, les modèles paramétrés ne créent pas ces conditions. Cependant, les modèles que nous proposons ne visent pas à englober tout un bâtiment¹, mais plutôt d'offrir de petits modèles de relations entre objets, qui peuvent venir influencer certains aspects de l'objet en conception (liens structuraux, propriétés acoustiques ou bioclimatiques, certains détails de la circulation ou plusieurs autres aspects possibles). Ainsi, les conditions mentionnées plus haut ne seront pas violées.

Au fait, il serait souhaitable que les technicalités numériques du modèle utilisé pour une tâche de conception architecturale, restent transparentes, pour créer une impression de travail avec l'objet de design, et non pas avec l'outil. Ainsi, les paramètres introduites dans les modèles qui visent la création de liens entre les objets ou les comportements, devraient être nommés avec des termes architecturaux, et non pas avec la terminologie informatique. De cette façon, des termes spécifiques à la CAO seraient remplacés par des concepts spécifiques pour l'architecture.

Représenter des informations abstraites, non-géométriques

En travaillant à l'ordinateur, les étudiants sont souvent confrontés à sa précision et son manque d'ambiguïté. Ainsi, ce qui pourrait être représenté avec quelques traits ou une

¹ De plus, Johnson (1998), remarque que les approches paramétriques (déterministes) sont bonnes pour des parties spécifiques d'un bâtiment.

flèche en esquisse, devient quasiment irreprésentable sur un modèle numérique. Des solutions proposant l'utilisation de plusieurs types de documents visent à résoudre ce problème. Cependant, il est souhaitable d'avoir une intégration de tout type d'informations dans le même environnement pour un processus de conception plus fluide.

Comme le démontre l'approche architecturale appelée '*informed architecture*' (déjà décrite en Chapitre 9), avec plus d'imagination, des informations abstraites, non-géométriques pourront être représentées en tant que volumes ou espaces, amplifiant ainsi les réflexions sur l'objet en conception (Seebohm, 2007).

Une représentation graphique paramétrée selon les 'mesures' de l'information non-géométrique visualisée aiderait l'exploration de l'objet, tout en travaillant avec des concepts architecturaux (comme circulation, usage, ensoleillement).

Expliciter des processus de création et/ou de modification

Nous avons souligné l'importance de l'explicitation du processus pour l'enseignement de la conception architecturale dans le cadre du Chapitre 3.2. La stratégie pédagogique adoptée a aussi insisté sur cet aspect et encouragé les étudiants de le communiquer lors de leurs présentations. Cependant, le besoin est toujours présent par rapport aux possibilités données par le logiciel de considérer (ou non) des actions ou des évolutions qui génèrent (ou ont généré) un objet d'architecture.

La programmation a été identifiée comme une approche qui renforce l'explicitation et la communication du processus, mais son application en atelier d'architecture reste limitée à cause des préconceptions et du manque de préparation préalable des étudiants. Ainsi, des méthodes plus conviviales par rapport à la culture architecturale pourraient être envisagées comme celles supportées par la pensée analogique, par exemple.

11.3 Modèle théorique d'une librairie de référents interactifs

La présente recherche embrasse une méthodologie constructiviste et participative (Piaget, 1970; Papert, 1980; Morin, 1986) qui met l'accent sur l'apprentissage du processus versus le résultat tout seul. Elle préconise une organisation d'unités, inspirée par l'intelligence distribuée ainsi que par le modèle de la mémoire constructive et dynamique, ce qui est

aussi, supposément, l'organisation des objets de réflexion se trouvant dans l'Espace de conception d'un architecte.

Basé sur les études cognitives, nous avons émis l'hypothèse qu'il pourrait être avantageux pour les étudiants de recourir aux référents qui contiennent de savoir-faire architectural, et de plus pouvoir réutiliser ce savoir-faire immédiatement dans leurs projets éducatifs de design. Ainsi, un modèle de librairie de référents modélisés sera présenté dans ce qui suit.

11.3.1 Les référents

Le contenu et la forme de représentation des référents sont définis sur la base des études faites dans les parties précédentes de ce document.

Contenu

Pour répondre à la nécessité de transférer du savoir-faire, les référents proposeront du contenu par rapport à tous les thèmes du domaine architectural (par exemple : forme, composition, fonction, analyse du site, structure, acoustique, climat). De plus, pour favoriser l'approche intégrée de la conception, des connaissances des domaines connexes pourront y être présentes. Étant donné le rôle créatif des métaphores dans le processus de design, des objets et des phénomènes provenant de l'extérieur de ces domaines pourraient également s'y trouver en tant que référents.

Les méthodes numériques capables de décrire ces savoir-faire peuvent être explicitées à travers ces référents. Ainsi, ils se distingueront des bases de précédents existantes qui ne permettent pas la transmission des méthodes de création d'un objet architectural.

Forme de représentation

Suivant les conclusions de la recherche cognitive par rapport aux référents, ils devraient:

1. être représentés dans tous les formats possibles (imagier, caractéristiques, symboles amodaux);
2. fournir de l'information déclarative (*know-about*) et procédurale (*know-how*), cette dernière comprendrait la finalité, le déroulement et les raisons du processus; et

3. offrir (ou supporter la création) de différentes structures de représentation d'une catégorie : *exemplaires*, règles, prototypes et contexte, dans le but de construire une catégorie riche et stable.

En cohérence avec les consignes cognitives pour l'apprentissage d'un métier, les étudiants auront la possibilité de travailler sur leurs projets en utilisant les référents encapsulant du savoir-faire. Ainsi, ils pourront le manipuler, le comprendre et l'intérioriser pour s'en servir dans de nouvelles situations.

Certaines des caractéristiques décrites ci-dessus peuvent se trouver déjà naturellement présentes dans un référent architectural (métaphore ou précédent), l'information visuelle, par exemple. D'après nous, cette dernière fournit un *exemplaire* imagier pour la catégorie à construire. Et encore, de l'information textuelle qui pourrait contribuer à la création de connaissance propositionnelle et contextuelle, est souvent disponible. Mais étant donné que les architectes préfèrent l'information visuelle à la textuelle, souvent, ils ne se réfèrent pas aux textes. Alors, une solution alternative est proposée : modèles ou simulations de savoir-faire offerts en tant que *chunks* interactives.

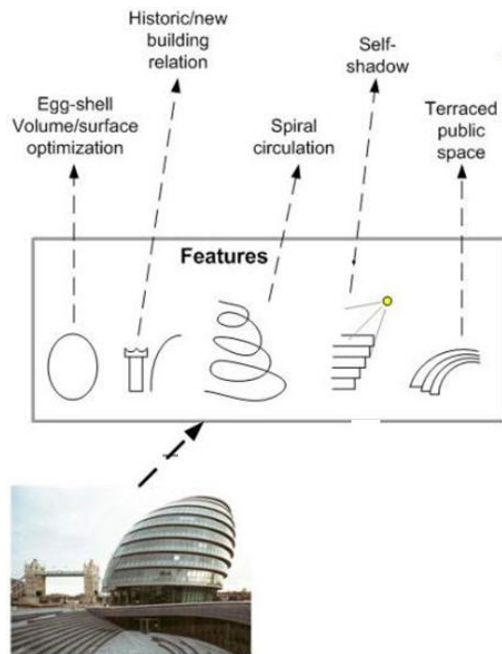
11.3.2 Chunks de savoir-faire

Les théories cognitives démontrent:

1. l'importance des caractéristiques (*features*) pour la construction du sens d'une mémoire visuelle (d'une image);
2. le fait que construire du sens soi-même mène à un meilleur rappel des connaissances;
3. la nature constructive de la mémoire (Minski 1985); et
4. la structure dynamique de la mémoire qui met en évidence seulement les aspects d'une catégorie qui sont pertinents par rapport au contexte.

Ces considérations nous ont donné l'idée plutôt que de représenter tout un référent, de décrire les *chunks* de connaissances ou le savoir-faire qui le composent (voir Figure 52). Cette approche a déjà été utilisée par Oxman (1999) qui considère des *chunks of knowledge* par rapport à la problématique qu'un précédent aborde, son concept et sa forme. Dans notre proposition, pour être cohérent avec la multi-modalité décrite plus haut, des connaissances

procédurales sont également fournies dans les référents. Il peut s'agir de savoir-faire utilisé pour la création de l'objet (architectural ou autre), ou des procédures par lesquelles un référent peut être transformé ou manipulé. Certains savoir-faire peuvent être représentés par des règles. De cette façon, en plus de servir *d'exemple* visuel, un référent peut faciliter la création de règles, ce qui, comme nous avons déjà vu, renforce une catégorie.



Information sémantique,
propositionnelle

Morceaux de
connaissances modélisés

Représentations
visuelles

Figure 52: Types de représentations d'un référent dans le mental

En général, l'utilisation d'un *chunk* de savoir-faire peut générer de divers résultats, dépendamment de la situation, du matériel, etc. Toutefois, les règles, les procédés ou les processus qui s'y trouvent resteraient les mêmes (par exemple : règles de composition, formules acoustiques, optimisation de la visibilité, dépendances structurales, lois bioclimatiques, etc.). Dans une représentation numérique des référents, une règle ou une loi peuvent être encodées par des dépendances paramétriques ou par un algorithme. Ce dernier peut expliciter une procédure ou un processus.

Pendant la création d'un objet architectural, un tel *chunk* de savoir-faire pourrait :

- modifier directement la forme
- influencer la forme en changeant ses caractéristiques structurelles
- lier la forme de l'objet aux influences et aux forces du contexte (climat, son, charge constructive, circulation, etc.).

Des connaissances propositionnelles peuvent être introduites en donnant des noms avec du sens architectural aux paramètres (par exemple : hauteur d'une rangée des gradins, nombre de personnes dans le public, température maximale, etc.). Ceci contribue à une meilleure compréhension du modèle. L'interactivité est ainsi un aspect dynamique qui est assuré par la possibilité de modifier les paramètres et/ou l'algorithme. Ainsi, les *chunks* de savoir-faire deviennent des modèles interactifs du savoir-faire dans notre proposition. Ils sont conçus pour jouer un rôle cognitif important pendant le processus d'apprentissage du design, étant donné que, d'un côté, les sources bibliographiques plaident pour un meilleur enseignement du savoir-faire architectural aux étudiants, et de l'autre, les algorithmes offrent une bonne possibilité de génération automatique de résultats variés. Plus tard, avec le modèle théorique, nous explorerons leur organisation dans un espace numérique de conception, dans le but d'assurer leur accessibilité pendant le processus de travail (exigence soulignée par Woodbury et Burrow, 2003).

Une schématisation de notre compréhension de l'interaction entre les différents types de connaissances fournis par un référent et leurs représentations respectives à un niveau cognitif est illustrée sur la Figure 53. Il y a deux parties principales sur ce schéma : l'espace mental (où se trouvent des représentations et des processus mentaux); et l'espace extérieur (où se trouvent des référents extérieurs et des représentations de l'objet en conception). Ce schéma est loin d'être exhaustif¹, et essaie de donner l'exemple d'un seul référent (le bâtiment de *Greater London Authority* projeté par *Foster & Partners*) et imaginer une partie des implications qu'il pourrait avoir pendant le processus de design. En partant d'une image du référent, ce schéma résume certains des aspects principaux du rôle que les modèles interactifs de *chunks* de savoir-faire pourraient jouer. Ainsi, nous avons essayé d'imaginer quelques *chunks* de connaissances que l'on pourrait dégager de ce référent en particulier :

- la forme qui ressemble à un œuf et qui vient de l'optimisation du rapport volume/surface d'un objet;
- la circulation en spirale;

¹ Cette schématisation est assez simplifiée et, en mettant l'accent sur les processus cognitifs provoqués par des manipulations des représentations des référents et de l'objet en conception, ne prend pas en compte plusieurs autres aspects psychiques de la conception architecturale. Les limites de cette recherche ne permettent pas de tenir compte de toute la complexité de ce processus.

- la relation entre nouveau bâtiment et un contexte historique;
- la configuration des planchers de façon qu'ils jettent de l'ombre à l'étage inférieur;
- et
- l'espace extérieur terracé.

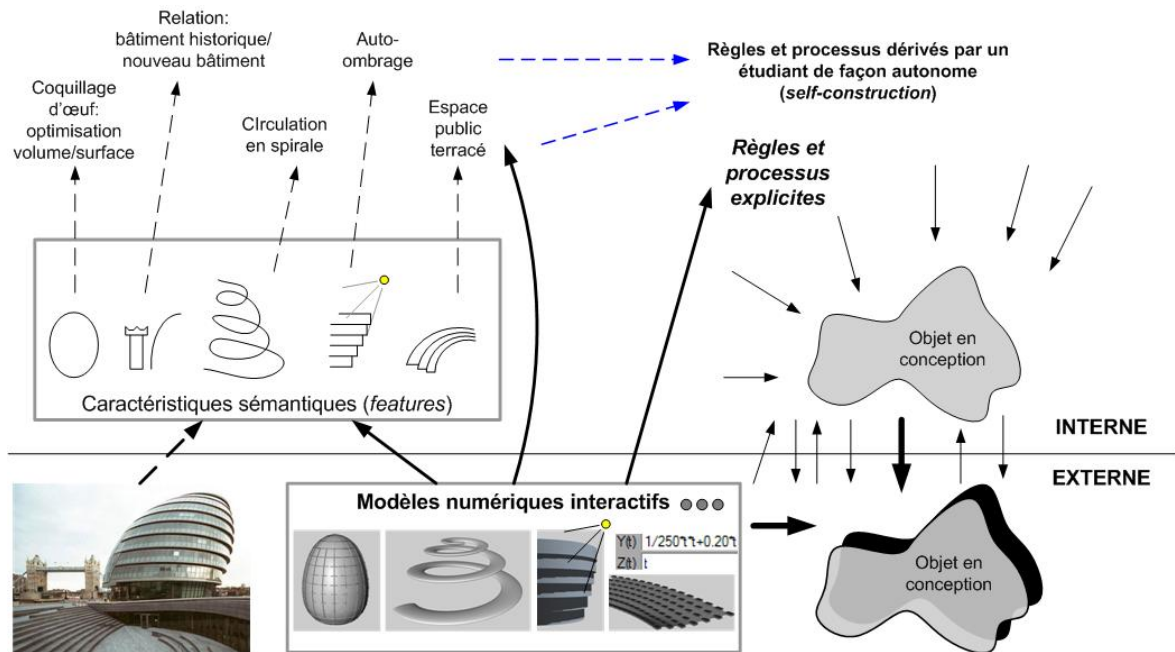


Figure 53: Schématisation du modèle d'interaction de différents types de connaissances et leurs représentations respectives; ensemble avec l'interaction entre représentations internes – externes

Leur représentation se trouve reflétée schématiquement dans le rectangle de la partie 'espace mental' du schéma. Des représentations externes de ces *chunks* de connaissances sont les modèles numériques interactifs, proposés par cette recherche. Des images de leurs représentations numériques sont démontrées dans le rectangle de la partie 'espace extérieur'. Dépendamment de la nature des aspects représentés par les *chunks* de connaissances, un modèle numérique interactif peut être pertinent ou non. Ainsi, dans le cas présenté, la « relation entre nouveau bâtiment et contexte historique » n'est pas représentable par un modèle interactif à cette étape du développement de notre compréhension et de la technologie informatique. À cause de cela, il n'y a pas de modèle interactif représentant cette caractéristique sur le schéma. Un mot-clé ou explication propositionnelle pourrait indiquer sa présence dans le référent.

Étant donné qu'il pourrait y avoir un nombre infini de *chunks* de connaissances dans un référent (dépendamment de l'utilisateur, du contexte, etc.), de nouveaux modèles interactifs pourront être ajoutés au fur et à mesure avec l'utilisation de la librairie.

Le schéma aide à voir aussi certaines relations possibles entre les entités présentées. La flèche qui commence du rectangle avec les 'modèles numériques interactifs' et mène vers l'espace mental indique la contribution possible des modèles numériques à la création des caractéristiques (*features*), des connaissances propositionnelles et des règles. La flèche commençant du même rectangle, mais qui mène vers la représentation externe de l'objet en conception démontre qu'un 'morceau' (*chunk*) de savoir-faire présent dans un référent peut être transféré vers le nouveau projet (par le biais du modèle interactif qui l'encode) et directement réutilisé (après avoir été adapté au nouveau contexte par des variations paramétriques). Ce processus pourrait aussi servir de générateur d'idées.

Ce nouveau type d'« *objets pour penser avec* » (comme définis par Papert (1980)) pourrait servir pour l'exploration du design par les étudiants. De plus, le fait que certaines *chunks* interactives encodent du savoir-faire architectural, peut rendre ce dernier un acteur important dans la conception architecturale dès le début de ce processus, ce qui est à la base de la méthode didactique définie dans cette recherche. Ainsi, ensemble avec des explorations purement formelles de l'objet en conception, un étudiant a la possibilité d'influencer la forme à partir de manipulations d'information architecturale non-géométrique. Dans ce sens, il est possible d'imaginer que la forme peut suivre la fonction, ou la structure, et même la 'durabilité' (Ábalos, 2007).

11.3.3 La Librairie de Référents Architecturaux Interactifs (LibReArchI)

On pourrait regarder le rôle de la librairie de référents sous deux aspects :

- en tant qu'aide didactique à l'apprentissage en atelier, et
- comme base pour la création d'un Espace de conception numérique propre à chaque étudiant.

D'un point de vue didactique, la librairie de référents interactifs poursuit un double objectif : enseigner aux étudiants une façon différente de réfléchir sur le projet et explorer l'objet en conception (basé sur le processus et non pas sur le résultat seulement); et fournir du savoir-faire architectural lié au processus de design et la performance du bâtiment. Dans

certains cas, elle propose des méthodes numériques de génération de formes, qui ne sont pas encore (à notre connaissance) utilisées en architecture.

En tant qu’Espace de conception numérique, la librairie offre une première base de référents d’un nouveau type (modèles et simulations interactifs). Elle propose aussi une méthode d’organiser ces référents pour s’en servir. La librairie est ‘ouverte’ et permet l’ajout d’un nombre illimité de nouveaux référents ou *chunks* de connaissances liés ou non avec ceux déjà existants. Le type de contenu ou de format de représentation numérique des items n’est pas limité non plus.

Interface

Une condition importante pour l’utilisation de la librairie est son accessibilité facile et ergonomique. Des interactions d’au moins deux types sont indispensables, à notre avis :

- à partir du logiciel de modélisation (à partir duquel les modèles peuvent être manipulés et modifiés) ;
- et à partir d’un fureteur conventionnel.

L’interface devrait proposer une vue d’ensemble des référents. Un rangement par thèmes ou d’autres attributs n’est pas nécessaire à notre avis, parce qu’un ordre non-intentionnel peut stimuler davantage la créativité. L’outil de recherche donnera la possibilité de ranger les référents selon des indices, si demandé.

Structure, recherche

De plus, la librairie adopte une structure flexible. Les référents peuvent être organisés par thèmes dépendamment des préférences et des besoins de l’usager. Les thèmes peuvent être de caractère architectural (contenu), méthodique (méthodes utilisées), technique, etc.

La possibilité de trouver des référents pertinents dans un contexte est assurée par un outil de recherche. Ainsi, des liens analogiques peuvent être créés entre référents. Des recherches par mots-clés peuvent être menées dans les représentations textuelles (inclusivement dans les annotations personnelles discutées plus bas). Les fichiers numériques des modèles peuvent aussi être scrutés pour y trouver des opérations ou objets numériques, à condition de ne pas être codés (compilés).

Personnalisation

Une condition importante pour le rôle de la librairie en tant qu'espace de conception est sa personnalisation. Dans le modèle que nous sommes en train de dresser, cette caractéristique peut être concrétisée de deux façons :

- par des annotations de chaque référent ou capsule de connaissance (de chaque item dans la librairie), et
- par l'enregistrement de la 'mémoire' des référents utilisés dans une situation précise.

Une façon encore plus avancée de garder la mémoire des actions conceptuelles de l'étudiant serait la création de 'cartes sémantiques' des liens entre référents sur la base de leur utilisation (Chen, Qian, & Woodbury, 2007).

Dans un sens 'opposé' à la personnalisation, la bibliothèque de référents interactifs pourrait servir d'environnement de partage.

11.3.4 Environnement de partage

Le travail à l'ordinateur a changé l'espace physique de travail des étudiants en atelier. À la place des maquettes sur les tables, des babillards et des planches à dessin, nous voyons présentement presque seulement l'étudiant avec ses écouteurs et le 'dos' de l'ordinateur. Ainsi, l'espace de communication que l'atelier représentait est devenu relativement vide.

En plus des stratégies pédagogiques mises au point pour changer cette situation, la bibliothèque de référents interactifs peut être mise sur un serveur et ainsi devenir un espace de partage et échange de modèles, méthodes et référents entre les étudiants.

Enrichissement et l'évolution de la librairie de référents

La librairie a une structure ouverte, flexible et évolutive. De cette façon, elle pourrait être enrichie par de nouveaux référents et offrir un environnement de conception collectif. S'il y a besoin, même des interprétations personnelles pourront y trouver place.

Partage et collaboration entre étudiants et collègues

En tant qu'espace de partage, elle pourrait contribuer pour une meilleure communication et échange entre collègues. La différence avec d'autres bases de données collectives provient

du fait qu'en plus de référents, cette librairie propose également l'échange de méthodes. Ce savoir-faire précieux et considéré comme 'le secret du métier', est presque toujours caché (ou non-explicité) dans les lieux d'échange. À notre avis, la nouvelle génération d'architectes sera prête à changer d'attitude et adopter une philosophie de partage. Dans ce sens, l'acronyme LibReArchI : Li(brairie de) Re(férents) Arch(itecturaux) I(nteractifs) que nous avons choisi comme nom de la librairie, prend le sens aussi en tant qu'espace de partage incitant une Libre-Archi(tecture).

11.4 Le prototype numérique

Un prototype de la librairie de référents a été réalisé en poursuivant trois objectifs liés à la validation de la méthode d'enseignement proposée:

1. Encapsuler du savoir-faire architecturaux et des domaines annexes (incluant des méthodes numériques de génération de formes; et des connaissances par rapport à la conception intégrée)
2. Valider le rôle créatif et éducatif du savoir-faire se trouvant dans des métaphores et précédents
3. Donner aux étudiants la possibilité de partager du savoir-faire et communiquer par rapport au projet.

Dans ce qui suit, nous allons présenter la réalisation du prototype numérique par rapport à la librairie, les référents, les modèles interactifs et l'environnement de partage.

11.4.1 La librairie

Le prototype de la librairie de référents a été mise au point et introduit en atelier spécialisé en CAO en 3^{ème} année d'architecture. Un logiciel de modélisation (Cinema 4D) a été utilisé pour la réalisation des modèles interactifs. Après avoir essayé de la réaliser comme une base de données relationnelle disponible sur un serveur, nous avons opté pour un premier prototype où la librairie se trouve directement sur l'ordinateur personnel de chaque étudiant. Malgré les difficultés de la mise-à-jour de cette version du prototype, il représente aussi l'avantage de ne pas être dépendant de l'accès au réseau (ou à l'Internet) et aussi de permettre une personnalisation par chaque étudiant.

Accès à la librairie

La facilité d'accès aux référents était une de nos premières préoccupations. Deux façons de consulter la librairie se présentent aux étudiants :

- Structurée comme un simple dossier numérique (avec des sous-dossiers), la librairie peut être consultée directement à partir d'un 'explorateur des dossiers'. Ainsi, elle peut donner un canevas pour l'organisation des fichiers architecturaux numériques des étudiants.
- Une autre façon de se référer à la librairie est via une fenêtre d'exploration de contenu (*content browser*) du logiciel de modélisation (Fig.54, 59, 60). Dans cet environnement, la librairie est susceptible de servir de lieu de rassemblement de différents 'artéfacts' numériques, et de poser la base de l'Espace de conception d'un étudiant. Un grand atout de ce type d'accès est la représentation imagière des modèles réalisés à l'aide de ce même logiciel (pendant qu'avec un 'explorateur des dossiers' seulement le type du fichier serait indiqué par une icône). De plus, en cliquant sur l'image d'un modèle, celui-ci est automatiquement inséré dans la scène en cours dans le modeleur (ou encore, ouvert dans une nouvelle scène).

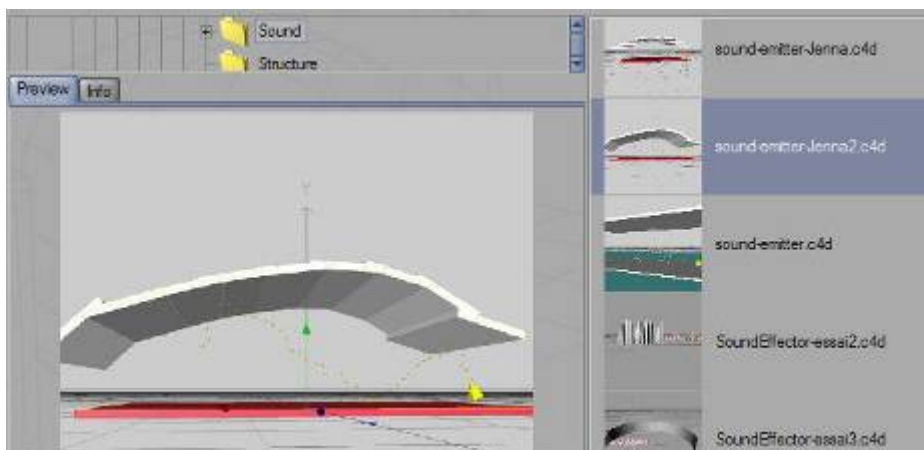


Figure 54 : Interface de la librairie de référents à partir du modeleur (exemple de simulation de la propagation du son)

Les thèmes

Les référents sont organisés par thèmes selon leur sens architectural (analyse du site, structure, acoustique, soleil, vent, etc.). Quelques-uns des thèmes se trouvent illustrés par les exemples sur la Figure 55. Une structure très simple a été choisie – les référents sont

mis dans des dossiers qui correspondent aux thèmes, qui à leur tour, correspondent aux sujets des exercices propédeutiques de l'approche pédagogique discutée dans le Chapitre 9.

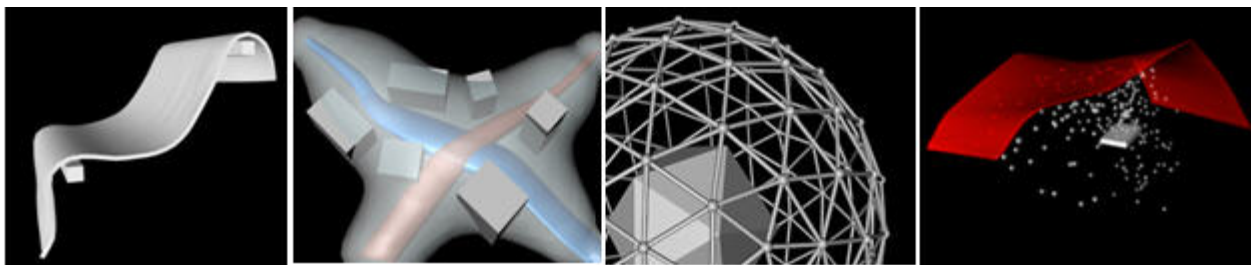


Figure 55: Exemples des différents thèmes architecturaux de la librairie - de gauche à droite : forme (sous le poids du matériau); analyse du site; structure; propagation du son

Les thèmes ont été introduits progressivement, comme support aux exercices propédeutiques au début de l'atelier. À la différence de la première mise-à l'épreuve des exercices préparatoires (Tidafi et Iordanova 2006) (voir Chapitre 10), cette fois-ci ils ont été accompagnés par les référents interactifs numériques.

Une librairie de référents devrait couvrir le plus de thèmes et du savoir-faire architectural possible. Cependant, le prototype est limité à cause du temps et des ressources qui ont pu lui être consacrés dans le cadre de cette recherche. Ainsi, il a fallu choisir le contenu architectural le plus pertinent par rapport au déroulement de l'atelier spécifique et en lien avec le projet trimestriel (qui était sur la Maison de l'Orchestre symphonique de Montréal dans ce cas-ci). Ainsi, des référents ont été fournis pour chaque thème des exercices préparatoires : explorations formelles et sémantiques, analyse du site et du programme, structure et climat.

Deux thèmes ont été proposés en lien avec le projet trimestriel : sur les gradins de théâtre (voir un exemple sur la Figure 57), et sur le son et l'acoustique.

Deux aspects différents ont été considérés dans ce dernier thème:

- la propagation du son et l'acoustique d'un espace dépendamment de sa forme (le matériau n'est pas pris en compte dans ces modèles); et
- modifications de la forme par une mélodie (l'effet est produit par le rythme et les fréquences du son dans la mélodie choisie) (voir l'exemple sur la Figure 62).

Dans le cadre d'ateliers subséquents, des modèles qui simulent le vent ont été introduits. Il s'agit de :

- visualisation de la direction et la vitesse du vent par des particules, ainsi que 'l'ombre' créée par les bâtiments;
- déformation d'une surface sous la force du vent – dans ce cas, la forme déformée a moins de résistance au vent (devient plus aérodynamique)
- simulation des congères de neige en avant et en arrière d'un bâtiment (par rapport à la direction du vent)

Ces modèles ne sont pas totalement scientifiques mais s'approchent raisonnablement du modèle réel du phénomène simulé.

Un autre thème d'exploration a été proposé sur la base de la méthode de construction de formes en béton moulées dans du tissu (*Fabric Formed Concrete Structures*). Le développement de cette série de modèles a été inspiré par la conférence et l'atelier animés récemment par Mark West à l'École d'architecture de l'Université de Montréal (West, 2001). C'est pour l'instant, la seule série de modèles qui s'intéressent aux propriétés de matériaux (tissu et béton dans ce cas-ci) (voir quelques exemples sur la Figure 61).

11.4.2 Les référents

Les référents sont représentés par de l'information en différents formats: titre du référent, images, textes, modèles ou simulations numériques interactifs, vidéos explicatives, annotations personnelles (fig. 56). D'autres types de documents pourront être ajoutés avec l'évolution de la librairie.

La grande majorité de ces documents sont fournis par le tuteur, mais sont modifiables et personnalisables par l'étudiant. Certains référents sont offerts par les étudiants qui ont été incités à partager des modèles intéressants avec leurs collègues. Dans ce cas, le tuteur a géré l'ajout du nouveau référent dans la librairie. Pour permettre la mise-à-jour de cette dernière sur les ordinateurs des étudiants, elle a été aussi installée sur le site-web de l'atelier d'où elle peut être téléchargée.

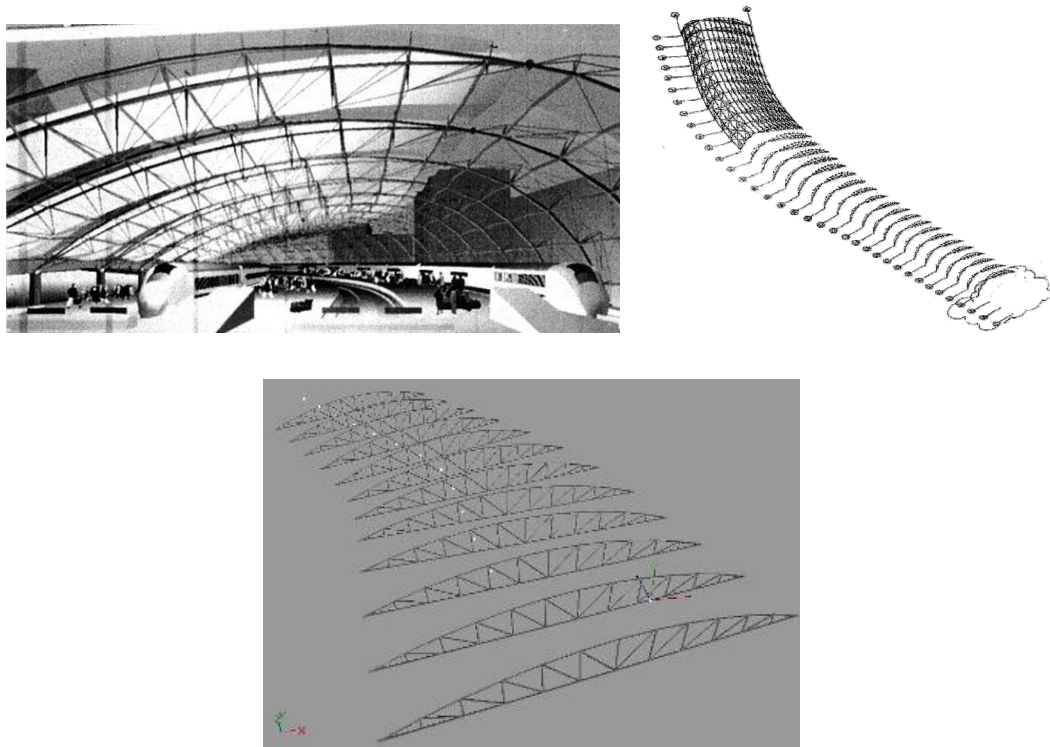


Figure 56: Treillis distribués de façon paramétrique (comme la structure de Waterloo Station par Nicholas Grimshaw & Partners). Le référent est représenté par :
 (a) image du bâtiment, (b) schéma de la structure (qui est la caractéristique qui a déterminé le choix de ce référent pour la librairie); et (c) modèle interactif

11.4.3 Les modèles interactifs

Les modèles interactifs représentent la partie la plus innovatrice de la bibliothèque de référents. Étant des représentations numériques des *chunks de savoir-faire*, ils sont conçus pour permettre la manipulation et le transfert du savoir-faire d'un référent au nouveau projet architectural.

Techniquement, chaque modèle numérique interactif est un fichier dans le format du logiciel de modélisation (Cinema 4D dans notre cas). D'un point de vue cognitif, il inclut des formats de connaissances différents :

- imagiers (par le côté visuel du modèle),
- procéduraux (par des variations paramétriques possibles et les simulations dans le temps),
- règles et lois (par la façon de sa fabrication à l'aide de paramétrisation et algorithmes),

- propositionnel (par le titre du modèle, les noms des paramètres, et les annotations possibles).

Les connaissances procédurales qui assurent le caractère spécifique d'un modèle numérique de la librairie, peuvent être étudiées par un étudiant de plusieurs façons :

- en observant le comportement du modèle quand ses paramètres varient;
- en prenant connaissance de la description d'une loi ou règle en tant que relation paramétrique (fig. 57) ou algorithmme (fig. 58),
- ou encore, en regardant la vidéo explicative qui démontre la création du modèle et ses modifications possibles.

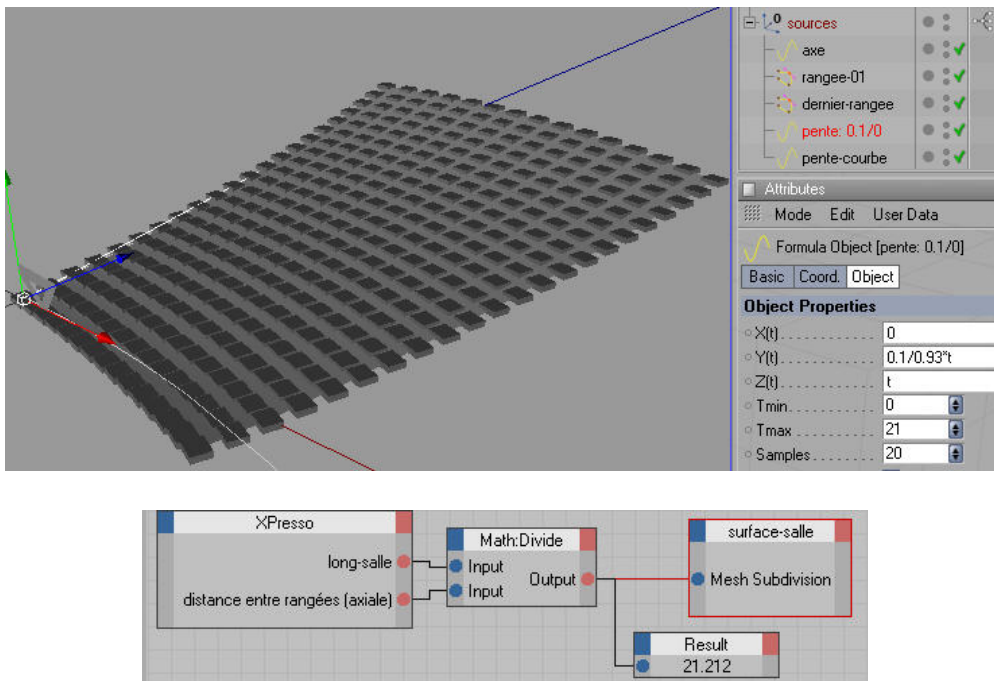


Figure 57: Relations paramétriques dans un objet ou entre objets :
 en haut : la pente des gradins est donnée par une formule;
 en bas : calcul du nombre approximatif de sièges sur les gradins à l'aide de Xpresso

En atelier, le tuteur introduit les modèles thème par thème, montre leur fonctionnement, explique les principes générateurs se cachant derrière la forme et la méthode de leur réalisation numérique. Il n'est pas obligatoire qu'un modèle interactif soit lié à un précédent ou autre objet déjà existant. Cependant, si un tel lien existe, il va être aussi présenté (comme sur la Figure 56). Pour inciter un travail exploratoire basé sur le savoir-faire encapsulé et non pas juste une copie directe du modèle, le tuteur fait également une

démonstration des variations possibles à partir des paramètres ou d'autres composants des capsules numériques interactives.

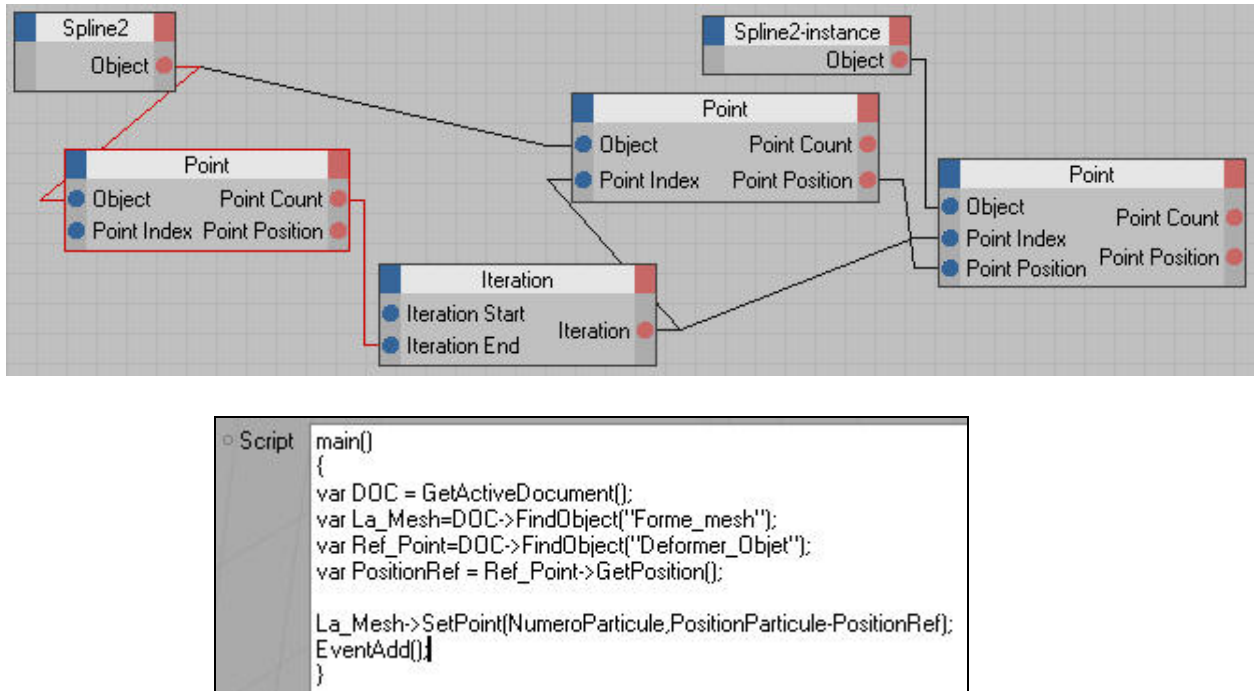


Figure 58: Description d'algorithmes:
 en haut: à l'aide de l'interface graphique de programmation Xpresso;
 en bas : avec programmation – script avec COFFEE

À la différence de l'introduction des exercices préparatoires présentés dans le Chapitre 9, cette fois, les étudiants avaient la librairie en tant que support didactique.

De différentes techniques numériques avancées, mais qui ne sont pas destinées à l'architecture, sont utilisées dans le cadre de ces modèles. Il s'agit de flux de particules et de réflecteurs (pour le vent, l'acoustique et la neige), de la dynamique (pour la neige, la simulation de la moule pour le béton), la cinétique (pour des structures avec des contraintes dans les joints), etc. Cette approche complexifie la tâche d'élaboration du modèle, mais en revanche, donne plus de liberté d'interprétation et d'usage après, ce qui est une condition pour l'utilisation créative du médium numérique (Fischer, 2007).

11.4.4 Interaction avec la librairie – Espace de conception

Étant donné que d'un côté, une structure non-prédéterminée a été suggérée par la modélisation théorique de la librairie de référents, et de l'autre, les limitations techniques du prototype, nous avons introduit des outils de recherche qui permettent une organisation

dynamique des référents selon l'intérêt exprimé par un étudiant. Les traces de ces recherches et leurs résultats sont aussi gardées (fig. 59).

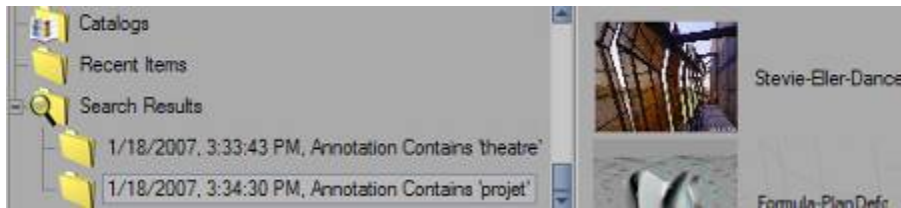


Figure 59: Les résultats d'une recherche sont sauvegardés, ensemble avec la date et les caractéristiques recherchées

Un autre outil très important pour la personnalisation de la librairie par étudiant est la possibilité de garder sa compréhension et ses réflexions par rapport à un modèle ou référent. Ainsi, des commentaires peuvent être ajoutés dans le cadre d'une annotation (Figure 60), activité considérée essentielle par plusieurs auteurs (Chupin & Léglise 1997, entre autres).

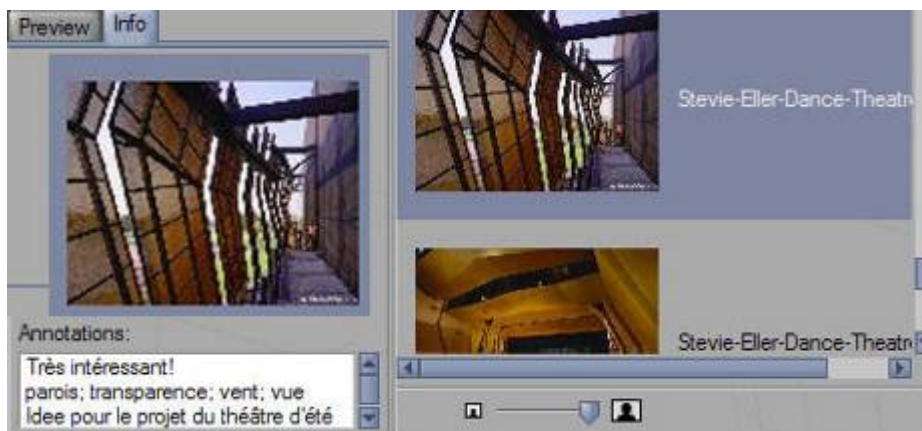


Figure 60 : Annotation personnelle des référents

À l'aide des annotations, nous considérons que la librairie franchit une étape importante dans son rôle comme base pour la création de l'Espace de conception de l'étudiant.

Il est souhaitable que la librairie contienne le plus grand nombre de référents et de modèles interactifs possibles. Ainsi, le structure ouverte et flexible permet l'ajout de nouveaux éléments par les usagers ou les futurs tuteurs. De cette façon, la librairie évolue et est enrichie de nouveaux référents. Ce processus a déjà commencé avec la première introduction de ce moyen didactique en atelier.

11.4.5 L'environnement de partage

Pour que les mises-à-jour soient accessibles par tous les étudiants, la librairie a été installée sur un serveur en partage. Les étudiants sont incités à contribuer avec des modèles qui encodent du savoir-faire intéressant et susceptible à servir à leurs collègues.

Dans ce premier prototype de l'environnement de partage, l'interface (une page-web) n'est pas optimale et exige plusieurs opérations de la part de l'étudiant (voir sur la Figure 61). Les contributions se sont faites plutôt de la part du tuteur (qui faisait le travail d'intégration à la librairie et à l'interface graphique).

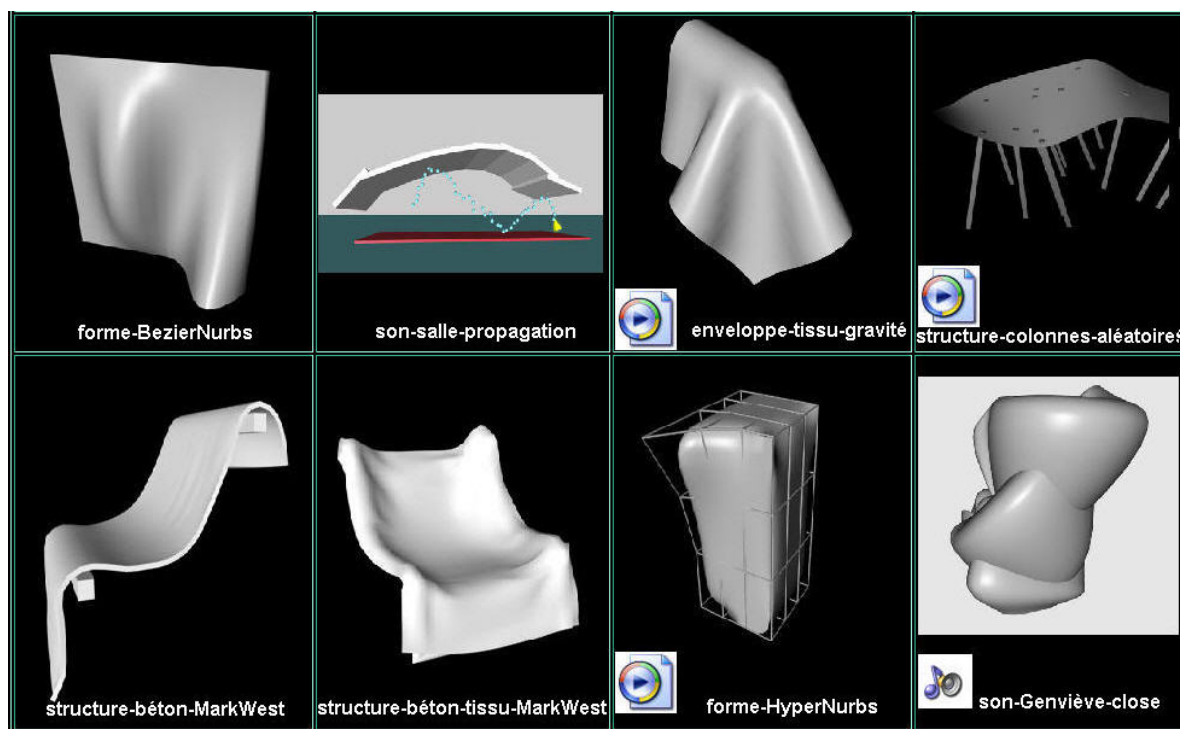


Figure 61: Interface de l'environnement de partage

Dans un deuxième prototype qui est en cours de réalisation, l'interface graphique est générée automatiquement par un *script* et il suffit d'ajouter les fichiers du référent (modèle, vidéo, texte, images) dans le répertoire de la librairie pour que la mise-à-jour soit faite. Des mots-clés et des commentaires pourront y être également ajoutés.

Quand il s'agit d'espace de partage, la question des droits d'auteur et de l'éthique d'usage des référents est à considérer. Dans cette librairie, les noms des auteurs des modèles ajoutés sont indiqués, ainsi que les sources des images qui en font partie.

Cependant, il s'agit de partage de connaissances et de méthodes de faire, donc la résistance de certains étudiants à donner leurs modèles en partage avec les autres est compréhensible.

La librairie de référents LibReArchI a été introduite en atelier d'architecture en tant que moyen didactique dans le but de sa mise-à l'épreuve.

Chapitre 12. Mise à l'épreuve : Observation-3

L'observation #3 qui fait objet de ce Chapitre, a été menée dans le but de mettre à l'épreuve la méthode d'enseignement basée sur la manipulation des savoir-faire architecturaux, qui constituent la proposition principale de cette recherche. Pendant le trimestre de cette dernière observation, nous avons utilisé à la fois l'approche pédagogique proposée en Chapitre 9, et les moyens didactiques décrits en Chapitre 11.

Étant donné la méthodologie qualitative que nous avons adoptée, il ne serait pas cohérent de parler de la 'validation' de la méthode proposée (Creswell 1998, 2007). Cependant, nous ferons une comparaison qualitative des résultats de cette dernière observation par rapport à ceux des observations précédentes. Une 'vérification' des résultats de la recherche sera effectuée à la fin du Chapitre.

12.1 Approche pédagogique de l'atelier

L'approche pédagogique dans l'atelier est une évolution de celle des ateliers précédemment présentés (Chapitres 5.1 et 10.2). Cette évolution est le résultat de la composante méthodologique de recherche-action que nous avons adoptée pour notre travail de recherche en enseignement. De cette façon, les résultats obtenus à une étape de la recherche sont immédiatement mis en pratique dans l'enseignement, lui permettant ainsi d'en profiter.

Comme dans les ateliers précédents, un logiciel de modélisation en 3D (et non de DAO) a été principalement utilisé pour la phase conceptuelle du design. Cependant, cette fois, nous avons préconisé l'utilisation d'un seul logiciel (Cinema 4D) pour tous les étudiants, à la place de donner un choix entre deux. Ce changement a été dicté par des raisons méthodologiques et techniques. Au niveau des méthodes numériques, Cinema 4D offre la possibilité de travailler de façon paramétrique, de créer des liens entre objets et leurs propriétés, ainsi que de générer des objets et des compositions à partir de règles. Il propose aussi une interface graphique de programmation et un langage de *script*, qui sont

nécessaires pour certains aspects de l'approche pédagogique, ainsi que pour la création d'une partie des modèles interactifs de la librairie de référents.

La raison technique est que les *chunks* interactifs de savoir-faire se trouvant dans la librairie de référents sont modélisés avec Cinema 4D et par conséquent, peuvent être le mieux exploités et manipulés avec ce logiciel. De plus, les étudiants peuvent plus facilement partager ou échanger des idées et des méthodes, s'ils travaillent tous avec le même logiciel.

L'observation par rapport à la méthode d'enseignement proposée s'est déroulée en atelier spécialisé en CAO en troisième année d'architecture (en automne 2006). En général, une approche classique 'par projet' a été adoptée, toutefois, certaines modifications et ajouts y étaient introduits. Ainsi, l'importance du processus a été soulignée tout au long du projet ainsi que lors des présentations des étudiants. Les exercices propédeutiques ont été introduits, cette fois-ci, au début du trimestre, avec le support de la librairie de référents qui a été mise à la disposition des étudiants.

Étant donné que cet atelier est la seule occasion pour les étudiants d'explorer des méthodes numériques pour la conception architecturale dans le cours d'apprentissage du Bac, nous avons voulu leur donner une expérience de toutes les phases du projet : à partir de l'analyse du site et le concept, jusqu'au développement même du projet. De cette façon, les étudiants peuvent explorer des variations à l'aide du numérique, tout en ayant l'occasion de se rendre compte des difficultés rencontrées lors du passage vers le développement du projet avec sa matérialité, etc. Nous sommes conscients du fait que les explorations numériques prises sans contexte peuvent être plus variées et stimulantes, comme le propose Oxman (2006, 2008), cependant, le lien avec la réalité y est plus abstrait. À la différence de cet auteur qui laisse les étudiants explorer des méthodes numériques en les invitant à la fin de ce processus de trouver un contexte convenable pour leur projet, nous leur avons proposé la Maison de l'Orchestre symphonique de Montréal (OSM). Ce projet inspirant et unique donne également la possibilité de travailler avec des savoir-faire architecturaux spécifiques par rapport à l'acoustique, la visibilité et l'organisation spatiale du bâtiment.

L'exploration du design était une exigence principale pendant le travail sur le projet. Les étudiants ont été demandés de produire au moins deux concepts et de générer de différents 'partis' pour eux. De nombreuses idées ont émergé pendant ces explorations. Cependant, il était difficile de garder la possibilité d'exploration pendant tout le processus de

développement du projet. Une discipline spéciale a été requise pour cela. Dans certains cas, à cause du très long temps de calcul, les étudiants ont été obligés de garder une copie de l'objet en conception pour exploration, et de travailler avec une copie dérivée pour la concrétisation du bâtiment (Figure 62-c).

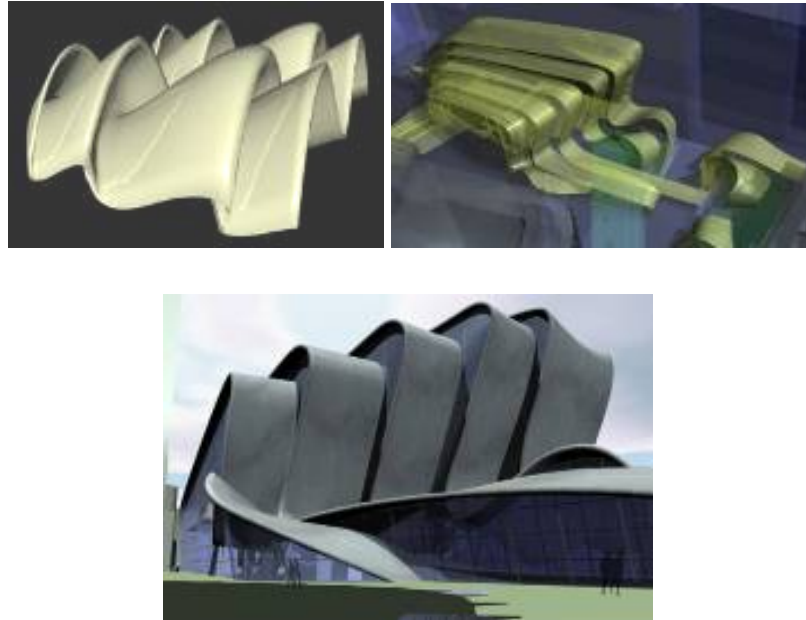


Figure 62: Génération d'une forme influencée par la musique (travail de J.T.) :
a) Exploration basée sur un modèle de référent; b) idée pour le projet; c) le projet final.

Pendant les présentations des projets, une grande importance a été accordée à la communication du processus de conception architecturale. L'idée était d'amener les étudiants à réfléchir sur leurs propres démarches. Ce partage d'expérience a été très apprécié par tous et a permis de voir la 'boîte à méthodes' des étudiants enrichie. La réutilisation créative de certaines des *chunks* dynamiques proposés en tant que modèles-référents a pu être également constatée lors de ces présentations.

12.2 Objectifs des observations

Cette dernière observation dans le cadre de notre recherche a deux types d'objectifs: concernant la compréhension du processus d'apprentissage de la conception architecturale en travaillant avec le numérique, et un deuxième concernant la mise à l'épreuve de la méthode d'enseignement proposée. Plus précisément:

- 1) Compléter la compréhension des démarches cognitives des étudiants, ainsi que l'influence des moyens informatiques sur elles, déjà esquissée à partir des observations décrites dans les Chapitres 5, et 10 ; et la mettre à jour en fonction avec la nouvelle cohorte d'étudiants et l'évolution des outils numériques. Les thèmes étudiés sont : actions du concepteur, démarche de conception, blocages et déclencheurs d'idées, générations de variantes, et recours aux référents.
- 2) Mettre à l'épreuve la librairie des référents interactifs encodant du savoir-faire architectural en tant que moyen didactique en atelier d'architecture. Il est important de souligner que non seulement l'utilisation directe de la librairie sera évaluée, mais aussi l'apport des méthodes de conception avancées par elle, notamment la modélisation paramétrique et l'utilisation du savoir-faire du domaine pour la génération d'idées et de variantes.

Parmi les indicateurs d'une éventuelle validation nous pouvons citer les suivants :

- la compréhension des références modélisées et la réutilisation du savoir-faire pour un nouveau projet;
- la contribution des méthodes avancées par la librairie de référents au processus créatif;
- l'apport de la librairie au transfert du savoir-faire du domaine et sa réutilisation pour les fins de la conception architecturale;
- l'élaboration d'une démarche de conception, propre à chaque étudiant qui tire avantage du médium numérique.

À la fin de ce processus, il serait possible de recenser les forces et les défauts de la librairie de référents proposée et d'esquisser des voies complémentaires de développement des moyens didactiques pour la conception architecturale.

12.3 Protocole de l'observation-3

L'observation du fonctionnement et des effets de la méthode basée sur les *chunks* dynamiques de savoir-faire introduites en tant que référents en atelier a eu deux volets: le travail sur le projet trimestriel, et une séance de 'micro-observation' du travail sur une petite tâche de conception (durée de 2h30, pendant la 11^{ème} semaine du trimestre), pendant laquelle, les étudiants ont travaillé seulement à l'ordinateur (voir la Figure 63 et la légende sur la Figure 5). Annexe-8 représente l'évolution des observations pendant les années.

Le protocole de la micro-observation a été basé sur le dialogue des étudiants (5 femmes et 5 hommes) pendant qu'ils travaillaient en équipe de deux (Fig. 64-a). Chaque équipe a travaillé sur un ordinateur, mais avec deux souris pour une interaction plus libre avec l'environnement numérique. A la fin, les étudiants ont été demandés de présenter leurs mini-projets dans le cadre de 2 à 3 minutes.

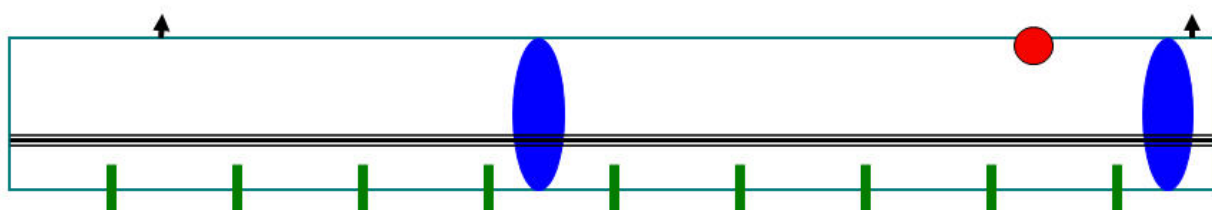


Figure 63: Schéma de l'observation #3 : une micro-observation a été réalisée vers la fin du trimestre.

La séance de travail a été enregistrée par caméra-vidéo et à l'aide d'un logiciel d'enregistrement de sessions d'écran. Les films vidéo ont été transcrits utilisant la même méthodologie que celle des observations #1 et #2 : description des actions, des représentations graphiques, des gestes, et transcription de la conversation. Des saisies d'écran ont été aussi faites aux moments clés des films dans le but d'avoir une représentation visuelle synthétique du déroulement du travail.

12.4 Données

Selon le schéma de l'observation, deux types de données ont été cueillis : par rapport au travail des étudiants sur leurs projets trimestriels, ainsi qu'à partir de la micro-observation même. Des questionnaires ont été aussi remplis au début et à la fin de la session. Suivant la méthodologie déjà établie, les données provenant de l'observation longitudinale du travail trimestriel servent comme fond et mise en contexte pour l'interprétation des données des micro-observations.

12.4.1 Micro-observation

La tâche de conception sur laquelle les étudiants ont travaillé pendant la micro-observation a été : « Théâtre d'été avec espace d'exposition au bord de la mer ».

Une observation générale a démontré que des méthodes paramétriques de design ont été exploitées avec succès par trois (des cinq) équipes (Fig. 64 et 65). Deux de ces équipes ont travaillé presque exclusivement d'une manière paramétrique (voir la Figure 64 b et c). Les autre deux équipes ont essayé d'utiliser des formes et des compositions paramétriques, mais sans beaucoup de succès. Ils ont fini par modéliser de façon traditionnelle (Fig. 66). Cependant, presque tous les étudiants ont fait des explorations numériques paramétriques pendant leur projet trimestriel. D'après nous, et en nous appuyant sur leurs propres paroles, les contraintes importantes du temps disponible sont responsables pour cette différence dans les stratégies.



Figure 64: (a): Équipe de deux étudiants pendant les micro-observations; b) et c): explorations interactives du modèle paramétrique (équipe J.-R.).

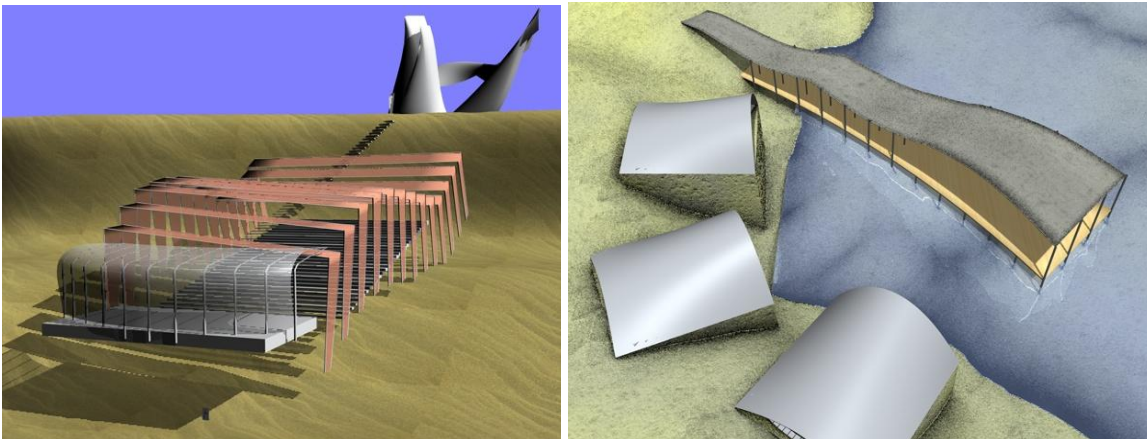


Figure 65: Deux autres mini-projets réalisés pendant les micro-observations (M.-N. et C.-S.)

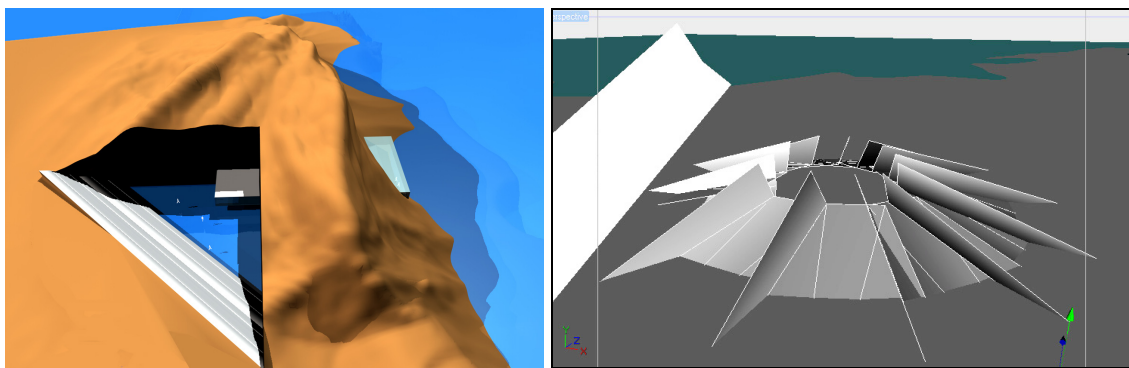


Figure 66: Mini projets des équipes qui n'ont pas utilisé des méthodes paramétriques (équipes A.A.-G. et A.S.-Y.)

Les observations ont eu des objectifs pédagogiques également. Le travail intensif et le partage d'expérience ont été très appréciés par les étudiants. Cet effet est cohérent avec celui observé pendant les micro-observations précédentes où les étudiants ont travaillé en équipe.

12.4.2 Questionnaires

Les questionnaires remplis par les étudiants au début et à la fin du trimestre démontrent une amélioration considérable des connaissances générales des logiciels, selon l'estimation faite par eux-mêmes (voir Annexes 5 et 6).

La modélisation 3D a été le moyen prédominant utilisé pour plusieurs activités pendant le processus de conception : la programmation, l'analyse du site, la genèse du concept, la mise en forme, la validation, le développement et la présentation du projet. Nous sommes conscients du fait que les étudiants ont été très encouragés d'essayer ce médium de travail pour en connaître les atouts et les désavantages, ce qui a probablement influencé ce résultat. Il est normal qu'un tel biais soit présent dans des recherches qualitatives participatives comme la nôtre. Cependant, les résultats nous éclairent sur les méthodes utilisées par les étudiants dans le cadre de leur projet trimestriel.

La satisfaction par rapport aux méthodes et les résultats de l'atelier a été à 100% positive. Les propositions d'amélioration concernaient l'organisation du temps pendant le trimestre et l'ampleur du projet (un peu grand pour le temps limité).

La librairie de référents a été aussi très positivement évaluée (par les questionnaires, et dans les discussions avec les étudiants), en tant qu'aide à l'apprentissage du logiciel, ainsi

que comme outil d'exploration et dynamisation de l'objet en conception, et comme moyen de transfert de connaissances du domaine.

Des concertations sur ces questions qui ont eu lieu un an plus tard (en hiver 2008) avec les étudiants qui ont suivi l'atelier de l'automne 2006 ont fait preuve d'une attitude tout aussi positive par rapport aux méthodes de l'atelier. La pertinence de la librairie de référents pour l'apprentissage de la conception architecturale avec le médium numérique a été aussi confirmée. Il s'est avéré que certains étudiants s'y référaient toujours.

Les réponses aux questionnaires, ainsi que les discussions après l'atelier donnent un portrait d'une acceptation très positive de la méthode d'enseignement proposée dans le cadre de cette thèse. Cependant, elles ne permettent pas de comprendre quels aspects du processus de conception et d'apprentissage ont été influencés, de quelle façon et par quels mécanismes cognitifs. Les réponses à ces questions ont été recherchées à partir de l'observation du travail des étudiants sur leurs projets trimestriels, et surtout sur la base de la micro-expérience menée vers la fin du trimestre.

12.4.3 Méthode d'analyse et interprétation des données

Utilisant la méthodologie décrite dans le Chapitre 4, nous avons réalisé une analyse qualitative des données et interprétation à deux étapes : (1) interprétation générale après visionnement, transcription et étude de toutes les données; et (2) interprétation à la suite d'un codage ponctuel des moments identifiés en tant que 'blocages' ou 'déclencheurs d'idées' (Fig. 67).

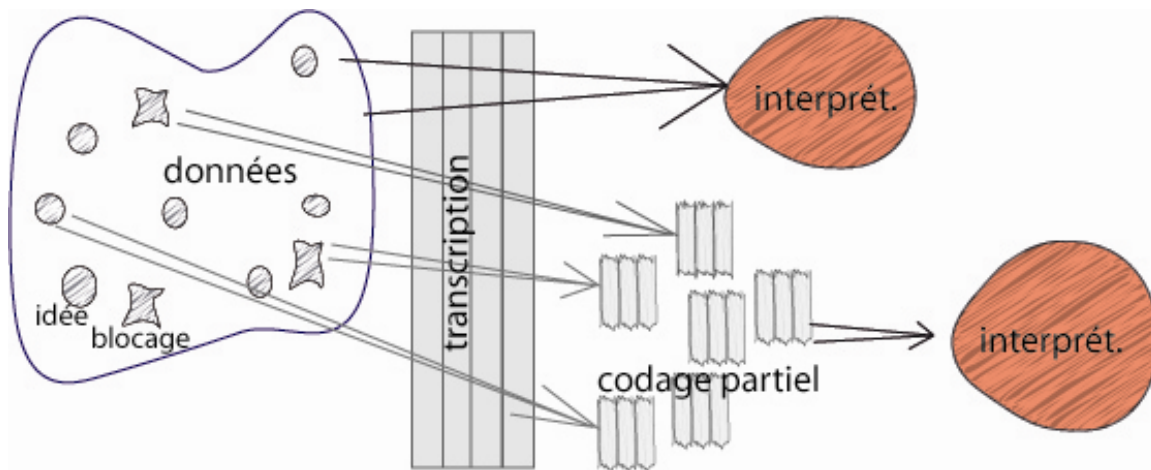


Figure 67: Méthode d'analyse qualitative et interprétation des données

12.5 Résultats

Dans ce qui suit, nous allons représenter les résultats par rapport aux thèmes qui ont été étudiés pendant les observations précédentes, ainsi que quelques aspects plus spécifiques par rapport à la librairie de référents interactifs LibReArchI. Ces derniers concernent l'apprentissage, l'émergence d'idées, le transfert analogique, la conversation réflexive, et le partage de savoir-faire.

12.5.1 Actions du concepteur

Les actions du concepteur ont fait surgir des phénomènes semblables à ceux relevés pendant l'observation précédente (voir Chapitre 10.5.1). Ainsi, le nombre d'actions n'était pas relié ni à la méthode de travail (paramétrique ou non), ni à la qualité du résultat obtenu.

Les moments de réflexion ont été identifiés de la même façon que pendant l'observation précédente. Souvent, le dialogue (ou le monologue à haute voix) peut s'instaurer à la place de la réflexion individuelle.

Des 'promenades' à l'intérieur et l'étude des points de vue des spectateurs dans le théâtre font partie des techniques utilisées pour explorer la fonctionnalité de l'objet architectural en conception, ainsi que sa cohérence par rapport au concept.

Techniques numériques utilisées

Comme nous l'avons mentionné, sur les cinq équipes qui ont participé à l'observation, deux ont travaillé surtout de façon paramétrique, deux ont donné une prédominance aux méthodes directes de création formelle, et une équipe a eu recours aux deux types de techniques à part égale. En plus de l'utilisation réussie des méthodes paramétriques, il y a eu quelques tentatives de les mettre en contribution pour le projet. Ces tentatives n'ont pas porté fruit soit à cause de la connaissance insuffisante de la méthode, soit par manque de temps.

En général, les méthodes paramétriques de génération de la forme ont été beaucoup plus fréquentes que pendant l'observation précédente. D'un côté, ce changement peut être attribué au fait que tous les étudiants ont utilisé le logiciel qui propose plus de méthodes paramétriques et des façons non-destructibles de modifier un objet ou une distribution d'objets (Cinema 4D). D'un autre côté, l'apprentissage des méthodes paramétriques de

génération et exploration a été appuyé par les capsules interactives de savoir-faire se trouvant dans la librairie de référents.

Les problèmes de liaison entre éléments ont été présents de nouveau dans les cas où les étudiants n'avaient pas paramétré ces éléments lors de leur création. Cependant dans certains projets, ce problème a été très rare grâce aux méthodes paramétriques de création, utilisées aux endroits où un lien a été souhaité.

Recours aux référents de la librairie

Les enregistrements du travail sur la petite tâche de conception ont révélé plusieurs aspects de recours aux référents se trouvant dans la librairie. Son interface via le logiciel de modélisation a été largement appréciée. De plus, plusieurs étudiants ont trouvé cette intégration très conviviale et ont commencé à l'utiliser comme explorateur de fichiers par rapport à tous les documents liés au projet.

Il a été constaté que l'intégration de plusieurs types de référents (images, modèles, textes) dans une même librairie et environnement fonctionne bien et que les étudiants se réfèrent sans difficulté à tous les types pouvant aussi réutiliser les référents-modèles pour de nouvelles fins liées au projet en cours.

12.5.2 Démarche de conception architecturale

Comme il a été déjà observé pendant les expériences précédentes, le travail sur le projet commence par une discussion entre les coéquipiers. Cette fois, étant donné qu'ils devaient regarder les référents de la librairie au début de la séance, la conversation a été influencée par les référents. Ainsi, des idées par rapport au projet ont émergé pendant cette période. Il a été trouvé (Verstijnen et al., 2001) que des analogies peuvent servir pour communiquer des idées visuelles entre collaborateurs à l'absence d'un autre type de communication graphique. Un certain nombre d'idées par rapport au mini-projet ont été générées pendant cette discussion initiale en regardant et en manipulant les référents.

Deux modèles de conception ont été identifiés dans le cadre de cette séance de travail (Fig. 68): (1) définition du projet encore au début de la période de design, après quoi seulement des idées mineures apparaissaient, tandis que l'objectif reste de représenter l'idée principale du projet; et (2) identification des principes généraux du projet, après laquelle la conception était guidée par un processus exploratoire. Nous avons essayé de relever

certaines raisons pour cette différence et aussi que de trouver ses implications pour le projet.

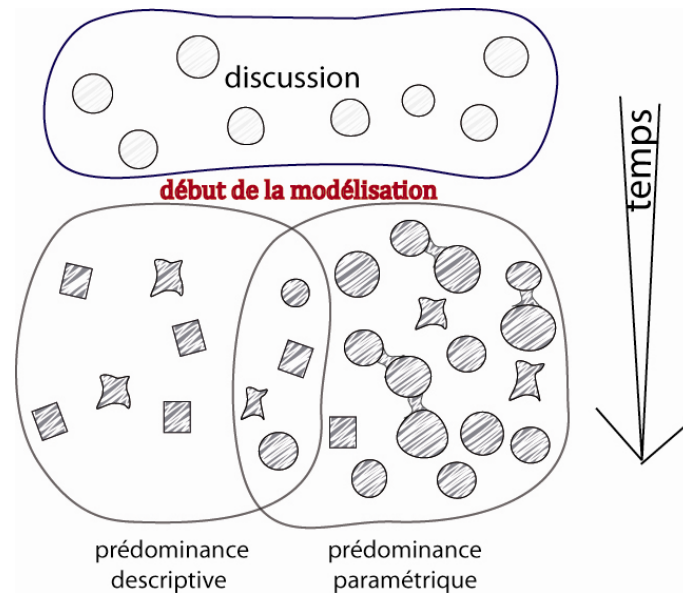


Figure 68: Schéma des modèles de conception observés pendant les micro-observations et leur lien avec la méthode de travail avec le numérique

Après une étude plus détaillée des données, il a été remarqué que cette différence ne vient pas d'une stratégie préétablie mais plutôt de la façon dont se déroule le travail après cette première discussion. Nous avons relevé le type des idées initiales pour le projet (générées avant le début du travail sur l'objet architectural). Il s'agit des types d'idées suivants (entre les parenthèses est indiqué le nombre de chaque type trouvé pendant la discussion initiale):

- qui partent du site (du contexte) : (2);
- qui veulent créer une expérience spatiale (2);
- structurelles (2);
- cinétiques (3);
- formelles : (2);
- fonctionnelles (2).

Il n'a pas été trouvé d'incidence entre le type d'idée initiale pour le projet et les deux modèles de conception identifiés plus haut. Ceci vient nous dire que les idées deviennent

soit relativement ‘concrètes’, soit des ‘principes généraux’, dépendamment de la méthode de leur extériorisation (modélisation).

Ainsi, il a été observé que les équipes faisant partie du deuxième modèle, ont utilisé des méthodes paramétriques de modélisation de (certaines parties de) l’objet architectural en conception. Étant donné la nature dynamique et non-arrêtée des modèles paramétriques, la forme n’est pas figée dès sa création, mais au contraire, permet des explorations, qui à leur tour donnent la naissance à de nouvelles idées, etc.

C’est un constat important par rapport à l’enseignement de la conception architecturale et prouve la pertinence des méthodes avancées par la librairie de référents LibReArchI.

12.5.3 Variances

Pendant les deux observations précédentes nous avons remarqué que l’aptitude de générer des variations avant de s’arrêter sur une solution pour le projet architectural est plutôt une préférence liée à l’individu. Ainsi, une indépendance relative par rapport à l’outil et le matériau de travail a été constatée (cf. Chapitres 5.5.2 et 10.5.3).

Après cette dernière observation, il est possible d’ajouter à ces prédispositions l’influence de la méthode de modélisation (création directe de la forme ou description paramétrique générative). La modification d’une forme figée implique souvent plus de travail ultérieur parce que les différentes parties de l’objet ne sont pas liées. Ceci mène à une réticence de modifier une forme initiale créée avec cette méthode numérique. De l’autre côté, la création d’un modèle de génération paramétrique de la forme demande plus de réflexion et investissement de temps au début, mais après les modifications sont rapides et naturelles. Il est aussi possible d’y encoder des savoir-faire du domaine.

Un effet intéressant de la manipulation des *chunks* de savoir-faire se trouvant dans la librairie, ou des autres fonctions paramétriques offertes par le logiciel, a été de créer un modèle du concept du projet, pour ‘jouer’ ensuite avec lui et générer des variances (Figure 64 b, c). Cet aspect du travail avec le médium numérique a été identifié comme un des plus surprenants et enrichissants (selon les réponses aux questionnaires).

12.5.4 Blocages provoqués par l’outil

Les blocages observés qui ont été provoqués par l’outil pendant cette observation, ont eu des raisons similaires à celles, identifiées lors des micro-observations précédentes. La non-

connaissance des fonctionnalités du logiciel a été la raison la plus fréquente. Cependant, nous avons été témoin à des phénomènes nouveaux : des situations où les étudiants savaient qu'une méthode numérique particulière peut traduire leurs intentions, sans toutefois arriver à la réaliser. Dans ces cas, certains voulaient se référer aux modèles de la librairie de référents. Des fois, ceci a résolu le problème. Dans le cas inverse, les étudiants cherchaient des vidéos explicatives par rapport au modèle. Par manque de temps, ils n'ont pas regardé les vidéos pendant la séance des micro-observations. À cause de la taille limitée de la librairie, il n'existe pas de vidéos sur tous les modèles non plus. D'un côté, ce phénomène augmente le nombre des blocages, mais de l'autre, il montre que les étudiants sont conscients de l'existence de ces méthodes et à notre avis, dans une situation moins limitée par le temps, ils pourront arriver à l'utilisation correcte de la méthode.

Une autre difficulté a été provoquée par le nombre considérable de paramètres dans les fonctions paramétriques du logiciel. Ils donnent une grande liberté, mais qui s'avère difficile à contrôler quand la connaissance du logiciel n'est pas assez avancée. Souvent, une conversation avec le tuteur a pu résoudre le problème. Sinon, la méthode initialement choisie a été remplacée par une autre, moins pertinente mais qui permettait de faire avancer le projet.

Le fait que le logiciel utilisé n'est pas de la 'famille' des logiciels de CAO/DAO, met les étudiants dans une situation où ils ne trouvent pas facilement des outils auxquels ils sont habitués (*snap*, mesurer, calculer de façon précise, etc.). Si ces outils sont nécessaires pour le développement du projet, le travail avec précision dès le début du processus de design peut entraver la créativité. Cependant, discontinuer cette habitude, implique une restructuration de connaissances, qui est difficile à faire (voir Chapitre 7.1).

Certains blocages ont été provoqués par le temps excessif de calcul, ou encore par l'absence de fonctionnalités spécifiques de génération de formes. Ceci amène à l'idée que l'inhibition a priori d'utiliser certaines méthodes, due à la conscience de leur non-efficacité dans certaines situations peut créer des frustrations et des blocages. L'expérience et la meilleure compréhension des méthodes peuvent aider l'acquisition de cette connaissance et diminuer ainsi les blocages de ce type.

La difficulté identifiée lors des observations précédentes, notamment, de modéliser des objets qui sont interdépendants, mais qui restent assez flexibles pour permettre des explorations conceptuelles, a été souvent surmontée dans le cadre de ces observations. Si

des cas d'échec de réaliser ce type de modèles existent toujours, une importante amélioration a été réalisée: le fait que les étudiants sont capables d'identifier et nommer les méthodes qui peuvent leur servir dans telles situations. Ils savent dorénavant où chercher de l'information et de l'assistance par rapport à leur réalisation concrète. Le pas suivant est d'y mettre plus de temps d'apprendre et d'expérimenter avec ces méthodes pour mieux les contrôler.

12.5.5 Déclencheurs d'idées

Dans ce qui suit, nous allons porter un regard spécifique aux idées émergées après la discussion initiale sur le projet, autrement dit, pendant le travail à l'ordinateur sur l'objet en conception. À la différence de l'analyse sur ce thème, faite après l'observation #2 (voir Chapitre 10.5.5), ici, tous les types de déclencheurs seront pris en compte, et non seulement ceux découlant du médium de travail (voir Annexe-7).

Seulement l'émergence d'idées majeures a été étudiée (Fig. 68). Pour qu'une idée soit identifiée comme telle, elle devait répondre à deux critères : être nommée; et avoir une explication de son lien (ou de sa contribution) par rapport au projet. Une idée est qualifiée comme étant 'majeure', au cas où elle est poursuivie jusqu'à la fin du projet, ou elle est considérablement explorée avant d'être abandonnée.

	Équipe-1 modélisation descriptive	Équipe-2	Équipe-3	Équipe-4 modélisation générative	Équipe-5	au total
Nombre d'idées générées	6	6	10	16	12	50
pendant la discussion	2	3	3	4	1	13
pendant le travail avec le numérique	4	3	7	12	11	37
moments de "voir-comme"	1	2	2	6	8	19
pendant la discussion	0	1	0	1	1	3
pendant le travail avec le numérique	1	1	2	5	7	16
idée provoquée par des explorations paramétriques			3	9	5	17
utilisation des méthodes génératives	difficile		facile		libre	

Figure 69: Tableau des résultats: déclenchement d'idées

Dans le cadre du Chapitre 8, il a été remarqué que le nombre d'idées générées influence positivement les chances qu'une bonne idée se trouve parmi elles. Dans ce sens, la quantité peut être un indicateur de la qualité des idées. Nous avons relevé le nombre d'idées générées par rapport à la méthode numérique de travail utilisée par les étudiants. Ainsi, les équipes qui ont travaillé de façon paramétrique et générative sur l'objet de conception, ont généré 9, 12 et 16 idées respectivement. Ceux qui ont utilisé des méthodes non-paramétriques, ont généré 6 idées chaque équipe, et ceci principalement au début de la session de design (pendant la discussion initiale).

La même correspondance entre méthodes utilisées et nombre de variations proposées a été observée dans le cadre du travail sur le projet trimestriel. Même si le nombre de concepts a été de deux dans la plupart des cas, les explorations autour de ceux-ci ont un lien avec la façon dont le modèle initial a été créé. Ceci est valable surtout pour la phase conceptuelle du projet. Ainsi, l'exploration faite sur la base d'un des modèles de référents (du thème 'son') a donné naissance à l'idée principale du projet trimestriel (cf. Fig. 62).

12.5.6 Recours aux référents

Parmi les 50 idées majeures identifiées pendant le travail des 5 équipes, 38 ont été liées aux référents. Comme Leclercq et Heylighen (2002) ont pu également constater, une grande partie d'entre elles ne venaient pas de la librairie de référents, mais de l'expérience précédente des étudiants. Ce phénomène témoigne peut-être de la nécessité d'assimiler un référent avant d'être capable de s'y référer. Les séances de travail enregistrées qui était malheureusement assez courtes, ne permettaient pas une bonne opérationnalisation du référent.

Ainsi, 27 des référents qui ont déclenché une idée provenaient de la librairie de référents (11 images et 16 modèles). Neuf métaphores ont été utilisées. Trois parmi ces métaphores ont été évoquées par des modèles de la librairie numérique.

Le recours aux référents a été assez varié par rapport aux formes de représentation appréciées. Les images de précédents, le site du projet (relief, orientation, bord de l'eau) et des métaphores, ont tous montré le rôle stimulant pour la génération d'idées sur le projet. Cependant, nous avons remarqué une importance accrue des images (photos de projets réels) pour la naissance d'idées. Tandis que les modèles ont un rôle indispensable pour la concrétisation des intentions, et à leur tour peuvent générer des idées grâce à des

'réponses' inattendues dues à des variations paramétriques. Ceci souligne l'importance de la multimodalité des représentations des références dans la librairie offerte aux étudiants.

Dans les questionnaires, les modèles et les vidéos explicatives ont été estimés comme étant les formats de représentation les plus utiles (les autres formats étant images et textes).

Pendant la micro-expérience, à quelques reprises, les étudiants ont eu des difficultés à utiliser du savoir-faire encodé dans des modèles interactifs. Nous avons relevé trois moments où un des membres de l'équipe voulait voir la vidéo explicative d'un modèle pour comprendre comment le réutiliser pour les buts du projet, mais l'autre membre de l'équipe déclinait la demande à cause des limitations de temps.

Types d'utilisation des chunks de savoir-faire

Une utilisation plus extensive des modèles interactifs de savoir-faire a eu lieu pendant le travail sur le projet trimestriel. Avec l'introduction de chaque partie (thème) de la librairie en atelier, et en faisant les exercices préparatoires, les étudiants ont pu prendre le temps d'explorer les modèles et d'apprendre à les manipuler, modifier et utiliser le savoir-faire s'y trouvant.

Trois types d'utilisation des *chunks* de savoir-faire ont été identifiés pendant les micro-observations:

- Réutiliser un modèle avec difficulté, vouloir consulter la vidéo explicative ou demander de l'aide;
- Réutiliser un modèle facilement, le modifier et le transférer à d'autres situations et contextes; et
- Utiliser les règles intégrées dans un modèle de façon autonome et créer un nouveau modèle sur la base du même savoir-faire.

Dans ce dernier cas, les étudiants ont au préalable intériorisé et opérationnalisé le *chunk* de savoir-faire proposé par le référent, et ils n'ont plus eu besoin d'y avoir recours directement. Ce dernier type d'utilisation des *chunks* de savoir-faire est le plus libre et le plus créatif. Toutefois, il est aussi possible que cette réutilisation différente ait été conditionnée par les différents styles cognitifs des étudiants (Roberts, 2006)

Dans le cadre de la micro-observation, une équipe a utilisé la paramétrisation (de 3 types différents) de façon autonome. Une autre équipe a réutilisé des *chunks* de savoir-faire de la librairie (9 fois). Une troisième équipe a eu recours aux deux types de travail. Les deux autres équipes, qui n'ont pas réussi d'inclure des explorations paramétriques dans leurs mini-projets, ont essayé de réutiliser les modèles de la librairie (1 fois chaque équipe).

Contenu du transfert analogique

Le contenu du transfert analogique (à partir des référents) concerne surtout des connaissances scientifiques et des méthodes de design quand l'étudiant se réfère à un modèle interactif de savoir-faire. Un nombre plus élevé de transferts d'aspects artistiques et expérientiels a été observé lors de discussions sur des images ou des métaphores. Ces résultats sont supportés par les données provenant du projet trimestriel, où des connaissances scientifiques, ainsi que des savoir-faire par rapport aux méthodes de design ont été utilisés pour explorer le projet.

En ce qui concerne les thèmes desquels le savoir-faire a été le plus souvent transféré vers les explorations du projet trimestriel, la structure, le climat, le son et la matérialité ont été les plus appréciés (voir Figures 70 et 71). Ceci est peut-être dû au fait que la 'valeur ajoutée' des *chunks* de savoir-faire faisant partie de ces thèmes se trouve être la plus grande par rapport aux fonctionnalités du logiciel. Les concepts architecturaux manipulés et les savoir-faire du domaine offrent aux étudiants des possibilités uniques d'exploration architecturale dans le cadre d'un logiciel de modélisation.

Le degré de succès du transfert des savoir-faire encapsulés dans des référents a été satisfaisant. Des fois, la réutilisation des modèles interactifs a été entravée par des difficultés techniques (surtout à cause de la non-connaissance de certaines fonctions du logiciel). La situation a été beaucoup meilleure pendant le travail sur le projet principal de l'atelier quand les limitations du temps n'étaient pas si stressantes, et les étudiants pouvaient aussi demander de l'aide de la part du tuteur ou du moniteur.

À partir des micro-observations, nous avons identifié une attitude spécifique par rapport au contenu du transfert analogique à partir d'images et métaphores, qui a peut-être été influencée par les nouvelles méthodes de génération de la forme, apprises en atelier. Les étudiants recherchaient à identifier le processus qui a généré un référent, pour pouvoir le transposer sur le nouveau projet. C'est un phénomène qui pourrait servir les étudiants

même avec des référents provenant de l'extérieur de la librairie didactique, et enrichir de la sorte leur savoir-faire du domaine avec des règles et généralisations générées par eux-mêmes.

Degré de nouveauté

La réutilisation du savoir-faire encapsulé dans des référents vient poser la question du degré de nouveauté de l'objet en conception par rapport au référent 'réutilisé'. Un danger connu de la réutilisation de modèles est l'imitation, le fait de copier le modèle directement.

Dans le but d'étudier la présence d'un tel phénomène, nous avons établi des critères de 'nouveauté' d'un objet en conception. Ces critères, assez simplifiés, concernent deux aspects : changement du contexte et/ou absence de ressemblance formelle. Les résultats obtenus ont été assez satisfaisants et montrent une bonne distinction entre le modèle fourni par la librairie et les objets créés à sa base. Ceci peut être surtout observé dans le cas du transfert du savoir-faire de design (Fig. 70).

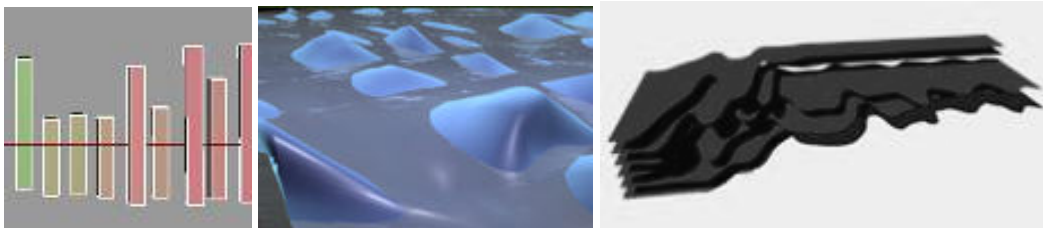


Figure 70. Comparaison entre un modèle interactif fourni par la librairie (à gauche) et deux réutilisations faites par les étudiants (au milieu et à droite)

Le degré de nouveauté devrait être évalué de façon moins stricte quand il s'agit de transfert de connaissances scientifiques du domaine. Dans ces cas, les aspects formels de l'objet en conception peuvent rester généralement similaires. Par exemple, dans le projet sur la Figure 71, les paramètres de visibilité et d'acoustique déterminent les pentes relativement similaires des gradins dans la salle de concert. L'avantage qu'un étudiant peut avoir de ce référent est la possibilité de réaliser son projet en utilisant les connaissances du domaine, et en même temps, de pouvoir varier les paramètres dans les limites définies pour trouver une solution optimale pour son projet.

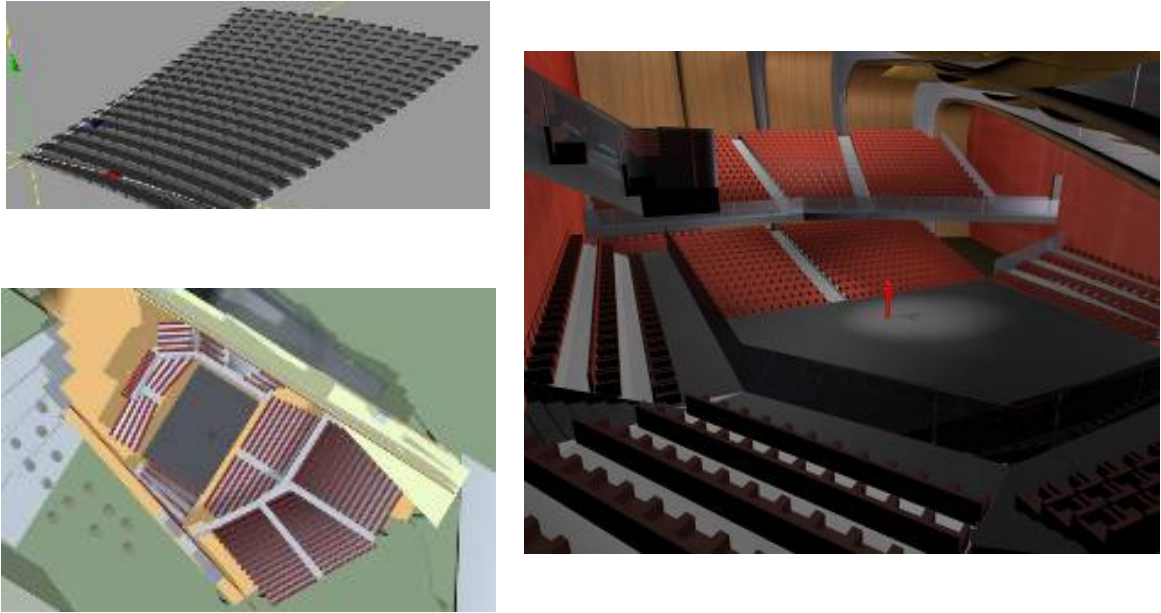


Figure 71: (a) Modèle-référent de gradins (avec les règles de disposition encapsulées), et sa réutilisation dans un nouveau projet (b) en plan, (c) vue de la salle (projet de J.T.)

Moments of ‘seeing-as’ and ‘reflective conversation’

Comme il a déjà été mentionné dans le Chapitre 8, d’après Goldschmidt, les sauts créatifs pendant le processus de design sont souvent le produit d’un phénomène de ‘voir-comme’ et sont basés sur des représentations visuelles de l’objet en conception. L’existence d’une telle dépendance dans un contexte numérique est contestée par Oxman (2008). Cette auteure trouve que l’interaction visuelle avec l’objet de conception n’a pas la même importance pour le processus numérique de design, comme il l’était pour les méthodes traditionnelles de design. En conséquence, nous avons voulu identifier si le processus d’exploration numérique modifie le cycle de ‘voir-que’ et ‘voir-comme’ ainsi que si le phénomène de ‘voir-comme’ continue d’être une condition pour l’émergence d’idées.

Dans une recherche qualitative que la notre, il n’est pas possible de faire des conclusions quantitatives, mais une tendance se fait remarquer: pendant les micro-observations, le plus de moments de ‘voir-comme’ ont été relevés, le plus d’idées ont été générées par les équipes. Cependant, une bonne partie des idées n’a pas été déclenchée par des moments de ‘voir-comme’ (19 tels moments ont été observés, tandis que 50 idées ont été générées au total), cf. Fig. 69.

Des périodes de ‘conversation réflexive avec les matériaux de la situation’ ont été aussi observées dans le cadre des micro-expériences. Elles étaient presque exclusivement le résultat d’explorations paramétriques et algorithmiques du projet et de ses parties. Ces explorations ont été initiées soit en se référant à un modèle de la librairie, soit par l’utilisation d’une méthode déjà opérationnalisée. Le point commun était la modification dynamique, interactive et continue de l’objet du design, assistée par des algorithmes numériques.

Pendant les micro-observations, l’équipe qui a travaillé d’une manière paramétrique, a eu le plus d’idées déclenchées pendant des périodes de ‘conversation réflexive’. En fait, nous avons découvert que des moments de ‘voir-comme’ faisaient souvent partie des périodes de ‘conversation réflexive’. Encore une fois, ces observations ne sont pas cohérentes avec les dernières théories de *digital design thinking* avancées par Oxman (2008). Selon cet auteur, la pensée visuelle, le dialogue avec les matériaux de la situation et l’interaction avec des représentations visuelles ne sont plus pertinents dans le cas de la conception architecturale numérique (selon une stratégie générative ou performative), où la manipulation de concepts plus abstraits fait avancer le projet. À notre avis, la nature spatiale et la présence visuelle de l’architecture dans notre environnement font de sa représentation visuelle un aspect incontournable, qu’il ne soit pas le plus important. Les concepts abstraits déclenchent le processus de travail sur le projet, mais après leur première extériorisation, la conversation réflexive entre en jeu. Les résultats de cette recherche démontrent une bonne symbiose entre modélisation d’aspects abstraits et figuration visuelle d’un objet en conception.

Les résultats font preuve d’un bon équilibre entre les différents types de transferts analogiques, ce qui est un pré-requis pour l’expression de la créativité (voir Chapitre 2 et 8). Les résultats des micro-observations et aussi du projet trimestriel témoignent d’un travail approfondi avec les référents et une bonne qualité des projets.

12.6 Rôle de la librairie de référents interactifs

Le rôle de la librairie de référents interactifs LibReArchI a été étudié en tant qu’aide à l’apprentissage de la conception architecturale, par rapport à l’émergence d’idées, relativement au transfert analogique et comme lieu de partage des savoir-faire.

Apprentissage

En interprétant les résultats de la mise-à l'épreuve de la librairie de référents, nous sommes en mesure d'affirmer qu'elle est susceptible de jouer un rôle positif par rapport au processus d'apprentissage des étudiants. Étant conçue comme moyen didactique, c'est le rôle le plus important que l'on envisageait pour la librairie.

Plus spécifiquement, dans le cadre de l'atelier observé, la librairie a aidé l'apprentissage des fonctionnalités du logiciel et leurs utilisations possibles dans le contexte architectural. À un autre niveau, les modèles interactifs se trouvant dans la librairie ont contribué au transfert des connaissances et des savoir-faire du domaine. Dans une vision à plus long terme, la librairie sert comme aide-mémoire par rapport à ces connaissances.

La librairie de référents a réussi à donner un bon exemple d'organisation des fichiers dans l'environnement numérique de conception. Pour certains étudiants, elle a mis la base d'une nouvelle organisation de leur Espace de conception numérique. Son caractère multimodal (multi-format) ainsi que l'interfaçage proposé, représentent un pas vers l'intégration des outils numériques de conception en architecture.

Émergence d'idées

L'émergence d'idées a été favorisée par deux mécanismes : la 'découverte' de référents et modèles inattendus, ainsi que par l'utilisation des méthodes génératives et paramétriques avancées par la librairie et par l'approche d'enseignement en atelier.

D'après les réponses des questionnaires, la librairie a contribué pour la dynamisation du projet et a joué aussi un rôle d'inspiration. La composante visuelle n'est pas à négliger quand il s'agit de déclenchement d'idées, car elle fait partie de la nature spatiale de l'architecture-même.

Transfert analogique

Le rôle de la librairie par rapport au transfert analogique a pu être étudié sous plusieurs aspects. Elle a fourni aux étudiants des *chunks* de savoir-faire du domaine dans une forme appropriée à la manière de penser des architectes – en tant que référents. Ce savoir-faire a pu être réutilisé dans de nouvelles situations pour de nouveaux projets.

Par rapport au contenu du transfert analogique, nous avons constaté un transfert de connaissances scientifiques et de méthodes de design à partir des modèles interactifs; et du transfert d'aspects artistiques et expérimentiels à partir d'images.

Une analyse plus profonde des précédents présentés par des images a été observée. Ainsi, des analogies structurales ont pu être faites (leur concrétisation a été recherchée à l'aide des *chunks* de savoir-faire).

Partage des savoir-faire.

La librairie LibReArchI, mise sur un serveur, a également créé un espace de partage de référents et des savoir-faire architecturaux (numériques ou d'autres). Ainsi, par la contribution des usagers, elle évolue et s'enrichit. Un espace de communication est aussi créé, ce qui pourrait poser les bases d'un espace numérique de conception pour étudiants et architectes.

Cependant la question des droits d'auteur devrait être précisée. Si nous cherchons un partage plus large de tels savoir-faire dans la communauté architecturale, un langage commun devrait être défini.

Le schéma sur la Figure 72 essaie de représenter l'Espace de conception d'un étudiant. La librairie de référents fait partie de la partie 'numérique' de cet 'espace'. Elle peut être dépliée sur l'ordinateur de l'étudiant, ainsi lui permettant de la personnaliser. Elle peut aussi être déployée sur un serveur et faire partie d'un espace de partage et d'échange des savoirs et savoir-faire entre étudiants et/ou architectes.

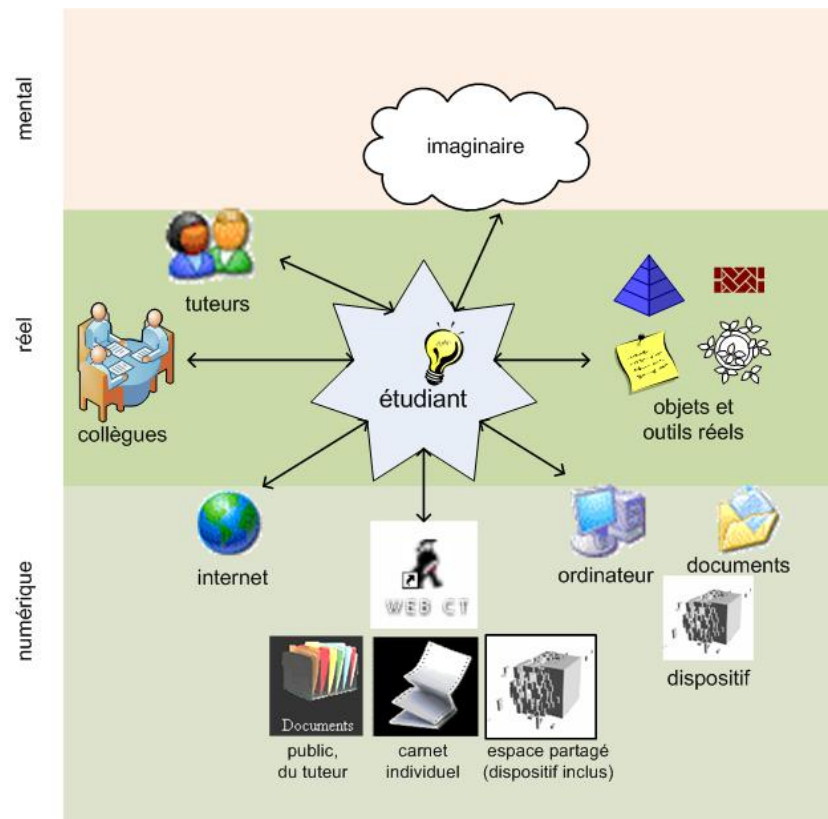


Figure 72: Schématisation de l'Espace de conception

En conclusion :

- Nous avons pu constater une bonne compréhension des référents modélisés grâce aux explorations paramétriques et des vidéos explicatives.
- Plusieurs cas de réutilisation du savoir-faire encodé dans les modèles interactifs pour un nouveau projet ont été relevés.
- La contribution des méthodes paramétriques et génératives proposées par la librairie de référents au processus créatif a été certainement importante.
- L'apport de la librairie au transfert de savoir-faire du domaine a été présent, mais limité à cause de la taille limitée du prototype créé.
- Certains étudiants ont pu élaborer une démarche de conception qui tire avantage du médium numérique. D'autres ont essayé les méthodes numériques proposées et pourront, à l'avenir, les reprendre pour mieux les maîtriser et exploiter.

Vérification (à la place de la validité)

Dans le cadre d'une recherche qualitative, il est difficile de parler de 'validation' des résultats, à cause de leur caractère non-quantitatif. Il n'est pas possible, non plus, de répliquer les mêmes observations sous les mêmes conditions pour vérifier les résultats. La méthodologie qualitative se base sur la 'vérification de la fidélité' de la recherche (Van der Maren, 1996, 2003).

Selon cet auteur, les vérifications suivantes doivent être assurées :

- Fidélité des inscriptions¹ (des données dans notre cas) au réel : pouvoir répéter la même observation de plusieurs points de vue différents.
- Le rapport des données aux concepts (le codage, dans notre cas): la fidélité à la dénomination, au sens que l'on donne à une inscription par rapport à la recherche. (il faut avoir un consensus que quand on voit 'ceci', par rapport à une chose, cette chose manifeste bien telle caractéristique et non pas une autre).
- La consistance de la recherche (consistance du raisonnement, dans notre cas): la puissance de l'argumentation ou de la démonstration qui conduit du problème posé aux conclusions de la recherche. Toutes les phases de la recherche doivent être enchaînées sans contradictions ou ruptures de sens. Comme il est impossible d'isoler les variables observées, dans une recherche exploratoire, il faut expliquer le rôle possible de l'ensemble de facteurs pour établir la consistance de la recherche.
- Le rapport des conclusions à la réalité : la possibilité d'étendre les conclusions de la recherche à d'autres contextes (validité externe de la recherche).

Les deux premiers aspects peuvent être vérifiés en passant assez long temps sur le terrain (Creswell 1998, 2007), et par la méthode de la 'triangulation' (Creswell, 1998, 2007; Van der Maren 1996). Ainsi, dans le but d'assurer la fidélité des données, pour un même événement nous avons cueilli des données de plusieurs sources (étudiants, tuteur) et de types variés (film vidéo, expression verbale, questionnaire, expression graphique).

¹ Inscription, avec le vocabulaire de Van der Maren (1996), est une trace d'un événement observé, obtenue par une instrumentalisation.

Elles ont été manipulées par des techniques variées dans le but d'assurer le rapport entre inscription et concept: création de 'narrative' de 'saisies d'écran'; segmentation et codage, description textuelle. Les thèmes et les catégories de codage ont été discutés avec d'autres chercheurs dans le domaine¹ pour arriver à un consensus.

La consistance du raisonnement qui fait évoluer la recherche peut être poursuivie dans les descriptions détaillées de chaque étape de la recherche, présentées dans cette thèse.

Enfin, le rapport des conclusions à la réalité et la possibilité d'extrapoler les résultats de la recherche vers d'autres contextes, fera l'objet d'une partie de la discussion sur les résultats obtenus (voir Chapitre 13.3).

C'est Creswell (1998, 2007) qui définit des standards pour la qualité et la vérification d'une recherche qualitative. Il propose de se baser sur l'acceptation des pairs (publications des résultats dans des revues scientifiques), sur la posture épistémologique, sur l'avis des participants dans la recherche (les étudiants dans notre cas), et sur l'autocritique du chercheur même. Selon le même auteur, la validité interne est remplacée par le 'fiabilité', pendant que la validité externe correspond à l'objectivité d'une recherche qualitative.

Extrapolation de la recherche (à la place de la validation externe)

Dans un contexte de recherche qualitative, la notion de validité externe est différente de celle exigée par une recherche quantitative. Selon Van der Maren (1996): « Cette qualité attendue d'une recherche, appelée la validité externe, c'est la possibilité d'extension, d'extrapolation, de transfert des énoncés issus d'une recherche. Anciennement, on parlait de la possibilité de généralisation; actuellement, on se limite à envisager des extensions plus locales à quelques autres contextes. » (Van der Maren, 1996, p. 117)

L'approche pédagogique et les principes avancés par la librairie de référents LibReArchI peuvent être transposés dans un domaine annexe à l'architecture, notamment l'urbanisme. Ce domaine de la création humaine porte un regard plus global vers l'organisation et la gestion de l'espace de vie. Il intègre des connaissances de la géographie, l'économie, l'histoire, la sociologie, etc. pour projeter l'environnement bâti. Des règles et des lois de

¹ Notamment, avec les chercheurs participant dans un projet de recherche subventionné par CRSH sur la pédagogie avec le numérique

types variés sont prises en considération pendant le travail de l'urbaniste : le code de la ville, le climat, la gestion du trafic, etc. Une librairie de modèles interactifs encodant ces règles pourrait assister les étudiants pendant leur processus d'apprentissage et les préparer pour mieux répondre à ces nouvelles attentes.

Une autre extrapolation de la recherche peut être faite par rapport à l'activité cognitive supportée. Nous avons développé les modèles interactifs pour un contexte d'apprentissage, mais en fait, la conception architecturale pratiquée par les architectes, a beaucoup de commun avec le travail sur un projet d'architecture en atelier de l'université. L'apprentissage par projet a ses sources dans la pratique architecturale. Il est donc, envisageable d'offrir une librairie de référents partagée pour les architectes dans les bureaux de la pratique. Étant donné la 'culture d'atelier' et les considérations de propriété intellectuelle, ainsi que la variété de logiciels utilisés dans les différents bureaux, il est peut-être plus plausible d'envisager une telle bibliothèque partagée dans le cadre d'un bureau (fermée ou avec accès limité pour des usagers externes). Cependant, dans une optique plus générale de partage et de libre accès au savoir-faire architectural, un tel espace partagé serait concevable. Par contre, dans un tel cas, une généralisation du langage de communication serait nécessaire.

Chapitre 13. Discussion

La méthode d'enseignement de la conception architecturale, définie dans le cadre de cette recherche, a pu formuler une réponse possible à notre question de départ, notamment : Comment l'enseignement de la conception architecturale pourrait tirer avantage des moyens numériques? Plus particulièrement, elle vise la réintégration des savoir-faire architecturaux dès le début de la définition d'un projet d'architecture, processus rendu possible grâce aux moyens informatiques. Ainsi, par le biais d'une approche intégrée, des forces abstraites (de type climatiques, structurelle, fonctionnelles, etc.) peuvent faire avancer le projet et donner la possibilité d'explorer des variantes d'une solution architecturale décrite à l'aide des actions et des processus qui la définissent. Cette méthode met à profit des approches numériques génératives pour le transfert de savoir-faire architectural et pour sa réutilisation adaptée dans de nouvelles situations de conception d'espaces architecturaux.

Techniquement, la méthode proposée s'inscrit dans une des tendances de l'architecture numérique avant-gardiste d'aujourd'hui – l'architecture générative et paramétrique. Utilisée seulement dans certains bureaux précurseurs, elle est dans son 'enfance' et cherche son chemin vers l'architecture réelle. Pour l'instant, ses résultats sont surtout d'usage pour des installations, des décorations ou des traitements de façades, ce qui la met sous les critiques des architectes et des enseignants, attachés au processus traditionnel de conception. Elle laisse souvent l'impression que l'ordinateur est responsable des solutions trop chères ou inadaptées à un contexte, tandis que c'est toujours le designer qui 'dit' à l'ordinateur quoi faire, et c'est encore lui qui à la fin du processus juge la qualité des propositions suggérées par le médium numérique.

Dans le cadre de la présente discussion, nous allons faire une évaluation critique de l'approche d'enseignement proposée, par rapport à ses avantages et inconvénients. Après, nous discuterons de ses limitations, et nous proposerons des voies pour son développement et extrapolation futurs.

13.1 Évaluation critique

L'évaluation critique sera d'abord faite par rapport au rôle de l'approche proposée pour l'apprentissage de la conception intégrée. Après, nous concerterons comment elle répond aux exigences vers l'Espace de conception d'un architecte et quelle est sa contribution à la création de ce dernier. Nous allons aussi nous attarder sur l'incidence de la librairie de référents interactifs sur la créativité. La transférabilité des méthodes avancées par la librairie sera mise en question. À la fin, nous porterons un regard plus épistémologique sur la recherche comme telle.

13.1.1 Approche intégrée à la conception architecturale

Un des objectifs de l'approche pédagogique basée sur le processus et de la librairie de référents interactifs LibReArchI introduite en tant qu'aide à l'apprentissage, est de permettre la réintégration des savoir-faire architecturaux et des domaines connexes dès le début du processus de conception. Ainsi, après la période de prédominance visuelle dans les théories de design, renforcée par l'utilisation de l'ordinateur comme outil de représentation, notre travail s'inscrit dans la logique des recherches permettant un changement de paradigme dans l'enseignement de la conception architecturale. D'après Lyon (2006) et Oxman (2008), il est important qu'on modifie l'approche traditionnelle de design, basée uniquement sur l'objet de conception et sa performance, en une approche qui ne dissocie pas l'objet de design du processus qui le génère, ni du processus de sa fabrication.

Ainsi, une approche intégrée permettrait un processus de production automatisée directement à partir des fichiers numériques de design. Celui-ci induirait non seulement des économies, mais redonnerait également à l'architecte son statut perdu de maître d'œuvre. De cette manière, à la place de faire des dessins du futur bâtiment et de les donner aux ingénieurs civils pour qu'ils 'fassent tenir' le projet, l'architecte travaillerait en collaboration avec eux (ou en utilisant des connaissances structurelles dès le début de son projet) et la forme serait née en considérant ces forces. Il est de même par rapport à l'optimisation de la performance climatique du bâtiment : à la place d'être vérifiée une fois le projet ayant pris forme, elle pourrait servir de générateur de la forme. Ainsi, la conception architecturale peut être vue comme une transformation progressive de forces théoriques (abstraites) vers un objet physique (concret) (Lyon, 2005).

Parmi les logiciels commerciaux, ceux du type *Building Information Modeling (BIM)*, sont ceux qui offrent une approche intégrée à l'information par rapport à un projet. Il s'agit surtout d'information concernant la structure et la matérialité des éléments constructifs. Un désavantage de ces logiciels est qu'ils limitent le concepteur de rester dans le cadre des connaissances déjà prévues dans le logiciel, ne permettant pas d'explorations libres. Ils ne jouent pas un rôle actif par rapport à la créativité non plus, tandis que les *chunks* de savoir-faire que nous proposons peuvent servir d'objets de réflexion et participent dans la 'conversation réflexive avec la situation', enrichissant ainsi l'Espace de conception des étudiants avec de nouveaux objets. Cela nous permet d'espérer d'un côté diminuer l'effet négatif de la surconsommation visuelle et l'abus du 'formalisme numérique' et de l'autre, garantir un transfert de savoir-faire architecturaux de façon implicite et visuelle.

De son côté LibReArchI a aussi certains désavantages : étant une librairie de référents, elle ne peut pas viser une exhaustivité, mais peut surtout offrir l'avantage de la forme sous laquelle elle offre les connaissances, la notion de processus qui y est intégrée et l'environnement flexible qu'elle offre.

13.1.2 Figurations dans l'Espace de conception

Comme nous avons pu déjà le définir (cf. Chapitre 1.1.2), l'Espace de conception est l'espace mental et/ou réel qui abrite « toutes les ressources de l'esprit » selon la définition de Schön (1983). C'est dans cet espace que l'architecte crée l'objet en conception s'inspirant et utilisant des projets précédents, des savoirs scientifiques, des expériences passées, des métaphores, des analogies, des relations et d'autres phénomènes qui s'y trouvent. La librairie de référents que nous avons créée vise à poser les bases d'un pareil Espace de conception numérique pour chaque étudiant, donner des principes pour son organisation et fournir de premiers 'objets-type' pour le peupler.

D'après Woodbury et Burrow (2003), il existe deux types de représentations dans l'Espace de conception : 'fortes' et 'faibles', soit:

- *strong representations: when imbue in the representation the ability to make algorithmic inference about its referent*
- *weak representation: when we use a representation as a reminder, hint or framer of new insight*

- a third facet is that, to use representations computationally, we must imbue them with exogenous properties, that is, ones that are manifestly not in the phenomena they purport to represent. (Woodbury & Burrow, 2003, p. 521)

La conclusion des auteurs est qu'une bonne représentation ne devrait être ni trop faible ni trop forte. De plus, elle ne devrait pas être très spécifique dans sa signification pour permettre d'autres interprétations et associations. Dans la librairie de référents proposée comme résultat de cette recherche, la représentation 'forte' peut être trouvée dans les modèles algorithmiques, tandis que des représentations 'faibles' sont les images, les instances des modèles interactifs ou encore les simulations (animations) basées sur eux. Par rapport aux propriétés différentes des intentions initiales qui ont déterminé la participation d'un référent dans la librairie, elles peuvent être découvertes par l'utilisateur et annotées par des mots-clés, par exemple. De plus, le modèle peut être modifié pour mieux encapsuler la propriété nouvellement découverte.

Nous avons constaté, en cours de cette étude, que les référents se trouvant dans LibReArchI ont influencé positivement l'apprentissage des étudiants, l'élaboration de leur démarche de conception et la création de leur propre Espace de conception. Donc, ils sont des artefacts cognitifs¹, ou des 'objets à penser'. D'après Rabardel² (1995), dans un contexte numérique, l'instrument propose une représentation qui comporte les éléments de sa propre transformation. Ainsi, il est important de considérer les activités cognitives du concepteur via la médiation de l'instrument numérique. Effectivement, nous avons remarqué que les stratégies de conception architecturale des étudiants ont été influencées par le médium et ils ont bâti de nouvelles approches vers les artefacts (les référents) et de nouvelles méthodes pour leurs activités de design. De cette manière, comme l'écrit Lyon (2005), l'outil et l'objet peuvent être considérés ensemble, en tant qu'instruments cognitifs.

Selon Woodbury et Burrow (2003), l'Espace de conception peut être très vaste, mais la fraction de lui qui est explorée est très limitée (*Design spaces are Vast; the explored fraction of a Design space is Vanishingly small*). Cela permet aux auteurs de conclure que la seule possibilité de découverte se trouve dans l'accessibilité d'un objet ou phénomène.

¹ Selon Lyon (2005), un artefact cognitif est un dispositif mental, numérique ou physique qui améliore les habilités cognitives

² Rabardel (1995) étudie la situation d'activité avec instruments. Il détermine trois pôles : sujet, instrument et objet. Dans un contexte numérique, l'instrument se rapproche de l'objet jusqu'à se confondre avec lui.

Donc, il est utile de garder des traces d'objets déjà utilisés ou encore, des patterns qui se répètent, créant de la sorte un Espace de conception explicite, regroupant les référents déjà visités. Dans un sens, la librairie LibReArchI est un tel Espace de conception explicite vu que tous les *chunks* de savoir-faire (ou la plupart) ont été visités par les étudiants dans le cadre de l'atelier. Ils ont eu aussi la possibilité d'ajouter leurs commentaires ainsi personnalisant la librairie. Par contre, nous n'avons pas prévu de garder en mémoire le chemin qu'un étudiant entreprend parmi les référents en travaillant sur un projet. Dessiner une telle carte conceptuelle des liens aurait pu être bénéfique pour la compréhension du processus créatif (Chen et al., 2007) et pourrait donner lieu à des développements futurs.

13.1.3 Créativité et le numérique

Les bases cognitives de la créativité en design ont été brièvement étudiées dans le cadre du Chapitre 8. La bibliothèque de référents interactifs a été créée avec des caractéristiques susceptibles d'améliorer la créativité architecturale des étudiants. Les observations en atelier nous ont permis de constater un nombre beaucoup plus important d'idées déclenchées pendant le travail sur le projet, chez les étudiants utilisant des approches numériques avancées par la librairie de référents (i.e. des approches paramétriques et génératives modélisant des savoir-faire), par rapport à ceux modélisant de façon conventionnelle.

Ceci contredit la position de Talbott (2004) sur le processus de design architectural paramétrique. Cet auteur étudie la 'divergence intermittente' qui est le phénomène psychologique analogue de l'émergence (ou encore du 'voir-comme') en design. Il détermine trois critères pour l'existence de ce phénomène (que nous avons déjà exposés dans le cadre du Chapitre 11.2.2), notamment par rapport à l'intermittence du processus, la possibilité de porter une attention locale et de visualiser des positions et transformations alternatives. Talbott trouve que ces critères sont présents dans la construction d'une maquette traditionnelle, ainsi que pendant la modélisation conventionnelle, mais qu'ils sont absents pendant un processus de modélisation paramétrique. D'après lui, cette dernière dilue les opportunités de voir de nouvelles possibilités dans un modèle à cause d'arrangements distribués (l'effet d'un paramètre peut être répercuté partout dans un objet complexe), et des relations complexes entre éléments. De plus, l'interaction via des valeurs numériques ou textuelles n'est pas exercée directement sur la géométrie du modèle. Un autre inconvénient est vu dans la tendance de garder une relation paramétrique déjà établie

et de changer seulement son degré, mais pas son type. L'auteur nomme ce phénomène 'inertie visuelle' qui nuit la recherche de nouvelles possibilités. Ainsi, il conclut que le design paramétrique ne supporte pas la pensée divergente, donc, il n'est pas approprié pour le design créatif.

Une lecture détaillée de l'article spécifie que Talbott vise surtout les logiciels de type BIM (comme Revit de AutoDesk) et aussi le prédécesseur de *Generative Components – CustomObjects* développé chez Bentley. D'après nous, il est impossible de mettre les deux logiciels sous le même dénominateur parce que le premier est dédié à l'architecture et propose une base de données imposante de connaissances du domaine, pendant que l'autre est purement géométrique et non spécifique par rapport au domaine. Dans ce sens, c'est vrai que Revit améliore la productivité, mais pas la créativité, comme le constate Talbott. De son côté, *Generative Components* offre un environnement purement paramétrique, qui est assez difficile à maîtriser par des usagers qui n'ont pas eu un cours approfondi d'apprentissage. De plus, dans son état actuel (2007) la création d'un objet géométrique commence nécessairement par des manipulations numériques et textuelles, ce qui n'est pas habituel dans la 'culture architecturale'.

Nous aimerions d'un côté distinguer notre approche des logiciels mentionnés ci-dessus, et d'un autre côté, fournir des évidences qui supportent le rôle créatif des explorations paramétriques. Ainsi, notre approche et LibReArchI proposent un environnement hybride et flexible où des approches paramétriques peuvent coexister avec des méthodes conventionnelles de la modélisation. L'interaction peut se faire aussi directement sur la représentation graphique de l'objet.

Toutefois, il se peut que les processus d'exploration soient différents. Et si l'élaboration d'un modèle conventionnel (réel ou numérique) permet l'avancement de l'objet en conception par de multiples 'pas' de représentations statiques, l'évolution par des approches génératives se fait peut-être avec moins de 'pas' mais résulte des représentations dynamiques. De plus, si dans un modèle simplement paramétrique les liens priment, dans un modèle génératif, ce sont les processus qui sont moteurs de l'évolution de l'objet. Les variations qui peuvent être générées en modifiant le processus de génération d'un objet offrent des alternatives beaucoup plus variées (en degré et aussi en type) par rapport à celles possibles avec les autres approches, les paramétriques inclusivement.

Ces constats et réflexions sont en accord avec l'avis de Lyon (2005) sur le processus de design avec le numérique. Cet auteur propose de repenser l'architecture sur la base de processus non-linéaires de conception où l'invention et l'émergence dynamique peuvent stimuler la créativité. D'autres auteurs (Wilden, 1980) trouvent le 'mappage' de la continuité sur la discontinuité comme une 'nécessité épistémologique' pour le processus de design. Hanna et Barber (2006) étudient précisément la créativité en travaillant avec les outils de CAAD (*scripting* inclus) chez des étudiants en première année d'architecture. Ces auteurs trouvent de la créativité cognitive augmentée, ainsi que des résultats architecturaux plus innovateurs chez les étudiants qui ont utilisé ces méthodes numériques.

Selon Oxman (2008), la théorie de design devrait être redéfinie pour inclure les nouvelles méthodes numériques et les stratégies rendues possibles grâce à eux dernièrement, direction à laquelle la présente recherche tente à contribuer.

13.1.4 Transférabilité des méthodes de design

Pendant notre travail de recherche, il a été constaté que les étudiants se référaient à la librairie de référents en tant que source de connaissances : savoir-faire de design, connaissances du domaine, ou inspirations. Dans ce sens, elle est devenue une assistance à l'apprentissage de la conception architecturale. Cependant, d'après Fischer (2007) il est difficile, voir impossible, de faire des outils de design pour d'autres (une partie de ses expériences sont aussi dans un contexte d'enseignement de la conception).

Il faut toutefois spécifier que les outils que Fischer développe sont exclusivement paramétriques et génératifs et ciblent la résolution de problèmes géométriques ou constructifs spécifiques. Dans ce sens, ils exigent une rationalisation de l'idée avant d'utiliser l'outil. Réfléchissant sur l'évolution des idées pour un projet architectural, l'auteur se rend compte qu'il y existe deux types : 'pré-rationalisées' et 'post-rationalisées'. La plupart des idées ne sont pas rationalisées d'avance, mais se rationalisent au cours de leur concrétisation (il appelle ce phénomène 'co-rationalisation'). Effectivement, nous avons relevé un nombre important d'utilisations des modèles interactifs de notre librairie de référents pour la concrétisation d'idées déclenchées originellement d'une métaphore, par exemple. En même temps les instances visualisées de *chunks* de savoir-faire, ainsi que leurs variations paramétriques ont déclenché de nouvelles idées. Ceci indique l'importance de la multimodalité des référents pour supporter et

amplifier le processus créatif. Celle-ci aide aussi à accommoder des étudiants de types cognitifs d'apprentissage variés.

LibReArchI est également un moyen de communication entre tuteur et étudiant, ainsi qu'entre les étudiants. Un tel environnement partagé peut servir de base de communication par rapport à l'objet en conception. Les idées, l'objet et même l'environnement changent pendant la conversation. Si nous considérons l'interaction entre un tuteur et un étudiant via la librairie de référents en tant que système, il est important de noter que d'après Glanville (1997) les systèmes sont stables si regardés de l'extérieur, mais instables et dynamiques si regardés de l'intérieur. De plus, c'est seulement de l'intérieur qu'on peut percevoir les processus génératif. Ainsi, le phénomène de la 'participation de l'observateur' est analogue à la 'participation du récepteur' dans un processus de communication.

D'après le même auteur, les échanges avec ambiguïté peuvent apporter la construction du nouveau sens; donc, un dispositif peut être restrictif ou permissif ('*out of control*'), dépendamment du niveau d'ambiguïté qu'il comporte dans un échange. Ainsi, Glanville (1997) arrive à la définition de l'assistance numérique au design comme étant soit restrictif (outil), soit non-contrôlable (médium). Les *chunks* de savoir-faire offerts par la LibReArchI n'ont pas été conçus pour déterminer la démarche conceptuelle des étudiants, mais plutôt dans le but de proposer des voies, de rendre possible une réutilisation des connaissances du domaine, de donner des idées tout en permettant leur personnalisation et modification. Ainsi, chaque étudiant peut devenir modificateur et à son tour créateur de la librairie qui agit en tant que médium selon la définition donnée plus haut.

D'après Fischer (2007), il n'est ni possible ni désirable de transférer du sens dans un contexte de design : si 'un sens' passe sans changement de l'émetteur au récepteur, il n'y aura pas de nouveauté, donc, pas d'intérêt pour le design. De toute façon, d'après les théories de la communication (Sfez, 1992), le récepteur joue toujours un rôle actif dans l'interprétation du message (donc, il le modifie en le recevant) créant ainsi un nouveau sens qui dans un contexte de design peut apporter de la nouveauté. D'après nous, il y a des cas dans lesquels il est nécessaire de pouvoir transférer du sens, notamment quand il s'agit de connaissances et du savoir-faire du domaine. Même si l'utilisation des *chunks* de savoir-faire n'est pas limitée à l'intention initiale de leur création, il est important que les étudiants comprennent cette intention pour ainsi apprendre le savoir-faire architectural qui leur est enseigné. Cependant, nous sommes conscients du fait qu'il n'y a pas de

connaissance purement objective, et que la réalité que nous percevons dépend de notre structure cognitive. Ainsi, l'étudiant fait partie de l'assistant didactique qui lui est offert. Son apprentissage dépend largement de sa propre curiosité et de son utilisation active des référents dans la bibliothèque pour en créer du sens.

13.1.5 Cognition distribuée

Cette recherche a été commencée avec une posture philosophique constructiviste, qui prenait en considération la complexité de la réalité. Avec l'évolution de la recherche et la création de la librairie de référents architecturaux interactifs, nous sommes 'entrés' dans le système et nous y avons porté un regard de l'intérieur. De cette façon, l'interprétation de chaque étudiant par rapport aux *chunks* de savoir-faire, ainsi que sa participation dans la modification de ces derniers sont devenues une partie de l'étude. Ainsi, nous nous sommes approchés de la cognition distribuée en tant que posture épistémologique. Celle-ci souligne la nature distribuée dans le contexte (au travers d'individus et instruments) des phénomènes cognitifs (Lyon 2005). Dans le cas de notre recherche, ceci est perceptible à plusieurs niveaux : par rapport à la librairie où les référents séparés incarnent des *chunks* de savoir-faire individuellement; concernant l'interaction entre tuteur et étudiants via la librairie où il existe la possibilité de création de nouveau sens par les étudiants; ainsi qu'au niveau d'un Espace de conception partagé dans la communauté architecturale, envisagée dans les développements futurs de la recherche.

De cette façon, à la place de nous focaliser sur l'activité humaine en tant que processus mental qui agit sur des représentations internes, nous cherchons à appliquer ces concepts par rapport à l'interaction entre plusieurs intervenants et dispositifs technologiques. Ainsi, dans l'application la plus générale que nous envisageons pour LibReArchI, elle deviendrait un environnement 'vivant' qui s'enrichit et évolue grâce aux interactions entre ses usagers – concepteurs ou étudiants et tuteurs. Ceci rappelle la théorie de l'autopoïésis proposée par Varela et Maturana (1970), qui approche les systèmes vivants en tant que processus continu d'auto-organisation et émergence, dans lequel 'produit' et 'production' se superposent. Cette théorie permet de considérer le design comme une activité distribuée et située dans la société, ce qui nous permet d'espérer qu'une librairie du type proposé pourrait l'amplifier et la faciliter.

13.2 Limitations de la recherche

Selon Van der Maren (1996), toutes connaissances scientifiquement établies sont hypothétiques: elles n'ont de la valeur que dans la mesure où une nouvelle observation ne vient les invalider. Elles sont hypothétiques par leur caractère:

- provisoire (les choses peuvent changer);
- conditionnel (si certaines conditions sont respectées)
- relatif (valables que du point de vue à partir duquel les observations ont été faites); et
- conjectural (inféré à partir d'observations)

...donc, la recherche est une entreprise finalisée (orientée par des finalités), mais sans fin. (Van der Maren, 1996, p. 188)

Malgré le champ de recherche assez large de la présente thèse de doctorat, elle a été limitée dans plusieurs sens, soit dans le but de mieux cibler les études, soit par les limitations du temps. Dans ce qui suit, je vais soulever certaines questions qui sont restées non explorées ou sans réponse, mais qui vont peut-être donner des pistes pour des recherches futures.

Certaines limitations sont de type technique et sont dues surtout au temps limité de la recherche. Ceci pour dire, qu'il n'y a pas de défis théoriques ou méthodologiques à relever pour les enlever.

Il s'agit par exemple, du nombre assez limité de référents offerts par le prototype de la LibReArchI mise à l'épreuve en atelier d'architecture. Une des explications possibles est dans les ressources insuffisantes attribuées à la création de la librairie (j'ai été seule à développer les modèles et à donner l'atelier). C'est aussi la raison pour laquelle la librairie n'a pas été déployée sur un serveur pour être accessible à tous les étudiants de l'école. Malgré ces limitations techniques, les principes pédagogiques qui ont été mis à l'épreuve, ont pu être évalués.

Dans le cadre de ce travail doctoral, une même personne a été chercheur, tuteur et créateur de la librairie des référents interactifs. Ainsi, dans les ateliers observés, les étudiants ont pu compter sur l'aide du tuteur, en plus d'avoir l'assistance de la LibReArchI. Ceci pose la question par rapport à la situation au cas où le tuteur n'est pas spécialisé en méthodes numériques de conception. Cet aspect n'a pas été inclus dans le présent travail, mais pourrait faire l'objet de futures études.

Un dernier type de limitations concerne la librairie de référents au cas où elle est mise en partage à la communauté d'étudiants et professionnels de l'architecture. Les questions de droit d'auteur n'ont pas été étudiées dans le cadre de cette recherche. Plusieurs pistes pour leur traitement sont possibles, en commençant par l'approche actuelle d'écrire le nom de l'auteur pour chaque modèle, mais de laisser son usage ouvert; en passant par une licence de logiciel libre GNU; jusqu'à offrir à un public plus large des représentations 3D pour manipulation (en format PDF-3D, par exemple), laissant accessibles les modèles qui contiennent le savoir-faire réutilisable pour un cercle restreint (atelier ou bureau d'architecture). Bien sûr, une accessibilité plus large et complète serait l'option préférée dans le but de la création d'un espace de partage d'idées et de savoir-faire architecturaux.

13.3 Avenues de développements futurs de la recherche

Il est possible d'envisager plusieurs développements à venir de la présente recherche. Certaines de ces avenues chercheront des réponses à des questions restées ouvertes jusqu'à présent (celles mentionnées en tant que limitations de la recherche), d'autres proposeront des extensions de la recherche, rendues possibles par la validité externe de ce travail.

13.3.1 Élargir le contenu

Élargir le contenu de la LibReArchI serait une première idée de développement de cette recherche. En plus d'ajouter des exemples pour chacun des thèmes déjà représentés, il serait intéressant d'inclure des simulations des matériaux¹. Le numérique est un 'matériau' virtuel et devrait pouvoir simuler les propriétés de différentes matières, ce qui est en réalité loin d'être acquis. Des recherches prometteuses sont menées dans cette direction dernièrement (N. Oxman, 2007), qui ouvrent des voies vers la simulation de certaines caractéristiques de la matérialité par le comportement des objets géométriques virtuels.

Un enrichissement important sera l'ajout de métadonnées pour tous les référents et *chunks* de savoir-faire. Pour l'instant, elles ne sont pas présentes de manière systématique, mais plutôt épisodique. Il serait intéressant aussi d'améliorer la qualité de l'interaction avec cet Espace de conception numérique par une interface plus dynamique et conviviale.

¹ Comme il a été mentionné dans le Chapitre 11, pour l'instant la librairie de référents offre seulement des simulations du comportement d'un nombre très limité de matériaux sous la force gravitationnelle.

13.3.2 Créer les bases : algorithme et géométrie

Un problème que nous avons rencontré pendant les observations était le manque de certaines connaissances de base chez les étudiants. Il s'agit notamment de connaissances de la géométrie (surtout celle non-euclidienne) et de notions de programmation algorithmique et informatique, qui permettent la compréhension et l'appropriation des méthodes numériques proposées par cette recherche. Il va à l'encontre de la tradition d'une école d'architecture qui suit la tradition des Beaux Arts de mettre beaucoup d'importance sur ces disciplines. Par contre pour les étudiants rendus en troisième année de scolarité en architecture, il est tard pour enseigner ces matières, surtout dans le contexte d'un atelier.

Nous avons déjà abordé ce problème dans un article (Iordanova, 2007) et nous avons suggéré d'enseigner les bases scientifiques des méthodes numériques proposées par cette thèse dans le cadre d'un cours de géométrie computationnelle. Avec l'utilisation de la représentation numérique, l'importance de la géométrie descriptive, traditionnellement enseignée aux architectes, a perdu sa place dans le curriculum. Cependant, le rôle de la géométrie en général pour le développement de la perception spatiale et la figuration de l'espace a été prouvé (Baracs, 1988, 2002). De son côté, l'introduction de classes de programmation de base dans le programme du baccalauréat est vue comme une façon de développer une meilleure compréhension et exploitation du potentiel de l'ordinateur (Burry et al., 2000).

Nous avons introduit certaines bases de la géométrie computationnelle dans le cadre du cours de géométrie spatiale donné (jusqu'à l'hiver 2008) en première année d'architecture¹. Même si les approches algorithmiques de génération des formes étaient complètement inconnues pour la plupart des étudiants, ils ont montré une assez grande ouverture vers la création d'algorithmes et ils ont découvert le potentiel de l'exploration de formes variées. Les images sur la Figure 73 sont résultat d'explorations dans le cadre d'un travail de recherche sur un principe génératif de création de formes, inspiré par la nature et applicable à l'architecture.

¹ À l'École d'architecture de l'Université de Montréal

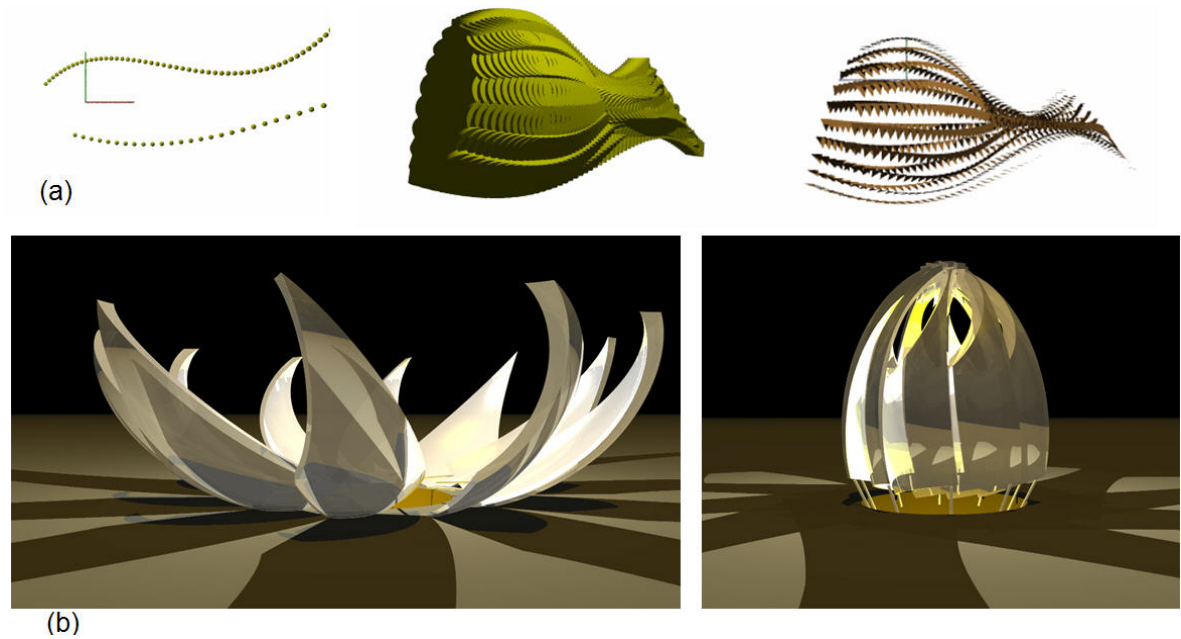


Figure 73: Images des travaux de recherche des étudiants : (a) inspiration du poisson et les travaux de Frank Gehry; (b) inspiration d'une fleur et le temple de Bahá'í.

L'effet de l'enseignement de ces bases scientifiques dans le cadre du cours de géométrie n'a pas été étudié. Cependant, une recherche dans cette direction pourrait donner des indices intéressants. Ainsi, pour Hanna et Barber (2006), aujourd'hui, l'imagination de l'architecte dépend beaucoup sur leur connaissances sur les méthodes numériques et la géométrie, parce que seulement de cette façon, ils pourraient imaginer de nouvelles solutions possibles.

13.3.3 Extrapolation par rapport au domaine

Une autre voie de développement possible serait l'extrapolation de l'approche pédagogique et de la librairie de référents à d'autres domaines connexes à l'architecture, comme l'urbanisme ou l'ingénierie civile. Dans ces cas, des études supplémentaires devraient être menées dans le but d'ajuster les méthodes et les types de référents à proposer, à cause de la 'culture' différente de ces professions, ainsi que le corpus de connaissances de domaine distincte.

De telles recherches peuvent à leur tour donner du matériel pour enrichir LibReArchI avec du savoir-faire venant de ces domaines, pouvant être intégré très tôt dans la conception des bâtiments. Elles permettront aussi à étudier certains aspects cognitifs de l'apprentissage en collaboration entre des étudiants de disciplines annexes mais avec des 'cultures'

différentes. Des situations d'apprentissage en collaboration, et à l'aide de l'approche pédagogique numérique proposée pourront être comparées.

13.3.4 Extrapolation par rapport à l'activité cognitive

LibReArchI, conçue pour assister l'apprentissage de la conception architecturale, pourrait aussi être mise à contribution pour les architectes de la pratique. Se basant sur le principe qu'il y a une partie d'apprentissage dans chaque travail créatif, ainsi sur le recours aux référents pendant le processus de conception, il est possible de voir la possible utilisation des référents dans un contexte non-académique. Ainsi, la librairie supporterait une activité cognitive différente de l'apprentissage – notamment, la conception architecturale.

Pour concrétiser une telle transformation d'usage, une étude supplémentaire sera nécessaire pour déterminer les spécificités de ce nouveau contexte. Il est possible qu'une approche individuelle soit appropriée par rapport à chaque bureau d'architecture ciblé.

13.3.5 Généralisation comme espace de partage

Au cas où la librairie de référents architecturaux interactifs soit envisagée comme un espace de partage pour une plus large communauté d'architectes (au travers de plusieurs écoles, ou écoles et pratiques, ou encore au travers du Canada, par exemple) la question d'un langage commun sera posée. Des défis théoriques et méthodologiques se posent en ces circonstances, notamment par rapport au 'langage' de communication (dans le sens sémantique et technique du terme), ainsi que par rapport à la possibilité de communiquer du 'sens' à un public si large. Une réflexion sur ces sujets, menée par plusieurs représentants de la profession et des chercheurs dans le domaine, serait susceptible d'identifier des voies possibles vers la création d'un tel espace de partage de savoir-faire architectural.

13.4 En conclusion

Après des siècles de prédominance visuelle en architecture, avec l'utilisation de méthodes génératives et paramétriques qui peuvent tenir compte des forces de génération d'une forme, l'architecture pourrait réintégrer ses aspects intrinsèques : *necessitas*, *commoditas* et *voluptas* (comme décrits par Vitruve). Cependant, aujourd'hui, peut-être plus qu'à toutes les autres époques de son développement, le sens de cette triade est sujet de

réinterprétation : traduite comme ‘commodité, solidité et agrément’ par Blondel en 18^{ème} siècle, elle est exprimée en tant que ‘fonction, structure et forme’ par Luigi Nervi en 20^{ème} siècle; pour prendre la forme de ‘perception (corps vécu, phénoménologie), production (technique, construction) et représentation (discours esthétiques et idéologiques, modèles, styles) dans l’interprétation de Christian de Portzamparc au début du 21^{ème} siècle. Dans tous les cas, la nature spatiale et l’expérience visuelle de l’architecture dans notre environnement font de sa représentation visuelle un aspect incontournable, même s’il ne soit pas le plus important. L’enseignement de ces trois aspects de façon intégrée pourrait, à plus long terme, apporter une meilleure cohérence et performance de notre environnement bâti.

Dans la plus grande partie de cette thèse, j’ai utilisé la première personne du pluriel comme point de vue. Si les idées, leur développement et interprétations ont été réalisés par moi-même, il y a eu une école de pensée qui les a encadrés et une réflexion collective autour de cette recherche, qui m’ont fait utiliser le ‘nous’ à la place de ‘je’ dans mon discours.

Conclusion générale de la recherche

L'objectif de cette recherche a été de proposer des méthodes et des outils d'apprentissage de la conception architecturale pour enrichir et 'augmenter' le processus de design à l'aide de moyens numériques. Pour l'atteindre, il a fallu tout d'abord développer une compréhension de la façon d'enseigner en atelier d'architecture, d'un point de vue théorique et pratique. Le travail des étudiants sur des projets éducatifs a été observé et analysé dans le but d'en dégager des discordances entre la théorie et la pratique, pour ensuite identifier des besoins susceptibles d'être comblés à l'aide des stratégies numériques. Une étude des théories cognitives par rapport à l'apprentissage et la conception a permis d'expliquer certains résultats observés et d'identifier des pistes pour atteindre l'objectif de la recherche.

La démarche de cette recherche a été purement qualitative et nous avons procédé par enchaînement de questions. La méthodologie mixte utilisée regroupe des méthodes exploratoires avec la recherche participative, la recherche-action, la théorie ancrée et l'étude de cas.

Visant l'objectif de la recherche, nous considérons avoir fait des contributions par rapport à la théorie et la pratique de l'enseignement de la conception architecturale, ainsi que concernant la méthodologie de recherche en architecture.

Contributions théoriques

Ce travail de recherche porte un regard nouveau vers les référents architecturaux (en tant que *chunks* de savoir-faire modifiables et réutilisables), ainsi qu'à leur représentation dans une librairie de référents. Nous avons pu identifier la nécessité d'inclure des connaissances procédurales dans la description d'un référent, ainsi que l'intérêt d'avoir une description multimodale supposée aider la création d'un modèle mental fort.

L'idée d'agir sur le processus de génération lors de la réutilisation du savoir-faire encapsulé, permet d'explorer une potentialité de résultats. Il a été constaté que cette exploration stimule la créativité tout en permettant une intégration de connaissances architecturales dès le début du processus de conception. Un effet positif de ce type de

référents interactifs contenant du savoir-faire architectural pour l'apprentissage de la conception architecturale à l'aide du numérique a été constaté.

Une autre contribution porte sur le processus de conception et sa modification en travaillant avec un médium numérique. L'importance de la nature visuelle du travail de conception architecturale a été confirmée, car des processus de 'conversation réflexive' et de 'voir-comme' ont été identifiés comme déclencheurs d'idées. Un va-et-vient a été observé entre un travail sur des concepts abstraits, et une visualisation influencée par ces derniers, qui à son tour donne des idées pour une modification subséquente des concepts générateurs. Ainsi, le rôle du numérique en tant que médium est perceptible. À la différence avec un processus de conception traditionnel où l'architecte décide de l'impact d'un concept abstrait sur la forme, à l'aide du médium numérique, il serait capable d'explorer une potentialité de modifications et leurs visualisations (voir Figure 74). Dans ce cas, la représentation d'un objet en conception peut commencer aussi bien par une conceptualisation décrite à l'ordinateur que par une expression visuelle. Bien sûr, cette stratégie de conception se trouve complémentaire à toutes les autres déjà établies avec les méthodes conventionnelles de design (comme le montre la flèche en pointillé qui renferme le cycle traditionnel de la conception : 'voir' – 'voir comme').

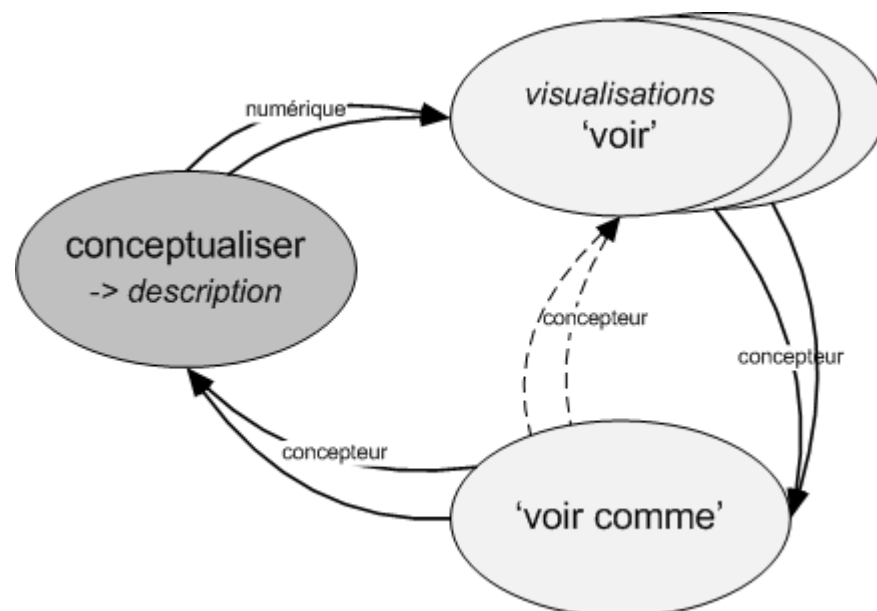


Figure 74: Schéma d'un cycle possible du processus de conception avec le numérique.

Ce modèle esquisse une réponse à la question par rapport à l'existence de 'deux univers' de conception architecturale : traditionnel et numérique, posée au tout début de cette

recherche. La conception à l'aide du numérique peut être considérée comme une extension ou une 'augmentation' du processus de conception traditionnelle, mais qui l'englobe aussi et a encore besoin de ses caractéristiques intrinsèques.

Contributions à la méthodologie de recherche

La méthodologie qualitative sur laquelle cette recherche repose, représente une combinaison de la recherche-action, de la théorie ancrée, de l'étude de cas et de la recherche participative. Ainsi, elle permet l'exploration des phénomènes aussi complexes comme l'enseignement et la conception architecturale dans un contexte en évolution.

Par rapport à la modélisation des *chunks* de connaissances et l'organisation des référents interactifs dans un environnement d'apprentissage, une approche constructiviste a été adoptée. La théorie de l'intelligence distribuée a été appliquée à différents niveaux par rapport à la participation des étudiants dans la création du sens autour des référents, ainsi que pour l'enrichissement de l'espace de partage créé par LibReArchI.

Contribution à la pratique

Les contributions suivantes à la pratique de l'enseignement et de l'apprentissage de la conception architecturale pourraient être mentionnées :

- Proposition d'une approche non déterministe permettant aux étudiants d'explorer des stratégies de design variées et de construire leur propre démarche de conception;
- Possibilité d'intégrer des considérations structurales et climatiques dès le début du processus de conception à travers les explorations de l'objet en conception, basées sur la manipulation des savoir-faire architecturaux;
- Création de LibReArchi : un environnement ouvert d'apprentissage en atelier, qui offre des références dynamiques, flexibles, visuelles, et encodant des processus architecturaux. Sa mise à l'épreuve démontre, qu'il permet aux étudiants d'utiliser avec compréhension des métaphores et des précédents provenant d'architectes-experts. Elle leur donne la possibilité de construire leur propre démarche de conception d'un objet architectural tout en apportant un nouvel usage de l'ordinateur pendant les phases créatives du travail architectural. En tant qu'Espace de conception numérique, la librairie offre une première base de référents d'un

nouveau type (modèles et simulations interactifs). Elle propose aussi une méthode d'organiser ces référents pour s'en servir. La librairie est 'ouverte' et permet l'ajout d'un nombre illimité de nouveaux référents ou *chunks* de connaissances liés ou non avec ceux déjà existants. Le type de contenu ou de format de représentation numérique des items n'est pas limité non plus.

- Une nouvelle réflexion sur les pré-requis pour la conception architecturale assistée ou augmentée par des méthodes numériques et une proposition de contenu sur la géométrie computationnelle à ajouter aux cours préalables à l'utilisation du numérique en atelier.
- Et enfin, enrichissement de ma propre connaissance et compréhension du domaine étudié, dans le but de perfectionner mes capacités d'enseignante.

De nombreuses pistes de développements dans le futur se présentent devant nous à la fin de cette thèse. Des extrapolations à des disciplines connexes ou recherches d'approfondissement peuvent donner suite au travail amorcé. Nous estimons ainsi avoir atteint l'objectif posé au début de notre travail.

J'aimerais finir mon exposé par une pensée du célèbre mathématicien français Laplace, qui m'a accompagnée pendant mon parcours de thèse et qui m'a incitée à toujours soulever le doute derrière une apparence claire et acceptée :

« On peut même dire, à parler en rigueur, que presque toutes nos connaissances ne sont que probables. »

Laplace, *Essai philosophique sur les probabilités*, 1825

Sources électroniques

- (SE01) <http://www.arch.columbia.edu/> (octobre 2007)
- (SE02) http://www.limableu1.arc.ulaval.ca/atelier_virtuel/ (mai 2008) Atelier collaboratif entre l'École d'architecture de l'Université Laval à Québec et l'École d'architecture de Toulouse
- (SE03) <http://teamy.es.files.wordpress.com/2007/08/from.pdf> (mai 2008) Tanaka, J. *From (Im)possible to Virtual Architecture*
- (SE04) <http://www.arclab.umontreal.ca/CRSH-ARCNUM/> (mai 2008) Page-web du projet de recherche sur la pédagogie avec le numérique subventionné par le CRSH (responsable De Paoli)
- (SE05) http://www.granddictionnaire.com/btml/fra/r_motclef/index800_1.asp Office québécois de la langue française (2007).
- (SE06) <http://plato.stanford.edu/> Zalta, E. N. (Ed.) *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Stanford, CA: The Metaphysics Research Lab. (mai 2008)

Bibliographie

- Ábalos, I. (2007). *Sustainable?* Présenté au: CCA Study Center - 2007 Colloquium.
- Abel, C. (2004). *Architecture, Technology and Process*. Boston: Elsevier. 352.
- Achinstein, P. (1968). *Concepts of Science. A Philosophical Analysis*. Baltimore: Johns Hopkins Press.
- Achten, H. (2003). New Design Methods for Computer-Aided Design Methodology Teaching. *Journal of Architectural Education*.
- AIA-Advisory-Committee. (2007). *Draft White Paper for the NAAB 2008 Accreditation Review Conference* o. Document Number)
- Aish, R. (2005). *From Intuition to Precision*. Actes de: Digital Design: The Quest for New Paradigms [23rd eCAADe Conference Proceedings], Lisbon (Portugal) 10-14.
- Akin, Ö. (1986). *Psychology of Architectural Design*. London: Pion Ltd. 205.
- Akin, Ö. (1995). Variants in Design Cognition. *Dans: Knowing and Learning to Design* (pp. 105-124).
- Akin, Ö. (2001). Variants of Design Cognition. *Dans: C. Eastman, M. McCracken & W. Newstetter (Eds.), Design knowing and Learning: Cognition in Design Education* (pp. 105-124). Amsterdam: Elsevier.
- Akin, Ö. (2002). Case Based Instruction Strategies in Architecture. *Design Studies*, 23(4), 407-431.
- Akin, Ö., & Chengtah, L. (1996). Design Protocol Data and Novel Design Decisions. *Dans: N. Cross, H. Christiaans & K. Dorst (Eds.), Analysing Design Activity* (pp. 35-63): John Wiley & Sons.
- Angulo, A. (2006). *Communication in the Implementation of a Metacognitive Strategy for Learning to Design*. Actes de: Communicating Space(s): 24th eCAADe Conference, Volos, Greece. 818-825.
- Argyris, C., & Schön, D. (1978). *Organisational learning: A theory of action perspective*. Reading, MA.: Addison Wesley.
- Arnheim, R. (1969). *Visual Thinking*. Berkeley, University of California Press.

- Bachman, L. (2003). *Integrated Buildings*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc. .
- Bailey, R. (2000). *The Intelligent Sketch: Developing a Conceptual Model for a Digital Design Assistant*. Actes de: ACADIA 2000: Eternity, Infinity and Virtuality, Catholic University, Washington, DC.
- Baracs, J. (1988). Twelve Exercises on Spatial Perception. *Structural Topology*, 14.
- Baracs, J. (2002). *The teaching of spatial geometry: the 9 basic problems*. Présenté: Canadian Mathematical Society; Symposium "Mathematical Education: The teaching and learning of geometry: why, what, how."
- Berkel, B. V., & Bos, C. (2000). Deep Planning - West Side, New York. *Architectural Design*, 70(3), 44-56.
- Biggs. (2004). Learning from Experience: approaches to the experiential component of practice-based research" Stockholm, Vetenskapsrådet. Dans: H. Karlsson (Ed.), *Forskning-Reflektion-Utveckling* (pp. 6-21). Stockholm: Swedish Research Council.
- Bilda, Z., & Gero, J. (2005, 20–22 June 2005). *Do We Need CAD during Conceptual Design?* Actes de: CAAD Futures 2005, Vienna. 155-164.
- Bilda, Z., & Gero, J. (2007). The impact of working memory limitations on the design process during conceptualization. 28(4), 343-367.
- Bilda, Z., Gero, J., & Purcell, T. (2006). To sketch or not to sketch? That is the question. *Design Studies*, 27(5), 587-613.
- Bilodeau, D. (1997). *Precedents and Design Thinking in an Age of Relativization*, Thèse de Ph.D., Delft University of Technology.
- Birady, S. (2004). *Relation entre l'acoustique géométrique et la géométrie des formes architecturales*. Mémoire de maîtrise, Université de Montréal.
- Boissinot, A. (1991). Approche de la didactique. In: Adapt-Snes.
- Bonnardel, N., & Rech, M. (1997). *Les objets – sources d'inspiration dans les activités de conception*. Actes de: Actes de 01DESIGN'97. 59-71.
- Borillo, M. (2002). Une rencontre symptomatique de la mutation computationnelle de notre temps, Art contemporain et Sciences de la cognition. Dans: M. Borillo & J.-P. Goulette (Eds.), *Cognition et création: Explorations cognitives des processus de conception* (pp. 15-31). Sprimont, Belgique: Mardaga.
- Boudon, P. (1992). *Introduction à l'Architecturologie*. Sciences de la conception, Paris: Dunod.
- Boudon, P. (1994). *Enseigner la conception architecturale*. Paris: Édition de la Vilette.
- Boudon, P. (2001). Aménagement, projet, conception: un défi épistémologique. *Trames : Revue de l'aménagement* No13.
- Boutinet, J.-P. (1990). *Antropologie du projet*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Broadbent, G. (1973). *Design in Architecture*. J. Wiley Toronto.
- Burry, M., Datta, S., & Anson, S. (2000). *Introductory Computer Programming as a Means for Extending Spatial and Temporal Understanding*. Actes de: ACADIA 2000: Eternity, Infinity and Virtuality, Catholic University, Washington, DC.
- Cache, B. (2003). Towards a fully associative architecture. In B. Kolarevic (Ed.), *Architecture in the digital age: Design and manufacturing* (pp. 139-147). New York: Spon Press.
- Calatrava, S. (2002). *Conversations with Students. The MIT Lectures*. Princeton Architectural Press.
- Campbell, D., & Stanley, J. (1963). *Experimental and Quasi-experimental Design for Research*. Chicago: Rand McNally & Co.

- Casakin, H., & Goldschmidt, G. (1999). Expertise and the Use of Visual Analogy: Implications for Design Education. *Design studies*, 20, 153-175.
- Charbonneau, N. (2002). *Méthode proposant l'utilisation de la programmation fonctionnelle pour la génération de solutions architecturales partielles sous forme matricielle*. Mémoire de maîtrise, Université de Montréal.
- Chen, Y., Qian, Z., & Woodbury, R. (2007). *Local Navigation Can Reveal Implicit Relations*. Actes de: Computer Aided Architectural Design Futures, Sydney. 403-416.
- Cheng, N., & McKelvey, A. (2005). *Learning Design Process with Digital Sketching: Copying Graphic Processes from Animations and Storyboards*. Actes de: Computer Aided Architectural Design Futures 2005, Vienna. 291-300.
- Chevalier, D. (Ed.). (1990). *Savoir faire et pouvoir transmettre*. Paris: Éditions de la Maison des sciences de l'homme.
- Chi, M. (2005). Commonsense Conceptions of Emergent Processes: Why Some Misconceptions Are Robust. *Journal of the Learning Sciences*, 14(2), 161-199.
- Christiaans, H. (1992). *Creativity in Design*. Delft: Lemma.
- Chupin, J.-P. (1998). *Le projet analogue : les phases analogiques du projet d'architecture en situation pédagogique*. Thèse de Ph. D., Université de Montréal, Montréal. 349.
- Chupin, J.-P. (2000). L'analogie ou les écarts de genèse du projet d'architecture. *Génésis - Architecture*, 14, 67-90.
- Chupin, J.-P. (2002). "La mariée mise à nu..." (À propos de l'enseignabilité des modèles de la conception). Dans: M. Borillo & J.-P. Goulette (Eds.), *Cognition et création: Explorations cognitives des processus de conception*. Sprimont, Belgique: Mardaga.
- Chupin, J.-P., & Léglise, M. (1997). Un carnet de schémas analogiques pour les phases préliminaires de la conception architecturale. *Sciences et techniques de la conception*, 5(2), 23-44.
- Clancey, W. J. (1991). Israel Rosenfield: The Invention of memory: A New View of the Brain. *Artificial Intelligence*(50), 241-284.
- Clancey, W. J. (1997). *Situated Cognition: On Human Knowledge and Computer Representations* Cambridge: Cambridge University Press.
- Cornu, R. (1990). Voir et savoir. Dans: D. Chevalier (Ed.), *Savoir faire et pouvoir transmettre* (pp. 83-100). Paris: Éditions de la Maison des sciences de l'homme.
- Craig, D. L. (2001). Stalking Homo Faber: A Comparison of Research Strategies for Studying Design Behavior. Dans: C. Eastman, M. McCracken & W. Newstetter (Eds.), *Design knowing and Learning: Cognition in Design Education* (pp. 13-35). Amsterdam: Elsevier.
- Creswell, J. (1998). *Qualitative inquiry and research design. Choosing among five traditions*. Thousand Oaks, CA: SAGE. 403.
- Creswell, J. (2007). *Qualitative inquiry and research design. Choosing among five approaches*. Thousand Oaks, CA: SAGE. 392.
- Creswell, J., & Vicki, P. C. (2007). *Designing and conducting mixed methods research*. Thousand Oaks, CA: SAGE. 275.
- Cross, N. (2001). Design Cognition: Results from Protocol and other Empirical Studies of Design Activity. Dans: C. Eastman, M. McCracken & W. Newstetter (Eds.), *Design knowing and Learning: Cognition in Design Education* (pp. 79-103). Amsterdam: Elsevier.

- Cross, N. (2002). Comprendre la pensée du concepteur. Dans: M. Borillo & J.-P. Goulette (Eds.), *Cognition et création: Explorations cognitives des processus de conception* (pp. 35-47). Sprimont, Belgique: Mardaga.
- Cross, N. (2006). *Designerly Ways of Knowing*. Springer.
- Cross, N., Christiaans, H., & Dorst, K. (1996). *Analysing Design Activity*.
- Csikszentmihalyi, M. (2006). The Well of Creativity [Electronic Version]. *New dimensions*, (Source électronique)
- Darke, J. (1984). The Primary Generator and the Design Process. In N. Cross (Ed.), *Developments in Design Methodology* (pp. 175-188). London: John Wiley and Sons.
- De Paoli, G. (1999). *Une nouvelle approche d'aide à la conception par ordinateur en architecture basée sur la modélisation d'opérateurs sémantiques et la création de maquettes procédurales*. Thèse de Ph.D., Université de Montréal. 355.
- De Paoli, G. (2002). *Procedural models and Intelligent Design Assistants in Architecture*. Actes de: Computer Graphics and Artificial Intelligence, 3IA'2002, Limoges.
- De Paoli, G., & Bogdan, M. (1999). *The Front of the Stage of Vitruvius' Roman Theatre*. Actes de: CAAD Futures, Atlanta, Georgia.
- Denès, M. (1999). *Le fantôme des Beaux-Arts*. Paris: Éd. de La Villette.
- Deshayes, P. (1997). Niveau de conception et unité de conception dans la complexité de l'entre-deux de l'objet en conception. Actes de: Actes de 01DESIGN'97. 53-56.
- Dewey, J. (1966). *Democracy and Education*. New York: A Free Press Paperbook.
- Do, E., & Gross, M. (1995). *Shape Based Reminding as an aid to Creative Design*. Actes de: Global Design Studio Computer Aided Architectural Design, CAAD Futures'95.
- Do, E., & Gross, M. (1996). *Reasoning about Cases with Diagrams*. Actes de: ASCE Third Congress on Computing in Civil Engineering, Anaheim, Calif. 314-320.
- Dorst, K., & Dijkhuis, J. (1996). Comparing Paradigms for Describing Design Activity. Dans: N. Cross, H. Christiaans & K. Dorst (Eds.), *Analysing Design Activity* (pp. 253-270): John Wiley & Sons.
- Dorta, T. (2005). *Hybrid Modeling* Actes de: Digital Design: The Quest for New Paradigms [23rd eCAADe Conference Proceedings], Lisbon, Portugal. 819-827.
- Eastman, C. (1969). On the analysis of intuitive design processes. Dans: G. T. Moore (Ed.), *Emerging Methods in Environmental Design and Planning* (pp. 21-37). Cambridge, MA: MIT Press.
- Eastman, C. (2001). New Directions in Design Cognition: Studies of Representation and Recall. Dans: C. Eastman, M. McCracken & W. Newstetter (Eds.), *New Directions in Design Cognition* (pp. 147-198). Amsterdam: Elsevier.
- Eastman, C., McCracken, M., & Newstetter, W. (2001). *Design Knowing and Learning: Cognition in Design Education*. Amsterdam: Elsevier.
- Eindhoven, J., & Vinacke, W. (1952). Creative Processes in Painting. *Journal of General Psychology*, 47, 165-179.
- Estevez, D. (2001). Dessin d'architecture et infographie. L'Évolution contemporaine des pratiques graphiques. Paris: CNRS Éditions. 190.
- Estevez, D., & Tiné, G. (2007). Le lièvre et la tortue, une autre course de la conception en architecture [Electronic Version]. Retrieved 2008, from http://w3.toulouse.archi.fr/li2a/li2a/publications/ESTEVEZ_TINE%20article%20lievre.pdf
- Faux, G. (1981). *L'analogie en architecture*. Actes de: Séminaires Interdisciplinaires du Collège de France, Paris. 113 - 135.

- Fernandez, P. (2002). Approches méthodologiques et modes opératoires dans le processus de conception architecturale. *Dans*: M. Borillo & J.-P. Goulette (Eds.), *Cognition et création: Explorations cognitives des processus de conception* (pp. 97-118). Sprimont, Belgique: Mardaga.
- Ferrari, M., & Chi, M. T. H. (1998). The nature of naïve explanations of natural selection. *International Journal of Science Education*(20), 1231-1256.
- Finke, R., Ward, T., & Smith, S. (1992). *Creative Cognition*. Cambridge (MA): MIT Press.
- Fischer, T. (2007, 11-13 July 2007). *Enablement or Restriction? On supporting others in making (sense of things)*. Actes de: CAAD Futures 2007, Sydney. 585-598.
- Friedman, D. (2008). *Introduction*. Actes de: Integrated Practices and the Twenty-first Century Curriculum, Cranbrook Academy of Art, Broomfield Hills, Mich., 2007.
- Gentner, D., & Stevens, A. L. (1983). *Mental Models*. Hillsdale, Nj: Erlbaum.
- Gero, J. (1986). *An overview of knowledge engineering and its relevance to CAAD*. Actes de: CAADFutures. 107-119.
- Gero, J. (1990). Design Prototypes: A Knowledge Representations Schema for Design. *AI magazine*, 11, 26-36.
- Gero, J., & Kulinski, J. (2000). *A Situated Approach to Analogy in Designing*. Actes de: CAADRIA2000, CASA, Singapore. 225-234.
- Gero, J., & Tang, H.-H. (1999). *Concurrent and retrospective protocols and computer-aided architectural design*. Actes de: CAADRIA'99, Shanghai. pp. 403-410.
- Gero, J., & Yan, M. (1994). Shape Emergence by Symbolic Reasoning. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 191-212.
- Gero, J. S. (2000). *Recent Research into Cognitive and Computational Models of Design Creativity*. Actes de: Key-note Paper, Greenwich 2000 – Digital Creativity Conference.
- Gero, J. S., & Tang, H.-H. (2001). Differences between retrospective and concurrent protocols in revealing the processoriented aspects of the design process. *Design Studies*, 21.
- Glanville, R. (1997). *The Value of being Unmanageable: Variety and Creativity in CyberSpace*. Actes de: Global Village '97, Vienna.
- Glaser, B. G., & Strauss, A. L. (1967). *The Discovery of Grounded Theory*. Chicago, IL.: Aldine.
- Goel, V. (2001). Dissociation of Design Knowledge. In C. Eastman, M. McCracken & W. Newstetter (Eds.), *Design knowing and Learning: Cognition in Design Education* (pp. 221-240). Amsterdam: Elsevier.
- Göker, M. (1997). The effects of experience during design problem solving. *Design Studies* 18(1), 405–426.
- Goldschmidt, G. (1991). The Dialectics of Sketching. *Creativity Research Journal*, 4(2), 123-143
- Goldschmidt, G. (1994). On visual design thinking: the vis kids of architecture *Design studies*, 15(2), 158-174
- Goldschmidt, G. (1996). The Designer as a Team of One. *Dans*: N. Cross, H. Christiaans & K. Dorst (Eds.), *Analysing Design Activity* (pp. 65-91): John Wiley & Sons.
- Goldschmidt, G. (2001). Visual Analogy - a Strategy for Design Reasoning and Learning. *Dans*: C. Eastman, M. McCracken & W. Newstetter (Eds.), *Design knowing and Learning: Cognition in Design Education* (pp. 199-219). Amsterdam: Elsevier.
- Goldschmidt, G. (2004). *Design Representation*. London: Springer.

- Goldsmith. (1987). Creative Level and Creative Style. *British Journal of Social psychology*, 67(4), 317-323.
- Guité, M. (2007). *Le carnet numérique de l'étudiant, un outil d'aide à la conception de projet en architecture*. Présenté à la conférence de l'AIPU.
- Hameline, D. (2005). Les objectifs pédagogiques en formation initiale et continue. Collections pédagogiques, Paris: Esf. 200.
- Hanna, R., & Barber, T. (2006). Digital Processes in Architectural Design: A Case Study of Computers and Creativity. *IJAC*, 4(2), 95-120.
- Hartmann, S. (1996). The World as a Process. Simulations in the Natural and Social Sciences. Dans: R. Hegselmann, U. Mueller & K. G. Troitzsch (Eds.), *Modelling and simulation in the social sciences from a philosophy of science point of view* (pp. 77-100). Dordrecht: Kluwer.
- Hensel, M. (2006). Towards Self-Organisation and Multiple-Performance Capacity in Architecture. *Architectural Design*, 76(2), 5-11.
- Hernandez, C. (2006). Thinking parametric design: introducing parametric Gaudi. *Design Studies*, 17(3), 309-324.
- Hernandez, G. (2002). *La prise en compte de la lumière naturelle pendant la conception architecturale à l'aide des outils informatiques*. Mémoire de maîtrise, Université de Montréal.
- Hervé, L. (1972). *Le Corbusier : l'artiste, l'écrivain*. Neuchâtel.
- Hesse, M. (1966). *Models and Analogies in Science*. Notre Dame: University of Notre Dame Press.
- Heylighen, A. (2000). *In Case of Architectural Design - Critique and Praise of Case-Based Design in Architecture*, Thèse de Ph.D., Katholieke Universiteit Leuven.
- Heylighen, A., & Neuckermans, H. (1999). Walking on a Thin Line - between Passive Knowledge and Active Knowing of Components and Concepts in Architectural Design. *Design studies*, 20, 211-235.
- Heylighen, A., & Verstijnen, I. (2003). Close encounters of the architectural kind. *Design studies*, 24(4), 313-326.
- Humphreys, P. (2004). *Extending Ourselves: Computational Science, Empiricism, and Scientific Method*. Oxford: Oxford University Press.
- Iordanova, I. (2000). *Les objets-types en conception architecturale et leur représentation par la modélisation du savoir-faire*. Mémoire de maîtrise, Université de Montréal.
- Iordanova, I. (2007). Teaching Digital Design Exploration: Form Follows.... *IJAC*, 5(4), 685-702.
- Iordanova, I., Heaton, L., & Guité, M. (2006). *Architectural Design Spaces and Interpersonal Communication* Actes de: Communicating Space(s) [24th eCAADe Conference Proceedings], Volos, Greece. 14-21.
- Iordanova, I., Paoli, G. D., Guité, M., Lachepelle, J., & Tidafi, T. (2007). *Un médium numérique d'aide à la «conversation réflexive»* Présenté à la conférence de l'AIPU.
- Iordanova, I., Tidafi, T., & De Paoli, G. (2007). *Is a Digital Model Worth a Thousand Pictures?* Actes de: CAAD Futures, Sydney, 85-98.
- Iordanova, I., & Tidafi, T. (2007). *Referents modeling for the architectural design studio: Cognitive bases*. Actes de: Digital Thinking in Architecture, Civil Engineering, Archaeology, Urban Planning and Design: Finding the Ways, Montreal. 171-184.
- Jansson, D., & Smith, S. (1987). *Design Fixation*. Actes de: Proceedings of the Engineering Design Research Conference, College of Engineering, University of Massachusetts. Amherst.

- Jirapong, K., & Krawczyk, R. (2002). *Natural Forms as Virtual Architectures*. Actes de: eCAADe: Design E-ducation. Connecting the Real and the Virtual, Warsaw University of Technology. 122-125.
- Johnson-Laird, P. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Johnson-Laird, P. (1998). Imagery, visualization, and thinking. Dans: J. Hochberg (Ed.), *Perception and Cognition at the Century's End* (pp. 441-467). San Diego, CA: Academic Press.
- Johnson, S. (1998). *Making Models Architectural: Protean Representations to Fit Architect's Mind*. Actes de: ACADIA 98, Québec.
- Jones, C. (1969). The state-of-the-art in design methods. Dans: Broadbent, Geoffrey, Ward & Anthony (Eds.), *Design Methods in Architecture* (pp. 193-197). London: AA Papers.
- Kalay, Y. (2004). *Architecture's New Media*. The MIT Press.
- Keller, E. (2000). Complex Time, Amnesia and the Reinvention of Destiny. *Architectural Design*, 70(3), 12-14.
- Khan-Magomedov, S. (1990). *Vhutemas : Moscou 1920-1930* (Éditions du regard ed.). Larroche, Hélène.
- Knight, M., Dokonal, W., Brown, A., & Hannibal, C. (2005, 20–22 June 2005). *Contemporary Digital Techniques in the Early Stages of Design*. Actes de: CAAD Futures 2005, Vienna. 165-174.
- Kocaturk, T., & Veltkamp, M. (2005, 20–22 June 2005). *Interdisciplinary Knowledge Modelling for Free-Form Design*. Actes de: CAAD Futures 2005, Vienna. 465-474.
- Kolarevic, B. (2000). *Digital Architectures*. Actes de: ACADIA 2000: Eternity, Infinity and Virtuality, Catholic University, Washington, DC. 251-256.
- Kolarevic, B. (Ed.). (2003). *Architecture in the digital age* New York: Spon Press.
- Kolatan, S., & MacDonald, B. (2000). Excursus Chimera? *Architectural Design*, 70(3), 70-78.
- Kolb, D. (1976). *The Learning Style Inventory: Technical Manual*. Boston: McBer.
- Kolb, D. (1984). *Experiential Learning*. London: Prentice Hall.
- Kruger, C., & Cross, N. (2001). *Modelling Cognitive Strategies in Creative Design*. Actes de: Computational and Cognitive Models of Creative Design V, University of Sydney, Australia. 205-226.
- Kühn, C., & Herzog, M. (1993). Modelling the Representation of Architectural Design Cases. *Automation in Construction*, 2, 1-10.
- Kvan, T., & Gao, S. (2005, 20–22 June 2005). *Examining Learning in Multiple Settings*. Actes de: CAAD Futures 2005, Vienna. 187-197.
- Lang, O. (2000). Why Difference Matters: Differential Notational Systems. *Architectural Design*, 70(3), 14-18.
- Lawson, B. (1980). *How designers think*. London: The Architectural Press Ltd.
- Lawson, B. (1984). Cognitive Strategies in Architectural Design. Dans: N. Cross (Ed.), *Developments in Design Methodology*. New York: John Wiley.
- Lawson, B. (1994). *Design in Mind*. Reed.
- Lawson, B. (1997). *How designers think* (3 ed.). London: The Architectural Press Ltd.
- Lawson, B. (2004). *What Designers Know*. Oxford: Elsevier.
- Le Moigne, J.-L. (1990). *La modélisation des systèmes complexes*. Dunod.

- Le Moigne, J.-L. (1995). *Les épistémologies constructivistes*. Que sais-je?: Presses Universitaires de France. 127.
- Le Moigne, J.-L. (2003). Note de lecture sur l'ouvrage de BOUDON Philippe et al., " Concevoir l'Objet Conception ...un Défi épistémologique " dans Trames, Revue de l'aménagement, n° 13.
- Leach, N., Turnbull, D., & Williams, C. (2004). *Digital Tectonics*. Wiley-Academy.
- Leatherdale, W. H. (1974). *The role of analogy, model and metaphor in science*. North-Holland/American Elsevier. 275.
- Léglise, M. (1997). Des objets architecturaux aux objets de la conception architecturale. Dans: B. Trousse & K. Zreik (Eds.), *Actes de 01Design '97 : les objets en conception* (pp. 19-31). Paris: EuropIA productions.
- Léglise, M. (1998). *Des objets architecturaux aux objets de la conception architecturale*. Actes de: Les objets en conception., Paris. 271-281.
- Léglise, M. (2000). Conception assistée : modélisation et interprétation. Dans: G. De Paoli & T. Tidafi (Eds.), *Modélisation architecturale et outils informatiques entre cultures* (pp. 51-66): Acfas, Les cahiers scientifiques.
- Legros, D., & Crinon, J. (2002). *Psychologie des apprentissages et multimédia*. Paris: Armand Colin.
- Liu, Y.-T., & Lim, C.-K. (2006). New tectonics: a preliminary framework involving classic and digital thinking. *Design Studies*, 17(3), 267-307.
- Lloyd, P., Lawson, B., & Scott, P. (1996). Can Concurrent Verbalization Reveal Design Cognition? Dans: N. Cross, H. Christiaans; & K. Dorst (Eds.), *Analysing Design Activity* (pp. 437-463): John Wiley & Sons.
- Lubart, T. (2003). *Psychologie de la créativité*. Cursus, Paris: Armand Colin.
- Lynn, G. (1999). *Animate Form*. Princeton Architectural Press. 208.
- Lynn, G. (2000). Embryologic Houses. *Architectural Design*, 70(3), 26-36.
- Lyon, A. (2005). Autopoiesis and Digital Design Theory: CAD Systems as Cognitive Instruments. *IJAC*, 3(3), 317-334.
- Madrazo, L. (1999). Types and Instances: a paradigm for teaching design with computers. *Design studies*, 20(2), 177- 193.
- Marr, D. (1982). *Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information*. San Francisco: W. H. Freeman.
- Maturana, H. (1980). *Autopoiesis and Cognition*. Dordrecht: Reidel.
- Menges, A. (2006a). Instrumental Geometry. *Architectural Design*, 76(2), 42-53.
- Menges, A. (2006b). Polymorphism. *Architectural Design*, 76(2), 78-95.
- Minsky, M. (1975). A Framework for Representing Knowledge. Dans: P. Winston (Ed.), *The Psychology of Computer Vision* (pp. 211-277). New York: Mc Graw Hill.
- Minsky, M. (1985). *The Society of Mind*. New York: Simon and Schuster.
- Mitchell, W. (1990). *The Logic of Architecture*. Cambridge: MIT Press.
- Morgan, M. (1999). Learning from Models. Dans: M. Morgan & M. Morrison (Eds.), *Models as mediators: perspectives on natural and social science* (pp. 347-388): Cambridge University Press.
- Morin, E. (1986). *La méthode*. Paris: Le Seuil.
- Morin, E. (1999). *La tête bien faite - repenser la réforme - reformer la pensée*, . 153.
- Mullins, M., Kirkegaard, P. H., Jessen, R., & Jens, K. (2005, 21-24 September 2005). *A Topology Optimization Approach to Learning in Architectural Design*. Actes de: Digital Design: The Quest for New Paradigms [23nd eCAADe Conference Proceedings] Lisbon.

- Newstetter, W., & McCracken, W. M. (2001). Novice Conceptions of Design: Implications for the Design of Learning Environments. *Dans: C. Eastman, M. McCracken & W. Newstetter (Eds.), Design knowing and Learning: Cognition in Design Education* (pp. 63-77). Amsterdam: Elsevier.
- Norman, D. (1982). *Learning and Memory*. W.H. Freeman and Co.
- Nouvel, P. (2002). *Enquête sur le concept de modèle*. Puf.
- Osborn, A. (1965). *L'imagination constructive*. Paris: Dunod.
- Oxman, N. (2007). Get Real Towards Performance-Driven Computational Geometry. *IJAC*, 4(5), 663-684.
- Oxman, R. (1994). Precedents in design: a computational model for the organisation of precedent knowledge. *Design studies*, 15(2), 141-157.
- Oxman, R. (1999). Educating the Designerly Thinker. *Design Studies* 20, 105-122.
- Oxman, R. (2000). *Visual Reasoning in Case-Based Design*. Actes de: AID'00 Workshop, Worcester (Mass.).
- Oxman, R. (2001). The Mind in Design: A conceptual Framework for Cognition in Design Education. *Dans: C. Eastman, M. McCracken & W. Newstetter (Eds.), Design knowing and Learning: Cognition in Design Education* (269-295). Amsterdam: Elsevier.
- Oxman, R. (2004). Think-maps: teaching design thinking in design education. *Design studies*, 25(1), 63-91.
- Oxman, R. (2006a). *Educating the Digital Design Thinker*. Actes de: Communicating Space(s) [24th eCAADe Conference Proceedings], Volos, Greece. 198-205.
- Oxman, R. (2006b). Theory and design in the first digital age. *Design Studies*, 17(3), 229-265.
- Oxman, R. (2008). Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium. *Design Studies*, 29(2), 99-120.
- Pak, B., Ozener, O. O., & Erdem, A. (2006). Utilizing Customizable Generative Design Tools in Digital Design Studio: Xp-GEN experimental form generator. *IJAC*, 04(04), 21-33.
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: children, computers, and powerful ideas*. New York: Basic Books.
- Parsons, R., Hinson, S. L., & Sardo-Brown, D. (2001). *Educational Psychology*.
- Piaget, J. (1969). *Psychologie et pédagogie*, Paris : Denoël.
- Piaget, J. (1970). *Le structuralisme*. Que sais-je?, Paris: Presses Universitaires de France. 125.
- Pinker, S. (1999). *How the Mind Works*. W. W. Norton & Company.
- Pohl, J., Chapman, A., & Pohl, K. J. (2000, August 22-25). *Computer-Aided Design Systems for the 21st Century: Some Design Guidelines*. Actes de: 5th International Conference on Design and Decision-Support Systems for Architecture and Urban Planning, Nijkerk, The Netherlands.
- Poisson, Y. (1991). *La recherche qualitative en éducation*. Presses de l'Université de Québec. 175.
- Poitrenaud, S., Richard, J.-F., Pichancourt, I., Tagrej, M., & Tijus, C. (1990). *La description des procédures: leur décomposition hiérarchique et leur rôle dans la catégorisation des objets*. Actes de: Colloque de l'Association pour la Recherche Cognitive, Paris. 331-348.

- Porada, S. (2002a). Chantier de l'imaginaire. *Dans*: M. Borillo & J.-P. Goulette (Eds.), *Cognition et création: Explorations cognitives des processus de conception* (pp. 217-234). Sprimont, Belgique: Mardaga.
- Porada, S. (2002b). *Pedagogical Laboratory of Potential Architecture*. Actes de: eCAADe: Design E-ducation. Connecting the Real and the Virtual, Warsaw University of Technology. 578-583.
- Pousin, F. (1991). La représentation: virtualité de la figure architecturale. *Dans*: P. Boudon (Ed.), *De l'architecture à l'épistémologie: la question de l'échelle* (119-144). Paris.
- Prost, R. (1993). La conception architecturale confrontée à la turbulence de la pensée contemporaine. *Dans*: *Concevoir, Les cahiers de la recherche architecturale* (Vol. 34). Marseille: Éditions Parenthèses.
- Purcell, T., John, G., Edwards, H., & McNeill, T. (1996). The Data in Design Protocols: The Issue of Data Coding, Data Analysis in the Development of Models of the Design Process. *Dans*: N. Cross, H. Christiaans & K. Dorst (Eds.), *Analysing Design Activity* (pp. 225-252): John Wiley & Sons.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies : approche cognitive des instruments contemporains*. Paris: A. Collin.
- Rahim, A. (2000). Systemic Delay: Breaking the Mold. *Architectural Design*, 70(3), 6-9.
- Rahim, A. (2006). *Catalytic Formations*. London and New York: Taylor & Francis.
- Rainer, W. (2000). *Teaching at the Bauhaus*. Hatje Cantz.
- Ravéreau, A. (1981). *Le M'zab, une leçon d'architecture*. Sindbad.
- Rayner, S., & Riding, R. (1997). Towards a categorisation of cognitive styles and learning styles. *Educational Psychology*, 17(1/2), 5-29.
- Richard, J.-F. (2004). *Les activités mentales*. Armand Colin.
- Richardson, J. (1980). *Mental Imagery and Human Memory*. New York: St. Martin's Press.
- Riding, R. (2000). Cognitive Style: a Review. *Dans*: R. Riding & S. Rayner (Eds.), *International Perspectives on Individual Differences* (Vol. 1: Cognitive Styles, pp. 315-344). Stamford, Connecticut: Ablex.
- Riding, R., & Cheema, I. (1991). Cognitive Styles - An Overview and Integration. *Educational Psychology*, 11(3/4), 193-116.
- Riding, R., & Rayner, S. (1998). *Cognitive styles and learning strategies*. London: David Fulton.
- Roberts, A. (2006). Cognitive Styles and Student Progression in Architectural Design Education. *Design Studies*, 27, p. 167-181.
- Rotgé, J.-F. (1998). *L'arithmétique des formes*. Ph.D., Université de Montréal.
- Rowe, P. (1998). *Design Thinking*. The MIT Press.
- Runco, M. (1990). Implicit Theories and Ideational Creativity. *Dans*: M. Runco & R. Albert (Eds.), *Theories of Creativity* (234-254). Newbury Park: SAGE.
- Runco, M., & Albert, R. (1985). The Reliability and Validity of Ideational Originality in the Divergent Thinking of Gifted and Nongifted Children. *Educational and Psychological Measurement*, 45.
- Runco, M., & Albert, R. (Eds.). (1990). *Theories of creativity*. Newbury Park: SAGE.
- Scaletsky, C. (2003). *Rôle des références dans la conception initiale en architecture*. 215.
- Schank, R. (1982). *Dynamic Memory*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Schank, R., & Cleary, C. (2006). *Engines for Educators*.
- Schmeck, R. (2000). Thoughtful Learners: Students who Engage in Deep and Elaborative Information Processing. *Dans*: R. Riding & S. Rayner (Eds.), *International*

- Perspectives on Individual Differences* (Vol. 1: Cognitive Styles, pp. 79-99). Stamford, Connecticut: Ablex.
- Schnabel, M. A. (2007). *Parametric Designing in Architecture*. Actes de: CAADFutures'07, Sydney, Australia. 237-250.
- Schön, D. (1983). *The reflective practitioner*. Basic books.
- Schön, D. (1985). *The Design Studio*. RIBA.
- Schön, D. (1988). Designing: Rules, types and worlds. *Design studies*, 9(3), 181-190.
- Schön, D. (1994). *Le praticien réflexif* (J. Heynemand & D. Gagnon, Trans.). Montréal: Éditions Logiques.
- Schön, D., & Wiggins, G. (1992). Kinds of seeing and their functions in designing. *Design Studies*, 13(2), 135-156.
- Schwandt, T. (2001). *Dictionary of Qualitative Inquiry*. Thousand Oaks: SAGE. 280.
- Secretan, P. (1984). *L'analogie. Que sais-je?*, Presses universitaires de France. 123.
- Seebohm, T. (2007). *Paradigm Shift*. Actes de: EuropIA-11, Montreal. 3-17.
- Seitz, F. (1995). *L'École Spéciale d'Architecture 1865-1930*. Picard éditeur.
- Sfez, L. (1992). *Critique de la communication*. Paris: Editions du Seuil.
- Simon, H. (1996). *The Sciences of the Artificial* (third edition ed.). MIT.
- Simonton, D. K. (1999). *Origins of genius: Darwinian perspectives on creativity*. New York: Oxford University Press. 308.
- Smith, E., & Kosslyn, S. (2007). *Cognitive psychology*. Upper Saddle River, N.J.: Pearson/Prentice Hall.
- Stacey, M., & Lauche, K. (2005). Thinking and Representing in Design. Dans: J. Clarkson & C. Eckert (Eds.), *Design Process Improvement: A Review of Current Practice* (pp. 198-229). London: Springer.
- Strauss, A., & Corbin, J. (1990). *Basics of Qualitative Research: Grounded Theory Procedures and Techniques*. Newbury Park, CA: Sage.
- Suwa, M., Purcell, T., & Gero, J. (1998). Macroscopic analysis of design processes based on a scheme for coding designers' cognitive actions. *Design Studies*, 19(4), 455-483.
- Szalapaj, P. (2005). *Contemporary Architecture and the Digital Design Process*. Oxford: Elsevier.
- Takeda, H., Yoshioka, M., Tomiyama, T., & Shimomura, Y. (1996). Analysis of Design Protocol by Functional Evolution Process Model. Dans: N. Cross, H. Christiaans & K. Dorst (Eds.), *Analysing Design Activity* (187-209): John Wiley & Sons.
- Talbott, K. (2004). Divergent Thinking in the Construction of Architectural Models. *IJAC*, 2(2), 264-286.
- Tang, H.-H., & Gero, J. (2000). *Content-oriented coding scheme for protocol analysis and computer-aided architectural design*. Actes de: CAADRIA2000, Singapore. pp. 265-275.
- Thompson, D. A. (1942). *On Growth and Form*. Cambridge University Press.
- Tidafi, T. (1996). *Moyens pour la communication en architecture*. Thèse de Ph.D., Université de Montréal, Montréal. 388.
- Tidafi, T. (2007). *New Digital Cultures Facing Complexity*. Actes de: EuropIA-11, Montreal. 131-145.
- Torrance, E. (1966). *Torrance Test of Creative Thinking*. Princeton: Personnel.
- Turbayne, C. (1970). *The Myth of Metaphor*. Columbia, SC: University of South Carolina Press.

- Tzonis, A. (1992). *Huts, Ships and Bottleracks: Design by analogy for architects and/or machines*. Actes de: Research in Design Thinking. 16-27.
- Tzonis, A. (2001). *Le Corbusier. Poétique, machines et symboles*. Hazan.
- Tzonis, A., & Lefaivre, L. (1994). Lines of Vision Lines of Fire [Source électronique]. *The Building and the Town*. Retrieved 01.05.05, from <http://www.bk.tudelft.nl/dks/publications/online%20publications/1994-DasBauwerk.htm>
- Valéry, P. (1945). *Eupalinos. L'Âme et la danse. Dialogue de l'arbre*. Paris: Editions Gallimard.
- Van der Maren, J.-M. (1996). *Méthodes de recherche pour l'éducation*. Les Presses de l'Université de Montréal.
- Van der Maren, J.-M. (1999). *La recherche appliquée en pédagogie : Des modèles pour l'enseignement*. Paris, Bruxelles: De Boeck Université. 255.
- Van der Maren, J.-M. (2003). *La recherche appliquée en pédagogie: Des modèles pour l'enseignement*. Paris, Bruxelles: De Boeck Université.
- Varela, F. (1996). *Invitation aux sciences cognitives* (P. Lavoie, Trans.). Éditions du Seuil.
- Vasquez, G. (2002a). *The Computer is to blame*. Actes de: eCAADe: Design E-ducation. Connecting the Real and the Virtual, Warsaw University of Technology. 50-54.
- Vasquez, G. (2002b). *The Computer is to blame*. Actes de: eCAADe: Design E-ducation. Connecting the Real and the Virtual, Warsaw University of Technology.
- Verstijnen, I., Heylighen, A., Wagemans, J., & Neuckermans, H. (2001). *Sketching, Analogies, and Creativity - on the Shared Research Interests of Psychologists and Designers* - Actes de: Visual and Spatial Reasoning in Design-II, Key Centre of Design Computing and Cognition.
- Visser, W. (1996). Use of Episodic Knowledge and Information in Design Problem Solving. *Dans*: N. Cross, H. Christiaans & K. Dorst (Eds.), *Analysing Design Activity* (pp. 271-289): John Wiley & Sons.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Weinand, Y. (2004). *New Modeling*. Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Weinstock, M. (2006). Self-Organisation and the Structural Dynamics of Plants. *Architectural Design*, 76(2), 26-34.
- Weinstock, M., & Statopoulos, N. (2006). Advanced Simulation in Design. *Architectural Design*, 76(2), 54-59.
- West, M. (2001). *Fabric Formed Concrete Structures*. Actes de: First International Conference on Concrete and Development, Tehran, Iran
- Wilden, A. (1980). *System and Structure*. New York: Tavistock Publications.
- Woodbury, R., & Burrow, A. (2003). Notes on the Structure of Design Space. *International Journal of Architectural Computing*, 1(4), 517-532.
- Yakeley, M. (2000). *Digitally Mediated Design: Using Computer Programming to Develop a Personal Design Process*. Doctoral Thesis, MIT, Boston.
- Yates, G. (2000). Applying Learning Style Research in the Classroom: Some Cautions and the Way ahead. *Dans*: R. Riding & S. Rayner (Eds.), *International Perspectives on Individual Differences* (Vol. 1: Cognitive Styles, pp. 347-364). Stamford, Connecticut: Ablex.
- Yeang, K. (2006). *Ecodesign*. Wiley-Academy.
- Yin, R. (2004). *Case study research : design and methods* Thousand Oaks: SAGE. 181.

Zarzar, M. (2003). *Breaking the Type. Considerations towards the production of innovative architectural designs by evolutionary design models*. Actes de: Generative Architecture 2003, Milano. 1-13.

Zeisel, J. (1981). *Inquiry by design : tools for environment - behavior research*. Monterey, California.

ANNEXE-1 : Questionnaire-type du début de trimestre

Questionnaire auprès des étudiants de l'atelier ARC3011

Identification

Nom :

Méthode de travail en atelier

Dans les phases de création et de conception :

	Jamais	fois	Souvent	Très souvent
Dessin à main levée				
Maquette				
Collage				
Infographie				
CAO				
Programmation				
Autre :				
Autre				
Autre :				

Motivation pour avoir choisi cet atelier thématique

J'aime le site et le contexte architectural du projet proposé

Pour apprendre plus de logiciels

Pour développer des méthodes de travail à l'ordinateur

J'aime faire du design avec les outils informatiques

Autre :

Utilisation de l'informatique en atelier

Avant la présente session avez-vous déjà utilisé l'informatique en atelier ?

Oui Non

--	--

Si oui, dans quel atelier ?

L'utilisation de l'informatique et les phases du projet ?

	Jamais	fois	Souvent	Très souvent
Programmation				
Recherche				
Analyse				
Genèse d'un concept				
Mise en forme				
Validation				
Développement				
Présentation				
Autre :				

Connaissance de l'informatique

Quels cours d'informatique avez-vous déjà suivis ?

II

Quel est votre niveau de maîtrise des logiciels suivants ?		Nul	Faible	Bon	Excellent	ne connaît pas
CAO Rendu	Form-Z					
	Archicad					
	Autocad					
	3DStudio					
	POV-ray					
	Maya					
	Rhino					
	LightScape					
Infographie	Freehand					
	Illustrator					
	Photoshop					
	PaintShopPro					
Mise en page Présentation Hypermédia	PageMaker ou Quark					
	PowerPoint					
	Director					
	Acrobat					
	Flash					
	DreamWeaver					
	GoLive					
	FrontPage					
	Autre:					
	Autre:					

Vous arrive-t-il d'utiliser des langages de programmation ?

Jamais	Quelques fois	Souvent	Très souvent

Si oui, lesquels ?

Autolisp				
PovRay				
C, C++				
HTML				

Quel est votre niveau de maîtrise de l'environnement Windows ?

Faible	Bon	Excellent

Quel est votre niveau de maîtrise de l'environnement MacOS ?

--	--	--

Connaissez vous d'autres environnements informatiques ?

Oui	Non

Si oui, lesquels et indiquez votre niveau de maîtrise:

Faible	Bon	Excellent

Quelles autres connaissances en informatique avez-vous acquises ?

ANNEXE-2 : Questionnaire-type de fin de trimestre

(Vous pouvez choisir plusieurs réponses aux questions à choix multiples)

Identification (optionnelle):

Dans les phases de création et de conception vous avez utilisé:

	Jamais	Quelques fois	Souvent	Très souvent
Dessin à main levée				
Maquette en bois, papier, etc.				
Collage				
Maquettes 3D numériques construites (de type CAD)				
Maquettes 3D à la base de « sketch »				
Animations d'étude de la volumétrie				
Infographie				
Dessin à l'aide d'un logiciel de CAD/CAO				
Formes produites avec des logiciels de programmation (PovRay, etc)				
Autre (ex. Jenna)				

Lequel vous allez reprendre avec confiance la prochaine fois quand vous allez commencer un projet architectural?

Pendant l'atelier, vous avez utilisé du numérique pour faire :

	Jamais	Quelques fois	Souvent	Très souvent
présentations,				
dessin (CAD),				
maquettes numériques en 3D				
conception architecturale,				
recherche de précédents (sur le Web)				
Autre :				

IV

Vous avez utilisé logiciels de type.... Pendant la phase ...

	infographie	Mise-en-page Ou page-web	Modélisation3 D	CAO DAO	programmation	autre
Programmation						
Recherche						
Analyse						
Genèse d'un concept						
Mise en forme						
Validation						
Développement						
Présentation						
Autre						

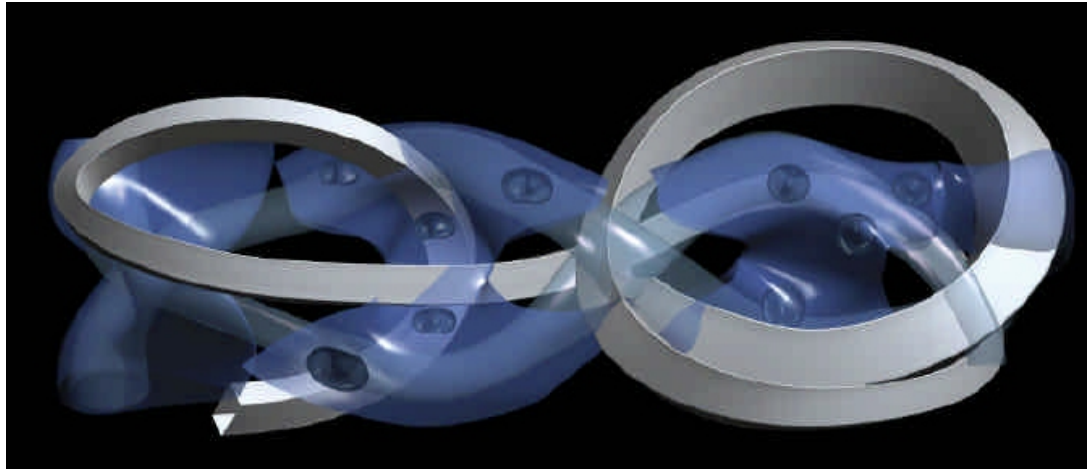
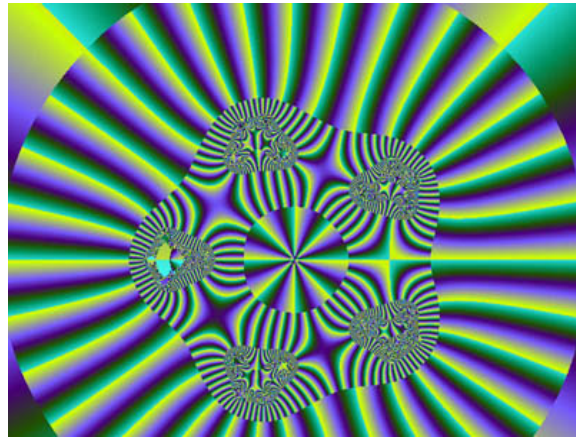
Quel est votre niveau de maîtrise des logiciels suivants?

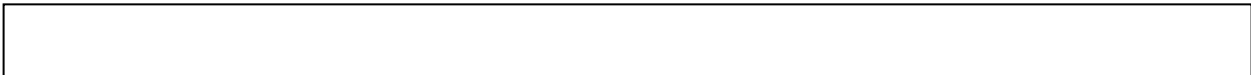
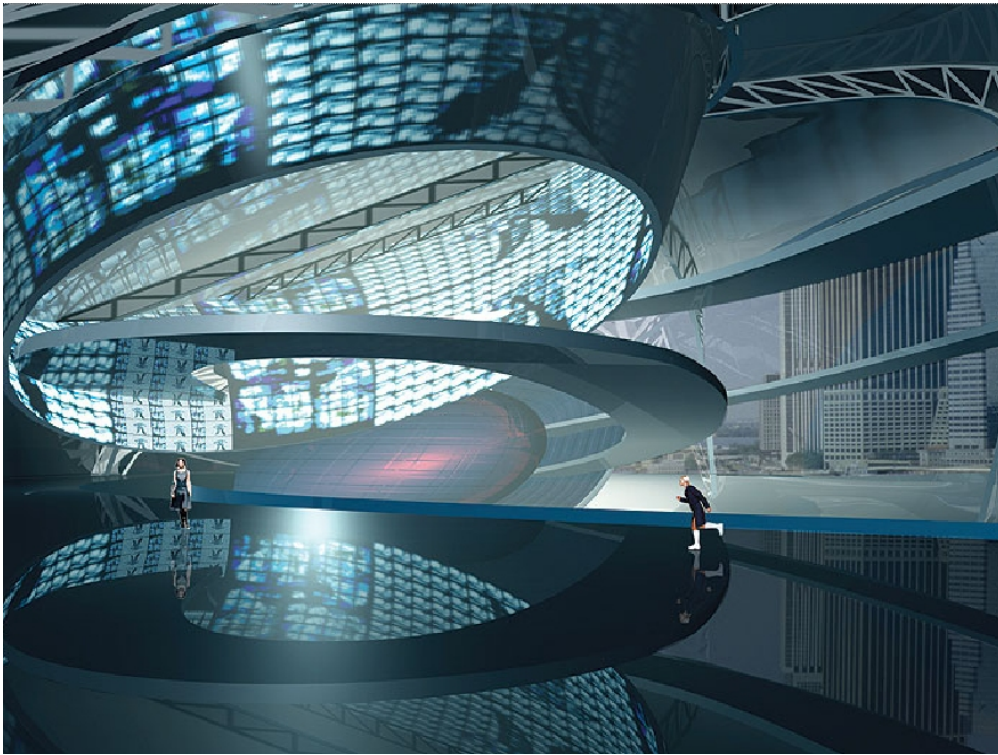
		Nul	Faible	Bon	Excellent
CAO. modélisation. Rendu	Form-Z				
	Archicad				
	Autocad				
	3DStudio				
	POV-ray				
	Maya				
	Rhino				
	LightWave				
	Cinema4D				
	LightScape				
	EcoTect				
	Freehand				
	Illustrator				
	Photoshop				
	PaintShopPro				
Mise en page	PageMaker ou Quark				
	PowerPoint				
	Director				
	Acrobat				
	Flash				
	DreamWeaver				
	GoLive				
	FrontPage				
	Autre:				

ANNEXE-3: Références données avant une des observations







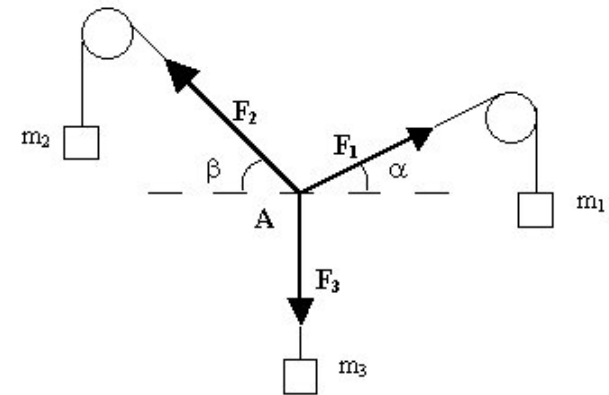
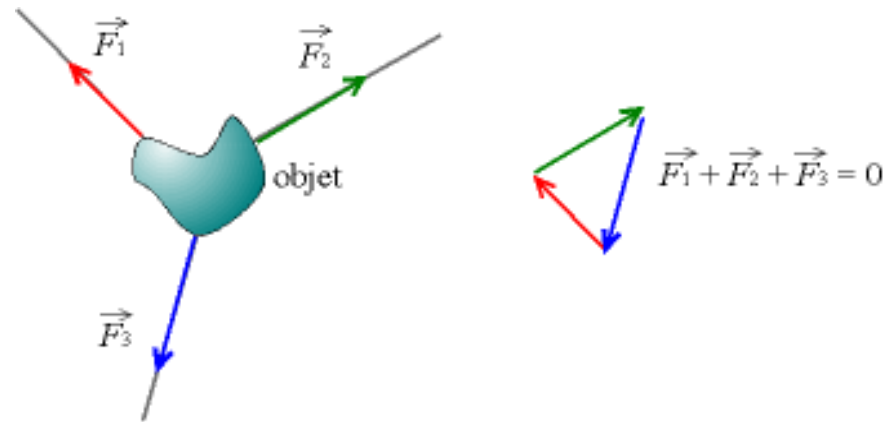
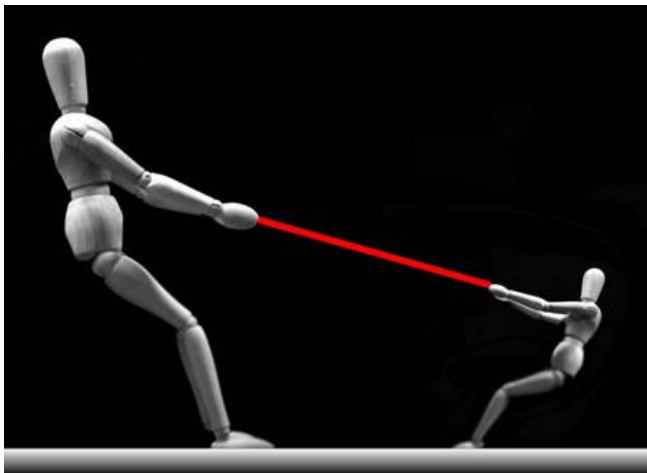
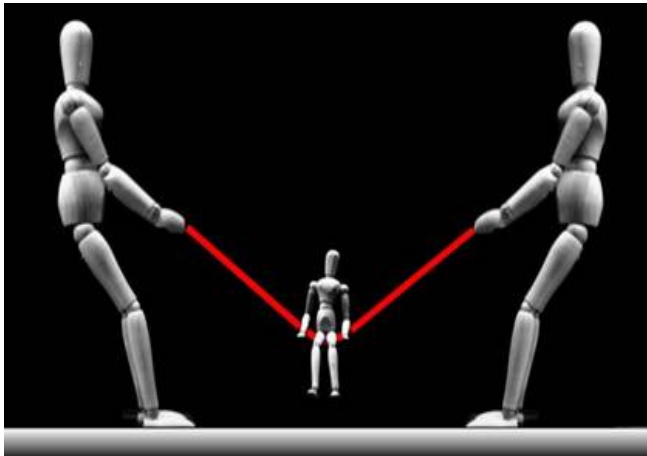


ANNEXE-4: Énoncé de la tâche de conception à être réalisée pendant l'observation

À l'aide des outils informatiques, et en interprétant les images plus bas,

Donnez une expression spatiale de la phrase: "... entre la légèreté et la masse"

*Essayez de deviner ce qui se cache derrière les points de suspension : _____

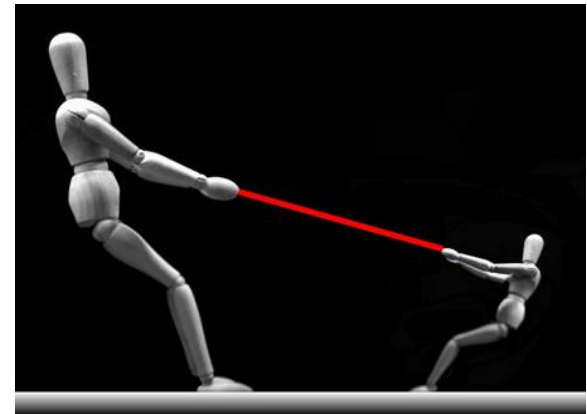
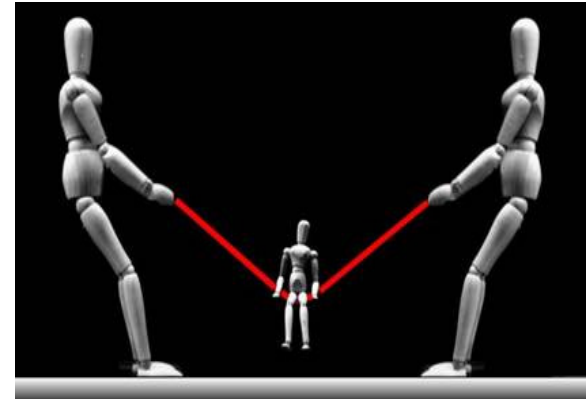


X

À l'aide des outils informatiques, et en interprétant les images plus bas,
Donnez une expression spatiale de la phrase:

"... entre la légèreté et la masse"

**Essayez de deviner ce qui se cache derrière les points de suspension : _____*



ANNEXE-5: Réponses au questionnaire du début du trimestre (2005)

Questionnaire auprès des étudiants de l'atelier ARC3011

Méthode de travail en atelier

Dans les phases de création et de conception :		Quelques fois				
		Jamais		Souvent	Très souvent	
Dessin à main levée			1	4	3	18
Maquette			4	3	1	13
Collage	2		3	3		9
Infographie	2		3	3		9
CAO	1		3	4		11
Programmation	7		1			1
Autre : Vidéo						0
Autre :						
Autre :						

Motivation pour avoir choisi cet atelier thématique

J'aime le site et le contexte architectural du projet proposé	1
Pour apprendre plus de logiciels	6
Pour développer des méthodes de travail à l'ordinateur	8
J'aime faire du design avec les outils informatiques	5
Autre : aborder une nouvelle méthode de travail	1

Utilisation de l'informatique en atelier

Avant la présente session avez-vous déjà utilisé l'informatique en atelier :	Oui	Non
	7	1

Si oui, dans quel atelier ?

tous les ateliers pour les plans et les présentations (AutoCAD et PhotoShop)
atelier 2 - Québec (1)
ateliers 3 et 4 (4)
ateliers 2-3-4 pour schématiser rapidement le programme; représenter la volumétrie et faire la présentation finale du projet
atelier 4 (1)

L'utilisation de l'informatique et les phases du projet ?		Quelques fois				
		Jamais		Souvent	Très souvent	
Programmation	6		2			2
Recherche	2		3	1	2	11
Analyse	3		1	4		9
Genèse d'un concept	1		7			7
Mise en forme			5	3		11
Validation	2		3	2	1	10
Développement	1		6	1		8
Présentation			2	2	4	18
Autre :						

76

XII

Connaissance de l'informatique

Quels cours d'informatique avez-vous déjà suivis ?

AutoCAD (1)
Manon Guié (7)
Computer & arts (Dowson) (1)
séminaires sur FormZ, sketchUp, PhotoShop, Illustrator

Quel est votre niveau de maîtrise des logiciels suivants ?		Nul	Faible	Bon	Excellent	ne connaît pas	
CAO Rendu	Form-Z		2	2			6
	Archicad		1	2			5
	Autocad		2	4			10
	3DStudio		2				2
	POV-ray						0
	Maya						0
	Rhino						0
	Cinema4D						
	LightWave						
	LightScape						0
Infographie	Freehand						0
	Illustrator		2				2
	Photoshop		2	5	1		15
	PaintShopPro		1	1			3
Mise en page Présentation Hypermédia	PageMaker ou Quark		1				1
	PowerPoint		3	5			13
	Director						0
	Acrobat		4				4
	Flash						0
	DreamWeaver		3	1			5
	GoLive						0
	FrontPage		1	1			3
Autre: SketchUp			1			2	
Autre:						71	

Vous arrive-t-il d'utiliser des langages de programmation ?	Quelques fois			
	Jamais	Quelques fois	Souvent	Très souvent
	8			

Si oui, lesquels ?

Autolisp				
PovRay				
C, C++				
HTML				

action-script (Flash)

ANNEXE-6: Réponses au questionnaire de la fin du trimestre (2005)**Questionnaire de fin du trimestre - réponses****Dans les phases de création et de conception vous avez utilisé:**

	Jamais	Quelques fois	Souvent	Très souvent		
Dessin à main levée		4	3		10	
Maquette en bois, papier, etc.	7				0	10
Collage (<i>ou à l'ordinateur</i>)		6	1		8	
Maquettes 3D numériques construites (de type CAD)		5	2		9	
Maquettes 3D à la base de « sketch »	1	3	2	1	10	
Animations d'étude de la volumétrie	3	4			4	
Infographie		3	3	1	12	
Dessin à l'aide d'un logiciel de CAD/CAO			3	4	18	
Formes produites avec des logiciels de programmation (PovRay, etc)	6		1		2	
Autres (ex: Jenna)	3		1	3	11	
Autre					info-all	66

Lequel vous allez reprendre avec confiance la prochaine fois quand vous allez commencer un projet architectural?*Dessin à main levée, infographie et maquettes 3D***Pendant l'atelier, vous avez utilisé du numérique pour faire :**

	Jamais	Quelques fois	Souvent	Très souvent	
présentations,				6	18
dessin (CAD),		3	3	1	12
maquettes numériques en 3D				7	21
conception architecturale,			3	4	18
recherche de précédents (sur le Web)		2		5	17
Autre :					0
					86

Vous avez utilisé logiciels de type.... Pendant la phase ...

	infographie	Mise-en-page	Modélisation 3D	CAO	script	autre	
		Ou page-web		DAO			
Programmation	1	2	1	1		3	
Recherche	2	2	1	1		3	
Analyse	5	1	2				
Genèse d'un concept	1	2	6	2			
Mise en forme	1		7	2		1	
Validation	2	1	6	5			
Développement	2	1	7	4		1	
Présentation	7	6	4	3			
Autre							
	21	15	34	18	0	8	96

Quel est votre niveau de maîtrise des logiciels suivants?

		Nul	Faible	Bon	Excell.	
Infographie CAO, modélisation, Rendu	Form-Z			2	2	6
	Archicad			1	1	3
	Autocad			2.5	4.5	11.5
	3D Studio			1		1
	POV-ray					0
	Maya					0
	Rhino			1	3	7
	LightWave					0
	Cinema4D			1	4	9
	LightScape					
	Ecotect			2		
	Freehand					0
	Illustrator			2		2
	Photoshop				6	15
	PaintShop				1	2
Mise en page Présentat	PageMaker ou Quark			1		1
	PowerPoint				5	16
	Director					0
	Acrobat			3	2	7
	Flash			4.5	2	8.5
	DreamWeaver			3	2	7
	GoLive					0
	FrontPage			1		1
Autre: (SketchUp)				2	4	

AS-Y	<i>Ne réussissent pas à travailler en paramétrique (1 essai) ; pas de "conversation réflexive"</i>									
150 segments	117 min	1.28								
1) structure-coque (principe)				métaphore				structure; forme		
1) ouvrir-fermer			image +					fonctionnement climat	oui	
1) fleur; bourgeon				métaphore				forme fonctionnement		
2) déplier					cinématique	(- nonréussi)		comportement fonctionnement		
1) animer juste la façade vers la mer								rapport au site		
	3) façade animée						Institut Arab Jean Nouvel	fonctionnement climat		

C+S										
<i>Ne réussissent pas à travailler beaucoup en paramétrique (seulement pour les pilotis); 1 moment de "convers. réflexive"</i>										
195 segments	160 min	1.22								
1) scène sur l'eau			image- feux d'artifice +					rapport au site	oui	
1) couvrir l'espace			image +					fonctionnement climat	oui	
1) passerelle couverte avec la salle d'expo			image +					fonctionnement inter-exter		
1) coquillage				métaphore				forme structure		
2) gradins sur le terrain					paramétrique	gradins - copie; variation		fonctionnement forme	oui	
1) passerelle de lattes					paramétrique	aide-refs (tween)		structure composition	oui	
1) distribution pilotis								structure fonctions	oui	
1) s'en servir aussi pour le toit										C.R.
1) souplesse avec "formula"					paramétrique (ne réussit pas)			forme		
	3) ranger les sièges							forme fonctionnement		ref-modèle

J+R	<i>Travaillent beaucoup en paramétrique; beaucoup de "conversation réflexive" (8 moments)</i>										
225 segments	144 min	1.56									
	3) au bord de l'eau							l'Opéra de Sydney	rapport au site		
1) le mouvement de l'eau, des gens											
1) aligner la forme avec le terrain											
1) lignes qui partent vers l'océan						param		en lien avec le site	rapport au site composition		
	3) murs utilisés par rapport au vent					param					C.R.
	3) on dirait des estrades					param					C.R.
1) cône de vision					métaphore				fonctionnement		C.R.
	3) acoustique - bien										C.R.
	3) configuration classique		image						forme fonctionnement		C.R.
1) scène modulaire						param			composition		C.R.
	3) cristaux				métaphore				composition		C.R.
1) couverture comme les gradins						param				oui	C.R.
	3) surfaces réglées						Calatrava		structure forme		

ANNEXE-8 : Représentation des observations et leur évolution dans le temps

Contexte: École d'architecture, Université de Montréal

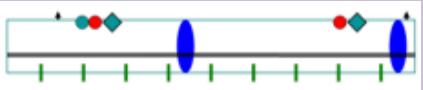
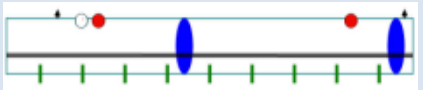
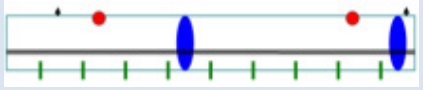
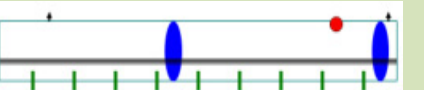
Participants : Étudiants en 3-ème année de Bac en architecture, session d'automne 2004, 2005, 2006

Étudiants de maîtrise (option CAO), session d'hiver 2006

La plupart des étudiants ont suivi un cours d'introduction à la CAO avant l'atelier (sans apprendre les logiciels recommandés pour l'atelier)

Tuteur : Ivanka Iordanova (qui assumait le rôle de chercheur et de tuteur à la fois)

Représentation des observations et leur évolution dans le temps

	Observation-1 (cf. Ch. 5)	Observation-2 (cf. Ch. 10)		Observation-3 (cf. Ch. 12)
	Automne 2004	Automne 2005	Hiver 2006 (M)	Automne 2006
Nombre d'étudiants	8 étudiants	8 étudiants	7 étudiants	10 étudiants
Schémas	 <ul style="list-style-type: none"> ▲ Entrevues (questionnaires) avec les étudiants — Plan du cours, observations du « deuxième œil » ● Observations ponctuelles ■ Matériel hebdomadaire dans le carnet numérique ● Présentations – à mi trimestre et à la fin de l'atelier 	 	 <p><i>*Micro=observation : regarder LibreArchi avant de commencer à travailler sur la tâche de conception</i></p>	
Démarches pédagogiques		Avec exercices préparatoires		Avec exercices préparatoires et Librairie de référents