

Gilles Halin
Maître de Conférences, HDR en Informatique

Rapport sur le mémoire de thèse intitulé

Vers des outils d'aide à la conception pour intégrer les dimensions techniques, écologiques et sensibles des matériaux construction

Présenté par

Nathalie Tornay

En vue de l'obtention du Doctorat de l'Université de Toulouse

Spécialité : Génie Civil.

Le travail présenté par Nathalie Tornay porte sur l'intégration des dimensions technique, écologique et sensible des matériaux dans un outil d'aide à la conception reposant sur l'utilisation de références. L'approche s'intéresse aux phases amont du processus de conception dans lesquelles des choix essentiels, actuellement très peu assistés par des outils numériques, sont effectués. En effet, les outils existants et utilisés par les professionnels interviennent lorsque le projet architectural est à un stade déjà avancé de conception. L'intérêt de ce travail est d'aborder la prise en compte des différentes dimensions des matériaux dans leurs apports à la génération d'idée, à la définition du parti qui guideront les étapes suivantes du processus.

Le document comporte 400 pages. Il est structuré en trois parties de taille différente, découpées en douze chapitres. Le texte est d'une densité équilibrée. La mise en page, les illustrations en couleur, les paragraphes de liaison, les notes, les citations placées en tête de chapitre, les tableaux de synthèse, et les rappels insérés dans le texte facilitent la lecture et la compréhension du discours. L'orthographe et la grammaire sont d'un bon niveau. Le style est agréable. Le mémoire comporte également un sommaire, un glossaire, une bibliographie thématique, une table référençant les tableaux, une table référençant les figures, un sommaire détaillé et trois annexes. Nous tenons à faire remarquer quelques problèmes de mise en forme : l'accès aux références via la bibliographie thématique n'est pas aisée, on ne retrouve pas directement la forme de la référence indiquée dans le texte ; nombreux sont les renvois qui demeurent incorrectes ou incomplets ; les figures ne sont pas systématiquement citées ; quelques références sont à compléter.

Le mémoire commence par une introduction de sept pages qui positionne le choix des matériaux dans la conception architecturale, urbaine et du paysage en caractérisant les formes de matérialité d'un projet. Puis après avoir évoqué les différentes dimensions des matériaux à considérer, l'auteur s'intéresse au processus de conception et met en avant le paradoxe de la conception architecturale où les décisions les plus déterminantes d'un projet doivent être prises dans les phases initiales. En remarquant que la matérialité du projet n'échappe pas à ce paradoxe, Nathalie Tornay justifie son approche en introduisant la notion de référence tel que Robert Prost l'énonce dans ces travaux sur la formulation/résolution de problème dans la conception architecturale. En mettant en évidence le manque d'outil d'aide à la conception intégrant la dimension sensible des matériaux, l'auteur positionne son étude et présente la structure du mémoire.

La **première partie** est consacrée à l'état de l'art. Elle occupe une place prédominante dans le mémoire par la présence de six chapitres. Chacun des chapitres propose une étude bibliographique sur les différents aspects de l'approche proposée allant du processus de référenciation à la représentation des matériaux en passant par l'étude des différentes dimensions des matériaux énoncés dans l'introduction.

Le premier chapitre, intitulé « Processus de référenciation », présente la notion de référence, ses différents modes d'activation et des modélisations du processus de conception issues de la littérature qui reposent sur un raisonnement par application d'analogies successives. Le chapitre se termine par un tableau synthétique reprenant les différents modes d'activation retenus à savoir : le transfert de dispositif, la reprise de procédés et les références indirectes. Il conclue également sur les avantages et les inconvénients de la mise en oeuvre d'un tel processus.

Les conclusions de ce chapitre sont pertinentes et seront certainement utiles à la suite de la proposition. Cependant, il aurait été souhaitable de bien faire la différence entre la notion de processus de conception et de processus de référencement, et de parler plutôt d'activité de référencement au sein du processus de conception. De plus, la notion de processus de référencement intègre deux notions : la construction de référence et l'activation de référence qui ne sont pas clairement dissociées dans ce chapitre.

Le second chapitre s'intéresse aux outils existants qui prennent en compte la notion de références. Ces outils sont classés en trois catégories : les bases de données, les études de cas, et ceux reposant sur l'analogie. Dans chacune des catégories des exemples d'outils sont présentés. Puis l'auteur cherche à caractériser ces outils suivant deux aspects : le mode d'activation de références et le traitement des connaissances. Enfin le chapitre se termine par un schéma de synthèse reliant les deux aspects.

La présence de ce chapitre est justifiée, il permet d'illustrer comment l'activité de référencement a été prise en compte dans certains outils. Cependant, l'étude comparative est assez maladroite, car elle exploite des outils qui n'ont pas été conçus pour les mêmes objectifs. Ainsi, les bases de références (appellation que je donnerai à la catégorie « bases de données ») font du référencement et donc les modes de navigation et de recherche utilisés ne sont pas forcément adéquats pour de l'aide à la conception. La notion de connaissance et de traitement telle qu'elles sont énoncées me semblent erronées, il faudrait plutôt parler de dialogue et d'informations.

Dans le troisième chapitre, l'auteur étudie, dans la littérature sur les matériaux, les caractéristiques remarquables suivant chacune des trois dimensions identifiées. L'étude débute par une classification thématique par dimension des différents ouvrages. Puis chaque dimension est approfondie dans le but de définir des critères qui permettront de sélectionner des projets de référence. Pour la dimension technique sept principes constructifs de mur et cinq combinaisons des fonctions de matériaux ont été retenues. La dimension écologique est caractérisée par six critères issus du cycle de vie et du comportement thermique et hygrothermique des matériaux. Enfin en ce qui concerne la dimension sensible, l'étude identifie deux caractéristiques une émotionnelle et une culturelle qui se déclinent ensuite en différentes approches. Ces approches ne font pas ici l'objet de définition de critères, l'auteur se propose de les étudier plus particulièrement dans les deux chapitres suivants.

Ce chapitre est très intéressant et bien conduit. Les exemples sont nombreux et la littérature abordée conséquente. Il pose clairement le problème de la prise en compte de la dimension sensible et guide la lecture des prochains chapitres. Même si ce chapitre est bien construit, je formulerai deux remarques : le lecteur à ce stade de la lecture ne peut pas comprendre précisément quelle va être l'utilité des différents critères ? Pourquoi la classification des ouvrages est en début de chapitre et non à la fin après l'étude des différentes dimensions ?

Le chapitre suivant se propose de faire un état de l'art bibliographique sur les caractéristiques émotionnelles des matériaux en abordant à la fois les modalités sensorielles à l'échelle architecturale puis à l'échelle des matériaux mais aussi en analysant la signification des choix de matériaux. Le point sur l'étude des modalités sensorielles traite tout d'abord de la notion de « perception immédiate » dans laquelle la vue joue un rôle prédominant. Puis, l'auteur propose de s'intéresser aux récepteurs plutôt qu'aux sens pour définir les modalités sensorielles intervenant dans la perception. Deux formes de récepteurs sont identifiées : les récepteurs à distance (yeux, oreilles, nez, peau) et les récepteurs immédiats (mains/peau). L'étude de ces différents récepteurs aboutit à un tableau synthétique décrivant les caractéristiques des modalités sensorielles retenues classées suivant les différentes échelles d'un projet (urbain et paysage, architecture, matériaux). Le second point traite de la signification des matériaux en expliquant et illustrant le rôle joué par la culture, l'imaginaire, la substance ou mémoire des matériaux, les métaphores utilisées pour expliquer les choix, ou encore les courants de pensée qui orientent les choix. Ce point se termine par la mise en évidence des démarches signifiante et interprétative qui participent à l'attribution du sens au choix des matériaux. Le chapitre se termine par un tableau synthétique proposant un ensemble de critères associés aux modalités sensorielles retenues. En ce qui concerne les démarches signifiante et interprétative, l'auteur indique qu'il n'est pas possible d'énoncer des critères qui seraient communs à toutes démarches mais qu'il est possible d'identifier et d'énumérer un ensemble de postures sans les analyser plus précisément.

Par ce chapitre Nathalie Tornay définit précisément le caractère émotionnel de la dimension sensible des matériaux qu'elle souhaite prendre en compte. Même si on comprend aisément les raisons pour lesquelles le goût et l'olfaction ne sont pas analysés, il aurait été intéressant de trouver quelques éléments explicatifs de ce choix dans ce chapitre. De même, la « maturité évolutive » caractérisant les modalités sensorielles à l'échelle des matériaux nécessiterait également que l'auteur s'y attarde un peu plus dans son analyse.

Le chapitre cinq approfondit la caractéristique culturelle de la dimension sensible des matériaux en se proposant d'étudier les rapports entre le site, le temps et le choix des matériaux. Dans un premier temps l'auteur propose une définition pour chacun des termes : territoire, lieu, site. Puis il met en évidence les éléments du site qui ont un impact sur les choix des matériaux et étudie chacun de ces impacts. Ces éléments sont répertoriés en deux catégories ; la première concerne l'implantation du projet où les choix sont guidés par les aspects physiques, topographiques, ou encore historiques du site, mais aussi par la localité du site qui oriente les choix vers des matériaux locaux et des utilisations locales. La deuxième catégorie s'intéresse à la temporalité du site et à son impact sur l'usure des matériaux et les salissures de façades. Enfin, Nathalie Tornay conclut ce chapitre en indiquant que l'ensemble des effets ne sont pas ici identifiés et qu'un prochain chapitre poursuivra l'étude en s'appuyant sur l'analyse de productions architecturales.

La lecture et la compréhension du chapitre est aisée. La caractéristique culturelle expliquée au travers de l'étude de l'impact du site sur les choix des matériaux est justifiée et bien menée. Cependant l'auteur ici parle d'effets et oublie la notion de critères qu'il cherchait à caractériser jusqu'à maintenant.

Le dernier chapitre de cette première partie étudie les différentes formes de représentations utilisées par les concepteurs. Pour cela, l'auteur décrit les différentes formes que peut prendre une image d'un projet (photographie, plan, élévation, coupe, croquis) et les interprétations qu'elle peut générer suivant sa forme à l'échelle architecturale. Puis après avoir expliqué le rôle que peut prendre l'image dans la conception architecturale, l'auteur s'intéresse à l'utilisation de l'image à l'échelle des matériaux. Le chapitre se termine par deux tableaux synthétiques donnant des exemples de représentations pour les dimensions technique et sensible des matériaux. La dimension écologique n'est pas concernée ici car, selon l'auteur, il n'existe pas de représentations graphiques permettant d'illustrer ses critères quantitatifs.

Ce chapitre, quoique pertinent dans son étude sur les formes d'images et leur interprétation architecturale, laisse le lecteur sur sa faim quant à l'utilisation des différentes formes de représentations dans le choix des matériaux. Effectivement, cet aspect nous semble essentiel puisque l'approche proposée repose sur un outil préconisant une recherche par l'image.

Une petite conclusion en fin de ce dernier chapitre semble être celle de cette première partie. Il manque à ce niveau du mémoire une synthèse de la première partie reprenant l'ensemble des éléments à retenir avant d'aborder la seconde partie.

La **seconde partie** nommée « Savoir transmissible : contributions aux travaux existants » investit l'analyse de projets existants publiés dans des revues d'architectures actuelles. L'auteur la positionne en tant que complément à l'étude bibliographique de la première partie avec comme objectif d'analyser les postures des architectes, les caractéristiques des matériaux et la maîtrise des effets de matières.

Le premier chapitre s'intéresse aux des postures des concepteurs face aux questions environnementales en étudiant la corrélation entre les impressions du concepteur et les caractéristiques environnementales des matériaux qu'il utilise. Pour cela une centaine d'articles ont été étudiés en deux temps ; le premier décrit les matériaux de l'épiderme, le visible ; le second analyse l'enveloppe par rapport au cycle de vie et à la performance. La première étape de l'étude propose une classification multi-niveaux des différents projets selon le type de matériaux utilisé (ancestraux, actuels, ou les deux) à chacun des niveaux (façade/toiture, menuiserie, structure, vitrage). La seconde étape détermine la caractérisation du cycle de vie en trois critères : l'implantation du projet identifié par cinq attitudes illustrées par des projets emblématiques, l'énergie grise et l'épuisement des ressources calculée par le logiciel CoCon. En ce qui concerne les performances thermiques, l'auteur se propose de caractériser les projets à l'aide de trois critères : le calcul de compacité réparti sur cinq classes, le confort de capacité et la résistance thermique évalués par ce même logiciel CoCon. L'ensemble de ces critères permet à Nathalie Tornay de proposer un diagramme de type radar, qu'elle souhaite appliquer à chacun des projets présentés dans les différents articles étudiés. Le résultat de cette analyse est exposée tout d'abord par la répartition des projets dans les différentes classes identifiées par la première étape de la méthode puis par le résultat de l'analyse individuelle. Cette dernière analyse met en évidence trois groupes de projets dans lesquels l'auteur identifie sept postures de concepteurs qu'elle définit plus précisément.

Ce chapitre est très intéressant et enrichit fortement le contenu de ce travail. La méthode me semble judicieuse et les résultats pertinents. Cependant, la rédaction du chapitre pourrait être améliorée par une structuration plus rigoureuse des critères proposés (paragraphe, sous-paragraphe) et une mise à jour des renvois incorrects ; ce qui permettrait au lecteur de rentrer plus rapidement en compréhension de ce chapitre. De plus, les résultats

dépendent grandement du logiciel CoCon qui n'est justifié ici que par une référence vers un site web ; cette étude serait plus complète avec une description plus soutenue de ce logiciel.

Le huitième chapitre, le deuxième dans cette partie, se fixe comme objectif de caractériser les matériaux par une analyse des contributions des travaux existants. L'auteur s'oriente vers une analyse textuelle avec pour objectif de définir une représentation sémantique caractérisant les utilisations actuelles des matériaux. La méthode proposée repose sur l'utilisation du logiciel « Alceste » qui, après application, identifie cinq classes qui sont ensuite interprétées. Seule la classe 2 désignée par l'appellation « rôles et descriptions des matériaux » est présentée et illustrée, la présentation des autres classes se trouve en annexe. L'application d'une analyse factorielle révèle les interactions entre les classes qui matérialise que deux classes englobent le champs sémantique des trois autres classes qui elles couvrent des champs sémantiques distincts. L'auteur justifie alors que seule deux classes demeurent pertinentes à l'échelle de son étude : la classe 2 et la classe 3 qui porte sur l'évolution de l'architecture. Dans la suite du chapitre, cinq matériaux (acier, aluminium, béton, bois et brique) sont analysés à l'intérieur de la classe 2 en utilisant la construction de réseau de formes proposée par le logiciel Alceste qu'il visualise sous la forme d'un graphe où l'importance des liaisons sémantiques entre termes est représentée par la taille des arcs. Ces liaisons sont ensuite interprétées et illustrées longuement pour aboutir à un diagramme qui met en évidence les interactions entre les différents termes caractérisant les matériaux et permet à Nathalie Tornay d'identifier trois pôles (acier/aluminium, brique et bois et béton) qui seront utilisés dans la proposition de l'outil d'aide à la conception. Le chapitre conclue sur l'impact que peut avoir le choix des articles sur le contenu et l'interprétation des résultats.

Voici un chapitre qui met en évidence les capacités d'exploration de l'auteur. Le choix de la méthode, la mise en forme des résultats ainsi que leur interprétation sont ici autant d'éléments qui montrent que Nathalie Tornay sait mettre en place une démarche scientifique et rigoureuse pour étudier un point particulier de son approche. Néanmoins, quelques zones d'ombres persistent sur certains aspects de la démarche notamment sur le fonctionnement de l'outil utilisé. Là encore, il faudrait que l'auteur passe un peu plus de temps sur la description fonctionnelle de l'outil et sur les méthodes qu'il met en place. S'agit-il d'analyse de co-occurrence de termes ? comment sont calculées les distances ? L'analyse est-elle guidée par l'utilisateur ? Toutes ces questions devraient pouvoir trouver des réponses dans la démonstration.

Le dernier chapitre de cette partie traite de la maîtrise des effets et de la perception des matériaux. Après avoir remarqué que peu d'ouvrages abordent ce sujet, l'auteur répertorie quinze effets que l'étude de certains articles de revues évoquant cet aspect fait émerger. Une première analyse lexicographique fait ressortir des liens d'association ou d'opposition entre les différents termes exprimant les effets. A partir de ces remarques, quatre critères principaux, regroupant les différents effets, sont définis : les jeux de profondeur, les jeux de transparence, les jeux de reflets et les jeux de contraste. Enfin, une étude illustrée de ces quatre principaux critères tente d'expliquer comment l'utilisation des matériaux et l'insertion de l'édifice dans le site peuvent agir sur ces différentes catégories d'effet. En synthèse, Nathalie Tornay propose un graphique qui lui permettra de caractériser les différents projets relativement aux quatre critères principaux.

Ce chapitre, un des plus court du mémoire, met bien en avant la difficulté qu'à rencontrer l'auteur dans l'analyse de la maîtrise et de la perception des effets que peuvent procurer les matériaux une fois mis en oeuvre dans un édifice positionné sur un site particulier. Cette étude, quoique sommaire, est une première ébauche qui met en place une démarche qui pourrait être suivie par ceux et celles qui souhaiteraient approfondir le sujet. L'idée proposée permettant d'estampiller chacun des projets, ou l'utilisation de matériaux, par une étiquette caractérisant les effets me semblent originale. La pertinence de cette caractérisation ne pourra être déterminée que lorsqu'elle sera opérationnelle dans l'outil proposé.

A ce niveau de transition entre la deuxième partie et la troisième partie, il manque un paragraphe conclusif ou synthétique des éléments avancés dans les différents chapitres de cette deuxième partie.

La **troisième partie**, la dernière partie de ce mémoire, se focalise sur l'instrumentation de l'approche en proposant un outil d'aide à la conception. Cette proposition s'articule autour de trois chapitres.

Le premier chapitre décrit le cahier des charges de ce que pourrait être l'outil dit « idéal » d'aide à la conception reposant sur les dimensions technique, écologique et sensible des matériaux. L'objectif de l'outil est de répondre aux pratiques référentielles des concepteurs en intégrant les critères des différentes dimensions des matériaux. Pour cela l'auteur préconise une analyse de projets références en trois niveaux lui permettant de constituer trois types de fiches (précédent, action et matériau). Ensuite, l'auteur propose de manipuler toutes ces données par une recherche qu'elle qualifie de « lexicale » associée à une recherche « par image ». Une grille d'indexation des

images est exposée. Elle est structurée en deux parties : la première permet la description du projet, la seconde décrit les matériaux. La navigation souhaitée est structurée en quatre étapes qui repose essentiellement sur la manipulation d'images illustrant soit des parties de précédents, soit des matériaux ou une de ses dimensions. Cette navigation par l'image peut être complétée par une sélection de mots-clés afin d'aboutir à un ensemble de fiches extraites parmi celles construites précédemment dans lesquelles l'utilisateur concepteur peut piocher de l'information pour se constituer un dossier personnel. Un outil sous forme d'application web a été développé.

Même si à la lecture de ce chapitre, le lecteur comprend assez bien comment l'outil souhaité devrait fonctionner, celui-ci met en évidence une méconnaissance du domaine de la recherche documentaire et plus globalement de la recherche d'informations. En effet, l'indexation et la recherche (ou navigation), présentées ici sous la forme d'une seule notion, sont certes fortement liées mais demeurent des concepts très différents dans la manière de les aborder et de les expliquer. Ainsi, en tant que spécialiste de ce domaine, je me sens quelque peu frustré par la forme de cette présentation qui préfigure une faisabilité incertaine de l'outil souhaité.

La chapitre suivant décrit plus précisément les étapes de la navigation dans l'outil DILEM'MAériaux. Chacune des quatre étapes, ou phases, est expliquée et illustrée. Ensuite, les données exploitées, c'est-à-dire les précédents sont exposées ainsi que la manière dont les fiches les décrivant sont reliées aux autres types de fiches. Enfin, le chapitre se termine en présentant des exemples de fiches tels qu'elles se présentent dans l'outil.

Ce chapitre répond en partie aux questionnements que soulevaient le chapitre précédent. Toutefois, il laisse entrevoir que le système repose sur une structure statique qui ne favorise pas la prise en compte de nouveaux précédents. L'existence de liens entre les différentes fiches permet une navigation entre les différents éléments de connaissance du système, mais rien n'est dit quant à la manière dont ceux-ci sont mis en place et comment ils sont matérialisés dans l'interface.

Le dernier chapitre de cette troisième partie présente des modules d'ouverture qui pourraient s'ajouter à l'outil précédemment décrit. Le premier module porte sur la prise en compte des caractéristiques chromatiques du site. La proposition repose sur la description d'un dialogue qui, à partir d'une analyse chromatique d'une photographie du site choisie par l'utilisateur, propose plusieurs palettes, ou nuanciers de couleurs, suivant des attitudes que peut prendre le concepteur dans le choix de ces matériaux. Le choix d'une palette permettra au système de proposer des matériaux adéquats. Le deuxième module veut répondre à la prise en compte de l'évolution dans le temps dans le choix des matériaux. Le fonctionnement du module est expliqué via la présentation de son interface. Celle-ci, à partir d'une volumétrie du projet et d'un court questionnaire sur le contexte, propose à l'utilisateur de choisir un élément du projet et de le décrire en répondant à un deuxième questionnaire. A partir de ces éléments le module « étudie » les effets du temps sur les matériaux et les présente à l'utilisateur sous forme de schémas illustrant l'effet. Le chapitre se termine par la présentation des résultats d'une enquête auprès des professionnels. Celle-ci a été réalisée à partir de vidéos présentant l'outil et ses modules et d'un questionnaire. Seuls douze professionnels ont répondu à cette enquête, ce qui permet à Nathalie Tornay de présenter une première évaluation de ses propositions.

Les propositions d'ouverture de l'outil sont très intéressantes, mais leur faisabilité technique demeure non démontrée. Les dialogues proposées semblent pertinents et la mise en oeuvre de telles fonctionnalités nécessiteraient sans aucun doute une quantité d'études et de développements que l'auteur ne semble pas mesurer dans ses propos. La partie sur l'évaluation, même si le résultat de l'enquête ne satisfait pas l'auteur, aurait pu être présenté d'une manière plus rigoureuse : le questionnaire n'est pas dans le mémoire, la présentation des réponses n'est que qualitative.

Une conclusion énumère les contributions de l'approche proposée par le rappel des méthodes mises en oeuvre, de la nécessaire étude orientée des précédents et des descriptions d'outils et modules proposés. L'auteur propose également trois pistes à suivre ou plutôt à approfondir que constitue l'approche chromatique des matériaux, les effets des matériaux et les salissures de façades.

Discussion :

Le travail effectué par Nathalie Tornay est conséquent et son apport dans l'assistance à l'activité de conception par la prise en compte des dimensions technique, écologique et sensible des matériaux est original, innovant et également pertinent. Il se situe dans une problématique émergente qui suscitera certainement de nombreux travaux d'étude ou de recherche à venir. Cette étude a demandé à Nathalie Tornay d'aborder de nombreux thèmes issus de domaines très variés. Même si certains points de l'étude nécessiteraient plus d'approfondissement, il n'en demeure pas moins que l'ensemble de la proposition constitue un apport essentiel et cohérent dans le domaine de l'assistance à la conception architecturale.

Conclusion :

Je considère que les travaux de Nathalie Tornay comportent des contributions théoriques et pratiques pertinentes. Pour ces raisons, j'émet un avis favorable à ce que Nathalie Tornay soutienne cette thèse pour l'obtention du Doctorat de l'Université de Toulouse dans la spécialité Génie Civil.



Gilles Halin
Maître de Conférences, HDR en Informatique
Université de Nancy2.
Laboratoire MAP-CRAI, ENSA de Nancy