



HAL
open science

Voir, savoir, concevoir : une méthode d'assistance à la conception d'ambiances lumineuses par l'utilisation d'images références

Salma Chaabouni Zribi

► To cite this version:

Salma Chaabouni Zribi. Voir, savoir, concevoir : une méthode d'assistance à la conception d'ambiances lumineuses par l'utilisation d'images références. Architecture, aménagement de l'espace. Institut National Polytechnique de Lorraine, 2011. Français. NNT : 2011INPL061N . tel-01749446

HAL Id: tel-01749446

<https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01749446>

Submitted on 29 Mar 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



AVERTISSEMENT

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

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

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

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

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE
ÉCOLE DOCTORALE IAEM LORRAINE
Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie
MAP CRAI UMR n°694/CNRS/CULTURE
École Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy

THÈSE

Présentée et soutenue publiquement le 17/10/2011
pour l'obtention du grade de Docteur de l'INPL
Spécialité : Sciences de l'Architecture

par

Salma CHAABOUNI

VOIR, SAVOIR, CONCEVOIR
UNE METHODE D'ASSISTANCE A LA CONCEPTION
D'AMBIANCES LUMINEUSES PAR L'UTILISATION
D'IMAGES REFERENCES

Composition du jury :

Directeur de thèse :	M. Jean-Claude BIGNON	Architecte, Professeur HDR ENSA-Nancy
Co-directeur de thèse :	M. Gilles HALIN	Maître de Conférences HDR Nancy 2
Rapporteurs :	M. François GUÉNA	Professeur HDR ENSA-Paris la Villette
	MM. Marjorie MUSY	Ingénieur HDR ENSA-Nantes
Examineur :	MM. Patrizia LAUDATI	Architecte-Urbaniste, Professeur HDR UVHC- Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis

À la mémoire de ma mère

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout d'abord mon directeur de thèse M. Jean-Claude Bignon et mon co-directeur M. Gilles Halin pour m'avoir encadrée et accompagnée tout au long de ces années de travail. Je leur exprime mon extrême reconnaissance pour leurs précieux encadrements, pour leurs disponibilités et les échanges intéressants ainsi que pour m'avoir donné les moyens d'atteindre mes objectifs de recherche, le tout dans une bonne ambiance.

Je tiens à remercier également M. François Guena et Mme Marjorie Musy pour avoir participé à ce travail en qualité de rapporteurs. Merci à Mme Patrizia Laudati d'avoir aimablement accepté d'être examinateur de ce travail de thèse.

Je remercie tous les membres du laboratoire CRAI, enseignants-chercheurs, doctorants, stagiaires et secrétaires pour l'atmosphère studieuse et chaleureuse du laboratoire. C'est avec beaucoup de plaisir et de chance que j'ai pu réaliser ce travail de doctorat au sein de ce laboratoire. Je souhaite remercier vivement tous ceux avec qui j'ai beaucoup échangé et qui m'ont aidé, chacun à sa manière : Annie, Sylvain et Charline. Merci pour vos conseils et les discussions qu'on a partagées. Merci à mes collègues Aude, Vincent et Pascal. Qu'ils soient assurés de ma profonde amitié.

J'adresse également mes remerciements à Sandro, Vida et Anis, doctorants au CRAI, qui ont contribué à l'existence de ce travail de thèse par leurs encouragements, leurs enthousiasmes et leurs soutiens. Merci d'avoir été toujours là quand j'avais besoin de vous.

Une mention toute particulière à Wafa, mon amie de tous les temps, pour sa précieuse amitié et son aide inestimable. Je lui en suis profondément reconnaissante pour ses soutiens et ses conseils précieux. Tu m'as toujours accompagnée dans mes moments de joie mais aussi de peine, je ne l'oublierai jamais.

Je remercie les étudiants du Master AME promotion 2010 pour avoir accepté de participer à mon expérimentation. Merci également aux architectes de Nancy que j'ai eu l'occasion de rencontrer durant les entrevues.

J'adresse également mes remerciements à M. Christian Brassac et M. Nicolas Grigori pour avoir contribué par leurs compétences au bon déroulement de mes expérimentations.

Merci à Michael Paquelier et Sylvain Ternant, stagiaires informaticiens, pour les efforts fournis lors des stages pour le développement informatique de l'interface présentée dans cette thèse. Je leur souhaite beaucoup de réussite dans leurs activités futures.

Merci à tous mes amis, en France et en Tunisie, qui ont participé à ce travail de thèse par leurs encouragements et leurs soutiens. Je remercie particulièrement Leila et Riadh pour leurs amitiés précieuses et de m'avoir rendu la vie à Nancy plus agréable.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance pour ma famille. Votre affection et patience m'ont toujours donné confiance et m'ont été indispensables pour l'aboutissement de ma thèse. Sans votre soutien, et cela malgré les distances, je n'aurais pu réussir. Merci d'avoir cru en moi.

Aussi qu'un grand merci à toute ma belle famille, pour leur soutien sans faille qui m'a permis de tenir jusqu'au bout.

Un merci particulier à mon mari pour les immenses concessions qu'il a acceptées pendant ces longues années de thèse et qui sans lui ce travail de thèse n'aurait jamais existé. Tu m'as soutenue, supportée, encouragée, écoutée. Tu as toujours été présent pour moi. Le mot « Merci » ne serait jamais suffisant pour t'exprimer ma gratitude et mon admiration.

Enfin, je remercie le ministère de la culture en Tunisie pour m'avoir donné l'occasion de réaliser cette thèse par le soutien financier qu'ils m'ont fourni.

RESUME

VOIR, SAVOIR, CONCEVOIR.

Une méthode d'assistance à la conception d'ambiances lumineuses par l'utilisation d'images références

La lumière naturelle est une préoccupation forte dans la conception d'un projet architectural. Elle a une grande influence sur le confort visuel et la qualité architecturale des espaces intérieurs. Plusieurs méthodes et outils ont été développés pour assister les architectes dans la conception des ambiances lumineuses. L'analyse de ces différentes méthodes et outils montre qu'ils sont peu adaptés à l'activité de formulation des intentions des concepteurs durant les premières phases de conception.

Dans le cadre de cette thèse, notre objectif est d'améliorer ces premières phases de conception en apportant aux concepteurs une aide pour la formalisation de leurs intentions d'ambiances lumineuses. L'objectif poursuivi étant de faire de la lumière naturelle un fil conducteur dans le développement du projet architectural.

L'étude de la pratique des concepteurs durant les premières phases de conception fait apparaître qu'ils font fréquemment appel à des références jouant le rôle de dispositifs heuristiques. L'analyse des caractéristiques de ces références et de leur évocation montre que les images comme formes de référence favorisent l'expression des désirs, des souhaits et des intentions du concepteur. L'assistance à l'activité de référencement par les images serait donc une aide précieuse dans la formalisation des intentions pour la prise en compte de la lumière naturelle dans la conception de projet.

Nous développons une méthode fondée sur la constitution d'une base d'images références représentatives des ambiances lumineuses et sur un environnement de manipulation et exploration particulière de cette base. Pour ce faire, nous considérons d'une part le rôle de l'image-référence comme élément actif du raisonnement visuel et d'autre part, les aspects du processus de référencement notamment dans un mode de raisonnement analogique.

Cette méthode a été implémentée dans un outil prototype dénommé « day@mbiance ». Cet outil propose une base d'images composées de photographies illustrant des espaces intérieurs en éclairage naturel. Ces dernières sont indexées à partir d'un thésaurus original dédié aux « ambiances lumineuses ». L'outil, par ailleurs, expérimente différents modes de navigation par l'image qui sont définis de manière à stimuler les différentes activités cognitives dans chacune des phases du processus de référencement.

Enfin, la méthode développée a été testée lors d'une phase expérimentale qui a validé les éléments méthodologiques développés.

Mots-clés : Conception architecturale, ambiances lumineuses, formulation des intentions, images références, pensée visuelle, navigation par l'image, assistance à la conception

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	3
RESUME	5
SOMMAIRE	7
INTRODUCTION GENERALE	9
PROBLEMATIQUE DE RECHERCHE.....	9
CADRE DE RECHERCHE	10
ORGANISATION DU MEMOIRE	11
PARTIE I : ETAT DE L'ART	15
La lumière naturelle dans la conception du projet et l'évocation des références dans les phases initiales du processus de conception	15
CHAPITRE 1. Étude de la prise en compte des ambiances lumineuses en éclairage naturel dans la conception architecturale	17
1.1 CONNAITRE LA LUMIERE NATURELLE.....	18
1.2 AMBIANCE LUMINEUSE	24
1.3 LES AMBIANCES LUMINEUSES DANS LA CONCEPTION ARCHITECTURALE	33
1.4 ASSISTER LA CONCEPTION DES AMBIANCES LUMINEUSES	43
1.5 LES INTENTIONS D'AMBIANCE EN PHASE D'ETUDE D'ESQUISSE	55
1.6 CONCLUSION DU CHAPITRE	60
CHAPITRE 2. Références et activité de référencement dans la conception architecturale	63
2.1 LES CARACTERISTIQUES DES REFERENCES DANS LA CONCEPTION.....	64
2.2 DEMARCHES COGNITIVES DANS L'EVOCATION DES REFERENCES EN CONCEPTION	71
2.3 LES IMAGES REFERENCES	74
2.4 IMAGES ET PENSEE VISUELLE EN CONCEPTION	76
2.5 PROCESSUS DE RAISONNEMENT DANS L'EVOCATION DES IMAGES REFERENCES	82
2.6 PROCESSUS DE L'ACTIVITE DE REFERENCIATION PAR L'IMAGE : SYNTHESE	90
2.7 METHODES ET OUTILS D'ASSISTANCE A L'ACTIVITE DE REFERENCIATION	95
2.8 ÉLEMENTS D'UNE METHODE D'ASSISTANCE A L'ACTIVITE DE REFERENCIATION	104
PARTIE II : PROPOSITION	105
Vers la proposition d'une méthode d'assistance au processus de référencement dans l'activité de formulation des intentions d'ambiances lumineuses	105
CHAPITRE 3. Constitution du corpus d'images références : sélection des images et indexation	107
3.1 SELECTION DES IMAGES REFERENCES.....	108
3.2 METHODES D'INDEXATION D'IMAGES	117
3.3 VERS UNE INDEXATION SEMANTIQUE ET MANUELLE DES IMAGES REFERENCES	127
3.4 MISE EN ŒUVRE DE LA METHODE DE CONSTITUTION DU CORPUS D'IMAGES DANS UN OUTIL.....	130
3.5 CONCLUSION DU CHAPITRE	133

CHAPITRE 4. Élaboration d'un thésaurus relatif au domaine des ambiances lumineuses	135
4.1 VOCABULAIRE DE CARACTERISATION DES AMBIANCES LUMINEUSES.....	136
4.2 STRUCTURATION DU THESAURUS.....	153
4.3 CONCLUSION DU CHAPITRE	160
CHAPITRE 5. Exploration et manipulation des images références pour l'assistance à l'activité de référenciation	161
5.1 VERS UNE METHODE D'EXPLORATION DEDIEE A UNE ACTIVITE DE REFERENCIATION	162
5.2 PHASE DE RECHERCHE D'IMAGE(S) REFERENCE(S).....	163
5.3 PHASE D'INTEGRATION DE LA CONNAISSANCE DEGAGEE DES IMAGES REFERENCES AU PROJET	171
5.4 FAVORISER L'INTERPRETATION ORIENTEE	178
5.5 PHASE DE FORMULATION DES INTENTIONS DE CONCEPTION	180
5.6 MANIPULATION GENERALE D'UN OUTIL D'AIDE A L'ACTIVITE DE REFERENCIATION.....	181
5.7 DAY@MBIANCE : UN OUTIL D'AIDE A L'ACTIVITE DE REFERENCIATION PAR LES IMAGES REFERENCES ..	182
5.8 CONCLUSION DU CHAPITRE	197
CHAPITRE 6. Validation de la proposition.....	199
6.1 PRESENTATION DE L'EXPERIMENTATION.....	200
6.2 RESULTATS DE L'EXPERIMENTATION	206
6.3 BILAN ET LIMITES DE L'EXPERIMENTATION	222
CONCLUSION GENERALE	225
ANNEXES	231
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	277
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	287
LISTE DES FIGURES.....	287
LISTE DES TABLEAUX.....	291
TABLE DES MATIERES	293

INTRODUCTION GENERALE

Problématique de recherche

La lumière est au coeur des besoins architecturaux. Elle participe à l'esthétique de l'architecture ; elle la dévoile, révèle l'espace, crée l'ambiance... Par ailleurs, elle relève de la nécessité d'éclairer les espaces intérieurs. Chaque concepteur veille donc consciemment ou inconsciemment à une bonne conception des ambiances lumineuses intérieures.

La pratique montre que la lumière naturelle doit faire l'objet de réflexion dès les phases amont du projet architectural pour garantir une bonne qualité des ambiances lumineuses. À ces phases, le concepteur dispose d'une liberté quasi totale dans ses choix conceptuels.

Pourtant, la plupart des méthodes et outils à disposition des architectes pour la conception des ambiances lumineuses sont peu adaptés à ces phases et se positionnent essentiellement du côté de la vérification et du contrôle de l'éclairage naturel. Ces outils peuvent aider les architectes dans la prise de décision. En revanche, ils ne permettent pas ou que peu de les aider dans les premières phases de conception où le projet n'est pas encore suffisamment développé. Il existe quelques outils permettant d'aider les concepteurs durant ces phases. L'étude de ces outils montre que l'activité de formalisation des intentions des concepteurs dans la prise en compte de la lumière naturelle est peu explorée. Pourtant, les intentions sont à considérer comme le fil conducteur à partir duquel découlera l'ensemble de la démarche projectuelle. L'activité de formalisation des intentions fait le plus souvent appel à une recherche de références qui aident les concepteurs dans la génération d'idées ou le développement de solutions de conception. L'utilisation de références appartenant au domaine de l'architecture apporte des connaissances qui peuvent être directement applicables dans la conception de projets.

Dans ce travail de recherche, notre point de vue concerne les phases initiales de conception de projet, particulièrement l'activité de formulation des intentions. Nous explorons l'apport des images références représentant des espaces et des ouvrages architecturaux en éclairage naturel et leurs qualités à supporter la formulation des intentions. Ainsi, nous cherchons à comprendre comment de tels dispositifs peuvent devenir des points d'appui pour la conception des ambiances lumineuses à la fois créatives et génératrices de confort. Dès lors, une question peut être posée : comment proposer aux concepteurs une aide efficace et adaptée à l'activité de formulation des intentions en utilisant des images références ?

Notre objectif est de fournir aux architectes une ressource en connaissances pour les assister dans la conception des ambiances lumineuses. Nous développons une méthode qui propose d'organiser les images références que les concepteurs utiliseront pour formaliser leurs idées de conception. L'activité de référencement se caractérise par un processus évoluant en plusieurs phases. Nous nous intéresserons aux besoins des concepteurs dans chacune de ces phases et notamment à l'activité cognitive mise en œuvre. Dans l'outil implémenté, nous proposons des modes de recherche et de visualisation d'images pour stimuler l'activité des concepteurs durant le processus de référencement.

Cadre de recherche

Ces travaux de thèse sont réalisés au **CRAI** Centre de **R**echerche en **A**rchitecture et **I**ngénierie à Nancy sous la direction de M. Jean-Claude Bignon et M. Gilles Halin. Ils s'inscrivent dans le domaine de l'assistance à la conception architecturale par l'utilisation d'images références. Depuis quelques années ce thème de recherche a été exploré au CRAI à travers deux travaux de thèse :

- La thèse de **Walaiporn Nakapan** [Nakapan '03] : ce travail propose une méthode de recherche d'informations par l'image appliquée au domaine de la recherche interactive de produits de bâtiment. Le choix de l'image comme support à la formulation de la requête de l'utilisateur est motivé par le fait que les besoins d'informations des architectes sont souvent vagues au départ et ne sont jamais clairement et complètement énonçables en mots. À travers ce travail de recherche, l'auteur développe un robot logiciel destiné à extraire et indexer les images de produits à partir du Web et un outil de recherche interactive de produits par l'image.
- La thèse de **Selso Scaletsky** [Scaletsky '03] : ce travail propose d'assister les concepteurs dans leur activité en utilisant des références externes (non nécessairement architecturales) comme moyens pour stimuler et favoriser l'émergence de nouvelles idées de projet. Il aboutit à un nouvel outil informatique d'aide à la conception initiale architecturale nommé « kaléidoscope ». Il se caractérise comme un système ouvert de références dans lequel les images visuelles constituent la principale source référentielle.

Le système « kaléidoscope » comporte plusieurs modes de recherche et de navigation ouvrant l'accès aux références. Il favorise une interprétation et une construction personnelles de la connaissance référentielle.

- La thèse de **Sabrina Kacher** [Kacher '05] : ce travail suggère d'assister la conception par la mise en oeuvre d'une base de données d'images illustrant des réalisations architecturales existantes. Cette base joue le rôle d'un dispositif sémantique référentiel à partir duquel les concepteurs peuvent inférer et construire de nouveaux systèmes sémantiques orientés vers leur projet. La méthode développée repose sur trois points fondamentaux qui sont : la construction d'un langage adapté à la fois à la description du domaine et des images, la pondération des termes utilisés pour l'indexation des images et enfin la proposition d'une interface de recherche adaptée aux besoins des concepteurs.

Notre recherche s'inscrit dans la lignée de ces recherches qui considèrent l'image comme outil d'aide à la conception architecturale et s'intéresse particulièrement aux processus de conception des ambiances intérieures en éclairage naturel.

Ce travail de recherche se situe à l'interface entre divers champs d'études tels que la conception architecturale, les sciences cognitives, la recherche d'information, l'analyse de l'image... Nous ne prétendons aucunement être experte de tous ces champs. Néanmoins, notre travail se construit autour de théories et de concepts issus de ce corpus éclectique.

Organisation du mémoire

Notre étude se structure en deux parties principales. La première partie abordera la formulation d'états de l'art sur les questions de la conception des ambiances lumineuses et de l'activité de référencement par l'image. Elle rend compte des différents domaines et des concepts que nous souhaitons réinterpréter ou recombinaison dans notre proposition. La seconde partie, quant à elle, développera notre proposition de l'instrumentation de l'activité de référencement pour assister les concepteurs dans la formulation de leurs intentions d'ambiances lumineuses.

- La première partie s'articule autour de deux chapitres :

Le chapitre 1 : ce chapitre aura pour objet d'étudier le contexte de la prise en compte de la lumière naturelle et des ambiances lumineuses intérieures dans la conception du projet architectural. Nous traiterons d'abord de la place de la lumière naturelle durant le processus de conception à travers les dimensions et les critères qui doivent être pris en compte. Nous apportons un regard critique sur les différents outils et méthodes d'assistance à la conception des ambiances existantes selon leur implication dans le processus de conception afin de

déterminer leurs apports et limites. Nous ciblerons enfin, notre analyse aux premières phases de conception et nous mettrons en évidence les préoccupations des concepteurs et leurs besoins en matière d'ambiances lumineuses.

Le chapitre 2 : ce chapitre consiste à présenter un recul théorique sur le recours des architectes à des procédures référentielles durant les premières phases de conception. Nous commencerons par une revue de la littérature sur cette thématique. Ensuite, nous examinerons les différents raisonnements relatifs à une telle activité, notamment le raisonnement analogique. Nous ciblerons ensuite une représentation particulière des références, à savoir l'image. Nous étudierons le processus particulier de « pensée par l'image » qui nous permettra de proposer notre modèle de l'activité de référencement par l'image. Ce chapitre amorcera également la réflexion sur l'outillage de l'activité de référencement et présentera l'analyse de plusieurs outils développés. Cette étude aboutira à une double caractérisation fonctionnelle et conceptuelle.

- La deuxième partie s'articule autour de quatre chapitres :

Le chapitre 3 : ce chapitre abordera la première étape de notre démarche dans la proposition d'une méthode d'assistance à la conception des ambiances lumineuses. Nous commencerons par présenter les types de représentations imagées qui constitueront notre corpus d'images, ainsi que les critères de pertinence liés aux choix de ces images. Nous aborderons ensuite la méthode d'indexation sémantique et manuelle employée pour la définition de la base de références. Enfin, ce chapitre se termine par la description de la mise en œuvre de nos choix de sélection et d'indexation pour la constitution du corpus d'images références à l'aide d'un outil dédié, appelé « iMage ».

Le chapitre 4 : ce chapitre décrira notre démarche de constitution du thésaurus qui nous servira pour l'indexation sémantique des images références. Nous commencerons par identifier le vocabulaire utilisé dans la caractérisation des ambiances lumineuses à travers une étude théorique et à partir d'une étude expérimentale en menant des entretiens avec des architectes. À travers ces deux études, nous conduirons la structuration d'un thésaurus en cinq facettes correspondant chacune à un aspect de caractérisation des ambiances lumineuses.

Le chapitre 5 : ce chapitre proposera une méthode d'exploration et de manipulation des images références afin d'assurer leur accessibilité et contribuer au développement de l'activité intellectuelle des concepteurs pendant le processus de référencement. Cette méthode d'exploration sera implémentée dans un outil d'assistance à l'activité de référencement dénommé day@mbiance. Cet outil, de type base de connaissances, fait appel à une interface

multi-vues utilisant la technologie Flex où chaque vue présente un mode de navigation différent permettant de supporter une phase particulière du processus de référencement. L'exploitation de la base de références en utilisant ces différents modes de navigation et l'interactivité proposée par l'outil permet à l'utilisateur de formuler ses intentions d'ambiances lumineuses en utilisant principalement l'image comme référence.

Le chapitre 6 : enfin, ce dernier chapitre propose une expérimentation à partir de notre prototype pour la validation de notre proposition. Nous commencerons par décrire notre protocole expérimental. Ensuite, nous présenterons une analyse des résultats obtenus lors des expérimentations menées avec des participants représentatifs. Compte tenu des limites de notre expérimentation, nous ne tirerons pas de conclusions définitives, mais nous exprimons des tendances majeures ressorties par le retour des participants.

PARTIE I : Etat de l'art

La lumière naturelle dans la conception du projet et l'évocation des références dans les phases initiales du processus de conception

CHAPITRE 1. Étude de la prise en compte des ambiances lumineuses en éclairage naturel dans la conception architecturale

L'histoire de l'architecture témoigne d'une quête continue de la lumière naturelle [Koessler '06]. Essentielle, elle est même au centre des doctrines architecturales. L'activité des architectes est fortement conditionnée par l'obligation de travailler la lumière pour la définition des volumes et des espaces qu'ils soient extérieurs ou intérieurs. L'architecte suisse P. Zumthor déclare « *puis-je m'imaginer quoique ce soit sans lumière?* » [Zumthor '08]. Elle est une composante essentielle du projet architectural comme le défend Le Corbusier : « *les éléments architecturaux sont la lumière et l'ombre, le mur et l'espace* » [Corbusier '77].

La lumière naturelle est un facteur déterminant de la richesse visuelle des ambiances intérieures. Elle est également une source de confort visuel. Elle est souvent mieux appréciée que la lumière artificielle. C'est la lumière à laquelle nos yeux se sont adaptés au cours de leur croissance. L'obtention d'un environnement visuel confortable dans un espace favorise le bien-être des occupants. C'est pourquoi, la définition d'une stratégie de la lumière naturelle doit permettre de créer des ambiances lumineuses à la fois confortables et riches.

Les exigences par rapport à la lumière naturelle lorsqu'elles existent dans le programme d'un maître de l'ouvrage se limitent généralement à des prescriptions essentiellement fonctionnelles relatives à l'éclairage minimum des locaux exprimés par des valeurs en lux. Ces prescriptions fournissent à l'architecte des informations sur les quantités minimales à satisfaire, mais ne fournissent aucune information quant à la stratégie lumineuse à conduire. Les propositions d'orientation des façades, de caractéristiques des ouvertures, de traitement des espaces ne sont finalement que peu aidées par ces prescriptions. C'est pourquoi, nous nous préoccupons d'étudier la prise en compte de la lumière naturelle dans la conception des ambiances intérieures afin de proposer une méthode permettant de fournir une aide aux concepteurs lors de la conception des ambiances lumineuses.

Nous commencerons ce chapitre par l'étude des caractéristiques de la lumière naturelle en tant que phénomène physique. Par la suite, nous aborderons la notion d'ambiance lumineuse. Nous ferons notamment une distinction entre ambiance lumineuse « vécue » et ambiance lumineuse « conçue » afin de déterminer les éléments importants dans la conception des ambiances. Enfin, nous verrons quelles sont les dimensions qui doivent être prises en compte dans la conception des ambiances lumineuses afin de résumer les préoccupations des concepteurs en vue de leur proposer une aide adaptée à leurs besoins en matière d'ambiances lumineuses. Dans un tel objectif, nous avons jugé important de mener un état de l'art des différentes méthodes et outils d'aide à la conception des ambiances lumineuses et d'étudier leur implication dans le processus de conception afin de développer de nouvelles perspectives pour une assistance adaptée aux besoins des concepteurs.

1.1 Connaître la lumière naturelle

1.1.1 Nature de la lumière

La question de la nature de la lumière fut au centre des débats scientifiques pendant plus de trois siècles [Hecht '03]. Au 17^{ème} siècle, Issac Newton expose sa théorie corpusculaire de la lumière. Ses travaux font apparaître que la lumière est composée de corpuscules (grains, particules) en mouvement rapide qui se propagent en ligne droite. Cette théorie permet d'expliquer les phénomènes de réflexion et de réfraction de la lumière. De plus, en réalisant plusieurs expérimentations avec un prisme, Newton aboutit à la conclusion que la lumière blanche se compose de toutes les couleurs de l'arc-en-ciel.

Une autre théorie est apparue peu après celle de Newton initiée principalement par Christian Huygens en 1678 : la théorie ondulatoire. Elle définit la lumière comme une onde électromagnétique qui se propage dans un milieu invisible et immatériel appelé « Ether ». Une onde correspond à une oscillation sinusoïdale caractérisée par (Figure 1) :

- sa longueur d'onde : la distance, en nanomètres (nm), entre deux crêtes successives,
- son amplitude : la hauteur de l'onde en mètre (m),
- sa période : la durée d'une vibration en secondes (s),
- sa fréquence : le nombre de vibrations par seconde, exprimée en Hertz (Hz).

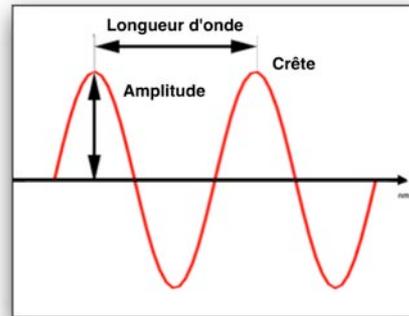


Figure 1. Représentation d'une onde

Au cours des siècles suivants, plusieurs scientifiques ont étudié les oscillations des ondes de la lumière dans l'espace. En 1887, Heinrich Hertz a découvert l'effet photoélectrique qui implique l'émission d'électrons par un métal sous l'action de radiations lumineuses. En 1905, Albert Einstein parvient à interpréter ces résultats grâce à la théorie des quanta et met en évidence l'émission de l'énergie lumineuse par des photons (ce qui correspond à une réinterprétation de l'effet ondulatoire). Il propose de concevoir la lumière comme un flux de particules (photons), dotées d'une énergie dépendante de la longueur d'onde du rayonnement et non de son intensité.

Actuellement, la physique moderne reconnaît au rayonnement lumineux les deux caractères suivants : ondulatoire et corpusculaire. On considère que la lumière agit comme un ensemble de particules (photons) et comme une onde : c'est la dualité onde-particule. Cette dualité explique d'une façon différente le comportement de la lumière. Les phénomènes de propagation de la lumière révèlent sa nature ondulatoire, tandis que les effets de l'interaction de la lumière avec les matières trouvent leur explication dans sa nature corpusculaire.

1.1.2 Composition du spectre solaire

Le soleil émet des photons en très grandes quantités. C'est le rayonnement solaire. Ces flux de photons, appelés également radiations ou rayons, voyagent dans l'espace à une très grande vitesse (300 000 km/s) et atteignent la terre avec différentes longueurs d'ondes. On distingue par leur longueur d'onde les différents types de rayons : c'est le spectre solaire.

Le spectre solaire est la répartition des rayons ayant des longueurs d'onde allant de 10^{-15} à 10^5 m (Figure 2).

Les radiations de longueur d'ondes très courtes (les rayons x, gamma) sont arrêtées dès les couches supérieures de l'atmosphère. Les radiations de longueur d'onde très longues (ondes radio) sont très faibles à la surface de la terre. La partie du rayonnement arrivant sur la terre occupe une plage de longueur d'onde entre 250 et 2600 nm après avoir traversé l'atmosphère. Il est dit « énergétique » [Bernstein *et al.* '07]. Ce rayonnement énergétique est composé par :

- Les Ultraviolets (UV), de 250 nm à 380 nm, invisibles, représentent environ 3% de l'énergie véhiculée.
- Le spectre visible, de 380 à 780 nm, représente 42% de l'énergie véhiculée.
- Les Infrarouges (IR), de 780 à 2600 nm, invisibles, représentent 55% de l'énergie véhiculée.

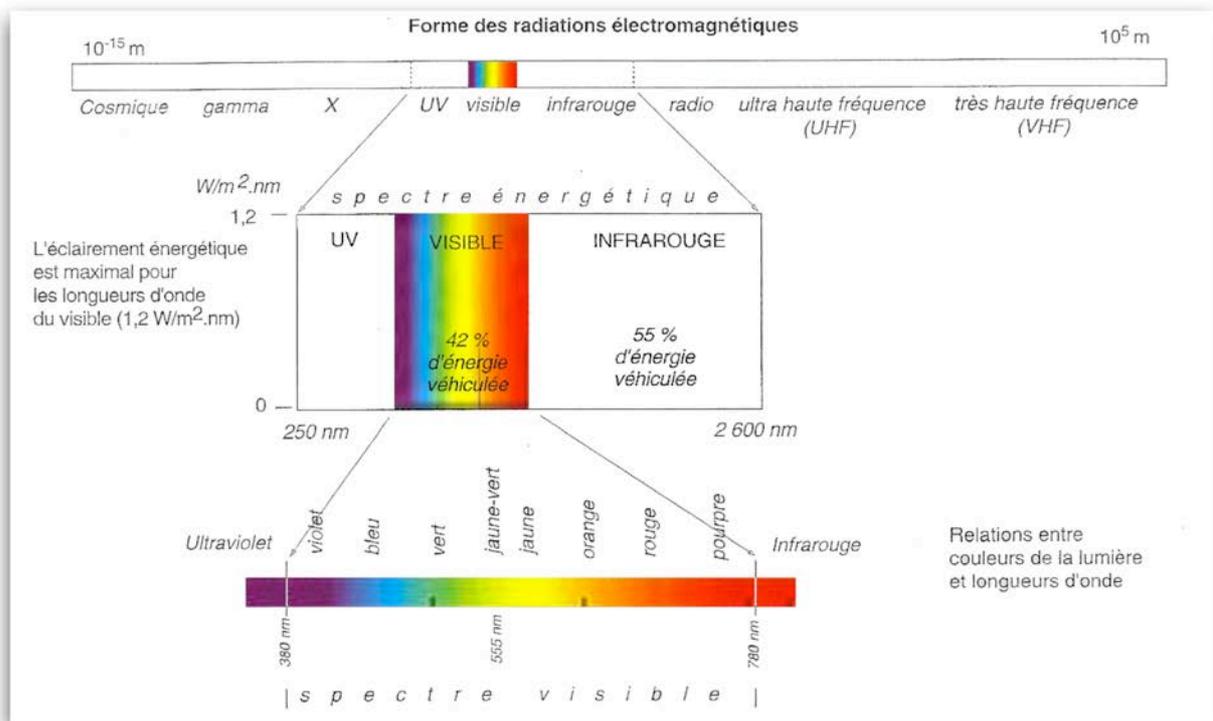


Figure 2. Composition du spectre solaire [Bernstein *et al.* '07]

1.1.3 Composition du spectre visible

Le rayonnement dont les longueurs d'onde s'étalent entre 380 et 780 nm (Figure 2) est dit « visible » car ces radiations sont les seules qui sont visibles pour l'œil humain.

La bande du spectre visible comporte des radiations de longueurs d'ondes différentes pour chaque couleur de l'arc-en-ciel allant des ondes violettes (le long des Ultraviolets), en passant par les ondes bleues, vertes, jaunes, orangées, rouges et jusqu'aux ondes pourpres (du côté des Infrarouges). Lorsque toutes les ondes du spectre visible sont présentes dans une même intensité et une même proportion, nous obtenons une lumière blanche.

Le rayonnement solaire est perçu par l'organisme humain : notre peau le ressent comme une source de chaleur, tandis que, nos yeux l'appréhendent comme une source lumineuse, dans un spectre restreint. Les effets thermiques de l'ensoleillement dépendent de la totalité du spectre énergétique (Figure 2). Les effets lumineux ne dépendent, quant à eux, que de la partie visible du spectre. L'ensoleillement produit des taches solaires à la fois sources d'énergie et sources

d'éclairage. Pour cette raison, les études sur le rayonnement solaire présentent différentes approches le considérant tantôt comme source d'énergie, tantôt comme source de lumière. Dans le cadre de notre travail, nous nous intéressons plus particulièrement aux rôles lumineux du rayonnement solaire. Son rôle thermique ne fera pas l'objet d'une étude plus approfondie de notre part.

1.1.4 Grandeurs photométriques

Dans cette partie, nous rappelons les grandeurs photométriques du rayonnement lumineux du point de vue de sa perception par l'œil humain.

- *Le flux lumineux :*

Le flux lumineux d'une source est l'évaluation, selon la sensibilité de l'œil, de la puissance lumineuse rayonnée dans tout l'espace par cette source (c'est un débit de lumière). Selon sa longueur d'onde, un rayonnement lumineux produit une sensation visuelle d'intensité très variable. Le flux lumineux s'exprime en lumen (lm).

- *L'intensité lumineuse :*

L'intensité lumineuse est une mesure de l'éclat d'une source lumineuse perçue par l'œil dans une direction donnée.

Pour mieux appréhender l'intensité lumineuse, prenons l'exemple de deux sources lumineuses (des lampes par exemple) qui émettent le même flux lumineux. Ces sources peuvent avoir une distribution spatiale différente de ce flux. Dans certaines zones, la densité du flux lumineux sera plus importante que dans d'autres. L'intensité lumineuse est la mesure de cette densité du flux lumineux.

L'intensité lumineuse se mesure en candela (cd), équivalent à 1 lm/sr.

- *L'éclairement :*

L'éclairement d'une surface correspond à un flux lumineux reçu par la totalité de cette surface (c'est la quantité moyenne de lumière reçue par une surface et, par extension, celle en un point de cette surface). Son unité est le lux (lx) correspondant à un flux lumineux de 1 lumen (lm) couvrant uniformément une surface de 1 mètre carré ($1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$).

L'éclairement dépend de l'intensité de la source lumineuse, de la distance entre la source et la surface éclairée et de son inclinaison par rapport aux rayons lumineux.

- *La luminance :*

Mesurée en candela par mètre carré (cd/m^2), la luminance précise le flux lumineux transmis ou produit par toute source lumineuse. On considère la luminance d'une source lumineuse principale (le soleil, le ciel..) ou d'une source de lumière secondaire (toute surface éclairée qui réfléchit la lumière). La luminance d'une surface dépend de l'éclairement de cette surface, de son coefficient de réflexion et de sa brillance.

La luminance est une mesure permettant de caractériser la qualité visuelle perçue d'un éclairage puisqu'elle quantifie la sensation visuelle de luminosité créée par une source lumineuse.

1.1.5 Sources de la lumière naturelle

La source de toute lumière naturelle est le soleil. Une partie du rayonnement solaire atteint la terre après avoir traversé l'atmosphère, il s'agit du rayonnement solaire direct. Celui-ci est caractérisé par des rayons parallèles qui génèrent dans les espaces intérieurs des taches lumineuses aux contours nets dont la position varie en fonction de la position du soleil dans la voûte céleste. Une autre partie du rayonnement solaire est absorbée par l'atmosphère puis réémise dans toutes les directions sous forme de rayonnement diffus. Celle-ci donne au ciel l'apparence d'une source émettrice de lumière. Le rayonnement global au niveau du sol se définit comme la somme du rayonnement direct (provenant directement du soleil) et du rayonnement diffus (provenant du ciel).

Les flux émis par le ciel et le soleil se réfléchissent sur les différentes composantes d'un site (sol, façades de bâtiments, montagnes, etc.) qui deviennent ainsi des sources secondaires de lumière naturelle. Ces sources secondaires peuvent devenir importantes en redirigeant la lumière dans d'autres directions surtout quand la configuration d'un local ne permet pas l'accès direct à la lumière. Mais elles peuvent aussi générer des phénomènes d'éblouissement qu'il faut éviter et prendre en compte dans la conception des ouvertures.

1.1.6 Variabilité de la lumière naturelle

La lumière naturelle est par nature très variable. Elle n'est ni fixe ni toujours égale. Le rayonnement global varie d'un lieu à l'autre et d'un moment à l'autre (de la journée, de l'année) sur le plan extérieur et en conséquence sur le plan intérieur ce qui modifie en permanence l'espace éclairé et sa perception par l'œil humain.

Cette variabilité porte sur la disponibilité (la durée de la journée), l'intensité, la direction, l'angle d'incidence et la teinte des rayons lumineux. Elle dépend de la localisation du lieu considéré, c'est-à-dire de sa latitude, sa longitude et de son altitude, ainsi que des conditions atmosphériques et météorologiques (caractéristiques du ciel). Enfin, la variabilité de la lumière naturelle résulte des phénomènes liés au mouvement de rotation de la terre autour de son axe et autour du soleil et de l'épaisseur de l'atmosphère parcourue par les rayons du soleil.

Mouvement de rotation de la terre autour de son axe et autour du soleil : le mouvement de rotation apparent du soleil autour de la terre n'est réellement que le résultat du mouvement de la terre autour de son axe. Ce mouvement de rotation de la terre durant une journée détermine l'alternance entre la nuit et le jour. La division de l'année en saisons est quant à elle définie

par la rotation de la terre autour du soleil et résulte de l'inclinaison de l'axe de rotation de la terre par rapport au plan de son orbite. Durant une journée, la course du soleil décrit une courbe entre le lever et le coucher qui peut être plus ou moins longue en fonction des saisons. Dans l'hémisphère nord, la journée la plus longue est au solstice d'été (21 juin), le soleil atteint sa hauteur la plus élevée et balaie le secteur azimuthal le plus large, il se lève au nord-est pour se coucher au nord-ouest. Au solstice d'hiver (21 décembre), le soleil est beaucoup plus bas dans le ciel, la journée est beaucoup plus courte, le soleil se lève au sud-est pour se coucher au sud-ouest. Ce n'est qu'aux équinoxes de printemps et d'automne (21 mars et 21 septembre) que la durée du jour est égale à celle de la nuit, le soleil se lève à l'est pour se coucher à l'ouest (voir Figure 3).

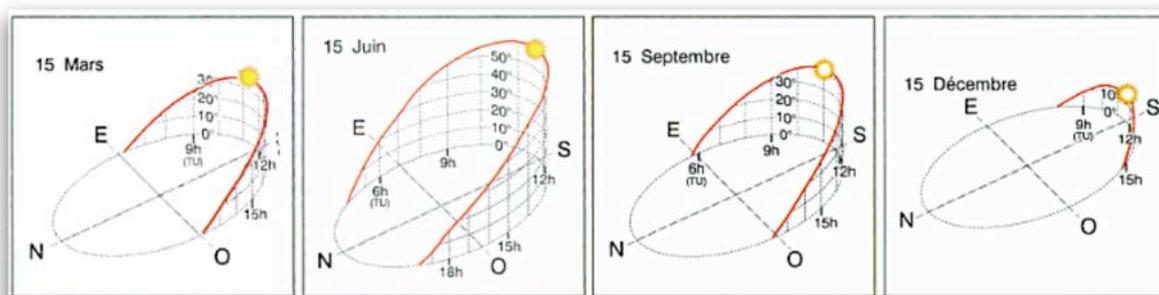


Figure 3. Variations de la courbe solaire au cours de l'année [Reiter and De Herde '03]

Pour repérer précisément la position du soleil dans le ciel à un moment donné, il est nécessaire d'utiliser deux coordonnées : l'azimut¹ et la hauteur² (Figure 4). En joignant les différentes positions du soleil à divers moments de la journée, nous obtenons le tracé de la course du soleil pour une journée. Cette méthode permet de tracer la course du soleil pour chaque jour de l'année.

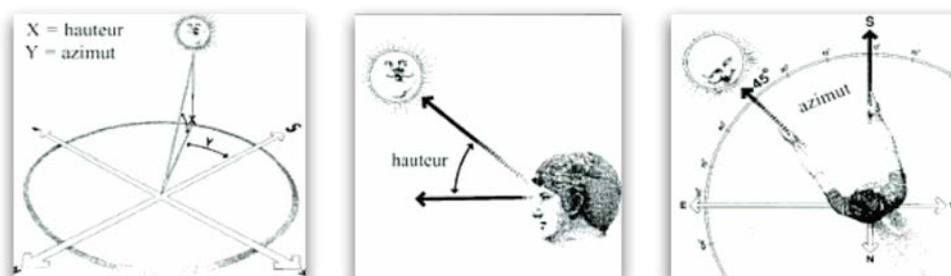


Figure 4. Méthode de calcul de la position du soleil à un moment donné [Reiter and De Herde '03]

¹ L'azimut solaire est l'angle que forme le plan vertical du soleil avec le plan méridien du lieu. On le mesure à partir du Sud, vers l'Est ou vers l'Ouest (0° pour le Sud, 180° pour le Nord). Les lignes verticales du diagramme figurent les angles azimuthaux de 10° en 10° (voir Figure 4).

² La hauteur du soleil est l'angle que forme la direction du soleil avec le plan horizontal. Les lignes horizontales du diagramme figurent les hauteurs angulaires de 10° en 10° au-dessus de l'horizon (0° pour le plan horizontal et 90° pour le zénith).

L'atmosphère parcourue par les rayons du soleil : en milieu de journée, quand le soleil est au zénith, les rayons lumineux traversent l'atmosphère verticalement. Le soleil au zénith semble presque blanc et le ciel apparaît plus bleu³ lorsque l'air est pur. Quand le soleil est à l'horizon, les rayons ont un trajet plus long, la couche atmosphérique à traverser est plus grande. Ce sont surtout les longueurs d'ondes élevées qui sont réfractées (voir Figure 2, p.20), la couleur transmise est alors orangée. Enfin, quand il pleut ou par une atmosphère polluée, toutes les radiations sont diffractées de manière sensiblement égale, le ciel tend vers le blanc.

Ainsi, nous pouvons voir que la variabilité de la lumière solaire rend sa prédiction sensible et délicate. Ceci représente en effet l'une des principales difficultés de la prise en compte de la lumière naturelle dans la conception de projets architecturaux.

L'étude de l'emplacement géographique du site (latitude, longitude et altitude), de son environnement (bâtiments voisins, sol, végétations...), de la disponibilité de la lumière selon le moment de la journée et le jour de l'année fournissent des informations utiles pour prédire les caractéristiques de la lumière et anticiper son comportement. Ils influencent considérablement la qualité des ambiances lumineuses à l'intérieur des espaces architecturaux, mais ne sont pas déterminants. Les choix du concepteur par rapport à l'orientation des façades, l'organisation des pièces, la composition de l'enveloppe (rapport entre plein et vide), le positionnement des ouvertures et des protections solaires,... sont déterminants dans la qualité des ambiances lumineuses intérieures.

Dans ce qui suit, nous nous pencherons particulièrement sur la problématique de la prise en compte des ambiances lumineuses dans la conception du projet architectural afin d'approfondir notre étude des préoccupations des concepteurs et envisager une aide à la conception des ambiances lumineuses.

1.2 Ambiance lumineuse

1.2.1 La notion d'ambiance architecturale

Dans le langage quotidien, le terme « ambiance » est communément utilisé pour qualifier l'atmosphère qui règne dans un lieu ou le milieu qui environne la vie quotidienne d'une personne : ambiance chaleureuse, triste, familiale... Ce sont autant de qualificatifs subjectifs, mais souvent représentatifs d'une appréciation culturelle de l'architecture.

³ La coloration bleue du ciel est due à une forte réfraction des ondes courtes de la lumière solaire par les molécules gazeuses de l'atmosphère.

Dans le domaine de la recherche architecturale, l'ambiance est abordée en tant que phénomène. Augoyard l'exprime en ces termes [Augoyard '04] « *Un ensemble de phénomènes localisés peut exister comme ambiance lorsqu'il répond à quatre conditions :*

- *Les signaux physiques de la situation sont repérables et décomposables ;*
- *Ces signaux interagissent avec :*
 - *la perception, les émotions et l'action des sujets,*
 - *les représentations sociales et culturelles;*
- *Ces phénomènes composent une organisation spatiale construite ;*
- *Le complexe signaux-percepts-représentations est exprimable ».*

Dans cette définition, c'est l'interaction de phénomènes physiques avec un environnement spatial vécue par l'occupant de cet espace qui est mise en avant. La relation de l'occupant à l'espace est un élément fondamental de la notion d'ambiance. Dans ce sens, parler de l'ambiance d'un lieu conduit à imaginer un être plongé dans un espace donné, et affecté, en retour, par celui-ci⁴.

L'espace est une composition construite qui suggère des perceptions multiples (perceptions visuelles, olfactives, auditives...). Chaque sens permet une perception fragmentée de l'ambiance. L'esprit permet ensuite de recomposer l'ambiance pour l'apprécier dans son ensemble. On ne veut pas dire par là que l'appréciation sensible d'une ambiance architecturale se réduit à la somme des perceptions. « *Le propre de l'ambiance, c'est de mêler et d'enchevêtrer les perceptions déterminées par les différents canaux sensoriels dont dispose le sujet* » [Amphoux '04]. Ce discours tend à définir une ambiance vécue, qui se vit comme un tout dans un espace construit que nous parcourons et percevons par nos sens.

Nous voulons cependant préciser que l'appréciation de l'ambiance d'un lieu (ambiance vécue) est une réponse subjective aux stimuli qu'elle provoque. Elle varie selon les individus et peut même être amenée à évoluer au cours de leur vie. De manière générale, l'appréciation de l'ambiance est fonction de l'usager, de son vécu, de ses connaissances, de son origine géographique et de son état d'esprit. Par exemple, la perception de la chaleur s'avère différente pour une personne vivant au pôle nord ou en Afrique. Un même lieu peut être perçu comme très chaud pour le premier individu et agréable, voire froid, pour le second. Cet exemple illustre bien que des individus peuvent apprécier différemment un même espace.

⁴ On introduit ici la notion de l'espace-agi (voir Tixier N., (2001), "Morphodynamique des ambiances construites", Université de Nantes - École polytechnique de l'Université de Nantes, CRESSON, Grenoble, 391 pp. Chapitre 1). Selon ses propres termes : « *l'espace est agi (par l'agissant : individu ou tout autre élément dans l'espace) autant qu'il agit (sur l'agissant : sur l'individu ou sur tout autre élément dans l'espace). Le terme de "agi" nous permet de qualifier l'espace par un passif qui en même temps signifie l'action, l'actif* ».

D'autres éléments interviennent dans l'appréciation de l'espace : le traitement de l'espace (les dimensions et la forme du volume, les matières, les textures et les couleurs qui le caractérisent) et l'usage attribué à l'espace (action des sujets dans la définition de Augoyard). Par exemple, en fonction de l'activité, un espace mis en lumière sera perçu et apprécié de manière parfois radicalement différente. Une chambre éclairée par une faible lumière tamisée peut apparaître reposante, mais elle sera potentiellement vécue comme sombre et pesante si l'on y effectue une tâche nécessitant une bonne vision (écrire, lire...). Nous représentons l'ambiance vécue comme une interaction entre des phénomènes physiques, un espace construit et traité, un usage et un usager (Figure 5).

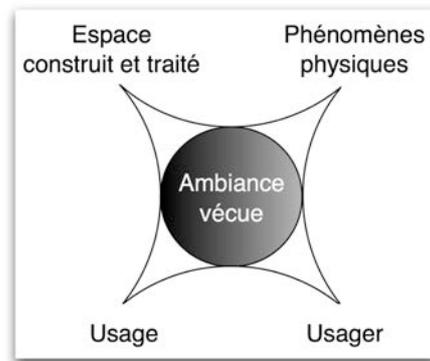


Figure 5. Représentation d'une « ambiance vécue »

Bien qu'elle se vive comme un tout, nous ne savons traiter une « ambiance vécue » qu'en la décomposant en plusieurs ambiances. « *Le savoir ne propose aujourd'hui que de juxtaposer des ambiances, l'une thermique, l'autre acoustique, etc., chacune ressortissant à un champ spécialisé et unique* » [Augoyard '07].

Notre étude s'intéresse particulièrement à l'ambiance lumineuse. En considérant l'ambiance lumineuse comme une composante de l'ambiance architecturale, nous pouvons alors considérer une ambiance lumineuse « vécue » comme la part prise par la lumière dans la manière dont l'environnement affecte un sujet. Narboni [Narboni '06] la définit comme étant « *le résultat d'une interaction entre une ou des lumières, un individu, un espace et un usage* ». On représente une « ambiance lumineuse vécue » par la figure suivante (Figure 6).

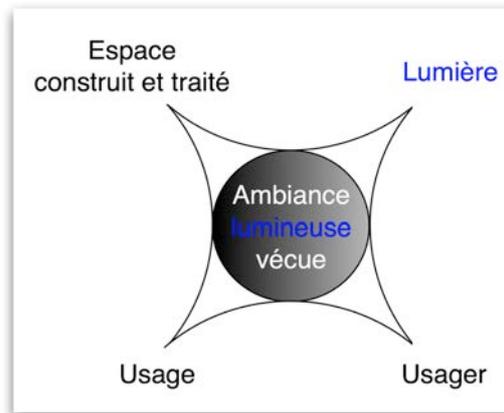


Figure 6. Ambiance lumineuse vécue

1.2.2 Ambiance lumineuse entre « vécue » et « conçue »

Les appréciations individuelles de l'ambiance lumineuse d'un lieu ne peuvent pas être anticipées ou appréhendées *a priori*. Elles s'éprouvent. Elles relèvent d'un vécu. L'étude des ambiances lumineuses vécues *in situ* et leur conception ne renvoient pas forcément à la même appréhension de l'espace. L'étude des ambiances *in situ* concerne l'analyse du comportement de l'utilisateur, de son parcours [Tixier '01]. La conception renvoie plutôt à une anticipation de l'action des usagers futurs [Boudon *et al.* '94]. Concevoir une ambiance lumineuse, c'est donc prévoir et projeter les éléments répondant aux besoins et aux exigences des usages futurs d'un espace. Dans ce sens, Tixier précise que « *traditionnellement, la durée de vie d'un « objet » architectural comprend le temps du projet, le temps de la construction et le temps de l'usage. Dans cette logique, le projet viserait l'usage et la construction serait le moyen concret de cette visée* » [Tixier '01].

Nous définissons alors une ambiance lumineuse « conçue » comme une interaction entre la lumière naturelle, un espace projeté et un usage attribué à l'espace (Figure 7).

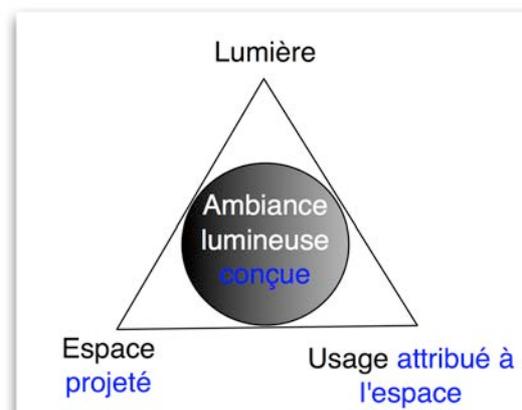


Figure 7. Ambiance lumineuse conçue

Nous voulons cependant insister sur le fait que dans le cas de l'ambiance vécue, l'usage est appréhendé dans le sens de l'action du sujet, autrement dit, de l'appropriation du lieu par l'utilisateur. Dans le cas de l'ambiance conçue, les usages restent d'abord appréhendés à partir des types et des caractères des lieux (ex. musée, espace culturel, habitation individuelle...) et à partir des fonctions de chaque espace (ex. un musée est composé de salles d'exposition, de hall d'entrée, de zones de circulation...) qui peuvent avoir chacune des problématiques spécifiques. Ainsi, dans le cas de l'ambiance conçue, les usages tendent à se réduire aux fonctions attribuées aux lieux. Ceux-ci nous renseignent quant aux besoins relatifs à l'activité qui y sera menée au sein de l'espace et aux exigences des usagers.

Dans la partie qui suit, nous mènerons une étude sur la prise en compte des ambiances lumineuses dans la conception architecturale. Nous nous concentrerons sur la manière dont la lumière naturelle doit être appréhendée dans une démarche de conception des ambiances intérieures.

1.2.3 Les dimensions intervenant dans la conception des ambiances lumineuses

Les fondements de la conception architecturale initiés par Vitruve, architecte romain du 1^{er} siècle av. J.-C, suggèrent que la qualité architecturale repose sur la triade : *utilitas* (utilité, adaptation à la fonction), *venustas* (beauté, grâce) et *firmitas* (solidité) [Vitruve '86]. À la Renaissance, la triade de Vitruve est approfondie par Alberti. Celui-ci propose trois critères mettant en exergue de nouveaux aspects de la qualité architecturale et respectivement associés à ceux de Vitruve : *commoditas* (usages), *voluptas* (esthétique) et *necessitas* (technique) (Figure 8) [Fernandez '02]. Au cours du temps, ces critères ont été nuancés, requalifiés mais jamais contestés par les architectes. Ils constituent des dimensions essentielles dans la pratique de la conception de projet. Ils peuvent être transposés tant à l'échelle de la conception globale du projet architectural qu'au niveau de ses composantes [Fernandez '02]. Nous considérons que l'ambiance lumineuse consiste en l'une des composantes du projet, nous pouvons dès lors examiner la conception des ambiances lumineuses à partir de ces trois dimensions : usages, esthétique et technique.

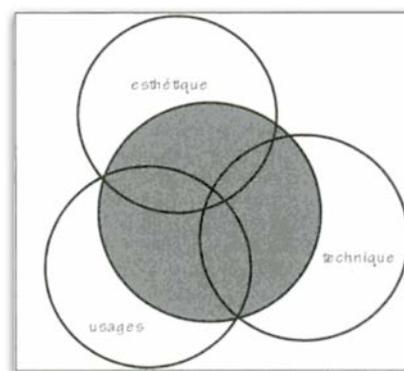


Figure 8. Critères de l'architecture selon Alberti [Fernandez '02]

1.2.3.1 Dimension d'usages

La dimension d'usages porte sur les rapports entre espace et pratiques sociales. Elle renvoie à une considération de l'espace en tant que lieu habité, ce qui évoque des notions de besoin, de fonctionnalité et de confort. La lumière naturelle pénétrant dans un espace doit permettre d'optimiser les conditions de vision et assurer le bon déroulement des tâches qui doivent être exercées au sein de cet espace. Ainsi, dans la conception des ambiances lumineuses, la dimension d'usages résulte essentiellement d'une étude des besoins selon les usages attribués aux espaces. Chaque type d'usage nécessite une « qualité » lumineuse particulière, mais surtout une « quantité » de lumière adaptée.

L'étude de la qualité de la lumière d'un point de vue « usage » se rapporte généralement à la distribution de la lumière (c'est-à-dire la manière avec laquelle la lumière est répartie dans un espace). Elle peut être exprimée selon des grandeurs photométriques mesurables : le flux lumineux, l'intensité lumineuse, la luminance (cf. paragraphe 1.1.4, p21). Ou encore selon des appréciations perceptibles : distribution homogène, uniforme, contrastée... La qualité de la lumière est déterminée selon des besoins spécifiques aux activités. Par exemple, la qualité de la lumière dans un espace de travail (bureau, salle de classe...) doit tenir compte de la distribution uniforme de la lumière (pas de contrastes forts puisque des zones extrêmement sombres ou brillantes génèrent un inconfort visuel et doivent par conséquent être évitées), de l'absence d'ombres gênantes (ce sont les ombres qui sont créées par la présence d'un élément entre l'activité visuelle et la source lumineuse), ou encore de l'absence d'éblouissement quand il s'agit d'une activité menée sur ordinateur. Néanmoins, les choix relatifs à la qualité de lumière sont fonction de l'usage de l'espace. En effet, les choix du concepteur pourraient apparaître appropriés pour un usage de bureau et s'avérer totalement inappropriés dans un espace où l'usage serait très différent, par exemple pour une salle d'exposition dans un musée.

Le terme « quantité » de lumière, quant à lui, désigne une recherche du niveau adéquat de l'éclairage. Pour faciliter la prise en considération de ce paramètre dans la conception d'un bâtiment, la notion d'éclairement minimum toléré a été introduite. Ainsi, on s'intéresse à un seuil minimum d'éclairement nécessaire afin d'assurer la bonne exécution d'une tâche donnée. Par exemple, un éclairage intérieur compris entre 300 et 600 lux est considéré comme suffisant pour procurer un niveau de confort acceptable pour la majorité des activités tertiaires. Par ailleurs, la quantité de la lumière dans un espace peut être aussi exprimée par des appréciations perceptibles : espace très lumineux, espace sombre...

La prise en compte de cette dimension d'usages dans la conception des ambiances au travers de notions de qualité et de quantité de lumière permet de créer/concevoir des ambiances lumineuses qui soient perçues par les usagers comme confortables et adaptées à leurs besoins⁵.

⁵ Cette dimension est aujourd'hui largement valorisée dans les approches environnementales comme celle de la démarche de Haute Qualité Environnementale (HQE®) initiée au début des années 90.

1.2.3.2 Dimension esthétique

La lumière constitue un élément déterminant dans la qualité architecturale des espaces éclairés aussi bien extérieurs qu'intérieurs. Elle est considérée comme l'élément qui influence le plus le résultat architectural [Mende and (LPA) '00]. Louis I. Kahn déclare, « *aucun espace, architecturalement, n'est un espace s'il n'a pas de lumière naturelle* » cité par [Devillers '91].

La dimension esthétique renvoie à la part prise de l'art ou de l'artistique dans la conception des ambiances. Elle est donnée par l'opération de composition. La composition de la lumière permet aussi bien à des artistes qu'à des architectes de créer des effets le plus souvent visuels (par effet, nous désignons l'action de la lumière sur la perception de l'espace et ses composantes).

Le travail du sculpteur James Turrell (Figure 9) montre une remarquable manipulation de la lumière pour créer des effets visuels et jouer ainsi avec la perception du spectateur. Il la bouscule, la trompe... Avec le travail de James Turrell, la lumière prend une extraordinaire matérialité. Il n'est pas un artiste de la lumière, mais un artiste qui utilise la lumière comme matériau afin de travailler le médium de la perception [Adcock '90].



Figure 9. Exemples de travaux de James Turrell intégrés à l'architecture

Plusieurs architectes comme Alvar Aalto, Louis Kahn, Mies Van Der Rohe, Le Corbusier, Tadao Ando, Peter Zumthor et bien d'autres encore ont saisi le rôle remarquable de la lumière comme matière et ont démontré, par leurs travaux, comment une composition subtile de la lumière peut offrir à un espace toute sa richesse architecturale et qualité spatiale. Zumthor déclare « *J'expose les pièces, les matériaux, les textures, les couleurs, les surfaces et les formes à la lumière du soleil, je capture cette lumière, la réfléchit, la filtre, la masque, la dilue pour faire briller un éclat au bon moment* » [Zumthor '06]. En effet, lorsque la lumière pénètre dans un espace, elle rencontre sur son parcours des objets, des structures, des matières... Elle joue avec leurs formes, leurs couleurs, leurs textures mettant en valeur leurs qualités et donnant lieu à des perceptions nouvelles tout au long de la journée. Dans son ouvrage « *Light revealing architecture* », Millet [Millet '96] présente un éventail intéressant des effets de la lumière en architecture et met en évidence son rôle majeur comme « *agent matériel* » dans l'esthétique architecturale de l'espace. Nous pouvons citer l'effet de la

lumière comme révélateur de matière, révélateur de formes, comme unificateur d'espace... Ainsi, nous pouvons même dire que les effets de lumière apparaissent comme des « outils de composition » à la disposition des architectes.

Nous évoquerons l'exemple de la chapelle de Ronchamp où Le Corbusier a fait jouer à la lumière un rôle remarquable. Il n'y a pas un endroit où la lumière ne soit conçue tant dans son traitement que dans son action. Par exemple, par un traitement particulier de la pénétration des rayons lumineux, Le Corbusier réussit à mettre en valeur le maître-autel. En effet, les pénétrations ponctuées de la lumière permettent de capter le regard vers l'autel, la lumière jaillit à la fois par des petits orifices disséminés et par la niche vitrée percée dans la paroi renfermant une statue de la Vierge (Figure 10). Pour Le Corbusier, la lumière naturelle ne reste « jamais » livrée à elle-même ; le traitement de l'espace est d'abord une composition et une mise en scène visuelle de la lumière [Pauly '97]. Le Corbusier déclare « *j'use, vous vous en êtes douté, abondamment de la lumière. La lumière est pour moi l'assiette fondamentale de l'architecture. Je compose avec la lumière* » cité par [Pauly '97].



Figure 10: Vue de l'autel de La Chapelle de Ronchamp

La prise en compte de la dimension esthétique dans la conception des ambiances permet de créer des ambiances lumineuses visuellement très riches et singulières amplifiant la richesse architecturale de l'espace.

1.2.3.3 Dimension technique

La dimension technique est reliée à l'existence concrète de l'ambiance lumineuse conçue. Elle résulte d'une réflexion sur la faisabilité de l'ambiance ce qui évoque des notions de mesure, de performance et de dispositifs. Elle intervient largement dans la détermination des moyens à utiliser pour obtenir une ambiance souhaitée. Nous évoquons par exemple le choix des composantes des ouvertures par rapport au type de vitrage, son indice de transmission, sa couleur, l'utilisation ou non d'occultation, son type, son emplacement, le choix des matériaux des surfaces des parois intérieures, etc.

Cette dimension technique est intrinsèquement liée aux deux autres dimensions présentées préalablement (sections 1.2.3.1 et 1.2.3.2). En effet, les dimensions d'usages et esthétique vont d'une part orienter les concepteurs vers des choix spécifiques qui seront examinés par des considérations techniques, et d'autre part, la maîtrise de cette dimension va permettre aux concepteurs de réussir à parvenir à l'ambiance imaginée.

1.2.3.4 Dimensions d'usages, esthétique et technique et approches de conception des ambiances lumineuses

Nous avons distingué trois dimensions dans la prise en compte de la lumière dans le projet. La dimension d'usages aboutit à des ambiances lumineuses adaptées aux besoins et aux fonctions des espaces. La dimension esthétique aboutit à des ambiances lumineuses visuellement « riches ». Et la dimension technique aboutit à la concrétisation de l'ambiance conçue. Ces trois dimensions sont importantes dans la prise en compte de la lumière pour la conception d'espaces à la fois confortables et saisissants. L'ordre dans lequel nous avons présenté ces différentes dimensions n'est en aucun cas une hiérarchie. Chaque dimension porte sur des éléments différents de l'ambiance lumineuse. Elles sont interdépendantes. Nous pouvons parler de préoccupation locale pour chaque dimension et de préoccupation globale pour leurs interrelations.

La conception des ambiances lumineuses doit réunir ces trois dimensions. Si un concepteur résume ses préoccupations à un éclairage uniquement fonctionnel, ceci revient à accepter l'esthétique lumineuse qui en résulte. Par ailleurs, s'il s'intéresse exclusivement à la lumière du point de vue esthétique sans se préoccuper des aspects fonctionnel et technique, le risque est d'aboutir à un éclairage esthétiquement très intéressant, mais qui fonctionnellement ne répond peut-être pas aux exigences requises par l'usage ou qui sera techniquement « utopique ».

Les propos de l'architecte Philippe Chiambarette, bien qu'ils ne se rapportent pas directement à la conception des ambiances, permettent de préciser le rapport qui existe entre « usage » et « esthétique » dans la conception architecturale. À la question « *dans le processus d'élaboration d'un projet, comment abordez-vous la question environnementale (de manière technique, pragmatique, intuitive, etc.) ?* » Philippe Chiambarette répond : « *je voudrais l'aborder par une approche mêlant art et science [...] Je veux du quantitatif pour établir la validité de la solution. L'art pour que l'architecture ne devienne pas de l'ingénierie* » [Ferrier '08]. Ainsi, selon Chiambarette, l'art (la subjectivité, l'esthétique) et la science (le quantitatif, le fonctionnel, le performant) sont deux dimensions indispensables, mais qui n'ont pas la même finalité. Elles doivent coexister dans la conception architecturale.

Cependant, nous ne pouvons pas défendre l'existence d'une approche de la conception des ambiances commune et unique à tous les concepteurs. Le poids accordé à chacune des dimensions et leur hiérarchisation peut varier d'un concepteur à un autre selon leurs différences en termes de sensibilité, d'intérêt et leurs préoccupations du moment induisant

ainsi des façons différentes d'approcher les ambiances. Néanmoins, nous considérons que pour concevoir des ambiances à la fois confortables et singulières, ces trois dimensions doivent être réunies. La conception des ambiances peut s'amorcer par n'importe quelle dimension, à condition que toutes les dimensions soient prises en compte et articulées les unes aux autres.

Revenons sur notre définition de l'ambiance lumineuse « conçue ». Nous la considérons comme une interaction entre la lumière naturelle disponible, un espace projeté et un usage attribué à l'espace. Cette définition souligne trois interactions qui doivent co-exister dans la conception d'une ambiance lumineuse. L'examen de ces interactions nous ramène aux trois dimensions que nous avons spécifiées dans la prise en compte de la lumière naturelle dans la conception des ambiances lumineuses (Figure 11) :

- L'interaction lumière naturelle / usage : renvoie aux considérations en relation avec la dimension d'usages.
- L'interaction lumière naturelle / espace projeté : renvoie aux considérations en relation avec la dimension esthétique.
- L'interaction espace projeté / usage : renvoie à des considérations en relation avec la dimension technique.

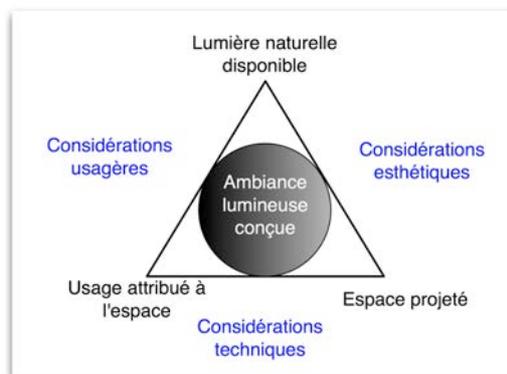


Figure 11. Les dimensions d'usages, esthétique et technique dans la conception des ambiances lumineuses

1.3 Les ambiances lumineuses dans la conception architecturale

Après avoir défini l'ambiance lumineuse conçue et déterminé les paramètres qui interviennent dans la prise en compte des ambiances lumineuses du projet, nous aimerions maintenant établir les préoccupations des concepteurs durant le processus de conception architecturale. L'objectif de cette étude est de préciser leurs besoins qui peuvent évoluer ou changer tout au long de ce processus.

1.3.1 Les caractéristiques des différentes phases du processus de conception

La conception architecturale est une activité conceptuelle qui consiste à élaborer un projet architectural à partir d'un programme d'un maître de l'ouvrage dans le but de réaliser un ouvrage architectural ou un bâtiment. Nous essayons de comprendre la démarche de conception afin d'identifier les préoccupations des concepteurs. Pour ce faire, nous présentons différentes approches qui proposent une investigation de la conduite de conception selon un processus évoluant à partir de phases. Nous aborderons aussi, dans le même objectif, un travail de recherche de Lawson [Lawson '06] traitant la conduite de conception à partir d'un ensemble d'activités qui sont généralement mises en œuvre par les architectes.

Plusieurs approches approfondissent la conception en tant que processus contenant des phases ou étapes organisant la conception du projet. Ce phasage permet de faire progresser le projet depuis le point initial, où il n'est qu'une idée plus ou moins vague, jusqu'au moment où l'ouvrage peut être réalisé.

Robert Prost [Prost '92] procède à une investigation méthodologique de la conception architecturale. Il la considère comme une activité d'énonciation et de résolution de problèmes. Cette définition met l'accent sur l'activité du concepteur visant à étudier une situation, un contexte, à rappeler des connaissances dans le but de satisfaire à un objectif préalablement identifié. Il détaille les étapes du projet architectural en quatre étapes majeures (Figure 12) :

- La formulation du problème posé par le projet architectural. C'est une étape première qui guide la recherche de solutions et dont dépend la suite de la conception.
- La résolution du problème qui correspond à la formulation de la solution architecturale.
- La concrétisation de la solution qui correspond à la transformation d'une solution conçue en une solution concrétisée. C'est la matérialisation de la solution architecturale.
- L'appropriation de la solution, dernière étape du processus, qui marque l'avènement de l'architecture en une œuvre.

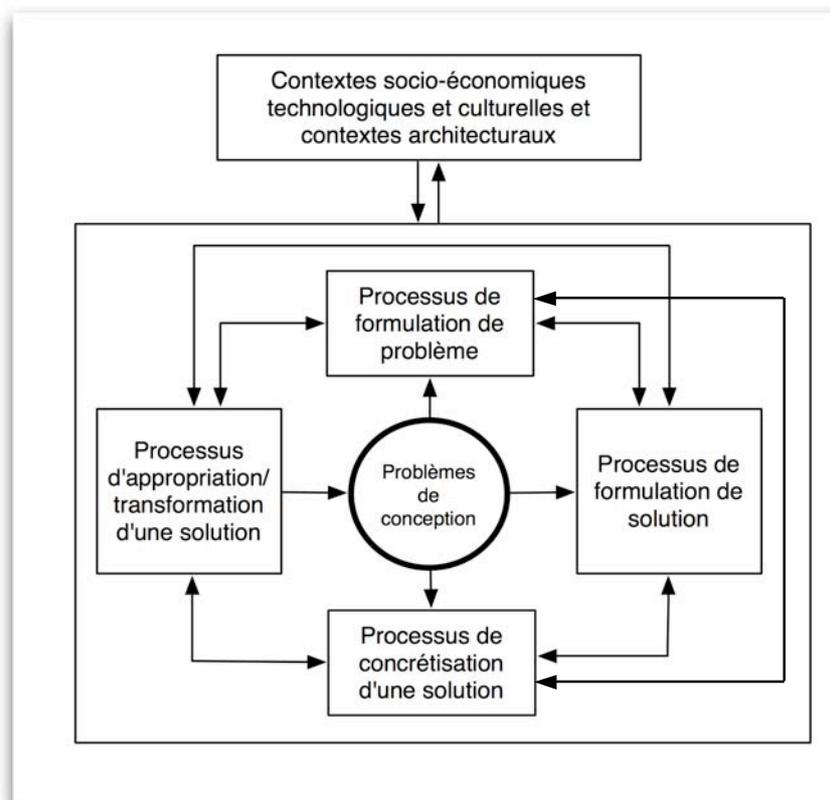


Figure 12. Les étapes du processus de conception selon Prost [Prost '92]

La loi MOP⁶ en France, relative à la « Maîtrise d'Ouvrage Publique » et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée, réglemente le développement du projet en définissant des phases qui rythment la conception de projet. Ces phases indiquent des états intermédiaires et successifs qui marqueront l'évolution du projet. Chaque phase règle les prestations et l'action des concepteurs (ou des acteurs intervenant dans la conception du projet en général) (Tableau 1).

Tableau 1. Les phases du processus de conception architecturale et leurs objectifs préconisés par la loi MOP

Phases selon la loi MOP	Prestations et objectifs des phases
EPR (études préliminaires)	<ul style="list-style-type: none"> - Vérifier la faisabilité de l'opération au regard des différentes contraintes du programme et du site - Proposer éventuellement certaines mises au point du programme.
ESQ (étude d'esquisse)	<ul style="list-style-type: none"> - Définir un parti architectural - Proposer une ou plusieurs solutions d'ensemble traduisant les éléments majeurs du programme - Élaborer des notices explicatives et descriptives
APS (étude d'avant-projet sommaire)	<ul style="list-style-type: none"> - Préciser la composition générale en plan et en volume - Proposer les dispositions techniques pouvant être envisagées - Élaborer des notices explicatives, descriptives, estimatives

⁶ <http://www.marche-public.fr/Marches-publics/Textes/Lois/loi-MOP.htm> (visité en juin 2010)

APD (étude d'avant-projet détaillé)	<ul style="list-style-type: none"> - Vérifier le respect des diverses réglementations - Élaborer des plans cotés de l'ouvrage - Déterminer les surfaces détaillées de tous les éléments du programme - Définir les matériaux - Justifier les solutions techniques retenues notamment en ce qui concerne les installations techniques - Estimation définitive du coût prévisionnel des travaux - Dépôt du dossier de permis de construire
PRO (études de projet)	<ul style="list-style-type: none"> - Élaborer un dossier de conception générale de l'ouvrage à réaliser - Préciser par des plans, coupes et élévations, les formes des différents éléments de la construction, la nature et les caractéristiques des matériaux et les conditions de leur mise en œuvre - Obtenir un permis de construire

L'étude de la conception en tant que processus a aussi fait l'objet de recherches dans des domaines étrangers à l'architecture, à savoir, le design industriel. Ces études ont l'avantage de nous faire comprendre, par analogie, l'évolution du processus de conception en architecture. Dans un article paru en 2008, Howard, Culley et Dekoninck [Howard *et al.* '08] dressent une synthèse de 23 modèles de processus de conception dans le design industriel proposés entre 1967 et 2006 (Tableau 2) :

Tableau 2. Différents modèles de processus de conception [Howard *et al.* '08]

Models	Establishing a need phase	Analysis of task phase	Conceptual design phase	Embodiment design phase	Detailed design phase	Implementation phase
Booz et al. (1967)	X	New product strategy development	Idea generation Screening & evaluation	Business analysis Development	Testing	Commercialisation
Archer (1968)	X	Programming data collection	Analysis Synthesis	Development	Communication	X
Svensson (1974)	Need	X	Concepts Verification	Decisions	X	Manufacture
Wilson (1980)	Societal need	Recognize & formalize FR's & constraints	Ideate and create	Analyze and/or test	Product, prototype, process	X
Urban and Hauser (1980)	Opportunity identification	Design		Testing		Introduction Life cycle management
VDI-2222 (1982)	X	Planning	Conceptual design	Embodiment design	Detail design	X
Hubka and Eder (1982)	X	X	Conceptual design	Lay-out design	Detail design	X
Crawford (1984)	X	Strategic planning	Concept generation	Pre-technical evaluation	Technical development	Commercialisation
Pahl and Beitz (1984)	Task	Clarification of task	Conceptual design	Embodiment design	Detailed design	X
French (1985)	Need	Analysis of problem	Conceptual design	Embodiment of schemes	Detailing	X
Ray (1985)	Recognise problem	Exploration of problem Define problem	Search for alternative proposals	Predict outcome Test for feasible alternatives	Judge feasible alternatives Specify solution	Implement
Cooper (1986)	Ideation	Preliminary investigation	Detailed investigation	Development Testing & Validation	X	Full production & market launch
Andreasen and Hein (1987)	Recognition of need	Investigation of need	Product principle	Product design	Production preparation	Execution
Pugh (1991)	Market	Specification	Concept design		Detail design	Manufacture Sell
Hales (1993)	Idea, need, proposal, brief	Task clarification	Conceptual design	Embodiment design	Detail design	X
Baxter (1995)	Assess innovation opportunity	Possible products	Possible concepts	Possible embodiments	Possible details	New product
Ulrich and Eppinger (1995)	X	Strategic planning	Concept development	System-level design	Detail design	Testing & refinement Production ramp-up
Ullman (1997)	Identify needs Plan for the design process	Develop engineering specifications	Develop concept	Develop product		X
BS7000 (1997)	Concept	Feasibility	Implementation (or realisation)			Termination
Black (1999)	Brief/concept	Review of 'state of the art'	Synthesis Inspiration	Experimentation Analysis / reflect	Synthesis Decisions to constraints	Output X
Cross (2000)	X	Exploration	Generation	Evaluation	Communication	X
Design Council (2006)	Discover	Define	Develop	Deliver		X
Industrial Innovation Process 2006	Mission statement	Market research	Ideas phase	Concept phase	Feasibility Phase	Pre production

Cette synthèse des différents modèles a permis aux auteurs d'identifier six phases à partir desquelles les modèles listés sont organisés. La première phase, établissement du besoin (*establishing a need phase*) consiste en l'identification des besoins de consommateurs, de

groupes d’usagers, de clients, de marché... Le document qui définit cette phase est le cahier des charges (en architecture, on parle de programme du maître de l’ouvrage). La dernière phase, développement et production (*implementation phase*) concerne la mise en route de la réalisation du projet et contient seulement des activités de post-conception. Ces deux phases ne sont pas (toujours) assurées par le concepteur. C’est pourquoi on s’intéresse principalement aux quatre autres phases en tant que phases mises en œuvre dans le processus de conception :

- *Phase d’analyse des tâches (analysis of task phase)* : il s’agit d’une étape où le problème de conception commence à être exploré (programme, cahier des charges...). Les concepteurs du projet évaluent la faisabilité du projet, investiguent et clarifient le problème de conception et déterminent les besoins.
- *Phase de première conception (conceptual design phase)* : cette phase consiste à proposer des pistes de solutions à partir de l’exploration du problème posé au départ. Le consensus des différents théoriciens (Tableau 2) est fortement tourné sur la notion de « développement de concepts ». C’est dans cette étape que sont générés des idées, des concepts, des intentions qui seront affinés dans les étapes suivantes.
- *Phase de définition de l’objet à concevoir (embodiment design phase)* : les idées, les concepts et les intentions sont formalisés et développés de manière à aboutir à une configuration de l’objet à concevoir qui est évaluée, testée et validée.
- *Phase de conception détaillée (detailed design phase)* : partant de la configuration générale de l’objet à concevoir, l’étape de conception détaillée permet d’affiner la conception de cet objet de manière à expliciter tous ses détails.

Les différentes phases identifiées par chacune de ces études, bien que relevant de champs d’investigation différents, peuvent être mises en relation selon les objectifs qu’elles ont en commun. Ces phases renseignent sur les préoccupations des concepteurs qui changent ou évoluent au fur et à mesure que le projet se concrétise. Le Tableau 3 résume ces préoccupations selon la tâche majeure de conception à réaliser par le concepteur.

Tableau 3. Les préoccupations des concepteurs selon les phases du processus de conception

Étude des phases selon [Howard <i>et al.</i> '08]	Étude des étapes de conception selon Prost	Étude des phases de conception selon la loi MOP	Préoccupations des concepteurs
Analyse des tâches	Formulation du problème	EPR Études préliminaires	Durant cette phase, les préoccupations des concepteurs sont orientées vers la formulation du problème et l’identification des besoins.

Première conception	Formulation de solution	ESQ Étude d'esquisse	Durant cette phase, les préoccupations des concepteurs sont orientées vers la recherche d'idées, de concepts, de parti architectural qui orienteront la formulation d'une ou plusieurs solutions.
Définition de l'objet à concevoir	Concrétisation d'une solution	APS Avant-projet sommaire	Durant cette phase, les préoccupations des concepteurs sont orientées vers la formulation de « la solution ».
Conception détaillée	Appropriation / transformation d'une solution	APD Avant-projet détaillé	Durant ces phases, les préoccupations des concepteurs sont orientées vers le développement des détails de « la solution » pour la validation et la concrétisation du projet.
		PRO Études de projet	

En vue de mieux connaître les préoccupations des concepteurs durant le processus de conception, nous évoquons l'ouvrage « How designers think » [Lawson '06], où l'auteur propose une investigation de la conduite de conception selon les activités qui sont nécessaires et communément présentes dans le processus de conception. Par activité, Bryan Lawson considère aussi bien les activités cognitives, que les capacités des concepteurs exploitées en vue d'atteindre des objectifs particuliers durant le processus de conception. Cinq groupes d'activités ont été caractérisés [Lawson '06] :

- Formulation (*formulating*) : les concepteurs montrent une activité intense de structuration et de reformulation du problème nécessaire pour une bonne compréhension et description du problème. Les concepteurs étudient une situation de conception selon plusieurs points de vue particuliers ce qui leur permet de rendre compte de la complexité massive et des contradictions inévitables dans la formulation du problème de conception. Ceci permet d'orienter la pensée en se focalisant sur une question ou une tâche à la fois.
- Génération et transformation (*moving*) : les concepteurs travaillent par la génération d'idées et d'intentions concernant une solution partielle ou globale. Les premières idées génératrices peuvent émerger avant même que les concepteurs n'aient réellement étudié le problème. Ces idées sont considérées comme une négociation entre problème et solution permettant d'apporter quelques solutions/réponses à ce qui est demandé et

ce qui peut être fait. La démarche des concepteurs évolue ainsi de buts abstraits aux spécifications concrètes.

- Evaluation (*evaluating*) : Les problèmes peuvent être résolus par un ensemble de solutions plus ou moins acceptables que le concepteur doit alors évaluer. Les concepteurs doivent apporter des jugements pour comparer plusieurs alternatives. Ces alternatives sont tantôt développées et tantôt abandonnées. Il n'y a pas de bonne et mauvaise solution, mais seulement une meilleure et une moins bonne. L'évaluation concerne des critères objectifs, mais aussi subjectifs qu'on ne peut pas réduire à des évaluations métriques. Cette évaluation est cyclique et s'effectue par approximations successives.
- Représentation (*representing*) : dans la conception de projet, les concepteurs utilisent habituellement de multiples types de représentations (croquis, dessins en plan, en coupe, maquette 3D...) comme moyens pour extérioriser leur pensée, comprendre les problèmes qui entourent une idée ou une solution en cours de développement, faciliter les changements et l'évaluation des solutions formulées, communiquer avec le client... Daniel Estevez [Estevez '01] étudie la question des représentations en conception et leur attribue trois fonctions fondamentales dans la durée d'un projet architectural :
 - des fonctions spéculatives qui sont support de l'activité conceptuelle,
 - des fonctions prescriptives qui visent la construction, la réalisation matérielle du projet. Le dessin prescriptif permet la communication finale entre les idées de l'architecte et les acteurs de la réalisation physique du projet: les dessins de construction, plans et nomenclatures,
 - des fonctions descriptives qui sont vecteurs de communication pour l'architecte. Les dessins descriptifs permettent de montrer, mais aussi « de rendre visible » l'apparence du projet.

Chaque type de représentation (ex. croquis, plan, perspective...) peut avoir ses avantages et ses inconvénients selon la fonction que lui attribue le concepteur. Dans ce sens, l'habileté des concepteurs ne se traduit pas seulement par leur capacité à produire des représentations différentes, mais également en sachant les sélectionner de manière appropriée en fonction de leurs besoins.

- Réflexion (*reflecting*) : les concepteurs regardent et pensent très activement même lorsqu'ils ne sont pas en situation de conception. Ils développent leurs efforts intellectuels et leurs connaissances qui sont très importantes pour guider la conception de projet. Cette activité n'est pas mise en œuvre en situation de conception, mais plutôt dans une phase de veille conceptuelle. De manière générale, cette activité favorise la construction d'une culture architecturale qui participe indirectement à la résolution des problèmes de conception.

Ces activités constituent les tâches dominantes durant les différentes phases du processus de conception (des études préliminaires aux études de projet). Elles varient selon les phases de conception. Le Tableau 4 synthétise les préoccupations des concepteurs et leurs activités selon les différentes phases du processus.

Tableau 4. Phases, préoccupations et activités des concepteurs durant le processus de conception

Étude des phases de conception selon la loi MOP	Préoccupations des concepteurs	Activités
EPR Études préliminaires	Durant cette phase, les préoccupations des concepteurs sont orientées vers la formulation du problème et l'identification des besoins.	<i>Formulation</i> : structurer et reformuler le problème, étudier la situation de conception. <i>Représentation</i> : représenter pour comprendre le problème.
ESQ Etude d'esquisse	Durant cette phase, les préoccupations des concepteurs sont orientées vers la recherche d'idées, de concepts, de parti architectural qui orienteront la formulation d'une ou plusieurs solutions.	<i>Génération et transformation</i> : générer des idées, transformer les idées en solutions potentielles. <i>Représentation</i> : représenter pour étudier les idées et les solutions formulées (fonction spéculative des représentations).
APS Avant-projet sommaire	Durant cette phase, les préoccupations des concepteurs sont orientées vers la formulation de « la solution ».	Évaluation : évaluer les solutions dans le but de choisir la solution optimale. Représentation : représenter par des plans sommaires à petite échelle, par des coupes... (fonction descriptive des représentations).
APD Avant projet détaillé	Durant ces phases, les préoccupations des concepteurs sont orientées vers le développement des détails de « la solution » pour la validation et la concrétisation du projet.	Évaluation : évaluer les performances de « la solution ».
PRO (études de projet)		Représentation : représenter par des dessins techniques, des plans détaillés à grande échelle, des maquettes... (fonctions prescriptives des représentations).

Cependant, nous signalons que le processus de conception n'est pas linéaire, mais dynamique et itératif. La conception évolue généralement par une succession de phases où chacune permet de produire des éléments utiles pour la suivante. À chaque phase correspondent un travail à effectuer et des décisions à prendre. De ce fait, un changement de décision peut restructurer ces phases.

1.3.2 Prendre en compte l'ambiance lumineuse dans la conception de projet architectural

La prise en compte constante de l'ambiance lumineuse à chaque étape du processus de conception permet une osmose optimale entre la lumière et le bâtiment. Les décisions relatives à la lumière naturelle, comme exemples, l'orientation du bâtiment, son ouverture sur l'extérieur, la taille d'une pièce, sa forme, son emplacement dans le bâtiment, etc. peuvent impacter la conception de l'ensemble du projet architectural. Dès lors, pour une meilleure intégration de la lumière naturelle au projet, nous proposons de la considérer comme un « *niveau de conception* »⁷ [Boudon *et al.* '94]. Dans ce cas, les décisions prises en rapport avec la lumière naturelle dépendront des ambiances lumineuses recherchées et non l'inverse. L'architecte Louis I Kahn disait (cité dans [Devillers '91]) : « *la lumière d'une pièce carrée n'est pas celle d'une pièce ronde ; si vous donnez à une pièce carrée la lumière d'un rectangle, elle cesse d'être carrée* ». Cette citation montre à quel point le travail de la lumière peut être déterminant et délicat. D'ailleurs, dans son livre « *Light is the theme : Louis I. Kahn and the Kimbell Art Museum* » Kahn a souligné l'importance de la lumière dans la conception de son projet où elle s'impose comme le principe organisateur du plan [Kahn '75].

La lumière devra faire partie de toutes les activités du concepteur : de la structuration du problème à la conception détaillée du projet. De ce fait, une réflexion complète sur la lumière naturelle doit tenir compte des spécifications d'usage autant que des « envies » du concepteur (relatives aux points de vue esthétique et technique).

En tenant compte de tous les éléments relatifs à la lumière naturelle dans la conception architecturale (*cf* paragraphe 1.2.3, p.28) ainsi que des phases de conception identifiées précédemment (*cf* paragraphe 1.3.1, p.34), nous proposons dans le tableau suivant (Tableau 5) d'établir les activités des concepteurs dans le processus de conception des ambiances lumineuses.

⁷ Pour comprendre cette notion de niveau de conception, on cite l'exemple de l'escalier mentionné par Boudon. Si on considère l'escalier comme un niveau de conception, il peut être étudié de manière autonome. Dans ce cas, l'organisation du plan dépendra des décisions concernant l'escalier et non l'inverse. (Boudon P., Deshayes P., Pousin F., Schatz F., (1994), *Enseigner la conception architecturale : cours d'architecture*, Les éditions de la Villette, Paris, 319 pp.) p214.

Tableau 5. Les préoccupations des concepteurs dans la conception des ambiances lumineuses relativement aux phases du processus de conception architecturale

Étude des phases de conception selon la loi MOP	Activités en rapport avec la conception des ambiances lumineuses	Préoccupations des concepteurs par rapport à la conception des ambiances lumineuses
EPR Études préliminaires	<p><i>Formulation</i> : structurer et reformuler le problème, étudier la situation de conception.</p> <p><i>Représentation</i> : représenter pour comprendre le problème.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Déterminer les contraintes et besoins des usagers par rapport à l'étude de l'usage de l'espace - Étudier la disponibilité de la lumière naturelle dans le site - Étudier l'environnement du site - Utiliser des types de représentations utiles et appropriés par rapport à l'étude de la disponibilité de la lumière naturelle
ESQ Etude d'esquisse	<p><i>Génération et transformation</i> : générer des idées, transformer les idées en solutions potentielles.</p> <p><i>Représentation</i> : représenter pour étudier les idées et les solutions formulées (fonction spéculative des représentations).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Générer des idées, des intentions concernant les ambiances lumineuses à projeter dans les espaces à concevoir - Formalisation de solutions permettant de concrétiser les ambiances imaginées - Recourir à des représentations permettant d'étudier les intentions et les solutions formulées
APS Avant projet sommaire	<p><i>Évaluation</i> : évaluer les solutions dans le but de choisir la solution optimale.</p> <p><i>Représentation</i> : représenter par des plans sommaires à petite échelle, par des coupes... (fonction descriptive des représentations).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Évaluer (objectivement et subjectivement) les solutions proposées - Prendre des décisions - Valider les solutions proposées - Utiliser des types de représentations utiles pour l'évaluation des ambiances lumineuses projetées
APD Avant projet détaillé	<p><i>Évaluation</i> : évaluer les performances de « la solution ».</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Étudier les performances de l'ambiance - Valider « la solution » définitive
PRO (études de projet)	<p><i>Représentation</i> : représenter par des dessins techniques, des plans détaillés à grande échelle, des maquettes... (fonctions prescriptives des représentations).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Faire une description technique de l'ambiance lumineuse conçue

L'étude des phases du processus de conception architecturale et les activités qui sont mises en œuvre est importante pour, d'une part organiser et planifier la conception du projet, et d'autre part connaître l'activité des concepteurs et cibler leurs besoins dans chacune des phases. Ceci permet de donner des indications utiles sur le quand, le comment et les ressources qui doivent être exploitées pour assister l'activité de conception et aider le concepteur à améliorer la qualité de l'objet conçu. Le recours à des outils d'aide à la conception adaptés à chaque activité de conception peut, nous le pensons, favoriser une meilleure prise en compte de la lumière dès les premières phases de conception.

1.4 Assister la conception des ambiances lumineuses

Plusieurs méthodes et outils ont été développés pour assister la conception des ambiances lumineuses et favoriser une meilleure intégration de la lumière naturelle dans la conception de projet architectural. Ils permettent de prendre en compte la lumière naturelle dans différentes phases et pour différentes activités de conception. Au vu de l'objectif de ce travail de recherche, il nous paraît important d'examiner différentes méthodes et outils disponibles ainsi que leur implication dans le processus de conception avec un regard critique afin de préciser leurs apports et leurs limites. Nous avons identifié quatre groupes de méthodes selon l'aide qu'elles peuvent apporter durant le processus de conception. Nous distinguons entre les méthodes qui favorisent une prise de décision (méthodes orientées décisions), les méthodes qui permettent une recherche de solutions (méthodes orientées solutions), les méthodes qui peuvent aider une recherche d'idées (méthodes orientées idées) et les méthodes qui favorisent l'enrichissement de la connaissance des concepteurs (méthodes orientées connaissances et apprentissage).

1.4.1 Méthodes orientées décisions

La complexité de la lumière naturelle a conduit au développement de plusieurs méthodes proposant de simuler le comportement de la lumière naturelle. Ces méthodes permettent aux architectes d'étudier la disponibilité de la lumière naturelle dans un site, de prédire l'éclairage naturel à l'intérieur d'un bâtiment, d'évaluer les performances d'une ambiance lumineuse, de choisir la solution la plus adéquate... D'une manière générale, ces méthodes permettent aux concepteurs de prendre des décisions quant aux ambiances lumineuses à projeter. Parmi ces méthodes, nous pouvons citer les méthodes de calcul simplifiées, les maquettes et les outils de simulations numériques.

Le propos ici n'est pas de comparer les performances des différentes méthodes [IEA '99], mais d'étudier leur intégration dans le processus de conception des ambiances lumineuses et de déterminer l'aide qu'elles peuvent apporter pour la prise de décision.

1.4.1.1 Les méthodes de calcul simplifiées

Ce sont des méthodes de prédétermination de la lumière naturelle largement quantitatives. Nous pouvons citer pour exemples le calcul du Facteur de Lumière du Jour (FLJ), le calcul de l'éclairement, l'autonomie en lumière de jour, etc. Ces méthodes reposent sur la définition d'équations, de tables, de graphes, d'abaques, de diagrammes... (voir [Baker *et al.* '93], Annexe F).

Les abaques et diagrammes solaires permettent de déterminer, pour un lieu donné, avec une approximation suffisante, les coordonnées angulaires du soleil à une date et un instant donnés. Ils permettent de connaître la période d'ensoleillement, ainsi que l'angle d'incidence des rayons lumineux. Ainsi, ils constituent des outils utiles pour la détermination de la disponibilité de la lumière naturelle pour le lieu considéré.

Le Facteur de Lumière de Jour (FLJ) est une équation qui permet d'établir un pourcentage de la lumière naturelle pénétrant dans un espace. Le FLJ se calcule en établissant le rapport de l'éclairement naturel en un point à l'intérieur du bâtiment à l'éclairement produit simultanément sur un plan horizontal à l'extérieur en site parfaitement dégagé, par ciel couvert. Il s'exprime en % (Figure 13). L'approche du FLJ est une méthode intéressante pour obtenir une première appréciation de la lumière dans un bâtiment. Elle peut aider le concepteur à savoir si le bâtiment sera ou non bien éclairé indépendamment du lieu où l'on se place.

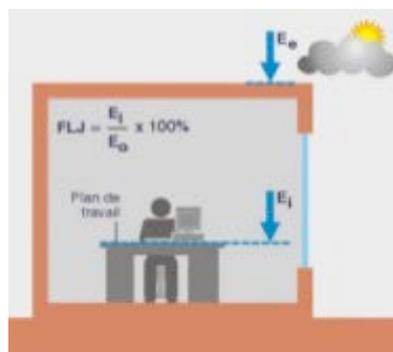


Figure 13. Facteur de Lumière de Jour

Ces méthodes de calcul simplifiées permettent au concepteur d'une part d'étudier la disponibilité de la lumière naturelle dans un site, et d'autre part d'estimer l'impact de certains éléments de conception sur l'éclairage naturel d'un espace de manière largement quantitative. Ils fournissent à l'utilisateur des indications concernant les décisions de base sans exiger beaucoup de temps ou de détails. Ces méthodes sont essentiellement utilisées lors de la phase EPR (étude préliminaire) où les concepteurs se préoccupent de l'étude de la lumière naturelle dans le site et de son potentiel par rapport aux besoins des usages tels que précisés par exemple dans le programme fournit par le maître de l'ouvrage.

1.4.1.2 Les maquettes

Au cours de la conception du projet, les concepteurs produisent souvent des maquettes qui leur permettent d'étudier différents aspects du projet : la forme du bâtiment, les façades, les volumes intérieurs. Ces maquettes constituent aussi d'excellents outils pour observer la lumière naturelle dans le projet.

Quand elle est réalisée avec soin, une maquette peut rendre compte de la distribution de la lumière dans l'espace modèle de manière presque aussi fine que dans un bâtiment de taille réelle. Le comportement physique de la lumière est exactement le même. Ceci est dû au fait que la longueur d'onde de la lumière visible est si courte en comparaison avec les dimensions d'un espace modèle que son comportement en est très peu affecté.

Les maquettes permettent d'étudier l'ambiance lumineuse générale d'un lieu, d'apprécier l'apparence de l'espace intérieur, de prédire la pénétration de la lumière naturelle, sa distribution, ses quantités... Selon leur finition et leurs échelles, les maquettes tolèrent des observations différentes [IEA '00]. Nous distinguons la maquette comme outil d'étude (maquette d'étude) de la maquette comme outil de vérification et de contrôle (modèle réduit).

Dans le premier cas, la maquette d'étude, il s'agit d'une maquette rapide et simplifiée de petite échelle (1:500 à 1:100) produite au cours de la phase esquisse pour le développement des intentions formalisées. Elle consiste en un outil exploratoire qui permet de rendre compte de la distribution de la lumière et d'évaluer qualitativement et esthétiquement, par des observations visuelles simples ou par des photographies, les effets de la lumière produits par les configurations choisies et de contrôler les pénétrations solaires directes. Ces maquettes permettent d'apporter facilement des modifications à la géométrie, à la taille des ouvertures, aux couleurs des surfaces et à leur réflexion... facilitant ainsi l'examen de plusieurs variantes.

Dans le second cas, les modèles réduits, il s'agit des maquettes qui reproduisent le bâtiment conçu le plus fidèlement possible en simulant tous ses détails et toutes ses caractéristiques. Ces modèles réduits permettent d'étudier exactement et précisément la distribution de la lumière diffuse et la pénétration solaire directe et d'analyser les performances lumineuses du local. Cette étude peut se faire sous ciel réel ou ciel artificiel.

Il existe différents types de ciel artificiel (Mirror Box, ciel artificiel à une lampe, soleil artificiel à une lampe) [IEA '00] qui offrent des conditions fiables et qui reproduisent et simulent la lumière naturelle directe et diffuse. L'usage d'un héliodon permet de varier les observations lumineuses à différents moments de l'année ou d'une journée. Un héliodon se compose d'un plateau pivotant spécial qui permet de déplacer la maquette par rapport à la source lumineuse de la même façon que le bâtiment lui-même se déplacera par rapport au soleil (Figure 14). L'héliodon peut être ajusté selon la latitude et la date, et la plate-forme subira une rotation pour simuler le mouvement quotidien de la terre. L'avantage principal de l'utilisation d'un ciel artificiel et d'un héliodon repose sur le fait de pouvoir varier rapidement d'une part l'intensité de la lumière et d'autre part la position de la maquette par rapport au

soleil afin de permettre une observation des conditions lumineuses durant toute une période de l'année en utilisant des enregistrements vidéo à l'aide de matériel spécifique.

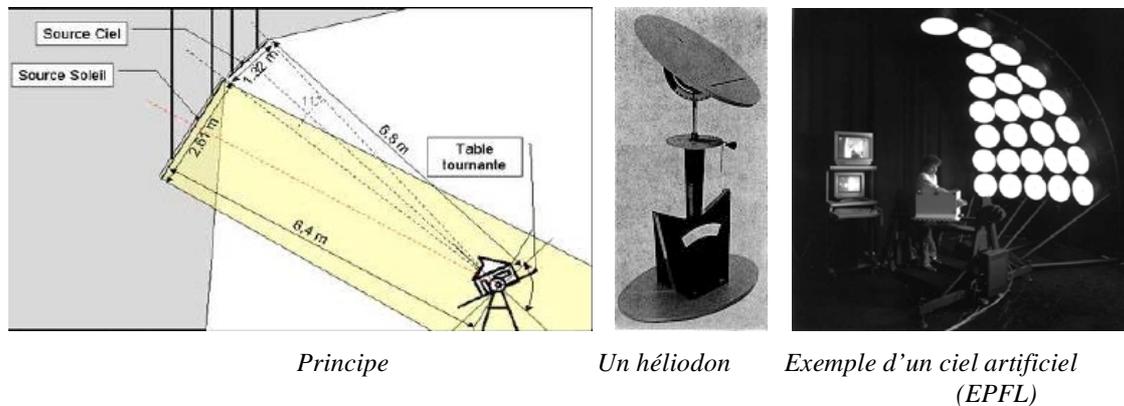


Figure 14. Simulation de la lumière en utilisant les modèles réduits

Ainsi, l'intérêt des modèles réduits est important. Ils peuvent être des outils précieux pour analyser, évaluer et valider des solutions projetées. Cependant, leur réalisation onéreuse et fastidieuse rend presque impossible leur exploitation en phase d'étude. Leur utilisation est le plus souvent limitée en phase de conception finale en vue de valider et de fournir aux concepteurs la meilleure représentation de l'espace. Quant aux maquettes d'étude, elles sont plus faciles à réaliser, mais ne permettent qu'une évaluation qualitative de la lumière. L'évaluation quantitative est impraticable car les quantités de lumière sont très sensibles et nécessitent une finition soignée de la maquette. Elles sont plus adaptées à une phase d'étude où le besoin est de tester des solutions alternatives.

1.4.1.3 Les outils de simulations numériques

Les outils de simulations numériques permettent également de simuler le comportement de la lumière naturelle dans un espace modèle en utilisant l'outil informatique. Dans ce cas, le concepteur doit fournir à l'outil informatique utilisé des informations concernant son projet (ces informations sont considérées comme des données en entrée). Selon les outils, le niveau de précision demandé peut être très élevé. Par la suite, l'outil informatique analyse ces données selon les caractéristiques de la lumière naturelle choisies et présente au concepteur les résultats de l'ambiance lumineuse modélisée (données en sorties) ce qui permet au concepteur d'apprécier l'ambiance lumineuse projetée.

Selon le niveau de précision du projet, la complexité et la précision des résultats fournis par le système, l'ouvrage « *daylight in building* » de l'International Energy Agency [IEA '00] distingue les outils avancés à environnement intégré et les outils simples.

Les outils avancés à environnement intégré : ils correspondent aux outils qui permettent une modélisation précise et détaillée du projet et une simulation pouvant prendre en compte toute

la complexité de la géométrie et des matériaux du bâtiment à construire. Ces outils offrent l'avantage d'une analyse complète de la stratégie de la lumière naturelle modélisée. Ils fournissent des informations importantes concernant :

- la visualisation de la distribution de la lumière naturelle,
- la visualisation du comportement dynamique de la lumière naturelle,
- la détermination des quantités de lumière,
- le contrôle de la pénétration de la lumière directe,
- le comportement dynamique des ombres,
- l'identification de la présence d'un éblouissement éventuel et l'évaluation des indices du confort visuel.

Les résultats se présentent sous forme de carte de luminances, de tableau de valeurs ou encore sous forme d'images de synthèse qui permettent d'avoir des résultats offrant une meilleure perception de l'espace modélisé avec des impressions visuelles très réalistes (Figure 15). Ceci permet à un spécialiste comme à un non-spécialiste de vérifier et d'analyser plus facilement les résultats. Cependant, ces outils demandent un temps de calculs relativement long. Parmi ceux-ci, nous trouvons : Adeline, Dialux, Radiance, Lightscape, Ecotect...

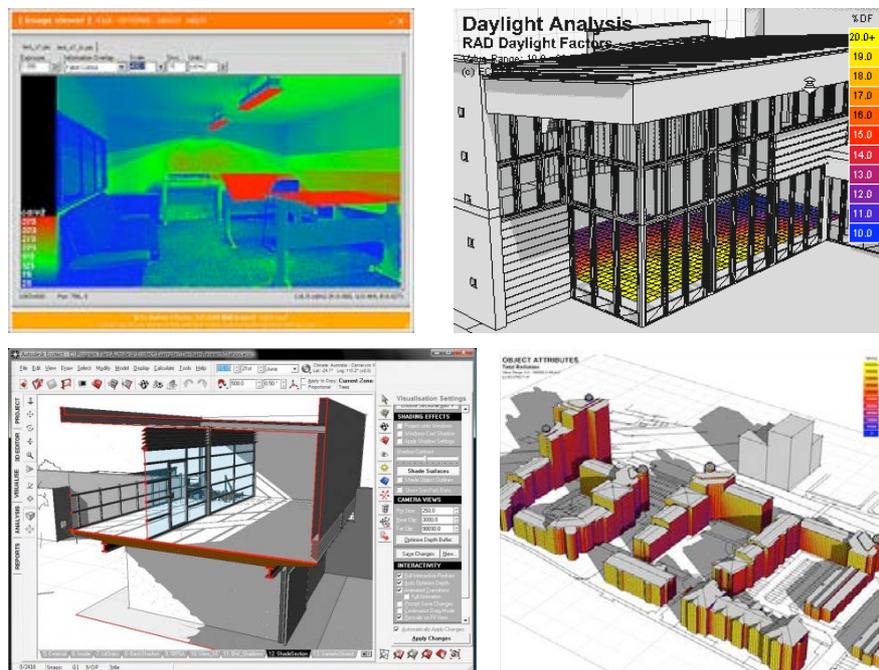


Figure 15. Exemples de résultats de simulation avec Radiance (1^{ère} ligne) et Ecotect (2^{ème} ligne)

Tous ces outils permettent d'anticiper et d'apprécier les performances lumineuses d'un projet, mais ne laissent à l'utilisateur que la correction *a posteriori* de ses choix. Ils apparaissent plutôt comme des outils d'analyse et d'évaluation de la stratégie de la lumière. Ils peuvent

être très utiles pendant les dernières phases de conception pour des opérations de vérification ou de validation des configurations spatiales et des dispositions techniques projetées.

Les outils simples : à la différence des outils avancés, les outils simples ont une utilisation plus intuitive et ont pour objectif d'apporter une aide précoce à la conception dès la phase d'esquisses. Ils présentent un niveau de détail et de précision adapté à cette phase. Ces outils permettent de donner une idée générale sur le comportement de la lumière naturelle (quantités de lumière (FLJ) et sa distribution dans le local simulé). Les résultats de simulation obtenus sont moins précis que ceux issus des outils avancés. Néanmoins, l'intérêt réside dans le fait que les résultats peuvent être obtenus rapidement. Ceci permet à un concepteur de tester facilement et rapidement plusieurs alternatives et hypothèses et d'accélérer ainsi l'activité de prise de décision pour la formulation des solutions potentielles. Cependant, ces outils laissent moins de liberté quant à la modélisation du projet à simuler. Ils peuvent seulement manipuler des locaux reposant sur une géométrie simple (généralement parallélépipédique) avec, pour la plupart, la possibilité d'intégrer des ouvertures uniquement dans un seul mur. Parmi ces outils, nous pouvons citer pour exemples : Daylight 1-2-3 [Reinhart *et al.* '07], Deligh, Dial-Europe...

Nous nous intéressons à Dial-Europe [Groot and Paule '02] qui est un outil simple proposant en plus une méthode d'apprentissage. Il permet à un architecte de faire progresser sa connaissance du domaine, ainsi que son savoir-faire, au fur et à mesure de l'utilisation de l'outil. Lorsque l'utilisateur simule un local, le logiciel est capable de lui proposer, grâce à des algorithmes de logique floue, un ou des locaux présentant des similitudes avec celui-ci à partir d'une base d'exemples de bâtiments existante dans l'outil. Ceci permet d'illustrer les résultats et de faciliter leur interprétation. Les exemples proposés présentent généralement des caractéristiques géométriques et photométriques similaires au local décrit. La base d'exemples est constituée à partir de deux bases de données. La première comporte des réalisations réelles (modèles) traitées comme exemples et la deuxième comporte des objets simulés (types) traités comme modules d'apprentissage. Dans la première base (modèles), les objets réels présentent des exemples traités *in situ* donnant à l'utilisateur des informations sur les performances de la stratégie de la lumière naturelle réalisée (un exemple est présenté à la Figure 16). Nous pouvons rapprocher ceci d'un apprentissage à base de cas (*Cf.* Chapitre 2, paragraphe 2.2.2). Dans la deuxième base (types), l'utilisateur peut effectuer des transformations (modifier la position de la fenêtre, sa taille...) et apprécier les changements induits sur le comportement de la lumière naturelle en visualisant des images de synthèse accompagnées de commentaires exprimant les implications les plus notables.

Ce processus permet à l'utilisateur de visualiser l'impact des changements et de vérifier la validité de ses conjectures.

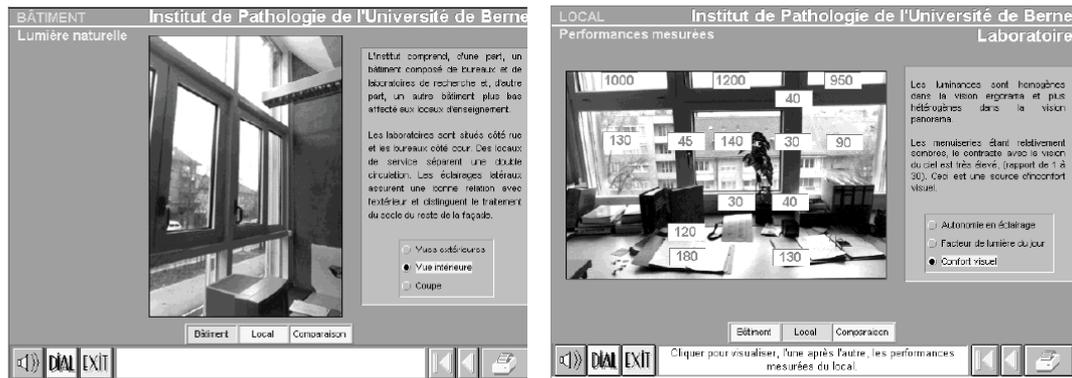


Figure 16. Exemple d'un local réel proche par ses caractéristiques au local décrit par l'utilisateur dans Dial-Europe

D'après cette étude des outils de simulations numériques, nous pouvons conclure qu'ils permettent d'aider le concepteur lors des phases APD (étude d'avant projet détaillé) et PRO (étude de projet) pour évaluer les solutions proposées ainsi que leurs performances.

1.4.2 Méthodes orientées solutions

Les méthodes que nous venons de décrire proposent des simulations directes des ambiances lumineuses permettant à l'utilisateur de visualiser et de prédire le comportement de la lumière naturelle et de s'assurer de la pertinence des solutions qu'il a formulées au regard de ses intentions. Par contre, les méthodes orientées solutions que nous allons examiner maintenant proposent d'aider le concepteur pour la formulation de ses solutions de conception en lui demandant d'exprimer ses intentions en fournissant des renseignements sur les exigences à satisfaire à l'intérieur de l'espace à construire. En employant des principes issus de la simulation inverse ou de la méthode déclarative, les outils développés dans une telle démarche offrent au concepteur, automatiquement, une ou plusieurs « formes solutions » à partir desquelles il pourra faire des choix. Plusieurs travaux ont proposé des méthodes d'aide à la conception par les intentions pour la formulation de solutions [Siret '97 ; Tourre *et al.* '08].

Par exemple, Tourre [Tourre '07] propose un modèle défini et mis en œuvre dans un environnement de travail permettant l'expression des intentions d'ambiance lumineuse relatives à la lumière incidente et la production de solutions interprétables. L'application développée permet au concepteur d'exprimer ses intentions d'ambiance lumineuse sous la forme d'un éclairage souhaité dans une scène 3D par le moyen d'esquisses. Ces intentions d'éclairage sont ensuite traduites en configuration spatiale. Le système propose alors au concepteur plusieurs formes d'ouvertures en fonction de ses intentions (Figure 17).

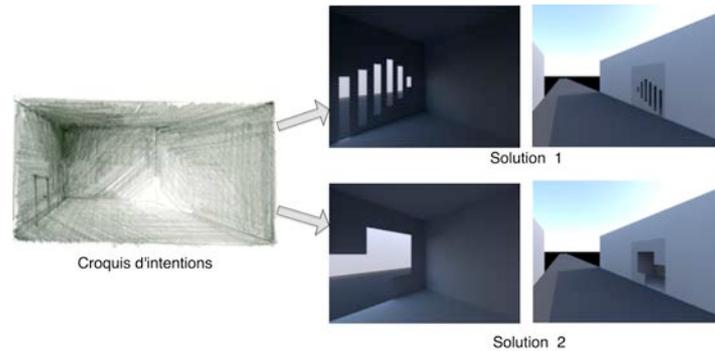


Figure 17. Propositions de solutions d'ouvertures à partir de l'interprétation des intentions du concepteur

Ces méthodes de simulation inverse proposent des moyens intéressants de « dépistage de solutions » et d'exploration du champ des possibilités, mais elles restent essentiellement inscrites dans une logique stricte de « résolution de problèmes » où l'on suppose que les intentions architecturales sont clairement exprimées. Dans ce cas, il est supposé que les activités du concepteur durant la phase d'esquisse aboutissent à une formulation des intentions, sans quoi, ces méthodes orientées solutions ne peuvent apparaître utiles.

1.4.3 Méthodes orientées idées

Nous présentons ici une méthode d'aide à la création de l'espace développée par Demers [Demers '99] dont l'objectif est de fournir une aide aux architectes dans les premiers temps de la conception, période où ils sont amenés à rechercher des idées pour l'expression particulière de leurs intentions d'ambiances. Pour ce faire, l'auteur met en œuvre une démarche fondée sur l'utilisation des images digitales pour l'analyse qualitative et quantitative⁸ de la lumière naturelle incitant l'utilisateur à s'exprimer sur la lumière naturelle.

Les images engagées dans cette recherche sont des images photographiques numérisées à partir des modèles réduits représentant les différentes typologies lumineuses identifiées par les auteurs [Demers and Hawkes '94]. Ces images sont organisées de manière à former une librairie à partir de laquelle les concepteurs vont pouvoir composer des configurations par la transformation des images en utilisant un simple éditeur d'images. Le concepteur peut inverser une image, changer son échelle, la couper, la coller à d'autres (Figure 18), et ainsi de suite jusqu'à ce qu'elle devienne une nouvelle référence et qu'elle corresponde alors à une représentation abstraite d'un effet de lumière souhaité. L'ordinateur calcule la nouvelle image pour proposer les nouvelles valeurs de gris traduisant la distribution quantitative de la lumière (Figure 19).

⁸ L'étude des aspects quantitatifs se fait par des échelles de niveau, de contraste, de degré de focalisation de la tache lumineuse (concentration, dispersion des luminances sur une surface).



Figure 18. Combinaison de deux images pour former une nouvelle ambiance

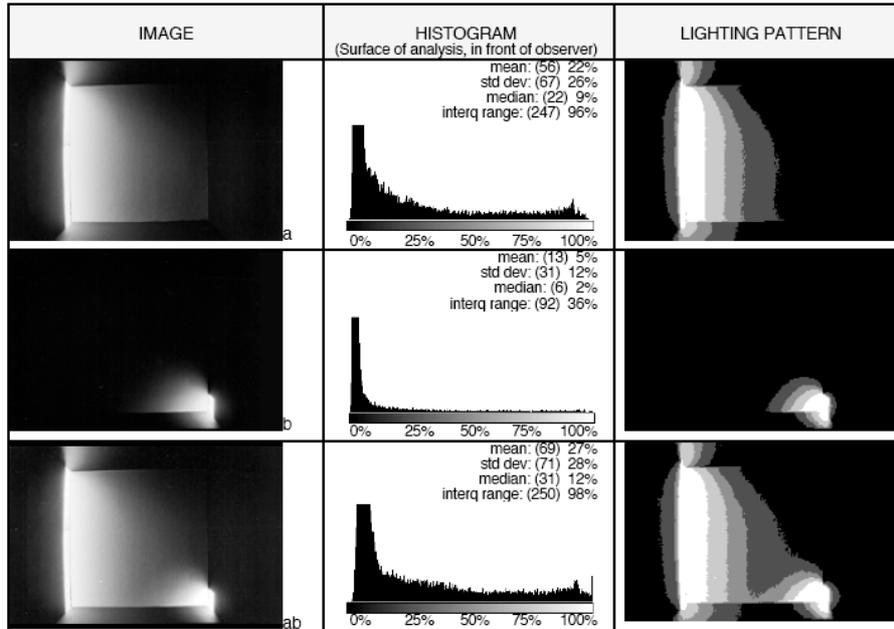


Figure 19. Calcul des nouvelles valeurs de gris suite à une combinaison de deux images pour traduire la nouvelle distribution de la lumière

Cette méthode propose des images représentant exclusivement des empreintes lumineuses sur des surfaces abstraites coupées de toute référence à d'autres registres du projet architectural. Cela permet de considérer le sens fortement plastique de ce type d'approche. Cette méthode peut avoir un intérêt au début de l'activité de formalisation des intentions à la recherche d'effets visuels de la lumière naturelle.

1.4.4 Méthodes orientées connaissances et apprentissage

Il s'agit des méthodes qui permettent aux concepteurs d'enrichir et d'élargir leurs compétences sur la question des ambiances lumineuses en conception architecturale. Elles tendent à fournir des informations portant sur des aspects à discerner et à retenir sur les ambiances lumineuses.

Nous avons vu antérieurement que Dial-Europe (voir paragraphe 1.4.1.3 p.46), outre les aspects de simulation simple, proposait une méthode d'apprentissage utilisant une base de données constituée par des réalisations réelles présentées à l'utilisateur comme illustrations à la stratégie de lumière naturelle qu'il exprime au préalable. Ces réalisations exemples, ou encore modèles interprétables, suggèrent des possibilités architecturales au travers de

solutions types développées et réalisées par d'autres concepteurs. Elles constituent en somme une source de connaissances qui enrichit la compétence du concepteur, utilisateur du système.

Mettre à disposition d'un concepteur les précédents architecturaux comme base de connaissances sur les ambiances lumineuses est aussi l'approche étudiée par [Lassance '98]. S'inspirant des approches de type « raisonnement à base de cas », il propose un système d'information nommé « Eclairages ». Ce système permet à l'utilisateur de parcourir plusieurs réalisations architecturales présentant une préoccupation particulière autour du thème de la lumière naturelle. Chaque réalisation, appelée « référent », est représentée par des images (photographies, plans, dessins, etc.) ainsi qu'une description sommaire (lieu, date de construction, architecte, etc.). Chaque référent est indexé par des attributs⁹ et associé à des « points de vue »¹⁰. La lecture d'un référent selon chacun des points de vue ou attributs conduit à différentes interprétations. Ceci permet d'expliciter toutes les caractéristiques d'une réalisation afin de dégager une connaissance utile lors d'une activité de conception.

Lassance a structuré l'espace référentiel en utilisant un principe de liens simples (de type hypertexte) qui permettent à un utilisateur de passer d'un référent à ses attributs ou à ses points de vue, ou encore de le mettre en relation avec un autre référent de manière à tendre vers une exploration de l'espace référentiel et contribuer ainsi, selon l'auteur, à « *la construction d'une logique générale d'ambiance lumineuse* ». Nous considérons que ces références sont importantes pour le concepteur particulièrement en situation d'éveil et de réceptivité.

« Daylight design variation book »¹¹ est un site Internet créé par TNO-TUE Centre for Building Research. Ce site est particulièrement axé sur le choix des ouvertures. Il propose plusieurs variantes représentant différentes positions et tailles d'ouvertures par le biais d'images de synthèses réalisées avec l'outil Radiance. Ce site permet de visualiser l'impact de chacune des variantes sur la distribution et les quantités de lumière obtenues dans l'espace, ou encore de comparer deux variantes entre elles. Les réalisations architecturales, représentées par des photographies et complétées par une description sommaire, sont employées en vue de représenter et d'isoler une variante d'ouverture faisant en quelque sorte « effet de preuve » et offrant à l'utilisateur une possibilité d'analyse supplémentaire. L'utilisateur peut ainsi étudier différents types d'ouvertures pour identifier les solutions appropriées et enrichir progressivement ses connaissances en la matière.

⁹ Les attributs sont des index correspondant chacun à une caractéristique du projet selon chacun de ses points de vue (exemple : l'attribut écran translucide correspond au point de vue dispositif).

¹⁰ Un point de vue est un angle d'approche ou problématique du projet. Il présente un concept, une notion, une procédure, des objectifs ou des critères spécifiques à un domaine de tâches du projet d'architecture (exemples de points de vue : morphologie, dispositif éclairage).

¹¹ <http://sts.bwk.tue.nl/daylight/> (Visité novembre 2009)

« Audience »¹² (AUto-formation à DIstance au contrôle d'ENvironnement des Constructions et des Equipements) est un projet européen proposant une auto-formation à distance destiné aux architectes et portant sur le domaine de contrôle des ambiances. « Audience » est construit autour d'un site Internet offrant aux l'utilisateurs les moyens pour acquérir des connaissances théoriques et pratiques sur la question de maîtrise des ambiances, notamment lumineuses, en conception architecturale (Figure 20). L'utilisation est conduite à partir de cinq rubriques constituant chacune un module de formation : référence, dispositif, effet, théorie et exercices. Par exemple, la rubrique « référence » propose une étude de plusieurs projets jouant le rôle d'exemples ou de matérialisation d'une question particulière en rapport avec les ambiances. La réponse apportée par chaque exemple de projet est analysée, commentée, comparée à d'autres solutions et évaluée. La rubrique référence recouvre ainsi les aspects plus projectuels de la formation proposée par « Audience ».

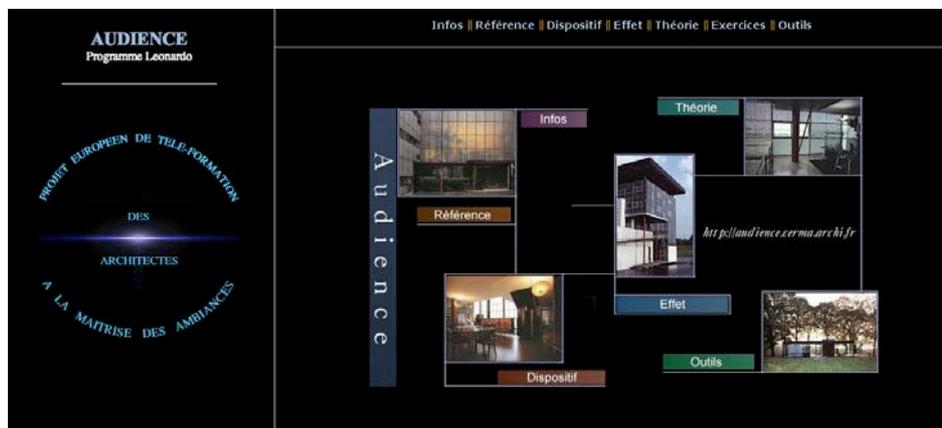


Figure 20. Capture d'écran de la page d'accueil d'Audience

Toutes les approches examinées dans cette partie intègrent des notions qui peuvent être utiles en situation de veille conceptuelle au cours d'une activité de réflexion sur les ambiances lumineuses. Elles fournissent au concepteur des informations structurées et importantes pour appréhender les ambiances dans leur ensemble. Elles apparaissent cependant plus comme des outils permettant d'enrichir la connaissance du concepteur et moins comme des outils d'assistance à la conception.

1.4.5 Synthèse

Dans cette partie, nous avons étudié les différentes méthodes et outils d'aide à la prise en compte des ambiances lumineuses dans la conception architecturale. En fonction de leurs apports dans le processus de conception des ambiances, nous avons distingué quatre méthodes différentes qui peuvent supporter des activités spécifiques durant les phases de conception.

¹² <http://audience.cerma.archi.fr/>

Dans une phase de veille conceptuelle et de réflexion, les méthodes orientées connaissances et apprentissage (paragraphe 1.4.4 p.51) peuvent assister l'activité des concepteurs dans le développement de leur culture architecturale afin d'acquérir une expérience et une compétence utiles pour la conception de projets.

Dans une phase d'études préliminaires, la tâche de conception consiste dans l'étude de la disponibilité de la lumière naturelle et de l'environnement entourant le site du projet. Les méthodes de calcul simplifiées peuvent apporter une aide au concepteur pour avancer dans cette activité. Elles sont donc essentiellement utiles durant la phase d'études préliminaires. Les autres méthodes définies comme des méthodes orientées décision (paragraphe 1.4.1 p.43) à savoir les maquettes et les outils de simulations numériques sont des méthodes d'aide au développement et à la validation des solutions proposées. Elles permettent d'une part au concepteur de tester les solutions proposées, et d'autre part de calculer les performances des ambiances proposées. Ces méthodes orientées décisions ne peuvent être utilisées que lorsque les solutions ont été suffisamment formalisées et interviennent généralement lors des phases avancées (phases APS, APD, PRO) du processus de conception architecturale.

Concernant les méthodes orientées solutions (paragraphe 1.4.2 p.49) nous avons vu qu'elles permettent au concepteur de formaliser des solutions à partir de ses intentions. Ceci suppose que le concepteur a préalablement formalisé ses intentions. Cette formalisation des intentions reste une activité essentielle qui guide tout le développement ultérieur du projet. Cette activité, bien qu'elle demeure essentielle, apparaît comme la moins outillée. Seule une méthode orientée recherche d'idées (paragraphe 1.4.3 p.50) s'intéresse à cette activité, mais elle développe une démarche essentiellement plastique dans la conception des ambiances.

La figure suivante (Figure 21) schématise le processus de conception par une succession de phases et intègre les différentes méthodes étudiées selon les phases aux quelles elle peuvent apporter une aide à l'activité des concepteurs.

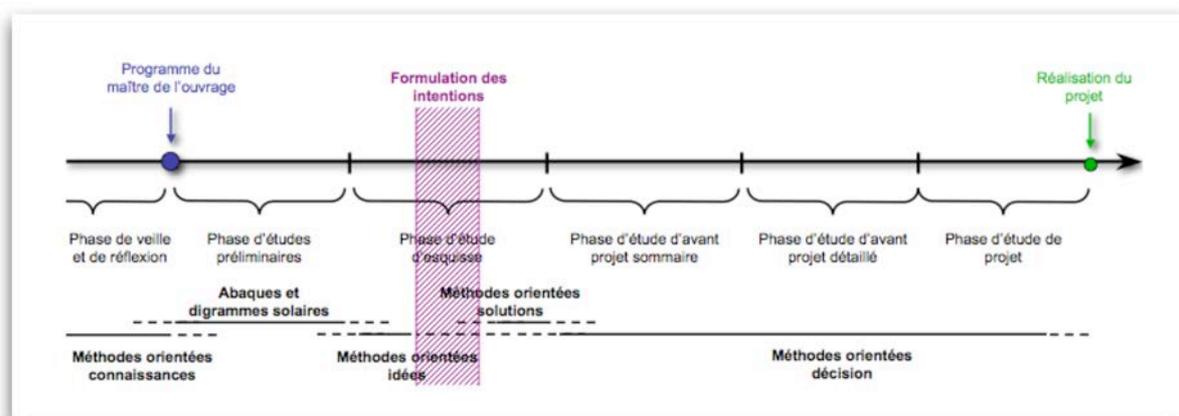


Figure 21. Le processus de conception et l'intégration des méthodes d'assistance à la conception des ambiances

Notre analyse fait apparaître que la formulation des intentions lors de la phase d'esquisse reste encore à explorer. C'est pourquoi nous nous focalisons sur cette activité dans le présent travail de recherche.

1.5 Les intentions d'ambiance en phase d'étude d'esquisse

Dans ce paragraphe, nous cherchons à connaître quelles sont les préoccupations des concepteurs dans la formulation des intentions d'ambiances lumineuses et quels moyens permettent d'assister à une telle activité dans une phase d'étude d'esquisse.

1.5.1 Les intentions d'ambiances lumineuses

Après avoir acquis un premier niveau de compréhension et d'interprétation des données du contexte et du programme, la pensée du concepteur est mobilisée par la recherche du fil conducteur qui pourra canaliser sa réflexion. Il s'agit de formaliser ses souhaits et ses désirs qu'il prendra en compte tout au long du processus de conception. Ces désirs et souhaits forment ce que nous appelons « les intentions du concepteur ». Les intentions formulées orientent de manière significative la recherche de solutions. Il est bien entendu que les intentions sont des objets dynamiques qui évoluent avec les possibilités et les contraintes du projet architectural.

Durant la phase esquisse, les concepteurs utilisent généralement le croquis comme moyen de représentation mêlant conceptualisation et évaluation [Huot '05]. Un croquis peut être défini de façon assez générale comme une représentation, un dessin figurant un objet architectural, exécuté à main levée et en dehors de toute considération de quantification précise (mesure, cotation, échelle...) visant avant tout la concision et la rapidité d'exécution.

La production de croquis permet la visualisation de ce qui n'est encore que mouvement dans l'esprit du concepteur [Durand '03]. Ils « constituent une modalité de raisonnement,... ils contiennent des informations qu'aucun autre registre de discours ne peut contenir » [Prost '92]. Un croquis suggère les intentions du concepteur plus qu'il n'illustre une réalité ou un but. C'est un moyen spéculatif qui suscite l'exploration et le test d'hypothèses. Selon Estevez [Estevez '01], le croquis est « *un moyen de simplifier la réalité pour illustrer une intention en allant à l'essentiel* ». Ainsi, l'analyse des croquis produits par les architectes durant les premières phases de conception peut renseigner sur leurs intentions [Do *et al.* '99].

Selon les éléments du projet à étudier ou la tâche du moment, les concepteurs emploient des symboles et des marques graphiques différentes. Leur examen peut révéler les préoccupations des concepteurs au moment de la production du croquis. Pour connaître les préoccupations en rapport avec les ambiances lumineuses lors de la formulation des intentions, nous proposons d'analyser quelques croquis produits par des architectes de renom et qui ont développé un discours particulier autour de la lumière naturelle dans la conception des projets

architecturaux (Le Corbusier, Aalvar Aalto, Louis I. Kahn, Alberto Campo Baeza). Nous avons choisi principalement les croquis où nous pouvons identifier une prise en compte de la lumière naturelle. Quelques croquis faisant partie de notre corpus sont illustrés de la Figure 22 à la Figure 26.

L'analyse de ces croquis a montré l'utilisation d'un langage graphique spécifique en relation avec une telle préoccupation. Ces croquis montrent que les architectes représentent la lumière naturelle en utilisant des signes plus ou moins conventionnels :

- La lumière naturelle : elle est usuellement symbolisée par le dessin du soleil.
- Les rayons lumineux/solaires : des traits symbolisent la trajectoire de la lumière.
- Le flux lumineux : plusieurs traits qui ont la même direction traduisent la quantité du flux lumineux, ou comme le dessine le Corbusier, par une surface colorée (Figure 22).
- Distribution de la lumière : le traitement des surfaces par des valeurs traduit les zones d'ombre et les zones de lumière.
- Orientation du bâtiment : la désignation du Nord (généralement par la lettre N) permet de déterminer la disposition du bâtiment par rapport à la trajectoire du soleil.



Figure 22. Croquis dessiné par Le Corbusier (Carnets de croquis de Le Corbusier)

En suivant ce code graphique dans l'analyse de plusieurs croquis produits par les architectes, nous cherchons à déterminer quelles peuvent être leurs préoccupations en rapport avec la lumière naturelle durant les premières phases de conceptions. Cette étude, bien qu'elle ait été réalisée sur un corpus réduit de croquis, montre que les architectes approchent différemment la lumière naturelle durant les premières phases de conception. Néanmoins, nous avons établi que les préoccupations premières des concepteurs lors de la formulation des intentions se rapportent particulièrement à des considérations usagères et esthétiques (Cf. Section 1.2.3). Ces préoccupations peuvent porter sur la qualité de distribution de la lumière, le choix des dispositifs, les effets de la lumière... En voici des exemples de l'étude de quelques croquis :

- Le croquis de l'architecte finlandais Alvar Alto (Figure 23) : la représentation d'un personnage en train de lire un livre montre une préoccupation particulière par rapport à

la fonction du lieu : bibliothèque. Le dessin des rayons lumineux arrivant jusqu'à l'utilisateur selon des directions différentes montre des préoccupations par rapport à une distribution homogène de la lumière dans le but d'éviter la présence des ombres gênantes [Millet '96]. Ainsi, ce croquis montre des préoccupations liées principalement à la dimension d'usages.

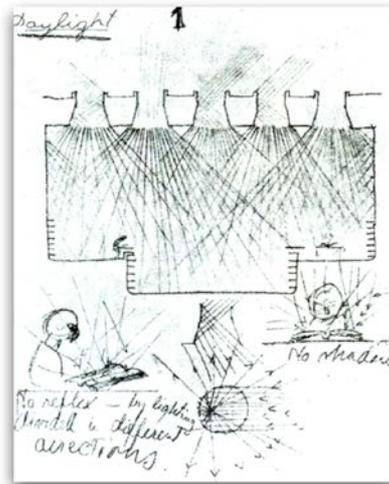


Figure 23. Croquis dessiné par Alvar Aalto, The Viipuri Municipal Library [Millet '96]

- Le croquis de l'architecte américain Louis I. Kahn (Figure 24) : ce croquis montre plusieurs variantes concernant la forme de la protection à mettre en place et qui aura pour rôle de dévier les rayons solaires pour permettre une pénétration indirecte des rayons lumineux [Millet '96]. Ceci traduit une préoccupation particulière par rapport au choix des dispositifs et par rapport à la qualité de distribution de la lumière.

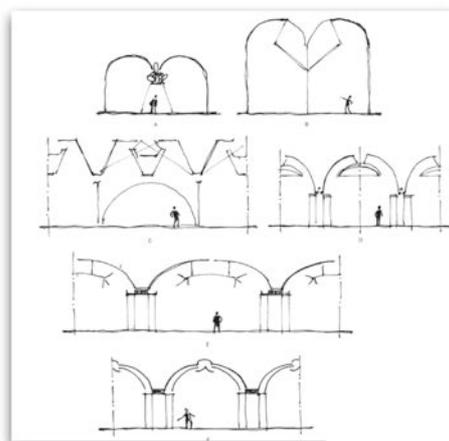


Figure 24. Croquis dessiné par Louis I Kahn, The Kimbell Art Museum [Millet '96]

- Les croquis de Le Corbusier (Figure 25 : 1, 2 et 4) : à partir du croquis 2, nous pouvons déduire l'intention de l'architecte qui consiste à rechercher une lumière mettant en

valeur l'autel. Le croquis 4 peut aussi concerner cette même intention, mais cette fois en prenant en compte la dynamique de la lumière naturelle. Ainsi, ces croquis montrent des préoccupations particulières par rapport à l'effet de la lumière sur la perception de l'espace.

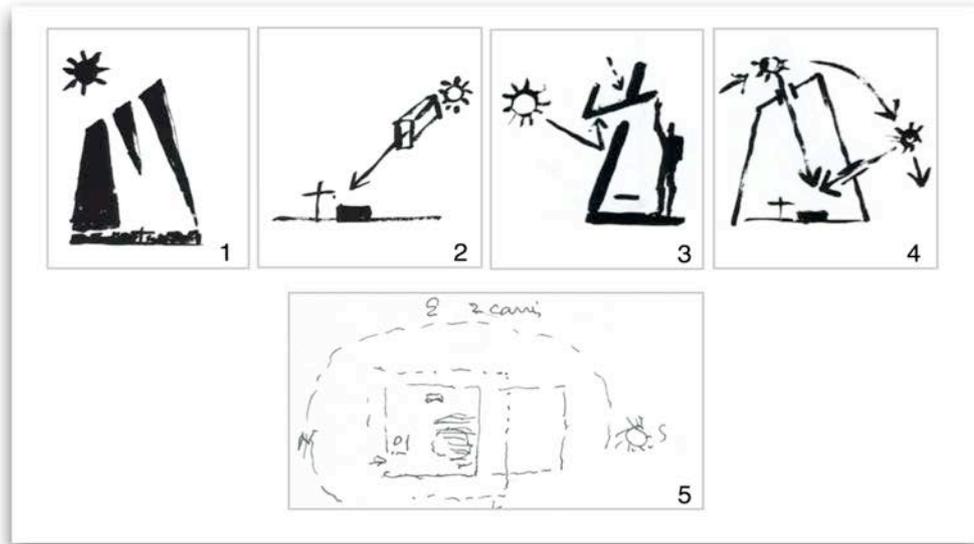


Figure 25. Dessins de Le Corbusier, Eglise saint-Pierre (Les carnets de croquis de Le Corbusier)

Les croquis de l'architecte Alberto Campo Baeza (Figure 26, 1 et 2) : le dessin des rayons lumineux peut refléter une recherche d'un effet de lumière sur la perception visuelle de l'espace par la mise en place d'un type particulier d'ouvertures.

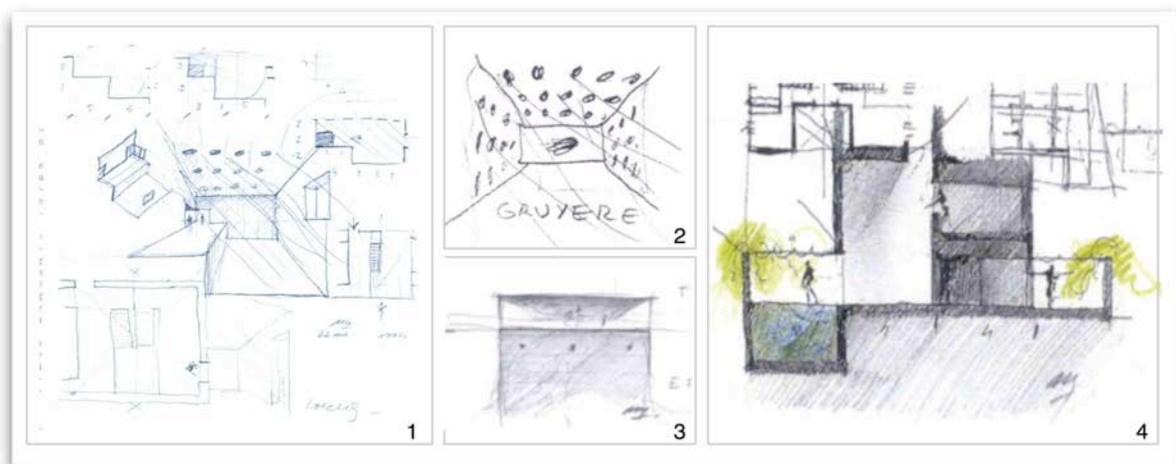


Figure 26. Croquis dessinés par Alberto Campo Baeza [Pizza '99]

1.5.2 Caractéristiques de la phase d'esquisse

Durant la phase d'esquisse, l'architecte possède encore une liberté maximale quant aux choix qu'il peut faire à ce stade du processus de conception. Ceci est illustré par la figure ci-dessous

(Figure 27) où Ullman [Ullman '03] schématise le rapport entre la connaissance du problème et le degré de liberté du concepteur en fonction de la progression (dans le temps) du processus de conception mettant ainsi en évidence le paradoxe de ce dernier : la connaissance du problème et des solutions alternatives augmentent durant le processus de conception, tandis que la liberté du concepteur diminue. En effet, lorsque l'architecte avance dans la conception de son projet, la possibilité de modifier ses choix ou ses décisions devient de plus en plus difficile et coûteuse ce qui limite largement sa liberté. Ainsi la phase d'esquisse est une phase importante où devront être formalisées les idées et les intentions qui guideront le développement du projet.

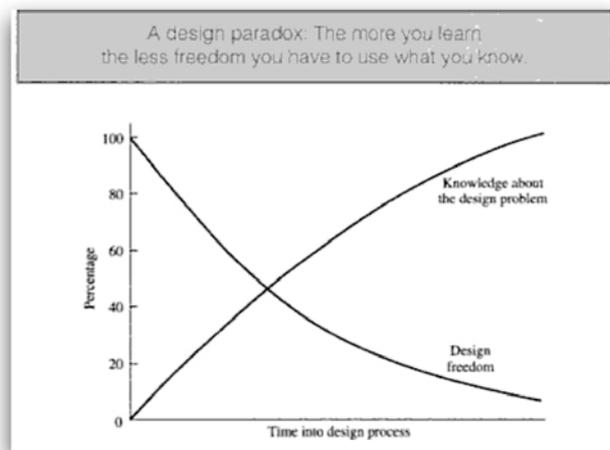


Figure 27. Représentation schématique du rapport entre les connaissances/informations contre la liberté du concepteur [Ullman '03]

Zeiler, Savanovic et Quanjel [Zeiler *et al.* '07] ont montré (voir Figure 28) que les informations sur le problème de conception ont le plus d'impact sur le projet durant la phase amont bien que le concepteur dispose de peu à ce stade du processus. Dès lors, il apparaît important que les concepteurs puissent obtenir un maximum d'informations concernant leur problème de conception et ce, le plus tôt possible dans le processus de conception quand leur degré de liberté est encore maximum [Ullman '03].

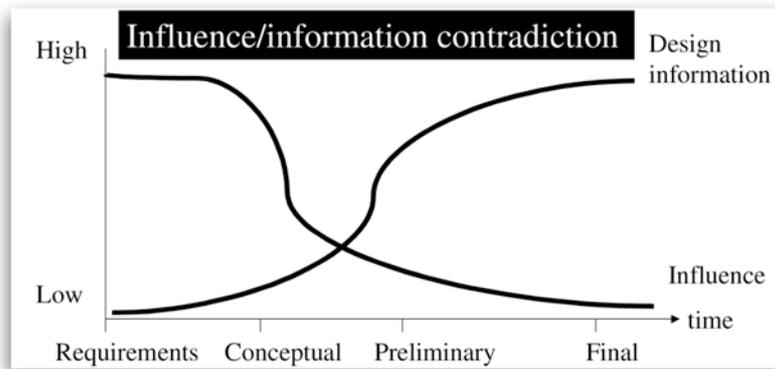


Figure 28. La contradiction entre influence/information dans les premières phases du processus de conception [Zeiler et al. '07]

Néanmoins, tous les concepteurs savent qu'il est impossible de déduire une solution à partir des données programmatiques quel que soit leur degré de complétude et de précision. Ces données ne peuvent contenir à elles seules l'ensemble des informations et des connaissances nécessaires pour aboutir à une solution. Cette dernière met en jeu le savoir et l'expérience, mais aussi toutes les données externes que le concepteur va pouvoir récolter et assimiler autour de lui, lui permettant ainsi de cerner le problème, de le situer afin de pouvoir constituer un espace d'idées, d'intentions et des solutions possibles.

Concevoir impose donc de compléter les informations sur le problème par des informations externes pour orienter et faciliter la formalisation des intentions. En ce sens [Boudon *et al.* '94] parlent de « *données potentielles qui nourrissent le projet* ». Ces données, l'architecte les extrait du site, des objets avoisinants, des réglementations (données contextuelles), mais aussi de l'histoire de l'architecture, des photographies de bâtiments, d'une image vue dans un film (données référentielles), etc.

Dans le cadre de notre recherche, nous nous intéressons plus particulièrement aux données référentielles et nous formulons l'hypothèse qu'elles nourrissent l'activité du concepteur pour la formulation de ses intentions d'ambiances lumineuses durant la phase esquisse. Dès lors, la question devient : comment ces données référentielles peuvent-elles apporter une aide quant à la formulation des intentions d'ambiances lumineuses ? Et quel type de données référentielles pouvons-nous choisir pour favoriser une telle activité ?

1.6 Conclusion du chapitre

Les réflexions proposées tout au long de ce premier chapitre cherchent à circonscrire le champ des problèmes relatifs à la prise en compte de la lumière naturelle dans la conception du projet architectural et en particulier les espaces intérieurs.

La lumière naturelle est une préoccupation omniprésente dans le processus de conception architecturale. Nous avons identifié, dans sa prise en compte dans le projet, trois dimensions :

la dimension d'usages, la dimension esthétique et la dimension technique. Chacune de ces dimensions interroge différemment le rôle de la lumière dans les espaces intérieurs :

- La dimension d'usages : d'un point de vue « usages », le concepteur doit prendre en compte les fonctions des lieux. Ceci permet d'aboutir à des ambiances lumineuses adaptées aux besoins des usagers.
- La dimension esthétique renvoie à la part prise de l'art ou de l'artistique dans la conception des ambiances, ce qui permet d'aboutir à des ambiances lumineuses visuellement « riches ».
- La dimension technique est reliée à l'existence concrète de l'ambiance lumineuse conçue, elle permet d'aboutir à la concrétisation de l'ambiance conçue.

Plusieurs méthodes et outils proposent d'assister la conception des ambiances lumineuses tout au long du processus de conception. Nous avons analysé ces différentes méthodes selon leur implication dans le processus de conception avec un regard critique afin de préciser leurs apports et leurs limites. Cette étude fait apparaître que l'activité de formulation des intentions, lors de la phase d'esquisse, reste encore à explorer. Les méthodes et outils que nous avons pu répertorier sont peu adaptés aux besoins des concepteurs pour accomplir cette activité. C'est pourquoi nous nous focaliserons sur cette activité dans le présent travail de recherche.

Pour formuler leurs intentions d'ambiances lumineuses, nous avons vu que les concepteurs ont souvent besoin de compléter les informations sur le problème par des informations externes. Ces informations, l'architecte les extrait du site, des objets avoisinants, des réglementations (données contextuelles), mais aussi de l'histoire de l'architecture, des photographies de bâtiments, d'une image vue dans un film (données référentielles), etc.

Dans le chapitre suivant, nous examinerons particulièrement l'usage et l'apport des données référentielles dans la conception du projet en phase esquisse afin de proposer une aide adaptée à l'activité de formulation des intentions par la manipulation de données référentielles.

CHAPITRE 2. Références et activité de référenciation dans la conception architecturale

Dans le chapitre précédent, nous avons vu que la phase exploratoire est celle où le concepteur est à la recherche d'inspiration. L'évocation des références est une démarche courante chez les architectes pour avancer dans une telle activité. Dans ce deuxième chapitre, nous allons nous focaliser sur la caractérisation de l'activité de référenciation afin de dégager les aspects liés à son déroulement.

Nous commencerons par aborder les caractéristiques des références dans la conception architecturale. Nous nous pencherons particulièrement sur le rôle d'une part des références du domaine de l'architecture et d'autre part des images dans la formulation des intentions de conception. Ensuite nous procéderons à l'analyse de l'activité de référenciation dans le but de dégager les différentes phases et activités cognitives qui sont mises en jeu. Enfin, nous présenterons une analyse critique de différentes recherches qui ont utilisé les références architecturales dans le développement de méthodes d'assistance à la conception. Nous conclurons ce chapitre par les premières idées qui guideront le développement de notre méthode.

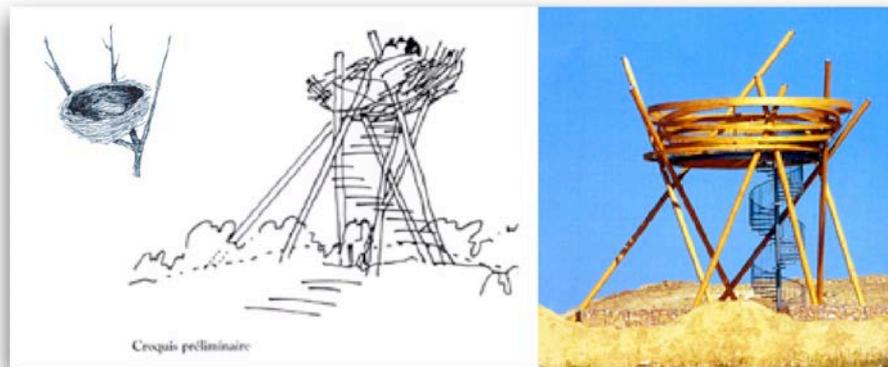
2.1 Les caractéristiques des références dans la conception

Plusieurs travaux de recherche sur le processus de conception ont abordé la problématique des « références » dans l'activité de conception. Guilherme Lassance introduit les références par la notion de « repère » [Lassance '98] : repères pour communiquer avec les autres, repères pour formuler un problème à partir d'un point de vue initial ou pour élaborer et évaluer des solutions de toutes nature. Philippe Boudon [Boudon *et al.* '94] désigne les références comme des influences que le concepteur évoque lorsqu'il est en phase de recherche d'idées. Michel Conan [Conan '94] parle d'un mécanisme premier qui déclenche toute l'exploration ultérieure à la recherche d'idées et de solutions au problème de conception et qu'il nomme « *générateur primaire* ». Selon Bielefeld et El Khouli, les références sont des agents extérieurs qui exercent une action sur l'auteur du projet en éveillant son intérêt et sa créativité [Bielefeld and El Khouli '07]. Kacher [Kacher '05] identifie les références comme des données informatives dont le concepteur s'empare pour mener à bien son projet. Elle définit une référence comme « *un élément porteur d'information(s) qui permet d'apprécier quelque chose qui lui est extérieur* » [Kacher '05].

Ces différentes acceptions concourent à présenter les références comme des éléments porteurs de sens, qui orientent et enrichissent la conception du projet. Ainsi, face à un problème de conception, le recours à des références externes pour suggérer des idées et des éléments de solutions comme pour la résolution des problèmes de conception, doit être considéré comme une posture productive. Mais avant d'approfondir cette étude du rôle des références dans la conception architecturale, étudions tout d'abord des exemples d'évocation de ces références dans quelques réalisations choisies.

La collection « Analogies » réunit dans trois ouvrages une étude d'un ensemble de réalisations montrant l'usage par les architectes, dans leurs projets, de références externes provenant des mondes animal [Bahamon and Pérez '07], végétal [Campello *et al.* '07] et minéral [Bahamon and Pérez '08]. Cette étude relate des recherches d'idées, de concepts ou de solutions associés à différents problèmes de conception. Par exemple, l'ouvrage « *L'architecture animale, analogies entre le monde animal et l'architecture contemporaine* » [Bahamon and Pérez '07] identifie des œuvres d'architectes qui ont été influencées par le monde animal et plus précisément par la morphologie des animaux, leurs structures anatomiques, leurs comportements ou encore leurs habitats (toile d'araignée, nid, ruche...). La Figure 29 et la Figure 30 illustrent deux exemples de réalisations où l'évocation de ce type de références a aidé des concepteurs dans la définition de leurs projets de conception :

- La Figure 29 illustre l'évocation d'un nid d'oiseau comme référence pour la conception d'un observatoire d'oiseaux. Ce dernier, observatoire Vogelnest, montre une ressemblance morphologique avec l'habitat de ces animaux « le nid ». La silhouette de la construction est perçue comme un grand nid disposé dans les branches d'un arbre. La fonction de cet observatoire, mais aussi son emplacement au cœur d'une forêt ont guidé cette analogie avec le nid d'oiseau [Bahamon and Pérez '07].



Freie architekten, l'Observatoire Vogelnest (observatoire d'oiseaux), Allemagne

Figure 29. Le nid d'oiseau à l'origine de la forme de l'observatoire

- La Figure 30 illustre un exemple où le comportement de certains oiseaux a aidé le concepteur à résoudre son problème de conception. Le problème de conception était de transformer une ancienne porcherie construite en 1780 en salle d'exposition. Une remodelisation de la structure originale n'est pas viable. C'est ainsi qu'en s'inspirant de la pratique de certains oiseaux qui « squattent » le nid des autres que les architectes ont décidé de construire une nouvelle structure intérieure en laissant les façades de l'ancienne porcherie intactes pour devenir ainsi une sorte d'enveloppe extérieure [Bahamon and Pérez '07].



FNP Architekten, Saving the bacon, Allemagne

Figure 30. Le comportement de certains oiseaux à l'origine du concept de l'œuvre

L'évocation de références est aussi une pratique courante dans l'activité des architectes de renom à l'instar de Santiago Calatrava ou Le Corbusier.

Pour Calatrava, le corps humain est une source d'inspiration qu'on peut caractériser de dominante. Sa fascination pour le corps humain a largement influencé ses œuvres. Il évoque le corps humain en « position stable » dans la recherche aussi bien formelle que structurelle de ses œuvres (Figure 31) [Jodidio '07].

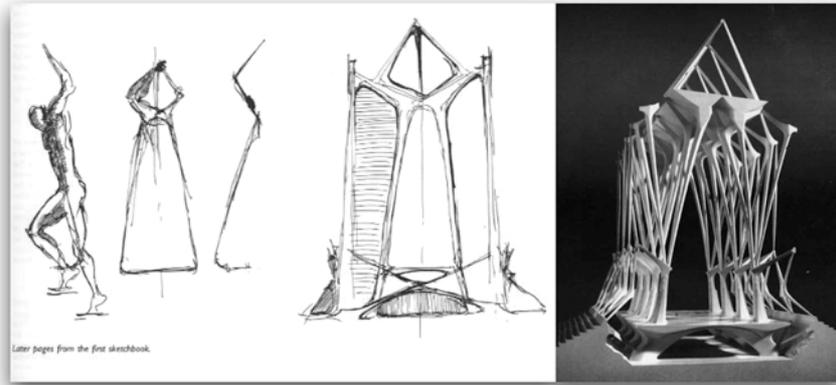


Figure 31. Santiago Calatrava et la référence au corps humain

Dans la conception de la chapelle de Ronchamp, Le Corbusier fait allusion à plusieurs références qui ont alimenté localement la conception de son œuvre [Pauly '97] :

- La toiture : la coque du crabe lui a suggéré aussi bien la forme organique que la composition de la couverture en deux voiles minces. Cette référence à la coque du crabe a pour origine une série d'objets organiques (galets, os, racines...) qu'il se plaît à collectionner lors de ses promenades et qu'il définit comme des « *objets à réaction poétique* ».
- Les tours de lumière : l'origine de la forme donnée aux tours de lumière ainsi qu'à leur principe d'éclairage provient de ses souvenirs de voyages à partir de la villa Adriana à Trivoli. Pour concevoir ces tours de lumière, Le Corbusier exploite le principe de l'arrivée de la lumière dans l'abside : elle est éclairée par une cheminée qui émerge pour capter la lumière. « *De la lumière ! en 1911, j'avais repéré un truc comme ça creusé dans une grotte romaine à Trivoli* » écrit Le Corbusier dans ses carnets de croquis (Figure 32).



Figure 32. Les tours de la chapelle de Ronchamp et la référence à la villa Adriana

- La gargouille, bien qu'elle constitue un élément de détail, a été soigneusement pensée par Le Corbusier. Pour concevoir le profil de cet élément, il s'inspire de la forme d'un barrage (Figure 33). Il réutilise une forme imaginée à grande échelle et l'applique à

l'échelle d'une gargouille servant à l'écoulement des eaux de pluie. On remarque ici la similitude de fonction entre la gargouille et le barrage : déverser les eaux. Mais nous voulons cependant attirer l'attention sur le changement d'échelle de la référence lors de son intégration au projet.



Figure 33. La gargouille de la chapelle de Ronchamp et la référence au barrage de Chastang

L'étude de ces quelques exemples de réalisations nous permet d'avancer quelques caractéristiques sur l'évocation des références dans la conception architecturale.

2.1.1 Référence opératoire et référence implicite

Selon [Boudon *et al.* '94], « *la mise en œuvre de la conception dans un projet se nourrit de toutes sortes de données potentielles...* ». Ainsi, pour un architecte, tout élément est une référence potentielle qui peut être porteur de sens pour un projet, mais par contre complètement banal pour un autre. Une référence potentielle devient une « référence opératoire » lorsqu'elle a joué un rôle actif dans l'élaboration de la solution. Cependant, des études sur le degré de conscience et d'inconscience du concepteur quant au rôle joué par une référence dans l'élaboration de la solution ont induit à la distinction entre référence opératoire (faisant partie d'un processus conscient) et référence implicite (faisant partie d'un processus inconscient) [Bonnardel *et al.* '03 ; Leclercq and Heylighen '02]. En effet, le concepteur peut, sans s'en rendre compte, utiliser des connaissances tacites à partir d'une ou plusieurs références. Dans la suite de ce mémoire, nous désignons par le terme « référence » les références opératoires qui ont joué un rôle actif dans la conception de projet.

2.1.2 La multitude des domaines d'où proviennent les références

Les exemples présentés précédemment montrent que les références peuvent provenir de domaines variés et infiniment vastes : la nature, le monde animal, l'architecture.... La multiplicité des domaines dont les références proviennent a conduit à leur catégorisation en introduisant la notion de distance entre référence (objet source) et objet projeté (objet cible)¹³.

¹³ La majorité de ces recherches se situe dans le contexte des études sur les analogies en conception.

Casakin [Casakin '04] distingue les références qui appartiennent au domaine de l'architecture (en anglais : within domain) et les références qui appartiennent à d'autres domaines comme l'art, la nature... (en anglais : between domain). De la même manière, dans une étude sur la conception de produits, Bonnardel et ses collègues [Bonnardel *et al.* '03] distinguent les sources de références intra-domaines et les sources de références inter-domaines. Dans une publication plus récente, Bonnardel et Marmèche [Bonnardel and Marmèche '05] segmentent les sources inter-domaines en identifiant les sources inter-domaines proches (close inter-domain) et inter-domaines lointains (far inter-domain) en fonction de la proportion des propriétés communes entre la référence et la cible. Nous reprenons l'exemple de la « chaise » cité par les auteurs pour expliciter cette segmentation :

- Une source est jugée intra-domaine si, sans aucune ambiguïté, elle appartient à la catégorie de l'objet à concevoir (objet cible) ; *elle appartient sans ambiguïté à la catégorie des sièges : une chaise de bureau, une chaise de cabinet dentaire, un fauteuil à bascule...*
- Une source est jugée inter-domaine proche si elle garde quelques propriétés de l'objet cible, mais qui ne fait pas partie des plus prototypiques ; *peut être utilisée pour s'asseoir sans forcément faire partie de la catégorie des sièges : un traîneau, un cheval à bascule...*
- Une source est jugée inter-domaine lointain si elle n'appartient pas, évidemment, à la catégorie de l'objet cible ; *une vague, un nid...*

Leclercq et Heylighen [Leclercq and Heylighen '02] catégorisent aussi les sources de référence en étudiant les liens qui peuvent exister entre la source de la référence et l'objet projeté. Ils identifient trois types de liens :

- les liens directs (direct links) existent entre les objets (référence et cibles) provenant d'un même domaine,
- les liens indirects (indirect link) existent entre des objets provenant d'un même domaine mais qui sont reliés à des objets différents (par exemple: considérer la taille d'une personne pour fixer la hauteur sous-plafond),
- des liens extra-contextuels (extra-contextual link) existent entre des objets provenant de domaines différents.

Ces catégorisations ont pour objectif de déterminer l'apport de chaque type de références dans l'activité de conception. Les références définies comme « within domain », intra-domain ou ayant des liens directs avec l'objet cible, renvoient aux références qui sont les plus proches, sémantiquement, de l'objet à concevoir. Elles peuvent apporter des suggestions ainsi que des enseignements qu'aucun autre registre de référence ne peut apporter.

Dans le domaine particulier de la conception architecturale, Guibert [Guibert '92] met en avant cette catégorie particulière de références représentée par les modèles architecturaux et

les identifie en tant qu'« *objets construits ou non, qui par leur proximité programmatique, formelle, constructive ou contextuelle, par leur configuration globale ou partielle, présentent un caractère d'exemplarité positive ou négative pour engendrer l'élaboration d'un projet nouveau* ». Une grande part de l'enseignement est d'ailleurs basée sur cette catégorie de références. Les références à l'histoire de l'architecture et notamment aux «Grands Maîtres» constituent ainsi l'un des fondements de l'apprentissage de l'architecture.

Dans un article paru en 2002, Heylighen et Neuckerman se sont interrogés sur l'usage de ce type de références, considérées comme des « cas », dans des situations réelles de conception architecturale [Heylighen and Neuckerman '02]. En menant des interviews avec six architectes praticiens et enseignants, cette étude conclue que cette catégorie de références est importante bien que tous les architectes n'osent l'admettre ouvertement.

Nous cherchons dans le prochain paragraphe à examiner le rôle particulier de ce type de références dans la conception du projet architectural.

2.1.3 Les références intra-domaine dans l'activité de conception du projet

Comme nous venons de le voir, au début de ce chapitre, les références sont des éléments porteurs de sens pouvant aider les concepteurs dans l'exercice de leurs projets. Les références ayant des liens directs avec la conception architecturale (les modèles architecturaux [Boudon *et al.* '94], les précédents [Oxman '94], les cas [Heylighen '00]) peuvent être nécessaires, voire centrales pour fonder la formulation d'une solution architecturale [Prost '92].

Lorsque le concepteur est face à un problème de conception, il se livre généralement à un va-et-vient entre le contexte, les contraintes du projet (la demande du maître de l'ouvrage) et les procédures référentielles. Ce travail de référencement relève d'une activité personnelle qui peut évoluer selon différents cas de figures ou postures méthodologiques que peut adopter le concepteur [Prost '92] :

- le problème de conception oriente le choix des références ;
- les références orientent la lecture et les opérations qui seront effectuées en regard des problèmes et des paramètres qui les caractérisent. Dans ce cas, « *le problème initial est un prétexte, la donnée obligée mais non déterminante* » [Prost '92] ;
- une articulation est établie entre le contexte du problème de conception et les références. Ce cas de figure détermine une double relation entre les deux entités et non la détermination de l'une sur l'autre.

Selon Robert Prost, les références architecturales peuvent avoir deux natures différentes : substantives (relatives à un objet ou à un style et qui influencent les caractéristiques formelles, fonctionnelles, stylistique, esthétique de la solution architecturale) et procédurales (relatives à une démarche ou à des opérations de conception qui guideront les postures méthodologiques suivant lesquelles la solution sera engendrée). Comme il le pointe lui-même, ces deux types de références ne sont pas exclusives l'une de l'autre.

Lassance [Lassance '95] distingue trois modes d'activation de la référence en architecture :

- L'identification de signes formels communs : elle se traduit par le réemploi de dispositifs ou de dispositions techniques et/ou formelles.
- La reconnaissance de « manières de faire » communes : il s'agit pour le concepteur de réinventer des schémas de composition et des vocabulaires formels appartenant à un architecte ou à une époque donnée, pour répondre au problème posé.
- La référence indirecte : concerne les transferts des formes détournées de leur fonction initiale à partir de deux notions majeures :
 - l'exemplification littérale : qui renvoie à des classes de choses, d'objets, de parties d'édifices, ayant un certain nombre de propriétés minimales communes,
 - l'expression : qui traduit plutôt des sentiments, des idées, des sensations, qui demandent, pour être perçus, un décodage des conventions socio-culturelles appartenant à une société ou à une époque. L'architecte pourra s'exprimer par un vocabulaire se rattachant à des styles ou tendances.

Quels que soient le mode d'activation et la nature des références architecturales, ces dernières peuvent aider et guider les concepteurs dans le choix des chemins de projet qu'ils emprunteront.

Pour illustrer plus concrètement quelques rôles joués par les références architecturales dans la conception de projets, nous renvoyons à une étude d'une conduite de projet¹⁴ réalisée par Conan [Conan '94] dans laquelle il retrace le problème de conception auquel est confronté l'architecte Erdal, et indique clairement le rôle qu'ont joué les références évoquées par cet architecte dans la conception de son projet. À partir de cette étude, nous avons pu identifier au moins quatre rôles différents que peuvent jouer les références architecturales dans la conception du projet :

- Aider à la formalisation des intentions directrices : formuler ou affiner une intention « vague ».
- Suggérer des solutions au(x) problème(s) de conception : problèmes locaux ou globaux.
- Faire émerger de nouveaux problèmes.
- Formaliser de nouvelles idées non exprimées au départ.

¹⁴ Le projet est mené par Erdal, enseignant dans une école d'architecture en France et consiste à concevoir des logements et des commerces sur une parcelle qui est soumise à un règlement très précis concernant la protection de l'identité propre de la commune de Méréville.

Cependant, définir précisément tous les rôles joués par les références architecturales est une tâche difficile. Mais notre but est de montrer, principalement, qu'elles jouent un rôle « catalyseur » et ce, indépendamment des particularités qu'elles peuvent avoir suivant les concepteurs et selon la nature du problème à résoudre. Par ailleurs, nous mettons aussi l'accent sur le fait que le recours à des références architecturales peut constituer aussi un processus d'accumulation de savoir et savoir-faire au sein de la discipline architecturale.

2.2 Démarches cognitives dans l'évocation des références en conception

Lorsqu'on essaye de comprendre comment les références fonctionnent en conception, il est important de connaître les démarches cognitives qui sont impliquées. Les chercheurs qui étudient le rôle des références dans le processus de conception [Bonnardel and Marmèche '05 ; Boudon *et al.* '94 ; Conan '90 ; Gero *et al.* '08 ; Goldschmidt '95 ; Heylighen '00 ; Leclercq and Heylighen '02 ; Oxman '94] reconnaissent principalement deux démarches cognitives : le raisonnement par analogie et la conception à base de cas.

2.2.1 Raisonnement par analogie

L'analogie peut être vue comme un mode de raisonnement ou mécanisme cognitif où la connaissance est transférée d'une situation connue, appelée « situation source », à une autre, appelée « situation cible » qui doit être élucidée ou résolue et ce sur la base de certaines similitudes ou similarités entre les deux situations source et cible [Gentner '83 ; Holyoak and Thagard '99]. Dans la conception architecturale, une situation source correspond à ce que nous appelons référence et une situation cible correspond à ce que le concepteur cherche à concevoir.

Basé sur la nature de la connaissance transférée de la situation source au nouveau problème (situation cible), Gero et Maher, en reprenant la catégorisation de Carbonell¹⁵, proposent deux catégories de pensées analogiques : l'analogie transformationnelle et l'analogie dérivationnelle [Gero and Maher '91]. L'analogie transformationnelle adapte la solution du problème source au nouveau problème et l'analogie dérivationnelle applique les processus et méthodes du problème source pour résoudre le nouveau problème. Dans les deux cas, des relations entre le nouveau problème et le problème source peuvent être trouvées. Sur la base

¹⁵ Carbonell, J. G. 1982. "Towards a computational model of metaphor in common sense reasoning." Proc. Fourth Annual Meeting of the Cognitive Science Society.

Carbonell, J. G. 1983. "Learning by analogy: formulating and generalising plans from past experience." In R. S. Michalski, J. G. Carbonell and T. M. Mitchell (eds), *Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach*. Palo Alto, California: Tioga.

Carbonell, J. G. 1986. "Derivational analogy: a theory of reconstructive problem solving and expertise acquisition." In R. S. Michalski, J. G. Carbonell and T. M. Mitchell (eds), *Machine Learning II: An Artificial Intelligence Approach*, Los Altos, California: Morgan Kaufmann.

de ces relations, le nouveau problème peut être mieux compris ou une nouvelle stratégie de résolution de problème peut être établie. Ce mode de raisonnement est particulièrement adapté pour la résolution d'un problème inhabituel dans lequel les connaissances disponibles sont faibles.

Selon Edgar Morin, « *la connaissance par analogie est une connaissance du semblable par le semblable qui détecte, utilise, produit des similitudes de façon à identifier les objets ou phénomènes qu'elle perçoit ou conçoit* » [Morin '86]. Les similitudes pouvant être établies entre source et cible peuvent guider différents types d'analogies. Edgar Morin identifie quatre types d'analogies [Morin '86] :

- *l'analogie de proportions et de rapports comme dans la comparaison entre la relation apparente du soleil autour de la terre et celle des aiguilles d'une montre,*
- *l'analogie de forme ou de configuration comme celle entre les organismes des poissons et des cétacés,*
- *l'analogie organisationnelle et fonctionnelle comme celle qui permet d'associer les systèmes biologique et social,*
- *des analogies libres, spontanées ayant valeur suggestive, évocatrice, affective, comme les métaphores poétiques littéraires et celles du langage quotidien.*

Particulièrement dans l'étude de l'analogie dans le domaine de la conception architecturale, Liao identifie quatre types d'analogies [Liao '09] :

- analogie de propriété : transfert de la qualité ou des caractéristiques de l'objet source
- analogie de forme : transfert de l'apparence ou de la forme
- analogie de fonction : transfert de la fonction spatiale
- analogie de structure : transfert de la relation structurelle

Il importe de noter qu'entre un objet source et un objet cible différents types d'analogies peuvent être identifiés ou établis. Ces types d'analogie peuvent renseigner sur la nature des éléments empruntés à partir des situations sources. Ce qui implique qu'une même source peut servir à des analogies différentes selon le problème de conception.

Les chercheurs qui étudient plus spécifiquement le processus de conception reconnaissent l'efficacité pratique des mécanismes analogiques [Bonnardel and Marmèche '05 ; Conan '90 ; Goldschmidt and Smolkov '06]. Une étude empirique réalisée par Leclercq et Heylighen confirme que le raisonnement par analogie est très fréquent, voire permanent tout au long du processus de conception ainsi que son apport positif dans la résolution d'un problème de conception [Leclercq and Heylighen '02]. Pour cette étude, les auteurs ont reproduit une situation de conception avec 3 architectes dont l'exercice de conception est de concevoir l'intérieur d'un bateau de plaisance en utilisant différentes images (sources d'analogies

potentielles) mises à leur disposition. À l'issue de cette étude, les auteurs ont pu établir une moyenne de 5,8 analogies réalisées par heure et par concepteur (au total, 44 analogies réalisées par les 3 sujets ont été identifiées). Bien qu'il existe une grande variabilité individuelle (4,8 ; 6,0 et 6,8 analogies/heure), le raisonnement par analogie peut être identifié comme un trait majeur du processus cognitif des concepteurs. D'autre part, 75% des analogies réalisées ont fourni des idées qui permettaient de poursuivre de manière constructive la résolution du problème. Cette étude confirme que l'activité de conception, par l'évocation de références, implique largement le raisonnement par analogie.

2.2.2 Raisonnement à base de cas

Le principe du raisonnement à base de cas est simple. Il est issu d'une vision alternative du raisonnement humain. Il se base sur l'utilisation des cas connus appelés « cas sources » pour résoudre de nouveaux problèmes appelés « cas cibles ». L'origine de l'analyse du raisonnement à base de cas vient des travaux de Schank et Abelson à l'Université de Yale sur la théorie de la mémoire dynamique et l'apprentissage [Schank and Abelson '77]. Cette théorie explique que la plupart des personnes améliorent leur capacité à résoudre des problèmes grâce à leurs expériences acquises. Ces expériences sont sauvegardées dans la mémoire sous la forme d'ensembles « scripts » de situations stéréotypées. Face à de nouvelles situations, nous cherchons les scripts qui en sont les plus proches.

Le raisonnement à base de cas a été décrit comme une méthode de résolution de problème dans le domaine particulier de la conception architecturale. Cependant, on ne parle plus de raisonnement à base de cas mais de conception à base de cas (Case Based Design - CBD) où un cas est une réalisation architecturale existante proposée par un concepteur en réponse à un problème donné. Le but de l'approche est de permettre à un concepteur de comprendre voire de résoudre son problème de conception en cours (cas cible) par la réutilisation d'une démarche passée (cas source). Il s'agit d'une logique d'analogie reproductive.

Lorsqu'un concepteur est confronté à un problème de conception, il se *remémore* un ou plusieurs cas similaires ou proches de la description de son problème selon les aspects qui l'intéressent et qui sont décrits dans les cas sources : la forme, le concept utilisé, l'organisation spatiale... Chacun de ces aspects peut être totalement ou partiellement repris par un concepteur [Heylighen '00]. Cette activité nécessite de la part du concepteur une étude poussée de chaque cas rencontré afin de dégager les aspects ayant des similarités avec son problème de conception en cours. La manipulation du cas ou des cas sélectionnés permet au concepteur de dégager une connaissance susceptible de l'aider dans la résolution de son problème de conception. Nous pouvons ainsi remarquer que la conception à base de cas est fondée sur une logique reproductive où les cas représentent des solutions à caractère exemplaire pouvant être réutilisées dans de nouvelles situations de conception.

Ainsi, le raisonnement à base de cas peut être vu comme une forme de raisonnement par les références où celles-ci se présentent sous forme de « cas ». Un cas est plus structuré qu'une référence. Il se définit comme une expérience antérieure décrivant un problème et la solution qui lui a été appliquée [Main et al. '00]. Leur évocation en conception architecturale apporte des connaissances utiles pour la résolution des problèmes de conception.

2.3 Les images références

Dans notre travail de recherche, nous nous interrogeons sur le rôle des références architecturales dans la conception des ambiances lumineuses et nous limitons délibérément notre champ d'investigation à celles qui correspondent à des réalisations architecturales construites. Nous émettons l'hypothèse que le recours à cette catégorie de références dans la conception particulière des ambiances lumineuses peut apporter une aide aux concepteurs. Nous estimons en particulier que les « jeunes architectes » ayant une expérience limitée de la conception pourront bénéficier de ce type de références de manière à étendre leur exploration des idées de solutions possibles, à affiner leurs problèmes de conception et à formaliser rapidement des idées pertinentes, ce qui permet, par ailleurs, d'enrichir leurs compétences de manière continue.

Lorsque les architectes évoquent ce type de références, celles-ci peuvent provenir de livres ou revues spécialisés, de conférences sur l'architecture, d'Internet ou de leurs visites de bâtiments... Dans tous ces cas, les images jouent un rôle important voire prépondérant dans la transmission du savoir architectural.

Plusieurs significations peuvent être données au mot « image » et ce, selon sa signification : image médiatique, image de synthèse, ou encore, image réelle, image visuelle, image mentale, image virtuelle... Pour ne pas alourdir notre exposé, nous ne dissèrerons ni sur toutes les variantes de sens que le mot « image » peut couvrir ni sur les différentes doctrines concernant l'image et la figuration visuelle [Barthes '64 ; Edeline *et al.* '92]. Mais il importe de remarquer que le point commun entre les différentes significations des images semble être celui de considérer l'image d'abord comme quelque chose qui ressemble à quelque chose d'autre [Joly '93]. Nous désignons alors l'image comme une représentation dont la fonction est d'évoquer et de signifier autre chose qu'elle-même. Lorsque nous parlons d'images références, le représenté de l'image est utilisée comme référence ou encore, l'image correspond à une forme de représentation particulière selon laquelle les références sont évoquées.

Guibert [Guibert '87] attribue à l'image une place importante dans la conception architecturale en tant que matière du projet. Elle constitue un élément actif de la pensée visuelle. Plusieurs études empiriques se sont interrogées sur l'usage des images comme références et particulièrement comme sources pour le raisonnement analogique. Ces études ont apporté des réponses en faveur de l'hypothèse suivante : l'évocation d'images référentielles peut aider les concepteurs dans la formulation de leurs idées de conception et améliorer leur créativité.

Dans une expérimentation réalisée avec 24 étudiants en architecture et en design industriel, Goldschmidt and Smolkov [Goldschmidt and Smolkov '06] ont montré que l'évocation d'images durant les premières phases de conception a un impact positif sur la **qualité** des idées développées. Ils ont proposé aux sujets sélectionnés de concevoir une fontaine à eau en les divisant en deux groupes : l'un disposait de stimuli visuels (les sujets sont placés dans une pièce dans laquelle est accroché, sur un large tableau, deux douzaines de photographies et de dessins en noir et blanc), l'autre non (les sujets sont placés un espace similaire, mais sans les stimuli visuels). Les sujets devaient répondre à ce problème de conception individuellement et en temps limité. L'évaluation, par des personnes expertes, des idées développées a montré que les solutions générées dans un contexte de stimuli visuels étaient plus créatives que celles générées sans stimuli visuels.

Dans une autre expérimentation, bien que réalisée avec un nombre réduit de participants (3 architectes) Leclercq et Heylighen ont montré que l'utilisation des images par les concepteurs a un impact positif sur la **quantité** des idées évoquées [Leclercq and Heylighen '02]. Les architectes questionnés devaient concevoir l'intérieur d'un bateau de plaisance en utilisant des sources d'inspiration mises à leur disposition (images intra-domaine et images inter-domaines).

Dans toutes ces études, les auteurs soutiennent que les images ou informations visuelles sont importantes dans l'activité de conception parce qu'elles constituent une matière importante sur laquelle s'appuie le raisonnement par analogie.

Kacher [Kacher '05] a aussi vérifié empiriquement l'apport des images références durant les premières phases de la conception architecturale. Il a été demandé à sept architectes de concevoir une structure en bois recouvrant le bassin d'un complexe sportif en utilisant un outil logiciel¹⁶ pour rechercher des références imagées. L'outil propose une base de références imagées ayant des liens directs avec le problème de conception proposé, à savoir des ouvrages en bois. Les architectes devaient répondre à cette tâche de conception individuellement et en temps limité en produisant une première esquisse sans l'utilisation des références et une esquisse finale présentant la solution retenue après la consultation des références. La comparaison entre les deux esquisses a montré que les références imagées visualisées orientent efficacement la résolution de problèmes durant les premières phases de conception (phase d'esquisse). Elles peuvent aider les concepteurs dans la résolution de leurs problèmes de conception en élaborant, développant et enrichissant les premières idées développées au départ, à faire émerger de nouveaux problèmes ou encore à reformuler leur problème de conception. Cette étude valide le rôle des images dans la conception et en particulier les images ayant des liens directs avec le problème de conception.

Toutes ces études suggèrent que les concepteurs (architectes et designers) profitent des représentations visuelles qui peuvent potentiellement déclencher des idées ou mener à des

¹⁶ L'outil sera présenté dans la section 2.7.2

idées plus créatives et ce par un raisonnement analogique. Ainsi les représentations visuelles prises pour références deviennent des stimulations dans leurs exercices de conception.

Comme nous venons de le voir, les représentations visuelles sont utiles et stimulantes principalement durant les premières phases de conception. Cependant, nous ne pouvons pas prétendre à l'impact positif des références imagées dans la résolution de toutes les tâches de conception.

Ainsi nous formulons l'hypothèse suivante : le recours à des images représentant particulièrement des réalisations architecturales dans la conception des ambiances lumineuses sont stimulantes pour l'activité du concepteur particulièrement durant les premières phases de conception.

Dans le but de proposer une méthode d'aide à l'activité de conception des ambiances par les images références, nous tentons une compréhension de l'usage des images comme références. Nous proposons d'abord d'étudier l'image comme élément actif du raisonnement visuel dans la formulation des intentions et idées de conception. Nous étudierons ensuite les aspects de l'activité de référencement notamment dans un mode de raisonnement analogique afin de dégager les opérations et activités cognitives qui sont mises en œuvre dans une telle activité. Nous nous attacherons à comprendre comment les images références servent-elles d'éléments stimulants à la création ? Comment sont-elles convoquées par l'architecte ? Comment les interprète-t-il ? Comment se les approprie-t-il ?

2.4 Images et pensée visuelle en conception

Goldschmidt souligne que la pensée visuelle (en anglais, visual thinking) est une production de pensée via les images visuelles [Goldschmidt '94]. Ces images visuelles¹⁷, peuvent avoir des types différents selon qu'elle sont des images perçues directement par l'œil, envisagées par l'esprit ou créées par la main. Conan souligne l'importance de cette association entre l'œil, l'esprit et la main dans un mode de pensée visuelle. Il déclare que « *la conduite de cette forme de pensée se gagne par l'expérience et cette expérience peut être acquise en développant l'association de l'œil, de l'esprit, et de la main. L'œil permet la découverte du monde et son interprétation, l'esprit permet d'explorer de nouvelles combinaisons des éléments de cette interprétation, la main permet de construire une extériorisation de cette présentation à l'esprit et enfin l'œil permet de l'interpréter en la resituant dans le champ de l'expérience visuelle* » [Conan '90].

Les images, perçues par l'œil, créées par l'esprit ou produites par la main ont des fonctions différentes dans la formulation des idées de conception dans un mode de pensée visuelle.

¹⁷ Nous employons le terme image visuelle en opposition à image sensorielle, olfactive... Une image visuelle peut être aussi bien réelle que mentale.

2.4.1 Les images perçues, lues en perception

Nous avons abordé plus haut (Cf. Paragraphe 2.3) le rôle des images perçues (images références) dans les premières phases de conception qui constituent des connaissances pertinentes à la résolution des différentes tâches de conception. Dans ce paragraphe, nous nous attachons à comprendre les raisons de l'efficacité des images comme références dans la formulation des idées.

L'une des premières particularités des images est que leur lecture¹⁸ semble une activité tout à fait naturelle qui ne demande apparemment aucun apprentissage [Joly '93]. Le regard de l'architecte est en plus façonné par une pratique professionnelle au cours de laquelle il apprend à regarder, à voir et à mémoriser des images. C'est par cet apprentissage d'une mémoire visuelle « nécessaire » que se transforme progressivement le regard de l'architecte. Son « œil » devient professionnel ayant une sensibilité importante et une compétence développée pour analyser les différents éléments composant l'espace observé et lui permet par « habitude » de revoir ces mêmes éléments à travers les images perçues (on parle principalement des images représentant des œuvres architecturales). Les architectes développent une intelligence spécifique nommée visio-spatiale [Gardner '92]. Cette capacité leur permet de se projeter dans l'espace représenté, de l'imaginer et de le vivre mentalement. Les images font ainsi partie de l'univers culturel du concepteur-architecte.

Dans le contexte de la communication de l'information, Marie Barry relie l'efficacité des images d'une part à leur nature visuelle, et d'autre part à leur langage [Barry '97]. Dans une interview [Grundmann and Arnheim '01], Arnheim déclare que l'essence des images est leur capacité à communiquer et à transmettre du sens et ce, à partir de l'expérience sensorielle. Leur perception fait référence au domaine le plus optique de l'expérience visuelle : la vision. Conan avance que « *la vision fournit non seulement une possibilité de représenter le monde, de le percevoir, mais aussi et surtout une manière de l'interpréter, d'adapter nos gestes aux formes et aux changements de l'environnement qu'elle nous permet d'appréhender et d'anticiper* » [Conan '90]. Cette citation met en évidence le double rôle de la vision comme un médium de la connaissance. Elle détermine à la fois le mode d'accès à l'information et le traitement de cette information. La vision constitue, selon Conan une forme inconsciente de l'intelligence [Conan '90]. Ainsi, la vision implique non seulement la reconnaissance de ce que nous observons, mais permet aussi de l'interpréter et de le comprendre. Barry désigne la vision comme la forme la plus intellectuelle de la perception [Barry '97]. La vision est sélective, hiérarchique, focalisée... Elle permet aussi de distinguer finement des différences entre des objets semblables par leur forme ou leur aspect. Elle juge instantanément, généralement au premier regard. Le mouvement des yeux permet de « balayer » l'image, de lire et interpréter quasiment instantanément son contenu [Arnheim '04].

¹⁸ Martine Joly [1993] emploie le terme de lecture des images, nous préférons néanmoins l'interprétation ou encore l'analyse des images.

L'image est une forme de langage ou de discours qui est différente de celle du langage verbal. D'abord, ces deux langages ne sont pas assimilés de la même manière. Les mots transmettent de l'information de manière séquentielle et successive. Par contre, l'image transmet un message global instantané et ne nécessite pas de sens préférentiel dans sa lecture [Kacher '05]. L'image permet de considérer simultanément les éléments (par exemple : parois et sols, plafond et matériaux, aménagement de l'espace...) que les mots distinguent. En utilisant uniquement le langage verbal, on décrit abstraitement une scène. Cette description est elle-même une interprétation. Par contre, l'image de la scène permet au sujet qui regarde de se transposer dans cette scène et de la vivre mentalement. Selon Arnheim [Arnheim '04], le même mot peut renvoyer à des représentations visuelles différentes. Il cite l'exemple du mot « arbre » qui peut renvoyer à plusieurs types d'arbres différents selon leurs couleurs leurs tailles, leurs formes... ainsi, avec le langage verbal on a besoin de préciser et de distinguer les choses alors qu'avec la perception ceci est possible de manière quasi naturelle et instantanée.

Un mot peut être très évocateur. Cette qualité particulière du mot lui confère la possibilité de se constituer en référence. Cependant, une étude réalisée par Malaga montre que les images sont une meilleure source de créativité que les mots. L'auteur a expérimenté l'impact des stimuli visuels et des mots sur la créativité et a conclu que les stimuli visuels entraînent une créativité plus grande que les mots ou que les mots et les images combinés [Malaga '00]. En citant les travaux de Shepard¹⁹, Malaga suggère différentes raisons qui font que l'image influence la résolution créative des problèmes en comparaison au langage verbal [Malaga '00]. Il note que l'usage des images fournit une alternative à la manière traditionnelle de penser basée sur le langage verbal qui est largement linéaire et séquentielle. Leur contenu riche et les liens aux sources externes qu'elles évoquent peuvent suggérer des idées et diriger la pensée ce qui n'est pas forcément le cas du langage. Il remarque aussi que les images sont plus susceptibles de produire des affects positifs et sont plus motivantes que le langage. Cependant, il faut noter que selon le contexte, le langage verbal peut orienter la pensée ou guider la perception d'un élément. Il influence, de ce fait, l'organisation de la pensée visuelle.

Une autre caractéristique de l'image qu'il est important de citer ici est ses multiples interprétations possibles. Une image est souvent porteuse d'une quantité significative d'informations. Ces informations peuvent être reçues de manières qualitativement diverses. Barry soutient que ce que nous percevons est essentiellement ce que nous voulons voir [Barry '97]. En [Boudon et al. '94] les auteurs expliquent que la perception visuelle que nous avons des choses (et notamment des images) est tributaire pour une part de nos expériences et connaissances, voire de nos attentes. Cette variété repose en partie sur le fait que « *l'œil n'est pas innocent* ». Nous sommes amenés à comparer ce que nous voyons à des situations que nous avons rencontrées et intériorisées précédemment. L'information dégagée est essentiellement utile au plaisir et à l'intérêt personnel [Conan '90].

¹⁹ Shepard, R.N. (1978), Externalization of mental images and the act of creation, in: B.S. Coffman, W.E. Randhawa (Eds), Visual Learning, Thinking, and Communication, Academic Press, New York, pp. 133-189.

L'image peut être perçue dans sa totalité ou découpée en « morceaux de connaissances » et ainsi être perçue de manière partielle. Cette diversité de perceptions personnelles est un facteur essentiel dans la mesure où elle favorise les raisonnements divergents et potentiellement l'apparition d'hypothèses de projet.

2.4.2 Les images mentales

La notion d'image mentale est souvent utilisée dans le domaine des psychologies cognitives et de la communication pour désigner la représentation cérébrale mémorisée ou imaginée d'un objet physique, d'un concept, d'une idée ou d'une situation²⁰. Selon Lebahar, elle renvoie tout simplement à ce que l'architecte a dans la tête [Lebahar '83]. Galina [Gallina '06] fait néanmoins remarquer que « *le terme même d'« images mentales » ne doit pas induire à penser que la seule modalité en jeu serait la vision* ». D'autres formes d'images mentales peuvent être sollicitées qui répondent à des caractéristiques comparables, notamment sur le plan fonctionnel : images auditives, olfactives ou gustatives²¹. Cependant le plus souvent le mot « image mentale » dans son usage le plus commun désigne les images mentales visuelles. Concernant ce type d'images mentales Piaget différencie deux types : les images reproductrices et les images anticipatrices (cité dans [Lebahar '83]). Les images mentales reproductrices représentent des objets ou événements absents que le sujet a déjà rencontrés ou vécus (ceci revient à restituer en pensée quelque chose qui a été déjà vue). L'architecte suisse Peter Zumthor évoque ce type d'images mentales : « *quand je pense à l'architecture, des images remontent en moi. Beaucoup de ces images sont en rapport avec ma formation et mon travail d'architecte. Elles contiennent le savoir sur l'architecture que j'ai pu accumuler au cours du temps* » [Zumthor '06]. Les images mentales anticipatrices représentent des objets ou des événements non-perçus antérieurement. Elles « *constituent un modèle interne des objets susceptibles d'être utilisés à des fins de simulation en l'absence des objets ou en l'absence de possibilités d'intervention physique sur les objets* » [Lebahar '83].

Produire des images mentales est un processus naturel que nous connaissons tous. Selon Gallina, ces images mentales constituent un outil de la pensée et non pas un composant de la pensée [Gallina '06]. Elles alimentent la pensée du concepteur. Dans une situation de conception de projet, les images mentales aident les concepteurs à ne pas se perdre dans le désert abstrait de leurs hypothèses, à ne pas perdre le contact avec les réalités concrètes de l'architecture [Zumthor '06]. Ainsi, les images mentales anticipatrices créées par le concepteur dans son esprit peuvent être utilisées comme une préparation de l'action non encore effectuée ou comme un terrain d'exploration d'où doivent émerger des pistes, des esquisses. Elles peuvent aussi constituer une anticipation à la création d'un objet architectural.

²⁰ http://fr.wikipedia.org/wiki/Image_mentale.

²¹ De même que l'on peut se représenter visuellement l'image d'un éléphant, il est possible en effet d'« imaginer » entendre la voix d'un être cher, sentir le parfum du jasmin ou encore déguster un morceau de chocolat.

L'image mentale n'est qu'une image de départ, imprécise et sommaire, elle est aussi instable. Elle peut subir des transformations et des enrichissements au fur et à mesure que les idées du concepteur se précisent. Cette propriété de l'image mentale est soulignée par Pierre Riboulet lorsqu'il parle de la naissance d'un hôpital : « *l'image qui s'est mentalement formée le premier jour est toujours là, elle bouge, s'étend, se ramifie, prolifère ou se rétracte, mais c'est elle encore, comme le moteur, la force qui génère et sur laquelle viennent s'appliquer l'analyse, l'intelligence, la sensibilité* » [Porada '93]. L'image mentale peut être considérée comme un repère principal de la création. Elle se matérialise dans un schéma, une esquisse, une maquette ou une image. Ainsi, nous pouvons dire que les images mentales (anticipatrices) jouent un rôle de pont entre la perception et la production d'idées via les croquis.

2.4.3 Les images produites en conception : dessins et croquis

Nous avons déjà évoqué dans le chapitre précédent (*cf.* Section 1.3.1 p.34) les fonctions du dessin dans le processus de conception. Ce paragraphe concerne particulièrement le rôle spéculatif du dessin qui sert les premières phases de conception.

L'acte de dessiner en conception est une manière de penser [Marda '97]. Lawson indique que les concepteurs ont beaucoup de mal à penser sans un crayon dans les mains [Lawson '94]. Les premières idées tangibles du concepteur prennent forme la plupart du temps par des esquisses ou des croquis réalisés à la main. Mais ces croquis ne sont pas seulement une représentation d'une idée. Ils font partie intégrante du travail de création qui s'achève dans l'objet construit [Zumthor '06]. Sabine Porada [Porada '05] met en avant cette fonction du croquis et le présente comme un outil de conceptualisation à travers duquel il est possible pour l'architecte d'expérimenter diverses hypothèses conceptuelles. L'objectif du croquis n'est pas la figuration réaliste de l'espace à concevoir, mais la recherche de cet espace qui n'est pas encore nettement « imaginé ». Il a pour fonction de nourrir la vision d'une idée nouvelle. Lebahar le définit comme « *l'utilisation d'une représentation provisoire du problème, le modèle de simulation graphique, pour exprimer, tester, modifier et interpréter, avant de les juger définitives, les hypothèses de modèle d'objet* » [Lebahar '83].

Conan présente le croquis comme une méthode commode, à la disposition de l'architecte pour extérioriser sa pensée [Conan '90]. Dans ce cas, l'image visuelle envisagée par la pensée (image mentale anticipatrice) est transformée par l'intelligence manuelle du dessinateur en une forme qui peut être conservée indéfiniment qu'il est possible d'examiner à partir d'une série de critères supplémentaires sans risquer de la perdre. Les croquis permettraient donc de garder de façon permanente des traces de la pensée et facilitent la création de nouvelles idées visuelles. « *Cet aspect est sans doute essentiel parce qu'il nous permet d'envisager le processus d'exploration heuristique que permet le dessin* » [Conan '90].

Le croquis est adressé par le concepteur, avant tout, à lui-même [Porada '05]. Il est une concrétisation pour l'œil des hypothèses élaborées par la pensée. Ainsi, à travers les croquis, s'établit une conversation permanente entre l'architecte et lui-même et entre sa pensée mentale

intérieure et son expression extérieure. Ce potentiel conversationnel des croquis est souligné par l'architecte/ingénieur Santiago Calarava : « *pour commencer, on visualise la chose mentalement, cela n'existe pas sur le papier, mais on commence alors à faire de simples croquis et à organiser les choses, et ensuite on procède couche par couche... c'est vraiment un dialogue*²² » (cité dans [Lawson '06]). Ainsi, la production de croquis permet une activité réflexive permettant aux idées mentales d'être exprimées, réfléchies et contrôlées [Cross '02].

Les croquis sont aussi considérés comme des images opératives pour la pensée créatrice [Conan '90 ; Lebahar '83]. En effet, l'indétermination du croquis et son imprécision offrent à l'architecte l'avantage de doser la précision de ses choix. Il peut ainsi contrôler ce qu'il exprime graphiquement et n'introduire la précision que progressivement. Ceci évite d'emprisonner l'imagination des concepteurs par des précisions dogmatiques.

Ainsi, il est clair que les dessins et les croquis participent pleinement dans le travail de conception. Leur rôle dans la matérialisation de la pensée mentale du concepteur est particulièrement étayé. Ils permettent d'envisager les implications matérielles et perceptives des idées imaginées mentalement, de les extérioriser dans l'espace graphique, de les fixer pour voir "ce que cela donne". C'est une fonction de contrôle visuel.

2.4.4 Synthèse

La Figure 34 synthétise les interactions et les corrélations entre les différents types d'images intervenant dans un mode de pensée visuelle.

²² « *To start with you see the things in your mind and it doesn't exist on paper and then you start making simple sketches and organising things and then you start doing layer after layer... it is very much a dialogue* » Lawson B., (2006), *How designers think*, Elsevier, Great Britain, 321 pp. (p 279)

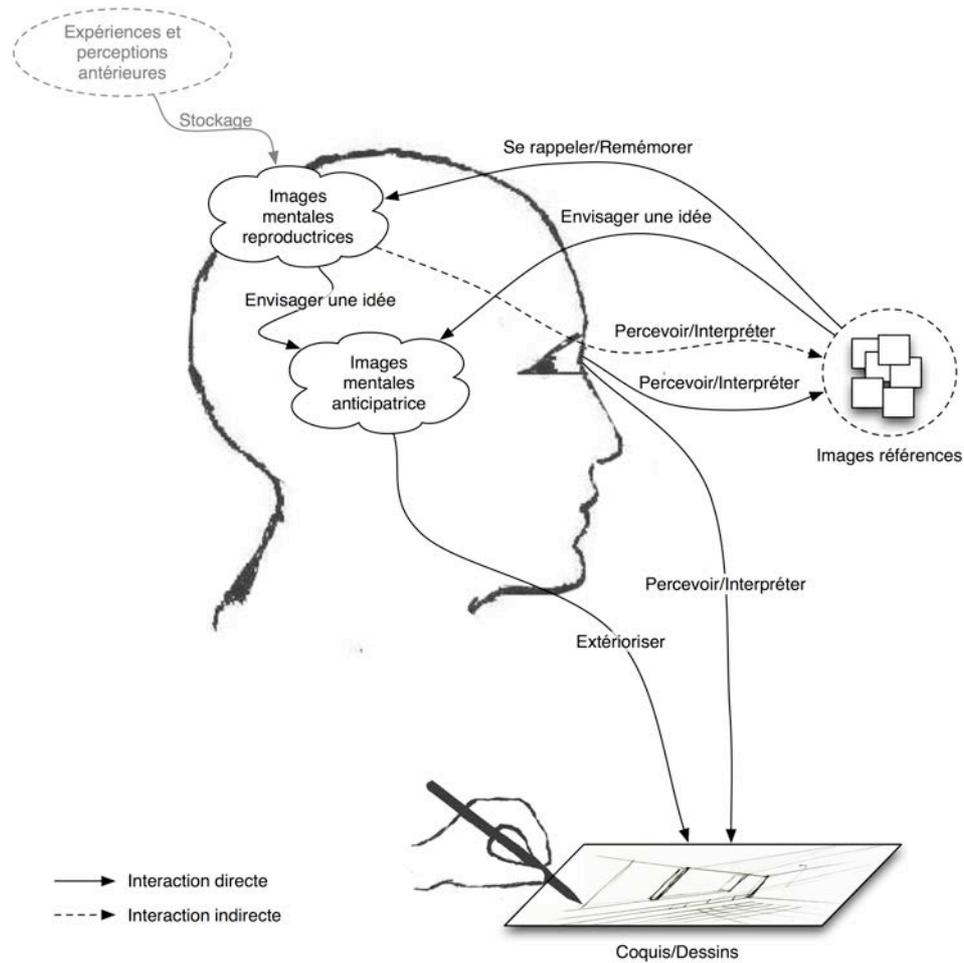


Figure 34. Interactions cognitives des différents types d'images dans le développement des idées de conception

2.5 Processus de raisonnement dans l'évocation des images références

La conception à base de cas CBD est fondée sur une logique reproductive orientée vers la résolution des problèmes de conception. Dans le cas de notre étude, les références sont à considérer comme des sources d'inspiration. Leur évocation en conception doit permettre aux concepteurs de formaliser leurs idées et intentions de projet. Ceci nous conduit à une proposition différente et complémentaire des systèmes proposant des méthodes de CBD²³.

Si nous acceptons la notion de raisonnement analogique comme un transfert de connaissances entre des éléments sources (références) et des éléments cibles (intentions de projet) et les images références comme une matière importante sur laquelle s'appuie le raisonnement par analogie, il faut proposer des mécanismes favorisant ce type de raisonnement.

Dans cette partie, nous tentons de comprendre comment l'évocation des images références fonctionne dans les phases initiales de la conception architecturale, c'est à dire dans la phase

²³ Un exemple de ces systèmes sera étudié dans le paragraphe 2.7.1.

de développement des idées et de formalisation des intentions de conception. Pour ce faire, nous cherchons à modéliser le processus de référenciation. Ceci implique de déterminer les différentes phases et opérations cognitives mises en œuvre dans un tel processus afin de proposer une méthode permettant de prendre en compte les différents aspects de l'activité de référenciation en conception.

Nous commencerons par le cas général en abordant les composantes et les étapes de la démarche de raisonnement par les références dans son acception générale. Ensuite nous nous intéresserons plus en particulier au processus de raisonnement par analogie.

2.5.1 Démarche de raisonnement par les références, cas général

En schématisant, nous considérons que la mise en œuvre du raisonnement par les références dans la conception (Figure 35), prend comme entrées, d'une part les références et d'autre part, un ou plusieurs problèmes de conception à résoudre, une situation ou un contexte et l'expérience du concepteur et aboutit (en sortie) à l'émergence de concept(s), d'idée(s) ou de solution(s) au problème posé et à l'enrichissement de l'expérience du concepteur.

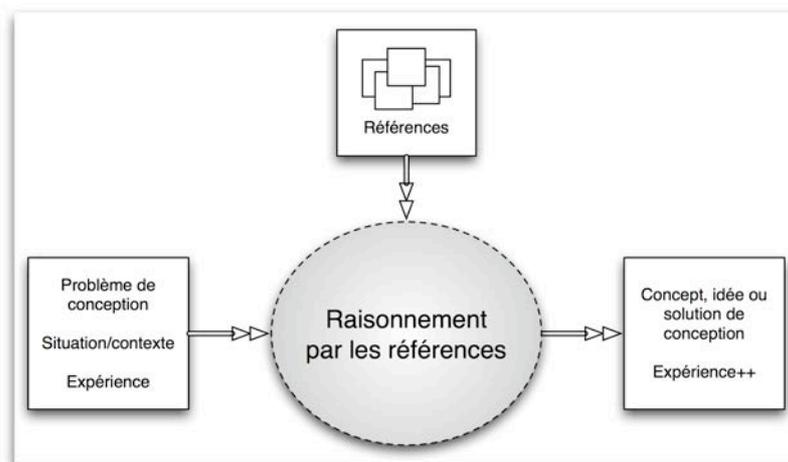


Figure 35. Mise en œuvre du raisonnement par références dans la conception

Lorsqu'un concepteur évoque des références pour la formulation de ses intentions et la résolution de ses problèmes de conception²⁴, sa pensée oscille entre le contexte du problème analysé et l'exploration des idées ou solutions suggérées par ces références et jugées possibles en rapport au problème considéré. Dans une telle activité, Guibert identifie des actions de comparaison, d'identification et d'évaluation qui « *tendent à rapprocher une chose d'une autre afin de lui conférer quelques-unes, sinon toutes, de ses valeurs ou propriétés* » [Guibert '92]. Nous pouvons donc considérer le raisonnement par les références à travers la notion

²⁴ On différencie ici une situation de projet et une situation de réflexion dans une phase de veille. On limite notre intérêt à l'usage des références dans le contexte de production de projets.

d'assimilation sélective entre un problème de conception et des références extérieures au contexte. De cette dynamique interactive naissent des éléments de réflexion qui permettent de formaliser les intentions et les idées génératives du nouveau projet.

Cependant, le transfert de connaissances entre références et projet ne doit pas être vu comme une reprise directe des éléments. Il demande, au contraire, un réel effort de compréhension, d'interprétation et de traduction des objets pris pour référents. Ce transfert de connaissances dépend notamment de l'expérience du concepteur et de sa capacité interprétative. Guibert cherche à défendre la valeur créative des références dans le processus de conception contre l'acception souvent négative attachée à la notion de « copie ». Il traduit l'évolution de la référence à la solution sous les termes de *processus de différenciation esthétique* [Guibert '92]. En effet, il s'agit pour l'architecte d'étudier le cadre dans lequel le projet doit voir le jour et d'essayer de comprendre comment un bâtiment ou une vision peut s'inscrire dans ce contexte, puis d'en retirer des éléments de réflexion. Le processus de différenciation esthétique s'opère tout d'abord par un rapprochement entre le projet et la référence, puis par un éloignement progressif où le concepteur s'approprie les éléments empruntés à la référence. Ce processus de différenciation esthétique s'appuie principalement sur des procédures d'ajustement du motif ou des éléments « importés » au contexte du projet [Lassance '95].

Dans le contexte de cette étude, il nous a paru intéressant de citer le point de vue d'un architecte de renom quant aux activités du raisonnement par les références. En s'intéressant à la manière qu'a Le Corbusier de projeter, M. Besset (cité dans [Pauly '80]) nous donne un aperçu sur les activités du processus de référenciation utilisé. Il fait notamment une différence entre trois activités singulières : « *regarder et voir, en distinguant soigneusement entre regarder qui est simplement noter, recueillir, engranger, et voir qui est déjà comprendre, dégager des rapports, ou comme il disait encore classer ; ensuite seulement inventer et créer* ». Ces différentes activités ont été transcrites par Le Corbusier dans un schéma figuré sur ses carnets de croquis (Figure 36). Il relie « regarder » avec « l'individu, la personne », « voir » avec « le phénomène », « observer » avec « l'individu, la personne » et « inventer, créer » avec « l'indicible ». Si nous voulons traduire ce schéma, nous pouvons alors dire : regarder pour voir le phénomène et observer pour inventer et créer l'indicible.

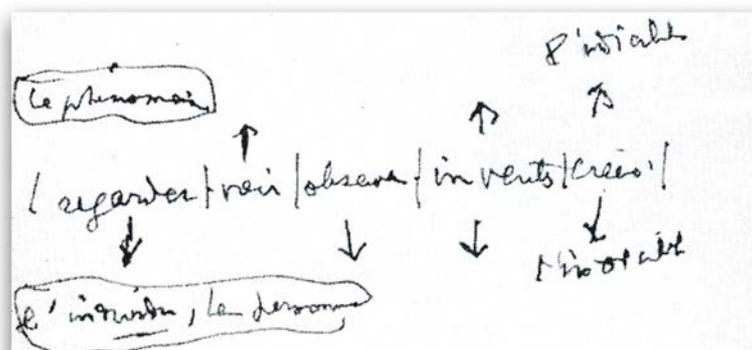


Figure 36. Schéma extrait des carnets de croquis de Le Corbusier représentant différentes activités dans l'évocation des observations antérieures

En résumant, nous pouvons alors considérer deux phases majeures dans le raisonnement par les références que sont l'*assimilation sélective* (qui correspond à « regarder » selon Le Corbusier) et la *différenciation esthétique* (qui correspond à « observer » selon Le Corbusier). L'*assimilation sélective* aboutira à une sélection de références et la *différenciation esthétique* aboutira à des éléments de réflexion permettant la formulation de l'idée ou à la solution de conception (Figure 37).

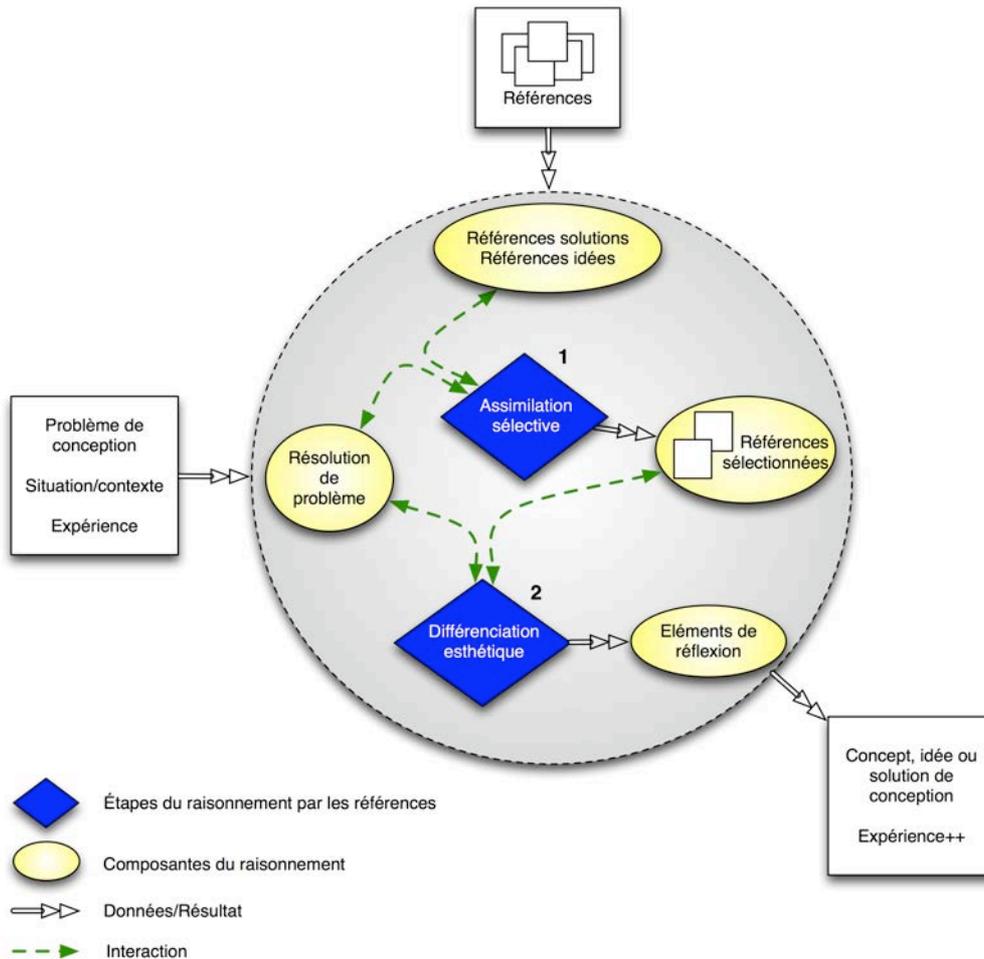


Figure 37. Raisonnement par les références : composants et étapes

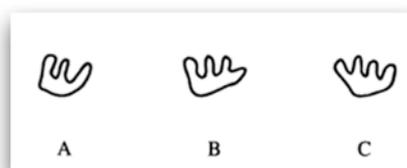
2.5.2 Processus de raisonnement par analogie

Dans notre travail de recherche, nous nous intéressons particulièrement à l'image comme véhicule des références. Dans ce cas, l'analogie visuelle joue un rôle capital (comme nous l'avons notamment mentionné au paragraphe 2.3). Les concepteurs, designers ou architectes ont fréquemment recours à l'analogie comme mécanisme cognitif dans l'évocation des images références durant la conception de projet [Casakin '04 ; Leclercq and Heylighen '02 ; Oxman '02].

Le raisonnement par analogie (analogy-making) est souvent décrit [Casakin '04 ; Gentner '83 ; Holyoak and Thagard '99] comme un processus constitué de deux phases : la recherche de

situation(s) source(s) et l'adaptation de la situation source à la situation cible. Nous allons présenter ces deux phases en insistant particulièrement sur les activités cognitives qui sont impliquées afin de comprendre comment s'opère le raisonnement analogique :

- **Recherche de situation(s) source(s)** (*selection, identification, retrieval*)²⁵ : la recherche de situations sources est la phase qui permet au concepteur de découvrir des sources d'analogies potentielles. Holyoak [Holyoak '85] (cité dans [Borillo and Goulette '02]) considère que, pour faire appel à une situation source, le sujet construit une certaine représentation du problème de telle sorte que les traits qui participent à cette représentation activent les traits appartenant à des représentations de situations anciennes. La situation ancienne recevant la somme d'activation la plus importante est sélectionnée en tant que situation source. La sélection d'une ou plusieurs sources dépend alors de l'existence de traits communs entre situation source et situation cible. Cette activité semble encourager les concepteurs à traiter les relations possibles et fructueuses, qui à leur tour changent les similarités apparentes des différents objets. Pour illustrer ce propos, voici un exemple cité dans [Holyoak and Thagard '99]. La Figure 38 montre le dessin de trois formes. Quand on demande à un groupe de personnes de dire en quoi les formes A et B sont similaires, ils répondent majoritairement « *elles ont toutes les deux 3 doigts* ». Pourtant, lorsqu'on leur pose la même question pour les formes B et C, ils répondent « *elles ont toutes les deux 4 doigts* ». Mais comment B peut avoir à la fois 3 et 4 doigts ? Les auteurs expliquent ce phénomène par le fait que les personnes adaptent les parties perçues des objets afin de générer certaines des similarités qu'ils dégagent. Dans ce même contexte, Secretan²⁶ souligne que l'analogie se caractérise par une oscillation entre une ressemblance signifiée et une dissemblance latente, (cité dans [Lassance '98]).



La forme B semble avoir 3 doigts quand elle est comparée avec la forme A, mais quatre doigts quand elle est comparée avec la forme C [Medin et al. '93] cité dans [Holyoak and Thagard '99].

Figure 38. Comparaison entre les formes A, B et C

²⁵ Autres dénominations selon Anolli L., Antonietti A., Crisafulli L., Cantoia M., "Accessing source information in analogical problem-solving", *The Quarterly journal of experimental psychology*, vol. 54A no. 1, 2001, p. 237-261.: Retrieval (Holyoak & Koh, 1987; Keane, 1985, 1987; Novick & Holyoak, 1991), search (Hesse, 1991), selection (Clement & Gentner, 1991; Gentner & Toupin, 1986; Holyoak & Koh, 1987; Holyoak & Thagard, 1989), access (Ross, 1987; Ross & Kennedy, 1990; Schunn & Dunbar, 1996).

²⁶ Secretan, P (1984), *L'analogie*, Presses universitaires de France, coll. « *Que sais-je* », Paris, 126p.

Gero détermine trois activités cognitives qui interviennent dans la mise en relation entre source et cible : attention, interprétation et association [Gero *et al.* '08]. L'interprétation est l'activité par laquelle le concepteur change le sens d'un concept (dans la situation source) en l'interprétant différemment selon le contexte (Cf. paragraphe 2.5.3 p.89). L'attention est l'activité par laquelle le concepteur dégage une ou plusieurs relations de similarité qui seront interprétées en concepts dans une activité d'association. Ces trois activités interagissent itérativement (Figure 39). L'interprétation peut révéler de nouvelles similarités à l'origine du changement du centre de l'attention, provoquant ainsi de nouvelles associations et d'autres réinterprétations.

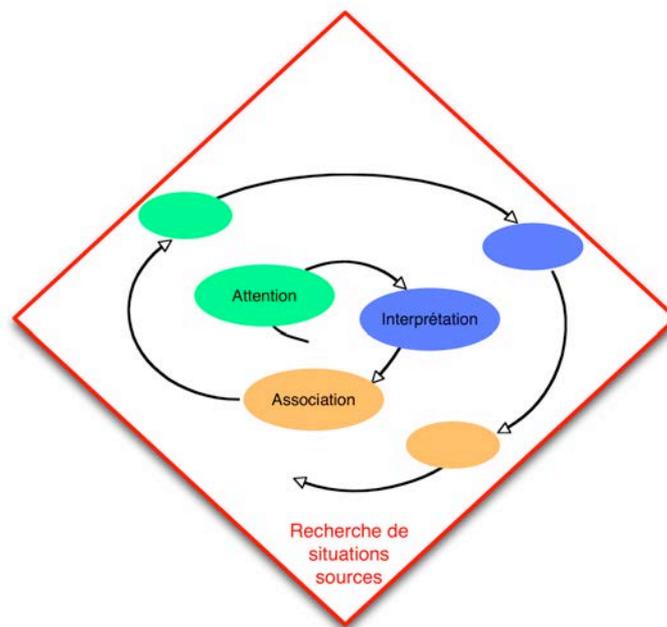


Figure 39. Les activités de la phase de recherche de situations sources évoluant selon un cheminement itératif

- **Adaptation d'une ou plusieurs sources à la cible : (*mapping, transfert*)²⁷** cette phase a pour objectif de créer une nouvelle connaissance pour construire une représentation de la situation cible par un transfert de connaissance de la situation source à la situation cible [Gero *et al.* '08]. Pour ce faire, une réinterprétation d'une part de la situation cible en projetant la connaissance dégagée de l'association entre situation source et situation cible et d'autre part de la situation source en développant une interprétation de l'association identifiée entre les situations source et cible est nécessaire. La réinterprétation de la situation source dépend cependant des informations qu'a le

²⁷ Autres dénominations selon Anolli L., Antonietti A., Crisafulli L., Cantoia M., "Accessing source information in analogical problem-solving", *The Quarterly journal of experimental psychology*, vol. 54A no. 1, 2001, p. 237-261 : Mapping (Clement & Gentner, 1991; Gentner & Toupin, 1986; Holyoak & Koh, 1987; Holyoak & Thagard, 1989; Novick & Holyoak, 1991), use (Schunn & Dunbar, 1996), applying (Gick & Holyoak, 1983; Gick & McGarry, 1992; Ross, 1987, 1989) and adapting (Keane, 1996; Novick & Holyoak, 1991).

concepteur sur cette situation source [Gero *et al.* '08]. Une fois la connaissance transférée (nous identifions cette activité par une génération d'hypothèses) l'analogie établie entre la situation source et la situation cible peut être évaluée selon son utilité ou non par rapport aux besoins du concepteur. Cette évaluation critique conduira à modifier soit la manière de poser le problème (ce qui conduit à une réinterprétation de la situation cible) soit l'idée proposée (ce qui conduit à une réinterprétation de l'association établie entre la situation source et la situation cible) ce qui explique une évolution itérative des activités de cette phase (Figure 40).

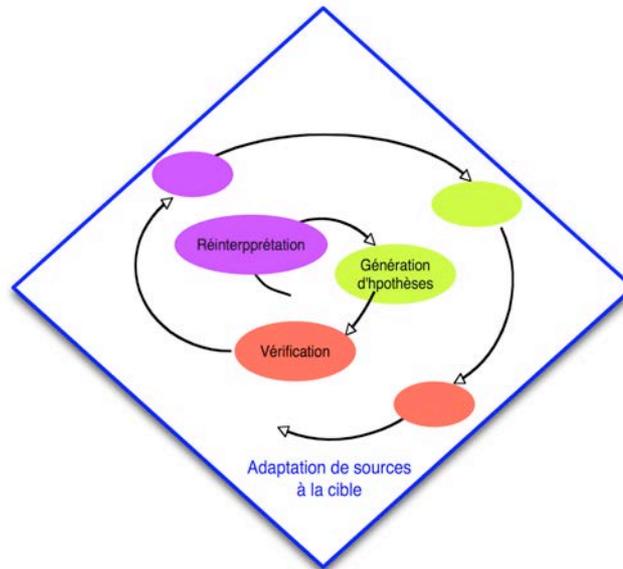


Figure 40. Les activités de la phase d'adaptation de sources à la cible évoluant selon un cheminement itératif

Dans le tableau suivant (Tableau 6), nous synthétisons les deux phases du processus de raisonnement par analogie.

Tableau 6. Les deux phases du processus de raisonnement par analogie

Phase	Eléments influents	Activités cognitives	Résultat
Recherche de situations sources	Contexte La représentation construite du problème de conception	Attention Interprétation Association Comparaison	Association entre situations sources et situation cible Sélection d'une ou plusieurs situations sources
Adaptation de la source à la cible	Association(s) établie(s) entre source et cible Capacité interprétative du concepteur Informations sur la situation source	Compréhension Ré-interprétation Génération d'hypothèse(s) Adaptation Vérification	Nouvelles connaissances pour la formulation des intentions et idées de conception

Les deux phases du raisonnement par analogie évoluent selon un cheminement non linéaire. La recherche de sources est une phase qui peut être renouvelée à plusieurs reprises. L'adaptation des sources à la cible peut ajouter de nouvelles informations qui modifient le contexte de la recherche des sources entraînant la reprise de la recherche ou de l'analogie (Figure 41).

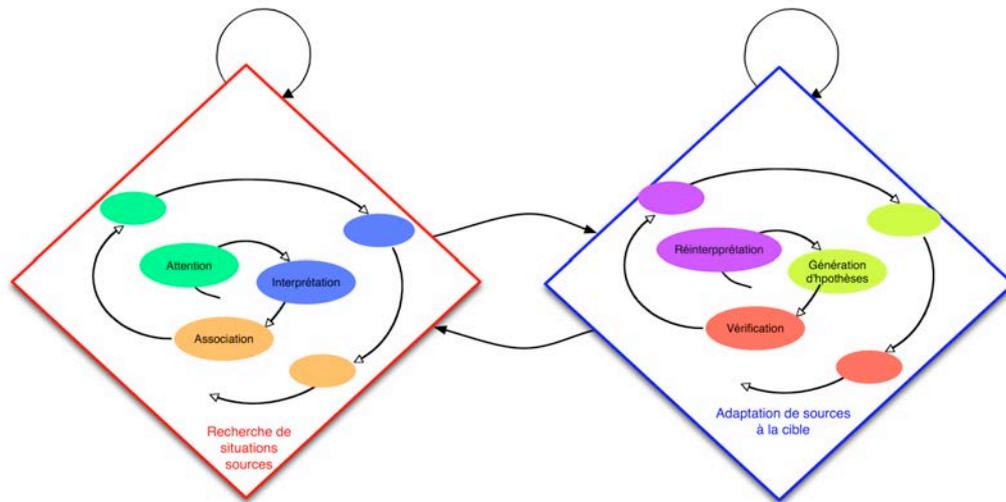


Figure 41. Phases du raisonnement par analogie évoluant selon un processus non-linéaire

2.5.3 Interprétation orientée, similarité située

L'interprétation des références est flexible. Elle peut être conduite différemment suivant le contexte du problème à traiter. En effet, les traits saillants ne sont pas les mêmes selon l'environnement contextuel [Bonnardel *et al.* '03]. Ils dépendent notamment du besoin ponctuel ou spécifique lié à un phénomène qui se manifeste dans l'espace : la lumière et l'ombre, la gestion de la circulation, etc... nous pouvons alors dire que des traits jugés non pertinents dans un contexte précis peuvent prendre plus d'importance si le contexte ou le besoin changent. Dans l'article « *Analogie et résolution de problème* », les auteurs réfutent l'idée d'avoir « *des représentations normées, des représentations idéales supposées correspondre à un ensemble d'objets, quel que soit le contexte* » [Bonnardel *et al.* '03]. Ils avancent « *qu'il serait plus plausible de faire l'hypothèse que les représentations sont construites temporairement, en mémoire de travail, pour une occasion particulière. Dès lors, les appariements entre cible et source peuvent être multiples, selon le point de vue adopté sur la cible et donc selon le thème général considéré, les propriétés et relations sélectionnées, etc.* ». Gero développe la même idée à travers la notion de similarité située (situated similarity) qu'il explique par le fait qu'une relation entre deux concepts dépend de la situation dans laquelle ces concepts sont comparés [Gero *et al.* '08]. La similarité située n'est pas interprétée du point de vue de la subjectivité du concepteur, mais plutôt de la manière avec laquelle ce dernier observe deux concepts. Pour Gero, un modèle de la similarité située doit permettre d'adopter différentes interprétations entre les objets qui sont comparés. Cette similarité située peut influencer à la fois la recherche de références et le transfert de

connaissance entre référence et projet. Il est donc nécessaire de prendre en compte cette caractéristique dans la proposition d'une méthode à base de références pour l'assistance à la conception.

2.6 Processus de l'activité de référencement par l'image : synthèse

L'objectif global de notre recherche est la proposition d'une méthode d'assistance à l'activité de référencement par les images références particulièrement dans la tâche de formulation des intentions d'ambiances lumineuses dans la conception de projet. Pour cela, nous proposons ici une étude du processus de l'activité de référencement selon les éléments qui ressortent de l'état-de-l'art. Aussi, nous définissons les besoins des concepteurs pour le bon déroulement de cette activité. À terme, cette étude nous permettra d'envisager une assistance aux différentes étapes caractéristiques du processus mis en œuvre.

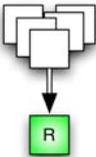
À travers l'étude du raisonnement par les références en général, nous avons identifié deux étapes caractéristiques de l'activité des concepteurs en fonction de l'avancement dans le processus de référencement. Ces deux étapes sont l'assimilation sélective et la différenciation esthétique. Le processus de raisonnement par analogie évolue aussi selon deux phases différentes : la recherche de situation(s) source(s) et l'adaptation d'une ou plusieurs sources à la cible. Dans ces deux processus, la première phase (assimilation sélective, recherche de situations sources) aboutit à la sélection d'une ou plusieurs références ou situations sources. La deuxième phase (différenciation esthétique, adaptation d'une ou plusieurs sources à la cible) aboutit à l'extraction d'éléments de réflexion ou des connaissances utiles pour la formulation des intentions de conception de projet. La formulation des intentions peut appeler à des activités cognitives différentes de celles qui sont mises en œuvre dans les deux autres phases. Il nous paraît alors important de considérer la « formulation des intentions » comme la dernière phase du processus de l'activité de référencement qui est aussi la finalité de cette activité.

Ainsi, nous considérons que le processus de référencement par l'image met en œuvre des images références (sources) et des intentions de projet (cible). Face à un problème de conception, l'architecte recherche et sélectionne une ou plusieurs images références qui retiennent son attention (phase de recherche d'images références) qui ensuite les interprète afin de dégager des connaissances et des éléments de réflexion pour faire émerger de nouvelles idées (phase d'adaptation et d'intégration de la connaissance dégagée des images références au problème de conception) et formuler ses intentions de conception (phase de formulation des intentions). Ainsi, nous modélisons le processus de référencement par les images références à partir de trois phases majeures que nous désignons par « recherche d'image(s) référence(s) », « intégration de la connaissance dégagée des images références au projet » et « formulation des intentions de conception ».

2.6.1 Phase de recherche d'image(s) référence(s)

Durant cette première phase, nous considérons que le besoin du concepteur est la sélection d'une ou plusieurs images références pertinentes. Pour cela, le concepteur doit choisir ou identifier à partir de toutes les images références (dont il dispose) celles représentant des solutions ou idées jugées possibles pour résoudre son problème de conception. Le Tableau 7 synthétise la phase de « sélection d'image(s) références » à partir de l'étude réalisée précédemment.

Tableau 7. Phase de sélection d'image(s) référence(s), synthèse

Phase	Éléments influents	Activités cognitives	Résultat de la phase
<p>Recherche d'image(s) référence(s)</p> 	<p>Contexte</p> <p>La représentation construite du problème de conception</p>	<p>Comparaison</p> <p>Évaluation</p> <p>Identification</p> <p>Attention</p> <p>Interprétation (orientée)</p> <p>Association</p>	<p>Association entre une ou plusieurs images références et le problème de conception</p> <p>Sélection d'une ou plusieurs images références</p>

Pour faire appel à une référence, le concepteur construit une certaine représentation du problème qui va conduire la recherche d'images références. Nous avons identifié différentes manières d'activation des références en conception (Cf. Paragraphe 2.1.3 p.69) : c'est le problème qui orientera le choix des références ; c'est les références qui guideront le développement de la solution ; ou c'est une articulation entre les références et le problème de conception.

- Dans la première situation, le concepteur peut avoir une idée claire de la solution à apporter à son problème de conception. Dans ce cas, il a besoin de rechercher des références dans le but d'enrichir ou de formaliser une idée exprimée au départ. Il peut avoir un objectif défini ou précis qu'il poursuit dans la recherche de références.
- Dans la deuxième situation, le concepteur est confronté à un problème de conception mais n'a pas encore une idée de la solution à apporter ou il n'a qu'une idée vague ou floue. Dans ce cas, il est à la recherche d'inspiration. Les objectifs de la recherche peuvent être flous ou indéterminés.
- Dans la troisième situation, l'articulation entre références et problème de conception, la pensée du concepteur oscille entre problème et solutions suggérées par les références. Dans ce cas, le concepteur recherche des références pour développer des idées alternatives ou développer des idées qui sont au départ floues et non-structurées. Les

objectifs de la recherche peuvent évoluer de l'imprécis au précis, mais peuvent aussi changer au cours de la recherche.

Ainsi, les besoins du concepteur et les objectifs de la recherche peuvent être différents selon la situation dans laquelle se trouve le concepteur. Le tableau suivant (Tableau 8) résume les différentes situations d'activation des références en conception.

Tableau 8. Différentes situations d'activation des références dans la phase de recherche

Situations	Besoins du concepteur
Idée claire	Enrichir et développer l'idée formalisée au départ
Idée vague, floue	Rechercher de l'inspiration
Pas d'idées	
Idée instable	Rechercher des idées alternatives
	Enrichir et développer des idées formulées

Nous avons vu que l'interprétation des références dépend du contexte ou du besoin spécifique du concepteur par rapport à un phénomène. Cette « interprétation orientée » influence les traits saillants permettant d'établir une association entre la référence et le problème de conception. D'autre part, le concepteur peut repérer des analogies de types différents ce qui modifie son intérêt par rapport à la référence sélectionnée. Par exemple, dans la problématique des ambiances, une analogie formelle peut se faire par exemple par le réemploi d'une forme d'ouverture. Une analogie de propriété peut se faire par une identification du processus implémenté qui a abouti à l'ambiance représentée. Dans ce cas, l'architecte adaptera « *une manière de faire* ».

Ainsi, il paraît important de prendre en compte ces interprétations multiples ou orientées d'une même image référence dans la proposition d'une méthode d'assistance à la phase de recherche d'image(s) référence(s).

2.6.2 Phase d'intégration de la connaissance dégagée des images références au projet

Durant cette deuxième phase, nous considérons que le besoin du concepteur est de s'approprier la ou les images références sélectionnées en les adaptant et en dégagant de nouvelles connaissances pour la formulation de ses intentions de conception. Elle aboutit ainsi à un transfert de connaissances entre images référence(s) sélectionnées et problème de conception.

Il est essentiel pour notre réflexion de préciser qu'une connaissance ne peut pas se réduire à un ensemble d'informations fournies au concepteur. Une information doit être étudiée, comprise, interprétée avant de donner lieu à une connaissance. Selon Edgar Morin, « *la connaissance ne saurait être réduite à une seule notion, comme information, ou perception, ou description, ou idée, ou théorie ; il faut plutôt concevoir en elle plusieurs modes ou niveaux auxquels correspond chacun de ces termes. D'autre part, toute connaissance compte nécessairement : une compétence (aptitude à produire des connaissances), une activité cognitive (cognition) s'effectuant en fonction de cette compétence, un savoir, résultat de ces activités* » [Morin '86].

Nous pouvons distinguer entre l'interprétation durant la première phase de recherche d'images références que nous pouvons caractériser d'élémentaire et associative et l'interprétation ou la ré-interprétation durant la deuxième phase où on est plus dans une maturation de la réinterprétation des images afin de traduire les informations emmagasinées dans les images références en connaissances. Cette activité dépend largement de la compétence du concepteur et de sa capacité interprétative.

Le Tableau 9 synthétise les aspects de cette phase à partir de l'étude réalisée précédemment.

Tableau 9. Phase d'intégration de la connaissance dégagée des images références au projet, synthèse

Phase	Éléments influents	Activités cognitives	Résultat de la phase
<p>Intégration de référence(s) au projet</p> 	<p>Association(s) établie(s) entre référence(s) et problème de conception</p> <p>Informations disponibles sur les références</p> <p>Capacité interprétative du concepteur</p> <p>Expérience du concepteur</p>	<p>Compréhension</p> <p>Traduction</p> <p>Ré-interprétation (orientée)</p> <p>Génération d'hypothèse(s)</p> <p>Appropriation</p> <p>Adaptation</p> <p>Vérification</p> <p>Fusionnement</p>	<p>Nouvelles connaissances pour la formulation des idées et intentions de conception.</p> <p>Développement d'image(s) mentale(s) anticipatrice(s)</p>

2.6.3 Phase de formulation des intentions de conception

Durant la phase de « *formulation des intentions de conception* », nous considérons que le besoin du concepteur est de produire des idées.

Dans l'étude des images produites en conception (Cf paragraphe 2.4.3), nous avons abordé le rôle que peut jouer l'acte de dessiner dans le processus de conception. Nous rappelons que les

dessins et les croquis sont des outils de conceptualisation et de matérialisation de l'activité mentale du concepteur. Dès lors, nous considérons que l'activité de « dessiner » est à la fois un moyen du concepteur pour visualiser ses hypothèses et idées mentales formulées pendant la phase d'intégration ou durant l'activité de référenciation et un moyen pour la formulation de ses intentions. Le Tableau 10 synthétise l'étape de formulation des intentions.

Tableau 10. Phase de formulation des intentions de conception, synthèse

Phase	Éléments influents	Activités cognitives	Résultat de la phase
Formulation des intentions de conception 	Connaissance(s) dégagée(s) Problème de conception (problème précis / problème global) Idées mentales générées	Visualisation des hypothèses, des idées et des intentions mentales Vérification critique	Production d'idées et d'intentions

En situation de conception, le processus de référenciation évolue le plus souvent selon un cheminement non-linéaire. (cf. Figure 42 , flèches en pointillé).

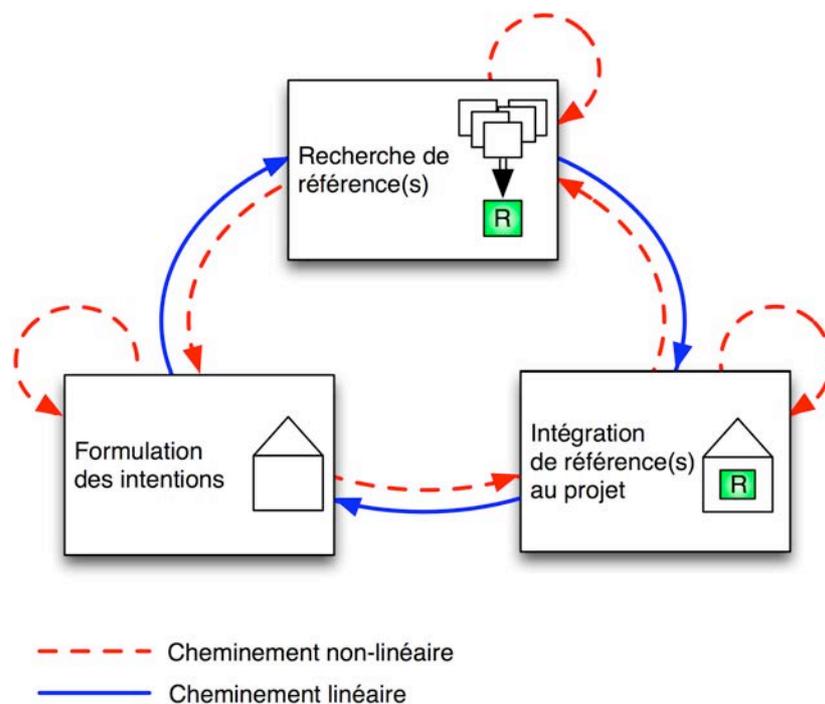


Figure 42. Le processus de référenciation

2.7 Méthodes et outils d'assistance à l'activité de référencement

Jusqu'à présent nous avons tenté de comprendre l'activité de référencement. Nous suggérons maintenant de présenter différentes méthodes qui se proposent d'assister²⁸ une telle activité durant les premières phases du processus de conception. Ces méthodes se sont développées avec l'idée commune de grouper et d'organiser les références (cas, images, réalisations architecturales...) dans un « réservoir²⁹ » pour assister l'évocation des références en conception. Il existe diverses recherches dans ce domaine et nous nous intéressons ici à trois d'entre elles qui utilisent principalement des références appartenant au domaine de l'architecture et qui ont abouti à des outils différents. Ces outils sont :

- « DYNAMO », une collection de cas interactive et croissante,
- « Image.idée », un outil où l'image sert de base pour la recherche d'ouvrages,
- « Analogie », un carnet électronique.

2.7.1 DYNAMO

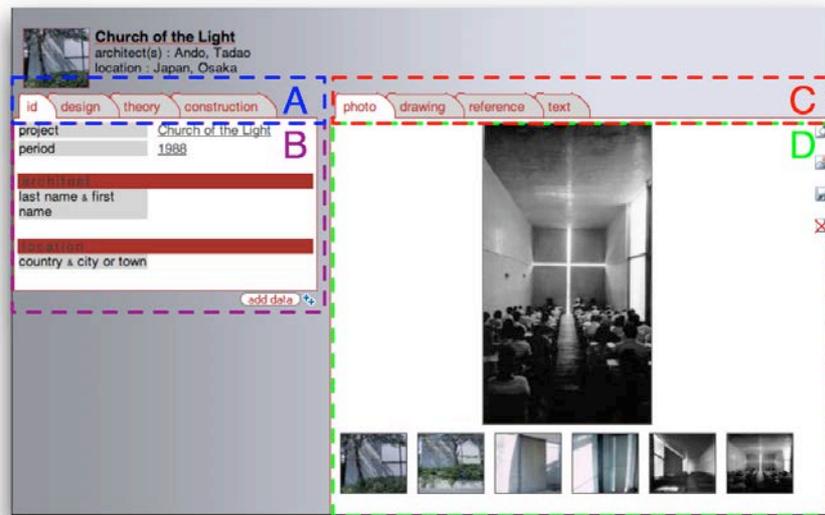
« DYNAMO³⁰ » (DYNAmic Architectural Memory On-line) est un outil sur le web proposé par Ann Heylighen dans le cadre de son travail de thèse [Heylighen '00] et se présente sous forme d'une bibliothèque de cas. L'objectif de cet outil est de faciliter et de nourrir le mode de raisonnement à base de cas dans l'esprit du concepteur. L'idée est de constituer un support d'aide à la conception permettant une consultation libre des informations recueillies pour chaque cas. L'utilisation de la connaissance résultant de la consultation des cas est complètement laissée au concepteur.

DYNAMO propose une large base de cas croissante où chaque cas représente une oeuvre architecturale (construite ou non) illustrée par des images, des dessins et des informations textuelles portant sur le concept, le contexte et la réalisation de l'oeuvre (Figure 43). Chaque cas possède aussi plusieurs indices organisés selon différentes catégories (l'indexation des cas) permettant à un cas d'être recherché dans la base et d'être relié à d'autres cas ayant des caractéristiques communes. Selon l'auteur, le contenu de la connaissance ne réside pas seulement dans les projets que contient la base, mais aussi à travers le réseau des indices (propriétés, critères) qu'il y a entre les exemples.

²⁸ Le terme « assister » est employé dans le sens de aider ou encore soutenir et non pas comme il est souvent utilisé dans le domaine de la CAO (Conception Assistée par Ordinateur).

²⁹ La notion de « réservoir » est empruntée à Lawson (Lawson B., (2006), *How designers think*, Elsevier, Great Britain, 321 pages. (p 156).

³⁰ Le système DYNAMO est accessible à l'adresse suivante : <http://dynamo.asro.kuleuven.be/testdyn/index.html> (visité en juin 2010).



A- Les catégories des indices. B- Les champs des indices.
 C- Les différents types de représentations d'un cas. D- la visualisation des représentations.

Figure 43. Représentation d'un cas dans DYNAMO

L'approche proposée par Heylighen définit deux méthodes différentes pour rechercher des cas : la première propose de parcourir les cas (Browse) et la deuxième de chercher des cas en utilisant des critères (Search). La première méthode (Browse) permet de rechercher des cas sans but spécifique *a priori*. Pour ce faire, le système propose de naviguer dans des listes de projets générées aléatoirement ou construites par ordre alphabétique, chronologique ou d'évaluation. La deuxième méthode (Search) permet de rechercher des projets en choisissant un ou plusieurs critères organisés par catégories. Ces critères correspondent aux indices associés à l'ensemble des projets. Chaque projet est représenté par son nom et une image illustrative (Figure 44).



Figure 44. Interface DYNAMO, deux méthodes pour rechercher des cas

Lorsque le concepteur a trouvé un projet qui l'intéresse, il le visualise pour observer ses différentes représentations et explorer ses différentes propriétés et ainsi guider son

interprétation. À partir des propriétés d'un projet, l'utilisateur peut retrouver d'autres projets similaires ce qui permet de créer des interactions entre les cas. Cette interaction autorise la confrontation favorisant ainsi le processus de développement des connaissances. C'est lors de cette interactivité que, selon l'auteur, les informations seront transformées en connaissances dans l'esprit du concepteur et ainsi le guider dans son inspiration et sa recherche d'idées.

DYNAMO offre également une autre forme d'interaction entre les utilisateurs et le système permettant l'évolution de la base de cas et l'appropriation de celle-ci par le concepteur. Dans cette forme d'interaction, les concepteurs peuvent changer et améliorer la mémoire de cas en ajoutant de nouveaux projets, de nouveaux liens entre les projets, et de nouvelles propriétés. L'une des raisons qui ont poussé Heylighen à mettre en place cette forme d'interactivité est que l'architecte n'interprète pas toujours un même projet de la même manière³¹. Une activité de conception influence considérablement une interprétation. De ce fait, de nouvelles propriétés ou des propriétés supplémentaires peuvent émerger dans l'esprit d'un concepteur et être prises en compte par le système [Heylighen and Neuckermans '00].

Demander à l'utilisateur de s'impliquer activement dans l'enrichissement de la base et l'indexation des cas est selon Heylighen une manière de permettre à l'outil de rester en phase avec les besoins évolutifs, les préférences et les idées de l'utilisateur/concepteur.

Ainsi, l'outil tente d'exploiter et de tirer profit de plusieurs types d'interactions qui sont cruciales pour le développement et le renouvellement de la connaissance.

La remémoration de cas nécessite de la part du concepteur une étude poussée afin de choisir ceux qui présentent des similitudes avec son problème de conception en cours. Néanmoins nous voulons remarquer que cette étude est longue et demande que les cas soient structurés et présentant une même organisation de la connaissance. De plus, la conception à base de cas est orientée vers la recherche de solutions. Dans le cadre de notre recherche doctorale, nous considérons les références, particulièrement les images, comme des éléments stimulant la conception et la recherche d'inspiration et non pas comme des solutions à « reproduire ». Il est important aussi de noter que dans le système DYNAMO, les images jouent un rôle complémentaire (et parfois secondaire) de l'ordre de l'illustration d'une information textuelle. Quant à nous, nous attribuons à l'image un rôle important dans l'identification de la référence.

Ce système nous semble assez intéressant et valide parce qu'il correspond à un modèle de raisonnement souvent utilisé par les architectes pendant la conception architecturale, mais, toutes les raisons que nous avons mentionnées précédemment nous conduisent à une proposition différente des méthodes axées sur la conception à base de cas.

³¹ On retrouve ici la notion de similarité située et de l'interprétation orientée que nous avons développée au paragraphe 2.5.3

2.7.2 Image.Idé

Image.idée est un outil développé au CRAI (Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie à Nancy) [Kacher '05] et destiné aux architectes dans le domaine particulier de la construction en bois. Cet outil propose d'utiliser exclusivement la navigation par l'image comme moyen pour la recherche d'ouvrages.

Cet outil contient une base d'images représentant des œuvres ou des ouvrages construits en bois et indexés à l'aide d'un thésaurus dédié au domaine de la construction bois. Chaque image de la base est décrite avec plusieurs termes (ex : assemblage à emboîtement, ossature bois, poutre console...) exprimant les concepts de la construction bois qu'elle représente. Ces concepts servent également à la définition de la similarité entre les images lors de la recherche d'ouvrages. Cette indexation est mise en place uniquement par l'administrateur de l'outil, elle est complètement invisible pour l'utilisateur final.

Cet outil propose de rechercher des ouvrages en utilisant exclusivement l'image sans aucune introduction de texte. Ce choix pour l'image comme unique moyen pour la recherche d'ouvrages a été motivé par le fait que le domaine de l'architecture est un domaine où l'utilisation d'images (dessins, photographies...) est essentielle et prédominante. Selon l'auteur, les informations véhiculées par l'image (la forme d'un élément, la couleur, la lumière, etc...) sont déjà « mises en forme » ou en situation et elles peuvent être alors plus facilement intégrées dans le processus de conception [Kacher *et al.* '05].

Lorsque le concepteur recherche des ouvrages avec Image.idée, il doit donner son avis sur les images présentées aléatoirement par le système (oui, non, indécis) puis relancer la recherche. Le système lui présentera ensuite un autre ensemble d'images correspondant aux choix qu'il a effectués (l'analyse des choix du concepteur et la proposition de nouvelles images se fait sur la base des indexations). Ce type d'interaction permet à l'utilisateur d'affiner et de préciser son besoin. Ceci lui offre la possibilité d'avoir plus rapidement des résultats pertinents. Lorsque le concepteur a trouvé des images qui sont jugées pertinentes par rapport à son besoin, le résultat de sa recherche s'affiche sous forme de liste d'ouvrages montrant des informations à propos des bâtiments représentés par les images retenues. Ces informations sont : le nom du bâtiment, le nom de l'architecte, la ville, l'année de construction et peuvent aider les concepteurs à amplifier leurs connaissances concernant les ouvrages représentés (Figure 45).

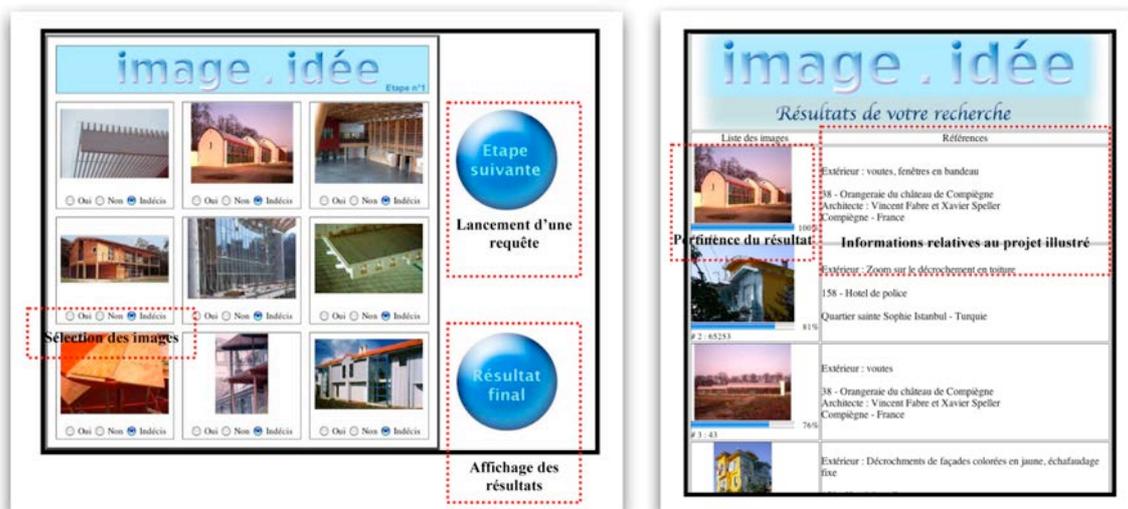


Figure 45. Interface de recherche de Image.idée, fiche du résultat de la recherche

A l'issue de l'étude de ce système, nous remarquons que :

- L'image est à la fois un outil pour la recherche d'information (recherche d'ouvrages) et un support d'information (considérée comme référence).
- L'interaction entre l'utilisateur et le système permettant à l'utilisateur de donner son avis sur les images proposées favorise une recherche plus fine ce qui permet, éventuellement, de fournir une réponse pertinente plus rapidement.
- L'indexation des images est le moyen qui permet de créer des relations sémantiques entre les images. Elle constitue une tâche délicate qui influence considérablement l'efficacité du système.
- L'indexation des images est une tâche fastidieuse qui demande un effort considérable de la part du créateur du système. Nous trouvons dommage que l'utilisateur ne puisse pas bénéficier de la connaissance que peut induire l'indexation des images.
- Cet outil ne permet que la recherche d'ouvrages en utilisant l'image. Son utilisation s'arrête lorsque l'utilisateur a retrouvé des références utiles à sa conception. Nous situons alors l'aide de cet outil principalement à la première phase de l'activité de référencement qui correspond à « la recherche de références ».

2.7.3 Le système « Analogie »

« Analogie » est une application qui se présente sous la forme d'un carnet interactif à la manière des carnets de voyages. Elle a été développée au laboratoire Li2a de l'école d'architecture de Toulouse et intégrée à un programme pédagogique visant à développer le raisonnement analogique dans l'acte de conception architecturale. Selon les auteurs, l'idée essentielle du système « Analogie » consiste « à munir les concepteurs de procédures "actives" les invitant le plus souvent possible à pénétrer la surface des images qu'ils désirent

répertorier comme une aide dans leurs futurs projets. » [Chupin and Léglise '96]. Ainsi, cette approche s'appuie essentiellement sur l'activité interprétative du concepteur, utilisateur du système.

Cet outil met à la disposition du concepteur un catalogue d'images qui, à la différence des deux systèmes précédents, ne se limite pas aux seules œuvres architecturales (within domain) mais s'étend à tout type d'objet réalisé ou figuré (between domain). Chaque image du catalogue est accompagnée par un titre, un texte explicatif et une source bibliographique.

Pour créer une page du carnet, l'utilisateur dispose de la possibilité d'importer des images, de dessiner, d'écrire, de créer des liens entre les images afin de les associer de manière à rendre possible des navigations à vocation heuristique. C'est à travers ces opérations de traitement que l'utilisateur parvient à s'approprier la base de départ et à constituer un répertoire personnel de références.

La page d'un carnet est divisée en quatre zones essentielles (Figure 46). Dans la partie supérieure, deux zones rectangulaires servent à importer des images puisables dans le catalogue d'images. La recherche d'une image peut se faire en parcourant toutes les images du catalogue ou par mots clés (ces mots clés peuvent renvoyer à des mots dans le titre de l'image ou encore dans le texte explicatif). La possibilité de disposer deux images différentes sur une même page du carnet permet notamment de confronter les images deux à deux. Les deux zones inférieures reçoivent les informations textuelles et les « extractions graphiques » associées aux images. Il est également possible d'associer un titre à chaque page de carnet et d'attribuer des noms qualificatifs aux images au moyen de menus locaux. Ces qualificatifs renvoient à des thèmes de travail ou à des concepts que l'utilisateur est amené à explorer. Bien qu'une page du carnet soit divisée en quatre quadrants, il est à noter que toute la surface de la page peut être utilisée pour des annotations graphiques selon le principe d'incitation à la surcharge et de surcroît relationnel désiré par les concepteurs de cette application (un exemple de page d'un carnet est présenté à la Figure 47).

La création de pages de carnets est une activité qui permet l'appropriation et l'interprétation approfondie d'une image. Elle vise à la construction de connaissances utiles en phase de conception active (la création des pages des carnets peut se faire aussi en situation de veille conceptuelle). Pour rechercher cette connaissance mémorisée à travers les carnets, l'utilisateur peut feuilleter les pages du carnet ou effectuer une recherche par mots (rechercher une page par son titre, par son auteur ou aussi par les annotations sémantiques associées à une page). D'où, éventuellement, l'importance relative accordée aux annotations verbales que peut effectuer l'utilisateur.

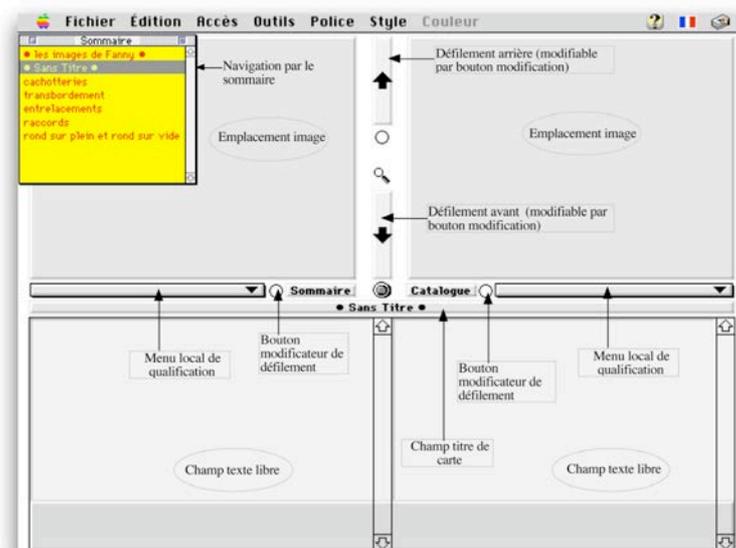


Figure 46. Interface de « Analogie »

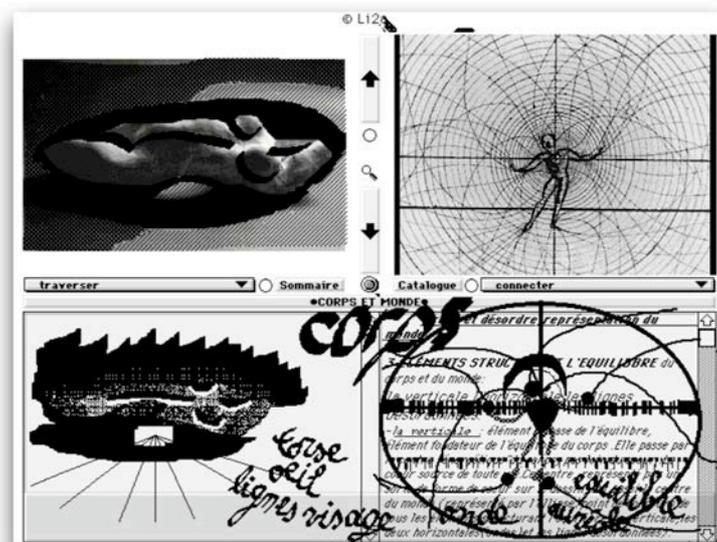


Figure 47. La page d'un carnet créée avec l'application « Analogie »

À l'issue de cette étude, nous pouvons remarquer que :

- Dans le système « Analogie », une référence est une image puisable dans la collection d'images. Une page du carnet que le concepteur a sauvegardé peut devenir également une référence lors d'une recherche ultérieure.
- L'intégration du concepteur (dans ce cas des étudiants en architecture) au centre du processus d'interprétation des images est l'un des points forts de cette proposition. Il revient à l'utilisateur/concepteur d'interpréter et de mettre en relation ; la machine se trouvant quant à elle sollicitée pour répertorier et mémoriser la trace de ces processus de schématisation et plus encore pour faciliter la recherche et la récupération [Chupin and Léglise '96].

- L'appropriation individuelle d'une information à travers l'acte d'interprétation permet d'introduire l'utilisateur au sein d'un processus de transformation d'informations générales en connaissances personnelles et individuelles. Ceci permet de consolider notre idée de l'importance de la possibilité de dessiner dans le processus d'interprétation des références et de la formulation des intentions.

2.7.4 Synthèse

Les trois outils analysés ont en commun la possibilité de supporter l'activité d'évocation des références dans le domaine de la conception architecturale. Nous avons pu constater une grande diversité dans les différentes approches proposées. Leurs différences ne dénotent pas d'une qualité qui s'afficherait comme supérieure d'un outil à un autre, mais elles concrétisent les différentes motivations qui ont guidé le développement de chacun d'entre eux.

La notion de référence est différente d'un système à un autre. Dans DYNAMO, une référence est un cas représenté par des images, des informations textuelles et des indices. Dans Image.idée, une référence est une image indexée ou un ouvrage architectural. Dans « Analogie », une référence est une image définie par un titre et une explication textuelle de son contenu, mais aussi, une page du carnet créée par l'utilisateur lui-même.

DYNAMO propose l'interactivité comme moyen pour la construction de sens. Deux formes d'interactivité sont présentes. La première correspond à l'interactivité entre les cas permettant de créer des chemins sémantiques favorisant le développement de la connaissance du concepteur/utilisateur. Toutefois, cette interactivité permet uniquement une exploration des cas de manière séquentielle. La deuxième forme d'interactivité correspond à l'interactivité entre l'utilisateur et le système favorisant l'appropriation de l'outil par l'utilisateur (nécessite une interprétation des cas).

Image.idée propose un autre type d'interactivité entre le concepteur et le système en lui accordant la possibilité de donner son avis sur les images dans le but de rendre la recherche plus efficace. L'outil lui permet de préciser et d'affiner son besoin et ceci en utilisant uniquement l'image comme moyen dans la recherche d'ouvrages.

L'application « Analogie » propose un aspect différent et caractérisé comme fondamental : l'appropriation individuelle d'une information (dans ce cas les images) à travers l'acte d'interprétation par des annotations graphiques et textuelles.

Dans la partie précédente, nous avons établi que le processus de référenciation évolue selon trois phases différentes. Chaque phase met en œuvre des activités cognitives et besoins différents. Le **Tableau 11** synthétise l'apport de chaque outil étudié par rapport à ces phases.

Tableau 11. Apport des outils étudiés par rapport aux phases de l'activité de référenciation

<i>Phases</i> <i>Outils</i>	<i>Recherche</i>			<i>Intégration</i>		<i>Formulation des intentions</i>	
	<i>Aléatoire</i>	<i>Précise</i>	<i>Orientée selon le contexte</i>	<i>Appropriation</i>	<i>Adaptation</i>	<i>Développement d'idées</i>	<i>Développement des intentions</i>
<i>DYNAMO</i>	+	+		+			
<i>Image.idée</i>	+	+					
<i>Analogie</i>	+	+		+		+	

Ces outils permettent tous une méthode de recherche aléatoire qui peut s'avérer utile dans le cas où le concepteur n'a pas une idée précise de ce qu'il cherche. DYNAMO et « Analogie » proposent une méthode de recherche précise qui se fait essentiellement par des mots. Dans ce cas, l'utilisateur doit nommer ce qu'il recherche ou doit choisir des mots clés à partir d'une liste pré-établie. Pour ce faire, l'utilisateur doit savoir exactement ce qu'il cherche ce qui n'est pas toujours le cas. Cette méthode s'avère peu utile lorsque le besoin du concepteur est encore flou (qui est souvent le cas au début du processus de formulation des intentions) ou qu'il ne peut pas l'exprimer. Image.idée propose une alternative intéressante où l'utilisateur peut préciser ses choix sans être obligé de désigner précisément ce qu'il cherche. Nous trouvons cette proposition particulièrement intéressante que nous allons développer dans notre proposition.

Par ailleurs, bien que nous ayons montré que la recherche doit être orientée selon le contexte (*cf.* paragraphe 2.5.3), aucun des systèmes présentés ne propose ce mode de recherche.

DYNAMO propose une méthode d'appropriation des « cas » en ajoutant de nouveaux indices ou de nouvelles propriétés caractérisant le « cas » sélectionné. Cette méthode peut être aussi vue comme une incitation à la ré-interprétation des cas. Elle permet par ailleurs d'enrichir la base de cas.

Image.idée et DYNAMO supportent principalement la phase de « sélection de références ». La possibilité de dessin qu'offre « Analogie » offre une fonctionnalité importante pour le développement des idées (nous ne parlons pas d'intentions puisque l'outil est principalement conçu pour être utilisé en phase de veille conceptuelle). Nous pensons que l'appropriation des références par le dessin est adaptée à la manière de travailler des architectes.

Ainsi, nous pouvons conclure qu'un outil d'aide à l'activité de référenciation devrait combiner une aide à la recherche d'images ou l'image joue un rôle important, une incitation à l'interprétation des images pour extraire une connaissance utile à la formulation des intentions de conception et une aide à la production d'esquisse pour l'appropriation des références et la formulation des intentions.

2.8 Éléments d'une méthode d'assistance à l'activité de référencement

La finalité de ce présent travail de thèse est de proposer une méthode d'assistance à la conception des ambiances lumineuses par les références durant les phases amont de la conception. Quatre aspects différents conduiront le développement de cette méthode :

- le type de références et leur mode de représentation,
- l'organisation de ces références,
- l'exploration de ces références,
- l'exploitation des références pour la formulation des intentions.

L'étude menée sur les références en conception (voir section 2.1) nous a orienté vers le choix de références appartenant au domaine de l'architecture (réalisations architecturales construites). Nous avons aussi établi que les images comme mode de représentation de ces références sont particulièrement stimulantes dans l'activité de formulation des idées et intentions de conception. Ainsi, dans le cas de notre étude, une référence correspond à une image représentant une ambiance lumineuse et contextualisée dans un projet architectural. Le chapitre 3 abordera les critères qui orienteront notre choix d'une part des réalisations architecturales et d'autre part des images qui les représentent afin de constituer notre corpus d'images références.

L'organisation et la structuration des références impliquent un travail d'indexation de ces références. Cette étude fera aussi l'objet du chapitre 3 où nous développerons la méthode d'indexation adoptée.

Concernant la méthode d'exploration des références, nous orienterons notre étude vers le domaine de la recherche d'images. Nous verrons les modes de navigation par l'image qui peuvent supporter les différentes phases et activités cognitives identifiées dans l'étude du processus de référencement (voir section 2.6). Cette étude fera l'objet du chapitre 5.

Nous avons considéré le dessin comme une méthode adaptée à l'appropriation des références et la formulation des intentions. Nous verrons comment la fonctionnalité de dessin peut être intégrée à une méthode d'assistance à l'activité de référencement qui fera aussi l'objet du chapitre 5.

PARTIE II : Proposition

Vers la proposition d'une méthode d'assistance au processus de référenciation dans l'activité de formulation des intentions d'ambiances lumineuses

CHAPITRE 3. Constitution du corpus d'images références : sélection des images et indexation

Ce chapitre décrit la première partie de notre méthode d'assistance à la conception des ambiances lumineuses. Il commence par présenter la démarche suivie dans la sélection des images qui formeront le corpus de références. Ensuite une étude des différentes méthodes d'indexation d'images est proposée. Elle nous permettra de justifier notre choix d'utiliser une indexation sémantique et manuelle des images. Enfin, ce chapitre se termine par la description de la mise en œuvre de nos choix de sélection et d'indexation pour la constitution du corpus d'images références à l'aide d'un outil dédié, appelé « iMage ».

3.1 Sélection des images références

Il s'agit de définir un certain nombre de critères à prendre en compte dans la sélection des images pour constituer un corpus d'images références pour l'assistance à la conception des ambiances lumineuses. Ces critères doivent nous permettre de répondre aux questions suivantes :

1. Quelles sont les réalisations architecturales qui peuvent former des références dans notre corpus ?
2. Comment sélectionner les images représentant le mieux les ambiances intérieures en éclairage naturel de ces réalisations ?

3.1.1 Sélection des réalisations architecturales

Bien que la lumière naturelle soit au centre des préoccupations architecturales, elle ne dispose pas de la même attention de la part de tous les architectes. Nous avons alors défini deux critères différents auxquels doivent répondre les réalisations sélectionnées :

- Critère 1 : la lumière naturelle est une préoccupation importante et explicite.
- Critère 2 : des informations sont disponibles et particulièrement sous forme d'images représentatives.

Ces critères nous ont conduits vers :

- des réalisations construites par des architectes connus : plusieurs architectes sont reconnus pour avoir fait de la lumière l'une de leurs principales préoccupations. Nous pouvons identifier ces architectes à travers leurs discours et leurs écrits explicitant leurs choix lumineux, leur traitement de la lumière et l'usage qu'ils en font et comment elle contribue au développement de leurs projets. Parmi ces architectes, nous pouvons citer quelques pionniers : Le Corbusier, Louis I Kahn, Tadao Ando, Alberto Campo Baeza, Peter Zumthor...
- des réalisations construites dans une démarche environnementale : parmi ces bâtiments, nous avons orienté notre choix principalement vers ceux où la lumière apparaît comme une occupation formulée par le concepteur.
- des réalisations présentées dans des livres et revues spécialisés abordant particulièrement la thématique de la lumière naturelle en architecture. Ces réalisations peuvent être celles d'architectes moins connus, mais qui demeurent intéressantes du point de vue des ambiances lumineuses créées.

À travers ces choix, nous ne cibons pas uniquement des réalisations exemplaires ou remarquables, mais aussi celles qui sont parfois jugées ordinaires ou « moins connues » afin de constituer un corpus suffisamment varié et riche.

3.1.2 Sélection des images

Différents types d'images sont utilisés dans la représentation de la lumière naturelle en architecture. Chacun met en œuvre des techniques de figuration différentes dans la représentation des ambiances lumineuses. L'étude de ces types d'images par rapport à leur potentiel dans l'évocation de l'ambiance lumineuse d'un espace construit nous a orienté vers le choix des images photographiques comme représentation des images références.

Nous commencerons ce paragraphe par expliquer ce choix de ne considérer que les images photographiques aux dépens des autres types d'images. Nous étudierons ensuite les caractéristiques de l'image photographique et exposerons ses limites dans la représentation des ambiances lumineuses. Nous finirons ce paragraphe en présentant les critères de sélection des images photographiques afin de constituer un corpus raisonné d'images références d'ambiances lumineuses.

3.1.2.1 Types d'images et représentation des ambiances lumineuses

L'analyse des différentes sortes d'images utilisées pour représenter la lumière naturelle en architecture nous a permis d'identifier des types principaux. Ainsi, nous retiendrons les suivants : les images schématiques, les croquis et les dessins, les images de synthèse et les images photographiques.

- *Les images schématiques* : ce sont des représentations, généralement en deux dimensions, dont l'objectif est de présenter, expliquer ou analyser d'une manière simplifiée et graphique, un comportement de la lumière, un principe d'éclairage ou encore des performances par rapport à un dispositif choisi (Figure 48). Elles correspondent à une approche technique des ambiances et se prêtent très peu à la représentation de l'ambiance lumineuse d'un espace.

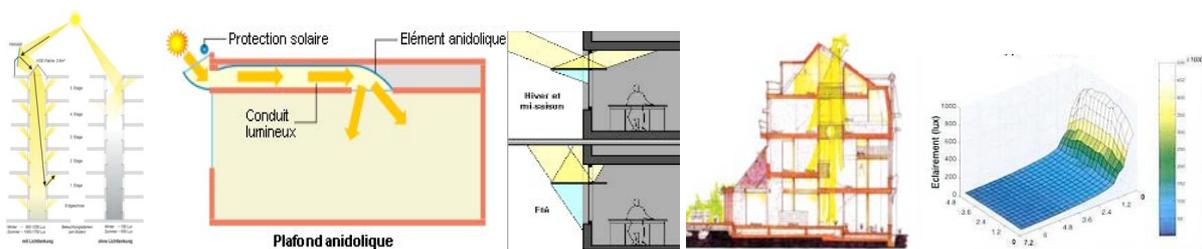


Figure 48. Images schématiques : traduisant le comportement la lumière naturelle

- *Les croquis et les dessins* : ce sont des outils d'étude et de recherche des ambiances lumineuses à projeter. Ils illustrent principalement les intentions du concepteur (Cf. Section 1.5.1). Ce sont donc des représentations subjectives de l'ambiance d'un espace (ou de certains aspects de l'ambiance) en rapport avec les hypothèses formalisées par l'architecte. Que le croquis ou le dessin soit sommaire ou bien détaillé (Figure 49), le

rapport à la réalité des ambiances représentées est fonction de la maîtrise du concepteur d'une part des paramètres de la lumière naturelle et d'autre part de la technique du dessin. Ainsi, ils sont surtout utiles pour connaître les intentions du concepteur et ses choix par rapport à l'ambiance qu'il « souhaite » créer dans l'espace.



Figure 49. Dessin de Steven Holl rendant compte de l'ambiance lumineuse projetée

- *Les images de synthèse* : ces images permettent de simuler la lumière naturelle en architecture. Elles correspondent à des images générées en utilisant l'ordinateur et sont produites grâce à la mise en œuvre d'algorithmes de calcul. Ces algorithmes permettent de simuler l'interaction entre les sources de lumière naturelle (ciel et soleil) et l'objet physique (l'espace, sa géométrie, ses matériaux, ses couleurs) dans le but de fabriquer des effets de coloration, de textures, de brillance, de transparence, d'éclairage... Les images de synthèse cherchent à reproduire le plus fidèlement possible les effets lumineux naturels. Ces effets seront plus ou moins bien reproduits selon la complexité des modèles utilisés, la finesse de la représentation des détails géométriques, les couleurs, les textures définies et le comportement physique cohérent des objets et des matériaux...

L'intérêt du recours aux images de synthèse est de fournir un moyen plus ou moins fiable de prédiction d'environnements lumineux futurs permettant de consolider le choix d'une configuration ou d'orienter le choix entre plusieurs configurations d'ambiances lumineuses possibles. Ces images de synthèses sont aussi utilisées dans le but de présenter et de promouvoir les projets à réaliser. Elles favorisent l'appréciation de la volumétrie, des matériaux, des ambiances lumineuses.... Elles sont communicatives et persuasives et prennent de plus en plus de place dans le rendu du projet architectural [Mascaro '04]. Seulement, l'image de synthèse communique une représentation « réaliste », sans pour autant être réelle du projet. Elles ne sont pas des représentations du monde réel, mais l'aboutissement d'un modèle préconçu dans le but de concrétiser l'imaginaire et l'invisible, d'exposer une réalité « prétendue ».

- *Les images photographiques* : l'image photographique est un moyen largement utilisé dans la diffusion et la transmission de la culture architecturale. Elle correspond à une

empreinte témoignant d'un instant révolu qu'elle pétrifie et perpétue à jamais [Méaux '92]. Plus encore, l'image photographique possède la particularité de cristalliser, une situation réelle telle qu'elle existe à un instant « t », elle permet de « *geler le temps, d'enregistrer l'instant magique où la lumière et l'espace sont une seule et même chose* » [Baltanas '05]. La scène figurée est un espace éclairé rendant compte de l'ambiance lumineuse, bien que « figée », mais réelle. Elle a aussi le statut de trace de l'ambiance et non seulement sa représentation. Elle a la force de restitution des détails qui peuvent avoir leur influence dans l'interprétation de l'ambiance représentée. Ainsi, la perception de l'ambiance médiatisée par l'image photographique peut renvoyer directement à l'ambiance lumineuse régnante dans un espace à un moment de la journée. C'est ce pouvoir d'évocation de l'image photographique qui nous intéresse le plus en tant que moyen d'aide à la conception des ambiances lumineuses dans les phases amont du projet architectural.

Les différents types de représentations étudiés participent dans le traitement de la lumière en architecture. Les images schématiques, les dessins et croquis et les images de synthèse sont des moyens graphiques pour étudier la lumière dans la conception du projet, aider à comprendre ses phénomènes, évaluer les ambiances projetées ou les représenter dans le rendu du projet architectural. En revanche, l'image photographique est un moyen pour communiquer *a posteriori* sur les ambiances d'un espace construit. Elle permet de représenter la réalité d'une ambiance lumineuse obtenue suite à des choix conceptuels établis par l'architecte. Ce qui a motivé notre choix des images photographiques comme mode de représentation visuelle n'est pas seulement le rendu « réel » de l'ambiance qu'elle est censée représenter, mais aussi sa disponibilité sachant que nous limitons notre corpus de références aux seuls bâtiments construits.

3.1.2.2 *Les images photographiques dans la représentation de l'architecture*

Lorsque l'architecture est construite, sa diffusion est largement assurée par des images photographiques. Ces dernières, appelées photographies d'architecture, apparaissent comme moyen de restitution de la présence des bâtiments. On peut même dire que c'est grâce à elles que les bâtiments se « déplacent » et sont portés à la connaissance de ceux qui ne l'ont pas visités³². Elles constituent un moyen privilégié en raison de la rapidité de mise en œuvre du procédé et de la précision de reproduction.

La photographie d'architecture est considérée comme une image documentaire et utilitaire, contenant un message, à l'opposé de l'image esthétique qui prend comme support

³² Arenheim remarque que les images nous aident à comprendre une architecture. Mais en général, il faut la visiter sur le site pour la juger (Grundmann U., Arnheim R., (2001), "The Intelligence of Vision: An Interview with Rudolf Arnheim", Cabinet, N°. 2 Mapping Conversation Spring.)

l'architecture pour la création de l'émotion. Dans ce cas, l'architecture pourra aller jusqu'à disparaître pour devenir abstraction graphique et colorée [Aymard '10]. L'image documentaire tend vers une objectivité souvent entravée par le regard subjectif du photographe. En effet, face à une même scène, deux photographes différents ne voient pas la même chose et ne réagissent pas de la même manière, parce que l'expérience, la sensibilité et la culture propre à chacun d'eux interviennent également dans l'acte photographique [Bauret '05]. Gilles Aymard, photographe et architecte français, allait même jusqu'à dire que « *la photographie est une œuvre de l'œuvre* » [Aymard '10], une œuvre de l'esprit. L'intellect du photographe intervient pour capter l'esthétique d'un bâtiment ou d'un espace par rapport au choix du cadrage, du point de vue et de la lumière :

- Le *cadrage* est l'action qui consiste à choisir et définir les limites du champ visuel enregistré par l'appareil photographique. Il s'affirme comme l'opération de mise en image du fragment de l'espace réel photographié.
- Le *point de vue* correspond à la position plus ou moins en hauteur où l'on se positionne par rapport au sujet pour prendre une photo et qui se matérialise ensuite par le cadrage. La photographie assigne ainsi au regard du lecteur une place privilégiée. À la « hauteur d'œil » s'opposent la « plongée » et la « contre-plongée ». Le rendu d'une photo peut-être alors différent selon le point de vue.
- La *lumière* : nous rappelons qu'étymologiquement le mot photographie signifie « écriture de la lumière » et qu'effectivement il n'y a pas de photographie sans lumière. Si la photographie est un fragment d'espace, elle est aussi l'expression d'un moment dans le temps. À chaque moment de la journée ou de l'année correspondent des jeux d'ombre et de lumière différents déterminant des qualités différentes de l'espace. Ainsi, le choix de la lumière ou de l'éclairage constitue un des facteurs de la réussite de la photo [Aymard '10].

On attribue souvent à l'image photographique la qualité de preuve par rapport au postulat de la fidèle reproduction de la réalité du monde et la conformité de la représentation au modèle. Cela tient particulièrement à sa technique même, à son procédé mécanique, chimique ou physique qui permet de faire apparaître une image de manière automatique. Dans le cadre de la théorie de la photographie, trois grands discours ont thématiquement de manière spécifique le rapport de la photographie à la réalité et proposent des définitions différentes [Dubois '90]. Au début du XIXe siècle, la photographie est considérée comme « *miroir du réel* », comme « *imitation on ne peut plus parfaite de la réalité* » ou encore « *reproduction mécanique fidèle et objective de la réalité* » [Dubois '90] (dans ce discours, la photographie relève de l'ordre de l'*icône*). Une réaction s'est très vite manifestée contre cet illusionnisme du miroir photographique. Ainsi, dès le début du XXe siècle, la photographie est désignée comme « *transformation du réel* », une pure impression de réalité, un simple effet de réel. Ce discours se fonde sur l'inaptitude de la photographie à rendre compte de toute la subtilité des nuances lumineuses. Elle n'offre au monde qu'une image déterminée par le choix de l'angle de vue,

par la distance à l'objet, par le cadrage. Ainsi, l'image photographique n'est plus un miroir neutre, mais une « *déconstruction du réalisme* », une « *codification des apparences* » (dans ce discours, la photographie relève de l'ordre du *symbole*, représentation par conventions générales). Malgré la satisfaction qu'a pu donner ce discours de symbole à ses contemporains, un autre discours tente d'aller au-delà du simple « *effet de réel* ». Car à la différence des autres modes de représentation, la photographie est un témoignage irréfutable de l'existence de l'objet photographié. L'image se voit « *déterminée uniquement par son référent, et rien que par celui-ci* », elle est ainsi « *trace du réel* » [Dubois '90] (dans ce discours, la photographie relève de l'ordre de l'index et de la référence).

Cette notion de trace introduit une prise de conscience de la possible distance entre l'image et son référent du monde réel. En effet, dans le contexte de la photographie d'architecture, l'expérience de la représentation d'un bâtiment ou d'un espace sur une photo et la confrontation au réel montre souvent des différences de sensations voire de perception importantes. Néanmoins, l'image photographique contient une puissance de désignation qui lui assure une qualité heuristique. C'est pourquoi, nous ne considérons pas la photographie comme une « *preuve matérielle* » des caractéristiques réelles d'une ambiance lumineuse, mais plutôt comme une empreinte, une évocation ou encore une illustration d'une réalité qui a pu exister à un instant précis.

3.1.2.3 *Limites de l'image photographique comme support à l'étude des ambiances lumineuses*

L'étude des ambiances lumineuses d'un lieu à partir des images photographiques présente certaines limites que nous avons jugé nécessaire d'explicitier dans ce paragraphe. Ces limites peuvent se rapporter :

- **aux choix du photographe** : la photographie réduit l'ambiance d'un espace à ce que les photographes ont choisi de donner à voir. Ce dernier interprète à sa façon le réel qui s'offre à lui. Il contrôle ses photos par le choix du cadrage, du point de vue et de l'instant du déclenchement. Le choix du cadrage constitue déjà une interprétation de l'espace et de son ambiance lumineuse face à la globalité de l'espace. De plus, les photographes cherchent à donner la meilleure représentation de l'espace photographié et à produire de « *belles photos* » [Aymard '10]. Dans une interview, le photographe Ezra Stoller, affirme, à propos de la prise d'une photo que « *les murs n'étaient pas droits, c'était un désastre, au point que j'ai cru que mon objectif était défectueux. Alors, j'ai dû tricher* » [Barrière '91]. Quoiqu'elle ne traite pas de l'éclairage naturel, cette citation nous montre que le photographe de l'architecture « *triche* » parfois pour faire apparaître le bâtiment dans ses meilleures apparences. En outre, les photographes choisissent le temps météorologique comme qualité de lumière. La majorité des images et quasiment la totalité qu'on peut retrouver dans des livres ou magazines spécialisés présente des captures de l'œuvre sous un jour radieux et où la qualité de la lumière est

jugée intéressante voire simplement « belle » ou agréable. Par ailleurs, le photographe peut aussi utiliser des effets photographiques pour faire passer des sensations différentes : effet de contre jour, le noir et blanc...

- **à la variabilité de la lumière :** la lumière varie selon le moment de la journée, de l'année et du type du ciel ou encore selon la situation géographique du bâtiment et l'orientation des prises de jour (Cf. Section 1.5.1).
 - *Moment de la journée, de l'année et type du ciel :* l'ambiance intérieure en éclairage naturel est en quatre dimensions puisque la lumière est « dynamique » : elle change tout au long de la journée, elle n'est ni fixe ni toujours égale dans sa qualité et son intensité, elle dépend aussi du moment de l'année et du type du ciel. La lumière rend ainsi visible la temporalité de l'architecture. Or, l'image, bidimensionnelle, ne représente qu'un état figé de la réalité à un instant « t ». Cela entraîne l'image à n'être qu'une illustration partielle d'une ambiance lumineuse à un moment précis. De plus, le moment de prise n'est généralement pas mentionné par le photographe. Il est difficilement lisible et déterminable. De ce fait, l'image, qui représente une ambiance figée, ne peut fournir qu'une réponse partielle sur les choix conceptuels du concepteur.
 - *Situation géographique du bâtiment et orientation des prises de jour :* ce sont des données qui influencent fortement le choix des dispositifs (choix de l'ouverture, choix du type de protection, ...). Par exemple, une orientation nord nécessite des dispositifs différents d'une orientation sud. Cependant, ces informations ne sont pas lisibles sur l'image, mais peuvent parfois être déduites à partir des données fournies sur la réalisation représentée.
- **à l'authenticité des conditions lumineuses :** d'autres paramètres peuvent influencer le rendu de l'éclairage naturel illustré sur la photographie. Par exemple, par rapport à la quantité de la lumière, on ne peut pas savoir si le photographe a utilisé un flash ou non ou s'il a ajouté des lumières supplémentaires lors de la prise de la photo. De plus, les performances de l'appareil photo peuvent influencer le rendu des couleurs sur l'image. Après la prise de la photo, le photographe peut aussi la retraiter et la retoucher afin d'améliorer son rendu et ce, par la correction de la luminosité ou du contraste. Ces modifications ne sont pas détectables à l'œil nu, mais peuvent affecter la réalité de la lumière représentée.

Bien que nous soyons consciente de toutes ces limites de la photographie dans l'étude des ambiances lumineuses, ce support demeure être le meilleur moyen pour rendre compte d'une réalité. De plus, l'écart entre image et réalité n'est plus une « vraie » contrainte lorsque nous considérons son caractère « évocateur ». Mais il convient d'apprendre à cultiver un regard critique de la possible distance entre le fragment représenté et le fragment réel.

3.1.2.4 Choix des images photographiques pertinentes pour la représentation des ambiances lumineuses

Dans le but de déterminer les critères de choix des images photographiques qui feront partie de notre corpus de références, nous commencerons par définir ce qu'est une ambiance lumineuse représentée.

Dans le premier chapitre de ce mémoire, nous avons défini une « *ambiance lumineuse vécue* » comme une interaction entre une lumière, un espace construit et traité, un usage et un usager (Cf. Section 1.2.1). Le recours à des images photographiques dans la représentation des ambiances lumineuses introduit une situation particulière qui est celle des ambiances lumineuses perçues. Cette perception n'est plus directe, mais médiatisée par une image.

Afin de définir ce qu'est une ambiance représentée sur une image photographique, nous distinguerons alors la notion d'« *ambiance lumineuse vécue* » de celle d'une « *ambiance lumineuse perçue* », représentée, vue à partir d'une image photographique. Dans ce cas, on ne parle plus de sensations éprouvées, mais de prise de connaissance d'une ambiance à un instant donné. Ainsi, il n'est plus question d'un usager qui interagit avec l'ambiance réelle, mais d'un sujet qui interagit avec l'ambiance représentée.

Nous définissons alors une ambiance représentée comme l'interaction entre un usage, une lumière naturelle et un espace qui sont représentés. Étant donné que l'image n'est qu'un fragment de l'espace réel à un moment précis, nous parlerons d'une ambiance lumineuse « représentée » lorsque ces trois critères sont réunis. Ils constituent les critères de sélection de notre corpus d'images :

- *Critère 1 : usage connu ou supposé* : l'occupant ou l'usager sont le plus souvent absents de la photo. Mais, l'usage de l'espace représenté doit pouvoir être déterminé ou au moins deviné à partir des éléments de l'aménagement de l'espace représenté. La Figure 50 illustre un exemple de deux images : la première répond à ce critère et la deuxième ne répond pas, donc ne pourra pas faire partie de notre corpus d'images références.



Figure 50. Exemple de deux images : l'une répondant et l'autre ne répondant pas au critère 1

- *Critère 2 : lumière naturelle représentée* : la lumière naturelle doit être identifiée comme éclairage dominant. Dans ce cas, la source de la lumière (qu'on identifie comme provenant d'une baie) doit être visible ou au moins une grande partie de cette source doit être visible de manière à pouvoir déduire sa forme et ses caractéristiques de transmission de la lumière (voir exemples Figure 51).



Figure 51. Exemples d'images selon le critère 2

- *Critère 3 : espace représenté* : l'image doit représenter un fragment suffisant d'un espace permettant d'apprécier ses caractéristiques : volumétrie, matériaux, aménagement,... Ainsi, on élimine par exemple toutes les photographies qui représentent des détails d'ouvertures : espace non visible (voir exemples Figure 52).



Figure 52. Exemples d'images selon le critère 3

- *Critère 4* : à ces trois critères, nous avons ajouté ce quatrième critère qui correspond à l'absence d'effet photographique, par exemple le contre jour lors de la prise de la photo (Figure 53), la surexposition de la photo par l'utilisation de flash, etc.



Figure 53. Un exemple d'une image représentant un effet de contre jour.

Ainsi, toutes les images photographiques représentant des réalisations retenues peuvent apparaître dans notre corpus, dès lors qu'elles répondent à ces quatre critères.

Une fois le corpus d'images références est constitué, il faut suivre une étape d'indexation des images références dont la finalité et l'organisation et la structuration du corpus. Dans ce qui suit, nous allons examiner les méthodes d'indexation des images les plus utilisées actuellement pour construire des bases de données d'images et nous expliquerons notre choix d'une indexation sémantique et manuelle de notre corpus d'images références.

3.2 Méthodes d'indexation d'images

L'indexation est une opération qui a pour but de faciliter l'accès au contenu d'un document ou d'un ensemble de documents à partir d'un sujet ou d'un ensemble de sujets [Pomart and Sutter '01]. Selon Vézina, l'indexation, à la différence du catalogage et de la classification, ne considère pas le document comme une entité distincte, mais plutôt comme un ensemble d'éléments d'informations déterminés à partir du contenu du document [Vézina '98]. Elle consiste à attacher à un document un ensemble de descripteurs qui décrivent et caractérisent son contenu de manière précise et concise afin de pouvoir retrouver ce document au sein de toute une collection. Il ne s'agit pas de coder toute l'information portée par le document, mais de se concentrer sur l'information utile à la mise en correspondance avec des besoins exprimés par un utilisateur lors d'une recherche de documents.

L'indexation d'images peut s'effectuer actuellement sous deux formes, l'indexation par le contenu graphique et l'indexation par le contenu sémantique. L'indexation par le contenu graphique est automatique et basée sur les caractéristiques physiques et visuelles de l'image. L'indexation par le contenu sémantique consiste à attacher à une image des termes (mots-clé, concepts) désignant le sens véhiculé par l'image.

3.2.1 Indexation par le contenu graphique

Dans cette forme d'indexation, des procédures algorithmiques permettent d'attacher à l'image des attributs de bas niveau tels que la couleur, la texture et les formes, et ce à un niveau local (une partie de l'image) ou global (la totalité de l'image) [Veltkamp and Tanase '02]. Cette forme d'indexation peut être efficace lorsqu'il s'agit d'une collection d'images bien spécifiques comme les images de visages ou lorsqu'il s'agit d'une collection d'images très large comme les images de paysages. Cependant, elle n'a pas montré son efficacité lorsqu'il s'agit de collections d'images hétérogènes. Des recherches réalisées au sein du CRAI [Kacher '05] ont montré que cette forme d'indexation fournit des résultats peu satisfaisants dans des bases d'images dans le domaine de l'architecture. En effet, lorsqu'un utilisateur cherchant une image représentant un bâtiment se soucie peu de ses caractéristiques de bas niveau, mais formule un besoin exprimant une sémantique d'un certain ordre (le style architectural, les éléments constituant la réalisation...). Ainsi, l'inconvénient majeur de cette forme d'indexation est qu'elle est sémantiquement pauvre.

Deux fossés majeurs sont à franchir par les applications tentant d'interpréter automatiquement le contenu graphique d'une image [Smeulders and Gupta '00] :

- le fossé sensoriel : il est défini comme la disparité qui existe entre l'unicité d'un objet physique dans le monde réel et la multiplicité des apparences que cet objet peut avoir à partir de son enregistrement sur une image ;
- le fossé sémantique : il est défini comme le manque de concordance entre les informations qu'on peut extraire à partir des données visuelles de l'image (bas niveau) et l'interprétation qu'en fait un utilisateur de ces mêmes données dans une situation donnée.

Plusieurs travaux, dans le domaine de « l'image mining », se sont focalisés sur ce deuxième type de fossé et essayent d'attribuer une description sémantique aux connaissances extraites à partir de la description bas niveau des images (la couleur, la texture, la forme et/ou également des relations spatiales) [Bannour '09 ; Bessagnet *et al.* '07 ; Mezaris *et al.* '04]. Ces travaux appliquent des algorithmes de segmentation d'images afin de diviser une image en plusieurs régions. Chaque région correspond à un objet représenté sur l'image. Ensuite, d'autres algorithmes permettent d'associer une description sémantique à chaque objet identifié sur l'image. Par exemple, Bannour [Bannour '09], propose un algorithme d'apprentissage qui permet d'identifier les objets à partir de l'identification des contours des régions extraites. Cet algorithme permet de générer des labels comme table, personne... Un deuxième algorithme permet de générer des descriptions comme la couleur ou la texture de l'objet : objet en bois, en marbre, rouge... (Figure 54).

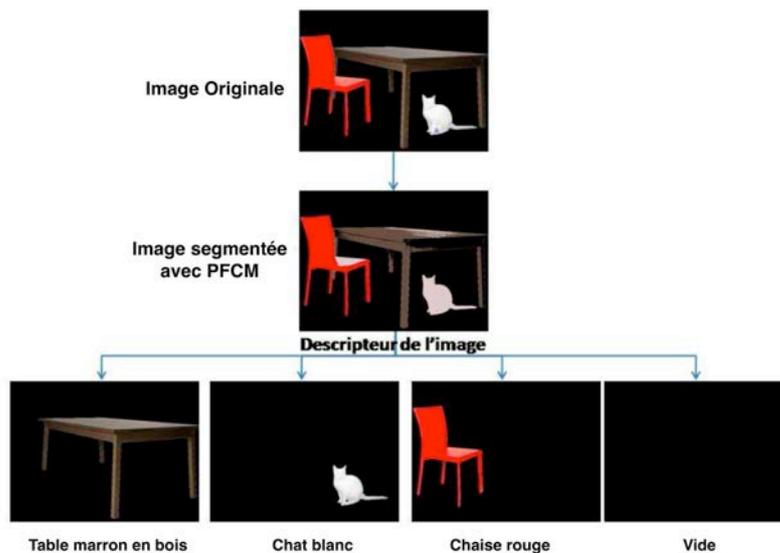


Figure 54. Un exemple d'une description sémantique des objets identifiés sur une image à partir des caractéristiques « bas niveau » [Bannour '09].

Toutefois, ces différentes méthodes permettent de décrire uniquement les objets représentés sur l'image ou encore les relations spatiales qui existent entre eux (chat sous la table, la chaise à côté de la table...). Ainsi, la description sémantique de l'image se réduit aux objets représentés. Ces méthodes peuvent être efficaces lorsque les besoins de la recherche d'images portent sur les objets représentés et leurs caractéristiques. Cependant, elles peuvent apparaître peu efficaces lorsque l'interprétation des images dépasse l'identification des objets. En effet, lorsque nous, humains, regardons des images, nous interprétons les objets, mais aussi les actions, les événements, ou encore les émotions (triste, joyeux...). De ce fait, ces méthodes d'indexation combinant graphique et sémantique ne permettent pas de prendre en compte toute la connaissance sémantique que peut véhiculer une image. Une **indexation sémantique**, par mots clés, maintient donc son intérêt car elle permet de représenter des notions qui ne sont pas directement extractibles à partir d'une description « bas niveau » de l'image. Nous expliquons les caractéristiques de cette dernière forme d'indexation dans le paragraphe suivant.

3.2.2 Indexation par le contenu sémantique

L'indexation par le contenu sémantique est une indexation conceptuelle. L'ingénierie documentaire en donne la définition suivante : « *c'est un processus destiné à représenter par les éléments d'un langage documentaire ou naturel des données résultant de l'analyse du contenu d'un document ou d'une question* » [AFNOR '87]. Dans l'indexation d'image, elle consiste à décrire une image par des termes appelés aussi « descripteurs » résultant de l'analyse sémantique du contenu de l'image.

3.2.2.1 Différents modes de l'indexation sémantique

L'indexation sémantique d'images peut se faire selon trois modes différents :

- manuel : dans ce cas, les descripteurs d'indexation sont identifiés par un indexeur humain. Ce dernier doit analyser le contenu de chaque image et respecter des règles d'indexation strictes afin d'obtenir une indexation cohérente. L'indexation manuelle a l'avantage d'assurer une meilleure correspondance entre le contenu sémantique des images et les descripteurs attribués pour le représenter [Baziz '05]. Son inconvénient majeur réside dans l'effort intellectuel que l'indexeur humain doit fournir .
- automatique : dans ce cas, le processus d'indexation est entièrement informatisé. Il fait référence à des procédures algorithmiques pour la sélection et l'attribution automatiques des concepts représentant le contenu des images. La sélection des concepts se fait à partir d'un texte qui accompagne l'image, appelé " texte collatéral ". Il peut être une légende, un titre, un texte intégral qui décrit l'image... [Nakapan '03]. Cependant, les textes collatéraux ne contiennent pas forcément tous ou les bons concepts pour représenter la sémantique véhiculée par l'image.
- semi-automatique : c'est un compromis entre les deux modes précédents. Un premier processus automatique donne les premiers éléments d'indexation. Puis, l'indexeur humain complète et corrige les informations obtenues par l'indexation automatique. Ce mode d'indexation est aussi appelé « indexation supervisée » [Baziz '05].

Bien que les indexations automatique et semi-automatique permettent de gagner du temps, l'indexation manuelle conserve un grand intérêt car elle permet de représenter des concepts qui ne figurent pas ou qui ne sont pas explicitement exprimés dans les textes collatéraux et qui peuvent être utiles dans la recherche [Pomart and Sutter '01]. De plus, les termes d'indexation extraits des textes collatéraux ne sont jamais aussi pertinents sémantiquement que ceux fournis manuellement.

3.2.2.2 Choix des termes d'indexation

L'indexation sémantique pose le problème de la définition et du choix des termes pour décrire les images. C'est en effet l'un des principaux problèmes de cette forme d'indexation. Deux questionnements différents peuvent être posés : quels aspects de l'image doivent être mentionnés ? Quels sont les termes les plus adéquats ?

Déjà en 1967, l'historien d'art Erwin Panofsky [Panofsky '67] s'est penché sur ce problème au sujet de l'indexation des collections d'images d'art. Il propose une distinction entre trois niveaux de description dans une œuvre d'art : description pré-iconographique (sujets primaires ou événements qui constituent le monde de l'artiste), l'analyse iconographique (sujets secondaires qui constituent le monde de l'image), l'interprétation iconographique ou l'iconologie (sujets intrinsèques qui constituent la valeur symbolique de l'image). Plus tard, Shatford [Shatford '86] a développé la proposition de Panofsky. Selon elle, seuls les premier

et deuxième niveaux doivent être utilisés pour indexer les images puisque le troisième niveau témoigne d'un avis subjectif. Elle propose une classification des images par facette. Chaque facette correspond à une réponse à chacune de ces quatre questions : Qui (les objets), Quoi (les activités et les événements), où (le lieu), Quand (le temps et l'espace). Chacune de ces facettes peut ensuite être subdivisée en deux aspects : « of » et « about ». Elle explique que ces deux aspects expriment la différence entre le signifiant (les entités concrètes et objectives) et le signifié (les entités abstraites et subjectives : l'émotion, l'ambiance, l'impression, ...) [Shatford '94].

Pour Michael Kraus, chacun de ces aspects « of » et « about » définit un type d'indexation (cité dans [Vézina '98]). Il distingue le « hard indexing » appelé aussi le « ofness » d'une image (l'image est de ... « Of ») et le « soft indexing » appelé aussi le « aboutness » d'une image (l'image est à propos de... « About »). Pour l'auteur, chacun de ces types d'indexation définit une famille différente des descripteurs. Le ofness (en français dénotation) de l'image correspond à ce que l'indexeur voit dans l'image, par exemple une fenêtre, une église... Ainsi, il se rapporte aux informations directement extractibles de l'image. Le aboutness (en français connotation) porte sur la signification, par exemple, l'église sur l'image est en fait « Notre Dame de Paris ». Ainsi, il se rattache à la description des informations complémentaires ou interprétatives, mais qui ne sont pas directement extractibles de l'image.

Ainsi, lors de l'indexation sémantique des images, il faut se poser un ensemble de questions qui guideront le choix des descripteurs de l'image et permettront une indexation cohérente pour l'ensemble d'une collection d'images :

- est-ce que l'indexation de l'image est descriptive ou analytique ?
- quels aspects de l'image seront indexés : le « of » ou le « about » de l'image ?
- la compréhension de l'image nécessite-t-elle une référence à un contexte ?
- quels éléments ou objets concourent à l'expression de la signification principale de l'image ?
- faut-il décrire tous les objets représentés sur l'image ?

En abordant le traitement documentaire de l'image, Melot avance que, « *l'image étant irréductible au langage, aucun vocabulaire n'en rendra jamais complètement compte* » [Melot '01]. Il soutient que l'indexation verbale d'une image doit être envisagée de manière à répondre aux questions susceptibles d'être posées lors de la recherche de cette même image. Il explique que « *ce n'est pas l'image que l'on peut indexer avec le langage, mais les questions qu'on pose à l'image avec ce même langage* » [Melot '01]. Ainsi, le choix des différents aspects et l'identification des termes d'indexation doivent être considérés selon les besoins éventuels d'une recherche d'image. Il faudrait pouvoir anticiper les besoins du public qui sera amené à rechercher ces images pour proposer une indexation efficace.

L'ensemble des termes employés dans l'indexation des images forme ce qu'on appelle le vocabulaire d'indexation.

3.2.2.3 Types de vocabulaires d'indexation

Il existe deux types de vocabulaire d'indexation : le vocabulaire libre et le vocabulaire contrôlé :

- Le vocabulaire libre est construit *a posteriori*, de manière automatique (à partir des textes collatéraux) ou manuelle en utilisant des expressions en langage naturel pour représenter le contenu des images. Les vocabulaires libres sont souvent utilisés parce qu'ils sont moins coûteux en temps et en mise en œuvre. Cette solution peut sembler la plus simple, cependant, elle génère de nombreuses ambiguïtés sémantiques (différents termes peuvent désigner une même chose) qui rendent l'indexation moins efficace lors de la recherche d'images.
- Le vocabulaire contrôlé diffère du vocabulaire libre en ce sens qu'il propose une normalisation des termes à utiliser dans le processus d'indexation. Ainsi, le vocabulaire est défini *a priori*, c'est-à-dire avant la phase de description du contenu des images, ce qui apporte un meilleur contrôle des ambiguïtés sémantiques. Pour l'indexation des images, l'indexeur choisit un ou plusieurs termes à partir du vocabulaire défini *a priori* pour représenter le contenu des images. Ce vocabulaire peut être organisé sous la forme d'une structure hiérarchique, un thésaurus, contenant des concepts et des relations sémantiques entre ces concepts issus du domaine. L'utilisation d'un **thésaurus** permet un meilleur contrôle du sens et une uniformisation des indexations [Baziz '05]. Le prochain paragraphe abordera plus en détail les caractéristiques d'un thésaurus (paragraphe 3.2.3).

3.2.2.4 Syntaxe

Une syntaxe indique comment les termes employés dans l'indexation des images sont organisés. Il existe deux grandes formes de syntaxe :

- La juxtaposition : les termes sont placés les uns après les autres, séparés par un caractère prédéfini. L'ordre des termes dans la liste n'a aucune signification.
- La pondération : l'idée derrière la pondération des termes d'indexation est d'affecter à chaque terme un poids pour traduire son importance dans la description de l'image. En effet, une image peut illustrer plus fortement certains concepts que d'autres. L'objectif de la pondération est alors de favoriser une discrimination entre les descripteurs des images dans le but de rendre la recherche plus efficace [Aitchison and Gilchrist '92].

3.2.3 Le thésaurus pour la structuration du vocabulaire d'indexation

3.2.3.1 Présentation

Afin de comprendre ce qu'est un thésaurus et à quoi il sert, regardons comment il est présenté par différents auteurs du domaine :

- Van Slype le définit comme « *une liste structurée de concepts destinés à représenter de manière univoque le contenu de documents et de questions dans un système documentaire déterminé et à assister l'utilisateur dans l'indexation des documents et des questions* ». Ces concepts sont extraits « *d'une liste finie, établie a priori [...] seuls les termes figurant dans cette liste peuvent être utilisés pour indexer les documents et les questions* » [Van Slype '87].
- Michèle Hudon, le définit comme « *une liste de mots simples ou d'expressions ayant une valeur de termes dans un domaine limité de la connaissance, le terme ayant défini ici comme la représentation linguistique (symbolique) d'un concept unique* ». Ces termes « *sont choisis parmi un ensemble de termes équivalents (synonymes ou quasi-synonymes) pour représenter de manière univoque un concept indexable présent dans un document ou dans la formulation d'une question de recherche* » [Hudon '94].
- L'Association Française de Normalisation (AFNOR) définit le thésaurus avec ces termes : « *Liste d'autorité organisée de descripteurs et de non-descripteurs obéissant à des règles terminologiques propres et reliés entre eux par des relations sémantiques (hiérarchiques, associatives, ou d'équivalence). Cette liste sert à traduire en un langage artificiel dépourvu d'ambiguïté des notions exprimées en langage naturel* » [AFNOR '96].

Un thésaurus se présente alors comme un vocabulaire organisé et contrôlé qui regroupe un ensemble de concepts³³ relatifs à un domaine de connaissance. Le thésaurus constitue un moyen pour décrire ce domaine et d'en définir les concepts. Chaque concept est représenté par un terme, appelé descripteur. Ce terme est le moins ambigu que possible et il est préféré à des termes voisins (quasi-synonymie) ou synonymes : les non-descripteurs.

- Descripteur : il représente sans ambiguïté un concept donné. Il est utilisé lors de l'indexation des documents.
- Non-descripteur : renvoie à un synonyme ou quasi-synonyme ou variante orthographique d'un descripteur. Il ne doit pas être utilisé pour l'indexation, mais permet à l'indexeur de trouver le descripteur adéquat par l'expression d'un terme proche sémantiquement.

³³ Maniez définit la notion de concept en la comparant à la notion de sujet. Pour lui, « *un concept, comme un sujet, est la représentation mentale d'un élément de la réalité, pensable en l'absence de cette réalité. Ce qui le distingue du sujet est son statut sociolinguistique et son statut cognitif. D'une part les concepts véhiculés par un groupe social sont des unités de pensée passées dans les mentalités et dans la langue du groupe, héritées du passé et cautionnées par les dictionnaires. Pour employer une locution saussurienne, ils font partie de la langue. Par contre les sujets, comme les discours, sont des produits de l'activité langagière, de la parole. Le nombre des concepts est limité, alors que celui des sujets potentiels est infini. D'autre part le concept est saisi par l'esprit comme un objet élémentaire, global, par opposition au sujet qui est en général composite. Il suffit pour s'en assurer de comparer "sécurité sociale", "automobile", "chemin de fer" et "sécurité des personnes et des biens", "accidents d'automobile en Allemagne", "La nationalisation des chemins de fer en France".* » (Maniez J., (1999), "Des classifications aux thésaurus, du bon usage des facettes", Documentaliste-Science de l'information, Vol. 36, No. 4-5, pp. 249-262.)

Établi a priori, l'objectif principal du thésaurus est la désambiguïsation du langage pour faciliter et homogénéiser l'indexation des documents.

Le thésaurus permet de gérer aussi différentes relations sémantiques entre les concepts. Ces relations sémantiques sont essentiellement hiérarchiques, associatives, ou d'équivalence. Elles permettent d'assister l'indexeur dans l'indexation des documents. Selon Van Slype, « *l'assistance à l'utilisateur est apportée par la structure sémantique du thésaurus : relations d'équivalence, de hiérarchie et d'association essentiellement* » [Van Slype '87].

- Relation d'équivalence (entre descripteurs et non descripteurs) : elle permet de retenir un terme préférentiel (descripteur) et de lui identifier les termes équivalents ou synonymes ou quasi-synonymes (non-descripteurs). Elle vise à favoriser la représentation d'une même idée et non pas de relier deux termes de même sens. Cette relation permet d'enrichir le contenu terminologique du thésaurus. Par exemple, « Vitamine C » est une équivalence de « Acide Ascorbique ». Elle s'exprime par les renvois réciproques.
- Relation hiérarchique (entre descripteurs) : elle exprime la subordination entre les descripteurs. Le terme supérieur est appelé « terme générique » et le terme subordonné est appelé « terme spécifique ». « *Selon la norme AFNOR, les relations hiérarchiques sont caractéristiques des thésaurus et les différencient des autres listes de termes plus ou moins organisées. Elle assure la cohérence interne du thésaurus* » [Dauzats '94]. Ce type de relations part de la logique de ressemblance entre deux notions. On peut retrouver deux genres de relations hiérarchiques : la relation générique qui lie deux descripteurs dans un rapport de genre à espèce [Hudon '94] et la relation partitive qui lie deux descripteurs dans un rapport de tout à partie. Dans cette deuxième hiérarchie, le descripteur représenté par le terme spécifique est une partie, un élément ou une composante du descripteur représenté par le terme générique. Ce type de relation est défini comme relation verticale.
- Relation d'association (entre descripteurs) : c'est une relation entre deux descripteurs « *susceptibles d'évoquer des idées proches. Cette relation est symétrique et elle ne peut exister qu'entre descripteurs non déjà liés par une relation hiérarchique* » [Halin '89] ou par une relation d'équivalence. Elle permet de fournir un enrichissement sémantique. Les relations d'association peuvent être des relations de causalité (la cause et l'effet), de localisation (l'action et le lieu de l'action), de composition (le tout et sa partie)... [Hudon '94]. Ce type de relation est défini comme relation horizontale. Exemple : localisation (fête et salle des fêtes), matériaux constructifs (tuile et toit), antonymie (humide et sec)...

Un thésaurus peut comporter un nombre important de descripteurs. Il est donc plus pratique de diviser sa structure en sous-ensembles appelés « champs sémantiques » afin de faciliter sa manipulation. Deux grands types de subdivisions sont couramment utilisés [Halin '89] : Thésaurus à structure subdivisée par thèmes Et le Thésaurus à facettes. Concernant le

Thésaurus à structure subdivisée par thèmes, les concepts sont regroupés par disciplines qui peuvent être enseignées ou faire partie d'une connaissance : architecture, chimie, habillement... Ceci convient pour des thésaurus à portée large (Un exemple est présenté à 0 : Le thésaurus *Urbamet*). Le Thésaurus à facette représente la particularité que chaque facette regroupe un sous-domaine et la somme de chacun de ces sous-domaines constitue la globalité du domaine de connaissance organisé. La subdivision du thésaurus en facettes est mieux adaptée à un domaine d'application étroit ou spécialisé.

Rappelons que notre objectif est la construction d'un thésaurus qui nous servira dans l'indexation d'un ensemble d'images relatives au domaine des ambiances lumineuses. Ce domaine, que nous avons choisi, est déjà assez restrictif, il fait partie d'un domaine plus vaste qui est l'architecture. Le thésaurus à facette est donc plus adapté pour la mise en forme du vocabulaire utile à la représentation de la connaissance de ce domaine.

3.2.3.2 *Le thésaurus à facettes*

Jean Aitchison, spécialiste des thésaurus à facettes, considère que l'usage de la classification par facette pour structurer un thésaurus « *fournit un outil de travail pour analyser les champs sémantiques et pour déterminer les relations entre les concepts qui s'y rattachent* » [Aitchison and Gilchrist '92]. Elle assimile le classement par facette à une « *division utilisant une seule caractéristique à la fois pour produire des groupes homogènes qui s'excluent mutuellement* » [Aitchison and Gilchrist '92]. Chaque groupe représente une catégorie fondamentale du domaine analysé. Ainsi, chaque facette constitue une catégorie sémantique structurée de manière à regrouper des concepts simples, en nombre limité, et spécifiques à un domaine. Par exemple dans un thésaurus répertoriant des fruits, nous pouvons trouver la facette « couleur » et la facette « forme » qui constituent dans l'univers des « fruits » deux catégories regroupant des concepts différents. Les facettes sont déterminées par une étude du vocabulaire propre au domaine à traiter. Elles sont complémentaires entre elles et sont équivalentes les unes par rapport aux autres. Pour reprendre l'exemple de la « forme » et de la « couleur », aucune de ces catégories n'est plus générique ou plus spécifique que l'autre, mais complémentaires dans leurs propriétés.

Nous précisons que l'indexation des documents à partir d'un thésaurus à facettes est de nature combinatoire [Aitchison and Gilchrist '92]. Ceci signifie que l'indexation des documents ne se fait que par le biais de la combinaison entre des concepts appartenant à des facettes différentes.

Un exemple du thésaurus à facettes est le thésaurus AAT³⁴ (Art & Architecture Thesaurus). Ce thésaurus a été publié dans les années 90 par « The Getty Research Institute » et utilisé pour le catalogage et l'indexation des documents dans les domaines des arts, de l'architecture et des archives appartenant au domaine de la construction. Il contient près de 130 000 termes

³⁴ <http://www.getty.edu/research/tools/vocabularies/aat/index.html>

organisés en 7 facettes : *concepts associés, attributs physiques, styles et périodes, agents, activités, matériaux et objets*.

Ces facettes traitent de sous-domaines différents et comporte chacune un grand nombre de concepts classés hiérarchiquement. Le point fort de l'AAT est son exhaustivité. Toutefois, en expérimentant l'AAT dans l'indexation d'une collection de diapositives³⁵ d'art et d'architecture, il semblerait qu'un indexeur, même à la suite d'une formation, prend en moyenne vingt-sept minutes pour indexer une diapositive à l'aide de ce thésaurus [Keefe '90]. Ceci est principalement dû à sa hiérarchisation très profonde (jusqu'à 22 niveaux hiérarchiques).

L'examen de ce thésaurus nous permet d'affirmer que son exhaustivité rend le thésaurus AAT peu adapté à l'indexation d'image dans un domaine spécifique tel que les ambiances lumineuses. Les concepts qui peuvent être utilisés pour indexer des ambiances lumineuses se trouvent dans des facettes différentes et à des profondeurs (niveaux hiérarchiques) importantes. Par exemple, le concept « *éclairage naturel* » (daylight) est présent dans la facette des concepts associés au 9^{ème} niveau hiérarchique et où il est mentionné en tant qu'un concept spécifique du concept « *énergie* » (energy). La notion d'éclairage naturel est reprise dans la facette des activités, au 6^{ème} niveau hiérarchique sous le concept « *techniques de l'éclairage* » (Figure 55). Dans l'examen des techniques de l'éclairage mentionnées, on remarque qu'il n'y a pas eu de distinction entre l'éclairage naturel et l'éclairage artificiel. La distinction se fait entre les techniques de l'éclairage par direction ou par distribution : *éclairage direct, éclairage indirect, éclairage général, éclairage local, éclairage supplémentaire* (Figure 55). Ainsi, le thésaurus AAT permet de décrire de manière exhaustive le domaine de l'architecture.

Toutefois, il est peu adapté à l'indexation d'images dans un domaine plus précis. De plus, sa hiérarchisation profonde rend difficile la recherche d'un concept. L'indexeur mettra beaucoup de temps à retrouver le terme approprié pour l'indexation d'un document ce qui rend ce thésaurus difficile à utiliser dans l'indexation manuelle des images.

³⁵ La base de diapositives d'art et d'architecture de « Rensselaer Polytechnic Institute » à New York.

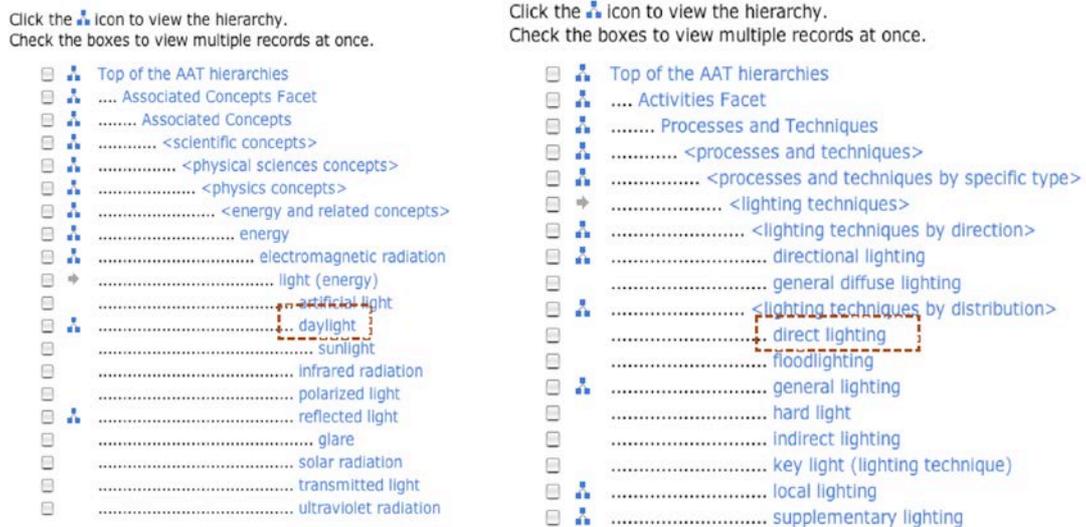


Figure 55. Exemple de la profondeur de la hiérarchisation dans le thésaurus AAT

3.3 Vers une indexation sémantique et manuelle des images références

Chaque image contenue dans notre corpus de références représente une ambiance lumineuse et est contextualisée dans un projet (Figure 56). L'indexation sémantique des images doit rendre compte de ces deux aspects des images.

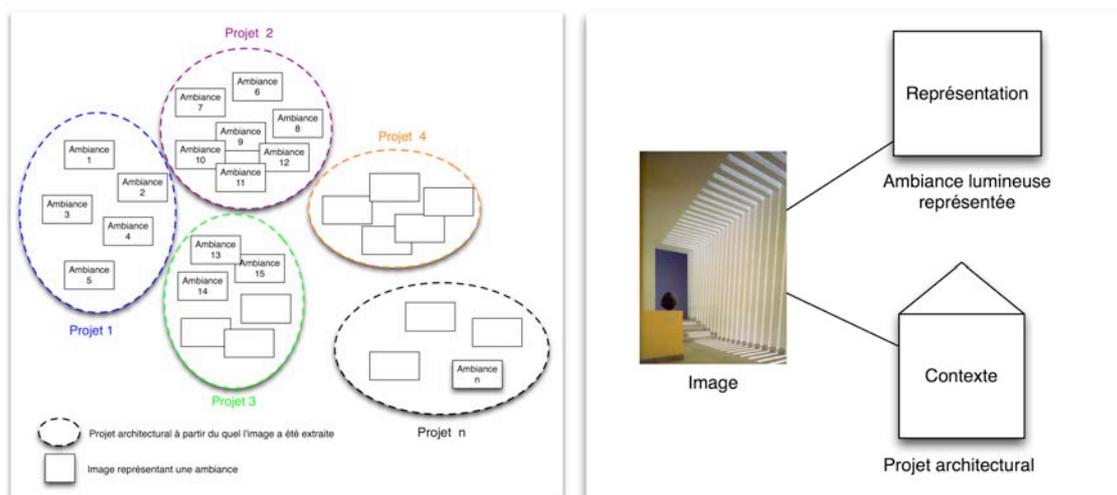


Figure 56. La structure de notre corpus d'images

Ainsi, nous prenons en compte ces deux aspects. Chaque aspect constitue une famille de descripteurs :

- La première famille concerne une description de l'image : le « of » de l'image. Elle porte sur la description de l'ambiance lumineuse représentée. À chaque image, nous attribuons un certain nombre de concepts permettant de désigner de manière **objective**

l'ambiance représentée. Ainsi, nous ne fournirons pas des descriptions pouvant se rapporter à une interprétation personnelle de l'ambiance lumineuse souvent en rapport avec la culture personnelle de l'observateur (ambiance agréable, chaleureuse, froide...). En effet, ceci ne peut être indexé avec aucun degré de cohérence suffisant. Il correspond à un avis subjectif. Dans le but d'uniformiser l'indexation des images, les descripteurs de cette famille seront choisis à partir d'un thésaurus dédié aux ambiances lumineuses et seront pondérés afin de prendre en compte leur importance dans la description de l'ambiance représentée.

- La seconde famille concerne une contextualisation de l'image : le « about » de l'image. À chaque image, nous attribuons des descripteurs se rapportant au projet auquel appartient l'espace représenté sur l'image. Ces descripteurs portent sur le nom du projet, le nom de l'architecte, l'année de sa construction et sa situation géographique. Ils ne constitueront pas des informations sur lesquelles portera la recherche d'images références, mais offrent les moyens de situer une ambiance représentée dans son contexte global. Les descripteurs faisant partie de cette famille se feront par langage libre.



Figure 57. Exemple de description d'une image selon les deux familles de descripteurs

Dans l'inexistence d'un thésaurus spécifique au domaine des ambiances lumineuses, nous proposons de construire un thésaurus comprenant les concepts nécessaires pour la description des ambiances représentées. L'étude du vocabulaire de caractérisation des ambiances lumineuses représentées nous a conduit à la construction d'un thésaurus organisé en cinq facettes (cette étude fera l'objet du chapitre suivant) comprenant chacune différents niveaux hiérarchiques. Ces facettes sont :

- Dispositif lumineux : cette facette comprend la typologie des ouvertures (verrière zénithale, fenêtre ...) ainsi que les dispositifs de protection et de contrôle (brise soleil, protection translucide...).

- Quantité de lumière : cette facette comprend des concepts relatifs aux aspects lumineux généraux des espaces, ainsi qu'à la distribution de la lumière.
- Effet de lumière : cette facette comprend des concepts relatifs à l'influence de la lumière sur l'appréhension des espaces, des matériaux, des formes et des structures.
- Surfaces : Cette facette concerne les caractéristiques de traitement des surfaces intérieures en couleur et en texture.
- Usage : cette facette comprend les différentes utilisations des espaces. Par exemple, salle d'exposition, cuisine...

Dans le but de guider une indexation cohérente de tout le corpus d'images, nous avons établi les règles suivantes :

- Les descripteurs doivent être choisis à partir du thésaurus et exclusivement à partir du dernier niveau hiérarchique.
- Chaque image doit être indexée au minimum avec un concept de chaque facette :
 - Chaque image illustre au moins un dispositif lumineux.
 - Chaque image illustre au moins une quantité de lumière.
 - Chaque image illustre au moins un usage.
 - Chaque image illustre au moins un effet de lumière.
 - Chaque image illustre au moins une surface intérieure.
- Chaque image doit avoir au moins cinq descripteurs. Et nous avons délibérément fixé le nombre maximum des descripteurs à dix. Selon [Pomart and Sutter '01], au-delà de dix descripteurs, une indexation devient trop fouillée. Cela oblige l'indexeur à choisir les termes les plus pertinents par rapport à la spécificité de l'ambiance représentée. Pour limiter le nombre des descripteurs, il ne faut retenir que ceux pour lesquels l'image apporte une information susceptible d'intéresser les personnes qui vont rechercher cette image.

Par ailleurs, la pondération des descripteurs de l'image pose le problème de la détermination du poids à attribuer à chaque descripteur. Dans un travail antérieur mené au CRAI par Sabrina Kacher pour l'indexation des images représentant des ouvrages en bois [Kacher '05], ont été identifiées cinq propriétés graphiques permettant de guider l'attribution d'un poids à chaque descripteur. Ces propriétés graphiques sont :

- La surface occupée : répond à l'emprise de la représentation d'un ouvrage sur l'image.
- La ressemblance avec l'archétype : correspond à la similitude de la représentation de l'ouvrage illustré avec le modèle idéal partagé par les professionnels du domaine.

- Le contraste de la représentation de l'élément sur l'image : correspond à la capacité de la représentation de l'ouvrage d'émerger du reste de l'image.
- La centralité de la représentation de l'élément sur l'image relève de la position de l'illustration de l'ouvrage sur l'image.
- La totalité de la représentation de l'élément sur l'image dépend du fait que la représentation de l'ouvrage sur l'image comprend les traits sémantiques (éléments essentiels) qui permettraient l'identification et la reconnaissance de la représentation de l'élément sur l'image.

Cependant, il est difficile d'appliquer ces propriétés graphiques dans la pondération des termes décrivant une ambiance lumineuse. En effet à l'exception des descripteurs relatifs aux dispositifs lumineux qui décrivent des objets représentés sur l'image et pour lesquels nous pouvons appliquer ces propriétés graphiques, les autres descripteurs correspondent à une appréciation visuelle de l'ambiance. De ce fait, nous avons opté pour une pondération des termes de point de vue de leur influence sur l'appréhension de l'ambiance représentée. Ainsi, dans le cas de notre étude, la pondération correspond à une hiérarchisation des descripteurs par rapport à ce qui attire en premier l'attention de l'observateur (en l'occurrence l'indexeur) lors de la perception de l'ambiance.

3.4 Mise en œuvre de la méthode de constitution du corpus d'images dans un outil

Pour la constitution du corpus, nous n'avons pas limité *a priori* le nombre de projets. Les projets choisis sont ceux que nous avons analysés lors de nos lectures. Dès qu'un projet est analysé, des photographies ont été collectées à partir de plusieurs sources différentes (livres, Internet, prises de vue personnelles).

Actuellement, notre corpus contient environ 900 images. Parmi ces images, 400 images environ représentent des ambiances intérieures et sont indexées selon la méthode proposée. Le reste des images, 500 images environ, sont des images représentant des détails d'ouvertures ou des vues extérieures et elles sont indexées uniquement par des descripteurs se rapportant au projet : contextualisation des images. Ces dernières images sont utilisées comme des informations supplémentaires permettant de compléter les éléments d'une ambiance lumineuse représentée sur une image.

Pour l'indexation de notre corpus d'images, nous avons choisi l'outil « iMage » développé au CRAI par Pascal Humbert docteur en informatique et ingénieur de recherche. Cet outil est générique et peut être utilisé pour indexer n'importe quel corpus d'images à partir du moment où le thésaurus est fourni.

Cet outil est manipulé par l'indexeur. Il présente 5 rubriques différentes (Figure 58) :

- A- Ce champ présente le thésaurus utilisé dans l'indexation des images. Nous remarquons que le thésaurus peut être fourni *a priori* ou construit au fur et à mesure de l'indexation des images. Les modifications du thésaurus *a posteriori* de l'indexation des images sont aussi possibles.
- B- Ce champ présente l'indexation des images : d'une part le contexte de l'image (le projet) et d'autre part les descripteurs pondérés. Ce champ est complété par l'indexeur.
- C- Ce champ présente des données informationnelles sur l'image : numéro de l'image, taille, format, dimensions, année de capture et source.
- D- Ce champ présente un aperçu de l'image active.
- E- Ce champ présente la liste d'images contenues dans la base.

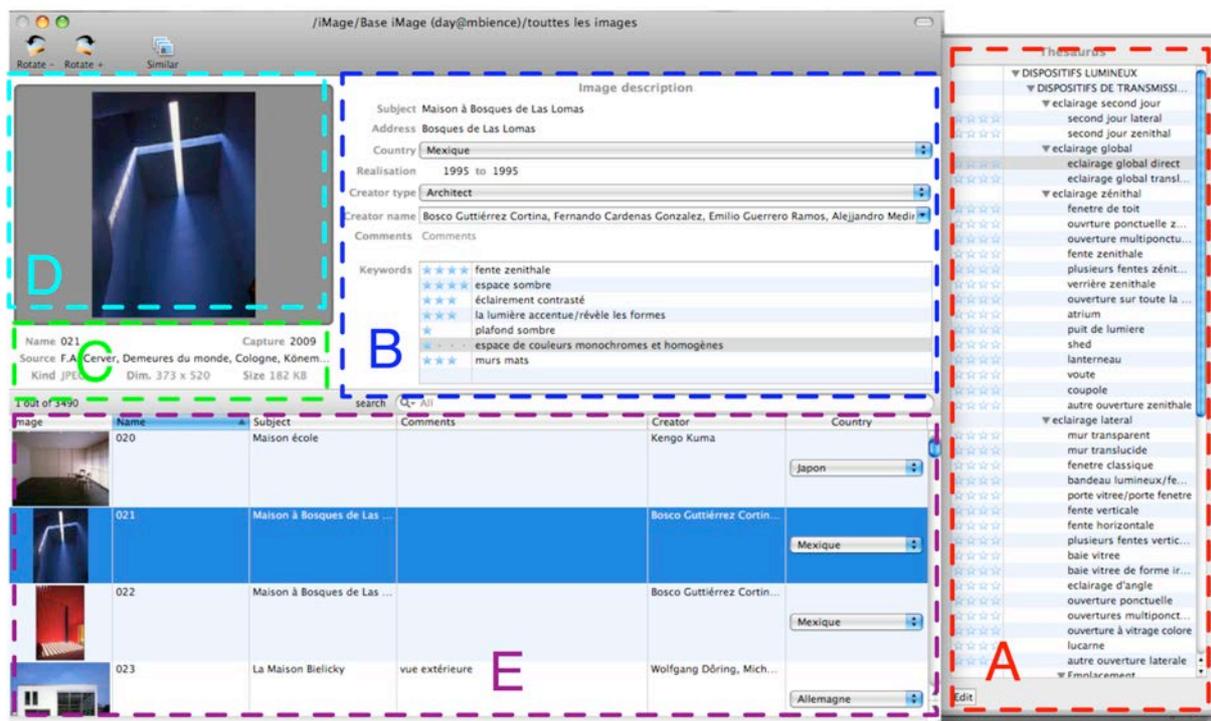


Figure 58. Capture d'écran présentant les différentes composantes de l'outil iMage

L'indexation des images en utilisant l'outil iMage repose sur le modèle de données présenté dans la Figure 59.

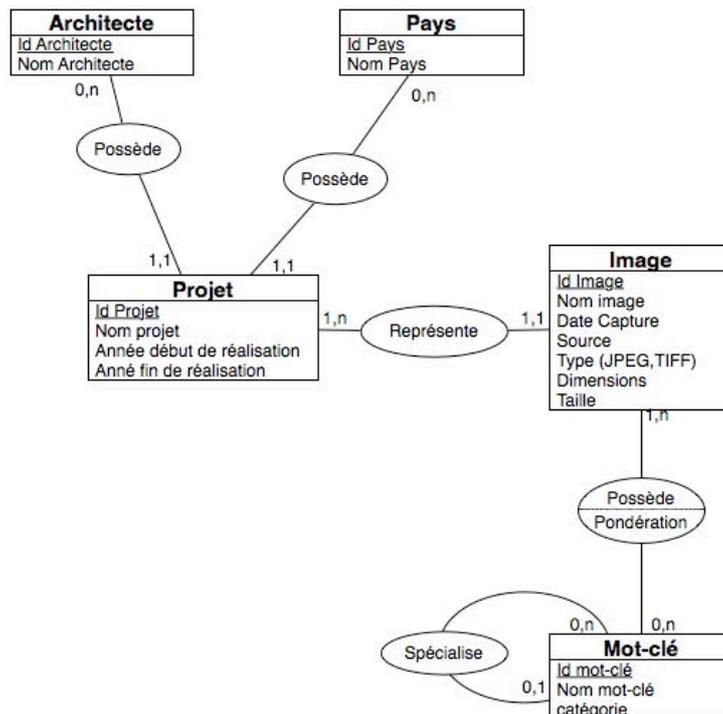


Figure 59. Modèle de données utilisé dans iImage

La mise en œuvre de l'indexation d'une image est présentée à la Figure 60.

image description

Subject Church of light (Eglise de lumière)
 Address Address
 Country Japon
 Realisation 1989 to 1989
 Creator type Architect
 Creator name Tadao Ando
 Comments Comments

Keywords

- ★★★★ fente verticale
- ★★★★ fente horizontale
- ★ . . . espace sombre
- ★★★★ éclairage contrasté
- ★★★★ la lumière accentue/révèle les formes
- ★★ la lumière crée une attraction
- ★ D espace de couleurs monochromes et homogènes C
- ★ espace religieux

Metadata (A): Name 268, Capture 2009, Source http://www.andotadao.org/chlight6.htm (Photogr...), Kind JPEG, Dim. 500 x 375, Size 91 KB

Figure 60. Les champs d'indexation d'une image

Le champ A présente des informations qui permettent de gérer l'image en tant que fichier. Les dimensions, la taille et le type de l'image sont remplis automatiquement. L'indexeur doit ajouter le nom de l'image, l'année de capture et la source.

Le champ B présente les informations contextuelles relatives au projet et qui doivent être complétées par l'indexeur.

Le champ C présente les descripteurs associés à l'image à partir du thésaurus et particulièrement à partir du dernier niveau hiérarchique.

Le champ D présente la pondération manuelle des termes qui est représentée sous forme d'étoiles allant de 1 étoile (pas influent) à 4 étoiles (très influant).

Pour les images présentant des vues extérieures ou des détails d'ouvertures, les champs C et D ne seront pas complétés.

3.5 Conclusion du chapitre

Tout au long de ce chapitre, nous avons présenté la démarche de constitution du corpus d'images références qui est structurée en deux étapes. La première étape concerne la sélection des réalisations architecturales et des images représentant les ambiances lumineuses intérieures dans ces réalisations. Nous avons justifié notre choix de considérer uniquement les images photographiques comme forme de représentation des ambiances lumineuses. Nous avons ensuite déterminé quatre critères à suivre afin de constituer un corpus raisonné d'images références d'ambiances lumineuses.

La deuxième étape concerne l'indexation des images. L'étude des différentes formes d'indexation des images nous a orienté vers une indexation sémantique et manuelle des images références en prenant en compte deux aspects de l'image le « of » et le « about ». Le « of » correspond à la description de l'ambiance représentée et le « about » correspond à la réalisation architecturale à laquelle appartient l'ambiance représentée. Afin d'uniformiser l'indexation des images, nous avons opté pour la constitution d'un thésaurus dédié « ambiances lumineuses » à partir duquel seront sélectionnés les descripteurs de l'image. Le chapitre suivant abordera la démarche de construction de ce thésaurus.

Dans la dernière partie de ce chapitre, nous avons présenté l'outil « iMage » développé au CRAI par Pascal Humbert et qui nous a servi à la mise en œuvre de l'indexation de notre corpus de références.

CHAPITRE 4. Élaboration d'un thésaurus relatif au domaine des ambiances lumineuses

Le thésaurus que nous proposons de créer doit permettre une description du contenu sémantique des images pour la caractérisation des ambiances lumineuses représentées. Ce chapitre décrit notre démarche de constitution de ce thésaurus.

L'élaboration d'un nouveau thesaurus nécessite l'identification du vocabulaire relatif au domaine traité par les documents à indexer [Aitchison and Gilchrist '92 ; Hudon '94]. Nous avons donc commencé par identifier le vocabulaire utilisé dans la caractérisation des ambiances lumineuses. Ensuite, nous proposons l'identification des concepts et des facettes pour la structuration du thésaurus.

4.1 Vocabulaire de caractérisation des ambiances lumineuses

Dans l'objectif d'identifier le vocabulaire de caractérisation des ambiances lumineuses, nous avons commencé par une étude théorique en puisant dans la littérature relative à la lumière naturelle. Notre but était d'identifier un vocabulaire uniforme et suffisamment commun dans la caractérisation des ambiances lumineuses (paragraphe 4.1.1). Nous avons ensuite mené une étude expérimentale en demandant à des professionnels du domaine, des architectes, de caractériser des ambiances lumineuses à partir d'images photographiques. Cette étude nous a permis de connaître le vocabulaire manipulé par les architectes et de restreindre le vocabulaire de caractérisation des ambiances lumineuses à celui des ambiances lumineuses « représentées » (paragraphe 4.1.2).

Ces deux études d'une part théorique et de l'autre part expérimentale permettent de prendre en compte deux aspects du langage, le premier écrit, réfléchi et structuré et le deuxième oral, plus spontané.

4.1.1 Exploration de la littérature

La lumière dans la conception architecturale est un sujet très abordé dans la littérature spécifique du domaine de l'architecture. À travers cette littérature, nous avons particulièrement ciblé les ouvrages où la problématique du traitement de la lumière naturelle et des ambiances lumineuses est présente. Ces ouvrages³⁶ peuvent être :

- des ouvrages abordant la lumière d'un point de vue scientifique et méthodique : traités d'architecture et ouvrages terminologiques,
- des ouvrages fondés sur un discours architectural de la lumière : interviews ou monographies d'architectes contemporains et monographies d'architectures récentes.

L'analyse de ce type de textes peut se faire à l'aide d'outils spécifiques dédiés à cet effet [Tornay '10] ou de manière manuelle [Kacher '05]. Dans notre approche, nous avons procédé à une analyse manuelle qui nous a permis d'identifier le vocabulaire utilisé et de comprendre quand et comment un concept est utilisé dans la description des ambiances lumineuses.

À partir de l'étude de ces textes, nous avons constaté que, pour être caractérisée, une ambiance lumineuse a besoin d'être analysée sous plusieurs aspects correspondant chacun à une problématique spécifique de conception. Nous avons déterminé cinq aspects différents : dispositifs lumineux, surfaces intérieures, quantité de lumière, usages et effets de lumière. Dans ce qui suit, nous aborderons particulièrement ces aspects par rapport à la manière de les décrire et les termes utilisés.

³⁶ La liste des ouvrages retenus est présentée à l'Annexe 2.

4.1.1.1 Dispositifs lumineux

Nous désignons par dispositifs lumineux les dispositifs qui conditionnent la propagation de la lumière dans les espaces intérieurs. Parmi ces dispositifs lumineux, on distingue souvent ceux qui permettent de transmettre la lumière à l'intérieur de l'espace (dispositifs de transmission de la lumière) et ceux qui permettent de contrôler la lumière et qui protègent des rayons directs (dispositifs de contrôle et de protection) [Reiter and De Herde '03].

- Dispositifs de transmission de la lumière

Ces dispositifs correspondent aux percements effectués dans l'enveloppe de l'espace pour favoriser la pénétration de la lumière à l'intérieur de ce même espace. Différents termes sont employés pour désigner ces dispositifs : ouverture, fenêtre, prise de jour... Leur caractérisation est largement abordée dans la littérature. Nous avons pu identifier cinq critères qui entrent en compte dans leur caractérisation : le type, le matériau de transmission, la position, l'orientation et le rapport entre les ouvertures.

- Le type : la typologie des ouvertures peut être de trois niveaux : générique, intermédiaire ou spécifique.

La typologie générique considère uniquement le critère de l'emplacement des ouvertures dans l'enveloppe de l'espace. On distingue alors entre éclairage zénithal (lorsque l'ouverture est située au niveau de la toiture du local), éclairage latéral (lorsque l'ouverture est située au niveau de l'enveloppe verticale du local) et éclairage global (lorsque l'apport de la lumière prend une grande partie, voire la totalité de l'enveloppe de l'espace) [Baker *et al.* '93] (voir exemples Figure 61). Parfois, une ouverture n'est pas en relation directe avec le milieu extérieur. Dans ce cas, l'espace est éclairé par l'intermédiaire d'un autre espace qui est lui-même éclairé naturellement. Pour désigner ces ouvertures, le terme « *second jour* » est souvent employé (par exemple éclairage latéral en second jour). [Liébard and De Herde '05] précise qu'un éclairage en second jour peut être latéral ou zénithal.



Figure 61. Exemples d'images représentant un éclairage global (à gauche), un éclairage latéral (au centre) et un éclairage zénithal (à droite)

La typologie intermédiaire classe les ouvertures selon des attributs communs plus précis. Ainsi, un éclairage zénithal peut être une verrière, un puits de lumière, une fenêtre de toit... (voir Figure 62) un éclairage latéral peut être une fenêtre, un bandeau lumineux, une fente verticale...

Par exemple, le type fenêtre désigne, dans son acception générale, une ouverture latérale, ouvrable, à vitrage transparent et occupant une partie de la surface du mur à une hauteur d'allège standard.



Figure 62. Exemples d'ouvertures zénithales : verrière (à gauche), puits de lumière (au centre), fenêtre de toit (à droite)

La typologie spécifique peut être très précise en rapport avec la taille (*grande fenêtre, petite fenêtre...*), la forme (*fenêtre carrée, fenêtre ovale...*), le matériau utilisé (*fenêtre en bois, fenêtre en aluminium...*), la manière de l'ouvrir (*fenêtre à la française, coulissante*)...

Selon le choix d'un type particulier d'ouverture, la lumière peut être qualifiée de directe (lorsque les rayons lumineux arrivent directement dans l'espace) ou d'indirecte (lorsque les rayons qui entrent par la partie vitrée rencontrent une surface qui permet de les redistribuer dans la pièce, ex. shed).

- Le matériau de transmission : là aussi, on procède à une typologie des matériaux de transmission (désigné aussi par vitrage). Un matériau de transmission peut être transparent, translucide, ou coloré (Figure 63).

Il est désigné comme *transparent* lorsqu'il laisse passer la lumière et permet la vue vers l'extérieur. La lumière qui pénètre à l'intérieur de l'espace est quasi la même qu'à l'extérieur. Le matériau de transmission transparent laisse passer aussi bien la lumière diffuse du ciel que les rayons directs du soleil.

Il est désigné comme *translucide* lorsqu'il laisse passer la lumière, mais empêche les rayons directs du soleil et la vue vers l'extérieur (exemple de matériaux translucide : verre sablé, verre dépoli, verre imprimé, polycarbonate...). Un matériau de transmission translucide procure un éclairage uniforme et homogène.

Il est désigné comme *coloré* lorsque la lumière qui le traverse change de couleur et prend celle du matériau de transmission. Il procure une lumière teintée, colorée. Un matériau de transmission coloré peut être transparent ou translucide.



Figure 63. Exemples de matériaux de transmission : transparent (à gauche), translucide (au centre), coloré (à droite)

- La position : elle désigne souvent l'emplacement d'une ouverture latérale par rapport à la hauteur du mur, ou par rapport à l'articulation entre les différentes parois d'une même enveloppe (à l'angle d'une pièce, adjacente au mur qui est perpendiculaire à celui où elle se trouve...).

Par rapport à la hauteur du mur, une ouverture latérale peut être à hauteur de plinthe (éclairage latéral bas), à hauteur d'allège (éclairage latéral au niveau des yeux), au ras du plafond (éclairage latéral haut) ou encore sur toute la hauteur du mur. Ces différentes positions affectent l'éclairage au fond d'une pièce qui augmente avec la hauteur de l'ouverture. Par exemple, pour une même surface vitrée, une fenêtre haute éclaire davantage en profondeur [Reiter and De Herde '03]. Toutefois, le choix de la position d'une ouverture ne dépend pas uniquement de l'éclairage au fond d'une pièce, mais peut aussi être déterminé par le besoin ou non de vue sur l'extérieur.

- L'orientation : ce paramètre est déterminant dans le choix d'une ouverture. Une façade au sud ne sera pas traitée de la même manière qu'une façade au nord. Plusieurs architectes soulèvent le lien qui peut exister entre le type d'ouverture choisi et l'orientation de la façade.
- Le rapport entre les ouvertures et la répartition des ouvertures : ce paramètre concerne l'articulation des ouvertures les unes par rapport aux autres. Dans [Liébard and De Herde '05] on distingue entre une « lumière unilatérale » (la lumière arrive dans l'espace uniquement par l'une des parois verticales), une « lumière multilatérale » (le local est éclairé par plusieurs ouvertures d'orientations différentes) et une « lumière bilatérale » (la lumière provient de deux parois différentes de l'enveloppe de la pièce). Concernant ce dernier, Ching distingue entre une « lumière opposée » (la lumière arrive dans l'espace par deux ouvertures l'une en face de l'autre) et une « lumière croisée » (les deux sources de lumière appartiennent à deux murs adjacents) [Ching '96].

Quelques expressions utilisées par les architectes qui renvoient à ce paramètre : lumière à partir d'une seule paroi, la lumière entoure l'espace...

Parfois le rapport entre les ouvertures est désigné par un type d'ouverture. Par exemple : *fentes parallèles* pour désigner plusieurs fentes se trouvant sur une même paroi ou *ouverture multiponctuelle* pour désigner plusieurs mini percements se trouvant sur une même paroi. Ceci permet de désigner des agencements parfois complexes de l'architecture contemporaine [Lassance '98].

Nous tenons à remarquer que le choix d'un dispositif de transmission de la lumière peut être affecté par des facteurs autres que la lumière. Il peut s'agir des matériaux de construction utilisés, de la composition de la façade, du besoin de se protéger de la vue du voisinage, de l'environnement immédiat du bâtiment (une belle vue, un paysage...), etc.

- *Dispositifs de contrôle et de protection*

Un dispositif de contrôle et de protection désigne tout corps empêchant le rayonnement solaire d'atteindre une surface qu'on ne souhaite pas voir ensoleillée. Il permet alors de « *retenir la quantité de lumière à exclure* » [Ciriani '91]. Nous avons pu identifier deux formes de classification des protections solaires : l'une basée sur les caractéristiques des protections et l'autre sur leur nature.

Dans l'ouvrage « *daylighting in architecture* », les auteurs abordent une classification des protections solaires basées sur leurs caractéristiques générales. Trois paramètres leur permettent de caractériser ces dispositifs [Baker *et al.* '93] :

- l'emplacement : ce paramètre permet de distinguer entre les protections intérieures et les protections extérieures,
- la finalité : une protection pour filtrer la lumière (protections translucides ou ajourées) ou pour obstruer la lumière (protections opaques),
- la mobilité : ce paramètre permet de distinguer entre les protections flexibles (mobiles ou ajustables) et les protections rigides (mobiles ou fixes).

Dans l'ouvrage « *l'éclairage naturel des bâtiments* » [Reiter and De Herde '03], les auteurs regroupent les dispositifs de protection selon une typologie générique par rapport à leur nature. Cette classification a été reprise dans l'ouvrage « *traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques* » [Liébard and De Herde '05]. Elle permet de distinguer entre trois types génériques pour chacun d'eux les auteurs ont identifié des types spécifiques (Figure 64) :

- les protections liées à l'environnement : masques extérieurs. Ils correspondent à la végétation (les arbres à feuilles caduques), ou aux constructions voisines qui créent des ombres à l'intérieur de l'espace,

- les éléments architecturaux : correspondent aux éléments de façades : les surplombs de toiture, les débordements latéraux, les encorbellements, les balcons, les auvents, les loggias... ces protections sont fixes et étudié généralement de manière à contrôler les rayons directs du soleil.
- les protections ajoutées : un light shelf, un brise-soleil, une jalousie, les stores vénitiens, les persiennes, les stores enroulables, les stores projetés à l'italienne, les rideaux... ces protections peuvent bloquer, atténuer ou réorienter la lumière directe du soleil.



Figure 64. Exemples de protections : masque extérieur (à gauche), élément architectural (au centre), protection ajoutée (à droite)

Selon le choix du dispositif de contrôle ou de protection, la lumière peut être filtrée, tamisée, diffuse...

4.1.1.2 Surfaces intérieures

Cet aspect concerne principalement le traitement des surfaces des murs, du sol et du plafond formant l'enveloppe intérieure de l'espace qui est un facteur déterminant dans la répartition de la lumière.

Chaque matériau, selon sa *couleur* et son *état de surface* possède un facteur de réflexion. Une surface peut être plus ou moins réfléchissante ou absorbante: une surface blanche, par exemple, réfléchira la plus grande partie de la lumière blanche solaire, alors qu'une surface noire en absorbera le maximum. Une surface noire et mate ne réfléchit plus la lumière, elle en absorbe la plus grande partie, elle sera sans ombres ni lumière [Jungmann '95].

Lorsqu'on aborde le facteur de réflexion des matériaux, on s'intéresse à la couleur des matériaux par rapport à leur teneur en blanc. Une surface peut être :

- blanche,
- de couleur claire : importante teneur en blanc,
- de couleur moyenne : saturation moyenne,

- de couleur foncée : forte teneur en noir.

Plus la surface est claire plus son facteur de réflexion est élevé et plus une surface est foncée plus son facteur de réflexion est faible.

Selon son état de surface, ou finition, une surface peut être [Reiter and De Herde '03] :

- *spéculaire* : lisse et parfaitement réfléchissante (miroir ou métal poli). La réflexion d'un objet sur une surface spéculaire reproduira l'image inverse de celui-ci.
- *brillante* : lisse et partiellement réfléchissante. Un objet réfléchi sur une surface brillante y dessine sa silhouette.
- *mate* : parfaitement diffusante. Aucun objet ne peut être perçu par sa réflexion sur une surface mate.
- *satinée* : le comportement d'une surface satinée correspond à celui d'une surface brillante ou mate selon l'angle d'incidence du rayon lumineux. Si le rayon est rasant, la surface satinée réagit comme une surface brillante. Lorsque l'angle d'incidence diminue, elle se rapproche d'une surface mate.

Selon le comportement des surfaces, la lumière peut être réfléchiée, colorée (elle prend la couleur des matériaux), redirigée...

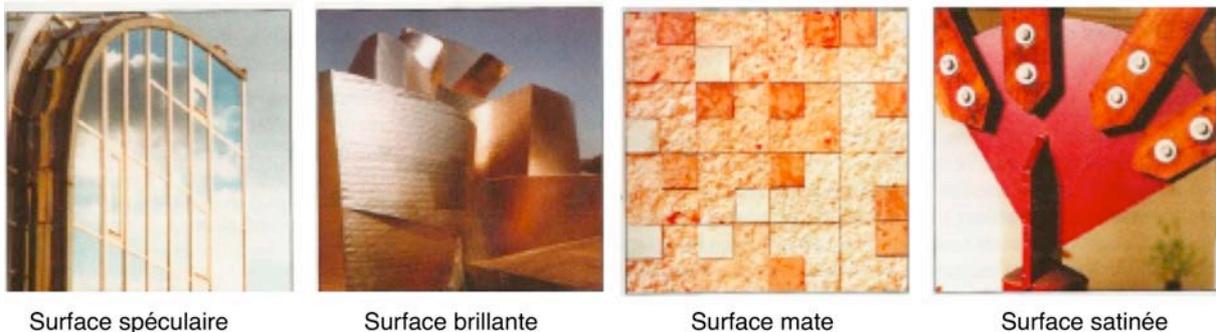


Figure 65. Quatre types de surface : satinée, brillante, mate et satinée [Reiter and De Herde '03]

4.1.1.3 Usages

Dans le discours architectural sur la lumière, l'usage est caractérisé par l'affectation fonctionnelle des espaces. On retrouve alors : séjour, salle à manger, hall d'entrée, bureau, salle de réunion, espace d'exposition... dans le chapitre 1 nous avons abordé le rapport entre l'usage d'un espace et l'ambiance lumineuse (Cf. Section 1.2.3.1).

4.1.1.4 Quantités de lumière

Dans son acception générale, le concept de quantité de lumière fait référence à des quantités mesurables : éclairage, luminance, etc (revoir chapitre 1, paragraphe 1.1.4). Dans le discours architectural, la quantité de la lumière est caractérisée par des appréciations

qualitatives relevant de l'ordre du visuel. Ces appréciations permettent de qualifier l'aspect lumineux général de l'espace (espace sombre, espace très lumineux...) (Figure 66) et les variations de luminances ou d'éclairagements qui se rapportent à la distribution de la lumière (éclairage homogène, éclairage contrasté...).



Figure 66. Exemples d'espaces : très lumineux (à gauche), sombre (au centre), très sombre (à droite)

4.1.1.5 Effets de lumière

La lumière pénétrant dans un espace par les ouvertures (latérales ou zénithales ou globales) se jette sur les surfaces d'une pièce, dévoile leurs couleurs et révèle leurs textures. Par les ombres et les ombrages qu'elle crée lorsqu'elle rencontre les formes ou les objets, la lumière anime l'espace de la pièce ou l'unifie, accentue les formes ou les déstructure... ce sont autant d'effets visuels de la lumière.

Cet aspect de la caractérisation des ambiances lumineuses correspond donc à l'influence de la lumière sur notre appréhension des espaces, des formes, des matériaux et des structures. Le changement des niveaux de luminance, ou l'articulation entre des zones d'ombre et des zones de lumière à l'intérieur d'une pièce manifestent des impacts visuels différents. Ces derniers contribuent à des perceptions différentes qui nous permettent de qualifier des effets différents de la lumière.

Pour étudier les différents effets de la lumière, nous renvoyons à l'ouvrage de Marietta Millet « *Light revealing architecture* » [Millet '96] et l'ouvrage de Mireia Vergés « *Light in architecture* » où les auteurs développent une étude assez complète des effets de la lumière en architecture (voir exemples Figure 67)³⁷.

³⁷ Une étude sur la lumière dans la peinture nous a permis une meilleure interprétation des effets de la lumière à partir des images. Un résumé de cette étude est présenté à l'Annexe 3.



Figure 67. Exemples d'effets de lumière : la lumière souligne une direction (à gauche), la lumière déstructure l'espace (au centre), la lumière divise l'espace (à droite)

L'impact visuel de la lumière a été aussi abordé dans le cadre des démarches environnementales. Il en ressort deux notions différentes : confort visuel et éblouissement. Nous remarquons toutefois que ces deux notions sont abordées particulièrement dans la conception des espaces de travail.

- Le confort visuel : il est défini dans la cible 10 du référentiel de la HQE® comme une exigence qui consiste très généralement d'une part à voir certains objets et certaines lumières sans être ébloui et d'autre part à avoir une ambiance lumineuse satisfaisante quantitativement en termes d'éclairement et d'équilibre des luminances, et qualitativement en termes de couleurs.
- L'éblouissement : est un impact négatif de la lumière qui résulte des conditions de vision dans lesquelles l'individu est moins apte à percevoir les objets suite à des luminances ou contrastes de luminance excessifs dans l'espace et dans le temps [Reiter and De Herde '03]

Ces deux notions correspondent plus à des évaluations de l'impact visuel de la lumière et ne permettent pas de caractériser une ambiance lumineuse du point de vue du discours architectural.

Par ailleurs, nous remarquons que l'appréhension de la lumière à l'intérieur d'une pièce n'est jamais neutre car le travail de la lumière engendre toujours l'un ou l'autre des types d'effets, même lorsque ce n'est pas volontaire.

4.1.2 Entrevues avec les professionnels du domaine

La finalité de cette étape est d'identifier le vocabulaire couramment utilisé par les architectes pour caractériser les ambiances lumineuses représentées. Nous avons demandé à neuf architectes ayant déjà une expérience dans la conception architecturale de caractériser avec leur langage les ambiances lumineuses représentées sur 16 photographies (un extrait de ces photographies est illustré à la Figure 68). Nous avons veillé à choisir des images représentant des ambiances différentes de manière à couvrir un vocabulaire le plus large possible (la liste

complète des 16 photographies est consultable à l'Annexe 4). Nous soulignons que ces images, sélectionnées à partir de notre corpus, ne sont accompagnées ni de textes ni de mots-clés afin d'éviter d'orienter ou aussi d'influencer leurs interprétations.



Figure 68. Un extrait des photographies utilisées pendant les entretiens

Cependant, lorsque les commentaires nous paraissaient insuffisants, nous avons alors posé des questions supplémentaires afin d'élargir les propos des architectes. Ces questions pouvaient être :

- Qu'est-ce qui attire en premier votre attention sur cette image ?
- Est-ce qu'il vous semble intéressant de mentionner le type d'ouverture pour caractériser une ambiance lumineuse ?
- Comment caractérisiez-vous la quantité de lumière ?
- Vous paraît-il intéressant d'identifier le type d'usage ? Pourquoi ?

Afin de garder une trace de ces entretiens, nous avons procédé à des enregistrements audio. Une retranscription de ces entretiens est consultable à l'Annexe 5.

Cette étude avait pour objectifs de vérifier la pertinence des aspects de caractérisation des ambiances lumineuses que nous avons identifiées à l'issue de l'étude théorique à partir de la littérature.

Nous commencerons par analyser le vocabulaire utilisé par les architectes ensuite nous verrons l'importance de chacun des aspects dans la description des ambiances.

4.1.2.1 Analyse et interprétation du vocabulaire utilisé

L'analyse du vocabulaire manipulé par les architectes dans la caractérisation des ambiances lumineuses représentées a montré que les aspects décrits précédemment à partir de l'exploration de la littérature ont été identifiés par les architectes. Cependant, la caractérisation de certains de ces aspects peut présenter quelques différences que nous allons exposer dans ce qui suit.

- *Dispositifs de transmission de la lumière*

À partir de l'exploration de la littérature, nous avons identifié cinq critères qui permettent de caractériser ces dispositifs : type, matériaux de transmission, position, orientation et rapport entre les ouvertures.

- Le type : nous avons remarqué que les architectes emploient aussi bien des termes ou expressions qui renvoient à une catégorisation générale des ouvertures que pour désigner le type particulier des ouvertures.

Ils utilisent par exemple : *éclairage zénithal, éclairage haut, lumière en toiture...* pour désigner un éclairage zénithal, *éclairage en façade, éclairage frontal...* pour désigner un éclairage latéral, *tout est vitrée, dispositif tout verre, espace complètement vitré...* pour désigner un éclairage global et *deuxième jour, un apport indirect qui provient de l'espace voisin...* pour désigner un éclairage en second jour.

La catégorisation spécifique concerne particulièrement les ouvertures latérales ou zénithales. Ils emploient par exemple : *shed, puits de lumière, verrière...* pour les ouvertures zénithales, *fenêtre, fenêtre en bandeau, points lumineux, mur rideau, éclairage ponctuel* pour les ouvertures latérales. Parfois, les architectes caractérisent très précisément l'ouverture représentée. Par exemple, « *le dispositif des fenêtres est divisé en deux parties, partie en imposte qui donne directement sur la lumière extérieure et partie inférieure largement dominante protégée par l'auvent* » ou encore « *grande verrière bombée en forme de demi-cylindre*. À partir de cette dernière expression, l'architecte détermine en même temps le type d'ouverture « *verrière* », sa surface relative « *grande* » et sa forme « *demi-cylindre* ».

Quelques architectes ont employé les termes suivants pour caractériser les ouvertures : *panneaux coulissants et panneaux fixes, façade vitrée avec châssis coulissant...* Nous remarquons que cette spécification concerne plutôt le souci de la ventilation des espaces que la pénétration de lumière.

- Le matériau de transmission : les architectes identifient le matériau de transmission particulièrement quand il est coloré ou translucide (*pavés lumineux de couleur, des filtres translucides de différentes couleurs, panneaux translucides, pas de verre, mais de polycarbonate...*). Autrement dit, lorsque le matériau n'est pas caractérisé ceci sous-entend qu'il est en verre et transparent.
- La position : ce paramètre a été mentionné particulièrement pour caractériser les ouvertures latérales : *les ouvertures à un niveau trop haut par rapport à l'homme, une immense baie vitrée continue qui relie le sol au plafond, la fenêtre monte jusqu'au plafond, fenêtres très hautes, hauteur supérieure à allège...*

- Le rapport entre les ouvertures : pour désigner ce paramètre les architectes ont utilisé des termes comme : *deux fenêtres, éclairage mixte, latéral supérieur et fenêtres classiques, plusieurs sources qui se succèdent en gradin...* Toutefois, nous remarquons que c'est un paramètre très rarement identifié.
- L'orientation : les architectes essayent parfois de déduire l'orientation de la fenêtre à partir de la qualité de la lumière qui pénètre dans l'espace : *on passe du sud au nord ou de est à ouest, orientation sud ou ouest...* Bien que l'orientation soit un paramètre déterminant dans le choix d'une ouverture, il reste toutefois difficile à saisir à partir des images. Dans notre approche, nous le considérons comme une information complémentaire qui peut aider les architectes à comprendre une ambiance plus que comme un paramètre pour caractériser les ambiances représentées.

D'après ce qui précède, nous pouvons déduire que le vocabulaire de caractérisation des dispositifs de transmission de la lumière englobe généralement la typologie des dispositifs la position des ouvertures latérales par rapport à la hauteur du mur, et le type du matériau de transmission s'il n'est pas transparent.

- *Dispositifs de contrôle et de protection*

Nous voulons d'abord remarquer que seulement deux images étudiées représentent un dispositif de transmission et de contrôle (Image 3 et Image5). Vu le nombre très réduit de ces images, nous ne pouvons pas tirer de conclusion, mais l'analyse des commentaires des architectes sur ces deux images nous permet de constater que bien qu'ils identifient les protections par leurs types (rideaux, stores, auvent...), ils se préoccupent plus de :

- leur fonction : protéger de la vue, protéger des rayons directs du soleil, tamiser la lumière : les rideaux qui tamisent la lumière sur les bords, partie de lumière occultée, la capacité de varier le niveau de luminosité par un store à lamelles, par des rideaux, la protection solaire et puis la protection visuelle, matériau translucide... se protéger du soleil et pas forcément de la lumière... Nous remarquons par exemple qu'un rideau opaque n'aura pas la même fonction qu'un rideau translucide. Ainsi, il serait plus pertinent d'identifier la qualité de transmission de la protection (opaque, translucide ou ajourée) que son type.
- leur mobilité : sont mis ouverts mis fermés...pas tout à fait baissé, mais bien engagé, un store extérieur qui peut se monter et descendre, la possibilité de tamiser complètement la lumière, moyen d'occultation utilisé aux trois quarts..., ainsi une protection mobile à la différence d'une protection fixe permet de contrôler la lumière selon la volonté de l'occupant.
- leur emplacement : extérieurs ou intérieurs : occultation extérieure, les persiennes je pense extérieures, pas de protection extérieure...

- *Surfaces intérieures*

Cet aspect de caractérisation des ambiances lumineuses a bien été identifié par les architectes. Ils identifient aussi bien la couleur, que l'état de surface. Toutefois, les surfaces sont généralement caractérisées lorsque leur traitement a influencé la perception de l'ambiance lumineuse représentée ou lorsqu'il y a un contraste dans le traitement des surfaces : *espace très blanc, parquet au sol très sombre et le plafond très clair, les murs servent plus de source de lumière indirecte que le plafond, tout l'intérieur est blanc sauf le sol, contraste entre la toiture et le fond, sol noir... il est noir et brillant, sol sombre et brillant, les matériaux réfléchissants qui augmentent la sensation lumineuse, sol réfléchissant en béton brut avec une résine ou un vernis dessus...* Ce constat sera pris en compte lors de l'indexation des images.

- *Usage*

Les architectes identifient bien l'usage des espaces par rapport à leur affectation fonctionnelle : *cuisine, salon, salle à manger, chambre à coucher, salle de réunion, un gymnase, coursive, couloir...*

- *Quantité de lumière*

Les architectes qualifient aussi bien l'aspect lumineux général de l'espace (*espace sombre... pas d'abondance de lumière, très lumineux, ambiance sombre, circulation sombre, espace très lumineux...*) que les variations de luminances ou d'éclairages qui se rapportent à la distribution de la lumière (*éclairage uniforme, lumière distribuée de manière homogène, pas beaucoup de contraste, le même niveau d'éclairage partout, peu d'éclairage naturel au niveau des yeux, répartie sur l'ensemble de l'espace...pas de zones d'ombres ...*).

En rapport à ce même aspect, les architectes utilisent aussi des expressions comme : *le même niveau d'éclairage partout qui est à priori bien pour un terrain de sport, énormément d'éclairage naturel, espace un peu surexposé, peu d'éclairage, la quantité ça me semble suffisant...* Cependant, cette qualification renvoi, implicitement, à une évaluation de la quantité de la lumière en rapport avec les usages des espaces et ne permet pas une caractérisation objective des ambiances.

- *Effets de lumière*

Les architectes ont bien identifié les effets de la lumière sur la perception des espaces, des formes, des matériaux et des structures (*la lumière est utilisée pour attirer le regard vers la montée de l'escalier ; accentuer l'espace, le rythmer ou le structurer grâce à la lumière ; accentuer la longueur du couloir ; détacher les volumes intérieurs ; mise en valeur des matériaux de construction ; faire flotter la dalle en l'air ; il n'y a plus d'ambiance lumineuse, le but c'est d'être comme si à l'extérieur...*).

Certains architectes ont parfois remarqué l'attirance du paysage extérieur qui peut dominer la perception de l'ambiance lumineuse intérieure. À partir de leur discours, nous pouvons même constater qu'ils l'identifient comme un effet de lumière : *on est plus attiré par la vue...un peu plus par le cadrage de paysage que par lumière naturelle et baie vitrée ; est-ce qu'on crée une différence entre lumière et ouverture, ici on a un cadrage sur un paysage ; la lumière guide vers l'extérieur ; pas de séparation entre extérieur et intérieur ; attirance vers le paysage extérieur...* Cependant, nous considérons que le cadrage de vue est plus un paramètre qui influence le choix d'une ouverture ou même est un effet d'ouverture. Il ne sera pas considéré comme un effet de lumière.

D'autres expressions ont été aussi mentionnées par les architectes pour caractériser l'effet de lumière : *espace agréable ; ambiance froide ; éclairage naturel assez monacal ; assez agréable, assez frais...* ces termes traduisent les sensations produites par la lumière. Ils relèvent d'une appréciation subjective de l'effet de la lumière. Ils ne seront donc pas pris en compte dans la caractérisation des effets de lumière.

4.1.2.2 *L'importance de chacun des aspects dans la description des ambiances lumineuses représentées*

Les aspects identifiés précédemment n'ont pas la même importance dans la caractérisation des ambiances lumineuses. Cette importance varie selon les sujets questionnés, mais aussi selon les images.

L'importance de chacun des aspects selon les sujets est évaluée par rapport au nombre de fois avec lequel un sujet mentionne un aspect dans la caractérisation de toutes les images. Ce nombre peut alors varier entre 0 et 16. Nous précisons qu'un aspect est pris en compte même lorsque l'architecte n'y fait qu'une simple allusion. Par exemple, dans les expressions suivantes : *la chaise et le bureau qui est contre la fenêtre (sujet1 image5) ; effet de lumière plus important qu'éclairer les pièces (sujet7 image7) ; la proportion de l'ouverture par rapport à la façade (sujet8 image11)* nous considérons que les architectes ont identifié respectivement les aspects suivant : usage, effets de lumière et dispositifs de transmission de la lumière. Nous expliquons ce choix par le fait que lorsque l'architecte renvoie à un aspect c'est qu'il l'a forcément « observé ».

La Figure 69 montre l'importance des aspects de caractérisation des ambiances selon les sujets. Nous pouvons noter qu'à l'exception du sujet 3 qui n'a pas identifié l'aspect relatif aux dispositifs de transmission et de contrôle, tous les autres sujets ont identifié tous les aspects.

La Figure 70 montre que globalement les deux aspects les plus importants sont ceux relatifs aux dispositifs de transmission de la lumière et aux effets de lumière. Nous remarquons que seulement deux images parmi les seize représentent des dispositifs de protection et de contrôle. Ceci explique la faible importance de cet aspect selon les sujets.

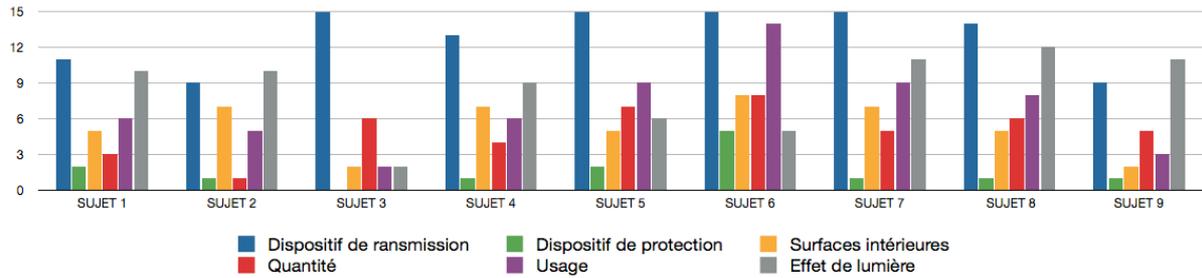


Figure 69. Importance des aspects de caractérisation des ambiances selon les sujets

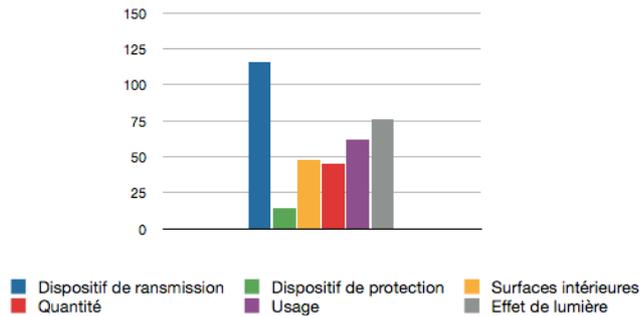


Figure 70. Récapitulatif pour tous les sujets

Par rapport aux images, l'importance d'un aspect a été évaluée selon le nombre de fois où les sujets mentionnent un aspect dans la caractérisation de chacune des images. Ce nombre peut alors varier entre 0 et 9.

La Figure 71 montre que la pertinence d'un aspect est très variable selon les images. L'analyse des variations de l'importance de chacun des aspects dans toutes les images caractérisées nous a permis de conclure que l'importance d'un aspect est déterminée par rapport à la spécificité de l'ambiance et d'autre part par rapport à son influence dans l'appréciation de l'ambiance.

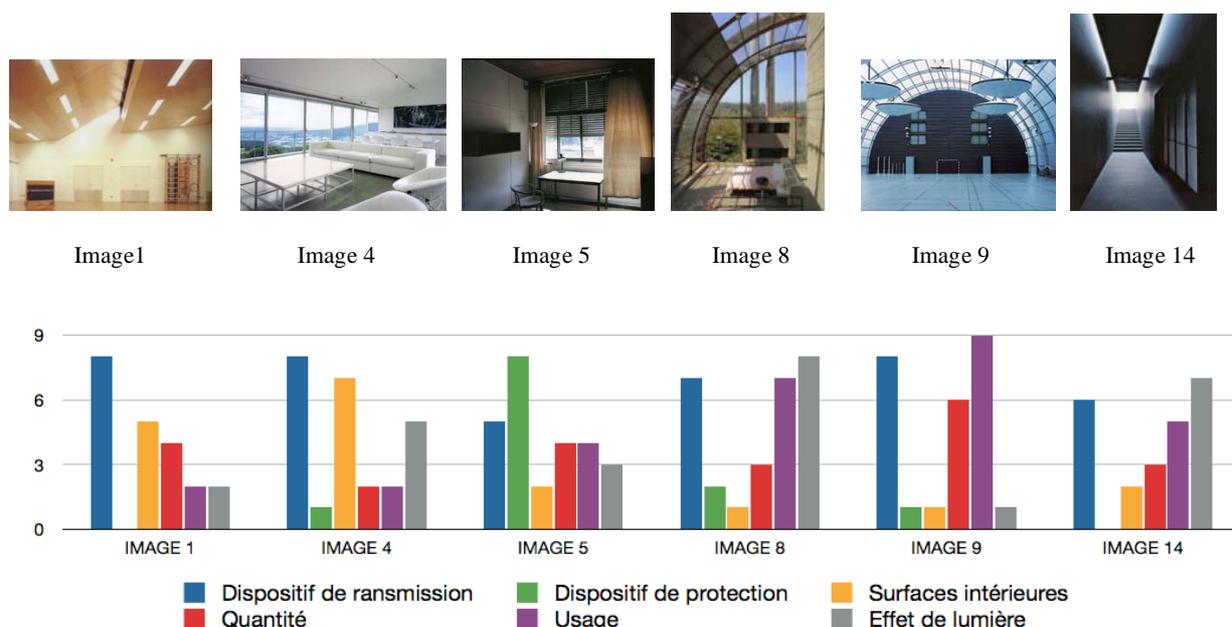


Figure 71. Importance des aspects de caractérisation des ambiances selon les images

4.1.2.3 Autres remarques

- Autres expressions mentionnées par les architectes

En plus des expressions qui renvoient aux différents aspects identifiés à partir de l'exploration de la littérature, nous avons remarqué que les architectes ont utilisé des expressions faisant référence à la taille des espaces (*grand espace, petit espace, grand hall*), ou encore des expressions qui relèvent d'une évaluation de l'ambiance lumineuse représentée (*lumière naturelle de qualité pour un gymnase, une belle lumière maîtrisée, éclairage correct, peu de lumière mais mesurée, lumière pas sympa...*).

Le premier aspect est très peu mentionné par les architectes (Figure 72) et le deuxième aspect renvoie notamment à une appréciation subjective de l'ambiance ils ne seront donc pas considérés dans la caractérisation des ambiances lumineuses représentées

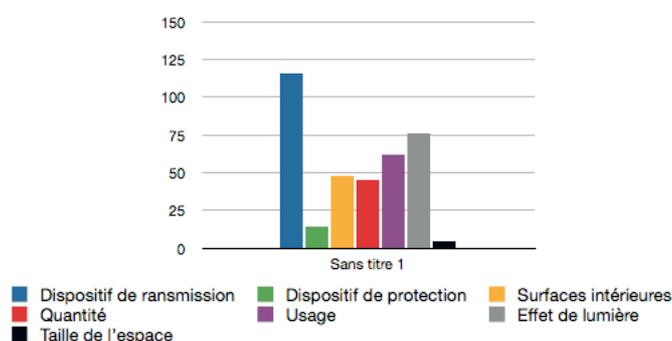


Figure 72. Importance de l'aspect « taille d'espace » par rapport aux autres aspects

- *Comparaison entre deux images*

Les architectes ont parfois tendance à caractériser une ambiance par rapport à une autre représentée sur une autre image :

- « *moins lumineux* » (Sujet3 Image5),
- « *plus obscure, ambiance intérieure plus sombre* » (Sujet4 Image5), l'architecte fait référence aux images 3 et 4,
- « *fenêtre à allège ou un panneau menuisé, mais à allège, différent de ceux qui descendent jusqu'au sol* » (Sujet 6 Image5), l'architecte fait référence aux images 3 et 4,
- « *façade ouverte... mais ambiance complètement différente* » (Sujet7 Image4), l'architecte fait référence à l'image 3,
- à l'image 11, le sujet 9 dit : « *paroi vitrée... bandeau lumineux... je ne sais pas si je perçois d'abord la transparence ou d'abord la lumière...* ». À l'image 12 il ajoute « *là je perçois d'abord la lumière* ».

À partir de ceci, nous pouvons noter que la perception de plusieurs images est un facteur qui peut orienter la caractérisation des ambiances.

- *Au delà de l'image*

Chaque image représente une vue partielle d'une ambiance lumineuse d'un espace. Certains architectes essaient de deviner les informations manquantes sur l'image et qui peuvent influencer le rendu de l'ambiance :

- « *peut être il y a-t-il un traitement extérieur de stores qui permet de filtrer les choses* » (Sujet 4 Image9),
- « *je me demande s'il n'y a pas le même dispositif des deux côtés...les deux côtés sont éclairés... il est difficile de parler de l'éclairage d'une seule image* » (sujet6 Image4),
- « *lumière sur toute une façade... une équivalente aussi dans le dos... au niveau des ombres on a l'impression d'un espace traversant* » (Sujet8 Image 4),
- « *d'un côté, j'ai l'impression qu'il y a une construction qui empêche le soleil d'entrer... un côté est plus assombri que l'autre* » (Sujet6 Image9).

Ceci confirme le besoin d'avoir plusieurs images d'un même espace, mais aussi d'avoir des vues extérieures qui peuvent aider les architectes dans l'interprétation des ambiances représentées.

4.2 Structuration du thésaurus

4.2.1 Facettes et concepts

Les deux études, théorique et expérimentale décrites précédemment, ont révélé cinq aspects différents avec lesquels une ambiance représentée peut être caractérisée d'une manière objective : dispositifs lumineux, surfaces intérieures, quantité de lumière, usages et effets de lumière. Chacun de ces aspects constituera une facette dans notre thésaurus.

4.2.1.1 La facette « dispositifs lumineux »

Cette facette comprend les dispositifs de transmission de la lumière et les dispositifs de protection et de contrôle.

- *Les dispositifs de transmission de la lumière*

Nous avons retenu trois critères qui doivent être pris en compte dans la caractérisation de ces dispositifs : le type de l'ouverture, le type du matériau de transmission et la position des ouvertures latérales par rapport à la hauteur du mur.

Concernant les types des ouvertures, nous avons retenu des concepts qui permettent de caractériser les dispositifs les plus fréquents en considérant les caractéristiques génériques de chaque dispositif.

DISPOSITIFS DE TRANSMISSION DE LA LUMIÈRE

Éclairage second jour

Second jour latéral

Second jour zénithal

Éclairage global

Éclairage global transparent

Éclairage global translucide

Éclairage zénithal

Fenêtre de toit

Ouverture ponctuelle zénithale

Ouvertures multiponctuelles zénithales

Fente zénithale

Plusieurs fentes zénithales

Verrière zénithale

Ouverture sur toute la surface du plafond translucide

Atrium

Puits de lumière

Shed

Lanterneau

Voûte
Coupole
Autre ouverture zénithale

Éclairage latéral

Type d'ouverture

Ouverture sur toute la surface du mur

Fenêtre

Bandeau lumineux

Porte vitrée/porte fenêtre

Fente verticale

Fente horizontale

Plusieurs fentes verticales

Plusieurs fentes horizontales

Baie vitrée

Baie vitrée de forme irrégulière

Éclairage d'angle

Ouverture ponctuelle

Ouvertures multiponctuelles

Lucarne

Autre ouverture latérale

Emplacement

Éclairage latéral haut

Éclairage latéral bas

Éclairage sur toute la hauteur du mur

Type matériau de transmission

Vitrage coloré

Vitrage translucide

- *Dispositifs de protection et de contrôle*

Nous retenons une classification des protections par leurs natures : masques extérieurs, éléments architecturaux et protections ajoutées à l'ouverture.

DISPOSITIFS DE PROTECTION ET DE CONTRÔLE

Masque extérieur

Végétation

Bâtiment voisin

Éléments architecturaux

Brise soleil vertical

- Brise soleil horizontal
- Claustra
- Pergola
- Avant toit
- Autre élément architectural de protection

Protection ajoutée à l'ouverture

- Protection extérieure
- Protection intérieure
- Protection translucide fixe
- Protection translucide mobile
- Protection opaque fixe
- Protection opaque mobile
- Protection ajourée fixe
- Protection ajourée mobile

4.2.1.2 La facette « surfaces intérieures »

Cette facette concerne les caractéristiques de traitement des surfaces intérieures en couleur et en texture.

SURFACES INTERIEURES (SURFACES)

Couleur

Blanc

- Plancher blanc
- Plafond blanc
- Murs blancs

Clair

- Plancher clair
- Plafond clair
- Murs clairs

Sombre

- Plancher sombre
- Plafond sombre
- Murs sombres

Globalement

- Espace de couleurs monochromes et homogènes
- Espace de couleurs contrastées
- Espace tout blanc

Texture

Texture matte

Plancher mat

Plafond mat

Murs mats

Texture brillante

Plancher brillant

Plafond brillant

Murs brillants

4.2.1.3 La facette « quantité de lumière »

Deux aspects différents doivent être pris en compte dans la description de la quantité de lumière : celui relatif à la perception de l'aspect lumineux général de l'espace représenté et celui relatif à la distribution de la lumière.

QUANTITE DE LUMIERE

Aspect lumineux général de l'espace

Espace très lumineux

Espace lumineux

Espace sombre

Espace très sombre

Distribution de la lumière

Éclairage homogène

Éclairage à faible contraste

Éclairage à fort contraste

4.2.1.4 La facette « usage »

USAGE

Espace de circulation et de distribution

Couloir

Coursive

Escalier

Hall d'entrée

Hall d'accueil

Hall de distribution

Cour centrale/ cour intérieure

Espace de vie

Cuisine

- Salon/séjour
- Salle de bain
- Salle à manger
- Chambre
- Espace de jeux
- Espace religieux
- Espace d'exposition
 - Salle d'exposition
 - Bibliothèque
 - Supermarché/Marché
- Espace de travail
 - Bureau
 - Salle de classe
 - Amphi théâtre
 - Salle de travail
 - salle de réunion
 - Entrepôt
- Espace de loisir
 - Gymnase/salle de sport
 - Piscine
 - Espace de détente
 - Salle de restaurant

4.2.1.5 La facette « effet de lumière »

Nous avons retenu onze effets de lumière dans sa relation avec l'espace, les matériaux, les formes et la structure. Le Tableau 12 propose une définition pour chacun de ces effets de lumière.

Tableau 12. Définitions des effets de lumière retenus

Concepts : effets de lumière	Signification
La lumière rythme l'espace	C'est un effet qui se produit lorsque la lumière qui pénètre dans la pièce offre un rythme de lumière, non-lumière, lumière, non-lumière, lumière...
La lumière unifie l'espace	Lorsqu'elle est diffuse et homogène, la lumière donne à voir l'espace sans distinction. Les objets et les êtres sont traités de manière équivalente, rassemblés.

La lumière divise l'espace	La lumière peut définir plusieurs zones à l'intérieur d'un volume même de forme simple. Ainsi, un jeu subtil sur les variations des intensités lumineuses offre une perception différenciée des lieux et des objets.
La lumière accentue/révèle les formes	La forme est renforcée par la lumière lorsque cette dernière vient marquer sa silhouette.
La lumière révèle la structure	La lumière met en évidence la structure d'un bâtiment lorsqu'elle souligne certains de ses aspects constructifs.
La lumière révèle la matière	Lorsque la lumière frappe un matériau, elle peut faire apparaître les qualités plastiques des matériaux des surfaces.
La lumière anime l'espace	La pénétration directe du soleil à l'intérieur d'un édifice peut générer des motifs d'ombres et de lumières projetés sur le sol, les murs, etc. Ces jeux de taches solaires constituent un intéressant moyen d'utiliser la lumière naturelle et en particulier la lumière directe pour transformer et articuler l'espace de manière dynamique.
La lumière déstructure l'espace	Les jeux de taches solaires peuvent gêner la compréhension de l'espace
La lumière souligne une direction	La lumière participe à l'accentuation d'une direction créée par la forme architecturale de la pièce
La lumière enveloppe l'espace : effet d'extérieur	Il s'agit de reproduire à l'intérieur les conditions lumineuses de l'extérieur. L'effet d'extérieur est utilisé dans le but de créer des espaces intérieurs à ambiance contrôlée, protégés des aléas et des rigueurs climatiques tout en fournissant un cadre analogue à celui du monde extérieur
La lumière crée une attraction/ un lieu focal	Le point d'attraction apparaît plus lumineux que son environnement. Notre regard est inmanquablement attiré vers les points présentant les plus fortes luminances.

4.2.2 Les relations sémantiques entre les concepts

- *Relation hiérarchique*

Cette relation permet de décrire les relations verticales entre les descripteurs constituant notre thésaurus. Elle traite principalement des relations de générique/spécifique. Par exemple :

Apport de lumière et éclairage latéral

Éclairage latéral et fenêtre classique

Espace de circulation et couloir

Chaque descripteur peut présenter plusieurs spécifiques, mais n'a qu'un seul générique. La hiérarchisation est symbolisée par un escalier avec un décalage supplémentaire lorsqu'on passe d'un niveau à un autre. Ces relations hiérarchiques sont très utiles pour choisir le descripteur désignant le plus spécifiquement le concept illustré par l'image. Le nombre de niveaux hiérarchiques diffère d'une facette à une autre. Nous avons précisé au chapitre précédent que l'indexation des images est réalisée à partir du dernier niveau hiérarchique.

Dans la facette « surfaces intérieures », la relation qui se définit entre un terme générique et un terme spécifique est différente :

Le plancher est de couleur claire

Le mur est de texture brillante

En effet, la combinaison entre les concepts de cette facette permet de décrire les différentes surfaces de l'espace représenté.

- *Relation d'association*

Cette relation permet de décrire des relations horizontales entre les concepts. Dans notre cas, ces liens reposent sur les relations logiques qui mettent en rapport les effets et les quantités de lumière avec les autres facettes du thésaurus.

Ces relations peuvent être des relations de causalité « la cause et l'effet ». Par exemple :

Éclairage global + vitrage translucide = Éclairement homogène

Ouverture multiponctuelle + éclairement contrasté = une lumière qui anime l'espace

Ou bien des antonymies. Par exemple :

Éclairage global et espace sombre

Éclairage global et la lumière crée un lieu focal

L'apport de cette relation sémantique que ce soit à l'indexation ou à la recherche de références est considérable. Elle permet de se libérer des ornières sémantiques tracées par le découpage du thésaurus en facettes [Halin '89]. Cependant, l'outil que nous avons utilisé pour

indexer les images avec le thésaurus construit ne permet pas de gérer ces relations. Ce qui représente une limite de notre travail.

4.3 Conclusion du chapitre

À travers ce chapitre, nous avons présenté la démarche suivie pour la construction du thésaurus dédié aux « ambiances lumineuses ». Nous proposons un thésaurus à facettes comprenant cinq facettes différentes correspondant chacune à un aspect de description des ambiances lumineuses.

L'identification de ces aspects a été menée à partir d'une étude théorique en puisant dans la littérature relative à la lumière naturelle en conception architecturale et une étude expérimentale en conduisant des entrevues avec des professionnels des domaines. À l'issue de ces études, nous avons identifié les différents concepts qui permettent de décrire des ambiances lumineuses représentées.

L'outil « iMage » que nous avons utilisé pour l'indexation des images références avec le thésaurus construit ne permet de prendre en compte que des relations hiérarchiques entre les descripteurs. Les relations d'association et d'équivalence ne sont pas gérées par cet outil. Quoique nous sommes consciente de l'avantage que peuvent avoir ces relations pour faciliter l'indexation des images et améliorer la mise en correspondance des images, le thésaurus tel que nous l'avons utilisé reste tout à fait opérationnel.

CHAPITRE 5. Exploration et manipulation des images références pour l'assistance à l'activité de référencement

Afin de répondre aux besoins de la conception des ambiances au stade de l'esquisse, nous avons privilégié une approche par les images références pour aider les concepteurs dans la formulation de leurs intentions de conception. Le but n'est pas d'apporter une aide au concepteur pour maîtriser les ambiances lumineuses dans toute leur complexité, mais de penser et de composer avec la lumière en créant des ambiances à la fois créatives et génératrices de confort.

Le chapitre 3 a décrit comment un corpus d'images références, support à la proposition, doit être constitué. Dans ce type de corpus, une image référence correspond à une image photographique représentant une ambiance lumineuse et contextualisée dans un projet architectural. Elle est indexée par un ensemble de mots clés à partir d'un thésaurus dédié aux ambiances lumineuses.

Ce chapitre propose une méthode d'exploration et de manipulation des images références afin d'assurer leur accessibilité et contribuer au développement de l'activité cognitive des concepteurs pendant le processus de référencement. Cette méthode d'exploration sera implémentée dans un outil d'assistance à l'activité de référencement dénommé « day@mbiance ».

Après avoir rappelé les objectifs et les enjeux de notre proposition dans la première partie de ce chapitre, nous aborderons ensuite chacune des trois phases identifiées dans l'étude du processus de référencement : recherche d'image(s) référence(s), intégration de la connaissance dégagée des images références au projet et formulation des intentions (*cf.* Chapitre 2 paragraphe 2.6). Nous cherchons à établir des liens concrets entre l'activité cognitive des concepteurs et les interactions possibles avec l'outil informatique. Le but est de proposer une méthode d'exploration et de manipulation des images références adaptée aux besoins de l'activité des concepteurs dans chacune des phases du processus de référencement. Nous finirons ce chapitre par présenter l'outil proposé « day@mbiance ».

5.1 Vers une méthode d'exploration dédiée à une activité de référencement

Cette section introduit la démarche de travail que nous avons adoptée afin de proposer une méthode d'exploration et de manipulation des images références pour aider le concepteur à formuler ses intentions. Mais tout d'abord, nous souhaitons rappeler les objectifs et les enjeux d'étude que nous avons fixés.

5.1.1 Enjeux et objectifs

Une méthode d'exploration et de manipulation des images références désigne globalement les moyens par lesquels les concepteurs utilisent et exploitent le corpus d'images références mis à leur disposition. Elle contribue au bon déroulement de l'activité de référencement. Nous suggérons que l'efficacité d'une telle méthode dépend de son aptitude à supporter les différentes étapes et activités cognitives qui sont mises en œuvre pendant le processus de référencement.

Les méthodes de recherche et de visualisation d'images proposées dans le domaine de la recherche d'images³⁸ (RI) ont connu des développements considérables. L'étude de ces méthodes pour la définition d'une démarche de parcours dans un corpus d'images références nous semble essentielle. En effet, notre objectif est de proposer un ensemble de modes de recherche, de navigation et de visualisation d'images références qui doivent assister le concepteur durant l'activité de référencement. L'enjeu ici est d'adapter des modes de navigation issus de la recherche d'images à la manipulation d'images références en offrant au concepteur les moyens d'atteindre ses objectifs durant les différentes phases du processus de référencement (recherche d'images références, intégration des connaissances dégagées des images références au projet, formulation des intentions de conception). Idéalement, la méthode de parcours proposée, composée de ces différents modes, doit promouvoir et stimuler l'activité intellectuelle des concepteurs.

5.1.2 Démarche de travail

Un système d'assistance à l'activité de référencement est un système qui assiste et stimule l'activité cognitive d'un concepteur. Un tel système doit placer l'architecte dans de « bonnes conditions » en proposant un environnement favorisant la génération d'idées. Ce type d'outil, que nous voulons mettre en œuvre, ne doit ni se substituer à l'activité de conception ni de garantir la génération « d'une bonne » solution. Mais cet outil propose *un réservoir*³⁹ *d'idées et*

³⁸ La recherche d'images est une branche particulière dans un champ d'études plus vaste, celui de la recherche d'informations, où les documents recherchés sont des images. Elle est couramment présentée comme l'ensemble des techniques permettant de sélectionner à partir d'une collection d'images, celles qui sont susceptibles de répondre aux besoins de la personne recherchant des images.

³⁹ La notion de « réservoir » est empruntée à Lawson (Lawson B., (2006), *How designers think*, Elsevier, Great

d'inspiration permettant la formulation des intentions en *incitant* et *sollicitant* l'activité cognitive du concepteur. Ainsi, la proposition d'une méthode d'exploration et de visualisation d'images références doit reposer sur un ensemble d'exigences définissant comment la machine participe au bon déroulement de l'activité de référencement.

La modélisation du processus de référencement nous a permis d'identifier les besoins des concepteurs pour atteindre les objectifs de chaque phase (Cf. Paragraphe 2.6). À partir de cette étude, nous déterminons et précisons les exigences à prendre en compte dans la proposition d'une méthode d'exploration et de visualisation d'images références. Nous voudrions insister sur la nécessité de cette étape intermédiaire (voir Figure 73) qui permet d'envisager des liens concrets entre le travail du concepteur et le travail de la machine [Deshayes '02 ; Pasman '03].

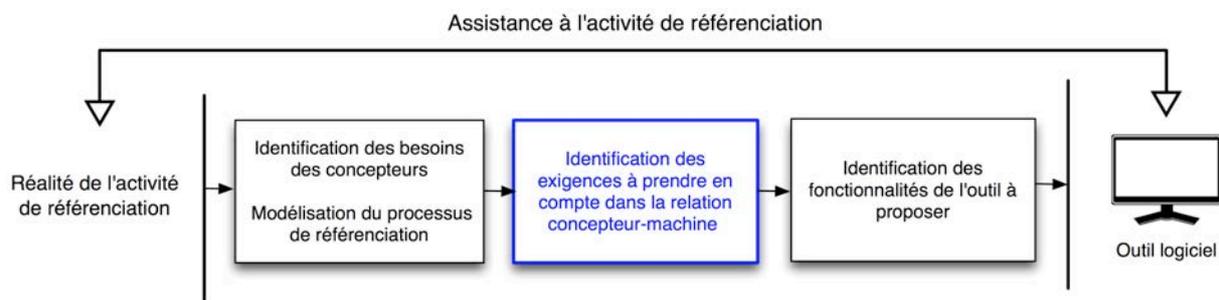


Figure 73. Démarche de travail pour la proposition d'un outil d'assistance à l'activité de référencement

Dans les prochains paragraphes, nous allons suivre la démarche définie pour proposer une méthode d'exploration et de visualisation appropriée aux exigences de chaque phase du processus de référencement. Ces phases sont : recherche d'image(s) référence(s), intégration de la connaissance dégagée des images références au projet et formulation des intentions de conception.

5.2 Phase de recherche d'image(s) référence(s)

5.2.1 Exigences

La finalité de cette phase est la sélection d'une ou plusieurs images références. Pour cela, le concepteur doit localiser à travers toutes les images contenues dans la base de références celles qui lui suggèrent des idées qu'il juge potentiellement pertinentes et probables pour résoudre son problème de conception. Nous avons identifié quatre situations d'activation des références en conception auxquelles le concepteur peut être confronté (Cf. Paragraphe 2.6.1).

Le tableau suivant (Tableau 13) précise, pour chacune des situations identifiées, les exigences à prendre en compte pour proposer une méthode de recherche d'image(s) référence(s) appropriée.

Tableau 13. Différentes situations d'activation des références et critères à prendre en compte

Situations	Objectifs de la recherche d'images références	<u>Exigences</u>
Idée claire	Précis Définis	⇒ Permettre une recherche précise offrant au concepteur-utilisateur les moyens de définir et de déterminer le contenu des images références qu'il souhaite trouver
Idée vague, floue	Imprécis	⇒ Permettre une recherche approximative offrant au concepteur-utilisateur les moyens d'indiquer d'une manière peu précise ce qu'il désire
Pas d'idées	Indéterminés	⇒ Permettre une recherche exploratoire rendant possible la découverte du contenu de la base d'images références et laissant une part au hasard
Idée instable	Peuvent évoluer de l'imprécis au précis Peuvent changer au milieu de la recherche	⇒ Permettre une recherche flexible, évolutive, progressive

Par ailleurs, nous avons établi que durant cette phase, le concepteur localise des points d'intérêt dans les images références sans porter une grande attention aux détails. Dans ce cas, l'interprétation des références peut être considérée comme élémentaire parce qu'elle est sommaire et synthétique. De plus, la perception des images est quasiment instantanée. Le concepteur est capable d'identifier rapidement les références qui l'intéressent et qui lui suggèrent des solutions probables.

⇒ Ainsi, une méthode de recherche d'images références doit aussi permettre de faciliter ce processus rapide et sommaire de capture d'idées. En outre, elle devrait être dynamique et fluide pour prendre en compte la pensée rapidement fluctuante du concepteur. Il importe de noter aussi que, lorsque le concepteur dispose d'une collection d'images références conséquente, il doit pouvoir explorer « rapidement » celles qui peuvent être pertinentes par rapport à son besoin.

Dans l'objectif de proposer une méthode de recherche de références représentées par des images, nous avons examiné les différentes méthodes de recherche d'images (RIm) proposées dans la littérature et implémentées dans des outils afin d'identifier celles qui sont adaptées à l'activité du concepteur relativement aux exigences identifiées.

5.2.2 Étude des méthodes de recherche d'images

Lors d'une recherche d'images, l'utilisateur d'un système de recherche d'images (SRIm) exprime son besoin sous la forme d'une requête dans laquelle il spécifie les caractéristiques des images qu'il souhaite obtenir. Une requête peut prendre différentes formes, textuelles ou par images.

Dans une requête textuelle, l'utilisateur formule ses besoins par des mots. Il peut utiliser une formulation en langage naturel, en langage booléen, en langage contrôlé ou en langage libre. Le choix de la formulation dépend des possibilités offertes par le système utilisé.

Dans la requête par images, la recherche repose principalement sur le contenu visuel des images (couleur, texture, forme). Ce type de requête est fréquemment utilisé par les systèmes CBIR (Content based image retrieval) [Veltkamp and Tanase '02]. Pour amorcer la recherche, l'utilisateur fournit un exemple visuel pour exprimer les aspects perceptibles de son besoin en images. Cet exemple est ensuite comparé avec les images contenues dans la collection. Différents types de requêtes par l'exemple peuvent être utilisés [Bimbo '99] :

- Requête par l'exemple : l'utilisateur choisit une image dans ou extérieure à la base d'images (Exemples de systèmes incorporant ce type de requête : Alipr, Retrievr⁴⁰).
- Requête par région d'image : l'utilisateur sélectionne un segment ou une portion d'une image présente dans la base d'images (Exemple de système incorporant ce type de requête proposé dans [Fauqueur and Boujemaa '03]).
- Requête par peinture : l'utilisateur dessine des taches de couleurs afin de spécifier les régions de couleurs saillantes et la disposition spatiale de ces régions dans les images recherchées (Ex : Retrievr, idée : Multicolr search Lab⁴¹).
- Requête par croquis ou dessin : l'utilisateur dessine la silhouette ou le contour des objets à rechercher. Ce type de requête est souvent utilisé dans une recherche basée sur les formes (Ex : Electronic Cocktail Napkin propose une requête par croquis pour rechercher des informations à partir d'une base de références architecturales [Do and Gross '95]).

La requête par images a des avantages évidents. En effet, l'expression du besoin aux moyens d'exemples visuels soulage l'utilisateur de la charge cognitive de traduire des caractéristiques visuelles avec des mots. Cependant, elle a aussi des inconvénients [Assfalg and Pala '00]. Par exemple, dans le cas de la requête par l'image exemple, la restriction de choisir une seule image pour jouer le rôle de la requête oblige l'utilisateur à sélectionner parmi les images disponibles, l'exemple qui a la meilleure correspondance avec les caractéristiques des images qu'il désire trouver.

⁴⁰Alipr : <http://alipr.com/>, Retrievr : <http://labs.systemone.at/retrievr/>

⁴¹<http://labs.ideeinc.com/multicolr/>

D'autres systèmes proposent une formulation de requête qui garde les avantages de la requête par l'exemple tout en tentant de surmonter ses restrictions. Ces systèmes offrent la possibilité de formuler une requête qui peut être adaptée à un besoin flou ou imprécis. Pour cela, l'utilisateur doit porter un jugement sur des images qui lui sont proposées à partir d'un premier tirage aléatoire d'un ensemble d'images le plus souvent visualisé sous forme de mosaïque (Figure 74). L'utilisateur peut donner soit un avis positif (image qui correspond à ce qu'il cherche même partiellement), soit un avis négatif (image qui ne correspond pas du tout à ce qu'il cherche) ou soit un avis neutre (ne pas donner d'opinion). Ensuite, le système analyse les choix de l'utilisateur et recherche de nouvelles images en ciblant celles qui sont similaires aux images jugées positives tout en évitant celles qui sont similaires aux images jugées négatives. Ce type de formulation peut être mis en œuvre dans les bases d'images indexées par le contenu sémantique [Kacher '05] ou par le contenu graphique.

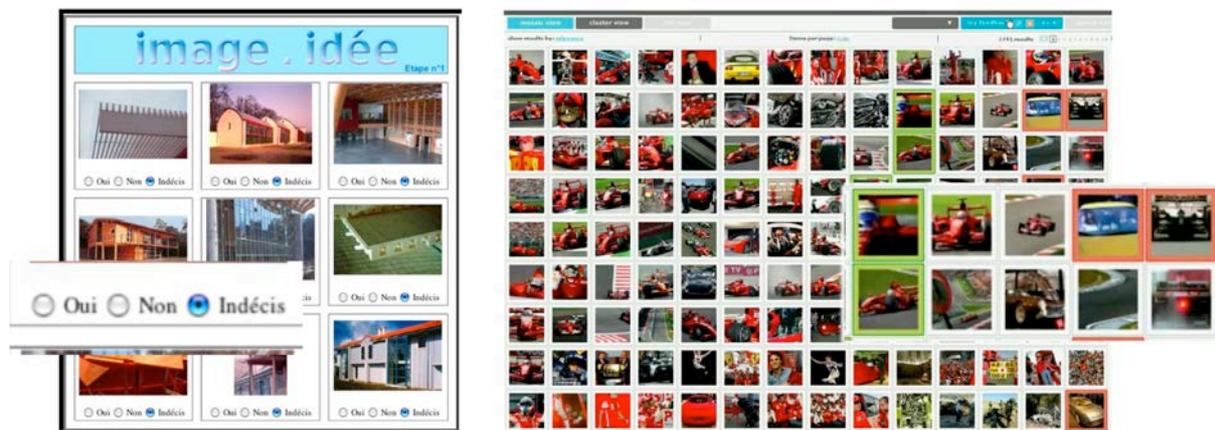


Figure 74. Différentes méthodes de requêtes par jugement (à gauche : image.idée [Kacher '05], à droite : Vitalas⁴²)

Le système ImageGrouper (Figure 75) propose une alternative à ce dernier type de formulation par jugement : la formulation par groupes [Nakazato *et al.* '03]. Dans ce type de formulation, l'utilisateur navigue dans une première mosaïque d'images obtenue aléatoirement ou à partir d'une image exemple et construit progressivement des groupes d'images. Il précise pour chaque groupe constitué s'il le considère comme positif, négatif, ou neutre. Enfin, ces groupes peuvent être annotés, sauvegardés dans des albums et sont potentiellement réutilisables dans une recherche ultérieure. Ce système propose aussi que ces groupes d'images soient réutilisés par d'autres utilisateurs pour amorcer de nouvelles recherches.

⁴² <http://vitalas.ina.fr:8081/vitalas/index/index.jsp>

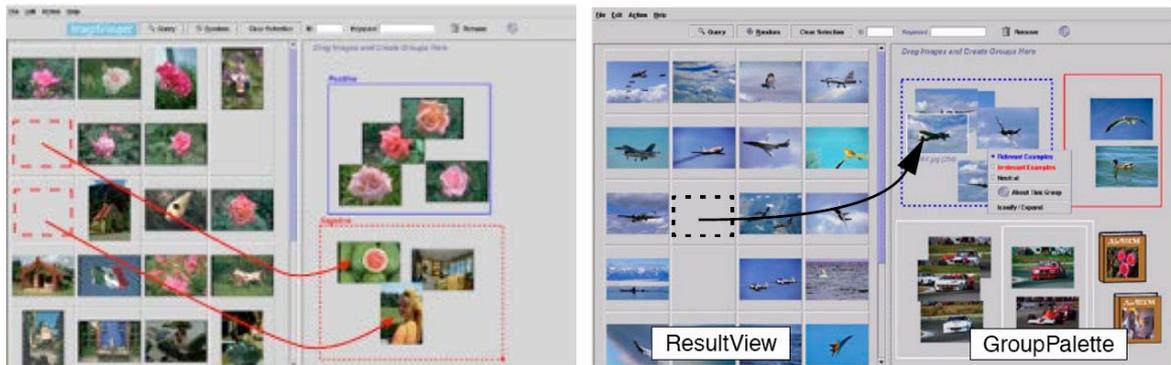


Figure 75. Interface ImageGroupier

Ces méthodes de formulation par jugement ou par groupes peuvent être vues comme une extension de la recherche par l'exemple où la requête n'est plus une seule, mais plusieurs images. L'utilisateur peut choisir (avis positif) ou rejeter (avis négatif) plusieurs images à la fois. L'avantage d'une telle méthode est qu'elle nécessite moins de précision dans le choix de l'exemple. En effet, la présence de plusieurs images requêtes contribue au dépassement de la subjectivité d'interprétation liée à une seule image et permet ainsi à la recherche d'évoluer plus rapidement vers des résultats pertinents.

Cependant, il est souvent difficile d'obtenir dès les premiers résultats une réponse qui soit totalement satisfaisante. Pour améliorer la qualité de la recherche et diminuer autant que possible le silence⁴³, une forme d'interactivité, appelée « bouclage de pertinence », est communément proposée.

Dans un cycle de bouclage de pertinence, le système présente à l'utilisateur les résultats en images de sa recherche classés par ordre décroissant de pertinence. Puis, l'utilisateur effectue une requête par jugement. À l'issue de cette requête, le système analyse les indexations des images positives et négatives et ainsi re-sélectionner de nouvelles images qu'il propose à nouveau à l'utilisateur. Ce cycle se poursuit jusqu'à la satisfaction ou l'abandon de l'utilisateur. L'objectif est d'obtenir progressivement et de manière interactive un ensemble d'images qui soit de plus en plus pertinent au regard de l'utilisateur [Baeza-Yates and Ribeiro-Neto '99]. L'intérêt de ce type de formulation est d'établir un dialogue complètement visuel entre l'utilisateur et le système.

Parmi les systèmes qui proposent une requête par jugement et une reformulation de la requête par bouclage de pertinence, la mosaïque est la forme de visualisation la plus répandue. Cette dernière se présente sous la forme d'une grille d'images dont la taille et le nombre peuvent être très variables d'un système à un autre (Figure 74).

La visualisation par *mur d'images*, proposée par « Cooliris »⁴⁴, peut être appréciée comme une variante originale de la mosaïque se présentant sous forme tridimensionnelle (Figure 76).

⁴³ Le silence correspond à l'ensemble des images pertinents non retrouvés par le système pour une requête .

⁴⁴ <http://www.cooliris.com/tab>

Elle propose une navigation fluide et dynamique qui permet de faire défiler horizontalement une grande quantité d'images. Il est aussi possible de se rapprocher ou de s'éloigner du mur d'images ce qui modifie la taille des images présentées. Cette méthode de visualisation peut être intégrée au navigateur Internet (Firefox, Safari...) en offrant une autre alternative de visualisation des résultats de requêtes issus des moteurs de recherches (Google, Yahoo...). Cependant, nous soulignons que l'aspect très dynamique et instable de cette visualisation peut être perturbant ce qui affecte l'attention nécessaire à la recherche et cause ainsi une perte d'information. Aussi, cette forme de visualisation ne permet pas d'intégrer une formulation de requête par bouclage de pertinence.



Figure 76. Visualisation par mur d'images

5.2.3 Proposition

Dans le chapitre 3, nous avons abordé l'inadéquation de la recherche d'images références d'ambiances lumineuses par le contenu graphique. Ceci nous a d'ailleurs orientée vers l'indexation sémantique des images utilisant un thésaurus. Ce dernier choix nous contraint d'éliminer les formulations de requête par peinture, par région et par l'image exemple des options possibles pour notre méthode de recherche d'images.

La formulation de requête par croquis a été proposée dans la recherche de références architecturales pour la recherche formelle du projet architectural [Do and Gross '95]. Cependant, cette forme de requête est inadaptée à une recherche où le contenu de la base est difficilement représentable par des croquis ce qui est le cas de notre étude des ambiances lumineuses. En effet, les concepteurs utilisent des signes graphiques spécifiques dans la représentation des ambiances lumineuses qui forment un langage commun entre les architectes (Cf. Paragraphe 1.5.1). Nous remarquons que ce langage graphique peut être éloigné de la représentation des ambiances lumineuse véhiculée par les photographies.

La requête textuelle demande au concepteur de spécifier précisément son besoin par des mots. Cependant, même lorsque son besoin est clair, l'architecte peut rencontrer quelques difficultés à l'exprimer par des mots. De plus, face à une même ambiance, deux architectes ne la décriront pas toujours de la même manière. En effet, nous avons remarqué, lors des entretiens avec les architectes qu'ils peuvent nommer très différemment une même ouverture, un même

effet de lumière ou même ne pas le nommer... (Cf. Section 4.1.2). Dans ce cas la requête textuelle contraint l'architecte à nommer et préciser les choses qu'il peut facilement identifier visuellement. De plus, une requête textuelle peut être « frustrante » lorsque l'architecte est obligé de préciser les critères de sa recherche alors qu'il n'a pas encore une idée précise ou qu'il ne trouve pas les mots qu'il faut employer pour décrire son besoin.

Dans le cas de la **requête par jugement**, le concepteur observe les images présentées et spécifie simplement si l'ambiance représentée est pertinente ou pas (idée floue et vague) ou si elle correspond ou pas (besoin précis et clair) à l'idée mentale qu'il se fait de la solution à son problème de conception. Ainsi, pour effectuer des requêtes par jugement, aucun pré-requis n'est exigé pour spécifier les critères de la recherche. Seule l'attention pour mieux identifier une idée représentée est nécessaire. Cette méthode de formulation de requête a été expérimentée par S. Kacher pour la recherche d'image références dans le domaine de la construction bois et a montré son adéquation avec le comportement des concepteurs durant les phases initiales de conception [Kacher '05].

Le **bouclage de pertinence** permet de dépasser le côté rigide et statique d'une recherche classique, car le concepteur peut interagir avec le système en manipulant visuellement les résultats proposés. Cette forme d'interaction que propose le bouclage de pertinence permet au système de mieux comprendre le sens de la requête et d'adapter sa réponse aux besoins de l'utilisateur. Dans ce cas, la recherche est évolutive et dynamique.

Grâce à la visualisation par **mosaïque**, le système présente un premier échantillon d'images de même importance et souvent choisi aléatoirement parmi les images références constituant la base de références. Ceci permet au concepteur d'avoir un premier aperçu du contenu de la base avant de porter son jugement sur quelques-unes de ces images. En visualisant successivement et aléatoirement des mosaïques permet à l'utilisateur d'élargir cet aperçu. De plus, la visualisation simultanée d'images générée par une mosaïque est évocatrice et favorise la synthèse.

En prenant en compte les exigences identifiées pour la proposition d'une méthode de recherche d'images, la requête par jugement et par bouclage de pertinence ainsi que la visualisation par mosaïque semblent répondre à toutes les exigences identifiées. Le Tableau 14 synthétise les fonctionnalités proposées et à mettre en oeuvre dans un outil d'aide à la recherche de références.

Tableau 14. Synthèse des fonctionnalités nécessaires selon les exigences identifiées

Exigences	Fonctionnalités proposées
Permettre une recherche précise offrant au concepteur-utilisateur les moyens pour définir et déterminer le contenu des images références qu'il souhaite trouver.	Requête par jugement
Permettre une recherche approximative offrant au concepteur-utilisateur les moyens pour indiquer « à peu près » ce qu'il désire sans l'obliger à spécifier précisément son besoin en images références.	Requête par jugement
Permettre une recherche exploratoire rendant possible la découverte du contenu de la base d'images références et laissant une part au hasard.	Mosaïques aléatoires successives
Permettre une recherche flexible	Possibilité de recommencer une nouvelle recherche à tout moment de l'utilisation de la mosaïque. Poursuite d'une même recherche par bouclage de pertinence.
Faciliter le processus rapide et sommaire de capture d'idées.	Favoriser un premier niveau de perception synthétique : choix d'une taille suffisante des images permettant une appréciation globale de l'ambiance représentée. Possibilité de faire des zooms sur les images pour varier les niveaux de perception et offrir le choix au concepteur pour affiner la perception des détails et affiner ses choix.
Permettre une exploration rapide des images références	Fixer le nombre d'images à afficher dans une mosaïque visualisée. Classement des résultats d'une requête : des plus pertinents aux moins pertinents. Proposition d'une disposition des images qui permet de voir la totalité des images (pas de superposition d'images).

Nous proposons d'ajouter une composante dans la mosaïque que nous appelons « zone de requête ». Elle est dédiée à la mémorisation des images choisies et rejetées pendant la recherche de références. Elle permet au concepteur de garder la trace (l'historique) de son cheminement exploratoire.

La recherche d'images références se poursuit jusqu'à ce que le concepteur décide que les images références trouvées sont pertinentes et apportent des solutions probables pour la résolution de son problème de conception.

5.3 Phase d'intégration de la connaissance dégagée des images références au projet

5.3.1 Exigences

Pendant cette phase, le besoin des concepteurs est de s'approprier la ou les références sélectionnées en dégageant de nouvelles connaissances pour construire « progressivement » une représentation mentale de l'objet à concevoir et, ce faisant, le développement d'intentions de conception.

Dans ce sens, nous pouvons dire que ce ne sont pas les références en tant qu'information qui doivent être mises en avant, mais les moyens donnés aux concepteurs pour les interpréter. Nous avons alors déduit que l'incitation à l'interprétation des images est une méthode qui permet au concepteur de se constituer une connaissance utile au développement d'idées et d'intentions de conception.

⇒ *Offrir au concepteur-utilisateur les moyens pour l'interprétation des images références tout en lui laissant la maîtrise de son interprétation.*

L'interprétation des images références dépend cependant des informations qu'a le concepteur sur ces images et par conséquent des ambiances représentées. La visualisation d'informations supplémentaires sur une ambiance représentée peut aider le concepteur à la comprendre à l'étudier.

⇒ *Offrir les moyens au concepteur-utilisateur d'enrichir sa connaissance d'une ambiance représentée dans le but de favoriser son interprétation.*

De plus, nous faisons l'hypothèse que la comparaison et le rapprochement d'une image référence avec d'autres images références peut aider le concepteur à dégager des ressemblances et des dissemblances qui existent entre elles. Ceci lui permet de développer son interprétation d'une image, mais aussi de faire des « emprunts » fragmentés à partir de plusieurs images références et d'en extraire ainsi des morceaux de connaissances pour les réarticuler dans le contexte de son projet.

Une expérience conduite par Paolucci dans le domaine des Hypermédias [Paolucci '98] a montré qu'il existe une relation entre la structuration du domaine de connaissance reflété par le logiciel hypermédia et la performance positive de l'apprentissage par les utilisateurs. Ainsi, nous pouvons faire l'hypothèse que la méthode de visualisation des images a aussi une influence sur leur interprétation.

⇒ *Stimuler l'activité intellectuelle du concepteur-utilisateur par une visualisation qui permet le rapprochement entre plusieurs images références. De cette manière, le concepteur pourra apprécier et évaluer les ressemblances et les dissemblances entre les images références qui lui sont présentées.*

Dans le but de proposer une méthode de visualisation adaptée, nous avons mené une étude de différentes méthodes de visualisation d'images qui permettent le rapprochement et la comparaison des images présentées à l'utilisateur.

5.3.2 Étude des méthodes de visualisation d'images permettant le rapprochement et la comparaison d'images

Ces dernières années, nous remarquons un intérêt croissant pour la visualisation des résultats de recherche d'images. Cet engouement a pour origine l'idée que plus une méthode de visualisation est adaptée à l'activité cognitive et perceptuelle de l'utilisateur plus elle optimise et facilite le traitement de l'information issue des résultats de recherche [Crédeville '10].

Plusieurs méthodes de visualisation proposent une structuration spatiale et graphique d'un ensemble d'images présenté à l'utilisateur. Cette structuration est établie selon des liens de proximité ou de connectivité qu'entretiennent les images entre elles. L'enjeu est de permettre une exploration efficace des résultats d'une recherche d'images.

Parmi les tentatives les plus marquantes, on retrouve notamment la visualisation par regroupement d'images et la visualisation par graphe relationnel.

5.3.2.1 Visualisation par regroupement d'images

Cette méthode de visualisation tente de mettre en place une organisation des images résultats en les regroupant suivant des caractéristiques communes. Ce type de visualisation permet d'identifier des informations supplémentaires qui peuvent être utiles à l'interprétation des résultats.

Un premier exemple de cette forme de visualisation est proposé par [Lan *et al.* '06]. Ces chercheurs ont développé une interface qui permet d'organiser autour de l'image requête les images qui lui sont semblables selon deux axes⁴⁵ créant ainsi quatre regroupements d'images similaires à l'image requête. Les images sont disposées de manière à ce que la distance visuelle entre l'image requête et une image d'un regroupement exprime le degré de similarité. Ainsi, les images les plus similaires à l'image requête sont les plus proches dans la visualisation (Figure 77).

Cet exemple de visualisation par regroupement d'images favorise deux interprétations différentes : la comparaison de l'image requête aux autres groupes d'images, et également la comparaison des images entre elles au sein d'un même groupe.

⁴⁵ Le premier axe utilise l'histogramme de couleur dans les espaces « Rouge Vert Bleu (RVB) » et le deuxième axe utilise l'histogramme de couleur dans les espaces « Teinte Saturation Valeur (TSV) ».

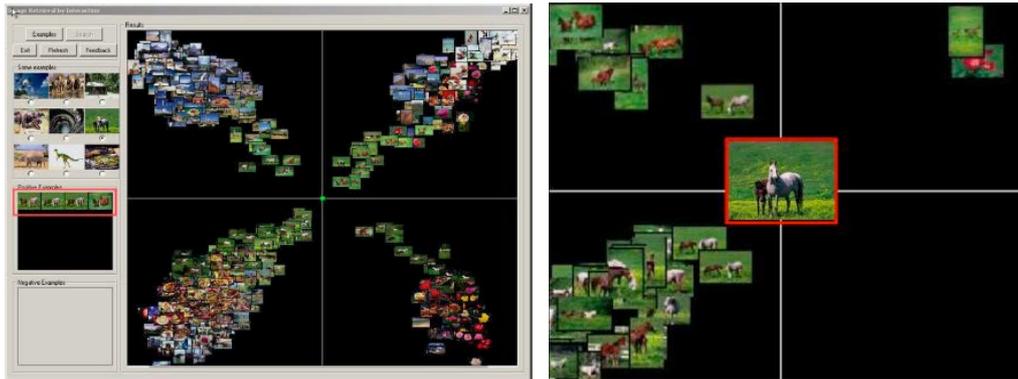


Figure 77. Visualisation par regroupement d'images autour de l'image requête [Lan et al. '06]

*Oskope*⁴⁶, un moteur de recherche d'images en ligne, propose aussi ce mode de visualisation selon deux axes. Par exemple, lorsqu'il s'agit de rechercher des livres à partir de la base de données d'Amazon (requête textuelle), Oskope propose une visualisation des résultats selon deux axes. Le premier (horizontal) concerne la popularité des livres (du moins vendu au plus vendu) et le deuxième (vertical) concerne le prix (du moins cher au plus cher). La disposition des résultats de recherche permet à l'utilisateur d'identifier rapidement les livres qui sont par exemple les plus vendus et les moins chers. Ainsi, l'interprétation des résultats se fait par une comparaison entre les différentes entités présentées (Figure 78).



Figure 78. Visualisation d'images par regroupement proposée par Oskope

Le moteur de recherche *Viewzi*⁴⁷ présente une autre alternative de visualisation par regroupement d'images. Il propose d'organiser les images autour d'un ou plusieurs mots clés dans une visualisation en trois dimensions appelée nuage d'images.

Pour amorcer la recherche, l'utilisateur spécifie un premier mot-clé autour duquel le système visualise les images résultats et de nouveaux mots-clé qui peuvent aider l'utilisateur à étendre ou préciser sa recherche. Lorsque l'utilisateur choisit un nouveau mot-clé le système

⁴⁶ <http://www.oskope.com/> (visité en mars 2011)

⁴⁷ <http://www.viewzi.com/> (dernière visite de ce site en janvier 2010)

réorganise les images et en propose de nouvelles en les disposant autour des mots-clés choisis par l'utilisateur et suivant la liaison créée entre deux mots clés. Ainsi, selon l'emplacement des images dans la structure créée, on peut déduire leur indexation. La Figure 79 présente un exemple avec 3 mots clés (« architecture », « Paris », « Tour eiffel »). Cependant, nous remarquons que lorsque le nombre de mots clés augmente (au-delà de 4), la visualisation devient très chargée et l'interprétation devient moins évidente.



Figure 79. Capture d'écran de la visualisation en nuage tridimensionnel d'images

L'intérêt de la visualisation par regroupement d'images est qu'elle révèle certains aspects d'une collection d'images qu'une visualisation par mosaïque d'images ne peut montrer. De plus, elle permet d'identifier la similarité entre plusieurs images et d'apporter ainsi une aide à l'utilisateur pour l'interprétation des résultats.

5.3.2.2 Visualisation par graphe relationnel

Communément, un graphe est considéré comme un ensemble de nœuds (*sommets*) dont certaines paires sont directement reliées par un lien (*arc*). L'ensemble des liens permet de représenter les interrelations qui peuvent exister entre les différents nœuds.

Cette méthode de visualisation a été adoptée par « Touchgraph » qui a développé différentes applications qui permettent de représenter et d'étudier plusieurs réseaux de connaissances selon les liens qui peuvent exister entre les différentes entités : par exemple, entre des sites Internet (Touchgraph GoogleBrowser), entre des livres, des films (Touchgraph AmazonBrowser). Nous nous intéressons particulièrement à l'application proposée pour Amazon pour la recherche de livres⁴⁸. La Figure 80 montre une visualisation d'un résultat de recherche de livres selon le mot-clé « architecture ». Dans le graphe proposé, les sommets sont des images de couvertures de livres et un arc entre deux livres est déterminé par les

⁴⁸<http://www.touchgraph.com/amazon>

données statistiques de la fonction « *les clients ayant acheté cet article ont également acheté* ». Ce graphe montre aussi des regroupements de livres qui abordent le même sujet. Ils sont visualisés par l'utilisation de couleurs différentes (Figure 80).

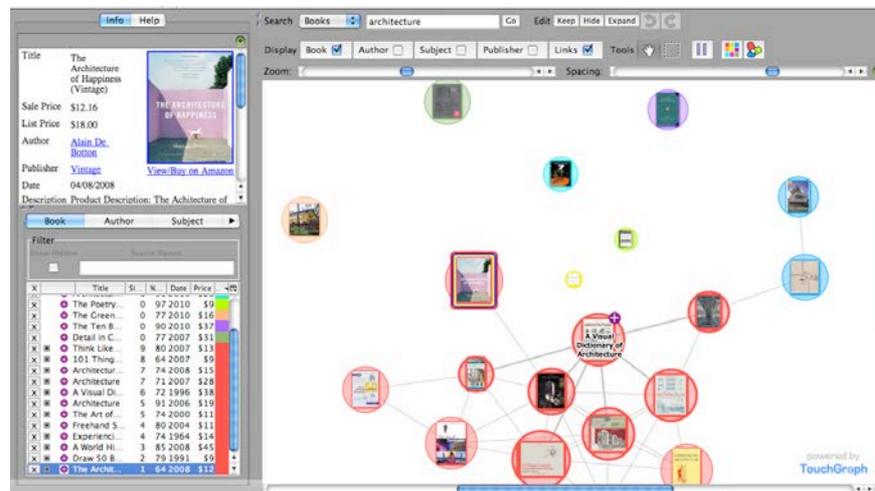


Figure 80. Visualisation de recherche de livre en utilisant « Touchgraph AmazonBrowser »

À partir d'une première observation, il est facile de remarquer que certains livres sont très populaires car fortement interconnectés en opposition avec ceux qui sont éloignés et isolés. L'utilisateur peut cliquer sur un sommet (couverture de livre) pour afficher les informations disponibles sur le livre ou afficher davantage de livres qui sont reliés à ce dernier (déployer les nœuds) et ainsi naviguer d'un nœud à un autre afin d'explorer le réseau de livres provenant d'Amazon.

Nous notons, qu'en plus de permettre une exploration rapide des livres provenant d'Amazon, la visualisation par graphe offre un outil intéressant de compréhension et d'analyse du comportement des utilisateurs et de leurs habitudes d'achat. Ainsi, la visualisation par graphe rend possible des interprétations supplémentaires non réalisables à partir d'une visualisation de résultats linéaire traditionnellement proposée dans *Amazon.fr*.

D'autres interfaces (Touchgraph FacebookBrowser, Vizster, Flickr Graph) ont aussi utilisé la visualisation par graphe relationnel pour permettre une exploration de la structure communautaire de différents réseaux sociaux où les membres sont les sommets et les arcs matérialisent les relations d'amitié. Les graphes obtenus offrent ainsi le moyen aux utilisateurs d'observer les articulations entre les différents membres du réseau selon les liaisons d'amitié qui existent entre eux.

À partir de la Figure 81, nous pouvons remarquer que Touchgraph FacebookBrowser propose une vue globale de l'ensemble des liaisons qui existent entre les différentes entités (personnes) affichées. Dans ce cas, toutes les entités ont la même importance. Par contre, Vizster et Flickr proposent des vues écocentriques qui représentent les relations entre une personne (au centre du graphe) et les autres membres de la communauté. L'utilisateur peut

explorer le graphe en étendant la visualisation vers les amis d'un ami de la personne placée au centre. Ainsi, cette visualisation permet de concentrer l'exploration sur une seule personne à la fois.



Figure 81. L'usage d'un graphe relationnel pour la visualisation des réseaux sociaux : Touchgraph facebookBrowser (à gauche), Vizster (au centre), Flickr graph (à droite)

L'usage de la couleur, autour des entités présentées à l'utilisateur dans les applications de touchgraph (Touchgraph facebookBrowser, Touchgraph AmazonBrowser), fournit une information supplémentaire qui permet de regrouper les entités selon les critères déterminés par l'application (pour les livres : même sujet et pour les réseaux sociaux : même pays). Ainsi, une entité est connectée à d'autres entités tout en appartenant un groupe offrant ainsi deux niveaux d'interprétation local et global (local : entre deux entités et global : au niveau des groupes).

Nous pouvons aussi ajouter que la visualisation par graphe permet la transformation de l'entité abstraite qu'est l'information (livre, personne) en une entité sémantiquement riche. Cette richesse sémantique est offerte par les connectivités identifiables entre les différentes entités. Il nous faut toutefois souligner que les relations entretenues par les entités présentes peuvent rapidement devenir complexes à manipuler si le nombre de nœuds affichés est grand. Il s'agit là d'une limite de cette forme de visualisation qui peut être dépassée en contrôlant le nombre de nœuds à visualiser.

5.3.3 Proposition

Dans le cadre de ce travail de recherche, nous proposons d'expérimenter la visualisation par graphe où les sommets sont les images et un arc reliant deux images matérialise l'existence d'une similarité entre ces deux images. Cette similarité sera déterminée à partir de l'indexation sémantique des images.

À la différence de la visualisation par mosaïque, où chaque image est une entité indépendante, la visualisation par graphe permet de créer un réseau d'images de manière à mettre l'accent sur les relations de similarité qui existent entre elles. La visualisation par graphe écocentrique

favorise une concentration de l'activité d'interprétation sur une image à la fois. Dans ce cas, la lecture presque instantanée de l'image est ralentie et approfondie par une exploration des relations entre l'image observée et les images qui lui sont reliées.

Nous avons jugé plus particulièrement que l'existence de relations entre deux images représentant des ambiances lumineuses favorise le rapprochement et la comparaison entre les deux ambiances représentées. Cette comparaison peut conduire le concepteur à réfléchir sur les ressemblances et les dissemblances entre deux ambiances représentées et ainsi de faire des déductions de type « cause à effet » ou de la forme « A est pour B comme C est pour D ». Ces comparaisons et ces déductions permettent au concepteur de formuler des hypothèses de conception des ambiances. Aussi, le réseau sémantique créé par la visualisation des relations entre les images peut provoquer des associations d'idées.

Nous précisons que le graphe que nous proposons se présente sous une forme écocentrique où l'image affichée au centre correspond à celle choisie par le concepteur-utilisateur. Les images qui lui sont reliées sont choisies par le système comme étant les plus similaires. L'utilisateur interagit avec le graphe en déployant les nœuds afin de visualiser les images similaires d'une image sélectionnée. De cette façon, l'utilisateur peut naviguer dans le graphe d'une image à l'autre en révélant des associations tout en élargissant son champ d'exploration d'images.

En supplément à cette forme de navigation, nous proposons aussi les fonctionnalités suivantes :

- Permettre au concepteur de varier le nombre d'images similaires à l'image choisie lors de la présentation des résultats : plutôt que de charger le graphe avec un nombre important d'images visualisées en même temps, cette fonctionnalité offre à l'utilisateur la possibilité d'ajouter de l'information supplémentaire seulement quand il le désire.
- Permettre à l'utilisateur d'apprécier le degré de similarité entre les images en jouant sur la qualité des arcs reliant les images.
- Faire des zooms : deux types de zoom sont possibles :
 - un zoom sur le graphe permet à l'utilisateur de focaliser son attention sur une partie du graphe visualisé,
 - un zoom sur une image permet à l'utilisateur d'affiner la perception des détails et ainsi d'améliorer sa perception de l'ambiance représentée.

Par ailleurs, la perception d'une seule image ne donne pas, le plus souvent, toutes les informations nécessaires pour l'interprétation de l'ambiance lumineuse représentée. Il est parfois nécessaire d'avoir d'autres vues du même espace ou encore des vues extérieures qui peuvent offrir des informations supplémentaires et utiles pour la « bonne » interprétation de l'ambiance représentée. Pour cela nous proposons de produire pour chaque image une « **fiche image** » contenant, en plus des informations sur le projet représenté (nom du projet,

architecte, lieu et année de réalisation), d'autres images du même projet représentant d'autres vues intérieures, mais aussi extérieures. Les vues extérieures peuvent ajouter des informations importantes, par exemple la présence ou l'absence de masque ou de protection. Ainsi, nous estimons que la fiche image est un élément qui influence le travail intellectuel du concepteur et aide à l'interprétation des ambiances. Nous soulignons que la visualisation de la fiche image est possible pour chaque image visualisée dans la mosaïque ou dans le graphe et ce à tout moment de la navigation.

5.4 Favoriser l'interprétation orientée

5.4.1 Exigences

Dans la modélisation de l'activité de référenciation, nous avons précisé que l'interprétation des références est orientée et située. Le concepteur peut adopter différentes perceptions d'une même image référence (Cf. paragraphe 2.5.3).

Dans le cadre de notre proposition, l'évocation des images références a pour but d'aider les architectes dans la conception d'ambiances lumineuses. Dans le premier chapitre de ce mémoire, nous avons déterminé que les préoccupations des concepteurs lors de la conception des ambiances peuvent varier selon trois dimensions différentes : usage, esthétique, et technique. L'importance accordée à chaque aspect peut varier d'un concepteur à un autre selon leurs différents intérêts et leurs préoccupations du moment induisant ainsi des besoins différents dans l'exploration des références. Une préoccupation est définie comme globale lorsque toutes les dimensions sont réunies, ou spécifique lorsqu'une des dimensions est privilégiée (Cf. Section 1.2.3.4).

Chaque dimension renvoie à des aspects spécifiques de l'ambiance lumineuse. Par exemple, lorsque la dimension esthétique domine les préoccupations du concepteur, celui-ci est à la recherche d'effets visuels spécifiques de la lumière. Mais il peut aussi se préoccuper des moyens de les atteindre, ce qui peut orienter ses préoccupations vers les dispositifs à mettre en œuvre ou les caractéristiques des surfaces à choisir.

⇒ *Favoriser « des points de vues » multiples dans la recherche et l'interprétation des références. Ceci revient à permettre au concepteur-utilisateur de varier les situations de recherche ou d'interprétation de références selon ses préoccupations particulières du moment.*

Les modes de navigation que nous proposons (mosaïque et graphe) permettent au concepteur de manipuler uniquement des images références par rapport à des préoccupations globales d'ambiances lumineuses. Pour prendre en compte l'interprétation orientée des images références il semble important de prendre en compte les deux exigences suivantes :

- ⇒ *Par rapport à la recherche de références : fournir un moyen au concepteur de préciser ses préoccupations dominantes du moment avant de commencer sa recherche.*
- ⇒ *Par rapport à l'interprétation des images : fournir au concepteur un moyen de préciser les aspects qui sont importants « pour lui » dans chacune des images références sélectionnées.*

5.4.2 Proposition

Chaque image référence contenue dans notre base de données est indexée par des mots clés selon les cinq aspects identifiés dans la caractérisation des ambiances lumineuses représentées : dispositifs lumineux, quantité de lumière, surfaces intérieures, usages et effets de lumière. Chacun de ces aspects concerne une préoccupation locale dans la conception des ambiances lumineuses. Il nous paraît alors intéressant de profiter de cette indexation pour diriger la recherche et guider l'interprétation des images références.

Nous faisons en plus l'hypothèse que la focalisation de l'attention du concepteur sur chacun des aspects de la caractérisation des ambiances influence l'organisation de sa pensée visuelle, mais aussi l'invite à réfléchir sur chacun des aspects dans la prise en compte des ambiances dans la conception de son projet.

Concrètement, nous proposons une composante, appelée « **boussole de navigation** », qui favorise l'interactivité entre l'utilisateur et le système pour préciser le ou les aspects qui traduisent ses préoccupations pendant la navigation. Cette boussole permet de focaliser et d'orienter de manière privilégiée la recherche d'images similaires vers les aspects choisis par l'utilisateur. Elle permet de renforcer le poids des critères d'indexation en rapport avec le ou les aspects choisis lors du calcul de similarité.

Cette composante sera intégrée à la mosaïque et au graphe pour permettre dans le premier cas, une recherche orientée et dans le deuxième cas une interprétation orientée :

- Avec la mosaïque : l'utilisation de la « boussole de navigation » permet au concepteur de préciser son besoin. Par exemple, si lors de sa recherche de références l'utilisateur souhaite se concentrer sur un type d'ouverture particulière, la sélection du point d'orientation « dispositifs lumineux » dans la boussole permet au système de prendre en compte le souhait de l'utilisateur et de sélectionner les images similaires relativement aux dispositifs présents dans la requête de l'utilisateur.
- Avec le graphe : l'utilisation de la « boussole de navigation » permet à l'utilisateur de faire varier les images similaires à l'image centrale selon le ou les points d'orientation choisis dans la boussole. Par exemple, si l'ambiance représentée sur une image présente un effet de lumière que l'utilisateur juge intéressant, le choix du point d'orientation « effet de lumière » dans la boussole permet au système de sélectionner

des images similaires à l'image centrale en rapport avec l'effet de lumière représenté dans celle-ci. Ceci permet à l'utilisateur de concentrer son interprétation sur les mêmes effets de lumière que l'image choisie et de faire des analogies entre les différentes ambiances représentées sur les images. Les changements successifs d'images semblables, en variant les points d'orientation choisis dans la boussole, guident la lecture de l'ambiance représentée selon les différents aspects et stimulent ainsi différentes interprétations.

5.5 Phase de formulation des intentions de conception

5.5.1 Exigences

Dans cette phase, l'architecte concrétise les images mentales qu'il s'est créées lors de la manipulation des images références pour la formulation de ses intentions de conception. C'est d'ailleurs la finalité de l'activité de référenciation.

Nous avons vu que l'intelligence manuelle du concepteur à travers l'activité de « dessiner » joue un rôle clé dans l'activité de formulation des intentions (Cf. Paragraphe 2.4.3). Les dessins ou les croquis comme formalisation et représentation des idées mentales envisagées par le concepteur participent pleinement à la mise en situation heuristique et à la sauvegarde des idées envisagées.

Ainsi, une assistance à l'activité de référenciation, dont la finalité est la formulation des intentions de conception, nous paraît incomplète sans une aide à la représentation des idées mentales développées durant la manipulation et l'exploration des images références. Elle doit essentiellement encourager les activités de dessin stimulant ainsi l'architecte à garder la trace de ses idées.

⇒ *Permettre au concepteur de dessiner tout au long du processus de manipulation et d'exploration des images références en lui offrant les moyens pour une reproduction rapide et fluide des idées mentales envisagées.*

Par ailleurs, les concepteurs peuvent avoir besoin de revoir à nouveau les images références qui ont participé au développement d'idées et ce, à différents moments (production de croquis, recherche de nouvelles références..).

⇒ *Offrir un moyen au concepteur de sauvegarder des images références tout au long du processus d'exploration et de manipulation des images références.*

5.5.2 Proposition

Les exigences identifiées nous conduisent à la proposition d'un espace nommé « album » dédié à la mémorisation des images références ainsi qu'un espace de dessin dédié à la production d'esquisses. Dans l'espace « album », les concepteurs peuvent :

- Créer un ou plusieurs albums, les renommer et ajouter dans chacun des albums des images références à tout moment de la navigation. Le concepteur peut ainsi regrouper des images en référence à une idée développée.
- Enregistrer un album. Le concepteur peut ainsi exporter les images en dehors de l'application afin de se les approprier dans une autre application.

Dans l'espace de dessin, les architectes peuvent :

- Esquisser à tout moment du processus de référenciation afin de garder la trace des idées mentales envisagées à partir de l'interprétation des images références, d'évaluer des idées ou de les comparer.
- Produire et sauvegarder plusieurs dessins différents afin de garder les traces du cheminement de leur pensée tout au long du processus de référenciation.
- Ajouter des images références choisies à partir de la mosaïque, du graphe ou d'un album afin d'informer leur dessin ou garder la trace de la source de l'idée formalisée. Le concepteur pourra positionner cette image à un endroit précis sur toute la surface disponible pour le dessin.
- Ajuster la dimension d'une image ajoutée afin d'adapter sa taille relativement à l'importance de sa contribution dans la génération d'une idée.
- Sélectionner une partie de l'image ajoutée afin de permettre de centrer l'intérêt sur certains éléments représentés.
- Ajouter des annotations textuelles.

5.6 Manipulation générale d'un outil d'aide à l'activité de référenciation

5.6.1 Exigences

Dans le deuxième chapitre, nous avons précisé que les différentes phases du processus de référenciation n'évoluent pas forcément suivant un cheminement linéaire. C'est plutôt un processus non linéaire où des allers-retours entre différentes phases sont opérés. En effet, lorsque les concepteurs manipulent des images références, le facteur « découverte » peut bousculer le cheminement de leur pensée. Par exemple, si le concepteur est engagé dans l'interprétation d'une image référence en utilisant le graphe, la perception de nouvelles images, qu'il n'a pas « croisées » durant la navigation par mosaïque, peuvent lui suggérer de

nouvelles idées et ainsi modifier les objectifs de sa recherche de références. Ceci peut le conduire à revenir vers la mosaïque pour rechercher de nouvelles références selon la nouvelle idée mentale qu'il s'est créée.

⇒ *L'environnement de l'interface doit offrir une flexibilité suffisante pour permettre au concepteur de jongler librement entre les différentes composantes de l'outil.*

Les postures et le comportement de chaque architecte face au processus de référencement peuvent être variables et les habitudes à utiliser des outils d'aide à la conception sont différentes.

⇒ *L'outil doit être malléable, et non rigide. Il doit s'adapter à des démarches qui peuvent être différentes d'un architecte à un autre. De plus, sa manipulation doit être suffisamment intuitive et facile. D'un apprentissage restreint, chaque fonctionnalité proposée doit être d'un abord simple et d'un effet compréhensible.*

5.6.2 Proposition

La première exigence concernant la proposition d'un outil flexible, nous a conduit à réfléchir à l'organisation de l'environnement de l'outil ainsi qu'aux possibilités d'interactions et aux transitions possibles entre les différents modes d'exploration et de manipulation des images références que nous proposons.

La deuxième exigence concernant la proposition d'un outil, malléable, et facile d'apprentissage nous a conduit à réfléchir sur les méthodes d'interactions entre l'utilisateur et l'outil et sur les opérations à effectuer par l'utilisateur et sur leur utilisation.

La partie suivante expose le résultat de ces différentes réflexions à travers l'implémentation d'un outil dénommé day@mbiance.

5.7 Day@mbiance : un outil d'aide à l'activité de référencement par les images références

Day@mbiance est destiné à assister les concepteurs durant le processus de référencement par les images références. Il doit être vu comme un outil d'aide à la formulation des intentions d'ambiances lumineuses en phase esquisse.

5.7.1 Présentation générale de l'interface

L'outil day@mbiance propose une interface combinant trois zones différentes qui correspondent à la *mosaïque*, au *graphe* et à la zone *albums et dessin* (Figure 82).

Au lancement de l'application :

- la *Mosaïque* (en haut à gauche) visualise une mosaïque aléatoire (les images sont choisies aléatoirement) ; la boussole de navigation prend une position centrale (position par défaut).
- le *Graphe* (à droite) visualise un graphe écocentrique où l'image au centre correspond à la première image affichée dans la mosaïque. Cette image est reliée par six images qui lui sont similaires ; la boussole de navigation prend une position centrale (position par défaut).
- la *Zone albums et dessin* est vide.

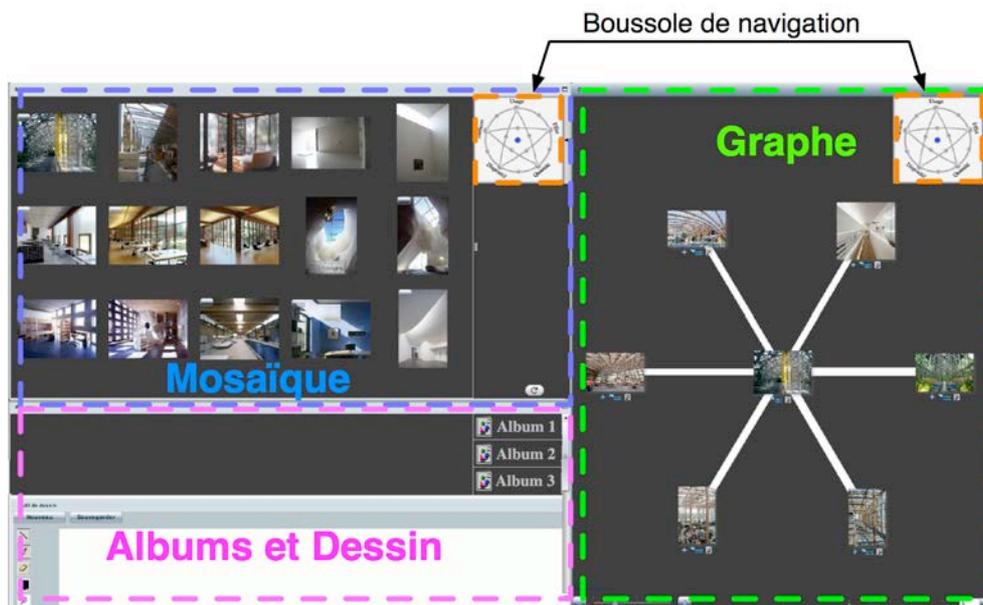


Figure 82. Organisation des différentes zones de l'interface day@mbiance

À partir de cette première configuration, il est possible de redimensionner les fenêtres dédiées à chaque zone ou de les réorganiser selon les envies de l'utilisateur. L'utilisateur peut, par exemple, agrandir la surface disponible pour la *mosaïque* dans le but d'afficher plus d'images. Il peut également décider de n'afficher que la *mosaïque*, le *graphe* ou la zone *albums et dessin* afin de concentrer son attention sur un seul mode de navigation à la fois. Cette fonctionnalité paraît importante principalement lorsque la surface de travail (en l'occurrence l'écran d'ordinateur utilisé) est réduite.

5.7.2 Interactions entre les différentes zones

Pour débiter la navigation, le concepteur a le choix entre la *mosaïque* ou le *graphe*. L'interface propose une flexibilité et une malléabilité avantageuses qui permettent au concepteur de jongler librement entre les différentes composantes de l'outil. La Figure 83 synthétise les différentes transitions et échanges possibles entre les différentes zones.

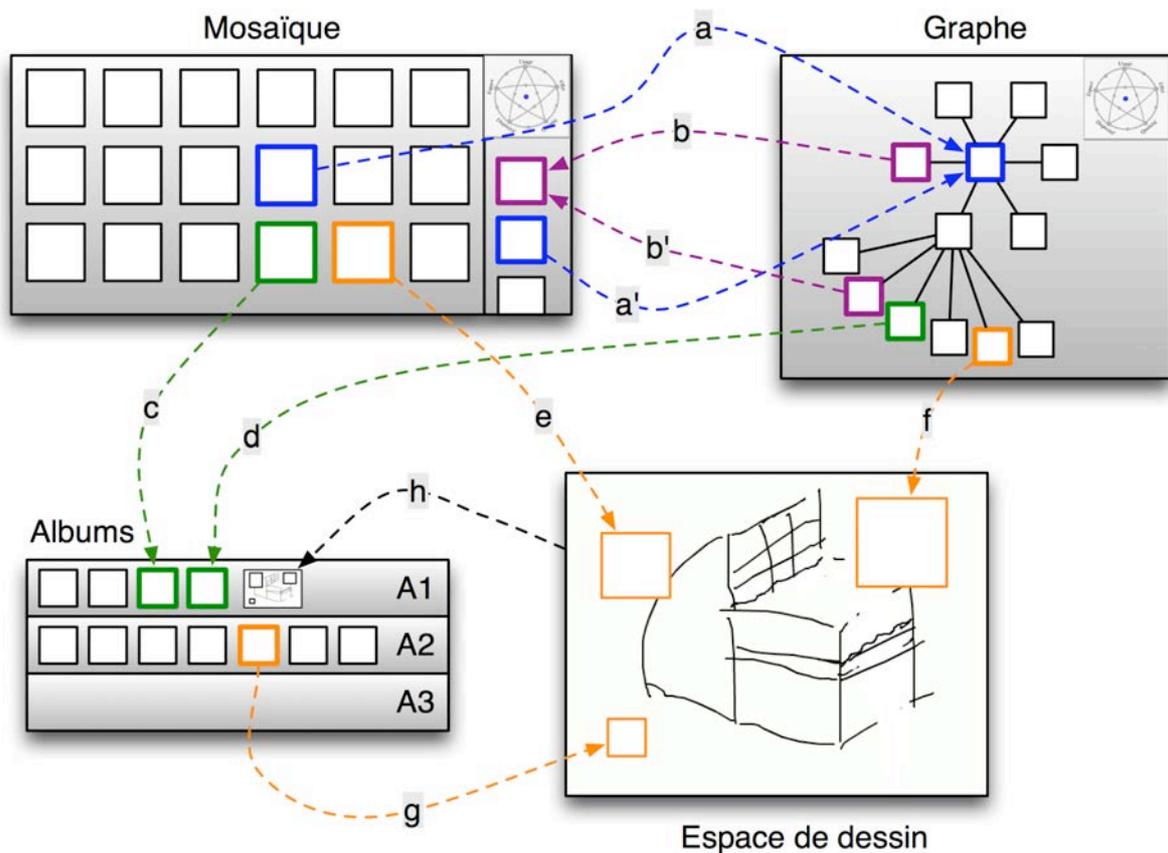


Figure 83. Les transitions et échanges entre les différentes zones de day@mbiance

Explications de la Figure 83

a : visualisation d'un nouveau *graphe* à partir d'une image dans la zone de résultats de la *mosaïque* par un *glisser-déposer*.

a' : visualisation d'un nouveau *graphe* à partir d'une image dans la zone de requête de la *mosaïque* par un *glisser-déposer*.

b et b' : possibilité d'ajouter des images visualisées dans le *graphe* dans la zone requête de la *mosaïque*.

c et d : ajout d'images dans un album à partir du *graphe* ou de la *mosaïque*.

e, f et g : ajout d'images dans le dessin à partir d'un album, de la *mosaïque* ou du *graphe*.

h : enregistrement du dessin produit dans un album.

Dans la suite, nous allons détailler particulièrement le fonctionnement de la *boussole de navigation*, de la *mosaïque* et du *graphe*.

5.7.3 La boussole de navigation

5.7.3.1 Présentation

La *boussole de navigation* est composée de cinq sommets (points d'orientation) reliés deux à deux par un arc. Chaque sommet renvoie à une catégorie du thésaurus avec lequel les images références sont indexées (Figure 84).

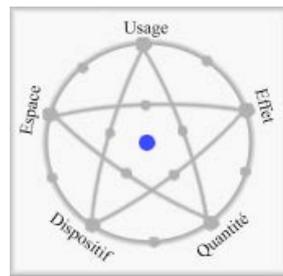


Figure 84. Boussole de navigation

Concernant le nombre de combinaisons possibles entre les différentes catégories, nous avons choisi de le limiter à trois : une, deux ou toutes les cinq catégories à la fois. L'objectif de cette limitation est d'éviter de compliquer inutilement le fonctionnement de la boussole. En effet, après avoir effectué quelques tests, nous avons remarqué que les résultats affichés à la suite à l'association entre 3 ou 4 catégories étaient proches de ceux de l'ambiance globale avec les 5 catégories simultanément.

Ainsi, il est possible d'orienter la recherche sur un aspect de l'ambiance (une catégorie du thésaurus), deux aspects ou l'ambiance globale (cinq aspects).

5.7.3.2 Fonctionnement

La navigation dans la boussole se fait par le positionnement d'un curseur de couleur bleu permettant de sélectionner les aspects qui sont pris en compte (Figure 85) :

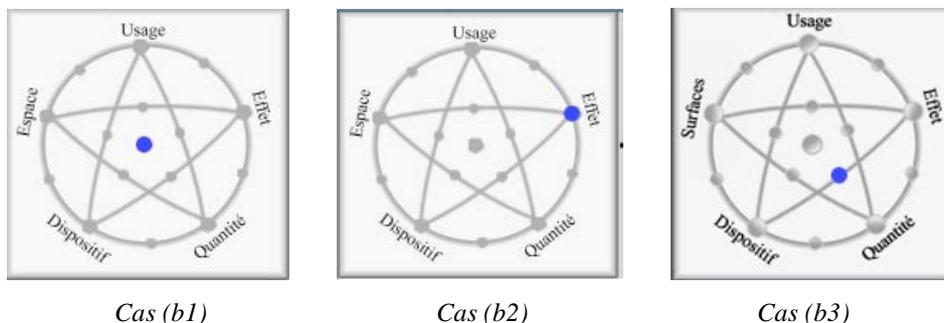


Figure 85. Navigation dans la boussole : trois cas de figure possibles

- Cas (b1) :
 - l'utilisateur place le curseur sur le point du milieu de la boussole (c'est aussi la position par défaut de la boussole).
 - le système visualise la mosaïque ou le graphe associés en prenant en compte toutes les catégories du thésaurus dans le calcul de similarité.
- Cas (b2) :
 - l'utilisateur place le curseur sur un sommet,
 - le système visualise la mosaïque ou le graphe associé en modifiant la portée du calcul de similarité à la seule catégorie sélectionnée (c'est-à-dire, en ne prenant en compte que les mots-clés appartenant à cette catégorie).
- Cas (b3) :
 - l'utilisateur place le curseur sur un arc,
 - le système visualise la mosaïque ou le graphe associé en modifiant la portée du calcul aux deux catégories situées aux extrémités de l'arc.

L'utilisateur peut ainsi choisir de cibler une, deux ou toutes les catégories du thésaurus.

Nous soulignons que le changement de la position du curseur entraîne directement une nouvelle recherche d'images ainsi qu'une nouvelle visualisation dans le mode où la boussole a été modifiée (mosaïque ou graphe).

5.7.4 La Mosaïque

5.7.4.1 Présentation



Figure 86. La Mosaïque

La *mosaïque* comprend trois zones différentes : « la zone résultats », la « zone requête » et la « boussole de navigation » (Figure 86).

Au lancement de la mosaïque, la zone requête est vide. La zone résultats affiche une première mosaïque aléatoire selon une trame régulière. Cette trame définit les espacements entre les images et la taille des images visualisées. Le nombre d'images affichées peut varier selon la taille de la zone de résultats. Nous avons fixé une taille minimale des images de manière à assurer une perception suffisante permettant une appréciation globale de l'ambiance représentée. Le nombre d'images affichées dépend ainsi de la taille de la fenêtre.

5.7.4.2 Méthode de navigation dans la mosaïque

La Figure 87 schématise la méthode de navigation dans la mosaïque.

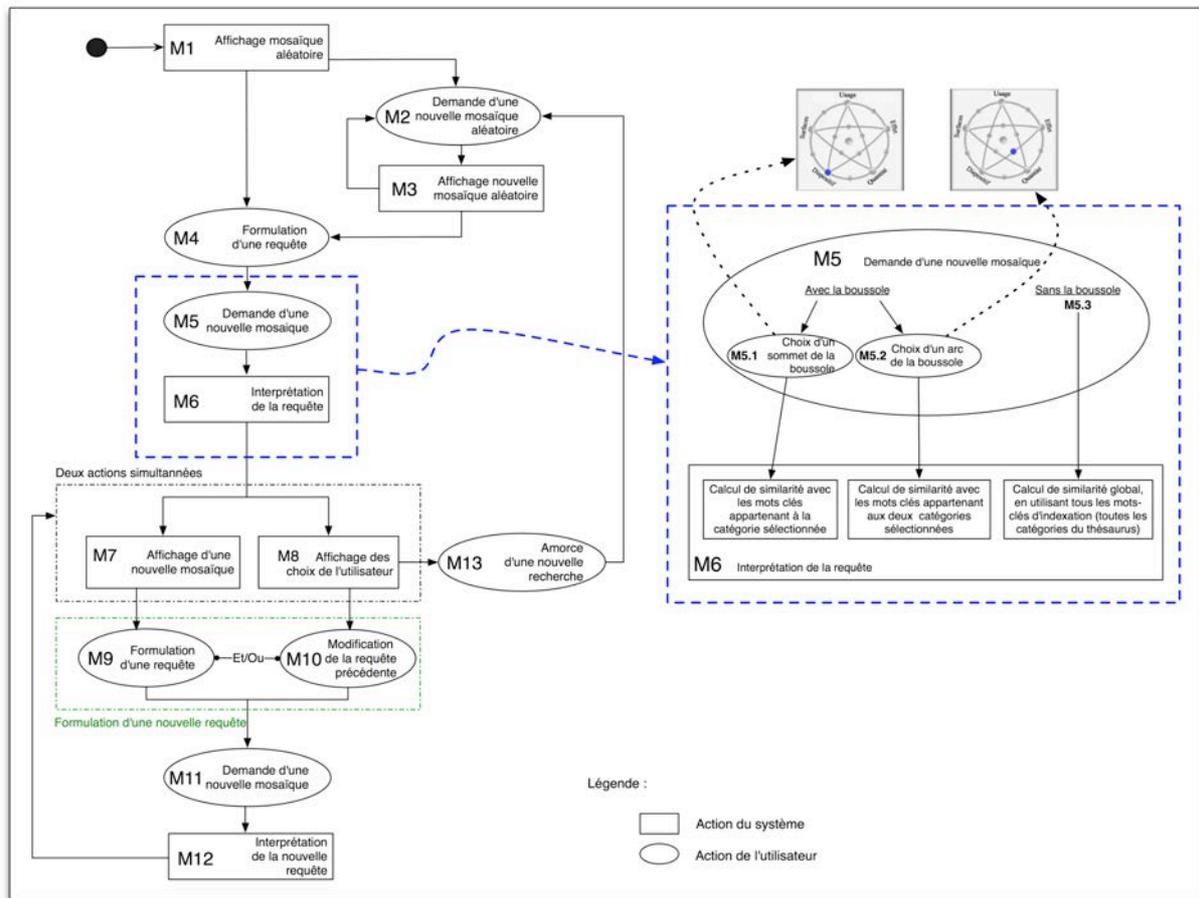


Figure 87. Méthode de navigation dans la mosaïque

M1 : Affichage d'une première mosaïque aléatoire :

Au lancement de l'application, le système visualise des images choisies aléatoirement à partir de la base selon une grille régulière dans la zone de résultat. Le nombre d'images est calculé en fonction de la taille de la fenêtre.

M2 : Demande d'une nouvelle mosaïque aléatoire

Si cette première mosaïque ne convient pas à l'utilisateur, c'est-à-dire s'il n'arrive pas à exprimer un choix sur les images présentées, il peut demander une nouvelle mosaïque aléatoire en cliquant sur le bouton « demander une nouvelle mosaïque »  .

M3 : Affichage d'une nouvelle mosaïque aléatoire

Le système présente une nouvelle mosaïque aléatoire différente des précédentes.

M4 : Formulations d'une requête :

Pour chaque image visualisée dans la zone de résultats, l'utilisateur peut :

- choisir une image : un clic (avec la souris) sur l'image ; *sélection verte*,
- rejeter une image : deux clics sur l'image ; *sélection rouge*,
- ne pas donner d'avis : ne pas cliquer sur l'image ou trois clics sur l'image pour annuler la sélection ; *image sans sélection*.

L'utilisateur est libre de faire des choix positifs ou négatifs sur une partie ou la totalité des images visualisées.

M5 : Demande d'une nouvelle mosaïque :

Après avoir effectué son choix en images, l'utilisateur demande une nouvelle mosaïque.

Deux cas possibles :

- Avec la boussole : l'utilisateur peut choisir de :
 - Cas (M5.1) : placer le curseur sur un sommet de la boussole représentant une des cinq catégories du thésaurus,
 - Cas (M5.2) : placer le curseur sur un arc reliant deux sommets et représentant la combinaison de deux catégories du thésaurus.Dans les deux cas, le fait de changer la position de la boussole indique au système d'effectuer une nouvelle recherche.
- Sans la boussole (ou avec son positionnement actuel) : Cas (M5.3) : lancer directement la recherche (avec le bouton ).

M6 : Interprétation de la requête

- Dans le Cas (M5.1), le système recherche les images similaires aux images requêtes par un calcul de similarité en prenant en compte uniquement les mots clés appartenant à la catégorie du thésaurus représentée par le sommet sélectionné dans la boussole.

- Dans le Cas (M5.2), le système recherche les images similaires aux images requêtes par un calcul de similarité en prenant en compte uniquement les mots clés appartenant aux deux catégories représentées par l'arc sélectionnées dans la boussole.
- Dans le Cas (M5.3), le système recherche les images similaires aux images requêtes par un calcul de similarité en prenant en compte tous les mots clés indexant les images.

M7 et M8 : Deux actions simultanées par le système :

- M7 : le système affiche une nouvelle mosaïque, résultat de la requête, dans la zone de résultats.
- M8 : le système affiche les images choisies et les images rejetées par l'utilisateur dans la zone de requête en mémorisant leurs sélections (choisies ou rejetées). Nous soulignons que les images affichées dans la zone de requête ne seront plus affichées dans la zone résultat de la mosaïque même si certaines demeurent pertinentes.

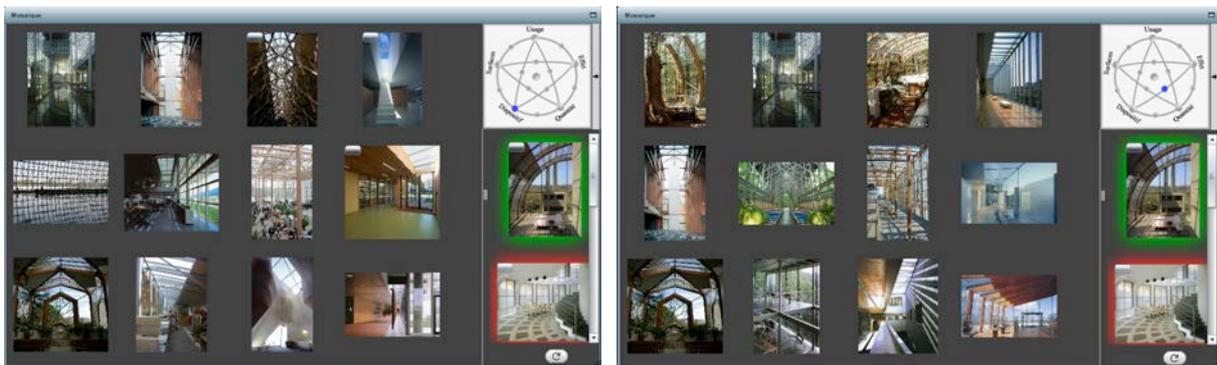


Figure 88. Deux mosaïques : mêmes requêtes, mais deux positions différentes de la boussole

M9 et M10 : Formulation d'une nouvelle requête après l'affichage de la nouvelle mosaïque :

La nouvelle requête peut être formulée à partir de la zone de résultat (M9) et à partir de la zone de requête en modifiant la dernière requête définie précédemment (M10).

- M9 : dans la zone de résultat, l'utilisateur peut faire un nouveau choix (choisir, rejeter ou ne pas donner d'avis).
- M10 : dans la zone de requête, l'utilisateur peut modifier son avis sur chacune des images mémorisées. Par exemple, il peut rejeter une image qui a été choisie lors d'une requête ultérieure.

M11 : demande d'une nouvelle mosaïque

Ici la demande d'une nouvelle mosaïque est possible de la même manière qu'en M5.

M12 : interprétation de la nouvelle requête

Le système interprète le choix en images présent dans les deux zones, de résultat et de requête, avec la même importance afin de sélectionner et proposer de nouvelles images références

M13 : Amorce d'une nouvelle recherche

Lorsque l'utilisateur souhaite recommencer une nouvelle recherche indépendante de la précédente, dans ce cas, il peut supprimer toutes les images de la zone requête par un simple *glisser-déposer* de chacune des images en dehors de la zone requête. Il est aussi possible de changer l'état des images mémorisées dans la zone requête à « neutres » pour qu'elles ne soient plus prises en compte dans la nouvelle recherche.

5.7.4.3 Calcul de similarité entre les images et la requête

La similarité entre des images et une requête est établie en utilisant une fonction de correspondance qui détermine et évalue la pertinence de chacun des documents (ici des images) contenus dans une base relativement à une requête formulée par l'utilisateur.

Dans le cas de cette étude, nous avons utilisé une fonction de correspondance issue du modèle vectoriel préconisé par Salton [Salton and Mc Gill '83]. Ce modèle permet d'évaluer des similarités partielles entre une image et une requête. Les résultats peuvent être organisés suivant un ordre décroissant de similarité pour présenter à l'utilisateur les images les plus similaires à sa requête.

Principe du modèle vectoriel

Le modèle vectoriel [Baeza-Yates and Ribeiro-Neto '99] représente les images et les requêtes par des vecteurs dans un espace à n dimensions. Ces dimensions étant constituées par les termes du vocabulaire d'indexation. À chaque image I_j , correspond un vecteur :

$$\vec{I}_j = (w_{1,j}, w_{2,j}, \dots, w_{n,j})$$

où n correspond au nombre total des termes dans le thésaurus et $w_{n,j}$ dénote le poids du terme t pour l'image I_j . Le poids est calculé à partir de la pondération des termes.

Une requête est également représentée par un vecteur :

$$\vec{q} = (w_{1,q}, w_{2,q}, \dots, w_{n,q})$$

où $w_{n,q}$ est le poids du terme t dans la requête q . La Figure 89 montre un exemple d'espace vectoriel composé des trois termes t_1 , t_2 et t_3 . Les vecteurs de deux images I_1 et I_2 et une requête Q sont représentés dans cet espace.

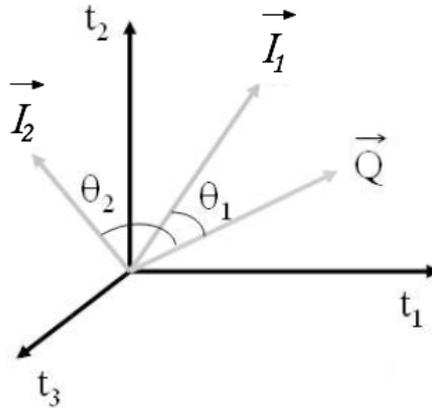


Figure 89. Représentation vectorielle de deux images (I_1 et I_2) et d'une requête (Q) dans un espace composé de trois termes t_1 , t_2 et t_3 .

La fonction de correspondance mesure la similarité entre le vecteur Requête et les vecteurs images. Une mesure classique est le cosinus de l'angle formé par les vecteurs Requête et Image. Plus l'angle formé est petit, et plus le cosinus de cet angle est grand (les valeurs sont comprises entre 0 et 1). Lorsque le cosinus est égal à 0 cela veut dire qu'aucun terme n'est en commun et lorsqu'il est égal à 1 cela veut dire que tous les termes correspondent parfaitement. Dans l'exemple de la Figure 89, l'image I_1 est plus similaire à la requête que l'image I_2 .

Ainsi, plus une image est éloignée de la requête, plus l'angle entre les deux vecteurs est grand et plus la valeur du cosinus de l'angle est proche de 0. Inversement plus une image est proche de la requête, plus la valeur de son cosinus est proche de 1.

Après un calcul de similarité entre les images et la requête, on obtient pour chaque image une valeur qui permet de classer ces images par ordre décroissant de similarité afin de les présenter à l'utilisateur.

Requête par jugement et calcul de similarité

Lorsque l'utilisateur formule une requête (images choisies et rejetées), le système construit deux vecteurs. L'un concerne les images sélectionnées « vecteur requête » et l'autre concerne les images rejetées « vecteur de l'anti-requête » :

- Les images positives : à partir de toutes les images jugées positives, le système construit un vecteur requête.
- Les images rejetées : un vecteur correspondant aux images rejetées est construit, comme pour les images positives. Il correspond à « l'anti-requête » de l'utilisateur. Une mise en correspondance entre les images rejetées et l'anti-requête permet de calculer leurs degrés de similarité.

- Les images indifférentes : n'ont pas d'influence sur le calcul de similarité entre la requête et le résultat.

Le système mesure ensuite d'une part le cosinus entre les vecteurs de toutes les images de la base et le vecteur requête et d'autre part le cosinus entre les vecteurs de toutes les images de la base et le vecteur anti-requête. Il obtient ainsi deux listes d'images résultats, la première correspondant au résultant de l'anti-requête et la deuxième correspondant au résultat de la requête. Une comparaison entre les deux listes est effectuée pour identifier les images communes ; si le vecteur de l'image est plus proche du vecteur de l'anti-requête que celui de la requête l'image sera rejetée. Le degré de similarité associé aux images résultats d'une recherche correspond à la valeur du cosinus entre le vecteur de la requête et le vecteur de cette image. L'anti-requête sert principalement à affiner les résultats d'une requête. Son apport dans la recherche permet de s'éloigner des résultats jugés non pertinents

L'influence de la boussole

La même méthode est appliquée pour les requêtes utilisant la boussole en prenant en compte uniquement les termes d'indexation correspondant à la ou les deux catégories désignées par l'utilisateur.

5.7.5 Le Graphe

5.7.5.1 Présentation

Au lancement de l'application, la zone du graphe (Figure 91) visualise un graphe écocentrique à partir de la première image visualisée dans la mosaïque. Nous précisons que la demande de nouvelles mosaïques aléatoires n'affecte pas l'affichage du graphe afin d'éviter de perturber la concentration des utilisateurs lors de la manipulation de la mosaïque.

Les images reliées à une même image n'ont pas toujours le même degré de similarité. Des images peuvent être plus similaires que d'autres. Pour pouvoir identifier visuellement cette différence, il est indispensable d'introduire des variables visuelles afin de rendre la représentation du graphe plus riche en information. Pour ce faire, nous avons choisi de varier l'épaisseur des arcs reliant deux images. Plus le degré de similarité entre les images est important plus le trait sera épais (Figure 90).

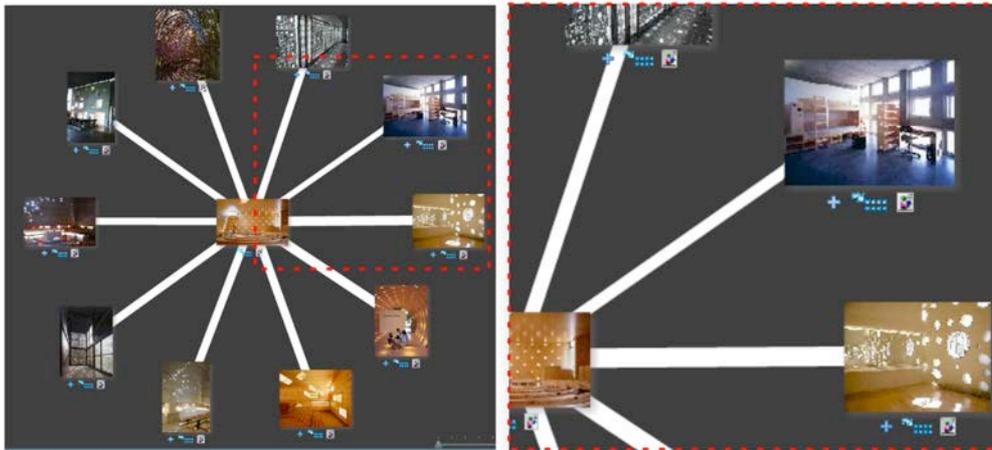


Figure 90. Variation des épaisseurs des arcs selon le degré de similarité entre les images

Nous avons fixé le nombre par défaut d'images similaires à l'image centrale à six. Ces dernières correspondent aux six images les plus similaires à l'image centrale. Nous offrons la possibilité au concepteur de varier le nombre de ces images en jouant sur deux paramètres différents:

- *Paramètre 1* : le nombre d'images :

L'utilisateur peut fixer un nombre entre 3 et 12 images maximum dans le but de ne pas encombrer la visualisation du graphe.

- *Paramètre 2* : le seuil

Le résultat du calcul de similarité entre l'image requête et les images résultats est une valeur (V) comprise entre 0 et 1 : $0 < V < 1$ (Entre 0 et 100 en pourcentage). Fixer un seuil revient à fixer la valeur (V) minimale à accepter.

L'utilisateur peut fixer un seuil de similarité minimum à respecter dans la visualisation des images similaires à l'image centrale. Le nombre d'images similaires varie en fonction des images contenues dans la base et qui possèdent un degré de similarité dans l'intervalle fixé par l'utilisateur. Ceci revient à lui permettre d'élargir ou diminuer le champ des résultats.

Nous soulignons qu'un seul paramètre peut être pris en compte à la fois. La variation de l'un annule l'effet de l'autre.

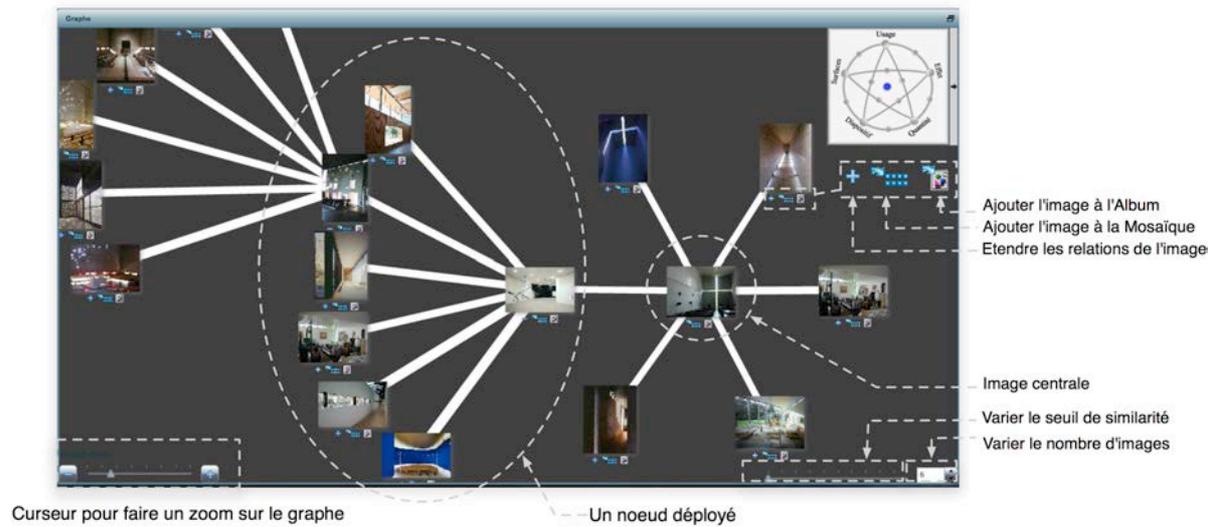


Figure 91. Le Graphe

5.7.5.2 Méthode de navigation dans le graphe

La Figure 92 schématise la méthode de navigation dans le graphe.

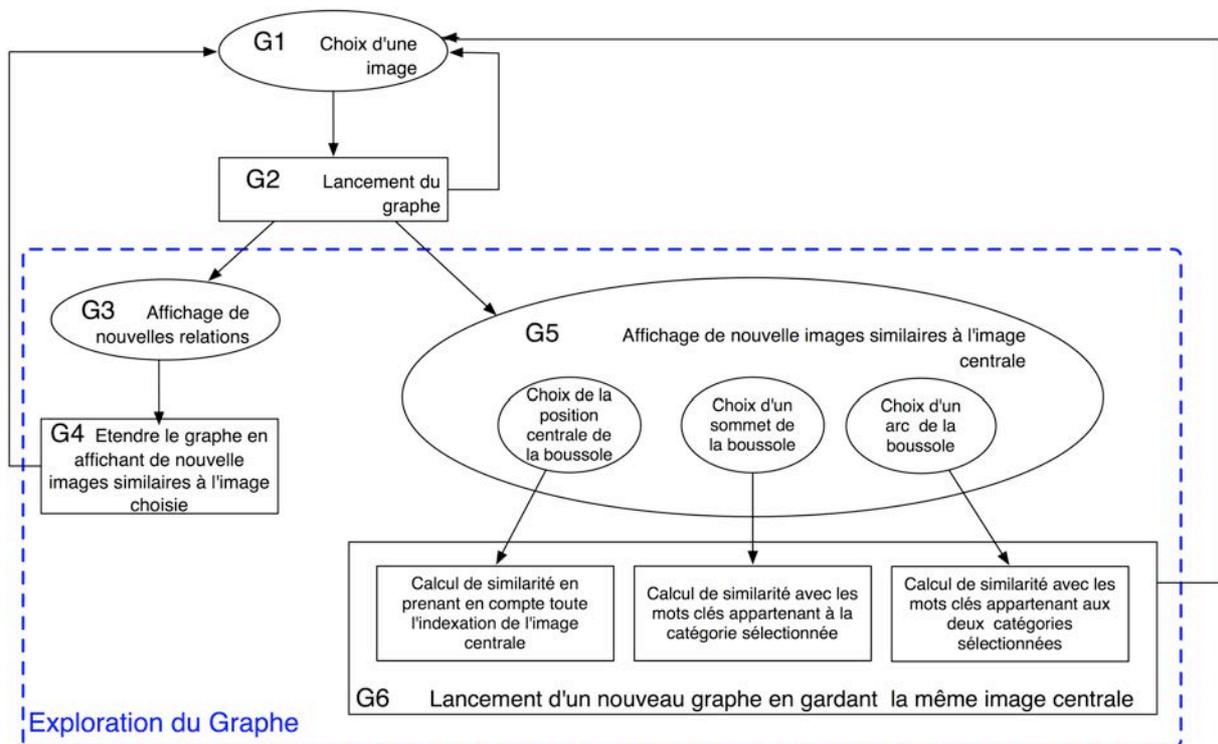


Figure 92. Méthode de navigation dans le graphe

À partir du graphe visualisé au lancement de l'application, l'utilisateur peut explorer ce graphe ou choisir de visualiser un nouveau graphe.

G1 : Choix d'une image pour visualiser un nouveau graphe

Pour visualiser un nouveau graphe, l'utilisateur doit définir l'image qui sera l'image centrale. Cette image peut être sélectionnée à partir de la mosaïque ou choisie parmi celles visualisées dans le graphe existant :

- À partir de la mosaïque : cette image peut être sélectionnée dans la zone de résultat ou dans la zone de requête. En glissant et déposant l'image dans la zone du graphe, un nouveau graphe s'affiche. L'image déposée devient alors le centre du graphe.
- À partir du graphe : en double-cliquant sur une des images visualisées, celle-ci devient le centre du nouveau graphe affiché.

G2 : Lancement du graphe

Une fois l'image centrale sélectionnée, le système affiche les images les plus similaires à cette image. Ces images sont identifiées à partir de la base en établissant un classement décroissant des images similaires à l'image centrale.

Exploration du graphe

À partir du graphe affiché, l'utilisateur peut choisir de concentrer son exploration autour de l'image centrale en utilisant la boussole ou d'explorer de nouvelles relations à partir des images visualisées.

G3 : Affichage de nouvelles relations :

Pour chacune des images similaires à l'image centrale, l'utilisateur peut cliquer sur le bouton (+) de l'image afin de déployer les images qui lui sont similaires. Lorsque les images sont affichées, le même bouton (qui prend le signe « - ») permet de les cacher. L'utilisateur peut répéter l'opération pour toutes les nouvelles images visualisées dans le graphe (Figure 91).

G4 : Étendre le graphe en affichant de nouvelles images similaires à l'image choisie

Le système visualise les images similaires à l'image choisie en prenant en compte la position de la boussole au moment de l'action.

G5 : Affichage de nouvelles images similaires à l'image centrale :

En modifiant la position du curseur dans la boussole, le système visualise de nouvelles images similaires à l'image centrale.

Plusieurs positions sont possibles :

- Cas Gb1 : Curseur au centre de la boussole : le système recherche les images similaires à l'image centrale par un calcul de similarité en prenant en compte toute l'indexation de l'image centrale (similarité globale) (G6).
- Cas Gb2 : Curseur sur un sommet de la boussole : le système recherche les images similaires à l'image centrale en prenant en compte uniquement les mots clés appartenant à la catégorie du thésaurus représentée par le sommet sélectionné dans la boussole (voir exemple Figure 93) (G6).
- Cas Gb3 : Curseur sur un arc de la boussole : le système recherche les images similaires à l'image centrale en prenant en compte les mots clés appartenant aux deux catégories représentées par l'arc sélectionné dans la boussole (G6).

Le changement de la position de la boussole entraîne directement la visualisation de nouvelles images similaires à l'image centrale.

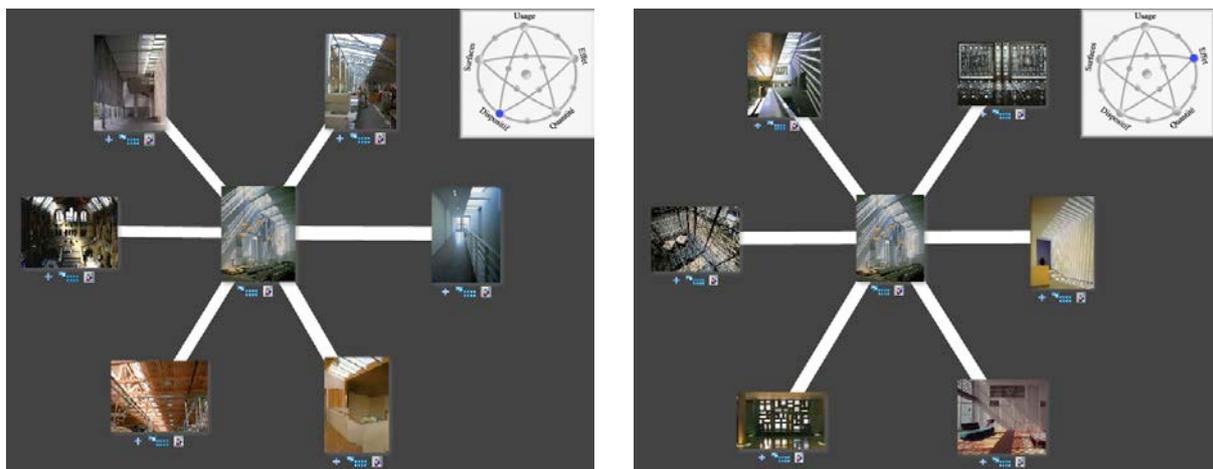


Figure 93. Action de la boussole sur le graphe pour une même image : « dispositifs », et « effet »

5.7.5.3 Calcul de similarité entre les images

Comme pour la mosaïque, le calcul de similarité entre les images dans le graphe repose sur le modèle vectoriel (paragraphe 5.7.4.3). Dans ce cas, c'est l'image centrale qui est considérée comme l'image requête.

5.7.6 L'implémentation du prototype

Le prototype day@mbiance est une application web riche (RIA – Rich Internet Application) et repose sur la technologie Flex d'Adobe. Il s'exécute dans tous les navigateurs Web, à condition d'installer le plug-in Flash. Ainsi, l'application est accessible de n'importe quel ordinateur à partir du moment où il est connecté à Internet.

La base d'images références qui a servi au développement du prototype est composée de 400 images indexées selon la méthode présentée au chapitre 3. Les indexations proviennent de l'outil « iMage » utilisé pour l'indexation. Cet outil permet une exportation des images et de leurs indexations sous le format EXIF (Un exemple est disponible à l'Annexe 7). Sous cette forme, chaque image est associée à un ensemble d'informations (nom projet, architecte...) mais aussi à ses mots-clés et leur pondération utile pour le calcul de similarité.

Le prototype day@mbiance utilisé pour valider notre proposition par le biais d'expérimentations (Chapitre 6) est une première version. Dans cette version, la majorité des fonctionnalités présentées ici ont été développées (*mosaïque, graphe, boussole*), seules quelques unes, comme la *fiche image, l'album* et la *zone de dessin*, n'étant pas suffisamment opérationnelles n'ont pas pu être testées et validées dans les expérimentations.

Dans cette version, pour obtenir des informations sur les images références, nous avons développé une « étiquette furtive » qui apparaît lorsque le curseur est positionné sur une image. Cette étiquette renseigne, pour chaque image, sur : le nom projet, l'architecte, l'année de réalisation et le pays.

La zone Albums permet seulement de mémoriser des images et ensuite les exporter une à une en dehors de day@mbiance.

Nous précisons que le graphe, la mosaïque et la boussole de navigation sont suffisamment opérationnels pour être expérimentés.

5.8 Conclusion du chapitre

Tout au long de ce chapitre, nous avons présenté la démarche adoptée afin de proposer une méthode d'exploration et de manipulation des images de références appropriée à l'activité des concepteurs. Nous envisageons une assistance relative aux différentes phases du processus de référencement qui soit stimulante à l'activité cognitive du concepteur engagée durant chacune de ces phases. Nous laissons cependant ouverte la question de la pertinence de la connaissance dégagée qui sera relative à la capacité interprétative et de l'expérience du concepteur.

L'un des enjeux de notre proposition est d'utiliser les images références à la fois comme source d'information et comme moyen pour la recherche et l'interprétation des images. Ainsi, les utilisateurs de l'outil proposé manipuleront majoritairement des images et très peu de texte.

À travers la modélisation du processus de référencement, nous avons identifié les besoins des concepteurs afin de déterminer ce que l'outil doit permettre à l'utilisateur de faire. Sur la base de ces besoins, nous avons déterminé les exigences qui ont guidé le développement de notre proposition.

À première vue l'outil que nous proposons peut donner l'impression d'être une addition de micro-outils, mais nous insistons sur le fait que les différents modes de navigation proposés ont pour objectifs d'être complémentaires et sollicitent des activités cognitives différentes utiles aux différentes phases du processus de référencement.

La méthode d'exploration proposée a été implémentée dans un outil nommé « day@mbiance ». Cet outil nous l'avons voulu à la fois flexible, malléable, intuitif et facile d'apprentissage, autant de qualités qu'un outil d'assistance à la conception se doit d'avoir.

CHAPITRE 6. Validation de la proposition

Ce chapitre s'intéressera à la validation de notre approche d'assistance à l'activité de référencement dans la conception des ambiances lumineuses ainsi qu'à la validation du prototype dénommé « Day@mbiance » largement décrit dans le chapitre précédent. Ainsi, notre objectif est de confronter notre proposition à des architectes en vue de démontrer l'intérêt d'un outil d'aide à la conception dans la prise en compte de la lumière naturelle dans la conception de projet et en tant que support à l'activité de référencement.

Une première partie abordera les objectifs de cette phase d'expérimentation, ainsi que le protocole qui a été mis en œuvre. Une deuxième partie sera consacrée à l'analyse de cette expérimentation en adoptant à la fois une approche qualitative et quantitative à partir de l'observation de l'activité des participants et de leurs retours. Ce chapitre conclura sur le bilan et les limites de cette phase d'expérimentation.

6.1 Présentation de l'expérimentation

Cette section est destinée à préciser les objectifs de cette phase de validation et à décrire le protocole d'expérimentation que nous avons suivi pour atteindre ces objectifs.

6.1.1 Les objectifs

La phase d'expérimentation est destinée à confronter l'outil développé à des concepteurs durant leur activité de référencement pour la formulation des intentions. Le but est de juger l'intérêt de notre proposition et la validité de nos hypothèses. Plus précisément, cette expérimentation cherche à atteindre les deux objectifs suivants :

- évaluer l'apport de l'outil day@mbiance et son impact dans la formulation des intentions d'ambiances lumineuses,
- valider le degré d'adéquation des modes de navigation proposés avec les besoins des concepteurs durant l'activité de référencement.

Le premier point concerne l'identification de l'apport de l'outil dans le déroulement de l'activité des concepteurs et l'évaluation du projet proposé à l'issue de l'utilisation de day@mbiance. Ce projet ne sera pas examiné du point de vue de la pertinence de l'intention formalisée, mais plutôt par rapport à la satisfaction des concepteurs quant aux moyens fournis pour résoudre leur problème de conception.

Le deuxième point concerne la méthode d'exploration mise en œuvre dans day@mbiance. Nous cherchons à observer si les modes de navigations et les fonctionnalités de day@mbiance proposés répondent aux besoins identifiés des concepteurs que nous avons formulés dans nos hypothèses. Ceci revient à observer quand, comment et pour quel besoin chaque mode de navigation est utilisé par les concepteurs.

6.1.2 Le protocole d'expérimentation

6.1.2.1 *Choix d'une méthode*

Pour les besoins de notre expérimentation, il nous faudra appréhender, à des fins d'analyse, les éléments tacites au déroulement de l'activité cognitive des concepteurs durant l'utilisation de day@mbiance. Pour ce faire, nous avons choisi une méthode d'étude de situations empiriques proposée par Christian Brassac et son équipe de recherche⁴⁹. Cette méthode a déjà été testée dans le cadre de la thèse de Celso Skaletsky [Skaletsky '03] et lui a permis de comprendre le raisonnement suivi par les architectes (mis en situation) pour l'analyser.

⁴⁹ Équipe de recherche CODISANT-G3C (COgnition DIstribuée dans les Systèmes Artificiels et NaTurels - Génie de la Connaissance. Conception et Création) composante du LabPsyLor (Laboratoire de Psychologie des universités Nancy2 et Metz-Paul Verlaine, EA 3947).

Cette méthode consiste à réunir des acteurs différents dans un même lieu autour de la conception d'un même objet⁵⁰. C.Brassac défend qu'une telle situation **provoque** une « *dynamique interactionnelle* » à la fois conversationnelle et actionnelle : les acteurs interagissent entre eux et avec l'objet de création [Brassac '04]. C'est à partir de cette dynamique interactionnelle, particulièrement conversationnelle, que les acteurs échangent leurs connaissances, leurs points de vue et expriment ce qu'ils ont en « tête » [Brassac '00]. Ce processus interactionnel est considéré comme un processus coopératif conceptuel d'idées qui est souvent présenté par C.Brassac par le concept de « co-construction ». C'est d'ailleurs dans les différents échanges et confrontations entre les différents acteurs qu'il y a construction d'un sens commun pour la construction de l'objet [Grosjean and Brassac '97].

Un dispositif d'observation doit être mis en place afin de restituer l'intégralité de la situation (les interactions verbales, les actions corporelles et les mobilisations des dispositions techniques). À partir de ce dispositif d'observation, ces chercheurs réalisent un travail d'analyse selon une méthode centrée sur l'usage d'une logique qu'ils appellent « *interlocutoire* » [Grosjean and Brassac '97] qui permet de révéler la construction progressive d'un objet . Elle ne prend pas en considération uniquement « *le simple échange de formes linguistiques (informations, énoncés ou autres) mais consiste à appréhender l'interaction comme modelage de formes langagières, corporelles et artefactuelles* » [Brassac '04].

Ce qui paraît important dans cette méthode et que, contrairement à une situation où l'acteur est « tout seul », réaliser une situation de conception à deux ou à plusieurs acteurs entraîne forcément une dynamique conversationnelle. Cette dernière permet de rendre intelligibles les mécanismes cognitifs sous-jacents aux actions des acteurs et que l'observation contribue à restituer leurs pensées. C'est d'ailleurs ce qui nous intéresse le plus dans cette méthode et qui nous a conduit à l'adopter pour mener notre expérimentation.

6.1.2.2 Choix d'un dispositif matériel

Pour mener cette expérimentation, nous avons choisi d'utiliser un bureau virtuel développé par le groupe de recherche LuciD à l'université de Liège. Ce bureau virtuel (voir Figure 94) est un dispositif matériel composé d'une table digitale de grande taille, manipulable à l'aide d'un stylet et de deux vidéos projecteurs permettant de projeter l'espace de travail d'un ordinateur sur la table digitale [Safin *et al.* '05]. Ce choix de dispositif a été motivé essentiellement pour les avantages suivants :

- Le bureau virtuel permet d'avoir une surface de travail beaucoup plus importante qu'un écran d'ordinateur.

⁵⁰ Cet objet peut être de n'importe quel ordre : un service, une carte territoriale, un logiciel, la rédaction d'un guide...

- L'utilisation du stilet, principalement pour dessiner, permet de dépasser les difficultés à utiliser une souris dans une telle activité.
- Les participants à notre expérimentation ont déjà l'habitude d'utiliser ce dispositif⁵¹.

Ainsi, l'emploi d'un bureau virtuel permet d'offrir un environnement numérique capable d'aider les concepteurs dans leur activité en recréant les conditions naturelles de conception tout en les libérant des contraintes usuelles de l'outil informatique.

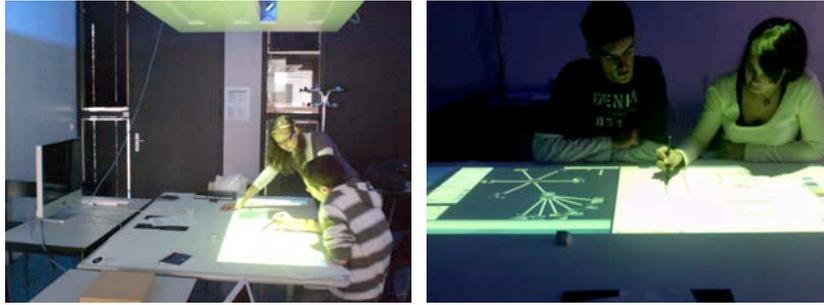


Figure 94. Le bureau virtuel

6.1.2.3 Cadre de l'expérimentation et profil des participants

Cette expérimentation a été menée avec des étudiants en master 2 « AME : Architecture, Modélisation, Environnement » de l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy. Bien que l'utilisation de day@mbiance dans un cadre pédagogique ne constitue pas une situation réelle de conception, elle permet toutefois de confronter la proposition à des acteurs du domaine et d'en démontrer la pertinence.

Dans le cadre du module « simulation de la lumière naturelle et artificielle », les étudiants doivent réaliser la simulation de la lumière naturelle d'un projet qu'ils conçoivent. L'avantage d'une telle situation, en comparaison à une situation purement expérimentale, est que les étudiants ont un intérêt personnel à utiliser day@mbiance pour la formulation de leurs intentions (ce qui peut se rapprocher d'une situation réelle de conception).

Les étudiants de cette formation ont des profils variés : architectes diplômés, architectes d'intérieur diplômés et architectes en dernière année de formation. La Figure 95 illustre la répartition des étudiants participant à l'expérimentation.

⁵¹ Les participants ont déjà utilisé ce dispositif dans le cadre de leur formation en master.

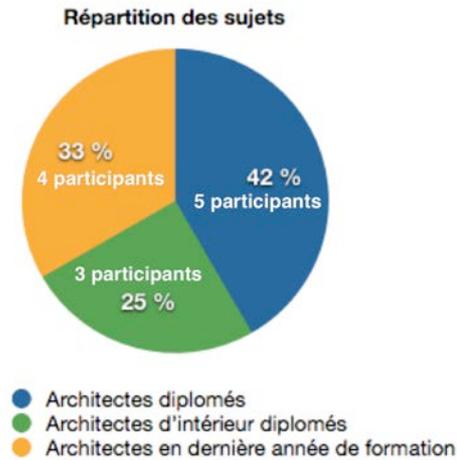


Figure 95. Répartition des participants lors de la phase d'expérimentation

6.1.2.4 Déroulement de l'expérimentation

Comme le propose la méthode de Brassac (*cf.* paragraphe 6.1.2.1), chaque expérimentation se déroule par groupes de 2 participants. Six groupes ont été formés de manière à ce que les 2 participants présentent des compétences distinctes (architecte et architecte étudiant, architecte et architecte d'intérieur, architecte étudiant et architecte d'intérieur). À chaque groupe est fourni le même sujet de conception. Les participants vont devoir réfléchir et développer leurs solutions d'ambiances lumineuses selon la fonction des espaces à créer et leurs exigences.

Nous avons fait le choix d'un programme architectural simple afin qu'il puisse être réalisé en 90 minutes environ. Il s'agit de la conception d'un espace d'information et de tourisme situé devant la gare de Nancy avec une surface de 35 m² environ (l'énoncé du sujet est disponible à l'Annexe 8).

Quatre étapes différentes marquent le déroulement de cette expérimentation :

Étape 1 :

Cette première étape est dédiée à la présentation du cadre de l'expérimentation :

- explication du déroulement de l'expérimentation,
- présentation du fonctionnement et de la manipulation de l'outil day@mbiance,
- présentation des tâches et consignes de l'exercice de conception.

Étape 2 :

Cette deuxième étape concerne la conception du projet. Il est demandé aux participants de présenter, sous forme d'esquisse, la solution proposée en incluant leurs intentions en terme d'ambiances lumineuses.

Pour effectuer la tâche de conception, nous avons mis à la disposition des participants, en plus de l'outil Day@mbiance, un autre outil logiciel nommé « SketSha » qui sera utilisé à la place de la zone de dessin qui n'est pas opérationnelle dans le prototype utilisé pour

l'expérimentation⁵². *SketSha* (Figure 96), est une interface de dessin développée par le groupe de recherche LuciD à l'université de Liège [Elsen and Leclercq '08]. À travers une interface simple et intuitive, *SketSha* permet aux concepteurs de dessiner sur le bureau virtuel en utilisant le stylet.

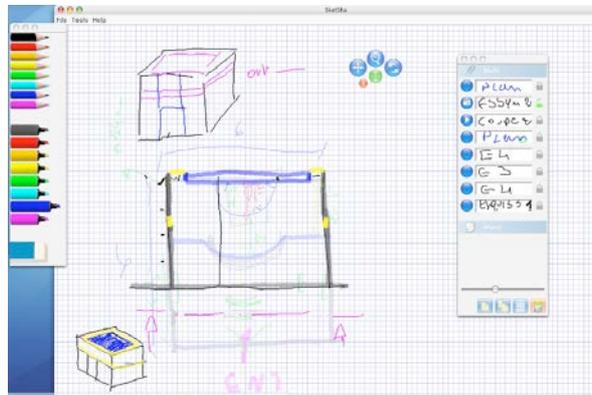


Figure 96. Capture d'écran de l'interface de SketSha

Cette étape se déroule sur une durée approximative de 90 minutes⁵³. La gestion des temps est laissée aux participants. Ils répartissent leur temps comme ils le souhaitent entre la recherche de références et le développement de la solution. Ils sont aussi libres de choisir le processus à suivre et les outils à utiliser (parmi ceux que nous avons mobilisés pour l'expérimentation).

Cette étape est intégralement filmée. L'enregistrement vidéo permet de suivre la continuité de l'action qui se déroule et de garder une traçabilité des enchaînements (actes et paroles) afin de capturer la multi-modalité du processus. Il permet de restituer à la fois les dialogues entre les deux participants et les actions effectuées sur les outils mobilisés durant l'expérimentation. L'enregistrement vidéo a aussi l'avantage de fournir des traces pérennes susceptibles d'une analyse détaillée.

Un premier enregistrement vidéo est obtenu à partir d'une caméra placée devant les participants qui cadre à la fois les personnes et ce qui apparaît sur le bureau virtuel. Ceci permet d'observer à la fois ce qui se passe sur le bureau, les gestes des personnes et les paroles émises en même temps. Un deuxième enregistrement correspond à la capture vidéo du bureau virtuel et permet d'observer précisément les manipulations de chaque outil et les fonctionnalités utilisées. Un montage vidéo a été réalisé à partir de ces deux enregistrements obtenus afin de suivre en simultané l'usage précis de chaque outil et l'ensemble des actes et des paroles.

⁵² Nous précisons que les participants à cette expérimentation ont tous utilisé « SketSha » pour dessiner leurs esquisses à des occasions antérieures.

⁵³ Nous remarquons qu'en situation normale (non expérimentale), cette phase de recherche d'intentions peut durer quelques jours.

Étape 3 :

À la fin de l'étape 2, un questionnaire (disponible à l'Annexe 9) est soumis aux participants leur permettant d'exprimer leurs appréciations et remarques sur le fonctionnement de day@mbiance ainsi que sur le rôle qu'il a joué dans le processus de recherche de références et de formulation des intentions.

Étape 4 :

La poursuite de ce travail sera faite dans le cadre du module « simulation de la lumière naturelle et artificielle ». Il est demandé à tous les binômes de finaliser leur proposition et de réaliser une maquette 3D de leur projet afin de procéder à des simulations de la lumière naturelle à l'intérieur du projet conçu en utilisant le logiciel Dialux⁵⁴. Cette étape se déroule sur trois semaines. À la fin de cette étape, il leur est demandé de fournir un rapport de 2 pages précisant si, ce qu'ils ont obtenu avec les simulations correspond à leurs intentions formalisées durant l'étape 2 et d'en exposer les enseignements tirés.

6.1.3 Traitement des données

Le choix méthodologique de traitement des données récoltées de l'expérimentation s'est porté sur une approche à la fois qualitative et quantitative.

L'approche qualitative est basée sur une compréhension synthétique et précise du déroulement de l'activité de conception durant la deuxième étape de l'expérimentation (séance d'observation). Elle permet de comprendre et de vérifier la validité des éléments méthodologiques développés. Le traitement consiste en l'analyse approfondie des vidéos issues de l'observation des séances de conception (soit environ 9h d'enregistrement vidéo). Cette analyse suit la logique de traitement des données proposée par Brassac [Brassac '04] qui prend en considération les interactions entre les binômes (échanges verbaux), le comportement des participants (gestes, actions...) et leurs interactions avec les outils. Cependant, nous limitons notre interprétation à un regard qualitatif sur les vidéos, sans nous plier au complexe travail de « *traduction logique* » du processus de construction de l'objet, tel que le fonde la méthode originale de Christian Brassac.

L'approche quantitative est basée principalement sur les retours des concepteurs à partir des questionnaires. Cette approche permet de valider l'appréciation générale de l'outil day@mbiance.

⁵⁴ Dialux est un outil de simulation numérique de la lumière naturelle (Cf. Chapitre 1, section 1.4.1.3)

6.2 Résultats de l'expérimentation

6.2.1 Apports de l'outil day@mbiance dans la formulation des intentions des concepteurs

Durant la deuxième étape de l'expérimentation, tous les groupes de participants ont utilisé exclusivement l'outil day@mbiance dans l'évocation des références externes. Aucun participant n'a exprimé le besoin de recourir à d'autres sources de références (livres, Internet) bien que cette alternative ait été suggérée dans l'énoncé fourni aux participants (Annexe 8).

Le rôle de l'outil day@mbiance sera étudié par rapport à l'observation de l'activité des participants. Aussi, l'appréciation générale de l'apport de l'outil dans la prise en compte de la lumière naturelle dans la conception du projet architectural sera établie à partir des retours des participants.

6.2.1.1 Observation de l'activité des participants

Du point de vue du déroulement de l'activité

La Figure 97 représente un schéma du déroulement de l'activité des binômes sous forme de lignes de temps en distinguant les moments de navigation dans day@mbiance et de production d'esquisses. Nous avons opté pour cette distinction afin d'observer à quel(s) moment(s) du processus de formulation des intentions la navigation au sein de day@mbiance a été utile.

La Figure 97 retrace également, en superposition par rapport aux lignes de temps, l'évolution du projet jusqu'au développement de la solution. L'évolution du projet est marquée par plusieurs instances. Nous avons identifié ces instances à partir de l'observation de l'activité des différents groupes et l'analyse des discussions échangées entre les participants. Nous avons choisi de ne faire figurer uniquement que les instances explicitement et clairement identifiées. Par exemple, lorsque les coéquipiers ont discuté d'une idée qui n'a pas été exprimée auparavant nous identifions cette instance par « émergence de nouvelles idées ».

Les instances identifiées sont les suivantes :

- Formulation du problème (FP) : identification des contraintes du projet et des exigences fonctionnelles.
- Formulation des premières idées (FI) : formulation « vague » d'idées.
- Précision des intentions directrices (PI) : prise en compte du problème dans la définition des idées.
- Émergence de nouvelles idées (EI) : génération d'idées non formulées antérieurement.
- Développement des idées formalisées (DI) : enrichissement d'une idée, associations d'idées.

- Vérification des hypothèses (VH) : évaluation et des idées formalisées.
- Formulation de solution (FS) : recherche au niveau du plan et de la volumétrie du projet.
- Développement de solution (DS) : production de la solution finale à retenir.

La Figure 97 montre qu'il n'existe pas une attitude unique dans le recours à day@mbiance durant le développement du projet. Ces attitudes peuvent être différentes selon :

- le choix du moment d'utilisation de day@mbiance : quatre groupes parmi les six ont entamé la navigation dans day@mbiance à la suite de la lecture de l'énoncé. Pour les deux autres groupes, une phase de formulation du problème ou de formulation des premières idées a précédé l'utilisation de day@mbiance.
- le nombre de fois où l'outil a été utilisé : trois groupes ont utilisé day@mbiance à un seul moment alors que les trois autres ont procédé par des allers-retours entre la navigation dans day@mbiance et la production d'esquisse.
- la durée de l'utilisation de day@mbiance : elle est très variable d'un groupe à un autre.

Une comparaison entre le comportement des différents groupes⁵⁵, montre que les différentes attitudes (particulièrement les deux dernières) semblent dues aux diverses démarches de formulation des idées des participants. Nous avons noté que certains groupes (groupes 1- 3- 4- 5) explorent plusieurs idées avant de préciser leurs intentions et les idées directrices du projet. Pour ces groupes, la manipulation de day@mbiance a été principalement utile pour l'émergence d'idées (EI) et le développement des idées formalisées (DI). D'autres groupes (groupes 2 et 6) se contentent de la première idée satisfaisante arrêtent l'exploration dès qu'ils l'ont trouvée. Pour ces groupes, la manipulation de day@mbiance les a aidés à formuler les premières idées du projet⁵⁶.

⁵⁵ Les interactions verbales entre les participants du groupe 1 sont quasiment absentes. Le participant qui manipulait le stylet (donc qui utilisait day@mbiance) menait la recherche. Ceci est dû au fait que son binôme ne maîtrisait pas suffisamment la langue française. Ce qui fait que les analyses pour ce groupe n'ont pas pu être approfondies et ne sont pas suffisamment concluantes.

⁵⁶ Nous précisons que le groupe 2 a cherché des idées d'ambiances pour chaque espace du projet séparément (espace d'accueil, espace d'exposition, local technique et d'hygiène). Ceci explique la présence dans la Figure 97 de l'alternance entre « émergence de nouvelles idées (EI) » et « formulation des premières idées (FI) ».

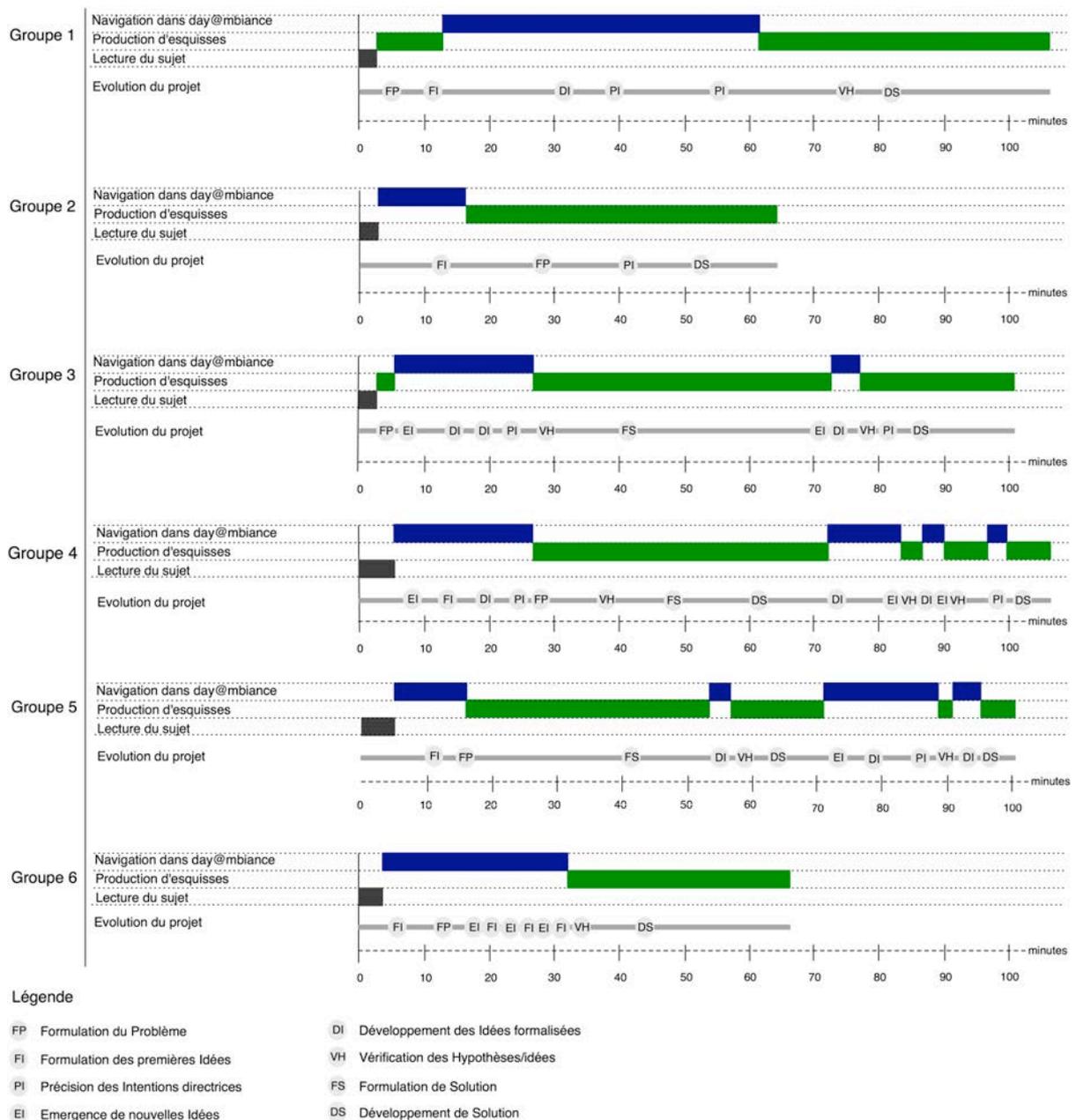


Figure 97. Déroulement de l'activité des six groupes de participants durant l'expérimentation

Pendant l'utilisation de day@mbiance, des moments de réflexion ont été observés principalement pour les groupes 1, 3, 4 et 5. Ces moments ont été dédiés à l'adaptation et au transfert de connaissances des images références au projet. Les discussions entre les participants (pouvant durer entre 2 et 5 min selon les groupes) démontrent que les images références sont d'abord interprétées, et les idées retenues guident la formulation des intentions.

Ces groupes (1, 3, 4 et 5) ont allié l'outil day@mbiance à l'outil de dessin. Le passage vers le dessin a été exprimé comme un besoin pour vérifier les idées formalisées oralement et aussi pour concrétiser les images mentales. Parfois, pendant la production d'esquisses, les

discussions tournaient autour des images références visualisées durant la navigation dans day@mbiance. Les participants ont exprimé le besoin de revenir vers day@mbiance pour compléter, préciser ou développer une idée. Cette démarche confirme l'intérêt du dessin au cours de la manipulation des références.

La production d'esquisse en alternance avec la navigation a fortement participé dans le déroulement de l'activité de référencement. Ceci nous encourage à développer la zone de dessin intégrée à l'outil day@mbiance.

Du point de vue de la génération d'idées

L'observation de l'activité des groupes permet de constater que les intentions formulées et retenues par les binômes étaient générées par les images références qu'ils avaient manipulées durant la navigation dans day@mbiance. Nous soulignons par ailleurs que *l'émergence de nouvelles idées* a été principalement favorisée par la *découverte* de nouvelles images références souvent inattendues, et que le *développement d'une idée* a été souvent le résultat de la présence de plusieurs images références représentant des ambiances lumineuses similaires globalement ou selon un aspect spécifique (un même effet, un même dispositif ou un même usage). En effet, les idées développées sont le résultat d'une combinaison entre plusieurs idées suggérées par différentes images références sauf pour le groupe 6 qui s'est satisfait d'une idée suggérée par une seule image pour chaque espace du projet. En conclusion, on peut dire que day@mbiance a bien été utilisée comme une source d'idées et d'inspiration.

Du point de vue des transferts analogiques

Il était établi au chapitre 2 que les images favorisent le raisonnement analogique. À partir des observations, nous avons identifié une attitude spécifique validant ce raisonnement analogique. En effet, les participants cherchaient à comprendre les choix conceptuels qui ont généré l'ambiance représentée sur une image référence pour pouvoir la transposer sur leur nouveau projet. Nous avons observé que le contenu des analogies transférées concerne principalement des aspects formels et procéduraux.

6.2.1.2 Retours des participants

À partir du questionnaire

Les retours formulés par les participants quant à l'utilité de l'outil day@mbiance durant l'activité de référencement sont assez positifs (voir Figure 98). La majorité des participants estime que day@mbiance permet de guider la recherche d'idées.

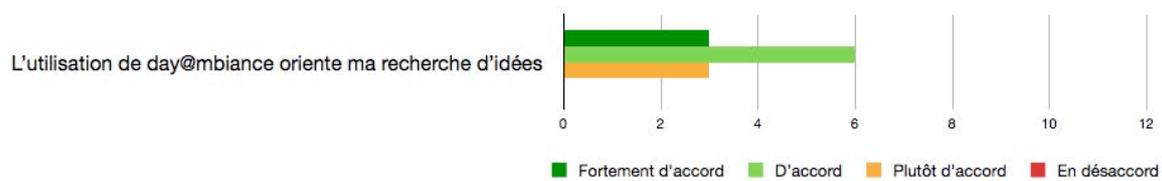


Figure 98. Retours des participants sur l'utilité de day@mbiance (question 3 du questionnaire)

À partir des commentaires formulés par les participants, nous soulignons que deux participants ont exprimé que l'utilisation de day@mbiance a accéléré leur processus de création en optimisant la durée de recherche de références (Groupe2.Participant2 et Groupe5.Participant1). Dans ce même sens, G4.P1 a remarqué que « *dans le temps imparti, il est un atout qui permet d'accélérer la recherche sur une base de données finie* ». Toutefois, ce participant estime que pour se prononcer réellement sur une telle question, il est nécessaire de tester l'outil lors de la conception de projets plus complexes. Un autre participant (G2.P1) considère que le fait que day@mbiance propose des références déjà triées et organisées, ainsi qu'une exploration « originale » de ces références a permis à son groupe de trouver rapidement des idées satisfaisantes. Selon lui, ceci n'aurait pas pu être possible sans l'utilisation de day@mbiance.

Aussi, les participants estiment globalement qu'ils ont réussi à trouver des références utiles à la formulation de leurs intentions (Figure 99). Toutefois, certains participants regrettent le manque de références par rapport à d'autres aspects spécifiques du projet. Ils citent en exemple des références représentant des extérieurs ou des volumétries de bâtiments. Nous soulignons que cette remarque confirme notre hypothèse de proposer une fiche pour chaque image dans laquelle on retrouve d'autres vues du même espace ainsi que des vues extérieures du bâtiment auquel appartient l'espace représenté.

D'autres trouvent que le contenu de la base (les images références) est intéressant, varié et de très grande qualité (Figure 99). Il reste toutefois pour certains assez restreint et parfois répétitif. À notre avis, ceci est dû au large savoir architectural que tous les participants ont pu accumuler durant toute leur expérience. Nous rappelons que l'outil utilisé pendant l'expérimentation est un prototype et que la base d'images références sera certainement enrichie.

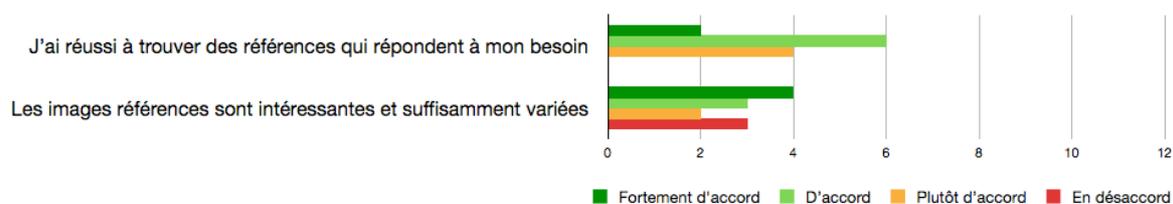


Figure 99. Retours des participants sur la qualité des images références (questions 4 et 5)

À partir des rapports fournis à l'issue de l'étape 4 de l'expérimentation

L'analyse des rapports fournis par les participants à l'issue de l'étape 4 de cette expérimentation (voir section 6.1.2.4 p.203) montre un degré de satisfaction général. Tous les binômes ont développé la solution esquissée durant la séance d'observation (étape 2). Tous soulignent que les résultats des simulations réalisées correspondent suffisamment à leurs intentions de départ (un exemple est présenté à la Figure 100). Cependant, un seul groupe (Groupe 3) a souligné que les résultats obtenus sont satisfaisants au niveau de l'effet de la lumière obtenu, mais que la quantité reste insuffisante par rapport aux besoins des usagers (Figure 101).

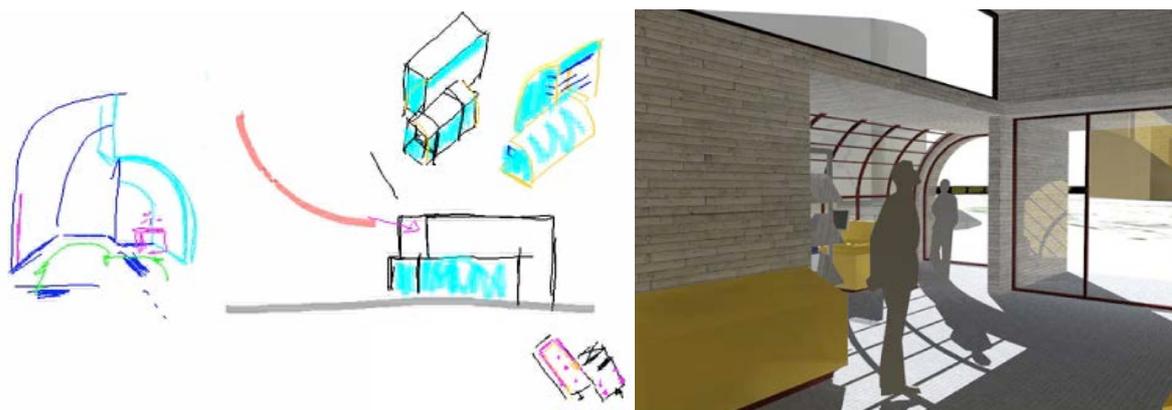


Figure 100. Le projet proposé par le groupe 4. À gauche les croquis dessinés à l'étape 2, à droite, une simulation réalisée à l'étape 4

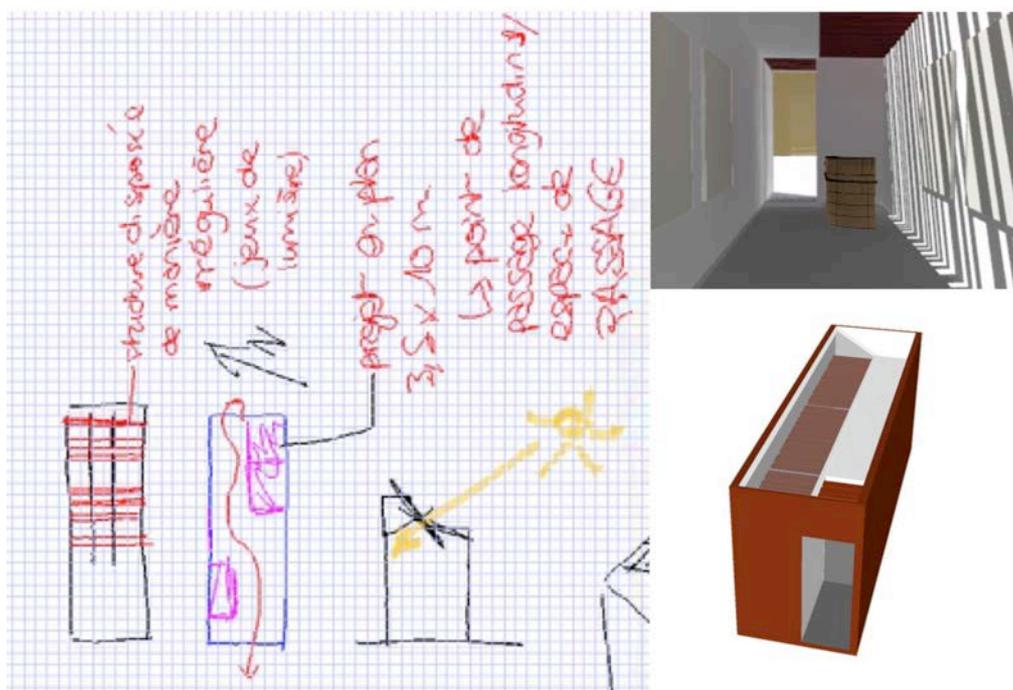


Figure 101. Le projet proposé par le groupe 3. À gauche les croquis dessinés à l'étape 2, à droite, une simulation réalisée à l'étape 4

6.2.2 Validation de la mosaïque et du graphe



Figure 102. Processus d'utilisation des modes de navigation par les six groupes de participants

La figure précédente (Figure 102) décrit l'utilisation de day@mbiance pour chacun des groupes de participants. Elle retrace les utilisations des différents modes de navigation pour chacun des moments où day@mbiance a été manipulé (Figure 97).

Dans le domaine des IHM, l'évaluation d'un nouvel outil porte sur deux points de vue essentiels : l'utilité et l'utilisabilité [Tricot and Tricot '00].

- L'étude de l'utilité d'une interface finalisée vérifie si l'interface que l'on conçoit permet aux utilisateurs d'atteindre les buts pour lesquels on a conçu l'interface en question.
- L'étude de l'utilisabilité d'une interface finalisée vérifie que les sujets atteignent le but dans de bonnes conditions.

L'outil day@mbiance n'est pas totalement abouti. Plusieurs fonctionnalités n'ont pas été développées. Il serait donc difficile de mener une évaluation pertinente de l'utilisabilité. Notre validation de l'utilisation des modes de navigation (mosaïque, graphe, boussole de navigation et album) s'est focalisée sur l'évaluation de l'utilité. Nous conduirons cette étude à partir des retours des participants issus du questionnaire et de l'observation du déroulement de leur activité.

Dans cette partie, on s'intéresse particulièrement à l'étude de l'utilisation de la mosaïque et du graphe. Nous reviendrons plus tard sur l'utilisation de la boussole et de l'album.

6.2.2.1 Utilisation de la mosaïque

Retours des participants

Les participants ont globalement apprécié la navigation avec la mosaïque. Ils l'ont tous utilisée pour rechercher des images références. La majorité des participants estime que la navigation par la mosaïque permet une recherche rapide et efficace de références (Figure 103). Par contre, nous avons remarqué qu'un temps d'adaptation est nécessaire pour maîtriser le fonctionnement de la mosaïque. Les binômes ont évolué et amélioré leurs approches d'utilisation de la mosaïque au fur et à mesure de sa manipulation.

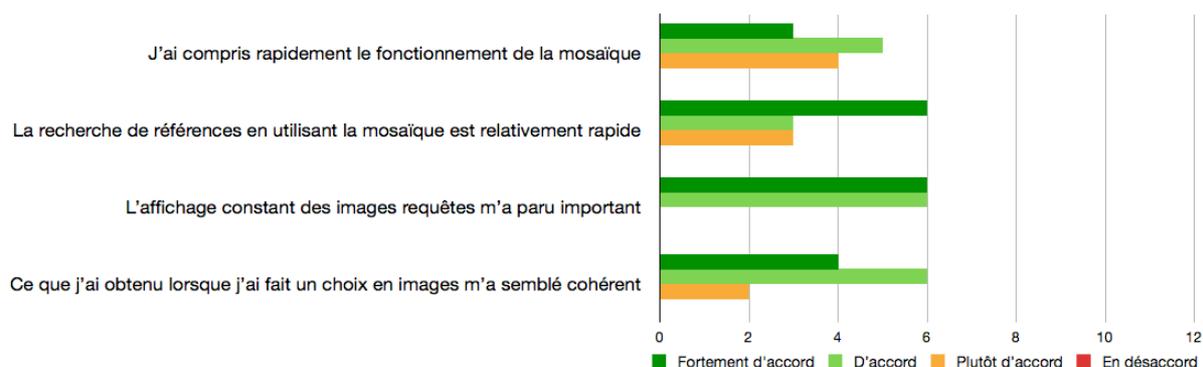


Figure 103. Retours des participants sur la mosaïque (Questions 6, 7, 8 et 9 du questionnaire)

La mosaïque contient deux zones : une zone résultats et une zone requête. Cette configuration est bien appréciée par les utilisateurs (Figure 103). La mémorisation des images dans la zone requête a permis aux binômes de garder la trace des images manipulées pendant leur recherche de références.

Observation de l'activité des groupes

L'observation de l'activité des participants montre que la mosaïque a été utilisée principalement pendant la phase recherche de références. Elle a permis de mener des recherches : *exploratoire, précise et orientée* des images références.

Les binômes effectuent une *recherche exploratoire* lorsqu'ils n'ont pas encore d'idées du projet ou lorsqu'elles sont floues. Ce type de recherche a été aussi menée lorsque les participants souhaitent élargir davantage l'exploration vers d'autres idées alternatives du projet. Différentes formes d'utilisation de la mosaïque ont permis cette recherche exploratoire :

- la demande successive de plusieurs mosaïques aléatoires,
- la formulation d'une requête d'images uniquement positive, principalement lorsque les idées sont floues,
- la demande de plusieurs mosaïques successives à partir du changement de la position de la boussole tout en conservant la même requête d'images.

La *recherche précise* est menée lorsque les participants souhaitent des images références en rapport à une idée claire ou définie. Dans ce cas, une requête positive et négative et une recherche par bouclage de pertinence ont été utilisées.

Les participants ont conduit une *recherche orientée* en utilisant la boussole de navigation pour trouver des images références par rapport à des aspects particuliers des ambiances lumineuses (effet, usage, dispositifs, surfaces, quantité). Ce type de recherche a été par exemple constaté dans l'activité des groupes 5 et 6. À un moment de l'utilisation de la mosaïque, le groupe 5 a exprimé une recherche orientée selon l'effet et le dispositif pour focaliser leur recherche sur ces deux aspects de l'ambiance. De même, le groupe 6 a choisi d'amorcer la recherche d'images références sur des images représentant des espaces d'exposition afin de trouver différentes idées d'ambiances lumineuses dans ces espaces. Pour cela ils ont choisi d'orienter leur recherche d'images références en choisissant « usage » dans la boussole de navigation.

À travers ces différents types de recherches, nous pouvons constater que l'utilisation de la mosaïque offre une flexibilité profitable pour mener des formes de recherche différentes selon l'évolution de l'activité des concepteurs dans la phase d'exploration des images références. Toutefois, à partir de l'observation de l'activité des participants, nous avons identifié une situation particulière de recherche d'images. Elle correspond à la recherche d'une image spécifique rencontrée pendant la manipulation de *day@mbiance* mais qui n'a pas été

sauvegardée. Par exemple, trois groupes ont souhaité retrouver une image déjà visualisée. Le premier groupe a réussi à retrouver l'image recherchée en reproduisant le cheminement de leur navigation. Le deuxième a visualisé des mosaïques aléatoires successives pour la retrouver. Le troisième groupe a tout simplement abandonné la recherche lorsqu'une autre image représentant le même dispositif recherché a été trouvée.

Nous soulignons que la recherche d'une image spécifique est différente d'une recherche précise. Dans le premier cas, c'est l'image qui intéresse les groupes, dans le deuxième cas, c'est plutôt l'idée représentée par l'image qui importe dans l'activité de recherche. Nous suggérons qu'une gestion de l'historique aurait pu aider les concepteurs à retrouver plus facilement une image spécifique.

6.2.2.2 Utilisation du graphe

Retours des participants

Les participants ont globalement apprécié et compris la navigation dans le graphe (Figure 104). L'observation de l'activité a montré que la manipulation du graphe était plus intuitive que la mosaïque. Néanmoins, un seul participant a exprimé que la visualisation par graphe était moins agréable que la mosaïque. Selon lui, la taille des images était trop petite et gênait la lecture.

Aussi, la majorité des participants estime que le graphe a permis d'interpréter le contenu des images références (Figure 104). Toutefois, un seul participant ne comprend pas l'intérêt du graphe et le fait qu'il y ait deux modes de navigation différents (Figure 104). D'ailleurs, son coéquipier et lui (Groupe 6) ont utilisé le graphe comme une alternative à la mosaïque pour chercher des images références. Ils exploraient le graphe en regardant les images affichées une à une sans prêter attention aux possibles similarités entre les images. De plus, ils ne trouvent pas que les navigations par mosaïque et par graphe soient complémentaires, mais au contraire, ces deux modes leur semblent redondants.

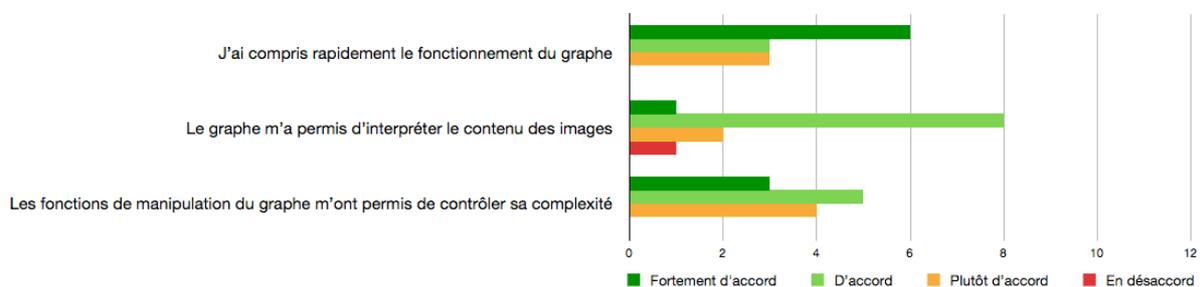


Figure 104. Retours des participants sur le graphe (Questions 10, 11 et 12 du questionnaire)

Les fonctions de manipulation du graphe (variation du seuil et variation du nombre d'images similaires) ont permis aux participants de contrôler la complexité du graphe (Figure 104).

Cependant, nous avons remarqué que la variation du seuil de similarité des images a été utilisée dans le seul souci d'augmenter le nombre d'images. En effet, lorsque les participants augmentent le seuil de similarité, ils se trouvent surpris de voir que le nombre d'images visualisées dans le graphe a diminué. Ceci semble dû au fait que les participants n'ont pas compris le fonctionnement du seuil et l'ont substitué à la variation du nombre d'images. Il serait peut-être pertinent de proposer une variation du nombre d'images similaires à l'utilisation du seuil et de supprimer cette fonctionnalité qui n'est pas bien comprise.

Observation de l'activité des groupes

L'observation de l'activité des concepteurs a confirmé que le graphe favorise l'interprétation des images références pour la formalisation des idées de projet. La visualisation d'un graphe à partir d'une image choisie dans la mosaïque et l'exploration du réseau sémantique créé permet :

- de mieux se prononcer sur l'intérêt de l'image sélectionnée à partir de la mosaïque,
- d'approfondir l'interprétation de l'image référence. Un participant (G3.P1) note que le graphe permet de mieux comprendre ce que représente et implique une image choisie issue de la mosaïque,
- de comparer des images références et d'associer des idées.

Nous constatons aussi que le graphe a été utilisé autant dans la phase d'intégration des connaissances dégagées des images références au projet que dans la phase de recherche de références. Pendant cette dernière phase, le graphe a permis de mener une recherche ciblée à partir d'une image sélectionnée dans la mosaïque. Ceci est dans le but d'explorer la base de référence en poursuivant l'idée suggérée par cette image.

Par ailleurs, nous soulignons que quelques bogues sont survenus lors de l'utilisation du graphe principalement pour l'affichage d'un nouveau graphe à partir d'une image déjà visualisée dans le graphe précédent (par double clic). Ceci a parfois gêné l'activité des participants.

6.2.2.3 Complémentarité entre l'utilisation de la mosaïque et du graphe

Retours des participants

Les retours des participants confirment l'intérêt d'avoir des modes de navigation différents. Ils sont presque unanimes sur cette question (Figure 105). Par contre, ils sont moins d'accords sur la complémentarité entre mosaïque et graphe. En observant l'activité des concepteurs, on remarque que pourtant les participants ont bien profité de cette complémentarité. Leurs réponses à cette question s'expliquent par le fait qu'ils n'ont pas eu suffisamment d'expériences de manipulation pour comprendre le réel intérêt fonctionnel de combiner ces deux modes de navigation.

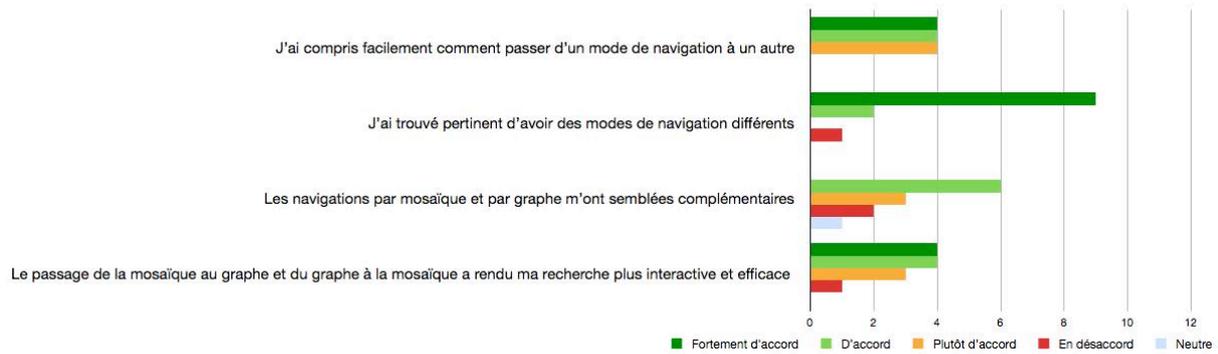


Figure 105. Retours des participants sur la complémentarité entre mosaïque et graphe (Questions 21, 22, 23 et 24 du questionnaire)

Observation de l'activité des groupes

L'observation de l'activité des groupes montre des attitudes différentes dans l'utilisation de la mosaïque et du graphe. Une comparaison entre les processus suivis par l'ensemble des groupes (Figure 102) montre qu'il n'y a pas une démarche dominante. Nous notons tout de même quelques observations que nous tentons d'analyser et d'expliquer à partir d'une étude plus approfondie du comportement des binômes :

- *Tous les groupes de participants ont expérimenté aussi bien le graphe que la mosaïque* : le premier passage de la mosaïque au graphe est motivé pour la plupart par la curiosité de voir ce qu'il propose. Après cette première manipulation, le choix de l'un ou de l'autre des deux modes de navigation s'effectue par rapport à des besoins différents parfois explicitement formulés par les participants. Par exemple, le passage de la mosaïque au graphe a été exprimé comme un besoin de développer une idée ou d'explorer d'autres pistes d'idées à partir d'une image référence sélectionnée.

Nous avons aussi noté que le comportement des binômes face au graphe et à la mosaïque était différent. Par exemple, le temps passé à observer les images dans le graphe est souvent plus long que celui passé avec la mosaïque. Avec le graphe, toutes les images affichées sont observées. Par contre avec la mosaïque, l'attention portée aux images est souvent plus rapide.

- *Une alternance entre l'utilisation de la mosaïque et du graphe* : ce comportement est dû à notre avis à la complémentarité entre la mosaïque et le graphe durant le processus de référencement. La mosaïque a été utilisée principalement pour rechercher des images références. Les activités d'interprétation et d'intégration d'une idée au projet étaient le plus souvent observées pendant l'utilisation du graphe. Nous avons aussi constaté qu'à plusieurs reprises une idée émerge pendant l'utilisation de la mosaïque et cette idée s'approfondit, se spécifie et se développe dans le graphe. Le graphe a permis également d'explorer des idées suggérées par plusieurs images références dans la mosaïque.

Par moments, les discussions entre les participants pendant l'utilisation de la mosaïque ont permis le développement des idées. Cependant, le plus souvent, l'affichage du

graphe à partir d'une image pertinente par rapport à une idée formulée permet aux participants de confirmer leurs interprétations de l'idée représentée.

Trois situations différentes ont motivé le retour à la mosaïque après l'utilisation du graphe :

- pour recommencer une recherche à partir d'une nouvelle idée suggérée dans le graphe,
 - pour commencer une nouvelle recherche après avoir abandonné l'idée précédente,
 - par curiosité, pour explorer de nouvelles idées possibles.
- Tous les groupes ont entamé leurs activités de référencement par la mosaïque et ont terminé cette activité par l'utilisation du graphe (sauf le groupe 6⁵⁷) : ceci confirme à notre avis le rôle joué par chacun de ces modes.

6.2.3 Validation de la boussole de navigation

6.2.3.1 Utilisation de la boussole

Retours des participants

Globalement, les participants ont compris le fonctionnement de la boussole et trouvent que son utilisation est simple aussi bien avec le graphe qu'avec la mosaïque (Figure 106). Pourtant, l'observation de l'activité des participants montre que son fonctionnement semble plus compréhensible à l'échelle du graphe. En effet, les relations entre les images facilitent l'identification des similarités entre elles.

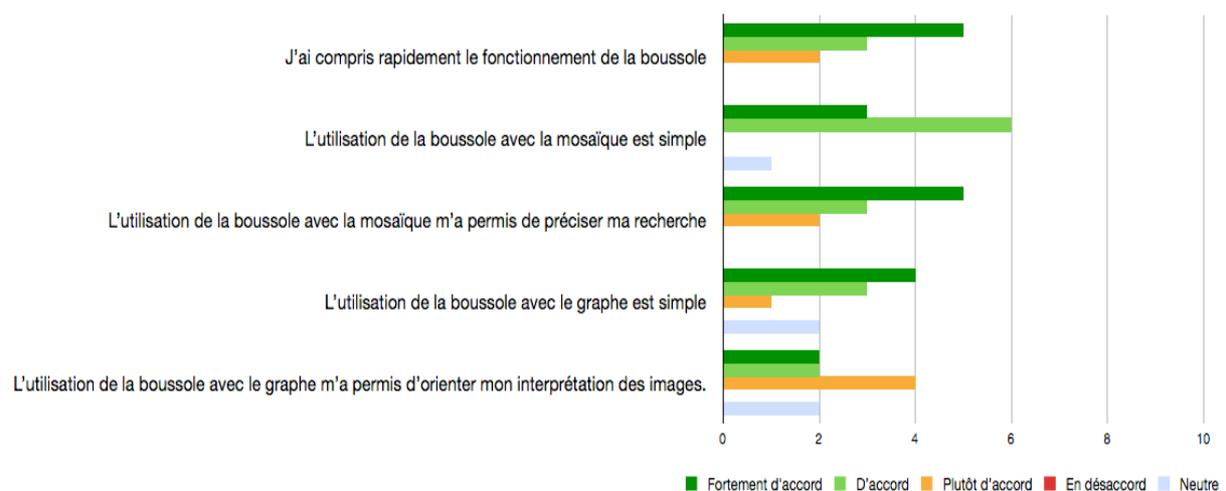


Figure 106. Retours des participants sur la boussole de navigation

⁵⁷ Le groupe 6 a utilisé le graphe comme une alternative à la mosaïque pour rechercher des images références. Ceci peut expliquer la spécificité de la démarche de ce groupe.

Observation de l'activité des groupes

À partir de l'analyse des comportements des différents groupes (Figure 102), nous constatons que les participants n'ont pas utilisé la boussole avec la même fréquence. Les groupes 1 et 5 l'ont utilisée occasionnellement : le premier avec le graphe et le deuxième avec la mosaïque. Les groupes 3, 4 et 6 ont utilisé la boussole plus fréquemment aussi bien avec la mosaïque qu'avec le graphe.

L'utilisation de la boussole avec la mosaïque a permis de :

- orienter la recherche des références à des aspects spécifiques des ambiances lumineuses (cf. paragraphe 6.2.2.1 p.213),
- varier et élargir le champ des résultats : la variation de la position de la boussole en conservant la même requête a rendu possible la visualisation de plusieurs mosaïques différentes. Bien que cette utilisation n'ait pas été prévue, elle s'est avérée utile et a participé fortement dans à l'évolution de la recherche de références.

L'utilisation de la boussole avec le graphe a permis de :

- stimuler l'interprétation des images références.
- orienter le développement des idées du projet : par exemple, l'existence de plusieurs images représentant un même effet de lumière ou un même dispositif a permis aux participants d'associer des idées ou de déduire des « manières de faire » pour atteindre l'ambiance souhaitée. À titre d'exemple, pour le groupe 3, la visualisation du graphe à partir de l'image génératrice de l'idée du projet et le positionnement de la boussole sur « effet » ont permis de déduire que la conception de l'effet souhaité dépend d'un traitement spécifique de la structure intérieure (Figure 107).
- élargir le champ des résultats d'une image : par exemple, le groupe 4 a gardé la même image au centre du graphe et a lancé des graphes successifs en modifiant la position de la boussole. Cette action leur a permis de développer leur idée par une association d'idées.

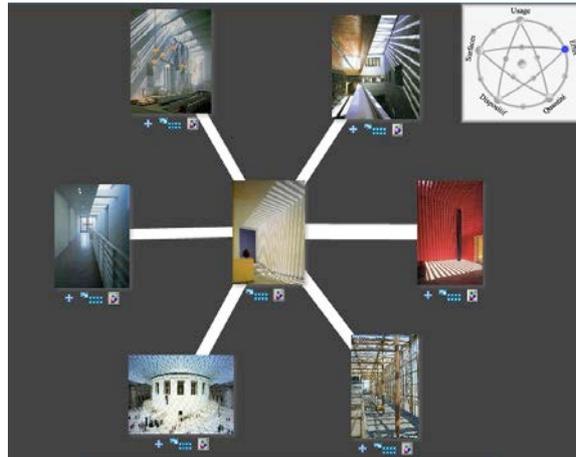


Figure 107. Le graphe visualisé par le groupe 3 et ayant participé au développement de l'idée du projet

Par ailleurs, nous avons noté quelques problèmes dus à une mauvaise utilisation de la boussole et qui ont parfois affecté l'activité interprétative des images. Par exemple, nous avons observé que lors de l'affichage d'un nouveau graphe, les participants ne considèrent pas la position précédente de la boussole et « oublient » de la positionner selon leur nouveau besoin. Ceci affecte la pertinence des résultats et les rend parfois incompréhensibles.

Ainsi, la boussole a contribué à la réflexion sur les ambiances lumineuses représentées par les images. La boussole n'a pas toujours été manipulée comme prévu particulièrement avec la mosaïque, mais elle a tout de même fortement contribué à faire évoluer les participants dans leurs démarches de recherche de références. Nous notons toutefois que la boussole de navigation est difficile à s'approprier lors de sa première manipulation : des explications introductives pour comprendre son fonctionnement sont nécessaires.

6.2.3.2 Validation des catégories de la boussole

Les participants qui ont expérimenté la boussole de navigation estiment globalement que les catégories proposées (à savoir : effet, dispositif, usage, quantité et surfaces) sont pertinentes (Figure 108). Ils ont précisé qu'une meilleure compréhension de la boussole nécessite une explication qui définit clairement la signification de ces catégories. Deux participants ont même suggéré la mise en place de bulles explicatives au survol de chaque catégorie.

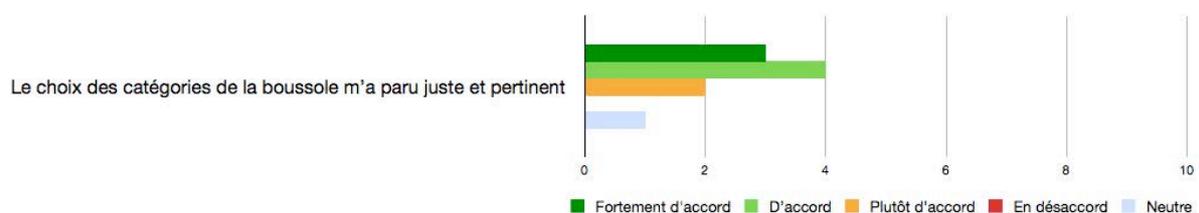


Figure 108. Retours des participants sur la pertinence des catégories de la boussole

Toutes les catégories n'ont pas été utilisées avec la même fréquence. La quantification en pourcentage⁵⁸ de cette fréquence montre que les catégories relatives à « effet », « usage » et « dispositifs » sont les plus utilisées. Ceci s'accorde avec les préoccupations dominantes des architectes aux phases amont de la conception du projet (Cf. Chapitre 1 paragraphe 1.5.1).

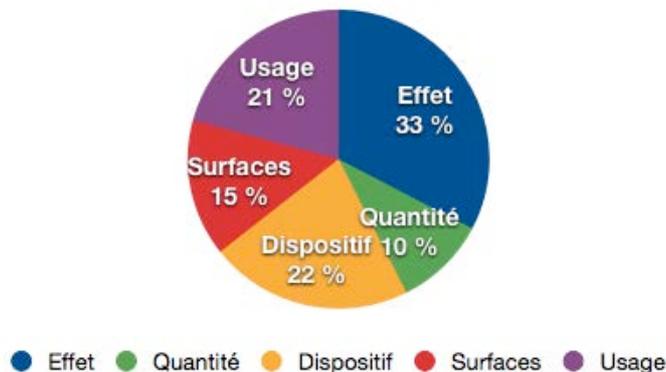


Figure 109. Pourcentage d'utilisation de chaque catégorie de la boussole

6.2.4 Validation de l'album

Les participants sont unanimes sur l'importance de sauvegarder des images références durant la manipulation de day@mbiance (Figure 110). Toutefois, la zone *album* telle qu'elle a été développée dans le prototype, qui a servi pour l'expérimentation, a joué le rôle d'un espace de transition pour sauvegarder les images et les exporter en dehors de day@mbiance. Les participants ont en revanche utilisé la zone de requête de la mosaïque pour garder la trace des images qui paraissent pertinentes durant la navigation. Ainsi, la présence de la zone de requête a remplacé le rôle initialement prévu pour l'album. En effet, le fait de ne pas pouvoir supprimer les images une fois déposées dans l'album et de ne pas pouvoir les réutiliser pour une navigation avec le graphe ou avec la mosaïque a parfois dissuadé les utilisateurs de sauvegarder des images. Par exemple, le groupe 5 a souhaité amorcer un nouveau graphe à partir d'une image référence sauvegardée dans l'album. Cependant, l'absence d'interaction entre l'album et le graphe a obligé les participants à recommencer une recherche pour retrouver cette image.



Figure 110. Retours des participants sur le rôle de l'album dans la manipulation de day@mbiance

⁵⁸ Lorsque les participants positionnent le curseur sur un sommet, nous attribuons la valeur 1 à la catégorie correspondante et lorsque les participants positionnent le curseur sur un arc, nous attribuons la valeur 0,5 à chacune des catégories désignées. Le pourcentage est calculé à partir de la somme des valeurs attribuées pour chaque catégorie.

6.2.5 Appréciation générale de day@mbiance

Jusqu'à présent, nous avons concentré notre analyse sur l'utilisation de chacun des modes de navigation proposés dans day@mbiance. Ce paragraphe aborde l'appréciation de l'application day@mbiance dans son ensemble par les participants. La Figure 111 présente la synthèse des réponses formulées. Les résultats sont globalement positifs. La majorité apprécie l'utilisation de day@mbiance et trouve qu'elle est intuitive et simple. Ils sont prêts à l'utiliser dans le cadre de leurs conceptions futures.

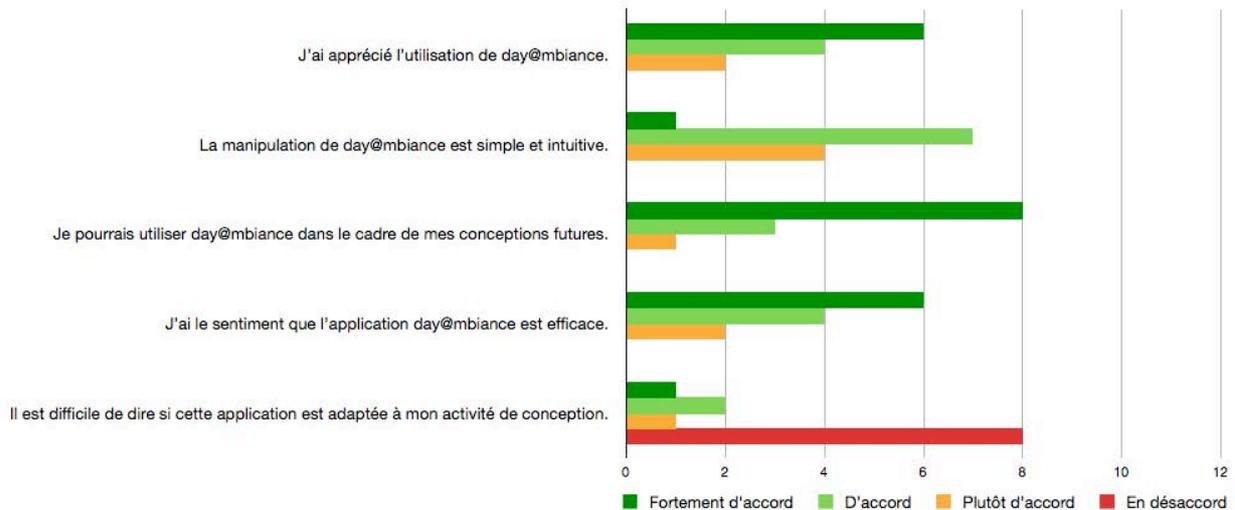


Figure 111. Appréciation générale de l'outil day@mbiance et de son utilité

Cependant, les dysfonctionnements et les bogues survenant lors des expérimentations ont parfois perturbé l'activité des participants, mais n'ont pas été bloquants. Il importe malgré tout de rappeler que l'outil est encore au stade de prototype. Nous soulignons également que les participants ont estimé qu'une première manipulation exploratoire ainsi qu'un temps d'assimilation sont nécessaires avant l'utilisation de day@mbiance lors de la conception d'un projet.

6.3 Bilan et limites de l'expérimentation

Nous rappelons que cette phase d'expérimentation a eu pour objectif de confronter l'outil que nous proposons à des acteurs du domaine. Elle a été menée avec des étudiants (architectes et architectes d'intérieurs) au cours de leur formation en master. Il leur a été demandé de concevoir un espace d'information et de tourisme avec une surface de 35 m² environ (cf. paragraphe 6.1.2).

Cette phase d'expérimentation nous a permis de valider l'intérêt d'un outil d'assistance à la prise en compte de la lumière naturelle durant les phases initiales du processus de conception. Cette validation concerne les points suivants :

- L'utilisation de day@mbiance permet aux concepteurs de formaliser leurs intentions du projet architectural à partir d'un travail spécifique sur la lumière naturelle. Cet outil a, en particulier, fortement contribué à l'émergence et au développement d'idées pour la formulation des intentions d'ambiances lumineuses. La satisfaction des participants par rapport aux projets développés confirme le potentiel de cet outil en termes d'assistance à la conception des ambiances lumineuses dans les phases initiales de conception.
- La présence d'une base d'images références représentant des espaces intérieurs en éclairage naturel a été utilisée comme une source d'idées et d'inspiration. Toutefois, les concepteurs regrettent le manque d'images références représentant des aspects extérieurs de projets architecturaux tel que la volumétrie. Ceci dénote sans doute le besoin constant chez les architectes de mettre en relation le « local » et le « global ».
- Les modes de navigation développés ont permis de stimuler la réflexion et l'activité cognitive des concepteurs durant le processus de référencement à partir d'une exploration rapide et originale des images références. Principalement la mosaïque et le graphe associés à la boussole de navigation ont supporté l'activité de référencement dans les deux premières phases : recherche d'images références et intégration des connaissances dégagées des images références dans le projet. La troisième phase qui correspond à la formulation des intentions a été principalement supportée par l'outil de dessin.
- Les fonctionnements de la mosaïque et du graphe sont complémentaires et supportent chacune des activités du processus de référencement. La mosaïque assure la recherche d'images références à travers des formes différentes et rapides. Quant au graphe, il permet des activités de recherches plus avancées et favorise l'interprétation des images références pour une adaptation et un transfert de connaissances vers la conception du projet.
- Même si que le graphe offre les moyens au concepteur d'interpréter les images et de stimuler son activité cognitive, son utilisation pour l'interprétation des références, selon les utilisateurs, n'est pas suffisamment incitative. Il serait donc intéressant d'enrichir les informations sur la similarité des images dans le graphe en affichant par exemple l'indexation commune aux deux images. Ceci permettra probablement d'enrichir le vocabulaire de la caractérisation des ambiances lumineuses et surtout d'aider les concepteurs à mieux comprendre les relations de similarité entre les images références.

Durant cette expérimentation, nous avons observé, des attitudes et des démarches différentes dans l'utilisation de l'outil day@mbiance. Les profils très variés des participants ont largement influencé le déroulement de leurs activités. Nous soulignons que la démarche d'utilisation de day@mbiance des groupes 3, 4 et 5 correspond le mieux à nos attentes par rapport à la finalité de notre proposition. L'évolution de l'outil et de la méthode en incitant tous les groupes à conduire une démarche pertinente, approfondie et aboutie semble possible.

Par ailleurs, il est important de rappeler que l'efficacité d'une phase de validation dans un cadre expérimental est difficile à mesurer de façon absolue. Nous formulons ici les principales limites de cette phase d'expérimentation :

- Tout d'abord, les participants utilisaient pour la première fois l'outil day@mbiance. Ceci a entraîné un manque de maîtrise de l'outil qui parfois était bloquant. Par conséquent, les participants n'ont pas pu apprécier tous les apports potentiels de l'outil.
- Ensuite, la mise en situation de l'activité de conception en phase expérimentale est contraignante par rapport à une situation réelle où la formulation des intentions peut durer quelques jours.
- En outre, le prototype de day@mbiance utilisé pour mener cette phase expérimentale ne propose pas toutes les fonctionnalités définies pour l'outil final. La validation du prototype n'a été donc que partielle.
- Enfin, la phase d'expérimentation a permis d'observer le déroulement de l'activité de six groupes de deux participants. Ce nombre peut s'avérer insuffisant pour tirer des conclusions définitives.

CONCLUSION GENERALE

Ce travail de thèse a été effectué au sein du laboratoire CRAI Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie à Nancy. Les travaux de recherche présentés traitent la problématique de l'assistance à la conception des ambiances lumineuses aux phases initiales de la conception architecturale. L'objectif est le développement d'une méthode aidant les concepteurs durant la phase esquisse à intégrer la lumière naturelle dans la conception de projet notamment, lors de la formulation des intentions à partir desquelles découlera l'ensemble de la démarche projectuelle.

Nous avons en premier lieu détaillé les préoccupations des concepteurs dans une démarche de conception intégrant la lumière naturelle comme paramètre clé du développement du projet et montré en quoi l'activité de formulation des intentions est cruciale dans une telle démarche. L'examen critique des outils existants dédiés à l'assistance à la conception des ambiances lumineuses a mis en évidence qu'ils ne permettent pas de supporter l'activité de formulation des intentions. Nous pouvons citer les causes suivantes :

- Utilisation de concepts abstraits éloignés des catégories habituellement utilisées par les concepteurs ou utilisation de notions et de valeurs trop précises difficilement exploitables durant les premières phases de conception.
- Organisation de connaissances mieux adaptées à une situation de veille conceptuelle associée à une activité de réflexion sur les ambiances lumineuses plutôt qu'à une situation de conception associée à une activité de formulation des intentions.
- Dispersion des connaissances sur la lumière au sein des informations sur le projet architectural dans son ensemble.
- Assistance à la conception des ambiances lumineuses nettement orientée vers le développement de la solution.
- Utilisation contraignante de certains outils.

Pour pallier à toutes ces critiques, nous avons étudié les caractéristiques particulières de la formulation des intentions lors de la phase esquisse. Cette étude a mis en évidence que le déroulement de cette activité implique le recours à des références permettant de constituer un espace d'idées, de problèmes et de solutions possibles. Notre analyse du rôle des références dans les phases amont de la conception nous a permis de mettre en avant l'intérêt de penser le

projet à partir des références provenant particulièrement du domaine de l'architecture. En effet, ces références contribuent à étendre l'exploration de solutions possibles, à affiner les problèmes de conception et à formaliser rapidement des idées pertinentes. C'est pourquoi, la représentation par l'image est fortement présente dans l'évocation de ce type de références. Notre étude des images comme références a permis de montrer qu'elles contribuent à la qualité et la quantité des idées générées, notamment dans un mode de pensée visuelle et par un raisonnement analogique.

À partir de tous ces éléments, nous avons développé une approche originale de l'assistance à l'activité de formulation des intentions d'ambiances lumineuses par les images références.

Nous avons construit un corpus d'images références permettant de prendre en compte les aspects relatifs à la lumière naturelle dans les projets. Ces images références correspondent chacune à une image photographique représentant une ambiance lumineuse et contextualisée dans un projet architectural. Malgré certaines limites des images photographiques dans l'étude des ambiances lumineuses, l'analyse des différentes sortes d'images a mis en évidence la puissance des images photographiques dans l'évocation des ambiances lumineuses d'un espace construit. La sélection des images photographiques constituant notre corpus est issue d'une réflexion sur la définition d'une ambiance lumineuse représentée. À partir de cette définition, nous avons établi des critères permettant d'identifier les images pertinentes.

L'organisation du corpus d'images photographiques implique un travail d'indexation de ces images. Cette activité permet de structurer les références et de les rendre accessibles par une exploration non séquentielle. Nous avons mis en évidence que l'indexation sémantique est mieux adaptée à notre démarche. Nous avons alors constitué, à partir du vocabulaire de caractérisation des ambiances, un thésaurus dédié aux ambiances lumineuses utilisé pour l'indexation des images.

Une analyse du processus de référencement, notamment dans un mode de raisonnement analogique, nous a conduit à définir les besoins des concepteurs relatifs à chaque phase de ce processus (recherche d'images références, intégration des connaissances dégagées des images références au projet, formulation des intentions de conception). Sur la base de cette étude, nous avons établi les exigences d'un outil d'aide à l'activité de référencement pour la formulation des intentions d'ambiances lumineuses dans la conception de projet.

La prise en compte de ces exigences a conduit au développement de l'outil day@mbiance qui propose une méthode de manipulation et d'exploration des images références basée sur des modes de recherche et de navigation par l'image issus du domaine de la recherche d'information. Les modes développés sont différents et complémentaires. Cette complémentarité est nécessaire pour supporter les différentes phases et activités cognitives mises en œuvre dans un travail de référencement.

Dans ce sens, l'outil day@mbiance permet de supporter une recherche rapide et aisée des images références en poursuivant des objectifs de recherche différents. Cette recherche est

assurée à travers un mode de navigation par mosaïque. Day@mbiance offre aussi les moyens aux concepteurs d'interpréter les images références et de construire des connaissances utiles à la formalisation des intentions de projet à travers une méthode de visualisation et de navigation par graphe. L'existence de relations sémantiques entre les images permet, dans ce dernier mode de navigation, le développement d'un réseau entre les images favorisant l'interprétation des ambiances représentées et l'association d'idées. Dans le but d'améliorer davantage l'efficacité de la recherche et de l'interprétation des images, nous avons proposé un nouvel outil, la boussole de navigation. Cet outil permet de prendre en compte les perceptions multiples d'une même image selon un contexte particulier de projet ou selon des préoccupations locales sur la question des ambiances lumineuses par rapport à un aspect spécifique (effet, dispositif, usage, quantité, surfaces). Aussi, la boussole rend l'exploration des images références plus interactive et dynamique.

En complément de ces modes de navigation, nous avons mis en évidence l'intérêt d'intégrer un espace de dessin à notre outil d'aide à l'activité de formulation des intentions. Cette proposition permet d'assurer la continuité de l'activité des concepteurs dans le développement des idées de conception.

Dans un souci d'être au plus proche des utilisateurs potentiels, nous avons procédé à une étape d'expérimentation à partir d'une première version du prototype day@mbiance. Cette expérimentation a permis de valider notre hypothèse de recherche à savoir qu'il est pertinent de mettre à disposition du concepteur un outil jouant le rôle d'une source d'idées et d'inspiration lui permettant d'intégrer la lumière naturelle dans la formulation des intentions et ce, dès les premières phases de conception.

Les observations des comportements des concepteurs dans l'utilisation de day@mbiance ainsi que les questionnaires soumis aux participants ont conduit aux conclusions suivantes :

- il a été prouvé que l'utilisation de day@mbiance accélère sensiblement la génération et le développement d'idées jugées satisfaisantes par les utilisateurs,
- notre outil s'est révélé adapté à l'activité de l'architecte durant l'activité de référencement,
- l'existence de plusieurs modes de navigation a permis de répondre aux exigences des différentes phases du processus de référencement,
- il a été montré que les modes de navigation utilisées dans day@mbiance sont complémentaires et que cette complémentarité est utile aux différentes activités cognitives.

Cependant, nous ne pouvons négliger les limites de notre proposition qui ont été révélées durant cette phase de validation ainsi que les propositions d'amélioration suggérées par les participants. Cet aspect a été largement commenté au chapitre 6. Nous ne reprenons ici que les points fondamentaux à prendre en considération :

- La première utilisation de day@mbiance n'est pas très intuitive. Il est préférable d'avoir un temps d'appréhension de l'outil plus important.
- L'utilisation du graphe ne s'est pas avérée suffisamment incitative pour l'interprétation des images.
- L'existence d'images représentant uniquement des espaces intérieurs a été observée comme insuffisante pour prendre en compte les différents aspects de conception lors d'un projet.

Intérêt des travaux

Nous apportons une nouvelle méthode d'assistance à l'activité de référencement dans la tâche particulière de conception des ambiances lumineuses. Cette méthode offre, en phase esquisse, les moyens au concepteur de formuler ses intentions pour une meilleure intégration de la lumière naturelle dans le développement du projet. Cette méthode s'appuie sur une exploitation d'une base de références assurant une inspiration soutenue pour favoriser la génération et la formalisation des idées de conception. Ainsi, cette méthode propose une démarche efficace d'exploration et de manipulation permettant de stimuler les activités cognitives des concepteurs et d'assurer le bon déroulement de l'activité de référencement. L'originalité de la méthode proposée repose particulièrement sur l'utilisation de l'image à la fois comme une source de connaissance et comme moyen de recherche et d'interprétation favorisant ainsi un mode de pensée visuelle largement productif chez les architectes.

Perspectives

En prolongement de cette thèse et au-delà des améliorations possibles suite aux commentaires des participants à la phase d'expérimentation, des perspectives existent.

Dans ce travail de recherche, l'enrichissement et la mise à jour de la base d'images références n'ont pas été abordés. Il serait donc important de réfléchir à la manière de réaliser ces deux points dans une version de l'outil plus élaborée. Également, il serait intéressant de permettre aux architectes d'intégrer leurs propres images références. La question reste alors de déterminer s'il est possible de maintenir une base de références partagée entre plusieurs architectes.

À long terme, il paraît profitable d'envisager un apprentissage de l'outil à partir du comportement des utilisateurs lors de la manipulation de l'outil. Ceci permettra probablement d'améliorer la pertinence des résultats.

En perspective proche de ce travail de thèse, nous pouvons citer la mise en liaison de notre approche avec un outil d'aide à la conception d'ambiances lumineuses à partir d'intentions explicitement formulées par les concepteurs. Cette problématique de recherche est celle

initiée dans le travail de thèse du doctorant Anis Gallas au CRAI [Gallas *et al.* '11] dont nous suivrons l'évolution avec grand intérêt.

Dans une perspective plus large qui peut venir ouvrir le champ de la recherche proposée, il serait possible d'envisager une assistance à une activité de référencement englobant des aspects différents de la conception de projet en plus des ambiances lumineuses. Dans ce sens, nous pouvons imaginer l'application de nouveaux corpus d'images références supportant différentes préoccupations des architectes (architecture performante en énergie, dispositifs formels du projet, structure...). Ainsi, le thésaurus servant à l'indexation des images devrait pouvoir englober un vocabulaire plus large permettant l'indexation de plusieurs aspects différents. La boussole de navigation pourrait alors orienter la recherche et l'interprétation des images selon les différentes préoccupations des concepteurs et favoriser ainsi une approche plus globale. Dans cette perspective, nous proposons de centraliser l'activité de recherche de références dans les premières phases de conception à travers l'utilisation d'un même outil que l'on pourrait faire dériver de day@mbiance.

ANNEXES

- Annexe 1** *Le thesaurus Urbamet*
- Annexe 2** *Ouvrages étudiés dans l'identification du vocabulaire de caractérisation des ambiances*
- Annexe 3** *La lumière dans la peinture*
- Annexe 4** *Les 16 images utilisées lors des entretiens avec les architectes*
- Annexe 5** *Retranscription des entretiens avec les architectes*
- Annexe 6** *Liste exhaustive des termes utilisés pendant les entretiens*
- Annexe 7** *Exemple des données « EXIF » d'une image exportée à partir de l'outil « iMage »*
- Annexe 8** *Sujet de conception – Validation du prototype Day@mbiance*
- Annexe 9** *Questionnaire - Validation du prototype Day@mbiance*
- Annexe 10** *Articles publiés dans des conférences internationales avec comité de lecture et publication des actes*

ANNEXE 1. Le thesaurus *Urbamet*

Ce thesaurus a été créé en 1999, il a été piloté par le Centre de Documentation de l'Urbanisme, la Direction générale de l'urbanisme, de l'habitat et de la construction, du Ministère de l'Équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer, avec l'appui de la commission Thésaurus de l'association URBAMET. Il est accessible en ligne depuis 2002, en français, en anglais et en espagnol :

<http://portail.documentation.developpement-durable.gouv.fr/notx/Urbanisme/thesaurus/navigation.xhtml>

Ce thesaurus présente 4250 descripteurs répartis en 24 thèmes qui couvrent les champs thématiques de l'urbanisme, l'habitat, la construction, l'architecture et les équipements (Figure 112). Chaque descripteur n'appartient qu'à un seul thème sémantique et son acception découle de la place qui lui a été assignée dans cette organisation.



Figure 112. Une vue partielle du thesaurus Urbamet

ANNEXE 2. Ouvrages étudiés dans l'identification du vocabulaire de caractérisation des ambiances

- Alazard J., Hebert J. p., (1961), De la fenêtre au pan de verre dans l'oeuvre de Le Corbusier, Actualité du verre, P.V.P., Paris.
- Baltanas J., (2005), Le Corbusier, parcours, Parenthèses, Marseille, 189 pp.
- Barreneche R.A., (2005), Nouveaux Musées, Phaidon, Paris, 207 pp.
- Becchi E., Bresciani E., Chauvel P., Coch H., De Pascali P., (1993), DAYLIGHTING IN ARCHITECTURE A European Reference book James and James, Luxembourg, Brussels, 380 pp pp.
- Bernstein D., Champetier J.-P., Hamayon L., Mudri L., Traisnel J.-P., Vidal t., (2007), Traité de construction durable, Le Moniteur, Paris, 814 pp.
- Bertrand P., (1995), Tadao Ando et la maison Koshino, Mardaga 133 pp.
- Boissière O., (1996), Jean Nouvel, Edition Pierre Terrail, Paris, 208 pp.
- Brawne M., (1992), "Kimbell Art Museum, Louis I Kahn", ARCHITECTURE IN DETAIL, Phaidon Press, London.
- Ching F. D. K., (1996), Architecture: form, space, order, Van Nostrand Reinhold, New York, 400 pp.
- Ching F. D. K., (1997), A visual dictionary of Architecture, John Wiley et Sons, United State of America, 319 pp.
- Ciriani H., (1991), "Lumière de l'espace", Architecture d'Aujourd'hui, N°. 274, Avril, pp. 75-152.
- CSTB, (2005), Confort visuel, Référentiel technique de certification.
- Doutriaux E., (1991), "Lumières de l'époque", Architecture d'Aujourd'hui, Vol. 276, No., pp. 57-137.
- Gauzin-Müller D., (2001), L'architecture écologique, Le Moniteur, Paris, 287 pp.
- Holl S., (2006), Steven Holl : Luminosity / Porosity, TOTO, Tokyo, 247 pp.
- Houzelle B., (2006), "Prendre en compte l'environnement", L'empreinte, N°69. Avril-Mai-Juin, pp. 32-35.
- IEA I. E. A., (2000), Daylight in Buildings : A Source Book on Daylighting Systems and Components, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkley.
- Jadidio P., (2004), Ando complete work, Tashen GmbH, Cologne, 492 pp.

- Jungmann J.-P., (1995), OMBRE ET LUMIÈRE, un manuel de tracé et de rendu qui considère l'architecture comme une machine optique, *Savoir-faire de l'architecture*, Les Editions de La Vilette, Paris, 151 pp.
- Kahn L., (1996), *Silence et lumière*, Editions du Linteau, Bangladesh, 300 pp.
- Kahn L. I., (1975), *Light is the theme : Louis I. Kahn and the Kimbell Art Museum*, Kimbell Art Fondation, Texas, 79 pp.
- Kahn L. I., (1993), *Light and space*, David Bean (translator), Birkhäuser, Boston, 193 pp.
- Koessler D., (2006), "Lumière et architecture", *PERSPECTIVES : Bulletin de l'actualité architecturale, paysagère et urbaine de Moselle*, N°. 39, Décembre, pp. 4-7.
- Liébard A., De Herde A., (2005), *TRAITÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME BIOCLIMATIQUE concevoir, édifier et aménager avec le développement durable*, Observ'ER, Le Moniteur, Paris, 736 pp.
- Mende K., (LPA) L. P. A., (2000), *Designing with light and shadow*, Images Publishing, Australia, 184 pp.
- Meyers V., (2006), *Designing with light*, Laurence King Publishing Ltd, London, 144 pp.
- Michel L., (1996), *Light : The Shape of space, designing with space and light*, VAN NOSTRAND REINHOLD COMPANY, New-York, 277 pp.
- Millet M., (1996), *Light revealing architecture*, John Wiley et Sons, Canada, 183 pp.
- Narboni R., (2006), *Lumière et ambiances : concevoir des éclairages pour l'architecture et la ville*, Le Moniteur, Paris, 244 pp.
- Paulin M., (2001), *Vocabulaire illustré de la construction, Guides techniques*, Le Moniteur, Paris, 260 pp.
- Pauly D., (1980), *Ronchamp, lecture d'une architecture*, Ophrys, Paris, 220 pp.
- Pauly D., (1997), *Le Corbusier : la chapelle de Ronchamp*, Birkhäuser, Bâle, 137 pp.
- Pauly D., (2002), *Barragan : l'espace et l'ombre, le mur et la couleur*, Birkhäuser, Bâle, 231 pp.
- Pizza A., (1999), *Alberto Campo Baeza*, Editorial Gustavo Gili, Barcelone, 173 pp.
- Plummer H., (1987), *Poetics of light*, A+U Publishing Co, Tokyo, 196 pp.
- Reiter S., De Herde A., (2003), *L'éclairage naturel des bâtiments*, Presses universitaires de Louvain, Louvain-la-Neuve, 265 pp.
- Retbi M., (1989), *Architecture, Ambiances et Energie*, Regirex-France, Paris, 87 pp.
- Richardson P., (2004), *Nouvelles architectures sacrées*, Edition du seuil, Paris, 224 pp.
- Schittich C., (2004), *Intérieurs : espace, lumière, matériaux*, Birkhäuser, en DETAIL, Bâle, 175 pp.
- Smith K., (2000), *Frank Lloyd Wright Maître De L'architecture américaine*, Editions Abbeville, Paris, 144 pp.
- Vergés M., (2007), *Light in Architecture*, Heathe Bagott (translator), Tectum Publishers, Antwerp, Belgum, 507 pp.
- Zumthor P., (2008), *Atmosphères*, Birkhäuser, Berlin, 75 pp.

ANNEXE 3. La lumière dans la peinture

Cette étude est réalisée à partir de [Lacomme '93] et [Paule '02]

La question de la lumière dans la peinture est essentielle dans la mesure où la lumière est un matériau qui sert largement le propos de l'artiste, elle crée l'atmosphère dans laquelle le peintre veut situer son sujet. La lumière peut être utilisée pour rassembler, lier ou aussi distinguer, hiérarchiser, elle peut ainsi avoir des fonctions différentes : lumière qui révèle, lumière qui désigne, lumière qui distingue, lumière qui relie, lumière d'essence divine.

Figurer un instant sur un support en deux dimensions suppose une maîtrise totale de la façon dont la juxtaposition du clair-obscur, des couleurs, des valeurs va créer la lumière et donner du sens à la composition finale. Le choix de la lumière et de l'ombre est aussi le choix de ce qui est donné à voir. Ils sont aussi indispensables pour transcender la surface du tableau et offrir la notion de profondeur et de volume.

La lumière est utilisée comme un moyen pour créer l'atmosphère dans laquelle le peintre voudrait nous conduire. La lumière génératrice d'une atmosphère, d'un climat conditionne notre regard et notre état d'esprit dans la lecture de l'œuvre. C'est là une des capacités fondamentales de l'élément lumineux.

1. Les fonctions de la lumière en peinture

1.1. La lumière est d'essence divine

Dans la plupart des religions, le principe de divinité est associé à une puissance rayonnante, souvent assimilée au soleil (Amon Rê : le Dieu soleil), l'Inca (incarnation du soleil sur la terre), Bouddha (l'illuminé). C'est la lumière qui vient d'en haut, du ciel.

Dans le tableau de la Figure 113, le caractère religieux de la scène est renforcé par la présence d'un rayonnement lumineux, central, diffus et de forte intensité. Ce rayonnement constitue le fond du tableau. Cette lumière venant du fond est la lumière principale du tableau. Elle suggère l'au-delà, l'immanence divine. Sa centralité et son caractère immatériel renforcent cette impression.

Des sources secondaires situées à l'avant du tableau, viennent mettre en valeur les deux personnages. L'ange est éclairé par derrière, comme «poussé», «envoyé» par la lumière, tandis que la Vierge bénéficie d'un éclairage de face, qui la «désigne» comme l'élue.



Figure 113. *La lumière est d'essence divine*

Andrea del Sarto, L'annonciation, 1528, Galeria Palatina Firenze

1.2. La lumière est une force d'attraction

Notre regard est immanquablement attiré vers les points présentant les plus fortes luminances. Le peintre se sert de cette particularité pour guider l'oeil du spectateur vers les points clés du tableau, vers l'objet du désir, par le traitement de la lumière. La lumière devient alors le principal sujet pictural : le principe plastique de la construction de l'image. On pourrait dire que les figures remplissant l'espace deviennent le décor d'un "évènement" plus central : l'effet de lumière. La lumière qui baigne ainsi les œuvres va révéler certaines parties de la composition et en laisser d'autres dans l'ombre selon une approche plus subjective du tableau.



Figure 114. La lumière est une force d'attraction

**A gauche : George de la Tour: Madeleine la nuit, 1630-35, Musée du Louvre, Paris.
Au centre : Georges de La Tour : Le Nouveau-né, 1645, Musée des Beaux-Arts, Rennes
A droite : Magritte: Le Salon de Dieu, 1954, Musée Royal des Beaux Arts, Bruxelles..**

Dans les tableaux de la Figure 114, le regard du spectateur est attiré vers les parties éclairées du tableau.

Dans le tableau au centre de la Figure 114, le regard de Madeleine est attiré vers la source de lumière. Mais aussi le regard du spectateur est attiré vers cette même source. Puis, l'oeil effectue un va-et-vient entre la flamme et les autres zones éclairées du tableau : le visage, le bras gauche, le corsage, le crâne, le genou. La source, ici ponctuelle, détermine le centre de gravité du tableau. Elle structure totalement l'espace lui-même. La flamme «est» le centre d'intérêt, le point de fuite du tableau.

1.3. La lumière révèle la matière

Les matières, par leur texture, leur couleur, leur brillance, leur disposition, recèlent un potentiel plastique qui ne prend de sens que lorsqu'il est «révélé» par la lumière.

Dans la figure suivante Figure 115, le personnage est traité de façon hyper-réaliste, à la manière d'un cliché d'identité. La sobriété du costume, ainsi que la solennité de la pose sont compensés par le soin porté au rendu de l'étoffe. La délicatesse du motif ainsi que la brillance du tissu montrent sans aucun doute qu'il s'agit de soie. La présence d'une seule source de lumière située à la droite du personnage, sans doute une fenêtre (lumière du jour, froide), permet de mettre en valeur la texture satinée de l'habit.



Figure 115. La lumière révèle la matière

Giovanni Bellini: Portrait du Doge Leonardo Loredan, 1501, National Gallery, London.

1. 4. La lumière qui distingue

La lumière est un outil qui permet de séparer, de distinguer, de désigner, de hiérarchiser. A l'aide de la lumière, le peintre peut effectuer un premier tri de l'information à transmettre au spectateur.

Dans les figures suivantes l'emploi de la lumière permet, de mettre l'accent sur les personnages majeurs de la scène.



Figure 116. La lumière qui distingue

A Gauche : **Le Caravage : Nativité avec saint François et saint Laurent, 1603.**
A droite : **Giovanni Bellini: Présentation au Temple, 1460-64, Galleria Querini Stampalia, Venezia.**

1.5. La lumière qui relie

Lorsqu'elle est diffuse, c'est-à-dire sans direction précise, la lumière donne à voir sans distinction. Les objets et les êtres sont traités de manière équivalente, rassemblés. Se sont les couleurs qui permettent d'apporter des variations de luminosité.

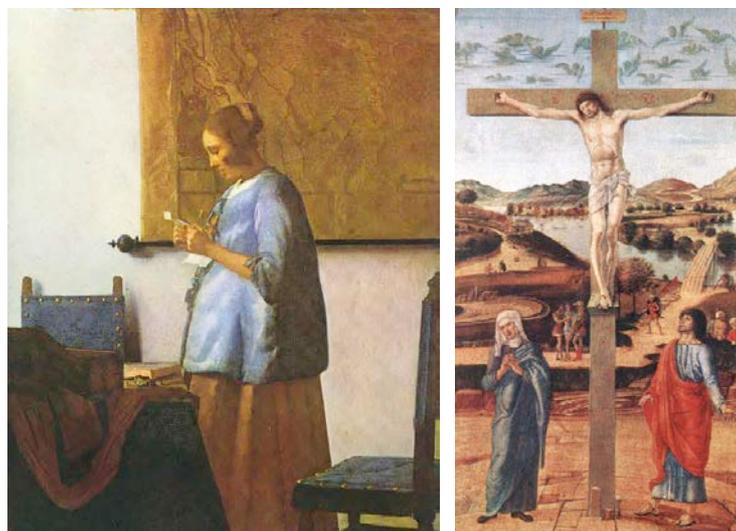


Figure 117. La lumière qui relie

A gauche : **Johannes : jeune femme lisant une lettre, 1662-1663, Rijksmuseum, Amsterdam**
A droite : **Giovanni Bellini: Crucifix, Museo Correr, Venezia.**

Dans le tableau de droite dans la Figure 117, le Christ, Marie et Jean sont rassemblés sous la lumière du ciel. Malgré son caractère dramatique, la scène est traitée de manière informative. Le paysage, qui baigne dans la même clarté, est composé d'une multitude de détails ayant chacun son importance. Le traitement «à plat» de la lumière permet ainsi de raconter une histoire.

2. Construire la lumière en peinture

À travers les exemples précédents, nous pouvons dire que la lumière influence la lecture d'une scène. Les peintres se servent de la lumière comme moyen pour créer l'espace et l'atmosphère du tableau. La lumière en peinture peut être construite par différentes méthodes : le clair-obscur, la couleur et la valeur.

2.1. La lumière par le clair obscur

« Il n'est rien de clair qui ne comporte une part obscure. Ce serait peu : il n'est rien de clair qui ne soit tel en fonction de la part obscure qu'il contient. Si le rayon de soleil qui pénètre dans une chambre sombre paraît illuminer mille grains de poussière, c'est que pas un de ces grains n'est transparent, c'est que chacun d'eux présente une face noire. » Jean Paulhan

Le clair-obscur est la manifestation de la lumière et de l'ombre qui jouent sur les différentes parties d'une figure ou d'une composition. Le contraste de la lumière et de l'ombre est, dans le clair obscur, le principal moyen employé pour composer le tableau et conduire le regard selon un ordre de lecture voulu par le peintre.

2.2. La lumière par la valeur

Sur la surface plane d'une peinture, d'un dessin, les gradations lumineuses des couleurs ont le pouvoir de créer un effet de profondeur, chaque couleur détient sa propre échelle de valeurs.

Selon l'organisation des valeurs d'un dessin, la même couleur peut sembler plus ou moins lumineuse. Si une couleur paraît plus lumineuse, plus intense c'est qu'elle est en contraste avec son contexte.



Figure 118. La lumière par la valeur

A gauche : **Pablo Picasso (1881 - 1973) - La jeune fille à la mandoline - 1910 – Londres, collection Roland Penrose.**

A droite : **Balthus, dessin au crayon, Galerie Claude Bernard, Paris**

Dans le dessin de Balthus (Figure 118), la tonalité la plus soutenue de tout le dessin est un gris qui reste léger. L'intensité lumineuse de l'œuvre vient de la finesse et de la justesse dans l'engagement des valeurs.

2.3. La lumière par la couleur

Chaque couleur a son propre pouvoir lumineux. Un jaune est plus lumineux qu'un brun... Dans les œuvres les plus intensément colorées, la lumière est créée par la couleur. Une couleur pure a d'autant plus d'intensité, donc de lumière.

Dans la Figure 119, la réduction du tableau à un système de valeurs par une reproduction en noir et blanc permet de dissocier ce qui dépend de l'éclairage et ce qui dépend de la couleur. On voit alors très bien à quel point la luminosité de l'œuvre tient à la vibration chromatique et au rapport entre les couleurs qui sont devenus ici des gris monotones.



Figure 119. La lumière par la couleur (Martial Raysse: Paysage en 15 tons)

Cette œuvre détient son pouvoir lumineux de la seule réalité de la couleur : son écart de valeur est très faible. On peut ainsi déduire que la couleur influence sur la perception de la luminosité d'un tableau. C'est la luminosité des couleurs qui aboutit à une intense vibration lumineuse dans le tableau. Ce pouvoir de la couleur est largement utilisé dans un courant de peinture du XX siècle : le fauvisme.

3. La lumière matière

Nous avons vu que c'est la lumière qui désigne les formes et est produite par la forme. Au delà de ces deux conceptions attachées à une même notion de troisième dimension, d'autres peintre exploitent la lumière comme une matière et qui donne du sens à l'œuvre. L'œuvre constitue ainsi une surface où la lumière va pouvoir jouer. La lumière compose le tableau. Elle est une matière du tableau. Le but n'est plus de créer et de construire la lumière dans le tableau mais de composer avec la lumière et de la faire participer dans la composition du

tableau. La lumière est le sujet même de l'œuvre.

Dans ce sens, le tableau peut être considéré en tant qu'objet, et constitue ainsi un plan d'incidence pour la lumière, il devient une surface où la lumière va pouvoir jouer. Pierre Soulage a exploré la lumière en tant que matière dans ses monochromes noirs (Figure 120).

La lumière révèle ainsi une composition du tableau qui change et qui peut être perçue différemment avec l'angle d'incidence de la lumière sur la toile. Ce type de peinture profite de la faillibilité de l'œil à travers des illusions optiques.

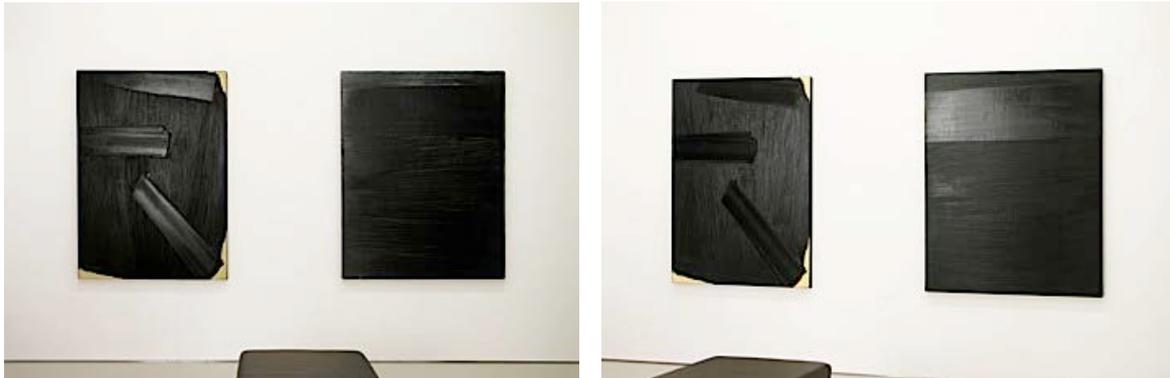


Figure 120. La lumière matière (Pierre Soulage)

ANNEXE 4. Les 16 images utilisées lors des entrevues avec les architectes

Liste des images :

- Image 1 : Ecole primaire Notley Green, Royume-Uni, S.Alford, D.Archer, S.Batty, C.Davies, G.Dawes, J.Hall, P.Monaghan, 1999
- Image 2 : Baix Liobregat county hall, Torreblanca Prk precinct, Espagne, Carlos Ferrater et Xavier Güell, 1994
- Image 3 : La résidence Milledge, Sydney, Jim Milledge, 1995
- Image 4 : Maison Rose, Australie, Engelen et moore 2000
- Image 5 : Pavillon suisse, Paris, Le Corbusier, 19630-1932
- Image 6 : Unité d'habitation, Marseille, France, Le Corbusier, 1957-1960
- Image 7 : Musée de la pierre à Nasu, Kengo Kuma et associés, 2000
- Image 8 : la Maison Cookshon, Rustic Canyon, Californie, Ray Kappe, 1987
- Image 9 : Gymnase, Grenoble, Nicolas Michelin
- Image 10 : Café musique, Savigny-le-temple, France, Périphérique
- Image 11 : Maison Gerhard Schwarz, Vorarlberg, Hermann Kaufmann, 2003
- Image 12 : Koshino House, Ashiya, Hyogo, Tadao Ando, 1981
- Image 13 : The Natural History Museum, Londre
- Image 14 : Galerie et maison d'invité dans le temple, Kyoto, Takashi Yamagushi, 1998
- Image 15 : La Maison Hakuei, Tokyo, Akira Sakamoto, 1997
- Image 16 : le couvent de la Tourette, Eveux-sur-l'arbresle, Le Corbusier, 1957-1960



Image 1



Image 2



Image 3



Image 4



Image 5



Image 6



Image 7



Image 8



Image 9



Image 10



Image 11



Image 12



Image 13



Image 14



Image 15



Image 16

ANNEXE 5. Retranscription des entretiens avec les architectes

Dans cette annexe, nous regroupons l'ensemble des retranscriptions des enregistrements audio des entretiens avec les 9 architectes. Nous avons pris le parti de ne pas réécrire les phrases mais de laisser le texte « brut d'oral ».

Sujet 1 :

Septembre 2006

M.C. Architecte - Nancy

L'architecte commence directement par interpréter les images

Image 1 : éclairage zénithal par type shed et réchauffé par matériau bois qui est sur la surface de la toiture... la lumière artificielle atténuée et tue un peu l'éclairage naturel

Image 2 : éclairage zénithal qui masque la structure on ne sait pas si ça vient d'une voûte vitrée ou c'est un principe de shed superposé ... on voit de l'éclairage zénithal de provenance horizontale...on joue sur le contraste parement bois et murs blancs mais qui est troublé par l'éclairage en façade qui est en partie centrale de la photo.

Image 3 : éclairage naturel diffus vu qu'on a de larges baies vitrées... on ne définit pas la provenance comme on a de larges baies vitrées qui éclairent un espace intérieur...on a des espaces intérieurs cuisine, salon sont baignés par l'éclairage naturel qui fait la nécessité des baies vitrées. *Il revient plus tard à cette image et ajoute* : le bois donne une ambiance plus... lumière chaude entre guillemets parce que entre chaude et froide... mais une lumière qui est teintée par les matériaux le bois et aussi la terre cuite.

Image 4 : on est plus attiré par la vue...un peu plus par le cadrage de paysage que par la lumière naturelle et la baie vitrée... je pense le mobilier crée la différence aussi... comme on est dans un espace très blanc, architecture très blanche l'éclairage naturel n'est pas très marquant dans la mesure où on est plus attiré par le cadrage...

Image 5 : éclairage naturel assez monacal... j'hésite entre une chambre d'étudiant, une cellule de moine, ou une chambre d'hôtel... la chaise et le bureau qui est contre la fenêtre... les persiennes je pense extérieures qui tamisent, en fait qui tamisent pas puisqu'on n'a aucune lumière filtrée par le store... entre la protection solaire et puis la protection visuelle on a juste un bandeau horizontal d'éclairage naturel qui est destiné pour éclairer juste à côté de la fenêtre.

Image 6 : ...espace un peu surexposé... éclairage agressif...deux ouvertures avec de l'éclairage... agressif sûrement par le reflet au sol... les matériaux qui font années soixante dix...des parements de murs qui sont pas terribles...

Image 7 : ...on s'approche du type moucharabieh... lumière tamisée... c'est pas pour la vue les ouvertures qui doit y avoir... de petites ouvertures c'est pour travailler sur une ambiance de lumière tamisée... un peu japonisante... l'éclairage correspond bien à l'ambiance mobilier, parements et

architecture du lieu.

Image 8 : ...beaucoup d'éclairage naturel... le paysage est intéressant... l'éclairage qui est un peu masqué par ce bandeau sur le parcours de l'arc de cercle qui fait un peu ombre sur la tête de lit... la lumière est partout.

Image 9 : éclairage naturel est diffus, assez agréable, assez frais... un gymnase assez agréable... le principe d'arc de cercle dans un gymnase...la lumière naturelle qui arrive de la coupole, arc de cercle... qui est reprise par le sol...

Image 10 : ...travail sur des films sur les vitrages pour avoir des ambiances colorées... ce qu'on fait dans les collèges, les maternelles, les écoles... ce jeu de lumière colorée... pour un peu rompre avec le côté austère de ce type de bâtiments.

A ce stade de l'expérimentation j'ai remarqué que cet architecte n'a pas parlé de la quantité de la lumière et ceci par rapport à toutes les images déjà commentées. Alors je lui ai posé la question : comment pouvez-vous caractériser la quantité de lumière ?

Il répond : ...pour la quantité... pour moi c'est plus la qualité...quantité bonne ou mauvaise... de toute façon ça n'a pas de sens si on ne connaît pas la volonté d'ambiance ou la destination du lieu... *il revient sur les images 9 et 10 :*

L'image 9 c'est une lumière naturelle de qualité pour un gymnase... la quantité ça me semble suffisant.

Sur l'image 10 la quantité à la limite ça n'a pas d'importance... c'est plus la qualité de l'éclairage qui donne la richesse chromatique de l'espace... qui est assez sols brut murs bruts... c'est plus la chaleur apportée par la lumière...

Il ajoute : quantité de lumière suffisante...c'est les utilisateurs qui jugent si la quantité est suffisante ou pas... tout dépend de ce qu'ils veulent, s'ils veulent un espace baigné de lumière, avec des ombres et des lumières avec du clair obscur... la quantité c'est subjectif c'est à l'utilisateur de la définir c'est pas à moi d'en juger... subjectif en fonction de la destination du lieu et des besoins des utilisateurs.

Image 11 : ... assez agréable... le bois qui vient un peu troubler la lumière... la lumière naturelle éclaire le bois au sol au murs au plafond... bois lumineux on va dire...

Image 12 : ...c'est un effet de lumière...jeu de lumière naturelle... définir un lieu...

Image 13 : l'architecture est suffisamment forte pour prendre le pas sur la lumière... l'image qui me vient à l'esprit c'est l'étude de l'église, la cathédrale, la basilique... c'est un éclairage cathédrale à la partie haute , peu d'éclairage naturel au niveau des yeux... éclairage zénithal qui vient du haut... les ouvertures à un niveau trop haut par rapport à l'homme... c'est un lieu public musée, hall de bâtiment public

Image 14 : ...éclairage qui vient d'en haut, qui décolle les parois... imbrication entre l'architecture et la lumière, jeu, une interaction entre les deux... la poutre vient matérialiser...

Image 15 : ...on vient éclairer l'objet à une heure précise de la journée avec un rayon précis, le jeu entre l'objet et le rayon de lumière... c'est plus un rayon de lumière...

Image 16 : ...la circulation de la Tourette...

Sujet 2 :

Septembre 2006

A.C. Architecte - Nancy

L'architecte commence directement par interpréter les images

Image 1 : ...moi ce qui m'intéresse toujours dans la lumière c'est sur quoi elle arrive...la matière... un plafond on pense que c'est du bois qui donne une couleur à la lumière...la lumière c'est important sur quoi elle arrive et qu'est ce qu'elle diffuse tout autour... une sorte de shed, c'est-à-dire lumière latérale qui vient éclairer un plafond incliné... ça donne un sens à l'espace c'est-à-dire qu'il y a un point haut et un point bas et que l'espace n'est pas identique dans les deux sens...

Image 2 : ...aussi le travail de bois... aussi lumière latérale mais avec une répétition de l'effet lumière qui donne un espace beaucoup plus stable c'est à dire qu'on n'a pas orienté l'espace et il est stabilisé entre les arches qui sont présentées... espace moins dynamique... sur quoi elle arrive et sur quoi elle se reflète.

Image 3 : même motif sur la question des matières... toujours sur quelle matière... c'est pas seulement la couleur c'est la rugosité aussi... la rugosité et la forme... des formes rectilignes ce qui fait on a des contrastes lumineux qui sont clairs... la forme courbe permet de travailler beaucoup plus les dégradés...

Image 4 : espace blanc... le blanc c'est le travail de couleurs de gris, de changement des contrastes et des formes... est ce qu'on crée une différence entre lumière et ouverture... ici on a un cadrage sur un paysage. *A ce stade il compare entre image 1 et image 4* : contraste espace fermé et ouverture... La lumière guide vers l'extérieur.

Image 5 : la question du cadrage... on a un bureau donc il y a la fonctionnalité de la lumière... cadrage... une petite pièce... en quoi l'extérieur est le prolongement de l'intérieur... l'occultation et la capacité de varier le niveau de luminosité par un store à lamelles, par des rideaux...on a toujours en constante la question de la matière... les matières on ne voit pas trop ce que c'est, c'est du bois...

Image 6 : la rugosité d'un hall... la question du cadrage sur l'extérieur... effet de contraste... cadrage...

Image 7 : envie d'avoir de la matière... la surface et le contraste...la rugosité... et comment l'espace se définit par la matière qui est équivalent à des changements à des plans différents... la matière crée la profondeur... pas d'ouverture sur l'extérieur... et c'est la différence de matière qui va amplifier l'effet de profondeur...les points lumineux... effet de photographie.

Image 8 : projet contextuel... forêt... fermeture et ouverture... chambre à coucher... créer l'intérieur tout en étant à l'extérieur... Est ce que c'est un espace agréable pour une chambre à coucher ?...

Image 9 : est ce que c'est la lumière ou l'extérieur... voûte complètement lumineuse... est ce que ça définit un intérieur ? est ce que ça permet de créer cet effet de protection qui peut être utile en l'architecture... cette volonté d'être extrêmement lumineuse est fonctionnelle... c'est un gymnase...fermeture et ouverture... la fonctionnalité de la lumière...un gymnase il doit y avoir beaucoup et pas trop... lumière amenée est diffuse... en plein soleil l'espace est trop réverbérant

Image 10 : Couleur... plans lumineux... pavés lumineux de couleur...

Image 11 : une belle lumière maîtrisée...contraste... le bois au plafond clair et au sol est sombre...

c'est plus la relation matériaux que lumière..

Image 12 : travail sur les stries...

Image 13 : un travail d'architecture... sorte d'élévation créé par les colonnes qui étirent et prennent en charge la voûte qui est légère en structure métallique... la lumière amplifie l'effet d'étirement

Image 14 : La lumière amplifie le volume...le contraste... comment l'architecture peut aller au-delà de la matière et transmettre même des idées philosophiques...comment elle est au-delà du réel...

Image 15 : lumière qui vient du ciel... notion divine... fenêtre absolument en rapport au sol... effet de contraste

Image 16 : la question de la linéarité... la lumière vient compléter un couloir d'accès, ou un cloître... rythme... la lumière est associée toujours à son espace construit... fenêtre en longueur en relation avec le couloir... ce couloir présente un rythme constructif des éléments du bâti et que ce rythme constructif prend la lumière d'une façon particulière

Sujet 3 :

Septembre 2006

A.G. Architecte - Nancy

L'architecte commence directement par interpréter les images

Image 1 : ... lumière zénithale...

Image 2 : ... lumière zénithale...salle de réunion...

Image 3 : ...mur rideau...forte pénétration de lumière... prise de lumière en façade...

Image 4 : ...prise de lumière en façade... très lumineux

Image 5 :... moins lumineux...prise de lumière en façade

Image 6 :... lumière réfléchie...matériaux au sol sombre... ambiance sombre

Image 7 : ...pierre... lumière en façade... éclairage ponctuel de forte intensité...plein jour... ça doit être midi...

Image 8 : ... dôme vitré

Image 9 : ...dôme vitré... gymnase

Image 10 : ...lumière colorée... jeu de couleurs

Image 11 :... prise de lumière en façade...

Image 12 : ...prise de lumière ponctuelle... jeu de formes...

Image 13 : ...les vitraux... lumière zénithale... espace sombre...

Image 14 : ... lumière zénithale... espace sombre...

Image 15 : ... jeu de matière et de lumière... lumière zénithale diffuse avec un rayon de lumière... lumière en façade...

Image 16 :... lumière en façade ponctuelle...

Quand j'ai demandé à l'architecte est ce qu'il pense que c'est intéressant de mentionner le type d'espace quand on parle d'ambiance lumineuse ? Il répond : si c'est évident, la lumière dépend de la fonction de l'espace mais ça correspond plus à la description de l'ouvrage et non pas la lumière.

J'ai remarqué que ce sujet n'a pas parlé de protection et quand je lui ai posé la question il a répondu que ça correspond plus à un choix architectural et non pas à la qualité de la lumière.

Sujet 4 :

Septembre 2006

F.N. Architecte - Nancy

Avant de commencer l'interprétation des images, l'architecte parle un moment de la lumière naturelle dans la conception architecturale : ...la faire pénétrer soit avec abondance ou avec plus de douceur...selon la fonction du local, l'orientation...l'extérieur génère l'intérieur... la lumière qui est générée à l'intérieur provient de la manière de travailler l'enveloppe... on va capter la lumière, la tamiser, la retenir, la faire pénétrer, on la guide... on arrive à la travailler, à la façonner comme si c'était une matière...la lumière devient une matière... ensuite, le traitement de la manière de recevoir cette lumière... la peau extérieure sert de filtre plus ou moins transparent, plus ou moins opaque... des petites fentes, des grandes verrières... qu'elle soit zénithale ou verticale...ce qui reçoit la lumière, les sols, les parois qu'elles soient très blanches ou plus foncées... la lumière est renvoyée ou absorbée de manières très différentes.....

Image 1 : ...traitement de plafond par sorte de shed...gymnase... lumière zénithale... jeu de soulèvements successifs...la lumière est captée selon la même orientation... le bois sur le traitement du plafond... contraste avec murs blancs.

Image 2 : ... traitement de plafond par shed...soulèvement successifs plus serrées... traitement symétrique...jeu de répétition...jeu de soulèvements... plans horizontaux soulevés les uns par rapport aux autres qui laissent par jeux d'impôtes verticales la lumière pénétrer...jeu de répétitions... on passe du sud au nord ou de est à ouest... contraste bois murs blancs...

Image 3 : ...plafond blanc en pente...grande baie vitrée...des carrés répétés successifs posé les uns à coté des autres...des coulissants...séparent l'espace extérieur de l'espace intérieur... le sol est prolongé... pénétration de lumière très franche... une immense baie vitrée continue qui relie le sol au plafond...

Image 4 : plafond blanc horizontal... grande baie vitrée... sépare l'extérieur de l'intérieur...pénétration de lumière très franche... une immense baie vitrée...

Image 5 :...plus obscure... semi obscurité...ambiance intérieure plus sombre...tamisée par jeu de persiennes métalliques... complété par des rideaux... les deux sont mis ouverts mis fermés...pas tout a fait baissé mais bien engagé... aussi un rideau s'engage mais pas l'autre...table ...chaise...une semi obscurité mais en même temps la lumière est bien orientée sur la table... cellule de la Tourette...

Image 6 : ...ambiance intérieure sombre...les deux fenêtres captent la lumière... espace commun... les fenêtres qui apparaissent comme des flashes sont reproduites par jeu de reflets sur le sol... sombre et brillant... ça multiplie les flashes...

Image 7 : jeu de filtres... jeu de claustras... des briques...des alternances qui fait qu'il y a des petits jour... effet de contre jour...des petits vides... une parois opaque avec des petits points de lumière qui apparaissent...à l'extrémité... la série des lumière verticales...font comme si c'est une lumière artificielle en V horizontal...ambiance sombre... parois grises...

Image 8 : ...traitement semi cylindrique...partie opaque au milieu... ouverture sur le paysage... large ouverture... chambre à coucher... intimité difficile...

Image 9 : ...un gymnase... grande verrière bombée en forme de demi cylindre... pas de verre mais de polycarbonate... le traitement homogène sur toute la surface... éblouissement... il faut avoir des traitements différents entre sud est nord ouest...gymnase... coupole traitée de manière homogène... le polycarbonate filtre peut être la lumière...peut être il y a-t-il traitement extérieur de stores qui permet de filtrer les choses...vue très rapide et fugitive...

Image 10 : Verre coloré... films de couleur... ambiance colorée ... filtres colorés...

Image 11 : ...épuré... minimaliste...lattes de bois... parquet au sol très sombre et le plafond très clair...la bande vitrée qui court entre les deux...

Image 12 : ...sol en parquet... béton brut... le jeu de fentes... lécher le plafond... hauteurs variables...

Images 13 et 14 : ...dialogue histoire modernité... ré-interprétation contemporaine d'une même mise en scène d'un escalier...lumière zénithale... bandes longitudinales...

Image 15 : ...trait de lumière...soulèvement de parois... vertical horizontal... jeu de contraste... opacité transparence... contraste affirmé...

Image 16 : ne l'a pas commenté juste il a dit on retrouve la Tourette

Sujet 5 :

Septembre 2006

D.B. Architecte - Nancy

Image 1 : ...mélange d'éclairage artificiel de type néon et d'éclairage naturel... éclairage indirect...se réfléchit sur le plafond et sur les murs...

Image 2 : ...éclairage indirect... les murs servent plus de source de lumière indirecte que le plafond...le plafond est en bois et les murs sont blanc... la lumière se réfléchit sur les murs blanc... source complémentaire au fond...fenêtre sur l'extérieur...

Image 3 : ...Eclairage direct... brise soleil au dessus des fenêtres... matériau translucide maison... se protégé du soleil et pas forcément de la lumière...brises soleil translucides...

Image 4 : ...spots au plafond...éclairage naturel qui vient directement depuis des vitres...tout l'intérieur est blanc sauf le sol... même les meubles sont blancs...très lumineux...

Image 5 : ...effet de contre jour...stores vénitiens ...partie de lumière occultée... rideaux tamisent la lumière sur les bords...au milieu la lumière se réfléchit sur la table... effet de contre jour assez fort...

Image 6 : ...intérieur relativement sombre... contraste fort entre la lumière qui pénètre par les deux fenêtres et les reflets que fait la lumière sur le sol et au plafond et puis le reste de l'espace qui est visiblement sombre...sol noir... il est noir et brillant...tâche de lumière... l'ensemble est assez sombre...espace contrasté...

Image 7 : ...Eclairage tamisé...la forme du mur à gauche... la lumière pénètre en dessinant des formes soit au sol soit au mur...heure de la journée... motifs géométriques...mini ouvertures... tâches de lumière géométriques...espace sombre... lieu de culte... pas d'abondance de lumière

Image 8 : ...chambre...énormément d'éclairage naturel... tout est vitrée... il faut occulter... éclairage homogène... structure métallique de la verrière... motifs intéressants en fonction de l'orientation du soleil soit sur le plancher soit sur le mur...

Image 9 : ... salle de sport...lumière naturelle essentiellement... qui vient de toute la toiture qui est un demi cylindre complètement transparent translucide... éclairage uniforme qui vient d'une très grande surface...lumière distribuée de manière homogène... pas beaucoup de contraste... le même niveau d'éclairage partout qui est à priori bien pour un terrain de sport...une lumière blanc bleuté

Image 10 : lumière filtrée colorée... des filtre de couleur translucides de différentes couleurs... portes... fenêtres... école maternelle, crèche... ambiance colorée... tons chauds...

Image 11 : beaucoup d'éclairage naturel... fenêtre en bandeau...peu de lumière qui se réfléchit sur le plafond et sur le sol... ambiance lumineuse un peu froide

Image 12 : des ouvertures en meurtrière... tâches de lumière au plafond et au sol... trajectoire du soleil durant la journée et au cours de l'année...circulation sombre...

Image 13 : ...verrière...une verrière sur les parties latérales...gare, musée... éclairage mixte... latéral supérieur... fenêtres classiques

Image 14 : la lumière est utilisée pour attirer le regard vers la montée de l'escalier... faire flotter la dalle en l'air... lumière passe dans des fissures...

Image 15 :...bandeau de lumière... puit de lumière qui diffuse...ambiance japonaise... lumière surtout en partie basse et ponctuellement en partie haute par ce puit de lumière...

Image 16 : Bandeau de fenêtre horizontale... coursive, couloir...

Sujet 6 :

Septembre 2006

F.S. Architecte - Nancy

Image 1 : éclairage zénithal... à la manière des sheds, c'est à dire latéralement... lumière indirecte... se répondre par rapport au plafond... se réfléchir sur les murs...gymnase... « on a le sentiment »... une seule source zénithale... partie sombre

Image 2 : grand espace... Salle de réunion... éclairage zénithal droit... éclaire davantage le plafond que la salle...répété, c'est-à-dire plusieurs sources qui se succèdent en gradin... des fenêtres à l'extrémité de la salle... éclairent au niveau du plancher et à hauteur d'homme... éclairages latéraux...

Image 3 : l'éclairage naturel vient sur les murs gouttereaux de la construction... le mur qui file le long de la façade... « j'ai le sentiment » ... protégé par un auvent donc la lumière n'est pas directe même si elle touche l'extérieur directement... le dispositif des fenêtres est divisé en deux parties...partie en imposte qui donne directement sur la lumière extérieure... partie inférieure largement dominante... est protégée par l'auvent... *il revient plus tard sur cette image et ajoute*... partie vitrée... deuxième jour dans la cuisine ... c'est une manière indirecte... lumière d'un seul côté...

Image 4 : mur baie complètement vitré... pas de protection extérieure... panneaux coulissants et panneaux fixes... le mur est une immense baie latérale...plafond blanc... problèmes de réflexions...éclairage glacial... tout en blanc... je me pose si il n'y a pas le même dispositif des deux côtes...les deux côtés sont éclairés... il est difficile de parler de l'éclairage d'une seule image...lumière portée sur le canapé

Pour les images 3 et 4, le sujet ajoute : ce sont deux espaces d'habitation, mais je pense qu'il n'est pas important de citer le type d'espace parce que ces dispositifs, on les trouve aussi bien dans des bureaux, dans des magasins, ... des espaces complètement divers.

Image 5 : bureau, chambre... fenêtre à allège... ou un panneau menuisé mais à allège différent de ceux qui descendaient jusqu'au sol... il est découpé : parties ouvrantes et parties fermées... plusieurs filtres : rideaux, un store extérieur qui peut se monter et descendre... la possibilité de tamiser complètement la lumière... la fenêtre est sur toute la largeur de la pièce j'en ai le sentiment mais je ne suis pas sure...de point de vue de la réflexion de la lumière .. le store extérieur est descendu... le matériaux du plafond...la fenêtre monte jusqu'au plafond... couleur absorbante

Image 6 : circulation... fenêtres à allèges... ou fenêtre en longueur...la brillance du sol... les lumières se reflètent...jeu de reflets le reflet entre la brillance du sol et le reflet du sol au plafond... les matériaux réfléchissants qui augmentent la sensation lumineuse... les fenêtres n'ont pas l'air très grandes... grande, grande importance des matériaux... énormément de réflexions...

Image 7 : réflexions... petits jours rectangulaires et horizontaux... se réfléchissent au sol... peu d'éclairage.. on a réduit l'apport de lumière... espace unifié...

Image 8 : dispositif tout verre... espace complètement vitrée... chambre... un petit volet... bulle de verre... arc en verre... dispositif d'occultation... pas d'ambiance lumineuse, tout est lumineux... quand on est dans une boîte lumineuse il n'y a plus d'ambiance lumineuse, le but c'est d'être comme si à l'extérieur... lumière modelée...

Image 9 : un gymnase... la toiture est composée d'une succession d'arc métalliques... panneaux translucides... on voit pas le paysage... éclairage régulier à l'intérieur... d'un côté j'ai l'impression qu'il y a une construction qui empêche le soleil d'entrer... un côté est plus assombri que l'autre... voûte en lumière blanche...

Image 10 : une entrée, un grand hall... bâtiment institutionnel... sol réfléchissant en béton brut avec un résine ou un vernis dessus... mur vitré... verre coloré... menuiserie métallique... panneaux colorés... je pense pas que la couleur apporte quelque chose à la brutalité des matériaux...

Image 11 : maison, une salle à manger, fenêtre en allège et en continu... apport lumineux d'une fenêtre en longueur... se réfléchit à la fois sur le revêtement bois de toiture et sur le revêtement bois du plancher qui est un bois différent... pour séparer de l'extérieur un grand panneau vitré... imposte complètement vitrée.. un apport indirect qui provient de l'espace voisin...un apport direct avec des réflexions sur le plafond en sous pentes et sur le plancher... latéralement un dispositif de fermeture... variations de luminosité... orientation sud, ouest... des ambiances différentes selon l'orientation...

Image 12 : couloir... trous verticaux... zones d'ombre... lumière projetée...

Image 13 : université, hall de gare... lumière parcimonieuse ... fenêtres très hautes... lumières se projettent en bas...espace relativement lumineux... galeries pas du tout éclairées... contrastes lumineux entre les espaces... fenêtres hautes... espace lumineux

Image 14 : espace de distribution... couloir... lumière diffractée, brisée... lumière diffracté sur les murs...matériaux très brillants... lumière réfléchié... plafond en contre jour..

Image 15 : petit éclairage latéral... hauteur d'homme... vue sur la verdure... lumière zénithale ponctuelle... puit de lumière double... lumière qui éclaire la totalité du trou, puit de lumière... faisceau lumineux... dispositif qui oriente la lumière... lumière focalisée... lumière diffuse, douce... pas le même type de verre... reflets bleuté... reflets blanchâtres... faisceau complètement blanc...

Image 16 : couloir... matériaux bruts... fenêtre en bandeau latérale.. hauteur supérieur à allège... fenêtre au bout... fenêtre ponctuée par des points porteurs... bandeau filant... lumière directe ... lumière se projette comme une plainte sur le mur opposé... couloir...

Sujet 7 :

Septembre 2006

M. Architecte - Nancy

Image 1 : éclairage indirect haut... peu d'éclairage naturel... reflets sur le mur

Image 2 : éclairage naturel avec système constructif qui participe à mettre en valeur l'éclairage naturel... l'effet architectural... puis l'éclairage vient en deuxième plan... lumière guidée, dirigée... éclairage haut, zénithal

Image 3 : éclairage naturel sur toute la façade... tout est vitré... reflets à l'intérieur... partie haute qui permet d'éclairer une partie du plafond... ambiance très lumineuse... pas de séparation extérieur intérieur...dispositif de menuiserie... lumière chaude

Image 4 : façade ouverte... mais ambiance complètement différente... lumière super froide influencée par les couleurs des matériaux...salon

Image 5 : éclairage naturel par fenêtre... occultation extérieure... espace assez sombre... la fenêtre paraît assez grande par rapport à la taille de la pièce

Image 6 : les reflets sur le sol, sur les murs, sur le plafond... revêtement du sol brillant... reflets partout

Image 7 : dispositif architectural pour amener une qualité... l'eau, la lumière se reflète... effet de lumière plus important qu'éclairer la pièces... reflet sur le mur... mur en pierre... jeu avec des rainures

Image 8 : éclairage naturel sur tous les côtés, sur l'ensemble de la voûte, plafond, côtés, façade... tout est vitré... genre jardin d'hiver... lumière très froide chaude atténuée par le mur gris beige qui absorbe un peu... reflets partout... les menuiserie se reflètent su le mur et sur le sol... une vue de tous les côtés... un lit, une chambre.

Image 9 : éclairage sur la totalité de la façade... arc de cercle... sur les cotés et sur le dessus... sans vu, complètement translucide... lumière homogène... pas de reflets... elle est homogène... c'est éclairé partout pareil... lumière froide bleue... salle de sport

Image 10 : fenêtres colorées... reflets colorés sur un sol gris... ni froid ni chaud c'est entre les deux... lumière diffuse...

Image 11 : éclairage naturel par des fenêtres en façade sur toute la longueur... ouverture horizontale... très chaleureux... reflets au sol et au plafond... tout est en bois... lumière chaude... habitation... cadrer une vue assez loin...

Image 12 : dans cet espace, éclairer, s'est plus pour accentuer l'espace, le rythmer ou le structurer grâce à la lumière... reflets au plafond et au sol... couloir... bois au sol, béton au plafond... reflets différents, un chaud et un froid... fentes

Image 13 : éclairage zénithal... latéral avec des vitraux... intérieur de gare, tribunal, bâtiment administratif... éclairage zénithal qui éclaire vraiment l'espace avec des reflets... les vitrages sur la

façade sont plus un élément décoratif...

Image 14 : éclairage par le haut... assez froid... des reflets sur les murs... dispositif au plafond... éclairage indirect... couloir... accentuer la longueur du couloir

Image 15 : éclairage zénithal dirigé... éclairer un objet en particulier... reflet chaud sur le mur... espace de culte... éclairage latéral au sol... reflets froid bleuté...éclairer l'espace... éclairage zénithal pour mettre en scène un objet

Image 16 : éclairage latéral... reflets au sols... couloir... une fenêtre au bout... lumière ni chaude ni froide... mur en crépi

Sujet 8 :

Septembre 2006

C.B. Architecte - Nancy

Image 1 : lumière assez vive... répartie sur l'ensemble de l'espace... pas de zones d'ombres

Image 2 : lumière plus guidée, plus orientée... plus diffus... éclairage complémentaire pour l'activité de lecture ou d'écoute... climat plus doux... la lumière au niveau du sol est en contraste... contre jour

Image 3 : sensation d'être dans un espace extérieur intérieur... façade vitrée... pas d'éléments de rupture visuelle pour le passage d'un espace à l'autre... façade libérée... détacher les volumes intérieurs... usage distincts... mettre en valeur une enveloppe... des espaces clos définis

Image 4 : lumière sur toute une façade... une équivalente aussi dans le dos... au niveau des ombres on a l'impression d'un espace traversant... cadré sur la nature... panorama... attirance vers le paysage extérieur... paroi vitrée... diffuser la lumière sur plafond et sol... clarté, brillance

Image 5 : petite pièce... moyen d'occultation utilisé au trois quart... filtre la lumière du jour... élément de mesure... il cadre la lumière sur un élément de travail... le reste de l'espace en pénombre... protection d'après midi... lumière vive

Image 6 : baie en façade en plein soleil... projection de lumière sur le sol... travail sur la brillance... travail sur le sol sur le revêtement qui est très sombre... tache de lumière... reflet sur le sol qui donne sur le plafond... c'est troublant... ce n'est pas une ambiance mais presque un effet... c'est une mise en scène... espace de circulation

Image 7 : matériaux naturel... percements en façade... lumière naturelle qui ponctue qui filtre énormément... effet de reflets au sol... matériaux bruts, naturels : bois, pierre... les matériaux sont très visibles

Image 8 : espace panorama... espace complètement vitrée... l'impression qu'on est dehors.. la lumière est celle qu'il y a à l'extérieur... grand soleil dedans et grand soleil dehors... élément d'occultation qui bloque la lumière à cette heure ci... tête de lit... pas d'obstacle entre l'extérieur et l'intérieur... la lumière vient de partout

Image 9 : grand espace... entièrement couvert d'un espace vitré translucide... qualité de lumière au sol ne suffit pas à l'activité de sport qui s'y déroule... la lumière naturelle permet de détacher un volume, une forme, un pignon... lumière bleuté... matériaux polycarbonate

Image 10 : lumière multicolore... les vitraux... les vitre sont colorés... limite la lumière... apporter une couleur au béton très brut... quelque chose de coloré qui s'anime... travail de vitrail... lumière pas très vive...

Image 11 : lumière agréable... la proportion de l'ouverture par rapport à la façade... matériaux clair qui rediffusent la lumière... agréable pour la maison... éclairage correct...

Image 12 : éclairage ponctuel et assez sombre... couloir... passage d'un espace à un autre, d'un état à un autre... peu de lumière mais mesurée...

Image 13 : éclairage zénithal et sur les pignons...des dégradés en fonction des espaces... lumière qui suit la course du jour... une ombre qui se déplace... révéler différemment l'espace... agréable, changeante...

Image 14 : lumière zénithale indirecte... très mesurée... espace sombre... lieu de passage... décalage de plafond... mise en valeur des matériaux de construction... Lumière faible, guidée

Image 15 : lumière zénithale, ponctuelle... donne sur un objet particulier... effet projecteur... mise en valeur... lumière diffuse... un côté spirituel, symbolique... deux lumière naturelle une vive très violente et une lumière plus douce... mais peu de lumière écart de lumière très violent à un endroit...

Image 16 : circulation... murs grossiers... travail sur la longueur, et d'un éclairage régulier... éclairage ponctuel par rapport à l'usage...

Sujet 9 :

Septembre 2006

B. Architecte - Nancy

Image 1 : très homogène... éclairage mixte artificiel et naturel... l'objectif ici c'est d'emmener la lumière... lumière en toiture... lumière diffuse... éclairage indirect... ambiance homogène... pas d'effet architectural associé et recherché... lumière homogène et diffuse

Image 2 : éclairage zénithal... contrasté... associer la forme et la lumière... regard qui se porte sur le haut par combinaison entre l'apport de lumière et l'effet architectural... traiter l'éclairage avec la forme architecturale... lumière diffuse mais pas homogène

Image 3 et **Image 4** : les deux notions de transparence et d'éclairage sont liées...c'est la relation intérieur extérieur... l'intérieur qui se prolonge à l'extérieur par la transparence... éclairage et transparence... continuité extérieur intérieur... en ouvrant la façade la notion d'éclairage disparaît... façade vitrée avec châssis coulissant...

Image 5 : la notion de fenêtre, de cadrage... on limite l'apport de lumière... la notion de trou...lumière privatisée... lumière amenée sur la table... lumière captive... maîtrisée... pare soleil qu'on peut descendre

Image 6 : une ouverture pour amener de la lumière c'est la seule intention que je peu lire... on amène un peu de lumière... renvoie de lumière... sol très brillant... lumière directe et lumière indirecte à partir du sol...

Image 7 : lumière historique... on invite la lumière...la lumière habille l'espace...

Image 8 : la lumière vient de partout... se projette sur les surfaces qui restent... rapport intérieur extérieur... là on est carrément à l'extérieur.... On se projette vers la lumière, la lumière vient vers nous...

Image 9 : gymnase... le soucis d'homogénéiser la lumière... activité sportive...lumière homogène sur l'ensemble de la voûte... contraste entre la toiture et le fond

Image 10 : pas de commentaire

Image 11 : parois vitrée... bandeau lumineux... je sais pas si je perçoit d'abord la transparence ou d'abord la lumière...

Image 12 : là je perçoit d'abord la lumière...graphisme lié à la forme sur le sol et le plafond... la lumière appuie sur le sol et le plafond... éclats de lumière sur le plafond

Image 13 : lumière pas sympas...éclairage latéral toiture.... Eclairage frontal... peu de lumière

Image 14 : peu de lumière...espace mystérieux...lumière spécifique... contraste... entrer le minimum de lumière...

Image 15 : éclairage centré sur un élément...

Image 16 : espace de circulation... rail de lumière horizontal...

ANNEXE 6. Liste exhaustive des termes utilisés pendant les entretiens

Dans cette annexe, nous proposons la liste exhaustive des termes et expressions mentionnés par les 9 architectes, lors des entretiens.

Éclairage zénithal, éclairage zénithal à provenance horizontale, éclairage haut, lumière en toiture, une seule source zénithale, éclairage latéral supérieur, éclairage en façade, prise de lumière en façade, éclairage frontal, deuxième jour, un apport indirect qui provient de l'espace voisin, lumière zénithale ponctuelle, éclairage ponctuel de forte intensité, petits points de lumière, shed, un shed c'est-à-dire lumière latérale, sheds superposés, soulèvement successifs, puit de lumière, menuiserie métallique, larges baies vitrées, une immense baie latérale, parois vitrée qui relie le plafond au plancher, fenêtre, petite fenêtre, fenêtres très hautes, fenêtre en rapport au sol, fenêtre à allège, parties ouvrantes et parties fermées, la fenêtre est sur toute la largeur de la pièce, fenêtre en bandeau, bandeau horizontal d'éclairage naturel, bandeau de lumière, impostes verticales, des ouvertures en meurtrière, façade vitrée avec châssis coulissant, panneaux coulissants et panneaux fixes, pavés lumineux de couleur, verre coloré, films de couleur, filtres colorés, des vitraux, mur rideau, ouvertures à un niveau trop haut par rapport à l'homme, hauteur supérieur à allège, petites ouvertures, des points lumineux, petits jours rectangulaires et horizontaux, mini ouvertures, fentes, stries lumineuses, des lignes de lumière, traits de lumières verticaux, filet de lumières, des fissures de lumière, un rayon de lumière, verrière en structure métallique, une verrière sur les parties latérales, grande verrière bombée en forme de demi cylindre, traitement semi cylindrique, éclairage par arc de cercle, coupole, voûte complètement lumineuse, dôme vitré, coupole, claustra en planches.

Protection solaire, protection visuelle, un petit volet, dispositif d'occultation, persiennes, store, l'éclairage est masqué par ce bandeau, partie opaque au milieu, varier le niveau de luminosité par un store à lamelles, des rideaux, mis ouverts mis fermés, brise soleil translucide, les rideaux tamisent la lumière, il y a une construction qui empêche le soleil d'entrer, pas de protection extérieure.

Matériaux bois en toiture, contraste parement bois et murs blancs, le bois, la terre cuite, espace très blanc, murs bruts, bois lumineux, la couleur des matériaux, la rugosité des matériaux, le bois au plafond clair et au sol il est sombre, sol sombre et brillant, parois grises, plafond très clair, les murs servent de source de lumière indirecte, matériaux réfléchissants qui augmentent la sensation lumineuse, les meubles sont blancs, couleur absorbante, plancher bien ciré, béton brut, mise en valeur des matériaux.

Peu d'éclairage naturel, peu d'éclairage naturel au niveau des yeux, beaucoup d'éclairage

naturel, la lumière est partout, beaucoup et pas trop de lumière, énormément d'éclairage naturel, forte pénétration de lumière, lumière faible, éclairage correct, espace un peu surexposé, l'espace est trop réverbérant, espace très lumineux, moins lumineux, espace sombre, espace assez sombre, intérieur relativement sombre, semi obscurité, variations de luminosité, espace homogène, le même niveau d'éclairage partout, peu de lumière mais mesurée, espace contrasté, espace traversant.

Éclairage indirect, éclairage direct, éclairage naturel diffus, lumière guidée, lumière dirigée, lumière filtrée, lumière orientée, lumière diffractée, lumière focalisée, lumière diffuse, lumière réfléchie, lumière tamisée, lumière teintée par le matériau bois, lumière colorée, lumière filtrée colorée, lumière multicolore, lumière projetée, lumière assez vive, lumière changeante, lumière par petite touche, lumière parcimonieuse, lumière très franche, la lumière lèche le plafond, éclairage centré sur un élément, lumière captée selon la même orientation.

Lumière chaude, lumière froide, lumière douce, lumière captive, lumière historique, lumière modelée, lumière naturelle de qualité pour un gymnase, une belle lumière maîtrisée, éclairage assez agréable, éclairage assez frais, éclairage glacial, éclairage agressif, éclairage naturel assez monacal.

Ambiance sombre, ambiance japonisante, ambiance colorée, ambiance froide.

Refllet au sol, les menuiseries se reflètent sur le mur, refllet bleuté, refllet blanchâtre, tâches de lumière au plafond et au sol,

La lumière naturelle permet de détacher un volume, la lumière décolle les parois, soulèvement de parois, la lumière amplifie l'effet d'étirement, la lumière amplifie le volume, accentuer la longueur du couloir, interaction entre lumière et architecture, effet de contre jour, cadrage de paysage, rapport intérieur extérieur, panorama, contraste espace fermé et ouverture, des contrastes lumineux qui sont clairs, éclairage et transparence, opacité et transparence, lumière et pénombre, pas d'ouverture sur l'extérieur, fermeture et ouverture, la lumière définit le lieu, mise en scène, une répétition de l'effet lumière, rythme, espace moins dynamique, projet contextuel, jeu de formes, jeu de répétition, éclairage mixte, lumière artificielle, éblouissement, une ombre qui se déplace.

Espace d'habitation, habitation, cuisine, salon, salle à manger, chambre à coucher, chambre d'étudiant, une cellule de moine, une chambre d'hôtel, bureau, salle de réunion, un gymnase, salle de sport, espace de distribution, espace de circulation, coursive, couloir, hall de bâtiment public, lieu public, bâtiment administratif, espace de recueillement, espace exotique, espace sacré, bâtiment institutionnel, collège, maternel, crèche, école, gare, musée, temple indou ou bouddhiste, lieu de culte, une entrée, lieu de passage, activité sportive, une petite pièce, grand espace, un grand hall.

ANNEXE 7. Exemple des données « EXIF » d'une image exportée à partir de l'outil d'indexation « iMage »

```
<xml version="1.0" encoding="UTF-8">
<!DOCTYPE plist PUBLIC "-//Apple//DTD PLIST 1.0//EN" "http://www.apple.com/DTDs/PropertyList-1.0.dtd">
<plist version="1.0">
<dict>
  <key>annee</key>
  <date>2008-06-26T21:46:36Z</date>
  <key>iMage Data Model Version</key>
  <string>Version 2.30</string>
  <key>keywords</key>
  <array>
    <array>
      <integer>4</integer>
      <string>EFFET DE LUMIERE</string>
      <string>relation exterieur/interieur</string>
      <string>coupure avec l'exterieur</string>
    </array>
    <array>
      <integer>2</integer>
      <string>DISPOSITIFS LUMINEUX</string>
      <string>APPORT DE LUMIERE</string>
      <string>eclairage lateral</string>
      <string>fenetre classique</string>
    </array>
    <array>
      <integer>4</integer>
      <string>DISPOSITIFS LUMINEUX</string>
      <string>APPORT DE LUMIERE</string>
      <string>second jour</string>
      <string>second jour lateral</string>
    </array>
    <array>
      <integer>1</integer>
      <string>SURFACES INTERIEURES (ESPACE)</string>
      <string>couleur</string>
      <string>murs</string>
      <string>murs blanc</string>
    </array>
  </array>
  <key>numero</key>
  <string>128843</string>
  <key>source</key>
  <string></string>
</dict>
</plist>
```

ANNEXE 8. Sujet de conception – Validation du prototype Day@mbiance

Dans le cadre de cette expérimentation, il est demandé de concevoir un espace d'information et de tourisme situé devant la gare de Nancy (Voir le plan de situation).

L'enjeu est de concevoir un projet à partir d'un travail spécifique sur la lumière naturelle (l'orientation du site est marquée sur le plan de situation).

Dimensions et composantes :

La surface utile est d'environ 35 m² divisée comme suit :

- un espace d'accueil et de documentation 10m² environ, pouvant accueillir deux hôteses,
- un espace d'exposition 20 m² environ, destiné à exposer des affiches et à disposer des prospectus dans des présentoirs,
- un local technique et d'hygiène 4 à 5 m².

Consignes :

Pour développer votre proposition vous pouvez surfer sur Internet, utiliser day@mbiance et dessiner sur SketSha.

Durée du travail :

1h30. Pendant ce temps, votre travail ainsi que ce qui se passe sur le bureau virtuel sont enregistrés.

N'hésitez pas à discuter entre vous pour demander des explications ou commenter vos choix.

Rendu final :

Présentez une proposition d'intentions sous forme d'un dessin annoté. Ce dessin comportera plusieurs vues du projet (vue en perspective, en plan ou en coupe) ainsi que les références qui vous ont aidées dans votre proposition.

Informations complémentaires :

- Le plan de situation est également disponible sur le bureau.
- Si vous avez un problème, n'hésitez pas à nous consulter.

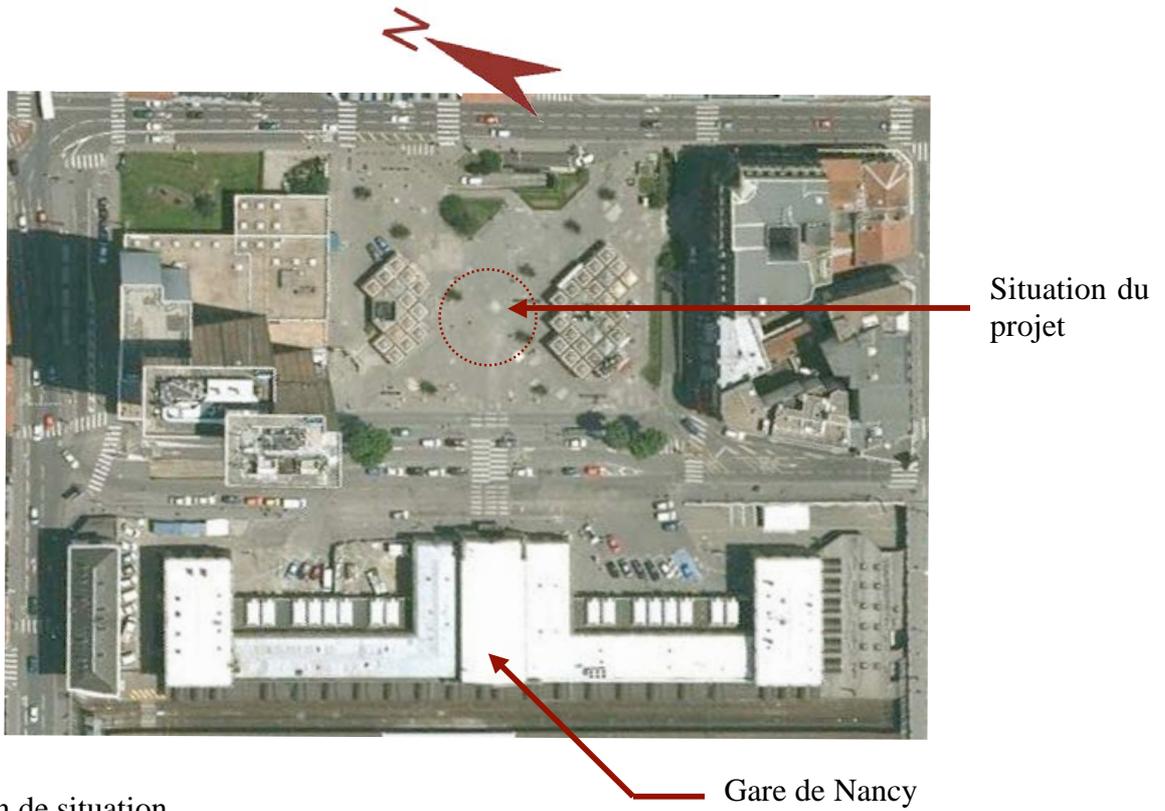


Fig. Plan de situation

ANNEXE 9. Questionnaire - Validation du prototype Day@mbiance

Date de l'expérimentation :

Nom et prénom :

Formation initiale :

Cocher une de ces réponses possibles

- Avant d'utiliser day@mbiance, j'avais déjà une idée du projet que je voulais concevoir.
- Avant d'utiliser day@mbiance, je n'avais aucune idée de ce que je voulais faire.

Suite à la manipulation de day@mbiance, nous souhaitons recueillir vos retours.

		En Désaccord	Plutôt D'accord	D'accord	Fortement d'accord
Day@mbiance					
1	J'ai apprécié l'utilisation de day@mbiance.				
	<i>Commentaire :</i>				
2	La manipulation de day@mbiance est simple et intuitive.				
	<i>Commentaire :</i>				

3	L'utilisation de day@mbiance oriente ma recherche d'idées.				
	<i>Commentaire :</i>				
4	Les images proposées par day@mbiance m'ont semblé intéressantes et suffisamment variées.				
	<i>Commentaire :</i>				
5	J'ai réussi à trouver des références qui répondent à mon besoin.				
	<i>Commentaire :</i>				
La mosaïque					
6	J'ai compris rapidement le fonctionnement de la mosaïque.				
	<i>Commentaire :</i>				
7	La recherche de références en utilisant la mosaïque est relativement rapide.				
	<i>Commentaire :</i>				
8	L'affichage constant des images requêtes (choisies et rejetées) m'a paru important.				
	<i>Commentaire :</i>				

9	Avec la mosaïque, ce que j'ai obtenu lorsque j'ai fait un choix en images m'a semblé cohérent.				
	<i>Commentaire :</i>				
<i>Le graphe</i>					
10	J'ai compris rapidement le fonctionnement du graphe.				
	<i>Commentaire :</i>				
11	Le graphe m'a permis d'interpréter le contenu des images.				
	<i>Commentaire :</i>				
12	Les fonctions de manipulation du graphe m'ont permis de contrôler la complexité du graphe.				
	<i>Commentaire :</i>				
<i>Boussole de navigation</i>					
13	J'ai compris rapidement le fonctionnement de la boussole.				
	<i>Commentaire :</i>				

14	Le choix des catégories de la boussole m'a paru juste et pertinent.				
	<i>Commentaire :</i>				
15	L'utilisation de la boussole avec la mosaïque est simple.				
	<i>Commentaire :</i>				
16	L'utilisation de la boussole avec la mosaïque m'a permis de préciser ma recherche.				
	<i>Commentaire :</i>				
17	L'utilisation de la boussole avec le graphe est simple.				
	<i>Commentaire :</i>				
18	L'utilisation de la boussole avec le graphe m'a permis d'orienter mon interprétation des images.				
	<i>Commentaire :</i>				
<i>Albums et outil de dessin</i>					
19	J'ai trouvé important de pouvoir mémoriser et sauvegarder des images au cours d'une recherche de références.				
	<i>Commentaire :</i>				

20	La possibilité d'annoter des images par le dessin m'a semblé essentielle.				
	<i>Commentaire :</i>				
Interactivité					
21	J'ai compris facilement comment passer d'un mode de navigation à un autre.				
	<i>Commentaire :</i>				
22	J'ai trouvé pertinent d'avoir des modes de navigation différents.				
	<i>Commentaire :</i>				
23	Les navigations par mosaïque et par graphe m'ont semblé complémentaires.				
	<i>Commentaire :</i>				
24	La possibilité de passer de la mosaïque au graphe et du graphe à la mosaïque a rendu ma recherche plus interactive et efficace.				
	<i>Commentaire :</i>				

25	Je pourrais utiliser day@mbiance dans le cadre de mes conceptions futures.				
	<i>Commentaire :</i>				
26	J'ai le sentiment que l'application day@mbiance est efficace.				
	<i>Commentaire :</i>				
27	Il est difficile de dire si cette application est adaptée à mon activité de conception.				
	<i>Commentaire :</i>				
28	J'ai rencontré quelques problèmes lors de l'utilisation de day@mbiance.				
	<i>Commentaire :</i>				

Exprimez-vous sur les points suivants :

Les perspectives

Les images proposées par day@mbiance sont des images photographiques représentant des vues intérieures. Pensez vous à d'autres types d'images pour compléter la base (images de simulation, photographies de vues extérieures...) ?

Pour l'instant, le résultat de la recherche se limite à des images, souhaitez vous d'autres résultats (avoir des informations sur le bâtiment représenté, visualiser toutes les images représentant un même bâtiment...)?

Day@mbiance propose trois modes de navigation. Pensez-vous à d'autres modes que vous trouvez plus pertinents (Cover flow, mur d'images, deux graphes simultanés...)?

ANNEXE 10. Articles publiés dans des conférences internationales avec comité de lecture et publication des actes

- 2010** • *Conception collaborative d'une esquisse à l'aide d'un dispositif numérique de design architectural.*
Pierre Fixmer, Salma Chaabouni, Nicolas Gregori, Christian Brassac
SCAN'10 - Séminaire de Conception Architecturale Numérique
Marseille (France), 9-10 décembre, 2010.
- 2009** • *Utilisation d'une collection de références pour assister la conception des ambiances lumineuses*
Salma Chaabouni, Jean-Claude Bignon, Gilles Halin
SCAN'09 – Séminaire de Conception Architecturale Numérique. Conception numérique et approches environnementales
Nancy (France), 14-15 mai, 2009.
- 2008** • *Luminous ambience design, Navigation and reasoning by photographic images for formulation of intentions*
Salma Chaabouni, Jean-Claude Bignon, Gilles Halin
DDSS - 9th International Conference on Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning
Netherland, 7-10 Juillet, 2008.
- *Supporting ambience design with visual references. Formulation of intentions*
Salma Chaabouni, Gilles Halin, Jean-Claude Bignon
Conférence eCAADe 2008 - Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe, Antwerp (Belgique), 17-19 Septembre, 2008.
- *Conception des ambiances lumineuses. Navigation et raisonnement par l'image pour la formulation des intentions*
Salma Chaabouni, Gilles Halin, Jean-Claude Bignon
Colloque Faire une ambiance, Grenoble (France), 10-12 septembre, 2008.
- 2007** • *Première étape vers une navigation référentielle par l'image pour l'assistance à la conception des ambiances lumineuses*
Chaabouni S., Halin G., Bignon J.-C
H2PTM'07 - Hypertextes, Hypermédiats, Hammamet (Tunisie) 29-31 octobre, 2007.
- *Recherche de références par l'image dédiée à l'assistance à la conception architecturale*
Chaabouni S., Halin G., Bignon J.-C.
Scan'07, Séminaire de Conception Architecturale Numérique, Liège (Belgique), 10-11 mai, 2007.

Références bibliographiques

- Adcock C. E., (1990), *James Turrell: the art of light and space*, University of California Press, California, 272 pp.
- AFNOR, (1987), *Vocabulaire de la documentation, Norme NF Z 43-100*.
- AFNOR, (1996), *Règles d'établissement des thésaurus monolingues, Norme NF Z 47-100*.
- Aitchison J., Gilchrist A., (1992), *Construire un thésaurus : manuel pratique*, ADBS éditions Paris, 217 pp.
- Amphoux P., (2004), "Pour une recherche impliquée", *Ambiances en débats*, A la Croisée, Bernin (Isère), pp. 101-114.
- Arnheim R., (2004), *Visual thinking*, University of California Press, California, 352 pp.
- Assfalg J., Pala P., (2000), "Querying byPhotographs: A VR Metaphor for Image Retrieval", *Multimedia, IEEE*, Vol. 7, No. 1, pp. 52-59.
- Augoyard J.-F., (2004), "Vers une esthétique des ambiances ", *Ambiances en débat*, A la Croisée, Bernin (Isère), pp. 17-30.
- Augoyard J.-F., (2007), "A comme Ambiances", *Les Cahiers de la recherche architecturale et urbaine*, N°. 20/21, Mars, pp. 33-37.
- Aymard G., (2010), *Photo D'arcitecture*, Eyrolles, Paris, 130 pp.
- Baeza-Yates R., Ribeiro-Neto B., (1999), *Modern Information Retrieval*, ACM Press, New York, 513 pp.

- Bahamon A., Pérez P., (2007), *Architecture animale, Analogies entre le monde animal et l'architecture contemporaine*, Analogies, L'inédite, Paris, 191 pp.
- Bahamon A., Pérez P., (2008), *Architecture minérale: Analogies entre le monde minéral et l'architecture*, Analogies, L'inédite, Paris, 191 pp.
- Baker N. V., Fanchiotti A., Steemers K., (1993), *Daylighting in Architecture: A European Reference book* James & James, London, 380 pp.
- Baltanas J., (2005), *Le Corbusier, parcours, parenthèses*, Marseille, 189 pp.
- Bannour H., (2009), "une approche sémantique basée sur l'apprentissage pour la recherche d'image par le contenu." *CORIA 2009-Conférence en Recherche d'Information et Applications*, Var (France), 5-7 mai, pp. 471-478.
- Barrière P., (1991), "Verre et papier glacé", *Architecture d'Aujourd'hui*, N°. 276, septembre, pp. 107-109.
- Barry A. M., (1997), *Visual intelligence : perception, image, and manipulation in visual communication*, State University of New York Press, Albany, New York, 425 pp.
- Barthes R., (1964), "Rhétorique de l'image", *Communications*, Vol., No. 4, pp. 40-51.
- Bauret G., (2005), *Approches de la photographie*, collection 128, numéro 5, Armand Colin, Paris, 128 pp.
- Baziz M., (2005), "Indexation conceptuelle guidée par ontologie pour la recherche d'information", *Thèse de doctorat*, Université Paul Sabatier, Institut de recherche en informatique de toulouse, Toulouse, 218 pp.
- Bernstein D., Champetier J.-P., Hamayon L., Mudri L., Traisnel J.-P., Vidal t., (2007), *Traité de construction durable*, Le Moniteur, Paris, 814 pp.
- Bessagnet M.-N., Kergosien E., Du Boisduzier A., (2007), "Vers une indexation sémantique d'images dans un fond iconographique territorialisé." *INFORSID 2007*, Perros-Guirec, France, 22-25 mai, pp. 327-343.
- Bielefeld B., El Khouli S., (2007), *Idée de projet*, Birkhäuser, Bâle, 84 pp.
- Bimbo A., (1999), *Visual Information Retrieval*, Morgan Kaufmann, Cambridge, 270 pp.
- Bonnardel N., Didierjean A., Marmèche E., (2003), "Analogie et résolution de problèmes", *Métaphores et Analogies*, Hermes, Paris, pp. 115-149.
- Bonnardel N., Marmèche E., (2005), "Towards supporting evocation processes in creative design: A cognitive approach", *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 63, No. 4, pp. 422-435.
- Borillo M., Goulette J. P., (2002), *Cognition et création: exploitations cognitives des processus de conception*, MARDAGA, Belgique, 400 pp.

- Boudon P., Deshayes P., Pousin F., Schatz F., (1994), *Enseigner la conception architecturale: cours d'architecturologie*, Les éditions de la Villette, Paris, 319 pp.
- Brassac C., (2000), "Intercompréhension et Communication@", *Modèles du discours en confrontation*, Berthoud, Anne-Claude / Mondada, Lorenza (éds), Berne, pp. 219-228.
- Brassac C., (2004), "Action située et distribuée et analyse du discours : quelques interrogations", *Cahiers de Linguistique Française*, N°. 26, pp. 251-268.
- Campello A., Bahamon A., Pérez P., (2007), *Architecture végétale: Analogies entre le monde végétal et l'architecture*, Analogies, L'inédite, Paris, 191 pp.
- Casakin H., (2004), "Visual Analogy as a Cognitive Strategy in the Design Process. Expert Versus Novice Performance", *Journal of Design Research*, Vol. 4, No. 2.
- Ching F. D. K., (1996), *Architecture: form, space, order*, Van Nostrand Reinhold, New York, 170-173 pp.
- Chupin J.-P., Léglise M., (1996), "Un carnet de schémas analogiques pour les phases préliminaires de la conception architecturale", *Sciences et Techniques de la conception (Journal of Design Sciences and Technology)*, Vol. 5, No. 2, pp. 23-44.
- Ciriani H., (1991), "Lumière de l'espace", *Architecture d'Aujourd'hui*, N°. 274, Avril, pp. 75-152.
- Conan M., (1990), *Concevoir un projet d'architecture*, L'Harmattan, Paris, 185 pp.
- Conan M., (1994), "Les jeux imbriqués de la conception architecturale", *Concevoir, Inventer, créer*, L'Harmattan, Paris, pp. 153-188.
- Corbusier L., (1977), *Vers une architecture*, Arthaud, Paris, 253 pp.
- Crédeville A., (2010), "La visualisation des résultats de recherche : une étude sociocognitive de la métaphore." *17ème Congrès de la SFSIC (Société Française des Sciences de l'Information et de la Communication)*, Dijon, 23-25 juin.
- Cross N., (2002), "Comprendre la pensée du concepteur", *Cognition et création: exploitations cognitives des processus de conception*, MARDAGA, Belgique, pp. 35-47.
- Dauzats M., (1994), *Le thésaurus de l'image : étude des langages documentaires pour l'audiovisuel*, ADBS éditions, Paris, 94 pp.
- Demers C. M., (1999), "Light: The power of images, a design methodology for architectural creation." *30 th Annual conference of the EDRA*, Orlando, Florida.
- Demers C. M., Hawkes D., (1994), "Typology of lights : a classification according to qualitative and quantitative aspects " *La Conférence Européenne sur la Performance Énergétique et la Qualité des Ambiances*, École Nationale des Travaux Publics de l'État (ENTPE), Lyon, 24-26 novembre.

- Deshayes P., (2002), "Peut-on produire des modèles d'opération de la conception? Perspectives et enjeux", *Cognition et création: exploitations cognitives des processus de conception*, MARDAGA, Belgique, pp. 167-196.
- Devillers C., (1991), "La lumière selon Kahn", *Architecture d'Aujourd'hui*, N°. 274, Avril, pp. 153-152.
- Do E. Y.-L., Gross M. D., (1995), "Drawing Analogies: finding visual references by sketching." *ACADIA*, Seattle, USA, pp 35-52.
- Do E. Y.-L., Gross M. D., Zimring C., (1999), "Drawing and design intentions, an investigation of freehand drawing conventions in design." *Design thinking research symposium*, Cambridge.
- Dubois P., (1990), *L'acte photographique*, Collection fac. image, Nathan, Paris, 309 pp.
- Durand J.-P., (2003), *La Représentation du projet : Approche pratique et critique*, Editions de la Villette, Paris, 256 pp.
- Edeline F., KLINKENBERG J.-M., MINGUET P., (1992), *Traité du signe visuel : pour une rhétorique de l'image*, Ed : Groupe μ (Liège) - Seuil, Paris, 516 pp.
- Elsen C., Leclercq P., (2008), ""SketSha" - The Sketch Power to Support Collaborative Design." *Proceedings of the 5th international conference on Cooperative Design, Visualization, and Engineering*, Calvia, Mallorca, Spain, pp. 20-27
- Estevez D., (2001), *Dessin d'architecture et infographie : l'évolution contemporaine des pratiques graphiques*, Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, 191 pp.
- Fauqueur J., Boujemaa N., (2003), "Recherche d'images par régions d'intérêt : segmentation grossière rapide et description couleur fine", *TSI. Technique et science informatiques*, Vol. 22, No. 9, pp. 1107-1138.
- Fernandez P., (2002), "Approches méthodologiques et modes opératoires dans le processus de conception architecturale", *Cognition et création: exploitations cognitives des processus de conception*, MARDAGA, Belgique, pp. 97-118.
- Ferrier J., (2008), *Architecture=durable*, Picard, Paris, 264 pp.
- Gallas A., Bur D., Halin G., (2011), "Daylight and energy in the early phase of architectural design process." *CAADRIA 2011, The 16th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia*, Newcastle, Australia, April, pp. 27-30.
- Gallina J.-M., (2006), *Les représentations mentales*, Les Topos, Dunod, Paris, France, 124 pp.
- Gardner H., (1992), *Multiple intelligence : the theory in practice*, Basic books Editions, New York, 320 pp.
- Gentner D., (1983), "Structure-mapping: A theoretical framework for analogy", *Cognitive science*, Vol. 7, No. 2, pp. 155-170.

- Gero J., Grace K., Saunders R., (2008), "Computational analogy making in designing: A process architecture." *CAADRIA 2008 - the 13th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia*, Chiang Mai, Thailand, April, pp. 153-160.
- Gero J., Maher M., (1991), "Mutation and analogy to support creativity in computer-aided design." *CAAD Futures '91*, ETH, Zurichin GN Schmitt (ed), pp. 241-249.
- Goldschmidt G., (1994), "On visual design thinking: the vis kids of architecture", *Design Studies*, Vol. 15, No. 2, pp. 158-174.
- Goldschmidt G., (1995), *Visual display for design : Imagery, analogy and databases of visual images » in Visual Databases in Architecture*, Koutamanis A., Timmermans H., Vermeulen I., Aldershot, Avebury.
- Goldschmidt G., Smolkov M., (2006), "Variances in the impact of visual stimuli on design problem solving performance", *Design Studies*, Vol. 27, No. 5, pp. 549-569.
- Groot E., Paule B., (2002), "DIAL-Europe: New Functionality's for an Integrated Daylighting Design Tool." *6th Int. Conf. on Design Support Systems in Architecture and Urbanism Planning*, Landgoed Avegoor, juillet.
- Grosjean S., Brassac C., (1997), "L'émergence de l'objet : de l'objet cognitif à l'objet social " *in Les objets en conception, actes de OI Design'97*, Caen101-117.
- Grundmann U., Arnheim R., (2001), "The Intelligence of Vision: An Interview with Rudolf Arnheim", Cabinet, N°. 2 Mapping Conversation Spring.
- Guibert D., (1987), *Réalisme et architecture Architecture + Recherches*, Pierre Mardaga, Bruxelles, 179 pp.
- Guibert D., (1992), "Du jeu des références et de leur valeur dans la description d'un matériel génératif de la projection en architecture", Rapport de recherche PCA/BRA.
- Halin G., (1989), "Apprentissage pour la recherche interactive et progressive d'images: processus Exprim et prototype Rivage", *Thèse de doctorat*, Faculté des sciences Nancy 1, Centre de recherche en Informatique de Nancy, Nancy.
- Hecht E., (2003), *Physique*, T Becherrawy and Joël Martin (translator), Editions de Boeck Université, Bruxelles, (Chapitre 24 et 25), 905-964 pp.
- Heylighen A., (2000), "In case of architectural design, critique and praise of case-Based Design in architecture", *Thèse de doctorat*, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, 306 pp.
- Heylighen A., Neuckerman H., (2002), "Are architectes natural case-based designers? Experts speaking", *Design Journal*, Vol. 5, No. 2, pp. 8-22.
- Heylighen A., Neuckermans H., (2000), "DYNAMO: A Dynamic Architectural Memory On-line", *Educational Technology & Society*, Vol. 3, No. 2, pp. 86-95.

- Holyoak K. J., Thagard P., (1999), *Mental Leaps, Analogy in creative thought*, MIT Press, Cambridge, 320 pp.
- Howard T. J., Culley S. J., Dekoninck E., (2008), "Describing the creative design process by the integration of engineering design and cognitive psychology literature", *Design Studies*, Vol. 29, No. 2, pp. 160-180.
- Hudon M., (1994), *Le thésaurus : conception, élaboration, gestion*, ASTED, Montréal, 219 pp.
- Huot S., (2005), "Une nouvelle approche pour la conception créative: De l'interprétation du dessin à main levée au prototypage d'interactions non-standard", *Thèse de doctorat*, École Nationale Supérieure des Techniques Industrielles et des Mines de Nantes, École doctorale sciences et technologies de l'information et des matériaux, Nantes.
- IEA I. E. A., (1999), "Survey simple design tools", Stuttgart.
- IEA I. E. A., (2000), *Daylight in Buildings: A Source Book on Daylighting Systems and Components* Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkley.
- Jodidio P., (2007), *Calatrava : Santiago Calatrava complete works 1979-2007*, B. Taschen, Köln, 518 pp.
- Joly M., (1993), *Introduction à l'analyse de l'image*, Éditions Nathan, Paris, France, 128 pp.
- Jungmann J.-P., (1995), *OMBRE ET LUMIÈRE, un manuel de tracé et de rendu qui considère l'architecture comme une machine optique*, Savoir-faire de l'architecture, Les éditions de La Vilette, France, 151 pp.
- Kacher S., (2005), "Proposition d'une méthode de référencement par l'images pour assister la conception architecturale : Application à la recherche d'ouvrages", *Thèse de doctorat*, Institut National Polytechnique de Lorraine, CRAI - Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie, Nancy, 236 pp.
- Kacher S., Halin G., Bignon J.-C., Humbert P., (2005), "A method for Constructing a Reference Image Database to Assist with Design Process. application to the Wooden Architecture Domain.", *International Journal of Architectural Computing*, Vol. 3, No. 2, pp. 227-243.
- Kahn L. I., (1975), *Light is the theme : Louis I. Kahn and the Kimbell Art Museum*, Kimbell Art Fondation, Texas, 79 pp.
- Keefe J. M., (1990), "The image as document : descriptive programs at Rensselaer", in *Library Trends*, Vol. 34, No. 4, pp. 659-681. http://www.ideals.illinois.edu/bitstream/handle/2142/7695/librarytrendsv38i4d_opt.pdf?sequence=1
- Koessler D., (2006), "Lumière et architecture", *PERSPECTIVES: Bulletin de l'actualité architecturale, paysagère et urbaine de Moselle*, N°. 39, Décembre, pp. 4-7.
- Lacomme D., (1993), *La lumière dans le dessin et la peinture*, BORDAS, Paris, 128 pp.

- Lan L. T., Boucher A., Thonnat M., (2006), "An interface for image retrieval and its extension to video retrieval." *The Third National Symposium on Research, Development and Application of Information and Communication Technology (ICT. rda'06)*, Hanoi (Vietnam), October.
- Lassance G., (1995), "Les procédures référentielles et leur rôle dans la conception des ambiances lumineuses du projet architectural " *Rencontre des doctorants des écoles d'architecture du sud de la France*, École d'architecture de Marseille-Luminy.
- Lassance G., (1998), "Analyse du rôle des références dans la conception : éléments pour une dynamique des représentations du projet d'ambiance lumineuse en architecture", *Thèse de doctorat*, Université de Nantes (ISITEM), GRECO-Groupe de Recherche Environnement Conception, Nante, 321 pp.
- Lawson B., (1994), *Design in Mind*, Architectural Press, Oxford, 146 pp.
- Lawson B., (2006), *How designers think*, Elsevier, Great Britain, 321 pp.
- Lebahar J.-C., (1983), *Le dessin d'architecte : simulation graphique et réduction d'incertitude*, Editions Parenthèses, France, 134 pp.
- Leclercq P., Heylighen A., (2002), "5,8 Analogies per hour : a designer's view on analogical reasoning." *AID'02 - Artificial Intelligence in Design*, Cambridge, UK, July.
- Liao Y.-Y., (2009), "Some phenomena of analogical thinking in design." *Caadria2009 - 14th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia*, Yunlin (Taiwan), 22-25 April.
- Liébard A., De Herde A., (2005), *TRAITÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME BIOCLIMATIQUE concevoir, édifier et aménager avec le développement durable*, Observ'ER, Le Moniteur, Paris, 736 pp.
- Main J., Dillon T., Shiu S., (2000), "A Tutorial on Case-Based Reasoning", *Soft Computing in Case Based Reasoning*, Springer-Verlag, London, UK, pp. 1-28.
- Malaga R. A., (2000), "The effect of stimulus modes and associative distance in individual creativity support systems", *Decision Support Systems*, Vol. 29, No. 2, pp. 125-141.
- Maniez J., (1999), "Des classifications aux thésaurus, du bon usage des facettes", *Documentaliste-Science de l'information*, Vol. 36, No. 4-5, pp. 249-262.
- Marda N., (1997), "Visual Design Thinking", in *STOA - Architectural Review of EAAE*, Vol., No. 2, pp. 42-53.
- Mascaro F., (2004), "Images de synthèse, vers une nouvelle interface entre maîtres d'oeuvre et maîtres d'ouvrage", *Archi CREE*, N°. 312, Janvier, pp. 128-129.
- Méaux D., (1992), "La photographie et le temps, le déroulement temporel dans l'image photographique", Université d'Aix-en-provence, Faculté de Lettres et de Sciences Humaines, Aix en Provence, 373 pp.

- Melot M., (2001), "IMAGE", *Dictionnaire encyclopédique de l'information et de la documentation*, Nathan, Amsterdam, pp. 277-282.
- Mende K., (LPA) L. P. A., (2000), *Designing with light and shadow*, Images Publishing, Australia, 184 pp.
- Mezaris V., Kompatsiaris I. K., Strintzis M. G., (2004), "Region-based Image Retrieval using an Object Ontology and Relevance Feedback", *Eurasip Journal on applied signal processing*, Vol. 2004, No. 6, pp. 886-901.
- Millet M., (1996), *Light revealing architecture*, John Wiley et Sons, Canada, 183 pp.
- Morin E., (1986), *La méthode: Tome 3. La connaissance de la connaissance*, Editions du Seuil, Paris, 249 pp.
- Nakapan W., (2003), "Recherche d'informations par l'image, application à la recherche interactive de produits du bâtiment ", *Thèse de doctorat*, Institut National polytechnique de Lorraine, CRAI : Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie, Nancy, 244 pp.
- Nakazato M., Manola L., Huang T. S., (2003), "ImageGrouper: a group-oriented user interface for content-based image retrieval and digital image arrangement", *Journal of Visual Languages & Computing*, Vol. 14, No. 4, pp. 363-386.
- Narboni R., (2006), *Lumière et ambiances : concevoir des éclairages pour l'architecture et la ville*, Le Moniteur, Paris, 244 pp.
- Oxman R., (1994), "Precedents in design : a computational model for the organization of precedent knowledge ", in *Design Studies*, Vol. 2, No. 15, pp. 141-157.
- Oxman R., (2002), "The thinking eye: visual re-cognition in design emergence", *Design Studies*, Vol. 23, No. 2, pp. 135-164.
- Panofsky E., (1967), *Essais d'iconologie. Thèmes humanistes dans l'art de la Renaissance*, Collection Bibliothèque des Sciences Humaines, Gallimard, 394 pp.
- Paolucci R., (1998), "The effects of cognitive style and knowledge structure on performance using a hypermedia learning system", *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, Vol. 7, No. 2-3, pp. 123-150.
- Pasman G.-J., (2003), "Designing with precedents", *Thesis*, Delft University of Technology, Delft, 222 pp.
- Paule B., (2002), "La lumière dans la peinture et dans la littérature", *Support de cour*, Faculté de l'environnement naturel architectural et construit, Lausanne, pp. 19.
- Pauly D., (1980), *Ronchamp, lecture d'une architecture*, Ophrys, Paris, 220 pp.
- Pauly D., (1997), *Le Corbusier : la chapelle de Ronchamp*, Birkhäuser, Bâle, 137 pp.
- Pizza A., (1999), *Alberto Campo Baeza*, Editorial Gustavo Gili, Barcelone, 173 pp.

- Pomart P.-D., Sutter E., (2001), "INDEXATION", *Dictionnaire encyclopédique de l'information et de la documentation*, Nathan, Amsterdam, pp. 284-287.
- Porada S., (1993), "Imaginer l'espace et spatialiser l'imaginaire. Nouvelles technologies de visualisation en conception architecturale", *Réseaux*, Vol. 11, No. 61, pp. 49-66.
- Porada S., (2005), "L'instrumentation de la création architecturale innovante." *Scan'05 - Séminaire de conception architecturale numérique*, Paris, France.
- Prost R., (1992), *Conception architecturale : une investigation méthodologique*, l'Harmattan, Paris, 190 pp.
- Reinhart C. F., Bourgeois D., Dubrous F., Laouadi A., Lopez P., Stelescu O., (2007), "Daylight 1-2-3 - A state-of-the-art daylighting/energy analysis software for initial design investigations." *Proceedings of the Buildings Simulation 2007 (IBPSA)*, Beijing, China, 3-6 September.
- Reiter S., De Herde A., (2003), *L'éclairage naturel des bâtiments*, Presses universitaires de Louvain, Louvain-la-Neuve, 265 pp.
- Safin S., Boulanger C., Leclercq P., (2005), "A Virtual Desktop's First Evaluations for An Augmented Design Process." *Virtual Concept 2005*, Biarritz, France, 8-10 November.
- Salton G., Mc Gill M. J., (1983), *Introduction to Modern Information Retrieval*, Mc Graw-Hill, International company New York.
- Scaletsky C. C., (2003), "Rôle des références dans la conception initiale en architecture : contribution au développement d'un système ouvert de références au projet d'architecture, le système "Kaléidoscope" ", *Thèse de doctorat*, Institut National polytechnique de Lorraine, CRAI : Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie, Nancy, 236 pp.
- Schank R. C., Abelson R. P., (1977), *Scripts, plans, goals and understanding*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New jersey, USA, 256 pp.
- Shatford S., (1986), "Analyzing the Subject of a Picture, a theoretical approach", *Cataloging & Classification Quarterly*, Vol. 6, No. 3, pp. 39-62.
- Shatford S., (1994), "Some Issues in the Indexing of Images", *Journal of the american society for information science*, Vol. 45, No. 8, pp. 583-588.
- Siret D., (1997), "Propositions pour une approche déclarative des ambiances dans le projet architectural, Application à l'ensoleillement", *École d'Architecture de Nantes*, Laboratoire CERMA URA CNRS 1581, Nantes.
- Smeulders A. W. M., Gupta A., (2000), "Content-Based Image Retrieval at the End of the Early Years", *IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE*, Vol. 22, No. 12, pp. 1349-1380.
- Tixier N., (2001), "Morphodynamique des ambiances construites", *Thèse de doctorat*, Université de Nantes - École polytechnique de l'Université de Nantes, CRESSON, Grenoble, 391 pp.

- Tornay N., (2010), "Vers des outils d'aide à la conception pour intégrer les dimensions techniques, écologiques et sensibles des matériaux de construction", V, Université de Toulouse, LMDC/INSA et LRA/ENSA, Toulouse, 400 pp.
- Tourre V., (2007), "Simulation inverse de l'éclairage naturel pour le projet architectural", *Thèse de doctorat*, Université de Nantes, Ecole doctorale Mécanique, Thermique et Génie civil de Nantes, Nantes, 245 pp.
- Tourre V., Martin J.-Y., Hégron G., (2008), "An inverse daylighting model for CAAD." *SCCG '08: Proceedings of the 24th Spring Conference on Computer graphic*, Budmerice Castle, Slovak Republic, 2008, pp. 95-102.
- Tricot A., Tricot M., (2000), "Un cadre formel pour interpréter les liens entre utilisabilité et utilité des systèmes d'information." *Colloque Ergo-IHM 2000*, Biarritz, 3-6 octobre, pp. 195-202.
- Ullman D. G., (2003), *The mechanical design process*, McGrawHill (Third Edition), New York, 415 pp.
- Van Slype G., (1987), *Les langages d'indexation : conception, construction et utilisation dans les systèmes documentaires*, Les éditions d'organisation, Paris, 277 pp.
- Veltkamp R. C., Tanase M., (2002), "Content-Based Image Retrieval Systems: A Survey", Utrecht University, , 62 pp.
- Vézina K., (1998), "Survol du monde de l'indexation des images", *Cursus*, Vol. 4, No. 1. <http://www.ebsi.umontreal.ca/cursus/vol4no1/vezina.htm>
- Vitruve, (1986), *Les dix livres d'architecture de Vitruve*, Claudius Perrault and André Dalmas (translator), Errance, Paris, 287 pp.
- Zeiler W., Savanovic P., Quanjel E., (2007), "DESIGN DECISION SUPPORT FOR THE CONCEPTUAL PHASE OF THE DESIGN PROCESS." *IASDR07, International Association of Societies of Design Research*, Hong Kong, 12-15 november.
- Zumthor P., (2006), *Penser l'architecture*, Birkhauser, Bâle, 95 pp.
- Zumthor P., (2008), *Atmosphères*, Birkhäuser, Berlin, 75 pp.

Table des illustrations

Liste des figures

Figure 1. Représentation d'une onde.....	19
Figure 2. Composition du spectre solaire [Bernstein <i>et al.</i> '07].....	20
Figure 3. Variations de la courbe solaire au cours de l'année [Reiter and De Herde '03]	23
Figure 4. Méthode de calcul de la position du soleil à un moment donné [Reiter and De Herde '03]	23
Figure 5. Représentation d'une « ambiance vécue ».....	26
Figure 6. Ambiance lumineuse vécue	27
Figure 7. Ambiance lumineuse conçue	27
Figure 8. Critères de l'architecture selon Alberti [Fernandez '02].....	28
Figure 9. Exemples de travaux de James Turrell intégrés à l'architecture.....	30
Figure 10: Vue de l'autel de La Chapelle de Ronchamp.....	31
Figure 11. Les dimensions d'usages, esthétique et technique dans la conception des ambiances lumineuses.....	33
Figure 12. Les étapes du processus de conception selon Prost [Prost '92].....	35
Figure 13. Facteur de Lumière de Jour.....	44
Figure 14. Simulation de la lumière en utilisant les modèles réduits.....	46
Figure 15. Exemples de résultats de simulation avec Radiance (1 ^{ère} ligne) et Ecotect (2 ^{ème} ligne).....	47
Figure 16. Exemple d'un local réel proche par ses caractéristiques au local décrit par l'utilisateur dans Dial-Europe	49
Figure 17. Propositions de solutions d'ouvertures à partir de l'interprétation des intentions du concepteur	50
Figure 18. Combinaison de deux images pour former une nouvelle ambiance.....	51
Figure 19. Calcul des nouvelles valeurs de gris suite à une combinaison de deux images pour traduire la nouvelle distribution de la lumière	51
Figure 20. Capture d'écran de la page d'accueil d'Audience	53

Figure 21. Le processus de conception et l'intégration des méthodes d'assistance à la conception des ambiances.....	54
Figure 22. Croquis dessiné par Le Corbusier (Carnets de croquis de Le Corbusier).....	56
Figure 23. Croquis dessiné par Alvar Aalto, The Viipuri Municipal Library [Millet '96].....	57
Figure 24. Croquis dessiné par Louis I Kahn, The Kimbell Art Museum [Millet '96].....	57
Figure 25. Dessins de Le Corbusier, Eglise saint-Pierre (Les carnets de croquis de Le Corbusier).....	58
Figure 26. Croquis dessinés par Alberto Campo Baeza [Pizza '99].....	58
Figure 27. Représentation schématique du rapport entre les connaissances/informations contre la liberté du concepteur [Ullman '03]	59
Figure 28. La contradiction entre influence/information dans les premières phases du processus de conception [Zeiler et al. '07].....	60
Figure 29. Le nid d'oiseau à l'origine de la forme de l'observatoire.....	65
Figure 30. Le comportement de certains oiseaux à l'origine du concept de l'œuvre	65
Figure 31. Santiago Calatrava et la référence au corps humain.....	66
Figure 32. Les tours de la chapelle de Ronchamp et la référence à la villa Adriana	66
Figure 33. La gargouille de la chapelle de Ronchamp et la référence au barrage de Chastang.....	67
Figure 34. Interactions cognitives des différents types d'images dans le développement des idées de conception.....	82
Figure 35. Mise en œuvre du raisonnement par références dans la conception	83
Figure 36. Schéma extrait des carnets de croquis de Le Corbusier représentant différentes activités dans l'évocation des observations antérieures.....	84
Figure 37. Raisonnement par les références : composantes et étapes	85
Figure 38. Comparaison entre les formes A, B et C	86
Figure 39. Les activités de la phase de recherche de situations sources évoluant selon un cheminement itératif.....	87
Figure 40. Les activités de la phase d'adaptation de sources à la cible évoluant selon un cheminement itératif.....	88
Figure 41. Phases du raisonnement par analogie évoluant selon un processus non-linéaire....	89
Figure 42. <i>Le processus de référenciation</i>	94
Figure 43. Représentation d'un cas dans DYNAMO.....	96
Figure 44. Interface DYNAMO, deux méthodes pour rechercher des cas.....	96
Figure 45. Interface de recherche de Image.idée, fiche du résultat de la recherche	99
Figure 46. Interface de « Analogie ».....	101
Figure 47. La page d'un carnet créée avec l'application « Analogie ».....	101
Figure 48. Images schématiques : traduisant le comportement la lumière naturelle	109
Figure 49. Dessin de Steven Holl rendant compte de l'ambiance lumineuse projetée.....	110
Figure 50. Exemple de deux images : l'une répondant et l'autre ne répondant pas au critère 1	

.....	115
Figure 51. Exemples d'images selon le critère 2	116
Figure 52. Exemples d'images selon le critère 3	116
Figure 53. Un exemple d'une image représentant un effet de contre jour.	117
Figure 54. <i>Un exemple d'une description sémantique des objets identifiés sur une image à partir des caractéristiques « bas niveau » [Bannour '09].</i>	119
Figure 55. Exemple de la profondeur de la hiérarchisation dans le thésaurus AAT.....	127
Figure 56. La structure de notre corpus d'images.....	127
Figure 57. Exemple de description d'une image selon les deux familles de descripteurs	128
Figure 58. Capture d'écran présentant les différentes composantes de l'outil iMage.....	131
Figure 59. Modèle de données utilisé dans iMage.....	132
Figure 60. Les champs d'indexation d'une image.....	132
Figure 61. Exemples d'images représentant un éclairage global (<i>à gauche</i>), un éclairage latéral (<i>au centre</i>) et un éclairage zénithal (<i>à droite</i>)	137
Figure 62. Exemples d'ouvertures zénithales : verrière (<i>à gauche</i>), puits de lumière (<i>au centre</i>), fenêtre de toit (<i>à droite</i>)	138
Figure 63. Exemples de matériaux de transmission : transparent (<i>à gauche</i>), translucide (<i>au centre</i>), coloré (<i>à droite</i>).....	139
Figure 64. Exemples de protections : masque extérieur (<i>à gauche</i>), élément architectural (<i>au centre</i>), protection ajoutée (<i>à droite</i>).....	141
Figure 65. Quatre types de surface : satinée, brillante, mate et satinée [Reiter and De Herde '03]	142
Figure 66. Exemples d'espaces : très lumineux (<i>à gauche</i>), sombre (<i>au centre</i>), très sombre (<i>à droite</i>).....	143
Figure 67. Exemples d'effets de lumière : la lumière souligne une direction (<i>à gauche</i>), la lumière déstructure l'espace (<i>au centre</i>), la lumière divise l'espace (<i>à droite</i>).....	144
Figure 68. Un extrait des photographies utilisées pendant les entretiens.....	145
Figure 69. Importance des aspects de caractérisation des ambiances selon les sujets.....	150
Figure 70. Récapitulatif pour tous les sujets.....	150
Figure 71. Importance des aspects de caractérisation des ambiances selon les images.....	151
Figure 72. Importance de l'aspect « taille d'espace » par rapport aux autres aspects	151
Figure 73. Démarche de travail pour la proposition d'un outil d'assistance à l'activité de référencement.....	163
Figure 74. Différentes méthodes de requêtes par jugement (<i>à gauche</i> : image.idée [Kacher '05], <i>à droite</i> : Vitalas)	166
Figure 75. Interface ImageGrouper.....	167
Figure 76. Visualisation par mur d'images.....	168
Figure 77. Visualisation par regroupement d'images autour de l'image requête [Lan et al. '06]	

.....	173
Figure 78. Visualisation d'images par regroupement proposée par Oskope.....	173
Figure 79. Capture d'écran de la visualisation en nuage tridimensionnel d'images.....	174
Figure 80. Visualisation de recherche de livre en utilisant « Touchgraph AmazonBrowser »	175
Figure 81. L'usage d'un graphe relationnel pour la visualisation des réseaux sociaux : Touchgraph facebookBrowser (à gauche), Vizster (au centre), Flickr graph (à droite)	176
Figure 82. Organisation des différentes zones de l'interface day@mbiance	183
Figure 83. Les transitions et échanges entre les différentes zones de day@mbiance.....	184
Figure 84. Boussole de navigation	185
Figure 85. Navigation dans la boussole : trois cas de figure possibles	185
Figure 86. La Mosaïque.....	186
Figure 87. Méthode de navigation dans la mosaïque.....	187
Figure 88. Deux mosaïques : mêmes requêtes, mais deux positions différentes de la boussole	189
Figure 89. Représentation vectorielle de deux images (I_1 et I_2) et d'une requête ($Q_{_}$) dans un espace composé de trois termes $t_{1__}$, $t_{2__}$ et t_3	191
Figure 90. Variation des épaisseurs des arcs selon le degré de similarité entre les images ...	193
Figure 91. Le Graphe.....	194
Figure 92. Méthode de navigation dans le graphe	194
Figure 93. Action de la boussole sur le graphe pour une même image : « dispositifs », et « effet ».....	196
Figure 94. Le bureau virtuel	202
Figure 95. Répartition des participants lors de la phase d'expérimentation	203
Figure 96. Capture d'écran de l'interface de SketSha.....	204
Figure 97. Déroulement de l'activité des six groupes de participants durant l'expérimentation	208
Figure 98. Retours des participants sur l'utilité de day@mbiance (question 3 du questionnaire)	210
Figure 99. Retours des participants sur la qualité des images références (questions 4 et 5).	210
Figure 100. Le projet proposé par le groupe 4. À gauche les croquis dessinés à l'étape 2, à droite, une simulation réalisée à l'étape 4.....	211
Figure 101. Le projet proposé par le groupe 3. À gauche les croquis dessinés à l'étape 2, à droite, une simulation réalisée à l'étape 4.....	211
Figure 102. Processus d'utilisation des modes de navigation par les six groupes de participants	212
Figure 103. Retours des participants sur la mosaïque (Questions 6, 7, 8 et 9 du questionnaire)	213

Figure 104. Retours des participants sur le graphe (Questions 10, 11 et 12 du questionnaire)	215
Figure 105. Retours des participants sur la complémentarité entre mosaïque et graphe (Questions 21, 22, 23 et 24 du questionnaire).....	217
Figure 106. Retours des participants sur la boussole de navigation	218
Figure 107. Le graphe visualisé par le groupe 3 et ayant participé au développement de l'idée du projet	220
Figure 108. Retours des participants sur la pertinence des catégories de la boussole	220
Figure 109. Pourcentage d'utilisation de chaque catégorie de la boussole	221
Figure 110. Retours des participants sur le rôle de l'album dans la manipulation de day@miance.....	221
Figure 111. Appréciation générale de l'outil day@mbiance et de son utilité	222
Figure 112. Une vue partielle du thésaurus Urbamet.....	233
Figure 113. <i>La lumière est d'essence divine</i>	238
Figure 114. La lumière est une force d'attraction.....	238
Figure 115. La lumière révèle la matière.....	239
Figure 116. La lumière qui distingue	240
Figure 117. La lumière qui relie.....	240
Figure 118. La lumière par la valeur	241
Figure 119. La lumière par la couleur (Martial Raysse: Paysage en 15 tons).....	242
Figure 120. La lumière matière (Pierre Soulage).....	243

Liste des tableaux

Tableau 1. Les phases du processus de conception architecturale et leurs objectifs préconisés par la loi MOP.....	35
Tableau 2. Différents modèles de processus de conception [Howard <i>et al.</i> '08]	36
Tableau 3. Les préoccupations des concepteurs selon les phases du processus de conception	37
Tableau 4. Phases, préoccupations et activités des concepteurs durant le processus de conception	40
Tableau 5. Les préoccupations des concepteurs dans la conception des ambiances lumineuses relativement aux phases du processus de conception architecturale.....	42
Tableau 6. Les deux phases du processus de raisonnement par analogie	88
Tableau 7. Phase de sélection d'image(s) référence(s), synthèse	91
Tableau 8. Différentes situations d'activation des références dans la phase de recherche	92
Tableau 9. Phase d'intégration de la connaissance dégagée des images références au projet, synthèse.....	93

Tableau 10. Phase de formulation des intentions de conception, synthèse	94
Tableau 11. Apport des outils étudiés par rapport aux phases de l'activité de référencement	103
Tableau 12. Définitions des effets de lumière retenus	157
Tableau 13. Différentes situations d'activation des références et critères à prendre en compte	164
Tableau 14. Synthèse des fonctionnalités nécessaires selon les exigences identifiées	170

Table des matières

REMERCIEMENTS	3
RESUME	5
SOMMAIRE	7
INTRODUCTION GENERALE	9
PROBLEMATIQUE DE RECHERCHE.....	9
CADRE DE RECHERCHE	10
ORGANISATION DU MEMOIRE	11
PARTIE I : Etat de l'art	15
La lumière naturelle dans la conception du projet et l'évocation des références dans les phases initiales du processus de conception	15
CHAPITRE 1. Étude de la prise en compte des ambiances lumineuses en éclairage naturel dans la conception architecturale	17
1.1 CONNAITRE LA LUMIERE NATURELLE.....	18
1.1.1 <i>Nature de la lumière</i>	18
1.1.2 <i>Composition du spectre solaire</i>	19
1.1.3 <i>Composition du spectre visible</i>	20
1.1.4 <i>Grandeurs photométriques</i>	21
1.1.5 <i>Sources de la lumière naturelle</i>	22
1.1.6 <i>Variabilité de la lumière naturelle</i>	22
1.2 AMBIANCE LUMINEUSE	24
1.2.1 <i>La notion d'ambiance architecturale</i>	24
1.2.2 <i>Ambiance lumineuse entre « vécue » et « conçue »</i>	27
1.2.3 <i>Les dimensions intervenant dans la conception des ambiances lumineuses</i>	28
1.2.3.1 Dimension d'usages.....	29
1.2.3.2 Dimension esthétique	30
1.2.3.3 Dimension technique	31
1.2.3.4 Dimensions d'usages, esthétique et technique et approches de conception des ambiances lumineuses....	32
1.3 LES AMBIANCES LUMINEUSES DANS LA CONCEPTION ARCHITECTURALE	33
1.3.1 <i>Les caractéristiques des différentes phases du processus de conception</i>	34
1.3.2 <i>Prendre en compte l'ambiance lumineuse dans la conception de projet architectural</i>	41
1.4 ASSISTER LA CONCEPTION DES AMBIANCES LUMINEUSES	43
1.4.1 <i>Méthodes orientées décisions</i>	43
1.4.1.1 Les méthodes de calcul simplifiées	44
1.4.1.2 Les maquettes.....	45
1.4.1.3 Les outils de simulations numériques.....	46
1.4.2 <i>Méthodes orientées solutions</i>	49
1.4.3 <i>Méthodes orientées idées</i>	50
1.4.4 <i>Méthodes orientées connaissances et apprentissage</i>	51
1.4.5 <i>Synthèse</i>	53
1.5 LES INTENTIONS D'AMBIANCE EN PHASE D'ETUDE D'ESQUISSE	55
1.5.1 <i>Les intentions d'ambiances lumineuses</i>	55
1.5.2 <i>Caractéristiques de la phase d'esquisse</i>	58
1.6 CONCLUSION DU CHAPITRE	60

CHAPITRE 2. Références et activité de référencement dans la conception architecturale	63
2.1 LES CARACTERISTIQUES DES REFERENCES DANS LA CONCEPTION	64
2.1.1 <i>Référence opératoire et référence implicite</i>	67
2.1.2 <i>La multitude des domaines d'où proviennent les références</i>	67
2.1.3 <i>Les références intra-domaine dans l'activité de conception du projet</i>	69
2.2 DEMARCHES COGNITIVES DANS L'EVOCATION DES REFERENCES EN CONCEPTION	71
2.2.1 <i>Raisonnement par analogie</i>	71
2.2.2 <i>Raisonnement à base de cas</i>	73
2.3 LES IMAGES REFERENCES	74
2.4 IMAGES ET PENSEE VISUELLE EN CONCEPTION	76
2.4.1 <i>Les images perçues, lues en perception</i>	77
2.4.2 <i>Les images mentales</i>	79
2.4.3 <i>Les images produites en conception : dessins et croquis</i>	80
2.4.4 <i>Synthèse</i>	81
2.5 PROCESSUS DE RAISONNEMENT DANS L'EVOCATION DES IMAGES REFERENCES	82
2.5.1 <i>Démarche de raisonnement par les références, cas général</i>	83
2.5.2 <i>Processus de raisonnement par analogie</i>	85
2.5.3 <i>Interprétation orientée, similarité située</i>	89
2.6 PROCESSUS DE L'ACTIVITE DE REFERENCIATION PAR L'IMAGE : SYNTHESE	90
2.6.1 <i>Phase de recherche d'image(s) référence(s)</i>	91
2.6.2 <i>Phase d'intégration de la connaissance dégagée des images références au projet</i>	92
2.6.3 <i>Phase de formulation des intentions de conception</i>	93
2.7 METHODES ET OUTILS D'ASSISTANCE A L'ACTIVITE DE REFERENCIATION	95
2.7.1 <i>DYNAMO</i>	95
2.7.2 <i>Image.Ideé</i>	98
2.7.3 <i>Le système « Analogie »</i>	99
2.7.4 <i>Synthèse</i>	102
2.8 ÉLÉMENTS D'UNE METHODE D'ASSISTANCE A L'ACTIVITE DE REFERENCIATION	104
PARTIE II : Proposition.....	105
Vers la proposition d'une méthode d'assistance au processus de référencement dans l'activité de formulation des intentions d'ambiances lumineuses	105
CHAPITRE 3. Constitution du corpus d'images références : sélection des images et indexation	107
3.1 SELECTION DES IMAGES REFERENCES.....	108
3.1.1 <i>Sélection des réalisations architecturales</i>	108
3.1.2 <i>Sélection des images</i>	109
3.1.2.1 <i>Types d'images et représentation des ambiances lumineuses</i>	109
3.1.2.2 <i>Les images photographiques dans la représentation de l'architecture</i>	111
3.1.2.3 <i>Limites de l'image photographique comme support à l'étude des ambiances lumineuses</i>	113
3.1.2.4 <i>Choix des images photographiques pertinentes pour la représentation des ambiances lumineuses</i>	115
3.2 METHODES D'INDEXATION D'IMAGES	117
3.2.1 <i>Indexation par le contenu graphique</i>	118
3.2.2 <i>Indexation par le contenu sémantique</i>	119
3.2.2.1 <i>Différents modes de l'indexation sémantique</i>	120
3.2.2.2 <i>Choix des termes d'indexation</i>	120
3.2.2.3 <i>Types de vocabulaires d'indexation</i>	122
3.2.2.4 <i>Syntaxe</i>	122
3.2.3 <i>Le thésaurus pour la structuration du vocabulaire d'indexation</i>	122
3.2.3.1 <i>Présentation</i>	122
3.2.3.2 <i>Le thésaurus à facettes</i>	125
3.3 VERS UNE INDEXATION SEMANTIQUE ET MANUELLE DES IMAGES REFERENCES	127
3.4 MISE EN ŒUVRE DE LA METHODE DE CONSTITUTION DU CORPUS D'IMAGES DANS UN OUTIL.....	130
3.5 CONCLUSION DU CHAPITRE	133

CHAPITRE 4. Élaboration d'un thésaurus relatif au domaine des ambiances lumineuses	135
4.1 VOCABULAIRE DE CARACTERISATION DES AMBIANCES LUMINEUSES.....	136
4.1.1 <i>Exploration de la littérature</i>	136
4.1.1.1 Dispositifs lumineux.....	137
4.1.1.2 Surfaces intérieures.....	141
4.1.1.3 Usages.....	142
4.1.1.4 Quantités de lumière.....	142
4.1.1.5 Effets de lumière.....	143
4.1.2 <i>Entrevues avec les professionnels du domaine</i>	144
4.1.2.1 Analyse et interprétation du vocabulaire utilisé.....	145
4.1.2.2 L'importance de chacun des aspects dans la description des ambiances lumineuses représentées.....	149
4.1.2.3 Autres remarques.....	151
4.2 STRUCTURATION DU THESAURUS.....	153
4.2.1 <i>Facettes et concepts</i>	153
4.2.1.1 La facette « dispositifs lumineux ».....	153
4.2.1.2 La facette « surfaces intérieures ».....	155
4.2.1.3 La facette « quantité de lumière ».....	156
4.2.1.4 La facette « usage ».....	156
4.2.1.5 La facette « effet de lumière ».....	157
4.2.2 <i>Les relations sémantiques entre les concepts</i>	159
4.3 CONCLUSION DU CHAPITRE.....	160
CHAPITRE 5. Exploration et manipulation des images références pour l'assistance à l'activité de référenciation	161
5.1 VERS UNE METHODE D'EXPLORATION DEDIEE A UNE ACTIVITE DE REFERENCIATION	162
5.1.1 <i>Enjeux et objectifs</i>	162
5.1.2 <i>Démarche de travail</i>	162
5.2 PHASE DE RECHERCHE D'IMAGE(S) REFERENCE(S).....	163
5.2.1 <i>Exigences</i>	163
5.2.2 <i>Étude des méthodes de recherche d'images</i>	165
5.2.3 <i>Proposition</i>	168
5.3 PHASE D'INTEGRATION DE LA CONNAISSANCE DEGAGEE DES IMAGES REFERENCES AU PROJET	171
5.3.1 <i>Exigences</i>	171
5.3.2 <i>Étude des méthodes de visualisation d'images permettant le rapprochement et la comparaison d'images</i>	172
5.3.2.1 Visualisation par regroupement d'images.....	172
5.3.2.2 Visualisation par graphe relationnel.....	174
5.3.3 <i>Proposition</i>	176
5.4 FAVORISER L'INTERPRETATION ORIENTEE	178
5.4.1 <i>Exigences</i>	178
5.4.2 <i>Proposition</i>	179
5.5 PHASE DE FORMULATION DES INTENTIONS DE CONCEPTION	180
5.5.1 <i>Exigences</i>	180
5.5.2 <i>Proposition</i>	181
5.6 MANIPULATION GENERALE D'UN OUTIL D'AIDE A L'ACTIVITE DE REFERENCIATION.....	181
5.6.1 <i>Exigences</i>	181
5.6.2 <i>Proposition</i>	182
5.7 DAY@MBIANCE : UN OUTIL D'AIDE A L'ACTIVITE DE REFERENCIATION PAR LES IMAGES REFERENCES	182
5.7.1 <i>Présentation générale de l'interface</i>	182
5.7.2 <i>Interactions entre les différentes zones</i>	183
5.7.3 <i>La boussole de navigation</i>	185
5.7.3.1 <i>Présentation</i>	185
5.7.3.2 <i>Fonctionnement</i>	185
5.7.4 <i>La Mosaique</i>	186
5.7.4.1 <i>Présentation</i>	186
5.7.4.2 <i>Méthode de navigation dans la mosaïque</i>	187
5.7.4.3 <i>Calcul de similarité entre les images et la requête</i>	190
5.7.5 <i>Le Graphe</i>	192
5.7.5.1 <i>Présentation</i>	192

5.7.5.2	Méthode de navigation dans le graphe	194
5.7.5.3	Calcul de similarité entre les images	196
5.7.6	<i>L'implémentation du prototype</i>	196
5.8	CONCLUSION DU CHAPITRE	197
CHAPITRE 6. Validation de la proposition.....		199
6.1	PRESENTATION DE L'EXPERIMENTATION.....	200
6.1.1	<i>Les objectifs</i>	200
6.1.2	<i>Le protocole d'expérimentation</i>	200
6.1.2.1	Choix d'une méthode.....	200
6.1.2.2	Choix d'un dispositif matériel.....	201
6.1.2.3	Cadre de l'expérimentation et profil des participants.....	202
6.1.2.4	Déroulement de l'expérimentation	203
6.1.3	<i>Traitement des données</i>	205
6.2	RESULTATS DE L'EXPERIMENTATION	206
6.2.1	<i>Apports de l'outil day@mbiance dans la formulation des intentions des concepteurs</i>	206
6.2.1.1	Observation de l'activité des participants	206
6.2.1.2	Retours des participants.....	209
6.2.2	<i>Validation de la mosaïque et du graphe</i>	212
6.2.2.1	Utilisation de la mosaïque	213
6.2.2.2	Utilisation du graphe	215
6.2.2.3	Complémentarité entre l'utilisation de la mosaïque et du graphe	216
6.2.3	<i>Validation de la boussole de navigation</i>	218
6.2.3.1	Utilisation de la boussole	218
6.2.3.2	Validation des catégories de la boussole.....	220
6.2.4	<i>Validation de l'album</i>	221
6.2.5	<i>Appréciation générale de day@mbiance</i>	222
6.3	BILAN ET LIMITES DE L'EXPERIMENTATION	222
CONCLUSION GENERALE		225
ANNEXES		231
Annexe 1.	Le thesaurus <i>Urbamet</i>	233
Annexe 2.	Ouvrages étudiés dans l'identification du vocabulaire de caractérisation des ambiances.....	234
Annexe 3.	La lumière dans la peinture.....	237
Annexe 4.	Les 16 images utilisées lors des entretiens avec les architectes	244
Annexe 5.	Retranscription des entretiens avec les architectes.....	248
Annexe 6.	Liste exhaustive des termes utilisés pendant les entretiens.....	264
Annexe 7.	Exemple des données EXIF d'une image exportée à partir de l'outil d'indexation « iMage »	266
Annexe 8.	Sujet de conception – Validation du prototype Day@mbiance.....	267
Annexe 9.	Questionnaire - Validation du prototype Day@mbiance.....	269
Annexe 10.	Articles publiés dans des conférences internationales avec comité de lecture et publication des actes	276
Références bibliographiques		277
Table des illustrations.....		287
LISTE DES FIGURES.....		287
LISTE DES TABLEAUX.....		291
Table des matières.....		293

AUTORISATION DE SOUTENANCE DE THESE
DU DOCTORAT DE L'INSTITUT NATIONAL
POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

o0o

VU LES RAPPORTS ETABLIS PAR :

**Monsieur François GUENA, Professeur, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Paris La
Villette**

Madame Marjorie MUSY, Ingénieur de Recherche, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes

Le Président de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, autorise :

Madame CHAABOUNI Salma

à soutenir devant un jury de l'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE,
une thèse intitulée :

**"Voir, Savoir, Concevoir. Une méthode d'assistance à la conception d'ambiances
lumineuses par l'utilisation d'images références. "**

en vue de l'obtention du titre de :

DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

Intitulé du doctorat : « **Sciences de l'Architecture** »

Fait à Vandoeuvre, le 07 octobre 2011

Le Président de l'I.N.P.L.,

F. LAURENT



Voir, savoir, concevoir. Une méthode d'assistance à la conception d'ambiances lumineuses par l'utilisation d'images références

Résumé : La lumière naturelle est une préoccupation forte dans la conception du projet architectural. Elle a une grande influence sur le confort visuel et la qualité architecturale des espaces intérieurs. Plusieurs méthodes et outils ont été développés pour assister les architectes dans la conception des ambiances lumineuses. L'analyse de ces différentes méthodes et outils montre qu'ils sont peu adaptés à l'activité de formulation des intentions des concepteurs durant les premières phases de conception.

Dans le cadre de cette thèse, notre objectif est d'améliorer ces premières phases de conception en apportant aux concepteurs une aide pour la formalisation de leurs intentions d'ambiances lumineuses. L'objectif poursuivi étant de faire de la lumière naturelle un fil conducteur dans le développement du projet architectural.

L'étude de la pratique des concepteurs durant les premières phases de conception fait apparaître qu'ils font fréquemment appel à des références jouant le rôle de dispositifs heuristiques. L'analyse des caractéristiques de ces références et de leur évocation montre que les images comme formes de référence favorisent l'expression des désirs, des souhaits et des intentions du concepteur. L'assistance à l'activité de référencement par les images serait donc une aide précieuse dans la formalisation des intentions pour la prise en compte de la lumière naturelle dans la conception de projet.

Nous développons une méthode fondée sur la constitution d'une base d'images références représentatives des ambiances lumineuses et sur un environnement de manipulation et exploration particulière de cette base. Pour ce faire, nous considérons d'une part le rôle de l'image-référence comme élément actif du raisonnement visuel et d'autre part, les aspects du processus de référencement notamment dans un mode de raisonnement analogique.

Cette méthode a été implémentée dans un outil prototype dénommé « day@mbiance ». Cet outil propose une base d'images composée de photographies illustrant des espaces intérieurs en éclairage naturel. Ces dernières sont indexées à partir d'un thésaurus original dédié aux « ambiances lumineuses ». L'outil, par ailleurs, expérimente différents modes de navigation par l'image qui sont définis de manière à stimuler les différentes activités cognitives dans chacune des phases du processus de référencement.

Enfin, la méthode développée a été testée lors d'une phase expérimentale qui a validé les éléments méthodologiques développés.

Mots-clés : Conception architecturale, ambiances lumineuses, formulation des intentions, images références, pensée visuelle, navigation par l'image, assistance à la conception

To learn, to see, to design. A method to assist luminous ambience design by using image references

Abstract : The natural light is a strong concern in the design of an architectural project. It has a great influence on visual comfort and architectural quality of interior spaces. Several methods and tools have been developed to assist architects in the design of bright atmospheres. Analysis of these different methods and tools showed that they are not well adapted to the designers activity during the early stages of design.

In this thesis, our objective is to enhance the early stages of design by providing designers with a support for the formalization of their intentions of bright atmospheres. The aim is to make natural light a thread in the development of the architectural project.

The study of the practice of designers during the early stages of design has shown that they frequently use references acting as heuristic devices. Analysis of the characteristics of these references and their evocation showed that images, as type of references, promote the expression of desires, wishes and intentions of the designer. Assistance to the activity of referring by the images would be a valuable aid in the formalization of intentions to include the natural light into the project design.

We developed a method based on developing an image database of representative references of bright atmosphere and supported with a handling environment and exploration of this particular base. To achieve this, we consider, in the one hand, the role of the reference-image as the active item of visual reasoning and, on the other hand, aspects of referring process, specially, in a mode of analogical reasoning.

This method has been implemented in a prototype tool called « day@mbiance ». This tool provides an image database composed of photographs of interior spaces with natural lighting. These images are indexed using an original thesaurus dedicated to « bright atmosphere ». The tool also experiments different modes of navigation through images that are defined in order to stimulate different cognitive activities in each stage of the referring process.

Finally, the method developed was tested in an experimental phase that validated the methodological elements developed.

Keywords : architectural design, luminous ambience, formulation of intentions, image references, visual thinking, navigation by images, design assistance