

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mohamed Khider – Biskra
Faculté des Sciences et de la technologie
Département : Architecture
Ref:.....



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم: الهندسة المعمارية
المرجع:.....

Mémoire présenté en vue de l'obtention
Du diplôme de
Magistère

Option : Architecture, Formes, Ambiances & Développement Durable

La conception architecturale par l'intention d'ambiances lumineuses

Présenté par :
BOURAF A Amel

Soutenu publiquement le : 06/07/2023

Devant le jury composé de :

MAZOUZ Said	Prof.	Université de Oum El Bouaghi	Président
ROUAG-SAFFIDINE Djamila	Prof.	Université de Constantine	Examinatrice
BELAKEHAL Azeddine	Prof.	Université de Biskra	Examineur
ZEMMOURI Nouredine	Prof.	Université de Biskra	Rapporteur

À la mémoire de ma mère

« Que Dieu t'accueille dans son vaste paradis

J'espère que tu es fière de moi de là où tu es... »

REMERCIEMENTS

J'aimerais en premier lieu remercier Allah qui m'a donné la volonté et le courage pour la réalisation de ce travail ;

Je remercie Monsieur Noureddine ZEMMOURI, qui a encadré mon travail ;

Je tiens ensuite à remercier mon cher père pour son soutien inconditionnel dont il a fait preuve depuis le début... Merci pour tout, si je suis ici aujourd'hui, c'est grâce à toi et à maman allah yarhamha !

Un remerciement tout particulier à mon cher mari, qui par sa patience, n'a cessé de me motiver tout au long de ce parcours ;

Sans oublier mes frères et sœurs : Wided, Billel et Hind ; que je remercie pour les encouragements qu'ils m'ont donnés.

Je souhaite remercier aussi tous les étudiants qui ont participé à mon enquête, et qui ont pris le temps de répondre à toutes mes questions.

TITRE : LA CONCEPTION ARCHITECTURALE PAR L'INTENTION D'AMBIANCES LUMINEUSES

La conception par l'intention d'ambiance lumineuse est une méthode de conception architecturale qui débute sa réflexion par l'ambiance et qui vise à créer une atmosphère lumineuse particulière pour le projet. Cela signifie que les architectes se concentrent tout d'abord sur la façon dont ils veulent que les gens se sentent dans l'espace en essayant de comprendre comment les différents éléments de l'espace peuvent affecter les sentiments et les sensations des occupants, et cela avant de s'occuper des autres aspects de la conception. En d'autres termes, cette approche permet aux concepteurs d'accorder une plus grande attention à l'expérience lumineuse que les occupants auront dans un espace, en plaçant l'accent sur la création d'une ambiance particulière.

La conception des ambiances lumineuses à l'aide des images photographiques est la ligne directrice de notre projet de recherche. Elles permettent de maintenir une logique architecturale et d'harmoniser les différents éléments de la conception. Notre projet de recherche s'articule autour de l'exploration, l'analyse et le traitement de la lumière véhiculée par l'image photographique numérique afin d'en explorer le potentiel. La méthodologie employée s'appuie sur la recherche développée par Demers (Demers, 1997). Nous nous intéressons aux ambiances lumineuses existantes à partir de photographies numériques mettant en scène des ambiances lumineuses. Notre projet de recherche propose, d'évaluer l'image photographique numérique, d'une part, comme outil d'aide à la conception des ambiances lumineuses, et d'autre part, comme outil support permettant des analyses et des traitements quantitatives et qualitatives de la lumière des espaces intérieurs.

Mots clés :

Conception architecturale - lumière naturelle - intention d'ambiance lumineuse - image photographique – analyse numérique de l'image photographique.

ABSTRACT

TITLE: ARCHITECTURAL DESIGN WITH LIGHTING AMBIENCE INTENTION

Design by lighting intention is an architectural design method that begins its thinking with the mood and aims to create a particular lighting atmosphere for the project. This means that architects first focus on how they want people to feel in the space by trying to understand how the different elements of the space can affect the feelings and sensations of the occupants, and that before dealing with the other aspects of the design. In other words, this approach allows designers to pay more attention to the lighting experience occupants will have in a space, placing the emphasis on creating a particular mood.

The design of lighting atmospheres using photographic images is the guideline of our research project. They make it possible to maintain an architectural logic and to harmonize the various elements of the design. Our research project revolves around the exploration, analysis and processing of the light conveyed by the digital photographic image in order to explore its potential. The methodology used is based on research developed by Demers (Demers, 1997). We are interested in existing light atmospheres from digital photographs featuring light atmospheres. Our research project proposes to evaluate the digital photographic image, on the one hand, as a tool to help design lighting atmospheres, and on the other hand, as a support tool allowing quantitative and qualitative analyzes and treatments. light from interior spaces.

Keywords:

Architectural design - daylight - lighting ambience intention - digital image - numerical procedure of digital image

العنوان: التصميم المعماري بقصد الإضاءة

التصميم بقصد الإضاءة هو طريقة تصميم معماري تبدأ في التفكير مع الحالة المزاجية وتهدف إلى خلق جو إضاءة خاص للمشروع. هذا يعني أن المهندسين المعماريين يركزون أولاً على الطريقة التي يريدون أن يشعر بها الناس في الفضاء من خلال محاولة فهم كيف يمكن أن تؤثر العناصر المختلفة للفضاء على مشاعر وأحاسيس شاغليها ، وذلك قبل التعامل مع الجوانب الأخرى للتصميم. بمعنى آخر ، يتيح هذا الأسلوب للمصممين إيلاء المزيد من الاهتمام لتجربة الإضاءة التي سيشهدها شاغلو المكان ، مع التركيز على خلق حالة مزاجية معينة.

تصميم أجواء الإضاءة باستخدام الصور الفوتوغرافية هو المبدأ التوجيهي لمشروعنا البحثي. إنها تجعل من الممكن الحفاظ على منطق معماري ومواءمة العناصر المختلفة للتصميم. يدور مشروعنا البحثي حول استكشاف وتحليل ومعالجة الضوء الذي تنقله الصورة الفوتوغرافية الرقمية من أجل استكشاف إمكاناتها. تعتمد المنهجية المستخدمة على البحث الذي طوره ديميرز (ديمرز ، 1997). نحن مهتمون بالأجواء الضوئية الموجودة من الصور الرقمية التي تتميز بالأجواء الخفيفة. يقترح مشروعنا البحثي تقييم الصورة الفوتوغرافية الرقمية ، من ناحية ، كأداة للمساعدة في تصميم أجواء الإضاءة ، ومن ناحية أخرى ، كأداة دعم تسمح بالتحليلات والمعالجات الكمية والنوعية. ضوء من المساحات الداخلية.

الكلمات الدالة:

التصميم المعماري - الضوء الطبيعي - نية الإضاءة المحيطة - الصورة الفوتوغرافية - التحليل الرقمي للصورة الفوتوغرافية.

TABLE DES MATIERES

Remerciements	3
Resume	4
Abstract	5
ملخص	6
<i>Table des matières</i>	7
<i>Liste des figures</i>	10
<i>Liste des tableaux</i>	13
Présentation de la recherche	2
Contexte	2
Objet de la recherche	5
Objectifs	6
Méthodologie	6
Structuration du document	7
Chapitre 1	10
1. Lumière naturelle et architecture	11
1.1. Introduction	11
1.2. La lumière naturelle : dimension physique	12
1.2.1. Sources de lumière naturelle	12
1.2.2. principes physiques de base	24
1.2.3. définitions et ordres de grandeur	30
1.2.4. la propagation de la lumière dans l'atmosphère	34
1.3. La lumière naturelle : dimension physiologique et psychologique	37
1.3.1. Lumière, santé et bien-être	38
1.3.2. Lumière, sécurité et productivité	39
1.4. La lumière naturelle : dimension architecturale	39
1.4.1. Stratégie de l'éclairage	40
1.5. conclusion	42
Chapitre 2	43
2. lumière et vision	44
2.1. Introduction	44
2.2. Perception visuelle	44
2.2.1. Physiologie de l'œil	45
2.2.2. Mécanismes de la vision	47
2.2.3. Perception de la lumière	50

2.3. Le confort visuel	53
2.3.1. Définitions	53
2.3.2. Les paramètres du confort visuel	54
2.4. Psychologie de la vision	57
2.4.1. vision du Contour	57
2.4.2. vision de la Luminosité	57
2.4.3. vision des couleurs	58
2.4.4. Vision des volumes	58
2.5. Conclusion	59
Chapitre 3	60
3. La conception architecturale par l'intention lumineuse :	61
3.1. Introduction	61
3.2. La conception architecturale	61
3.2.1. Conception	61
3.2.2. Conception architecturale	62
3.2.3. Conception architecturale et lumière	63
3.3. Conception architecturale et ambiance lumineuse	67
3.3.1. L'ambiance	67
3.3.2. L'ambiance lumineuse	69
3.3.3. intégration de l'ambiance lumineuse dans la conception architecturale	70
3.4. Conception architecturale par l'intention lumineuse	72
3.4.1. Concevoir une ambiance lumineuse	73
3.4.2. Conception par l'intention d'ambiance lumineuse	74
3.5. L'image photographique comme aide à la conception des ambiances lumineuses	76
3.5.1. L'image photographique comme référence	77
3.5.2. L'image photographique comme outil de référence à la conception	80
3.6. Conclusion	80
Chapitre 4	82
1. Analyse de la lumière sur l'image photographique numérique	83
3.4. Introduction	83
3.4. Notions relatives à l'image numérique	84
4.2.1. L'image numérique	84
4.2.2. Les pixels	85
4.2.3. Définition et Résolution	86
4.2.4. L'histogramme	88
4.2.5. La segmentation	89
3.4. Analyse qualitative de la lumière sur l'image numérique	90
4.3.1. Analyse numérique et image d'architecture	90
4.3.2. Présentation de la méthode d'analyse numérique	90

4.3.3. Etude de la forme de lumière	91
4.3.4. L'analyse qualitative	93
4.3.5. Limites de la méthode de Demers :	99
3.4. Analyse quantitative (le questionnaire) :	100
4.4.1. La méthode des différentiels sémantiques	100
3.4. Conclusion	101
Chapitre 5	103
2. Expérimentation et interprétation	104
5.1. Les objectifs	104
5.2. Méthodologie	104
5.3. La sélection des images d'ambiance lumineuses intérieures	105
5.4. L'analyse qualitative	108
5.5. L'analyse quantitative (le questionnaire)	116
5.5.1. Sélection de l'échantillon interrogé	116
5.5.2. Construction du questionnaire (différentiels sémantiques)	117
5.5.3. Traitement des résultats	122
5.5.4. Bilan de l'expérimentation	134
Conclusion générale	135
Bibliographie	139

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1. LES ENTITES COMPOSANT LE PHENOMENE DE PERCEPTION ET D'INTERPRETATION, ETUDIEES DANS CE PROGRAMME DE RECHERCHE.....	5
FIGURE 2. LE SOLEIL (SOURCE : WIKIPEDIA).....	13
FIGURE 3. ROTATION DE LA TERRE AU TOUR DU SOLEIL (SOURCE : ENERGIE+)	14
FIGURE 4. ÉQUINOXES DE PRINTEMPS ET D'AUTOMNE (SOURCE : ENERGIE+).....	15
FIGURE 5. SOLSTICES D'ETE ET D'HIVER (SOURCE : AUTEUR)	15
FIGURE 6. HAUTEUR ET AZIMUT (SOURCE : AUTEUR).....	16
FIGURE 7. LE SPECTRE SOLAIRE (SOURCE : ENERGIE+)	17
FIGURE 8. REPARTITION DU SPECTRE SOLAIRE. (SOURCE : ENERGIE+).....	18
FIGURE 9. CIEL COUVERT UNIFORME (SOURCE : ENERGIE+).....	20
FIGURE 10. CIEL COUVERT (CIE) (SOURCE : ENERGIE+).....	20
FIGURE 11. CIEL CLAIR AVEC SOLEIL (SOURCE : ENERGIE+).....	21
FIGURE 12. CIEL CLAIR (SOURCE : ENERGIE+).....	22
FIGURE 13. ASPECTS ONDULATOIRE ET CORPUSCULAIRE DE LA LUMIERE / PROPRIETES DU SPECTRE VISIBLE DE LA LUMIERE NATURELLE (SOURCE : ENERGIE+).....	25
FIGURE 14. LE SPECTRE ELECTROMAGNETIQUE. (SOURCE : HTTP://ASTRO-CANADA.CA/).....	26
FIGURE 15. LE SPECTRE DE LA LUMIERE NATURELLE (SOURCE : ENERGIE+, 2011).....	27
FIGURE 16. DECOMPOSITION SPECTRALE DU RAYONNEMENT SOLAIRE (SOURCE : AUTEUR)	27
FIGURE 17. CERCLE CHROMATIQUE (SOURCE : WIKIPEDIA)	28
FIGURE 18. LA TEMPERATURE DE COULEUR (SOURCE : AUTEUR).....	29
FIGURE 19. L'INDICE DE RENDU DE COULEUR (SOURCE : AUTEUR).....	30
FIGURE 20. LE FLUX LUMINEUX (SOURCE : ENERGIE+)	31
FIGURE 21. L'INTENSITE LUMINEUSE (SOURCE : ENERGIE+).....	31
FIGURE 22. L'ECLAIREMENT (SOURCE : ENERGIE+, 2011)	32
FIGURE 23. LA LUMINANCE (SOURCE : ENERGIE+, 2011)	33
FIGURE 24. LE FACTEUR DE LUMIERE DU JOUR (FLJ) (SOURCE : ENERGIE+, 2011).....	33
FIGURE 25. DECOMPOSITION DU FLUX SOLAIRE. (SOURCE : A. DE HERDE, S.REITER)	35
FIGURE 26. LA REFLEXION DU RAYONNEMENT SOLAIRE (SOURCE : WWW.EMSE.FR).....	35
FIGURE 27. LA REFLEXION (SOURCE : A. DE HERDE, S. REITER)	36
FIGURE 28. PHYSIOLOGIE DE L'ŒIL (SOURCE : TOURRE, V., 2007).....	47
FIGURE 29. LA RETINE (SOURCE : ENERGIE+, 2011)	48
FIGURE 30. LES TERMINAISONS NERVEUSES DE LA RETINE / LES CONES ET LES BATONNETS	49

FIGURE 31. CHAMP VISUEL HORIZONTAL D'UN ETRE HUMAIN (SOURCE : WIKIPEDIA).....	51
FIGURE 32. IMAGE DE GAUCHE : CHAMP VISUEL HORIZONTAL - IMAGE DE DROITE : CHAMP VISUEL VU DE FACE (SOURCE : ENERGIE+, 2011)	52
FIGURE 33. LA PERCEPTION DES COULEURS PAR L'ŒIL HUMAIN (SOURCE : WWW.HAGIDENT.EU)	53
FIGURE 34. LES PARAMETRES DU CONFORT VISUEL (SOURCE : ENERGIE+, 2011).....	54
FIGURE 35. VISION DU CONTOUR (AUTEUR : G. KANIZSA, SCIENTIFIC AMERICAN, AVRIL 76) ..	57
FIGURE 36. VISION DE LA LUMINOSITE (SOURCE : AUTEUR)	58
FIGURE 37. VISION DE LA LUMINOSITE (SOURCE : AUTEUR)	58
FIGURE 38. VISION DES VOLUMES (SOURCE : AUTEUR)	58
FIGURE 39. THE CHURCH OF LIGHT (TADA0 ANDO, 1989) - LA CHAPELLE DE RONCHAMP (LE CORBUSIER, 1955) - COUVENT DE LA TOURETTE (LE CORBUSIER, 1957).....	64
FIGURE 40. FARNSWORTH HOUSE (MIES VAN DER ROHE, LUDWIG, 1951) / GLASS HOUSE (PHILIP JOHNSON, 1949)	65
FIGURE 41. LA MAISON (JEAN PIERRE RAYNAUD) / SMITH HOUSE (RICHARD MEIER, 1965)	66
FIGURE 42. CHAPELLE DE RONCHAMP- LE CORBUSIER (1950-1955) / INSTITUT DU MONDE ARABE – JEAN NOUVEL (1981-1987).....	67
FIGURE 43. PHENOMENE D'AMBIANCE (AUGOYARD, 1998).....	68
FIGURE 44. LA MAISON KOSHINO / ESPACE DE MEDITATION / LE TEATRINO DE PALAZZO GRASS (TADA0 ANDO) (SOURCE: HTTP://WWW.DISTYLIGHT.COM)	71
FIGURE 45. LA CONCEPTION PAR L'INTENTION D'AMBIANCE. (TOURRE, 2007).....	76
FIGURE 46. VARIATION DU NOMBRE DE PIXELS (SOURCE : AUTEUR)	86
FIGURE 47. DEFINITION D'UNE IMAGE NUMERIQUE (SOURCE : AUTEUR)	87
FIGURE 48. RESOLUTION D'UNE IMAGE NUMERIQUE (SOURCE : AUTEUR)	88
FIGURE 49. HISTOGRAMME (SOURCE : AUTEUR)	89
FIGURE 50. DETECTION DES CONTOURS LUMINEUX (DEMERS, 1997)	92
FIGURE 51. SEGMENTATION DE LA LUMIERE (DEMERS, 1997)	93
FIGURE 52. ANALYSE QUANTITATIVE (SOURCE : AUTEUR)	94
FIGURE 53. EXEMPLE D'HISTOGRAMME (SOURCE : AUTEUR).....	95
FIGURE 54. NIVEAU DE BRILLANCE (DEMERS, 1997B CITE DANS GALLAS, 2013)	96
FIGURE 55. HISTOGRAMME AVEC DONNEES QUANTITATIVES (SOURCE : AUTEUR)	97
FIGURE 56. ANALYSE QUALITATIVE (DEMERS, 2007 CITE DANS BIRON, 2008)	99
FIGURE 57: IMAGES D'AMBIANCES LUMINEUSES INTERIEURES UTILISEES POUR LES ANALYSES QUALITATIVE ET QUANTITATIVE.....	108

FIGURE 58: CLASSIFICATION DES IMAGES SELON LEUR NIVEAU DE BRILLANCE ET DE CONTRASTE.....	115
FIGURE 59. QUESTIONNAIRE UTILISE LORS DE L'EXPERIMENTATION.....	121
FIGURE 60. PRESENTATION DES CERCLES DES CORRELATIONS SUR LE PLAN FACTORIEL.....	125
FIGURE 61. GRAPHE DES CORRELATIONS DES 4 GROUPES DESCRIPTEURS SEMANTIQUES.....	126
FIGURE 62. NOMINATION DES AXES FACTORIELS	127
FIGURE 63. PROJECTION DES INDIVIDUS SUR LE PLAN FACTORIEL.....	127
FIGURE 64. PROJECTION DES IMAGES PHOTOGRAPHIQUES ET DES DESCRIPTEURS	128
FIGURE 65. HISTOGRAMMES DES 5 IMAGES PHOTOGRAPHIQUES PAR RAPPORT	130
FIGURE 66. GRAPHES COMPARATIFS DES COUPLES LUMINOSITE/NIVEAUX DE BRILLANCE ET UNIFORMITE/CONTRASTE GLOBAL.....	133

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1. CLASSIFICATION INTERNATIONALE DES NUAGES.....	22
TABLEAU 2. CLASSIFICATION DE NUAGES SELON L'ALTITUDE	23
TABLEAU 3. EXEMPLE D'ALBEDO (SOURCE : AUTEUR)	24
TABLEAU 4. COULEURS DU SPECTRE VISIBLE (SOURCE : AUTEUR)	27
TABLEAU 5. LES VALEURS DU FACTEUR DE LUMIERE DU JOUR (SOURCE : ENERGIE+, 2011)	34
TABLEAU 6. CORRESPONDANTS DU NIVEAU DE BRILLANCE ET DU CONTRASTE GLOBAL SUR PHOTOSHOP (SOURCE : AUTEUR)	98
TABLEAU 7. INTERPRETATION DE L'HISTOGRAMME DE L'IMAGE 1.....	109
TABLEAU 8. INTERPRETATION DE L'HISTOGRAMME DE L'IMAGE 2.....	110
TABLEAU 9. INTERPRETATION DE L'HISTOGRAMME DE L'IMAGE 3.....	111
TABLEAU 10. INTERPRETATION DE L'HISTOGRAMME DE L'IMAGE 4.....	112
TABLEAU 11. INTERPRETATION DE L'HISTOGRAMME DE L'IMAGE 5.....	113
TABLEAU 12. TABLEAU RECAPITULATIF DES INFORMATIONS FOURNIES PAR LES HISTOGRAMMES DES 5 IMAGES PHOTOGRAPHIQUES.....	114
TABLEAU 13: TABLEAU RECAPITULATIFS DES RESULTATS DE L'ANALYSE QUALITATIVE	116
TABLEAU 14. TABLEAUX DE LA MOYENNE DE JUGEMENTS CORRESPONDANT AUX 5 IMAGES ..	123
TABLEAU 15. AXES RETENUS POUR LES PLANS FACTORIELS	124
TABLEAU 16. TABLEAU RECAPITULATIFS DES RESULTATS DE L'ANALYSE QUANTITATIVE	131
TABLEAU 17. TABLEAU RECAPITULATIFS DES RESULTATS DE L'ANALYSE.....	132

PRESENTATION DE LA RECHERCHE

PRESENTATION DE LA RECHERCHE

Nous présentons dans ce chapitre le contexte qui permet de situer notre objet de recherche puis nous présentons la problématique de ce travail ainsi que la méthodologie que nous avons mise en place afin d'y répondre.

CONTEXTE

Les architectes ont toujours été fascinés par l'idée de **la lumière naturelle** et son lien avec la vie humaine. C'est pour cela qu'elle a toujours joué un rôle fondamental dans la conception architecturale. Son importance se traduit par les trois usages qui peuvent en être faits : esthétique, fonctionnalité et efficacité. En effet, la lumière naturelle est un élément d'expression architecturale qui participe à la création de sensations spécifiques telle que décrite par Le Corbusier : « *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* ». (Le Corbusier, 1930)

La lumière naturelle est considérée comme l'un des outils les plus importants de l'architecture car elle participe au processus de création en donnant vie aux **idées**. En effet, les architectes l'utilisent comme matériau pour exprimer leurs intentions, afin de créer des espaces à la fois fonctionnels, beaux et durables.

La prise en compte de la lumière naturelle dès le début du processus de conception permet aux architectes de réfléchir à la meilleure manière dont ils peuvent en tirer parti. En effet, son utilisation en architecture est l'un des aspects les plus importants sur lesquels travaillent les architectes. **L'intention** derrière cela est de créer une certaine **ambiance** qui sera ressentie par ceux qui visitent le bâtiment. Afin de s'assurer que les intentions de l'architecte sont respectées, il existe différents types d'éléments architecturaux qui contribuent à faire entrer la lumière naturelle et à la faire circuler dans le bâtiment, donnant forme aux intentions de l'architecte concernant l'ambiance lumineuse.

En effet, la conception d'un espace ne concerne pas seulement la forme. Cela dépend aussi de la façon dont l'espace est éclairé. La lumière naturelle peut être utilisée pour rendre les espaces plus petits ou plus grands, il peut être utilisé pour souligner certaines caractéristiques ou il peut être utilisé pour créer une ambiance particulière. Le type de lumière utilisé dans un espace dépendra de l'intention de l'architecte pour l'espace.

Présentation de la recherche

Une intention d'ambiance est une idée que se fait un architecte de l'atmosphère qu'il veut créer dans un projet architectural (Tourre, 2007). L'aspect le plus important à propos de l'utilisation de la lumière naturelle dans l'architecture est l'intention qui la sous-tend. Les architectes doivent être conscients du type, de la qualité et de la quantité de lumière naturelle qu'ils utilisent pour révéler leur conception. L'expérience architecturale est donc d'abord vécue dans la tête de l'architecte avant d'être vécue par les utilisateurs du bâtiment. Selon Faucher (Faucher, 1998), l'intention architecturale est une volonté exprimée de matérialiser une sensation. En effet, l'aspect personnel de l'intention d'ambiance est donc sensoriel avant d'être physique. Les intentions ambiance sont donc liées à l'expérience personnelle de l'architecte. Elles ne concernent pas seulement l'espace physique, mais aussi ce qu'il ressent. Un architecte peut donc émettre le souhait de créer une ambiance inspirée de son propre vécu. Une intention d'ambiance est donc **une référence** à une ambiance vécue. Aussi, comme il existe des bâtiments de référence, il existe **des ambiances de référence** (Lassance, 1995).

Les références sont donc des éléments de connaissance pour l'architecte, elles lui fournissent une mine d'informations précieuses sur lesquelles il peut s'appuyer pour trouver des idées. En effet, un bâtiment n'est pas seulement une construction, c'est une idée. L'idée du bâtiment est ce qui le rend unique et ce qui le rend spécial. Ainsi, la référence peut être utilisée par l'architecte dès les premières phases de conception pour mieux comprendre une situation, pour compléter les informations manquantes, et pour prendre des décisions plus précises afin d'aider l'architecte à donner vie à ces idées et de créer quelque chose qui sera une véritable représentation de son intention. Elle peut donc influencer le processus de conception et son résultat.

L'image photographique peut être une référence pour l'architecte lors que la conception des ambiances lumineuses. Elle peut alors s'avérer extrêmement utile pour le guider dans la formulation de ses intentions. En effet, elle fixe et enregistre le moment où la lumière et l'espace ne font qu'un (Baltanas, 2005) et permet de capturer différentes ambiances réelles que l'architecte peut explorer afin de trouver celle qui convient le mieux pour exprimer ses intentions. Cette image photographique peut soit donner une idée nouvelle à l'architecte, soit représenter une idée qu'il a déjà en tête, et dans les deux cas il peut l'utiliser pour guider son processus de conception.

Hypothèse : Les architectes utilisent des images photographiques comme référence et en tant qu'éléments de stimulation et d'aide à la conception par l'intention lumineuse.

Présentation de la recherche

Pour ce travail de recherche, nous considérons l'image photographique comme la principale référence et comme outil d'aide à la conception car elle aide l'architecte à établir une intention d'éclairage en fournissant des informations sur la manière dont la lumière naturelle peut être utilisée pour mettre en valeur les éléments de conception et permettent une meilleure compréhension d'un environnement lumineux. En effet, les images photographiques peuvent être utilisées pour partager des idées et montrer comment certains éléments peuvent être mis en valeur par la lumière naturelle. Ces informations peuvent être utilisées pour réfléchir à la façon dont la lumière et l'ombre peuvent apparaître dans un espace, ce qui permet aux architectes de prendre des décisions. Selon Gandon : « *L'architecte accumule des informations qui, dès qu'elles sont incorporées au sein de la théorie deviennent des connaissances. Une information doit être interprétée avant de donner lieu à une connaissance : prendre connaissance c'est plus que s'informer, c'est comprendre l'information et l'intégrer à ses connaissances selon ses propres points de vue.* » (Gandon et al, 1999).

Bien que les images photographiques soient utilisées par l'architecte comme source d'inspiration, elles ne sont pas utilisées telles quelles. Il s'en inspire pour créer quelque chose de plus complexe qu'une simple représentation de l'image. Une nouvelle valeur est créée en les intégrant dans ses créations. **L'interprétation** des formes, des symboles et de la lumière donne à l'architecture une signification plus profonde. Les images sont transformées en une valeur émotive aussi bien que visuelle, parfois sans pouvoir discerner entre les deux. Cela devient un acte de création lorsqu'il est capable de leur donner un nouveau sens. Il les utilise dans la conception de ses bâtiments pour créer des ambiances lumineuses particulières selon ses intentions.

Dès lors plusieurs questions se posent : **Est-ce que l'image photographique peut-elle être une référence pertinente dans la conception des ambiances lumineuses ? Est-ce que la qualité de l'ambiance lumineuse, capturée par une image photographique, peut-elle être valablement caractérisée, évaluée et appréciée à partir les jugements subjectifs de l'architecte ?**

Et plus directement : **l'image photographique peut-elle véritablement aider l'architecte à anticiper une ambiance lumineuse ?**

En voyant l'environnement différemment de la façon dont les autres le voient, un architecte est capable de tirer des interprétations uniques d'une image photographique. La façon dont il perçoit et intègre les références est liée à sa vision du monde et à son savoir et à ses croyances. En effet,

Présentation de la recherche

la perception est soumise aux connaissances, à la culture et à l'expérience de l'individu comme le souligne Boudon : "*la variété de la perception repose en partie sur le fait que l'œil n'est pas innocent*" (Boudon et al, 1994).

L'objectif de cette recherche est de vérifier si l'intention d'ambiance lumineuse provenant de références architecturales est bien interprétée par l'architecte. Autrement dit, nous nous interrogeons sur la pertinence et l'efficacité de la référence architecturale et plus précisément de l'image photographique comme aide à la conception lumineuse à travers l'exploration et l'analyse les ambiances lumineuses à partir d'images numériques.

OBJET DE LA RECHERCHE

Notre projet de recherche s'intéresse à la conception architecturale par l'intention lumineuse, nous cherchons à comprendre la perception et l'interprétation des ambiances lumineuses que l'architecte peut se faire, à travers une image photographique. Autrement dit, notre recherche porte sur l'étude de la relation entre les concepteurs/architectes, les ambiances lumineuses véhiculées par les images photographiques. Plus spécifiquement, ce projet vise à apporter une contribution à la compréhension de l'interaction entre un individu (l'architecte) et un objet (la lumière), à travers un support (image photographique), dans un contexte particulier (phase amont de la conception). Dans ce mémoire, nous considérons que ces quatre entités, l'architecte, la lumière, l'image photographique, la phase amont de la conception composent le phénomène de perception et d'interprétation que nous étudions.

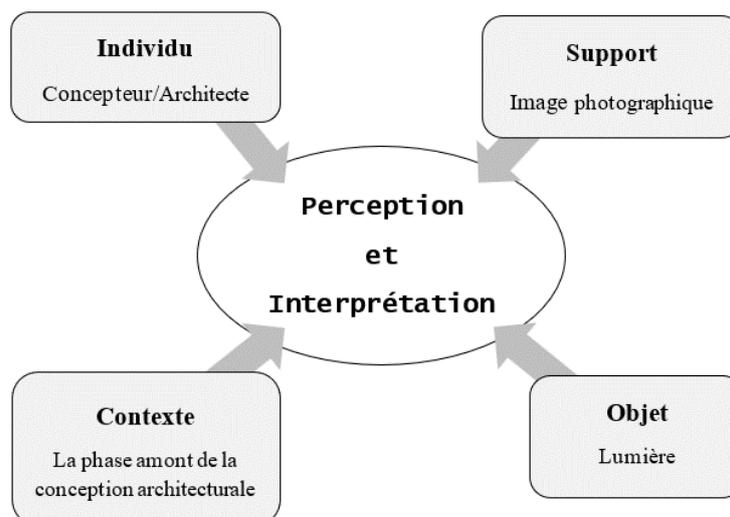


FIGURE 1. LES ENTITES COMPOSANT LE PHENOMENE DE PERCEPTION ET D'INTERPRETATION, ETUDIEES DANS CE PROGRAMME DE RECHERCHE

Présentation de la recherche

OBJECTIFS

Nous nous intéressons à un processus de conception qui change la façon dont les architectes envisagent les projets. En effet, la conception par intention lumineuse est une méthode de conception architecturale qui commence par l'ambiance lumineuse et a pour but de créer une atmosphère particulière pour le projet. Les architectes utilisent l'image photographique comme référence dans le cadre de leur pratique afin de les aider à trouver l'inspiration. Contrairement aux méthodes de conception traditionnelles, l'architecte commence par se concentrer sur la façon dont il veut que l'utilisateur interagisse avec la lumière dans son espace. Ainsi, plutôt que de se concentrer sur la simple esthétique, l'intention est focalisée sur la création d'une ambiance lumineuse spécifique afin de créer une expérience qui met davantage l'accent sur les sentiments et les sensations.

Le but de cette recherche est d'évaluer si l'intention d'ambiance lumineuse provenant de références architecturales est bien interprétée par l'architecte. Autrement dit, nous nous interrogeons sur la pertinence de la référence architecturale et plus précisément sur l'image photographique comme aide à la conception lumineuse.

METHODOLOGIE

La place de l'ambiance lumineuse dans le processus de conception est le point de départ de notre problématique. Cette ambiance est formulée par une intention d'ambiance, qui traduit les souhaits du concepteur. Ce parti pris de la conception par l'intention lumineuse est la clé pour maintenir une cohérence dans l'ambiance voulue. Ceci est utilisé comme guide durant tout le processus de conception.

La conception des ambiances lumineuses à l'aide des images photographiques est la ligne directrice de notre projet de recherche. Elles permettent de maintenir une logique architecturale et d'harmoniser les différents éléments de la conception. Notre projet de recherche s'articule autour de l'exploration et analyse de la lumière véhiculée par l'image photographique afin d'en explorer le potentiel. La méthodologie employée s'appuie sur la recherche développée par Demers (Demers, 1997). Nous nous intéressons aux ambiances lumineuses existantes à partir de photographies numériques mettant en scène des ambiances lumineuses. Notre projet de recherche propose, d'évaluer l'image photographique numérique, d'une part, comme outil

Présentation de la recherche

d'aide à la conception des ambiances lumineuses, et d'autre part, comme outil support permettant des analyses quantitatives et qualitatives de la lumière des espaces intérieurs.

L'expérimentation de ce travail de recherche se poursuit en deux étapes :

- **La première**, consiste à effectuer **une analyse qualitative** selon la méthode de Demers (Demers, 1997) : Les images photographiques numériques (5 images) sont analysées à partir de paramètres tels que la brillance et le contraste avec le logiciel AdobePhotoshop©.
- **La seconde**, consiste à effectuer **une analyse quantitative**, à partir d'un différentiel sémantique, sous forme d'un questionnaire : Les images analysées sont présentées à un ensemble de participants (étudiants en 5^{ème} année architecture) en leur demandant de qualifier chacune des images selon deux échelles sémantiques.

Les résultats de ces deux expérimentations sont traités, analysés et surtout corrélés avec le logiciel STATISTICA par une l'analyse en composantes principales (ACP), cette analyse a pour objectif est de représenter graphiquement les relations entre les variables quantitatives (descripteurs sémantiques) et de visualiser en même temps les individus (images photographiques) qui sont en relation avec ces variables. A partir de cette double visualisation, nous pouvons interpréter les résultats en fonction de sa connaissance du sujet étudié.

L'objectif des deux premières expérimentations est d'essayer de répondre à la première partie de notre problème de recherche qui est de vérifier si : l'image photographique peut être une référence pertinente dans la conception des ambiances lumineuses ? Et si la qualité de l'ambiance lumineuse, capturée sur une image photographique, peut être valablement caractérisée, évaluée et appréciée à partir les jugements subjectifs de l'architecte ?

STRUCTURATION DU DOCUMENT

[Présentation de la recherche] Cette partie présente le contexte qui permet de situer l'objet de recherche puis la problématique de ce travail ainsi que la méthodologie mise en place afin d'y répondre et en fin la structuration du document.

Le chapitre 1. *[La lumière naturelle et architecture]* A travers ce premier chapitre, nous essayerons, dans un premier temps, de comprendre la lumière naturelle autant que phénomène physique et cela à travers une définition de la notion de la lumière naturelle, ainsi que de ses

Présentation de la recherche

caractéristiques, par l'identification de grandeurs physiques qui permettent de mesurer et quantifier la lumière naturelle et par la compréhension de ces phénomènes. Ensuite, en deuxième lieu, il sera question de comprendre et de caractériser la dimension architecturale de la lumière naturelle.

Le chapitre 2. [*Lumière et vision*] Dans ce deuxième chapitre, afin de définir la perception visuelle, nous commençons par la vision et le système visuel. Ensuite, nous nous intéresserons à la perception de la lumière. Nous parlerons par la suite du confort visuel, un terme utilisé pour définir l'impression liée à la quantité, la distribution et à la qualité de la lumière. Et pour finir nous essayerons de comprendre la subjectivité de la perception visuelle.

Le chapitre 3. [*La conception architecturale par l'intention d'ambiance lumineuse*] Le troisième chapitre a porté, en premier lieu, sur la connaissance et la caractérisation du processus de conception architecturale. Ensuite, nous essayons de présenter des notions relatives aux ambiances et plus précisément aux ambiances lumineuses, puis nous expliquerons notre choix de la conception par l'intention d'ambiance comme méthode de conception architecturale qui utilise l'ambiance comme point de départ. En deuxième lieu, nous présentons les théories et notions relatives aux références dans le processus de conception architecturale mais, plus précisément, nous visons à comprendre comment les architectes se servent des images photographiques comme d'éléments qui favorisent la conception des ambiances lumineuses.

Le chapitre 4. [*Analyse de la lumière sur l'image photographique*] Le quatrième chapitre porte sur la connaissance de la méthodologie employée et qui s'appuie sur la recherche développée par Demers. Elle concerne le potentiel de l'image numérique pour l'exploration et l'analyse de la lumière dans les espaces architecturaux intérieurs, à partir de photographies numériques mettant en scène des ambiances lumineuses. La méthode propose d'évaluer l'image photographique numérique comme outil d'aide à la conception architecturale et comme outil support permettant des analyses et explorations de la lumière des espaces intérieurs.

Le chapitre 5. [*Expérimentation et interprétations*] Le cinquième chapitre présente la méthode d'analyse et les résultats des différentes sessions d'expérimentation. Nous avons défini deux types d'analyses : un premier portant l'analyse quantitative des images photographiques et une deuxième ayant comme objets d'étude les réponses des participants au questionnaire du différentiel sémantique, vient ensuite la présentation des résultats de ces deux types d'analyse.

Présentation de la recherche

[Conclusion générale] La conclusion générale de ce mémoire de recherche retrace les différentes étapes d'élaboration de ce travail de mémoire, les résultats obtenus et les perspectives de développement futur que nous avons dégagé.

[Bibliographie] Elle propose la liste des ouvrages et articles consultés au cours de cette recherche. Ils sont référencés par ordre alphabétique du nom de l'(un des) auteur(s), sans distinction particulière du champ d'investigation concerné ; les quelques sites Internet sont listés séparément (uniquement les sites « fiables »)

L'annexe 1. *[Images photographiques]* Cette partie contient les 5 images photographiques d'ambiance que nous avons utilisée pour l'expérimentation en haute résolution.

L'annexe 2. *[Le questionnaire]* Cette partie regroupe un exemplaire des 100 questionnaires auxquels les étudiants en architecture en répondu.

CHAPITRE 1

LUMIERE NATURELLE ET ARCHITECTURE

1. LUMIERE NATURELLE ET ARCHITECTURE

1.1. INTRODUCTION

« Mais la lumière ? Où est la lumière ? Où se trouve l'espace ? Où est l'architecture ? Sans lumière, il n'est d'architecture qui soir. » (Baenza, 1991, p.90)

La lumière est une matière impalpable qui donne vie aux espaces. Sa perception génère un nombre infini d'émotions qui atteignent nos sens et inspire le concepteur de l'espace. La nature poétique et symbolique de la lumière esthétique influence l'appréhension de l'espace en créant des ambiances, favorisant une perception passionnée de l'architecture (Demers, 1996). L'art et l'architecture existent et coexistent par la lumière.

Selon l'architecte Purini (Purini, 1991, p. 114), *« la lumière est ce qui nous rapproche le plus de la possibilité d'appréhender l'idée du divin »*. Il ajoute :

« La lumière est un fait immatériel, un phénomène incarné en concept une expérience de l'abstraction, qui coïncide exactement avec la beauté. En cela, elle est aussi le bonheur de Stendhal. Elle est contemplation de la clarté qui se transcende en densité logique, en fermeté. Elle est ordre, ne nous reproche pas nos limites, ni ne nous rappelle que le temps qui nous est imparti est trop limité. »

La lumière est une matière intangible qui donne vie à la forme architecturale. En effet, l'interaction entre l'élément physique variable et instable qui est la lumière naturelle et l'élément matériel permanent qui est la forme architecturale donne naissance à des comportements et à des effets lumineux. A travers ce chapitre, nous essayerons, dans un premier temps, de comprendre la lumière naturelle autant que phénomène physique et cela à travers une définition de la notion de la lumière naturelle, ainsi que de ses caractéristiques, par l'identification de grandeurs physiques qui permettent de mesurer et quantifier la lumière naturelle et par la compréhension de ces phénomènes.

Ensuite, en deuxième lieu, il sera question de comprendre et de caractériser la dimension architecturale de la lumière naturelle.

1.2. LA LUMIERE NATURELLE : DIMENSION PHYSIQUE

La lumière naturelle, appelée aussi lumière du jour, constitue notre lumière de référence par sa richesse et son universalité. Elle nous donne des repères temporels et spatiaux et c'est grâce à elle que nous attribuons aux objets leurs couleurs. Elle correspond à toutes les formes de lumières provenant du soleil, direct et indirect (éclairage direct, rayonnement diffus du ciel). En effet, elle correspond à la partie visible du rayonnement énergétique provenant du soleil. Sa richesse dépend de nombreux paramètres dont son chargement perpétuel d'intensité, de direction et de teinte au fil des heures et des saisons (phénomènes liés aux mouvements de rotation de la terre) et aux conditions atmosphériques et météorologiques (la couverture nuageuse) et aux interactions avec les particules de l'atmosphère. La distribution de la lumière naturelle provenant du soleil et de la voûte céleste peut être modélisée par différents types de ciel.

Les grandeurs photométriques sont à la base de toutes les mesures de la lumière naturelle. Elles permettent de quantifier la lumière naturelle reçue par une surface : l'éclairement, et l'impression visuelle produite : la luminance. L'éclairement est la grandeur la plus utilisée même si elle n'est pas toujours la plus adaptée pour caractériser les ambiances lumineuses.

La lumière naturelle est une lumière blanche possédant un spectre complet et continu, c'est-à-dire qu'elle émet dans toutes les longueurs d'onde du spectre visible. Les objets et matériaux absorbent, réfléchissent ou transmettent la lumière naturelle de manière plus ou moins sélective. C'est notamment au travers de ces processus que sont définies les couleurs et les luminances perçues par l'œil.

1.2.1. SOURCES DE LUMIERE NATURELLE

Par définition une source de lumière est tout corps qui émet (c'est à dire qui projette) de la lumière autour de lui. La source de lumière naturelle qui éclaire directement ou indirectement notre planète est le soleil. En éclairage naturel, on considère deux sources : Le Soleil comme source primaire, car il émet sa propre lumière (rayonnement direct) et le ciel (lune, nuage, étoiles, neige...) comme source secondaire car il réfléchit la lumière du Soleil (rayonnement diffus).

1.2.1.1. LA SOURCE PRIMAIRE : LE SOLEIL



FIGURE 2. LE SOLEIL (SOURCE : WIKIPEDIA)

Une source primaire est une source de lumière qui émet de la lumière qu'elle a elle-même produite. Elle est visible et isolée de toute autre source lumineuse. Le soleil, est une source primaire de lumière. Ses rayons sont source de vie. En transformant une partie de son énergie nucléaire en énergie lumineuse il nous fournit la chaleur et la lumière.

Le soleil émet de la lumière blanche ou lumière visible qui représente 46 % de l'énergie totale émise par le soleil, mais aussi d'autres rayonnements appartenant au spectre électromagnétique comme les rayonnements infra-rouges qui représentent 49% du rayonnement énergétique (c'est ce rayonnement que nous ressentons comme une onde de chaleur), ainsi que les ultra-violets. Seulement une faible partie du rayonnement solaire parvient jusqu'à la surface de la terre, le reste est réfléchi dans l'atmosphère. En effet, avec sa température d'émission de 5500°C, le soleil rayonne la plus grande partie de son énergie dans les hautes fréquences (courtes longueurs d'onde).

1.2.1.1.1. LA POSITION DU SOLEIL

La distance entre la Terre et le Soleil est d'environ 150 millions de kilomètres. Cette distance peut varier très légèrement, mais sans conséquence notable. Le mouvement du Soleil que l'on observe dans le ciel s'explique par le fait que la Terre tourne sur elle-même autour de l'axe des pôles (rotation). Une rotation complète de la Terre s'effectue en 24h, c'est-à-dire un jour au cours duquel chaque point de la surface terrestre traverse une zone éclairée et une zone non éclairée correspondant au jour et à la nuit.

La course de la terre autour du soleil est appelée révolution. La trajectoire formée par cette course est très proche d'une ellipse légèrement aplatie. Une révolution de la Terre, soit un tour complet autour du Soleil, dure 365,25 jours (365 jours et un quart de jour), ce qui correspond à une année : une année est définie comme le temps nécessaire à la Terre pour effectuer une révolution complète.

Le schéma ci-dessous montre les différentes rotations que fait la terre sur elle-même et autour du soleil.

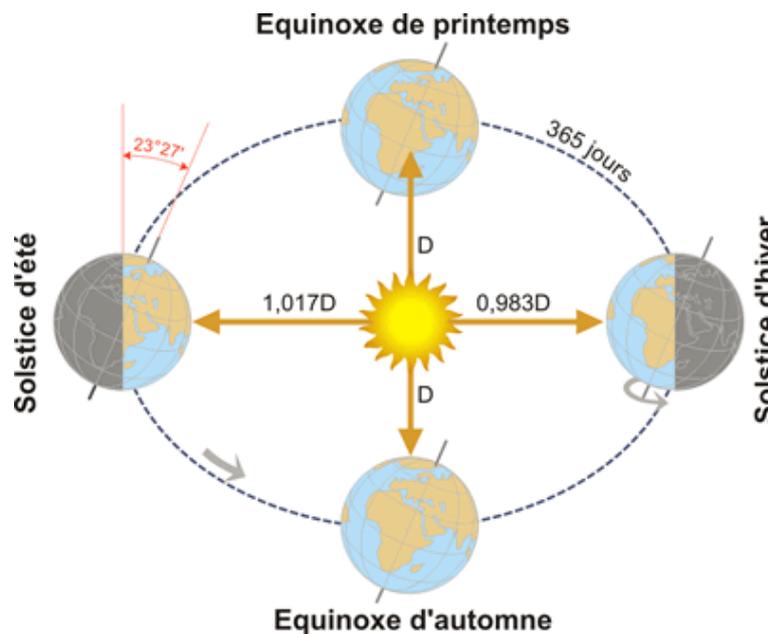


FIGURE 3. ROTATION DE LA TERRE AU TOUR DU SOLEIL (SOURCE : ENERGIE+)

L'axe de rotation de la Terre n'est pas tout à fait perpendiculaire au plan de l'écliptique, il est incliné d'un angle de $23,27^\circ$. Cette inclinaison est constante tout au long de la course autour du Soleil. Elle est responsable de deux phénomènes importants :

- des durées des journées et des nuits qui changent au cours de l'année : cela est dû à l'axe de rotation de la Terre est inclinée par rapport à la verticale. Il est incliné vers le Soleil en été et vers l'extérieur en hiver. Concernant l'Algérie, en été, la ville de Sétif par exemple reste plus longtemps éclairée qu'en hiver. On remarque qu'à l'équateur, la durée de la journée est toujours égale à celle de la nuit.
- des variations saisonnières : l'alternance des saisons est due aux diverses positions qu'occupe la Terre au cours de sa révolution annuelle autour du Soleil ainsi qu'à son inclinaison qui est

responsable des variations de l'éclairement solaire des régions du globe au cours de l'année. De cela résulte quatre situations : deux équinoxes et deux solstices.

Les équinoxes de printemps et d'automne correspondent aux moments de l'année où le soleil se trouve au zénith à l'équateur terrestre, la terre se trouve alors à angle droit (en prenant les pôles) avec les rayons du soleil. Le jour et la nuit ont alors la même durée.

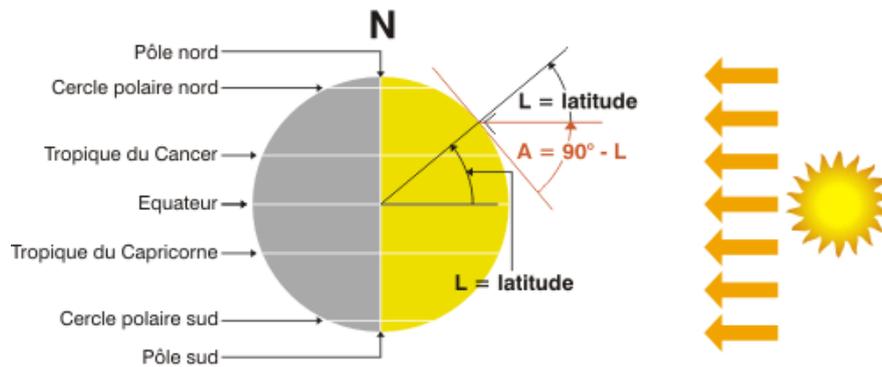


FIGURE 4. ÉQUINOXES DE PRINTEMPS ET D'AUTOMNE (SOURCE : ENERGIE+)

Les solstices d'été et d'hiver, au contraire, correspondent à la période de l'année où l'inégalité des jours et des nuits est maximale. Ce sont les moments de l'année où les rayons du soleil touchent la Terre avec l'angle le plus incliné. Le solstice d'été représenté la journée la plus longue, et le solstice d'hiver la plus courte.

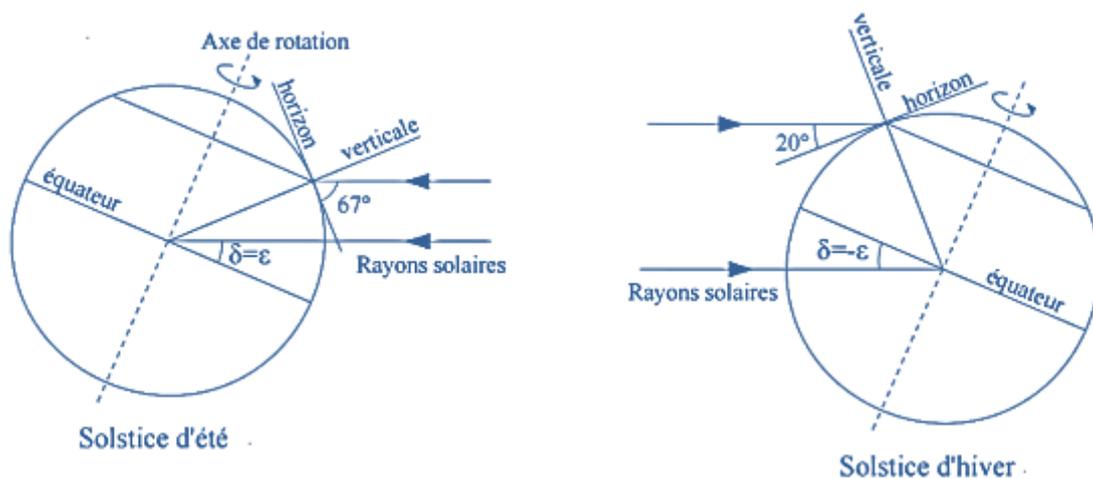


FIGURE 5. SOLSTICES D'ETE ET D'HIVER (SOURCE : AUTEUR)

Le graphe de la course du soleil représente la position du soleil dans le ciel à toute heure de la journée et de janvier à décembre. Cette position du soleil est caractérisée par les angles l'azimut et la hauteur du soleil. L'azimut (Z) du Soleil est l'angle dans le plan horizontal entre la direction d'un objet et une direction de référence. Cet angle vaut 0° au sud et est conventionnellement positif vers l'ouest et négatif vers l'est. Tandis que la hauteur (H) du Soleil est l'angle que fait la direction du Soleil avec le plan horizontal. Elle se compte de 0° à 90° à partir de l'horizon vers la voûte céleste.

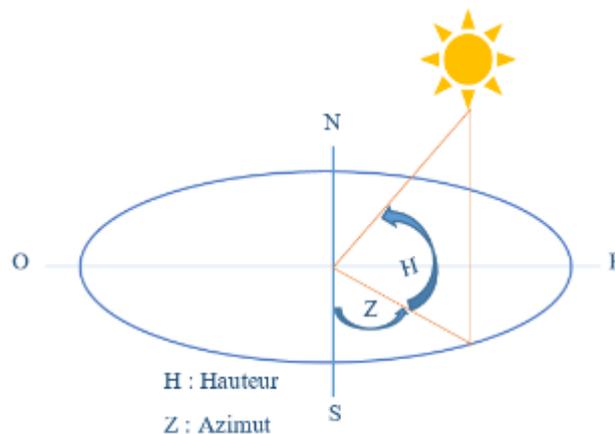


FIGURE 6. HAUTEUR ET AZIMUT (SOURCE : AUTEUR)

1.2.1.1.2. LE RAYONNEMENT SOLAIRE

Le Soleil, étoile qui existe depuis plusieurs milliards d'années est constituée essentiellement d'hydrogène et d'hélium, est rythmée de réactions de fusion nucléaire et d'éruptions de très grandes ampleurs témoignant de l'immense quantité l'énergie qu'il libère à chaque instant dans toutes les directions de l'espace. Une faible partie de cette énergie colossale parvient jusqu'à la surface de la Terre en 8 minutes sous la forme d'ondes électromagnétiques que l'on appelle aussi rayonnement solaire. Ce flux d'énergie est composé de plusieurs types de rayons, certains sont filtrés ou arrêtés par l'atmosphère et les nuages, alors que d'autres ne le sont pas. Ils sont aussi appelés radiations. Le rayonnement solaire maintient des températures permettant l'existence de l'eau à l'état liquide et la vie. Sans cet apport d'énergie, la Terre serait glaciale.

Le rayonnement solaire se compose d'un spectre qui compte : des rayons cosmiques composées de particules hautement énergétiques et d'ondes électromagnétiques de longueurs d'onde variées allant des ondes courtes qui comprennent, les rayons gamma, les rayons X , les

ultraviolets C (UV-C), aux ondes longues qui incluent les ultraviolets B (UV-B), les ultraviolets A (UV-A), la lumière visible, les infrarouges (IR), les micro-ondes et les ondes radio.

Région spectrale	Longueurs d'onde (µm)	Éclairement énergétique (W.m ⁻²)	Pourcentage (%)
Infrarouge	> 0,70	695	50,8
Visible	0,40 à 0,70	559	40,9
UV-A	0,32 à 0,40	86	6,3
UV-B	0,28 à 0,32	21	1,5
UV-C	< 0,28	6	0,4

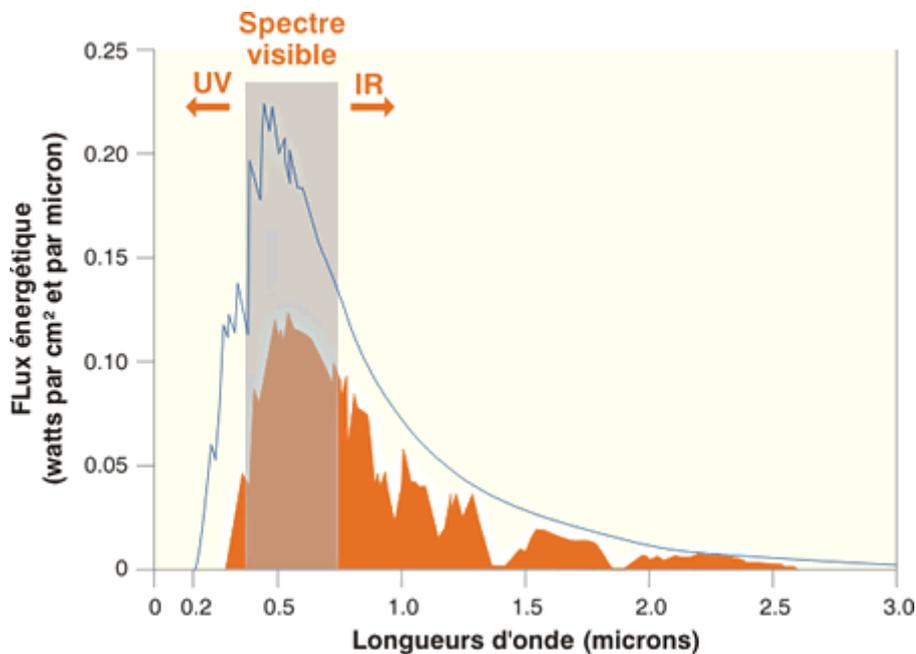


FIGURE 7. LE SPECTRE SOLAIRE (SOURCE : ENERGIE+)

La Terre reçoit une partie du rayonnement solaire. Ce rayonnement se décompose en deux parties principales qui sont le rayonnement solaire direct, le rayonnement solaire diffus, les radiations parvenant au niveau du sol constituent le rayonnement solaire global dont les composantes sont le rayonnement direct et diffus. Ce dernier subit une série de modifications lorsqu'il traverse la couche atmosphérique :

Une grande partie des rayonnements ultraviolets et X est absorbée par la fine couche d'ozone, au-dessus de 100 km en altitude, au niveau de la haute atmosphère (stratosphère). Tandis que les rayonnements visible et infrarouge sont en partie réfléchis par l'atmosphère et les nuages.

Les radiations non réfléchies sont transmises par l'atmosphère et entre en collision avec les particules et les molécules présentes dans l'atmosphère qui les dévient de leurs trajectoires et les réémettent dans toutes les directions : c'est le phénomène de diffusion.

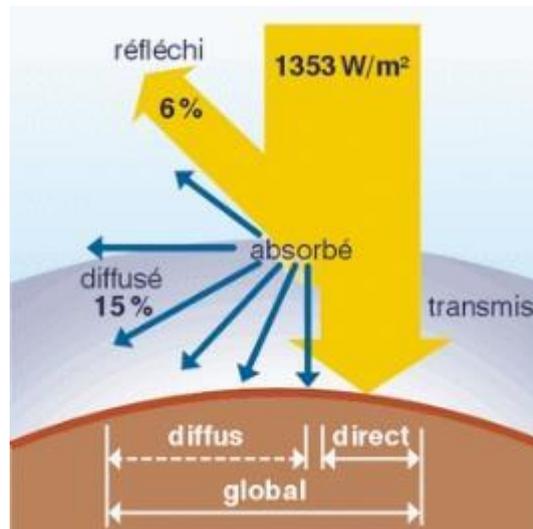


FIGURE 8. REPARTITION DU SPECTRE SOLAIRE. (SOURCE : ENERGIE+)

1.2.1.2. LES SOURCES SECONDAIRES

Par définition, les sources secondaires (appelés aussi objets diffusants), sont tout objet qui renvoie de la lumière. Un objet diffusant n'est donc visible que s'il est éclairé par une autre source (sources primaires ou autres secondaires). En effet, lorsqu'elles sont éclairées, elles renvoient dans toutes les directions une partie de la lumière qu'elles reçoivent, on dit alors que les objets éclairés diffusent de la lumière. Il peut alors à son tour éclairer un autre objet : il devient une source secondaire de lumière (la voûte céleste, le ciel, les nuages, L'albédo...)

1.2.1.2.1. LA VOÛTE CELESTE

La voûte céleste est l'une des principales sources de lumière diffuse. Cette lumière représente l'ensemble des rayons lumineux qui ne proviennent pas directement du soleil (par opposition à la lumière directe).

Les rayons solaires, en traversant les diverses couches de l'atmosphère, subissent des modifications spectrales et directionnelles. Les particules atmosphériques engendrent des phénomènes d'absorption, mais surtout de réflexion et de diffusion en direction de la Terre, qui donnent lieu à une source de lumière secondaire constituée de l'hémisphère céleste. La voûte

céleste constitue donc une source lumineuse distincte du soleil. La lumière disponible est non seulement diffuse, mais aussi multidirectionnelle. Les niveaux d'éclairage résultants sont moins élevés que ceux procurés par le soleil (de 5'000 à 20'000 Lux en moyenne contre 100'000 Lux pour le soleil).

1.2.1.2.2. LE CIEL

La lumière naturelle provenant du ciel est formée par la partie du rayonnement solaire qui est absorbée et réémise par l'atmosphère, sa disponibilité dépend de la position du soleil dans le ciel (définie par l'heure et la position géographique du lieu considéré) mais aussi des conditions astronomiques et météorologiques (couverture nuageuse), du relief, de la pollution, de l'orientation de la surface...

Vu la multitude de conditions météorologiques qui existent, des ciels standards ont été établis pour les études d'éclairage naturel. Un type de ciel est caractérisé par la répartition des luminances sur la voûte céleste en fonction de la position du soleil et de la répartition des nuages.

Quatre types de ciel sont à distinguer : ceux où le soleil est visible et ceux où il ne l'est pas. On parle ainsi de ciels clairs et de ciels couverts et lorsque le soleil est visible et non-visible. La distribution de la luminance est représentée pour chaque ciel par une surface claire d'épaisseur variable, plus elle est épaisse plus la luminance est élevée. (De Herde, Reiter, 2001)

LE CIEL COUVERT UNIFORME

Il s'agit du modèle le plus anciennement utilisé dans les études d'éclairage naturel et c'est lui qui donne les calculs les plus simples pour l'établissement des abaques. Il correspond à un ciel couvert d'une couche épaisse de nuages laiteux ou à une atmosphère pleine de poussières dans lequel le soleil n'est pas visible. C'est un modèle de ciel dont tous les points ont la même luminance, car cette dernière est indépendante des paramètres géométriques. Mais ce type n'est pas retenu pour la normalisation internationale. Dans ce cas de figure, la relation entre la luminance uniforme du ciel et l'éclairage d'une surface horizontale sans obstruction est donnée par la formule :

$$E_h = \pi L$$

E_h : éclairage du plan horizontal (en lux). L'éclairage d'une surface est le rapport du flux lumineux reçu par l'aire de cette surface.

L : luminance moyenne du ciel en (cd /m2).



FIGURE 9. CIEL COUVERT UNIFORME (SOURCE : ENERGIE+)

LE CIEL COUVERT (CIE)

Ce type de ciel a été établi par la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE), c'est le modèle le plus largement utilisé car il est considéré comme le plus proche de la réalité. Il correspond à un ciel de nuages clairs cachant le soleil et dont la luminance varie selon le positionnement du soleil pendant la journée et selon les saisons et les latitudes. Il est caractérisé par $L(\theta) = L_z (1+2\sin\theta)/3$ (L_z représente la luminance au zénith et θ la hauteur de la zone du ciel considérée). Donc la luminance du zénith est trois fois supérieure à celle de l'horizon. Dans ce cas, la symétrie autour de la direction zénithale indique que l'orientation d'une baie verticale est sans effet sur le niveau d'éclairage intérieur. C'est notamment la modélisation qui est utilisée pour les calculs de Facteur de Lumière du Jour (FLJ).



FIGURE 10. CIEL COUVERT (CIE) (SOURCE : ENERGIE+)

LE CIEL CLAIR AVEC SOLEIL

Dans le cas du ciel clair avec soleil, la répartition des luminances est variable selon la position du soleil. Ce modèle prend en compte son rayonnement global, c'est-à-dire la somme des rayonnements directs et diffus contrairement aux autres types de ciel qui n'utilisent que la composante diffuse du rayonnement solaire. Il utilise le rayonnement solaire direct, avec une luminance qui est de l'ordre de 100 000 cd/m² et une position qui correspond à l'heure et au jour et utilise aussi comme source indirecte le reste de la voûte céleste et l'albédo (le pouvoir réfléchissant d'une surface, soit le rapport de l'énergie lumineuse réfléchi à l'énergie lumineuse incidente) du sol et des surfaces extérieures proches. Le ciel clair avec soleil correspond à un ciel serein au sein duquel le soleil brille, il offre la possibilité d'étudier les jeux d'ombres et de lumière ainsi que les risques d'éblouissement dus à la pénétration du soleil dans un bâtiment, c'est d'ailleurs le modèle avec lequel la majorité des abaques solaires sont établis.



FIGURE 11. CIEL CLAIR AVEC SOLEIL (SOURCE : ENERGIE+)

LE CIEL CLAIR SANS SOLEIL

Le ciel clair sans soleil considère que les valeurs de luminance varient en fonction de paramètres géométriques et de la position du soleil. Il émet un rayonnement diffus qui dépend de la variation de la position du soleil sans intégrer le rayonnement solaire direct.



FIGURE 12. CIEL CLAIR (SOURCE : ENERGIE+)

1.2.1.2.3. LES NUAGES

Les nuages interagissent avec la lumière du soleil. En effet, leur présence modifie sensiblement l’importance des rayonnements diffus et direct, en jouant un rôle de milieu diffusant, et bien qu’ils soient composés principalement d’eau sous divers états (d’amas de vapeur, de gouttes et parfois de corps solides à base d’eau : glace plus ou moins pure), les nuages modifient le rayonnement solaire de façon notable et particulière. Par conséquent, il est important de les distinguer du reste de l’atmosphère. Afin de caractériser la couverture nuageuse, deux paramètres sont à prendre en considération : leur type et leur quantité.

Ci-dessous un tableau récapitulatif présentant la caractérisation des principaux types de nuages telle que décrite par la classification internationale.

Famille	Genres (nom et symbole)	Propriétés caractéristiques	
Nuages supérieurs	Cirrus, Ci	non étalé en nappe, ni lenticulaire; structure fibreuse ou filamenteuse	
	Cirrocumulus, Cc	étalé en nappe ou lenticulaire	nappe fractionnée ou très accidenté, ou nuage lenticulaire
	Cirrostratus, Cs		nappe continue et peu accidenté
Nuages moyens	Alto cumulus, Ac	étalé en nappe ou lenticulaire;	nappe fractionnée ou très accidenté, ou nuage lenticulaire
	Altostratus, As	altitude du sommet supérieure à 2 km	nappe continue et peu accidenté
	Nimbostratus, Ns		
Nuages inférieurs	Stratocumulus, Sc	étalé en nappe ou lenticulaire;	nappe aux contours arrondis, fractionnée ou très accidentée ou nuage lenticulaire
	Stratus, St	altitude du sommet inférieure à 2 km	nappe continue et peu accidentée, ou aux contours non arrondis
Nuages à développement vertical	Cumulus, Cu	non étalé en nappe, ni lenticulaire	nuage totalement liquide
	Cumulonimbus, Cb		nuage glacé à sa partie supérieure

TABLEAU 1. CLASSIFICATION INTERNATIONALE DES NUAGES (SOURCE : METEOCENTRE.COM)

Le tableau ci-dessous, montre des mesures du rayonnement global subsistant après le passage au travers de différents types de nages. Ce moyen permet d’identifier indirectement l’impact qu’ils ont sur le rayonnement solaire.

Famille	Régions polaires	Régions tempérées	Régions tropicales
Nuages supérieurs	3 à 8 km	5 à 13 km	6 à 18 km
Nuages moyens	(0,5) à 5 km	(0,5) à 9 km	(0,5) à 12 km
Nuages inférieurs	0 à 2 km	0 à 2 km	0 à 2 km
Nuages à développement vertical	(0,5) à 8 km	(0,5) à 13 km	(0,5) à 18 km

Note: l'altitude entre parenthèse représente l'altitude au-dessus du sol (ex. terrain montagneux)

TABLEAU 2. CLASSIFICATION DE NUAGES SELON L’ALTITUDE
(SOURCE : METEOCENTRE.COM)

Selon le tableau, on remarque que le rayonnement global reçu au sol par ciel couvert est toujours inférieur au rayonnement global reçu au sol par ciel clair dans des conditions équivalentes. On conclut alors que les nuages hauts laissent passer la plus grande partie du rayonnement, alors que les nuages bas le réduisent le plus.

1.2.1.2.4. L'ALBEDO

L'albédo du système Terre-atmosphère est la fraction de l'énergie solaire qui est réfléchi vers l'espace. En effet, il représente le rapport entre énergie réfléchi par une surface et énergie incidente (flux incident). Il se mesure à l'aide d'un luxmètre ou d'un albedomètre (système de deux radiomètres). Il exprime la capacité d'un corps à réfléchir ou à absorber un rayonnement : Sa valeur est comprise entre 0 et 1, plus une surface est réfléchissante, plus son albédo est élevé : la valeur 0 (aucune lumière réfléchi) et la valeur 1 (toutes les ondes électromagnétiques sont réfléchies), ou bien est exprimé en pourcentage. Les éléments qui contribuent le plus à l'albédo de la Terre sont les nuages, les surfaces de neige et de glace et les aérosols. Par exemple :

Surface	albédo
neige fraîche ou glace	0,8-0,95
Neige fondante	0,4-0,7
Océan et eau calme	0,1-0,6
Nuages	0,4-0,9

Sable du désert	0,3-0,5
Terre	0,15-0,35
Prairies	0,25-0,30

TABLEAU 3. EXEMPLE D'ALBEDO (SOURCE : AUTEUR)

Plus exactement, l'albédo de la neige fraîche est de 0,87, ce qui signifie que 87 % de l'énergie solaire est réfléchi par ce type de neige. L'albédo des nuages est extrêmement variable, il varie de 0,4 à 0,9 selon leur nature, leur épaisseur, la hauteur du Soleil, etc. Les nuages absorbent en outre une fraction du rayonnement solaire, mais celle-ci reste assez faible et ne dépasse pas 10 % de l'énergie incidente pour les nuages les plus épais. A l'inverse une matière solide ou liquide possède au contraire un albédo caractéristique de sa composition chimique.

1.2.2. PRINCIPES PHYSIQUES DE BASE

La lumière du soleil est un rayonnement électromagnétique constitué d'un ensemble de radiations de natures similaires mais dont les longueurs d'ondes sont différentes. Ils sont soit visibles par l'homme (lumière blanche) ou pas (Ultraviolet, Infrarouge, rayon, etc.). Et même si, à notre époque, l'homme est arrivé à produire des rayonnements qui n'existaient pas il y a seulement un siècle, leur force reste largement inférieure à tout ce dont la nature nous envoie.

1.2.2.1. LE SPECTRE ELECTROMAGNETIQUE

Le spectre électromagnétique désigne tout rayonnement électromagnétique : lumière visible, rayonnement thermique, UV, ondes radio, rayons X et rayonnement radioactif. Il correspond à l'ensemble des radiations émises par une source qui peut être soit le soleil, soit la surface terrestre ou océanique ou l'atmosphère, sous forme d'ondes électromagnétiques ou de particules.

Le spectre électromagnétique est caractérisé par deux natures physiques :

- Nature ondulatoire : Un rayonnement électromagnétique (ou radiation électromagnétique) est une onde formée par deux champs oscillants : un champ

électrique couplé à un champ magnétique à la fois perpendiculaires entre eux et perpendiculaires à la direction de propagation.

- Nature corpusculaire : La nature ondulatoire de la lumière ne permet pas à elle seule d'interpréter les phénomènes d'interaction entre lumière et matière. Cependant, la nature corpusculaire décompose la lumière en grains d'énergies appelées photon résultant du mouvement des électrons de couches électroniques de niveau d'énergie élevé vers d'autres couches de niveau d'énergie faible.

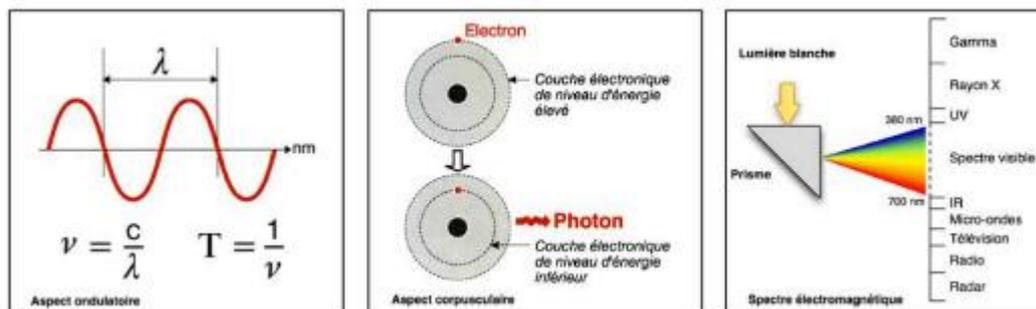


FIGURE 13. ASPECTS ONDULATOIRE ET CORPUSCULAIRE DE LA LUMIERE / PROPRIETES DU SPECTRE VISIBLE DE LA LUMIERE NATURELLE (SOURCE : ENERGIE+)

Le rayonnement électromagnétique peut se définir par la donnée de sa longueur d'onde. La longueur d'onde est la distance dont une onde a besoin pour effectuer un mouvement. Elle s'exprime en unité de longueur, et elle peut varier du milliardième de milliardième de mètre au kilomètre. Plus la distance entre deux sommets est courte, plus la longueur d'onde est petite. Plus la distance est longue, plus la longueur d'onde est grande. Le rayonnement sera différent selon la longueur d'onde. En effet, l'onde prend des couleurs différentes suivant sa longueur. Le rouge a la plus grande longueur d'onde et le violet la plus courte. Pour le blanc, toutes les couleurs du spectre sont combinées.

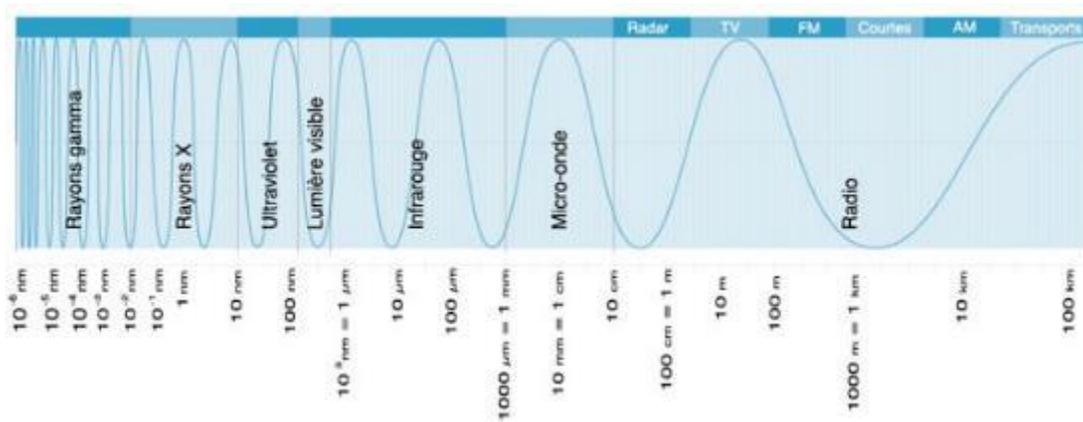


FIGURE 14. LE SPECTRE ELECTROMAGNETIQUE. (SOURCE : [HTTP://ASTRO-CANADA.CA/](http://astro-canada.ca/))

1.2.2.2. LE SPECTRE VISIBLE

Comme nous l’avons vu précédemment, le rayonnement électromagnétique est un transfert d’énergie. Il se réalise par le déplacement de photons ou par ondulations. Le rayonnement est formé d’un champ électrique magnétique. La lumière visible est un rayonnement électromagnétique, mais ne constitue qu’une petite tranche du large spectre électromagnétique. En effet, le spectre visible est uniquement la partie des ondes électromagnétiques à laquelle nos yeux sont réceptifs, c’est-à-dire l’ensemble des composantes monochromatiques de la lumière visible.

L’œil humain est adapté à la lumière, il possède généralement une réponse qui couvre les longueurs d’ondes de 380 nm à 780 nm bien qu’une gamme de 380 nm à 700 nm soit plus commune. Chacune de ces longueurs d’onde correspondant à une couleur. Elles s’étalent du violet (380 nm) au rouge (700 nm) en passant respectivement par l’indigo, le bleu, le vert, le jaune et l’orange constituant les couleurs de l’arc-en-ciel. Au-dessous et au-dessus de ces valeurs, pour les domaines de l’ultraviolet et de l’infrarouge, l’être humain ne perçoit plus les radiations lumineuses. Cependant, l’œil peut avoir une certaine réponse visuelle dans des gammes de longueurs d’onde encore plus larges. Voici une correspondance approximative entre couleurs et longueurs d’onde :

	<i>longueur d'onde (nm)</i>
<i>violet</i>	400 - 420
<i>indigo</i>	420 - 440
<i>bleu</i>	440 - 480
<i>vert</i>	480 - 560

<i>jaune</i>	560 - 580
<i>orange</i>	580 - 620
<i>rouge</i>	620 - 800

TABLEAU 4. COULEURS DU SPECTRE VISIBLE (SOURCE : AUTEUR)

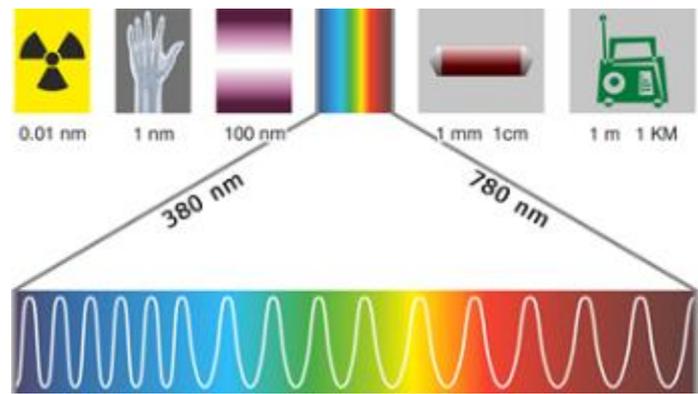


FIGURE 15. LE SPECTRE DE LA LUMIERE NATURELLE (SOURCE : ENERGIE+, 2011)

Ainsi le spectre de la lumière visible est cette forme multicolore que l'on peut observer lorsqu'on décompose la lumière blanche, à l'aide d'un prisme par exemple.

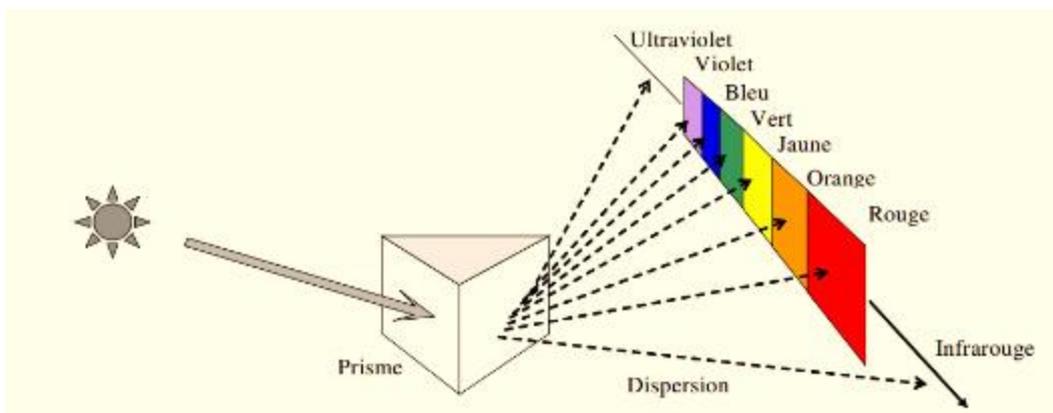


FIGURE 16. DECOMPOSITION SPECTRALE DU RAYONNEMENT SOLAIRE (SOURCE : AUTEUR)

1.2.2.3. LES COULEURS

Nous vivons dans un monde en couleurs. Grâce à la vision, nous nous émerveillons par la variété des effets colorés que la nature offre. En effet, les couleurs sont le résultat de

la perception visuelle de la répartition spectrale de la lumière visible. Cette sensation prend son origine dans la stimulation de cellules nerveuses spécialisées nommées cônes et situées sur la rétine.

1.2.2.3.1. CERCLE CHROMATIQUE

Un cercle chromatique est figuré sous forme de roue sur laquelle se positionnent différentes couleurs. Elle permet une représentation de ces dernières de manière ordonnée. Les couleurs se succèdent dans l'ordre de celles de l'arc-en-ciel, ce qui met en évidence les rapports entre les couleurs de base. Un cercle chromatique présente en général les couleurs sous forme discontinue, des arcs de cercles égaux étant consacrés à chacune des nuances. Les couleurs primaires s'y retrouvent au nombre de trois : le bleu, le rouge ainsi que le jaune. Ces dernières ne peuvent se reproduire en mélangeant d'autres couleurs. Les couleurs secondaires, quant à elles, sont représentées par le vert, le violet et l'orangé. Les couleurs se trouvant les unes à côté des autres sur le cercle chromatique sont appelées couleurs juxtaposées, (le rouge et l'orange sont des couleurs juxtaposées, de même que le vert et le jaune). Le cercle chromatique sert donc à identifier toute une gamme de teintes en plus d'indiquer leur concordance ou leur possible cohabitation. Sur ce cercle, on détermine également les couleurs froides (des verts au violet en passant par les bleus) ainsi que les couleurs chaudes qui se déclinent depuis les rouges vers l'orangé jusqu'aux teintes de jaune...

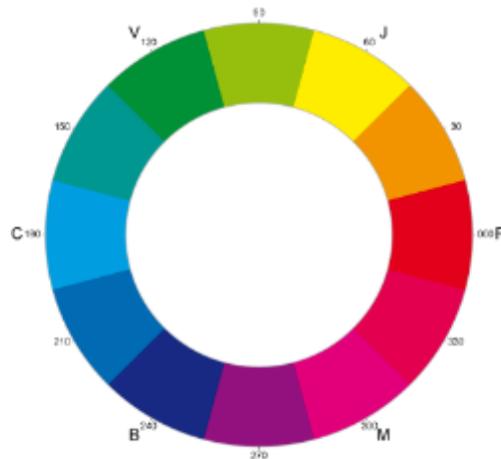


FIGURE 17. CERCLE CHROMATIQUE (SOURCE : WIKIPEDIA)

1.2.2.3.2. TEMPERATURE DE COULEUR

La température de couleur d'une source lumineuse (exprimée en degrés Kelvin - symbole K) est une caractérisation des sources de lumière par comparaison à un matériau idéal émettant de la lumière uniquement par l'effet de la chaleur. En d'autres termes, C'est le critère utilisé pour décrire objectivement les nuances de teintes des lumières blanches. Elle s'étend depuis les teintes dites chaudes, où le rouge domine, (température de couleur $< 3\ 000$ K) comme lorsque les objets sont éclairés par le soleil levant (ou couchant), jusqu'aux teintes dites froides, où le bleu domine, (température de couleur $> 3\ 000$ K) comme sous le soleil intense de midi. Les températures de couleur élevées correspondent à des teintes froides. A l'inverse, les températures de couleur faibles correspondent à des teintes chaudes.

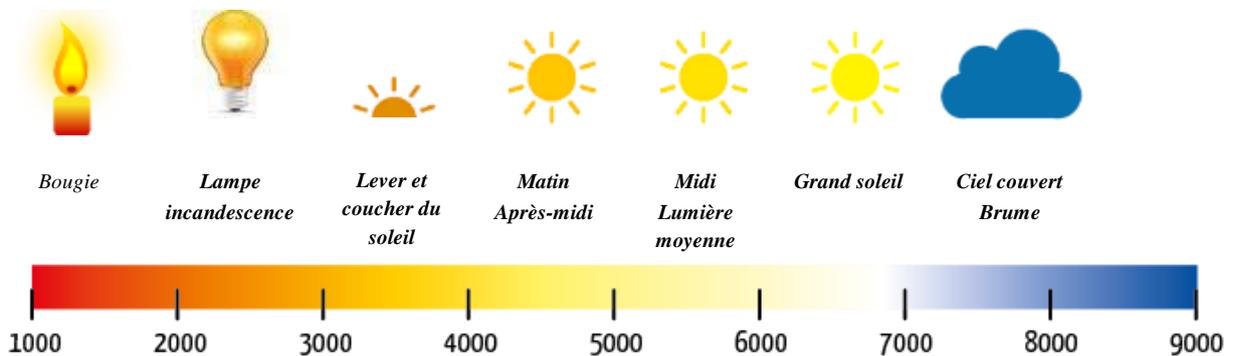


FIGURE 18. LA TEMPERATURE DE COULEUR (SOURCE : AUTEUR)

1.2.2.3.3. L'INDICE DE RENDU DES COULEURS

L'indice de rendu de couleur, ou IRC, est un indice qui permet de mesurer la capacité d'une source lumineuse à bien rendre les couleurs. En d'autres termes c'est l'aptitude d'une source lumineuse à restituer l'ensemble des couleurs du spectre visible. Il est représenté sous forme d'un nombre allant de 0 à 100. Un IRC égal à 100 indique un spectre lumineux parfait c'est à dire englobant la totalité du spectre visible, il correspond à la lumière naturelle du jour, cela signifie que les couleurs sont perçues sans aucune déperdition pour l'œil humain. On considère le rendu de couleur excellent à partir de 90. Les deux facteurs, température de couleur et indice de rendu des couleurs, permettent de qualifier sommairement une source de lumière.

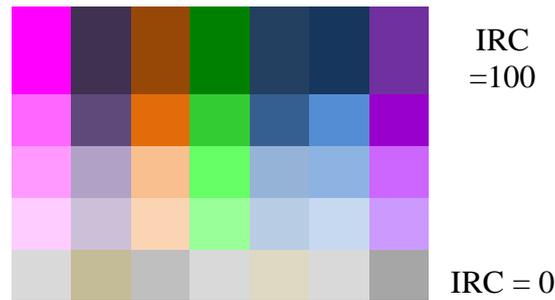


FIGURE 19. L'INDICE DE RENDU DE COULEUR (SOURCE : AUTEUR)

1.2.3. DEFINITIONS ET ORDRES DE GRANDEUR

La photométrie a pour objet de mesurer la lumière, c'est la science qui étudie le rayonnement lumineux tel qu'il est ressenti par la vision humaine ainsi que les différents phénomènes que vont subir ces rayons (transmission, réflexion, diffusion, réfraction, absorption).

La photométrie fait une distinction entre lumière émise (caractéristiques de la source) et lumière reçue (caractéristiques de la surface réceptrice). Flux lumineux et intensité lumineuse caractérisent uniquement la source. L'éclairement caractérise une surface éclairée. La luminance est une caractéristique visuelle, elle décrit la lumière reçue par l'œil.

1.2.3.1. LE FLUX LUMINEUX

Flux lumineux ou puissance rayonnée par une source lumineuse est le débit de lumière ou quantité globale de lumière émise par cette source dans toutes les directions, il s'exprime en lumen (lm). En effet il s'agit du flux lumineux émis dans un angle solide de 1 stéradian par une source ponctuelle uniforme située au sommet de l'angle solide et ayant une intensité lumineuse de 1 candela ($1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \times 1 \text{ sr}$) (pour simplifier on peut considérer un cône avec un angle au sommet proche de 60°). Dans la pratique, cette unité est utilisée pour quantifier la quantité de lumière fournie par une source ou un luminaire de manière globale. Par exemple, une bougie produit un flux lumineux de 12 lumens. Les unités modernes de photométrie sont toutes dérivées historiquement du lumen.

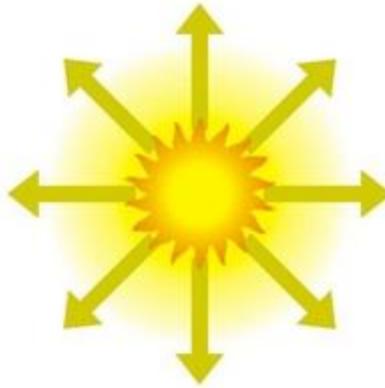


FIGURE 20. LE FLUX LUMINEUX (SOURCE : ENERGIE+)

1.2.3.2. L'INTENSITE LUMINEUSE

L'intensité lumineuse est le flux lumineux émis par unité d'angle solide dans une direction bien précise et ne dépend pas de la distance d'observation, elle est utilisée pour quantifier la quantité de lumière fournie par une source directive, elle est en quelque sorte la capacité du flux lumineux à éclairer dans cette direction. Sur le flux total, l'intensité lumineuse exprime une "moyenne" de la puissance du flux. Elle se mesure en candela (cd). Pour avoir un ordre de grandeur, une candela correspond à peu près à l'éclairage d'une bougie. Une source lumineuse ayant la même intensité lumineuse dans toutes les directions est dite à répartition isotrope. Son intensité lumineuse peut donc être calculée avec exactitude.

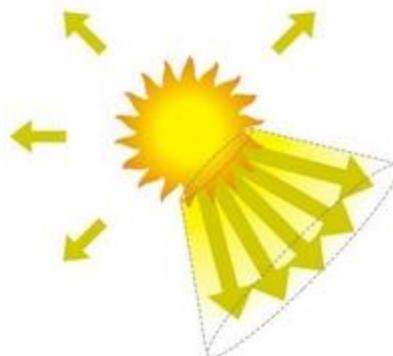


FIGURE 21. L'INTENSITE LUMINEUSE (SOURCE : ENERGIE+)

1.2.3.3. L'ECLAIREMENT

L'éclairage, dont l'unité est le lux (lx), est le flux lumineux intercepté par une surface. Un lux (lx) correspond à l'éclairage d'une surface qui reçoit, d'une manière uniformément répartie, un flux lumineux de 1 lumen par mètre carré. L'éclairage 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. Dans la pratique, cette grandeur est utilisée pour caractériser une quantité de lumière dans un lieu ou sur une surface. L'échelle des niveaux d'éclairage disponibles naturellement est très étendue : elle varie de 0,2 à 100 000 lx.

L'éclairage se calcule en divisant le flux lumineux (F) en lm par une surface (S) en m² en tenant compte de l'angle d'incidence (multiplié par cosinus de l'angle) mais en réalité il n'est pas simple à mesurer, car aucun système électrique n'a la même réponse à la lumière que l'œil humain.



FIGURE 22. L'ÉCLAIREMENT (SOURCE : ENERGIE+, 2011)

1.2.3.4. LA LUMINANCE

La luminance d'une source est le rapport entre l'intensité lumineuse émise dans une direction et la surface apparente de la source lumineuse dans la direction considérée. Elle s'exprime en cd / m². Une candela par mètre carré correspond à la luminance d'une source dont l'intensité lumineuse est 1 candela et l'aire 1 mètre carré. Cette grandeur est la seule perceptible par l'homme et est très utilisée pour mesurer l'éblouissement. Elle permet de quantifier l'impression lumineuse perçue par un observateur qui regarde une source de lumière. La luminance est la sensation visuelle qu'on a de la lumière. Il y a plusieurs facteurs qui influencent le niveau de luminance. Le premier est l'intensité lumineuse de la source de lumière. Ensuite lorsque la luminance est renvoyée par une surface éclairée, tous les paramètres géométriques qui pondèrent plus ou moins la luminance. Et enfin, la coloration de la source lumineuse influence aussi le niveau de luminance.



FIGURE 23. LA LUMINANCE (SOURCE : ENERGIE+, 2011)

1.2.3.5. LE FACTEUR DE LUMIERE DU JOUR (FLJ)

En éclairage naturel, la notion d'éclairement est parfois remplacée par la notion de facteur de lumière du jour (FLJ). Le FLJ est le rapport de l'éclairement naturel intérieur reçu en un point d'un plan de référence à l'éclairement extérieur simultané sur une surface horizontale en site parfaitement dégagé, par ciel couvert. Il s'exprime en %. Ces deux valeurs d'éclairement sont dues à la lumière reçue d'un même ciel dont la répartition des luminances est supposée ou connue, la lumière solaire directe étant exclue :

$$[\text{FLJ} = E_{\text{intérieur}}/E_{\text{extérieur}}] (\%).$$

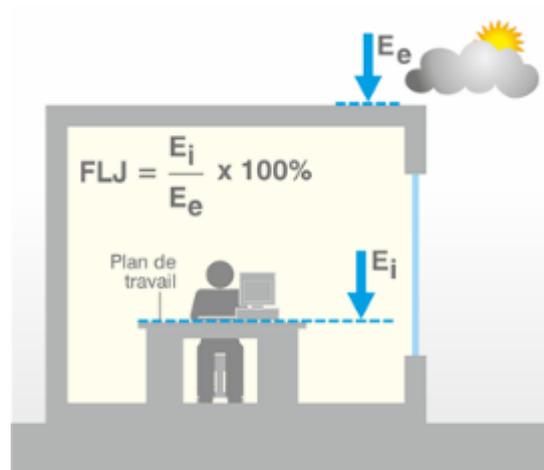


FIGURE 24. LE FACTEUR DE LUMIERE DU JOUR (FLJ) (SOURCE : ENERGIE+, 2011)

Chaque surface intérieure et extérieure est considérée comme un réflecteur diffus. Les locaux sont considérés comme vides. Le facteur de lumière du jour (ou FLJ) est ainsi déterminé dans

une partie du local, généralement la surface du plan de travail (plan horizontal à 1m du sol) comme rapport entre l'éclairement interne dans le plan de travail et l'éclairement extérieur.

Une fois qu'on connaît le facteur de lumière du jour en un point d'un local, on peut calculer l'éclairement atteint en ce point, à n'importe quel moment de l'année, sous des conditions de ciel couvert, à partir de l'éclairement horizontal extérieur.

Sous les conditions de ciel couvert, les valeurs du facteur de lumière du jour sont indépendantes de l'orientation des baies vitrées, de la saison et de l'heure. Elles donnent ainsi une mesure objective et facilement comparable de la qualité de l'éclairement à l'intérieur d'un bâtiment (quelles que soient l'orientation, la localisation et la saison).

FLJ	- de 1 %	1 à 2 %	2 à 4 %	4 à 7 %	7 à 12 %	+ de 12 %
	Très faible	Faible	Modéré	Moyen	Élevé	Très élevé
Zone considérée	Zone éloignée des fenêtres (distance environ 3 à 4 fois la hauteur de la fenêtre)			A proximité des fenêtres ou sous des lanterneaux		
Impression de clarté	Sombre à peu éclairé		Peu éclairé à clair		Clair à très clair	
Impression visuelle du local	Cette zone semble être séparée de cette zone					
Ambiance	Le local semble être refermé sur lui-même			Le local s'ouvre vers l'extérieur		

TABLEAU 5. LES VALEURS DU FACTEUR DE LUMIERE DU JOUR (SOURCE : ENERGIE+, 2011)

1.2.4. LA PROPAGATION DE LA LUMIERE DANS L'ATMOSPHERE

Le rayonnement solaire reçu par la Terre représente en moyenne 340 W/m². Il se propage dans l'atmosphère et interagit avec les constituants gazeux de celle-ci et avec toutes les particules présentes en suspension (aérosols, gouttelettes d'eau et cristaux de glace) comme en témoignent certains phénomènes fréquemment observables, tels que le bleu du ciel ou la couleur du soleil couchant. Le rayonnement solaire peut être absorbé ou diffusé par l'atmosphère ; il peut être réfléchi partiellement à la surface de l'eau, pénétrer dans celle-ci, pour y être absorbé ou diffusé, éventuellement réfléchi par le fond. Dans cette partie, nous allons mettre en évidence ces différents types d'interactions qui affectent la propagation de la lumière solaire dans l'atmosphère.

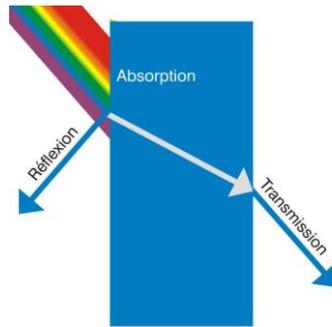


FIGURE 25. DECOMPOSITION DU FLUX SOLAIRE. (SOURCE : A. DE HERDE, S.REITER)

1.2.4.1. LA REFLEXION

Le rayonnement solaire peut être réfléchi par les nuages ou par la surface de la terre. La réflexion de ce dernier se manifeste par un changement de direction du rayonnement électromagnétique quand celui-ci atteint une surface. Le flux du rayonnement solaire réfléchi dépend du facteur de réflexion solaire de la surface, il est exprimé en terme du rapport appelé albédo (rapport entre énergie réfléchi et incidente). L'albédo exprime la capacité d'un corps à réfléchir ou à absorber un rayonnement : Sa valeur est comprise entre 0 et 1, plus une surface est réfléchissante, plus son albédo est élevé : la valeur 0 (aucune lumière réfléchi) et la valeur 1 (toutes les ondes électromagnétiques sont réfléchies), ou bien est exprimé en pourcentage. Le flux solaire réfléchi est perdu pour la paroi considérée. L'albédo moyen pour notre planète est d'environ 0,3, cela signifie que 30% de la lumière du soleil qui atteint la terre est réémise vers l'espace. On distingue trois types de réflexion : réflexion spéculaire, réflexion diffuse et réflexion de volume.

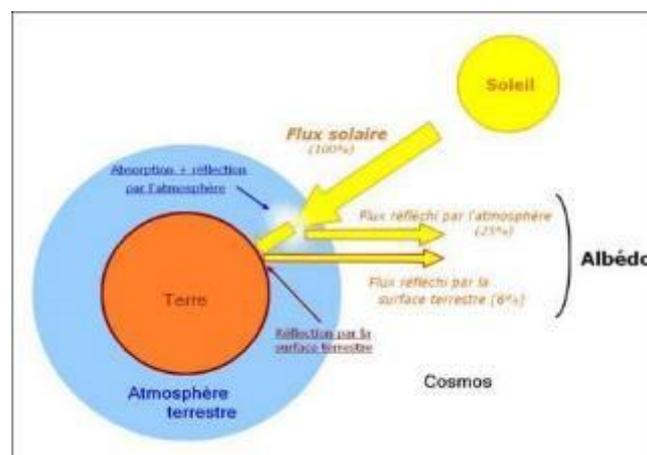


FIGURE 26. LA REFLEXION DU RAYONNEMENT SOLAIRE (SOURCE : WWW.EMSE.FR)

1.2.4.1.1. REFLEXION SPECULAIRE

La réflexion est dite spéculaire lorsque le rayonnement réfléchi par la surface donne naissance à un rayon réfléchi unique. L'énergie du rayon incident se retrouve totalement dans une seule et même direction, en pratique une partie de l'énergie peut être absorbée, diffusée ou réfractée au niveau de l'interface. La réflexion spéculaire se produit uniquement sur des surfaces lisses, dont les aspérités ont une taille inférieure à la longueur d'onde du rayonnement incident. Ce type de réflexion ne peut avoir lieu qu'avec certains matériaux : métaux, verres, plastiques transparents, liquides transparents.

1.2.4.1.2. REFLEXION DIFFUSE

La réflexion est diffuse lorsque les surfaces sont rugueuses, qu'elles présentent des aspérités dont la taille est supérieure à la longueur d'onde du rayonnement incident. Il en résulte de cette réflexion une lumière réfléchie dans toutes les directions et l'énergie du rayon incident est redistribuée dans une multitude de rayons réfléchis avec généralement une direction privilégiée pour laquelle la réflexion est plus importante. C'est ce phénomène qui permet la vision d'un objet éclairé (la réflexion spéculaire permet de voir une image de la source, mais pas de l'objet réfléchissant lui-même).

1.2.4.1.3. REFLEXION MIXTE

La réflexion mixte peut être considérée comme la somme de plusieurs réflexions de surface. La lumière est réfléchie de manière diffuse, mais privilégie une direction précise. Elle se produit lorsqu'une partie du rayonnement incident est transmise dans un milieu.

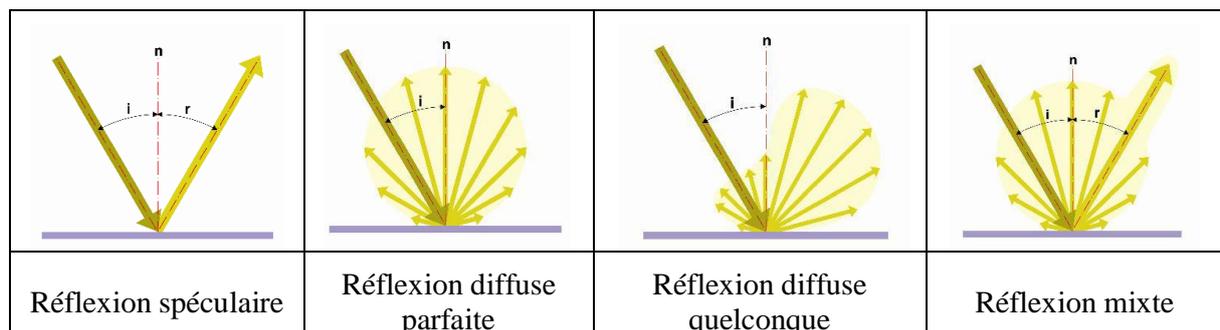


FIGURE 27. LA REFLEXION (SOURCE : A. DE HERDE, S. REITER)

1.2.4.2. LA DIFFUSION

Le phénomène de diffusion se produit dans un milieu contenant de fines particules ou des molécules. Le rayon incident se réfléchit alors en repartant dans toutes les directions. C'est un phénomène qui est toujours associé à la couleur puisqu'il entre toujours en jeu dans la lumière renvoyée par le matériau et reçue par l'observateur. En effet, la voûte céleste apparaît en général bleue et le Soleil couchant rougeâtre (les rayonnements violet et bleu ayant été diffusés) lors de la diffusion par des molécules d'air, car cette dernière est d'autant plus grande que la longueur d'onde de la lumière est courte. Les molécules diffusent la lumière dans toutes les directions ; cependant, deux directions sont privilégiées : la diffusion avant et la diffusion arrière. La lumière diffusée par les particules est généralement bleue, ceci est dû à la présence du dioxygène dans l'atmosphère. L'intensité du flux de diffusion dépend fortement de la taille des particules considérées. Pour les particules les plus grosses (cas des gouttelettes de nuages), la diffusion se fait majoritairement en avant.

1.2.4.3. L'ABSORPTION

Comme nous l'avons vu précédemment, le rayonnement traverse la couche atmosphérique, il entre en collision avec les molécules et les particules présentes dans l'atmosphère. Il peut être dévié de sa trajectoire, c'est le phénomène de diffusion, ou bien être en totalité ou en partie absorbé. Tous les corps naturels absorbent une partie du rayonnement qui leur parvient. La partie du rayonnement absorbé modifie l'énergie interne du corps en la faisant passer d'un niveau d'énergie E_1 à un niveau d'énergie E_2 supérieur. En effet, lors de l'absorption il y a transfert d'énergie entre le rayonnement et les molécules avec lesquelles il entre en collision. Il y a alors un changement de configuration électronique qui mène à une production de chaleur et à une réémission de l'énergie à une plus grande longueur d'onde.

1.3. LA LUMIERE NATURELLE : DIMENSION PHYSIOLOGIQUE ET PSYCHOLOGIQUE

L'existence de l'homme est intimement liée à la lumière naturelle, son importance physiologique et psychologique est aujourd'hui clairement établie. Plusieurs études démontrent l'importance considérable de la lumière naturelle ; non seulement elle est nécessaire à l'être vivant pour vivre en bonne santé, mais aussi nécessaire pour son bien-être psychique. En effet, cette dernière nous influence du point de vue physiologique et psychologique.

1.3.1. LUMIERE, SANTE ET BIEN-ETRE

La lumière naturelle est indispensable à l'équilibre vital de l'homme, à sa santé et à son bien-être. Elle l'influence d'un point de vue physiologique mais aussi psychologique. Grand nombre de recherches ont démontré qu'avoir des carences en lumière naturelle peut s'avérer à terme aussi néfaste qu'avoir des carences nutritionnelles. En effet, le manque de lumière naturelle peut avoir pour conséquence des troubles de l'humeur et de la vigilance. Il peut être aussi source de dépression, de fatigue et de stress, provoquant endormissement, sensation de fatigue, insomnie ou irritabilité : troubles handicapants pour l'homme.

La lumière naturelle n'a pas d'effets que sur le niveau de la vision seulement mais aussi sur d'autres fonctions biologiques qui se font ressentir :

- Sur notre horloge interne : le plus puissant des synchronisateurs du rythme biologique est la lumière. En effet, nous sommes synchronisés avec la période de révolution de la Terre sur elle-même et autour du Soleil, c'est ce que l'on appelle les cycles "circadiens". Après pénétration de la lumière via les yeux, les photorécepteurs transmettent ce signal vers le cerveau qui commande notamment la sécrétion d'hormones spécifiques. Le fonctionnement de l'organisme (veille/sommeil, température, hormones, mémoire...). Ainsi tout au long de la durée de ce cycle (un peu plus de 24 heures) nous sommes soumis à un rythme biologique.
- Sur le sommeil : notre sommeil dépend de la sécrétion de mélatonine. En effet, en fin de journée, dès la tombée de la nuit, la mélatonine, l'hormone qui facilite l'endormissement est sécrétée. Elle entraîne la sensation de fatigue, abaisse la vigilance et nous prépare ainsi à dormir. L'exposition à la lumière, le soir, retarde la production de mélatonine, et donc l'endormissement. Une exposition lumineuse le matin va, au contraire, avancer l'horloge.
- Sur notre humeur : le lien entre lumière et dépression n'est plus à démontrer. En effet, l'alternance des cycles de lumière et d'obscurité est largement perturbée en période hivernale et il devient alors difficile d'avoir recours à une quantité suffisante de rayonnement naturel, afin d'éviter de sombrer dans un état de mélancolie, de baisse d'énergie et de motivation. C'est ce qu'on appelle le "trouble de l'humeur saisonnier".
- Sur nos performances cognitives : La lumière constitue un stimulant puissant pour l'éveil et la cognition. En effet, le manque d'intensité lumineuse pourrait expliquer un tiers des cas de troubles de l'attention et inversement, les gens bénéficiant d'une haute intensité lumineuse seraient comme plus performant cognitivement, grâce entre autres à de meilleurs rythmes de sommeil.

- Sur la sécrétion de certaines hormones telles que la mélatonine et le cortisol d'une part. D'autre part, la lumière naturelle favorise la synthèse de la vitamine D qui participe au bon fonctionnement de notre immunité.

1.3.2. LUMIERE, SECURITE ET PRODUCTIVITE

Comme nous l'avons vu précédemment, les effets de la lumière naturelle pour la santé et le bien-être sont nombreux et évidents. Concernant la sécurité, de nombreuses études confirment l'impact des conditions d'éclairage sur cette dernière. Dans les milieux de travail, lorsqu'un espace est éclairé correctement, le travailleur se concentre mieux, ses gestes sont plus précis, le nombre d'erreurs et de fautes de qualité diminue de façon significative et la fatigue visuelle se manifeste moins vite. En effet, la lumière naturelle est un facteur de sécurité au travail qui contribue nettement à l'amélioration de son confort et à son efficacité.

Concernant la productivité, des recherches ont montrés que la lumière naturelle à une influence positive sur les capacités d'apprentissage et de travail des individus et contribue à un meilleur degré de concentration et de mémoire à court terme. La productivité s'accroît avec l'exposition à la lumière naturelle.

1.4. LA LUMIERE NATURELLE : DIMENSION ARCHITECTURALE

La lumière naturelle peut être utilisée comme un outil de conception architecturale. D'ailleurs, tout l'enjeu de l'architecture réside dans le fait de faire pénétrer la lumière naturelle, matériau changeant par définition, dans un lieu fermé et statique, d'où la relation étroite et très particulière qu'ils entretiennent l'un avec l'autre.

La lumière diffère à chaque instant, en chaque lieu et son intensité varie constamment. En effet, grâce sa richesse inégalée, la lumière naturelle, peut révéler et mettre en valeur un bâtiment par son action sur les espaces, les formes, les structures, les matériaux, les couleurs et les significations de l'édifice. Elle peut être filtrée, orientée, accentuée par la mise en place de systèmes architecturaux multiples et offre ainsi la possibilité de créer des ambiances particulières et singulières de façon plus ou moins maîtrisée.

1.4.1. STRATEGIE DE L'ECLAIRAGE

La lumière naturelle joue un rôle essentiel sur la qualité du rapport entre le bâtiment et son environnement. En effet, la stratégie de l'éclairage naturel vise à maîtriser le matériau, qui est la lumière, à travers une réflexion architecturale qui prend en considération la consommation énergétique, le confort des occupants et la valorisation de l'espace. Cette stratégie suit cinq concepts destinés à favoriser la meilleure utilisation possible de la lumière naturelle :

1.2.4.1. CAPTER LA LUMIERE

Une partie de la lumière naturelle est captée par les ouvertures et transmise à l'intérieur du bâtiment. Cette lumière change de qualité et de quantité selon les saisons et les heures de la journée, l'orientation et l'inclinaison de l'ouverture, sans oublier de prendre en compte l'environnement du bâtiment : relief du terrain, végétation, constructions voisines pouvant engendrer des masques, etc. Tous ces éléments sont déterminants pour obtenir un bon niveau d'éclairage.

1.2.4.2. CONDUIRE LA LUMIERE

Faire conduire la lumière naturelle dans un local signifie favoriser sa pénétration à l'intérieur de ce dernier. Il s'agit en particulier de limiter l'absorption des rayons lumineux par les parois, afin de favoriser la pénétration de la lumière en profondeur. Cette pénétration de la lumière au cœur du bâtiment produit des effets de lumière très différents. Ces variations lumineuses, dépendent d'une part, des caractéristiques de l'ouverture (dimensions, forme, position en toiture ou en façade, matériau de transmission utilisé : transparent ou translucide) et des conditions extérieures (type de ciel, troubles climatiques, saison, heure du jour et dégagement du site) d'autre part.

1.2.4.3. DISTRIBUER LA LUMIERE

Distribuer la lumière naturelle consiste à diriger et à transporter les rayons lumineux de manière à créer une bonne répartition de la lumière naturelle dans le bâtiment et cela malgré son inhomogénéité dans les éclairages. La répartition harmonieuse de la lumière représente un élément primordial pour assurer un éclairage de qualité et pour y faire, plusieurs facteurs peuvent entrer en jeu : la distribution lumineuse, la répartition des ouvertures, l'agencement des parois intérieures, le matériau des surfaces du local, les zones et les systèmes de distribution lumineuse.

1.2.4.4. SE PROTEGER DE LA LUMIERE

Se protéger de la lumière naturelle consiste à arrêter partiellement ou totalement le rayonnement lumineux lorsqu'il présente des caractéristiques nuisibles à l'utilisation d'un espace. En effet, la pénétration excessive de lumière naturelle peut être une cause de gêne visuelle (éblouissement, fatigue). Elle peut se contrôler par la construction d'éléments architecturaux fixes qu'on appelle protections Solaires. Ces derniers représentent tout corps empêchant le rayonnement Solaire d'atteindre une surface qu'on souhaite ne pas voir ensoleillée. Comme par exemple : les surplombs, les bandeaux lumineux ou lightshelves, les débords de toiture, etc... associés ou non à des écrans mobiles (marquises, volets, persiennes ou stores).

1.2.4.5. CONCENTRE LA LUMIERE

Il existe des situations dans lesquelles il est nécessaire de concentrer la quantité de lumière naturelle pour but de mettre en valeur un lieu, un objet particulier ou pour créer une ambiance lumineuse particulière. Certains systèmes et dispositifs architecturaux permettent cela. En effet, un atrium au centre d'un bâtiment permet à la lumière du jour de mieux pénétrer dans le bâtiment et crée une ambiance particulière. Les conduits lumineux sur lesquelles sont placés des réflecteurs (orientés vers le sud pour réorienter les rayons solaires à l'intérieur du conduit.) permettent d'accroître la quantité de lumière capturée et favorise ainsi une intensité lumineuse accrue. Ce système de réflecteurs permet d'optimiser l'utilisation de la lumière naturelle.

1.2.4.6. MAITRISER LA LUMIERE

La maîtrise de la lumière naturelle qui pénètre dans un espace passe par le contrôle de la quantité et la distribution de cette dernière. En effet, la gestion de la quantité de lumière naturelle voulue varie en fonction de la variation des conditions climatiques et des besoins des occupants. Cette gestion permet, d'une part, de répondre à la variation continue de la lumière naturelle et, d'autre part, d'adapter l'ambiance lumineuse d'un local pour correspondre au mieux aux besoins de ses utilisateurs. Un non contrôle de la lumière naturelle peut mener à une pénétration excessive, ce qui peut causer une gêne visuelle (éblouissement, fatigue). Il existe plusieurs dispositifs qui assurent la maîtrise de la lumière naturelle tels que les éléments architecturaux fixes (surplombs, bandeaux lumineux ou light shelves, débords de toiture, etc.) associés ou non à des écrans mobiles (volets, persiennes ou stores).

1.5. CONCLUSION

La lumière est synonyme de vie. Elle correspond à toutes les formes de lumières provenant du soleil, direct et indirect (éclairage direct, rayonnement diffus du ciel). Sa dimension immatérielle, son aspect changeant, sa transparence expliquent sa fascination sur l'homme. En effet, elle n'est ni fixe ni toujours égale dans sa qualité et son intensité et cela est fonction du positionnement sur le globe terrestre, du jour de l'année, de l'heure, des phénomènes météorologiques...

L'existence de l'homme est intimement liée à la lumière. En effet, la lumière naturelle agit sur son développement et son bien-être et régule ses processus physiologiques mais aussi psychologique : elle stimule le corps humain en transmettant des signaux lumineux du cerveau par l'intermédiaire des yeux. Elle régule globalement le rythme jour / nuit mais aussi le métabolisme humain et permet ainsi de garder contact avec l'environnement. D'autre part, il a été prouvé que le manque de lumière naturelle était source de dépression, de fatigue et de stress, provoquant endormissement, sensation de fatigue, insomnie ou irritabilité. Ainsi, un espace bénéficiant d'un éclairage naturel donne une véritable perception de bien-être et de confort. Cette sensation agit positivement sur notre mental ce qui favorise la santé physique.

La lumière naturelle entretient une relation très particulière avec l'architecture. Elle peut révéler un bâtiment par son action sur les espaces, les formes, les structures, les matériaux, les couleurs et les significations de l'édifice. D'autre part, elle apparaît comme le mode d'éclairage le plus agréable, le plus performant et le plus économique. En effet, une utilisation judicieuse permet d'effectuer des tâches complexes et minutieuses en améliorant les conditions de vision et en limitant la fatigue, l'une des premières causes d'accident du travail.

CHAPITRE 2

LUMIERE ET VISION

2. LUMIERE ET VISION

2.1. INTRODUCTION

Pour l'être humain, la perception visuelle est sans doute le sens qui est sollicité le plus et de manière presque permanente. En effet, la perception des objets et des événements ainsi que l'exécution de différentes tâches s'effectuent sous le contrôle de la vue. Cette sollicitation des fonctions visuelles dépend principalement de la lumière car c'est la lumière qui rend les objets visibles.

Pour définir la perception visuelle, il est indispensable de commencer par la vision et le système visuel. Donc dans ce chapitre nous allons essayer de donner des définitions simples sur les caractéristiques physiologiques de l'œil humain et ses mécanismes perceptifs. Pour cela, nous citerons les éléments constitutifs d'un œil, en termes de caractéristiques physiologiques et nous mettrons en évidence les mécanismes du système visuel.

Ensuite, nous nous intéresserons à la perception de la lumière en mettant un accent particulier sur les mécanismes de perception d'une onde lumineuse tant d'un point de vue énergétique que spectral. Nous parlerons par la suite du confort visuel, un terme utilisé pour définir l'impression liée à la quantité, la distribution et à la qualité de la lumière.

Et pour finir nous essayerons de comprendre la subjectivité de la perception visuelle. En effet, la comprendre implique non seulement de représenter l'œil en tant que système optique, mais aussi d'expliquer l'interprétation de l'image perçue.

2.2. PERCEPTION VISUELLE

« Ouvrez les yeux et observez le monde qui vous entoure ! Que voyez-vous ? Le ciel bleu et les nuages, les montagnes et la mer, la rue et ses maisons, vos semblables Homo sapiens... Tout un ensemble de formes, de couleurs, de tailles et de volumes variés. Voir, en apparence il n'y a rien de plus simple, mais pourtant, c'est tout un art... Un art de reconnaître un ami de loin dans la rue, un art de distinguer un arbre à moitié masqué par la maison

située devant lui, un art aussi de repérer des objets en mouvement, de différencier toutes les couleurs de l'arc-en-ciel, et un art de comprendre ce que nous voyons. Comment sommes-nous capables de percevoir aussi rapidement et sans efforts apparents toute cette richesse du monde en trois dimensions (3D) qui nous entoure ? C'est la question que se pose nombre de scientifiques. » (MASSAUX, Aurélie, 2006)

La vue est probablement un des sens auquel nous accordons le plus d'importance. En effet, nous percevons la plupart des informations sur notre environnement à travers nos yeux car c'est eux qui nous permettent d'observer, d'analyser et d'apprécier l'environnement qui nous entoure à distance au moyen des rayonnements lumineux. Dans ce contexte, la lumière n'est pas qu'un élément nécessaire, mais essentiellement le moyen de voir. En effet, c'est par le sens de la vue que nous percevons la lumière, les formes et les couleurs, que nous apprécions les détails des objets, leur distance et leur relief. Notre vue est limitée au spectre du visible ; nous ne voyons pas l'infrarouge ni l'ultraviolet, et encore moins les ondes radio, les micro-ondes ou les rayons gamma.

La perception visuelle, nécessite l'intervention, en premier lieu, de l'œil qui recueille les informations visuelles et les transforme en messages nerveux au niveau de la rétine, puis les véhicule par les nerfs optiques jusqu'au cerveau. En second lieu, c'est le cortex visuel (zones spécialisées du cerveau) qui intervient en analysant et synthétisant les informations collectées en termes de forme, de couleur, de texture, de relief, etc... C'est alors que la perception visuelle est élaborée.

2.2.1. PHYSIOLOGIE DE L'ŒIL

L'œil est l'organe principal du système visuel, en effet, c'est lui qui régule le sens de la vue et qui permet d'analyser les formes, les couleurs, et les dimensions des objets qui entourent, en traitant la lumière que ces objets reflètent ou émettent. Plus précisément, l'œil a pour fonction de recevoir et de transformer les vibrations électromagnétiques de la lumière vers le nerf optique en influx nerveux qui sont transmis au cerveau, au niveau du cortex visuel, qui à son tour renvoie l'image traitée et permet ainsi l'interprétation de l'environnement visualisé. L'œil fonctionne comme un appareil photographique. La vue chez l'être humain représente la principale source d'information du cerveau sur le monde extérieur : environ 70% des

informations passent par la vision. Les deux globes oculaires sont fixés au niveau de l'orbite grâce à des muscles chacun d'eux est formé de trois enveloppes emboîtées : la sclérotique, la choroïde et la rétine :

- La sclérotique, est une enveloppe de protection. Elle recouvre environ les cinq sixièmes de la surface de l'œil. Blanche et résistante, elle constitue le blanc de l'œil. Vers l'avant, cette enveloppe devient transparente et forme la cornée.
- La choroïde est située à l'intérieur de la sclérotique, c'est une couche vasculaire de couleur noire (la mélanine) qui tapisse les trois cinquièmes postérieurs du globe oculaire. Elle est très riche en vaisseaux sanguins afin de nourrir les photorécepteurs de la rétine. Vers l'avant, la choroïde donne naissance à l'iris, un disque coloré percé en son centre par un orifice, la pupille, dont le diamètre varie en fonction de l'intensité lumineuse qui pénètre dans l'œil.
- La rétine est l'enveloppe la plus interne de l'œil : c'est la couche sensible à la lumière grâce aux photorécepteurs (les cônes et les bâtonnets). Le prolongement de cette membrane très mince et transparente donne naissance au nerf optique.

L'intérieur des deux globes oculaires est rempli de différents milieux transparents qui jouent le rôle d'une lentille, en permettant la formation d'une image au fond de l'œil. Il s'agit de l'humeur aqueuse, du cristallin et de l'humeur vitrée :

- La cornée est une membrane solide et transparente de 11 mm de diamètre au travers de laquelle la lumière entre à l'intérieur de l'œil. Elle est nourrie par un liquide fluide semblable à l'eau : l'humeur aqueuse.
- Derrière l'iris se trouve le cristallin. C'est une lentille auxiliaire molle et composée de fines couches superposées. Il se déforme sous l'action du muscle ciliaire. Il permet de faire la mise au point pour des objets rapprochés.
- Enfin, l'espace situé entre le cristallin et la rétine contient l'humeur vitrée. Elle occupe 80% du volume de l'œil, elle est constituée d'une gelée (acide hyaluronique) qui donne à l'œil sa consistance.

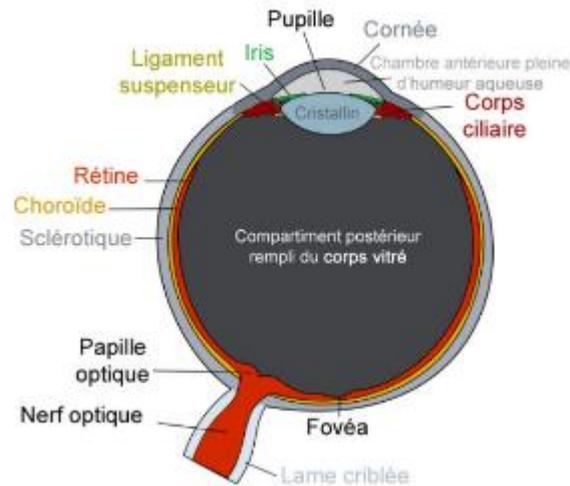


FIGURE 28. PHYSIOLOGIE DE L'ŒIL (SOURCE : TOURRE, V., 2007)

2.2.2. MECANISMES DE LA VISION

La vision est considérée très souvent comme le sens le plus important. D'un point de vue physiologique, la vision fait intervenir de nombreux éléments, aussi bien des yeux que du cerveau. Les yeux sont capables de s'adapter en fonction de la quantité de lumière qui leurs parvient via leurs ouvertures pupillaires. Cette lumière peut provenir d'une source lumineuse comme le soleil ou une ampoule, mais aussi de tous les objets que nous voyons car ils reflètent la lumière. Le mécanisme de perception de la lumière se divise en trois étapes :

2.2.2.1. FORMATION DE L'IMAGE SUR LA RETINE

La lumière traverse les différents milieux constituant l'œil : Tout d'abord, l'iris règle la quantité du flux lumineux qui entre par l'œil en ajustant le diamètre de la pupille. Cette dernière joue le rôle de diaphragme en ajustant son diamètre à la luminosité ambiante. Ensuite le flux lumineux va traverser les milieux oculaires comme le cristallin et le corps vitré.

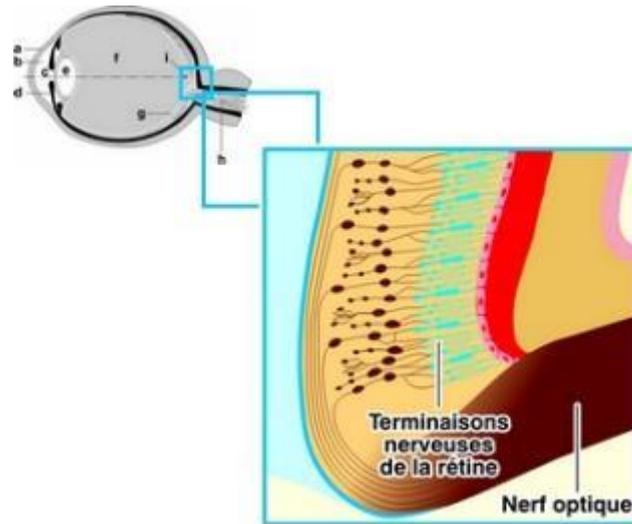


FIGURE 29. LA RETINE (SOURCE : ENERGIE+, 2011)

La rétine est indispensable à la vision puisqu'elle convertit le stimulus visuel en message nerveux. C'est la membrane qui tapisse le fond de l'œil et c'est à sa surface que se construisent les images grâce à des cellules spécialisées. En effet, ce n'est qu'après avoir traversé l'épaisseur de la rétine que la lumière parvient aux segments externes des photorécepteurs (cellules sensorielles) qui transforment l'énergie lumineuse en signaux électrochimiques. Il existe deux types de photorécepteurs : les cônes et les bâtonnets et ce sont des neurones très courts qui se spécifient par leur forme et par la nature des pigments photosensibles qu'ils contiennent :

- Les cônes sont spécialisés dans la vision diurne. Ils ont une résolution spatiale très élevée et sont sensibles aux formes et aux couleurs des objets et à la vision des détails, ils permettent une bonne vision au centre du champ visuel. Il en existe près de 7 millions et ils sont principalement concentrés dans la partie centrale de la rétine, appelée fovéa ou macula.
- Les bâtonnets sont spécialisés dans la vision crépusculaire (très faible éclaircissement), et dans la perception des différences d'intensité lumineuse. Ils sont au nombre de 130 millions et sont principalement situés dans la rétine périphérique, ils sont beaucoup plus sensibles à la lumière que les cônes (plus de 100 fois) mais aussi au mouvement.

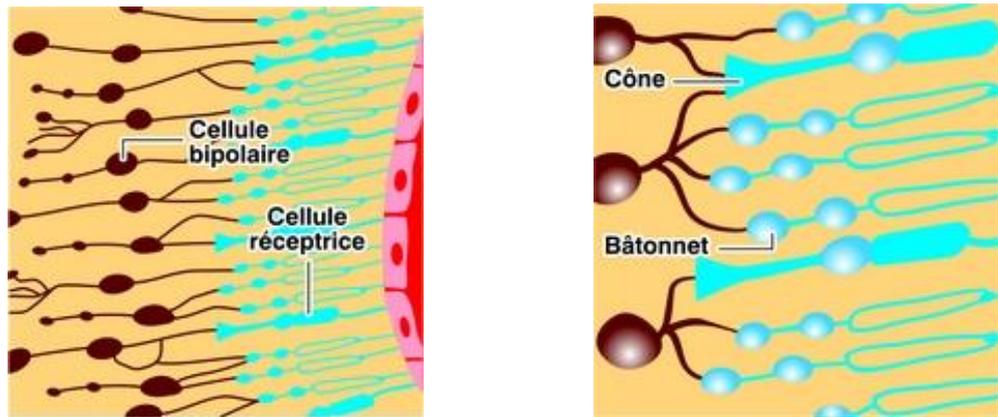


FIGURE 30. LES TERMINAISONS NERVEUSES DE LA RETINE / LES CONES ET LES BATONNETS
(SOURCE : ENERGIE+, 2011)

Par suite, sous l'action des photons¹, la photo-isomérisation va avoir lieu. En effet, la luminosité apparente d'un objet dépend du nombre de photons traversant l'œil. Ce mécanisme transforme la forme de la molécule de rétinal située dans le segment externe des photorécepteurs. Si la longueur d'onde² d'un rayonnement électromagnétique est inférieure ou supérieure à certaines limites, aucune impression visuelle ne sera générée.

2.2.2.2. TRANSMISSION DE SIGNAUX

Le phénomène de transmission vient ensuite. Lorsque l'énergie lumineuse est absorbée par la substance photosensible, cette dernière se décompose et entraîne une série de réactions chimiques et donne naissance au message nerveux. En effet, le message nerveux est le résultat de la modification des propriétés électriques de la lumière absorbée par les pigments photosensibles des cônes et des bâtonnets. Le traitement de l'information se fait ensuite et permet de coder l'image par des trains d'impulsions électriques qui se propagent par les fibres du nerf optique. Si la stimulation visuelle est suffisante, un message nerveux, composé d'une succession de signaux électriques, est généré dans les fibres du nerf optique. Une variation de

¹ Comme pour la matière, la lumière est constituée de grains élémentaires de lumière appelés photons.

² Caractéristique d'une vibration lumineuse. Chaque longueur d'onde correspond à une couleur. Les plus courtes sont rouges, les plus longues sont bleues. L'œil ne perçoit pas les longueurs d'ondes trop courtes (infra-rouge) ni les longueurs d'onde trop longues (ultra-violet).

l'intensité du stimulus visuel se traduit alors par une variation de la fréquence des signaux électriques.

2.2.2.3. INTERPRETATION

C'est au niveau du cerveau que tous ces petits pixels d'information lumineuse seront analysés et interprétés en une série d'images cohérentes. Ces informations transmises au cerveau sont interprétées suivant le processus émotionnel cognitif qui va aboutir à l'interprétation de l'image. En effet, les formes, contours, distances et mouvements deviendront un tout qui n'aura du sens qu'en fonction des notions et expériences acquises. C'est le domaine de la neurophysiologie. Le cerveau humain a une stupéfiante capacité d'adaptation et de discernement. En effet, si nous donnons, par exemple, à une personne des lunettes qui inversent les images, son cerveau ne mettrait pas grand temps à rectifier l'image et la rendre conforme à la réalité. Notons néanmoins que des éléments physiques peuvent tromper notre interprétation, c'est le phénomène d'illusions d'optiques.

2.2.3. PERCEPTION DE LA LUMIERE

La lumière est probablement la partie de la nature à laquelle nous accédons le plus souvent. La perception de cette lumière est un des sens les plus importants de l'Homme. En effet, grâce à cette perception, nous pouvons appréhender facilement l'espace qui nous entoure et nous y déplacer aisément.

La lumière correspond aux radiations électromagnétiques visibles par l'œil humain, c'est-à-dire aux longueurs d'onde comprises entre 380 et 780 nm. Toutes ces ondes ne sont pas visibles à l'œil nu. En effet, l'œil ne perçoit qu'une infime partie du spectre émis par le soleil.³

L'œil joue le rôle d'interface avec l'environnement extérieur, il est notre récepteur de la lumière. En effet, il est sensible non seulement aux caractéristiques de la lumière, mais aussi au niveau de ses variations et de sa répartition. Il transmet alors au cerveau les informations qu'il perçoit dans son champ visuel en prenant en compte leur forme, leurs couleurs, leur volume.

³ Les ondes électromagnétiques ultraviolettes ou infrarouges sont en dehors du spectre visible par l'être humain et donc invisibles. Le spectre visible par l'œil humain va de 400 nm (nanomètres) à 750 nm.

Sans la lumière, nous ne pouvons voir, mais la lumière n'est pas visible en elle-même. Elle ne l'est que grâce aux surfaces qui la réfléchissent. En effet, pour que la lumière soit perçue, elle doit atteindre les cellules de l'œil, soit directement, soit par réflexion sur une surface.⁴

2.2.3.1. LE CHAMP VISUEL

Le champ visuel, c'est l'espace visuel périphérique vu par l'œil. En d'autres termes, c'est la portion de l'espace perçu par l'œil en condition d'immobilité de la tête et des yeux. En effet, lorsque l'œil fixe un point, il est capable de détecter dans une zone d'espace limitée, des lumières, des couleurs et des formes.

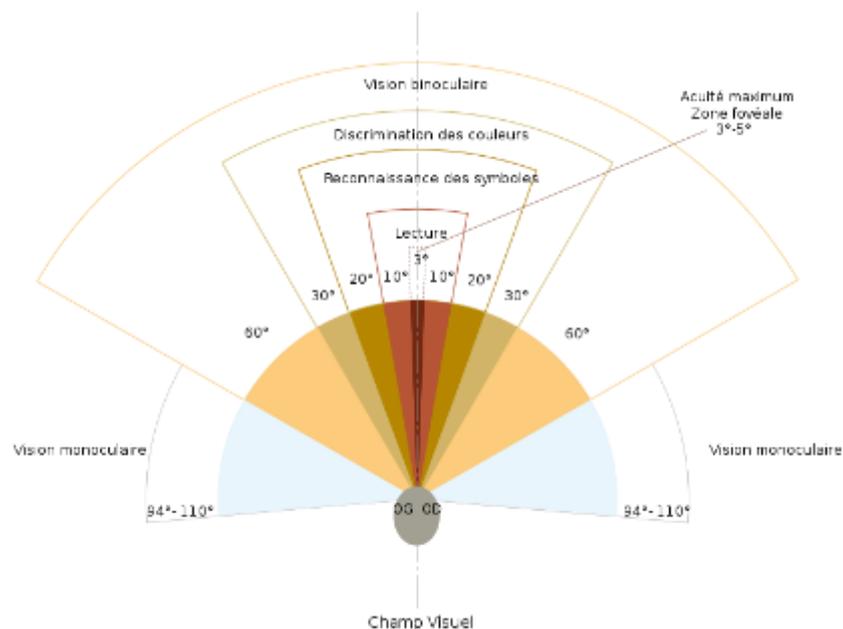


FIGURE 31. CHAMP VISUEL HORIZONTAL D'UN ETRE HUMAIN (SOURCE : WIKIPEDIA)

Le champ visuel est limité par les obstacles anatomiques (nez, orbite). En vision binoculaire, il couvre environ 180° chez un individu dont la vision est normale. En vision monoculaire, il s'étend du point central de fixation jusqu'à 90° du côté externe (temporal), 60° interne (nasal),

⁴ Les ondes touchant une surface sont en partie absorbées et en partie réfléchies par celle-ci. Les ondes réfléchies atteignant notre œil ont les caractéristiques permettant d'identifier la surface. Sans lumière qui atteint une surface, celle-ci ne pourrait renvoyer d'ondes et ne serait pas visible.

70° inférieur et 50° supérieur. En vision, le diamètre angulaire est d'environ 180° horizontalement et d'environ 120° verticalement. Lorsque le champ visuel est altéré, des zones du champ sont moins sensibles, voire aveugles.

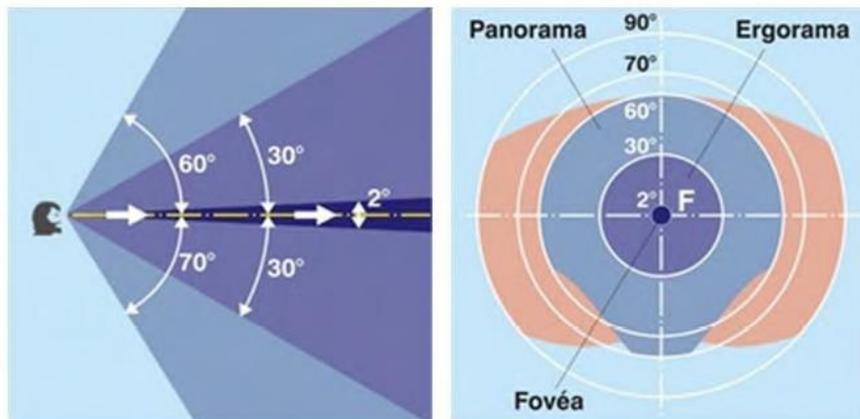


FIGURE 32. IMAGE DE GAUCHE : CHAMP VISUEL HORIZONTAL - IMAGE DE DROITE : CHAMP VISUEL VU DE FACE (SOURCE : ENERGIE+, 2011)

2.2.3.2. LA PERCEPTION DES COULEURS

Par définition, la perception des couleurs est l'impression produite sur l'œil par les diverses radiations constitutives de la lumière. La lumière est nécessaire pour percevoir les couleurs. C'est la raison pour laquelle nous ne pouvons pas voir les couleurs dans le noir, uniquement des nuances de gris. Un être humain dont la vision des couleurs est considérée comme normale est capable de percevoir 15000 nuances.

Comme nous l'avons vu précédemment dans le chapitre 1, la lumière se compose d'ondes électromagnétiques. Cependant, l'impression de couleur générée par notre cerveau dépend des longueurs d'ondes du spectre de lumière visible réfléchies par un objet. L'œil voit les couleurs de façon différenciée. A chaque couleur est associée une longueur d'onde que nous percevons plus ou moins bien. Ainsi nous sommes très sensibles au jaune et voyons mal les bleus et les rouges.

Le mécanisme de perception des couleurs est un processus physiologique complexe. L'œil transforme la lumière en sensation colorée grâce à la rétine. En effet, l'œil est capable, grâce à de nombreux photorécepteurs de capter la lumière et de transformer cette information en signal électrique qui est ensuite décodé par le cerveau. Ce dernier élabore alors la sensation colorée au niveau du cortex visuel puis d'autres centres cérébraux qui font prendre conscience de la

perception colorée. Ainsi, l'œil est capable de percevoir les couleurs fondamentales : rouge, verte et bleue.

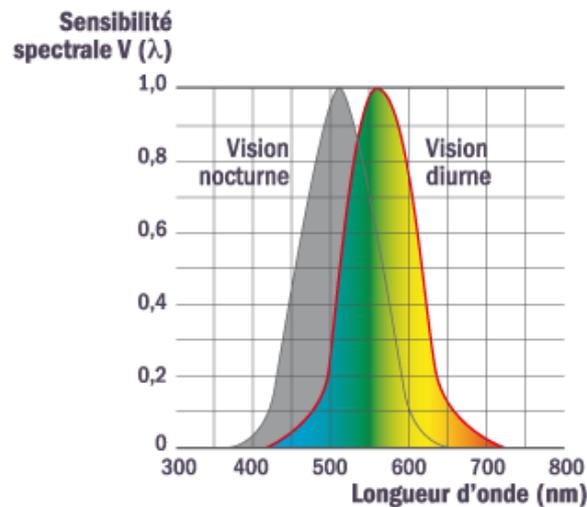


FIGURE 33. LA PERCEPTION DES COULEURS PAR L'ŒIL HUMAIN (SOURCE : WWW.HAGIDENT.EU)

2.2.3.3. L'ACUITE VISUELLE

L'acuité visuelle est la capacité à distinguer nettement les détails des objets visualisés. Elle se mesure en 10^{ème} (Une acuité normale est de 10/10^{ème}). Le test peut s'effectuer en vision de loin et en vision de près.

L'acuité visuelle se mesure à l'aide d'optotypes (dessins, lettres...). La vision est dite « bonne » si l'individu a l'aptitude de discerner un petit objet (ou optotype) situé le plus loin possible : donc de voir à une distance fixe (en général cinq mètres) un optotype sous le plus petit angle possible. Dans le champ visuel périphérique, l'acuité diminue mais la perception du mouvement reste bonne.

2.3. LE CONFORT VISUEL

2.3.1. DEFINITIONS

Le confort visuel est le terme utilisé pour définir l'impression liée à la quantité, la distribution et à la qualité de la lumière. En effet, la requête principale du confort visuel est, en premier lieu,

de pouvoir voir certains objets et certaines lumières (naturelles et artificielles) sans être ébloui. En effet, un mauvais éclairage, qu'il soit naturel ou artificiel engendre, à plus ou moins à long terme, une fatigue, peut-être même des troubles et une sensation forte d'inconfort. En second lieu, d'avoir une ambiance lumineuse satisfaisante quantitativement en termes d'éclairage et d'équilibre des luminances, et qualitativement en termes de couleurs. En effet, trop de lumière, une lumière mal adaptée, mal placée, mal orientée peut s'avérer gênante.

Le confort visuel intègre donc des notions physiques et de perception (l'éclairage, la luminance, le contraste, le spectre lumineux), ainsi que des notions physiologiques. Ceci étant, le confort visuel reste une notion assez subjective, personnelle et multicritère. Cependant, on peut définir un certain nombre de points particuliers qui influent sur le niveau de confort visuel.

2.3.2. LES PARAMETRES DU CONFORT VISUEL

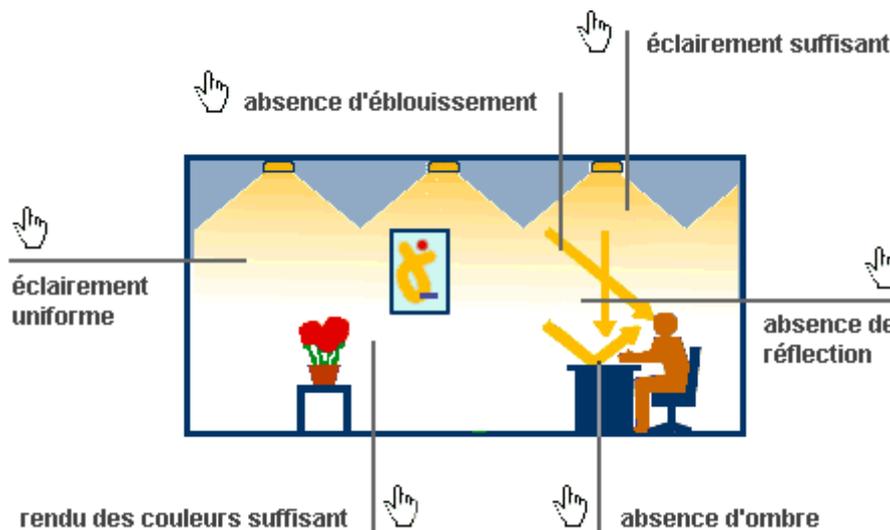


FIGURE 34. LES PARAMETRES DU CONFORT VISUEL (SOURCE : ENERGIE+, 2011)

2.3.2.1. UN ECLAIREMENT SUFFISANT

Un niveau d'éclairage suffisant est indispensable afin de reconnaître facilement les objets et d'en distinguer aisément les détails. En effet, ce dernier doit être adapté à un local, et aux activités qui auront lieu dans ce dernier (qui peuvent parfois demander des conditions très différentes). Par exemple, dans les salles de classe, un niveau d'éclairage optimal des bancs

et du tableau est nécessaire pour faciliter les travaux d'écriture et de lecture, et assurer des bonnes conditions visuelles d'apprentissage.

Un niveau d'éclairage insuffisant engendre une mauvaise lecture de l'objet observé et peut même n'être plus du tout perceptible lorsqu'il fait plus sombre. Un niveau d'éclairage insuffisant accroît la fatigue visuelle et entraîne des maux de tête car il nécessite plus d'efforts de la part de l'œil.

2.3.2.2. UN RENDU CORRECT DES COULEURS

Le rendu des couleurs est un critère de qualité important de la lumière. En effet, la coloration de la lumière influence la manière dont les objets sont rendus et leur caractère plus ou moins naturel. Une source lumineuse, comme le soleil, dont la lumière contient toutes les couleurs du spectre, permet aux couleurs des objets éclairés de sembler naturelles.

La température de couleur permet de déterminer la couleur d'une source de lumière. Elle se mesure en degrés kelvins. Son choix est une affaire de psychologie et d'esthétique, elle n'influence cependant pas les performances visuelles mais plus l'état d'esprit des occupants et leur niveau de concentration. D'une façon générale, un éclairage plus froid (> 5300 Kelvins) favorise la concentration, un éclairage plus chaleureux (<3300 Kelvins), la détente.

Selon la tâche visuelle, il est important de choisir la source lumineuse adaptée en se basant sur le rendu des couleurs. La variation de couleur de la lumière dans une même journée est difficilement reproductible par la lumière artificielle. En effet, cette dernière doit garantir la perception des couleurs la plus correcte possible (comme avec la lumière naturelle). L'indice de rendu des couleurs, communément appelé l'IRC (varie de 0 à 100), est la capacité qu'a une source lumineuse de restituer les différentes couleurs. En d'autres termes, c'est un indice qui permet de mesurer l'aptitude d'une source lumineuse à bien rendre les couleurs. Plus l'IRC est grand, mieux les couleurs sont restituées. La lumière du jour est considérée comme la lumière parfaite, son IRC est de 100.

2.3.2.3. UNE REPARTITION UNIFORME DE LA LUMIERE DANS L'ESPACE

L'uniformité de la lumière sur la tâche visuelle permet, d'une part, d'éviter aux yeux de devoir sans cesse s'adapter aux variations d'éclairement, et donc de les fatiguer inutilement. Et d'autre part, de garantir un niveau d'éclairement suffisant quel que soit l'endroit où l'on se trouve dans le lieu éclairé (l'emplacement de l'élève dans une classe par exemple).

2.3.2.4. L'ABSENCE DE REFLEXION, D'EBLOUISSEMENT ET D'OMBRES GENANTES

Les réflexions sont désagréables, et empêchent de voir correctement et précisément. Elles forcent souvent la personne qui voit à ajuster sa position, ce qui peut entraîner une fatigue visuelle, vu que l'œil va s'efforcer de déchiffrer le message et donc mettre cette dernière dans une position inconfortable. De ce fait, les réflexions doivent donc être évitées autant que possible.

L'éblouissement est une sensation de gêne et d'inconfort qui peut mener à une diminution de la capacité visuelle d'une personne. Selon la tâche effectuée, certains types d'éblouissements peuvent apparaître plus gênants que d'autres. L'éblouissement causé par un luminaire ou par le soleil, est soit dû à leur vision directe soit à leur réflexion sur une paroi réfléchissante du local. Il se produit quand une source brillante de lumière est présente dans le champ visuel. Sa présence diminue la capacité de la personne qui est menée à percevoir l'espace qui l'entoure et à distinguer les objets, ce qui entraîne une situation très inconfortable, source de fatigue visuelle.

L'interposition d'un objet opaque, d'une source de lumière et de la surface sur laquelle se réfléchit cette lumière crée une zone sombre appelée communément : ombre. Cette dernière se matérialise par une silhouette sans épaisseur. En effet, comme la lumière se propage en ligne droite elle crée une ombre quand elle rencontre un obstacle. Autant que les reflets, la présence d'ombres gênantes doit être évitée car nuisible à la bonne réalisation de certaines tâches, et peut entraîner des situations dangereuses ou mener à une fatigue visuelle voire physique par l'adoption de mauvaises positions de travail.

2.4. PSYCHOLOGIE DE LA VISION

Comprendre la perception visuelle implique non seulement de représenter l'œil en tant que système optique, mais aussi d'expliquer l'interprétation de l'image perçue.

« *La lumière ne nous fait pas connaître les choses mais des indices les concernant : d'où la possibilité de saisir par la vue et ses inductions implicites un sensible propre au toucher comme le lisse ou le rugueux* » (Simon, 1988). De cette citation nous comprenons que la lumière révèle l'objet par des indices et c'est au jugement personnel de faire une interprétation.

2.4.1. VISION DU CONTOUR

Par définition, le contour est la ligne qui délimite la surface extérieure d'un objet. Il est un détail clé de représentation visuelle. En effet, la vision d'un contour permet de reconnaître une forme globale et suffit le plus souvent à désigner un objet. La figure ci-dessous illustre cela : le triangle blanc à droite n'a pas de contour réel pourtant on le perçoit très vivement. Il paraît même être plus lumineux que le fond, idem pour le triangle de gauche.

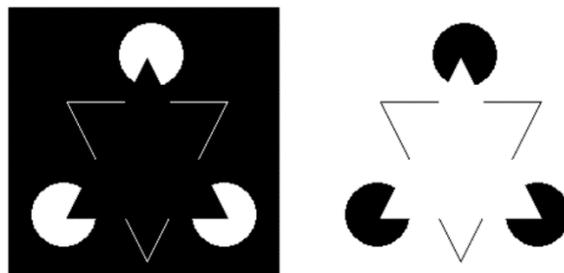


FIGURE 35. VISION DU CONTOUR (AUTEUR : G. KANIZSA, SCIENTIFIC AMERICAN, AVRIL 76)

2.4.2. VISION DE LA LUMINOSITE

L'œil humain estime la luminosité d'une couleur en fonction de son environnement. Dans la figure ci-dessous, le petit carré de gauche semble plus clair que celui de droite. Ils sont pourtant du même gris. La luminosité perçue résulte du rapport entre la luminosité du champ gris et celle de l'environnement immédiat : Nous percevons le petit carré de gauche comme un carré clair, car il est isolé dans une surface plutôt sombre. A contrario, à droite, le petit carré est au centre d'une surface claire : notre œil le perçoit comme un gris plutôt sombre.

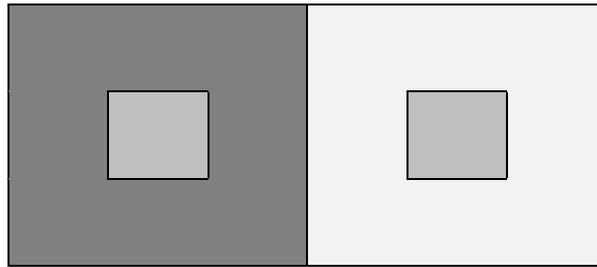


FIGURE 36. VISION DE LA LUMINOSITE (SOURCE : AUTEUR)

2.4.3. VISION DES COULEURS

Par une action d'opposition, nous estimons la vivacité d'une couleur en fonction de la scène environnante. Une même couleur semble plus claire si elle est entourée de couleurs soutenues que si elle est isolée dans un ensemble globalement fade.

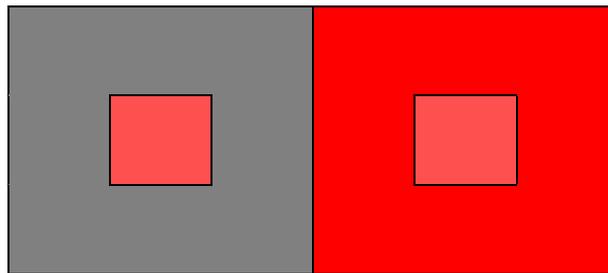


FIGURE 37. VISION DE LA LUMINOSITE (SOURCE : AUTEUR)

2.4.4. VISION DES VOLUMES

Les variations de luminances peuvent résulter de la forme de l'objet éclairé dans l'espace. C'est le cas des ombres caractéristiques formées sur des corps tridimensionnels comme les cubes, les cylindres ou les sphères.

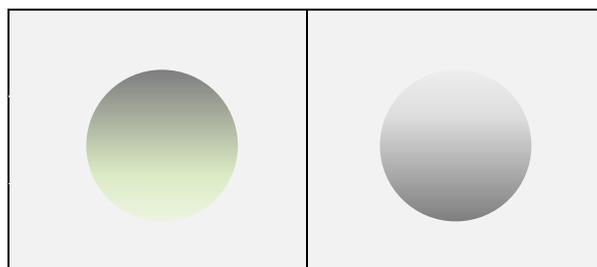


FIGURE 38. VISION DES VOLUMES (SOURCE : AUTEUR)

2.5. CONCLUSION

La conception architecturale est un acte complexe où la vision tient une place très importante. En effet, pour l'être humain en général et pour le concepteur en ce qui concerne notre recherche, la perception visuelle est sans doute le sens qui est sollicité le plus et de manière presque permanente. Elle est une chaîne complexe composée d'éléments physiques et psychologiques permettant d'acquérir et de traiter les informations visuelles.

Donc dans ce chapitre nous avons essayé de donner des définitions simples sur les caractéristiques physiologiques de l'œil humain et ses mécanismes perceptifs. Ensuite, nous nous sommes intéressés à la perception de la lumière en mettant un accent particulier sur les mécanismes de perception d'une onde lumineuse tant d'un point de vue énergétique que spectral. Par la suite, nous avons essayé de donner des notions sur le confort visuel et ces paramètres. Et pour finir nous avons essayé de comprendre la subjectivité de la perception visuelle.

En effet, Il a été primordial de s'intéresser à la vision et au confort visuel dans une étude qui a pour axe de recherche l'image photographique comme outil d'aide à la conception lumineuse.

CHAPITRE 3

LA CONCEPTION ARCHITECTURALE PAR L'INTENTION LUMINEUSE

3. LA CONCEPTION ARCHITECTURALE PAR L'INTENTION LUMINEUSE :

3.1. INTRODUCTION

Nous essayons, dans ce chapitre, de situer et de caractériser la **prise en compte de la lumière naturelle dans le processus de conception architecturale**. Nous commençons ainsi par caractériser le **processus de conception architecturale** et mettre en évidence les phases et les activités de conception, puis nous essayons de mettre en évidence le rapport de **la lumière avec l'architecture à travers l'histoire**. Ensuite nous essayerons de définir **les ambiances lumineuses** et d'identifier leur **rôle dans la conception architecturale par une intention d'ambiance**. Ceci nous permettra ensuite d'identifier les outils qui peuvent aider le concepteur à intégrer de la lumière naturelle dans le processus de conception.

3.2. LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

« L'architecture est une science qui embrasse une grande variété d'études et de connaissances ; elle connaît et juge de toutes les productions des autres arts. Elle est le fruit de la pratique et de la théorie. La pratique est la conception même continuée et travaillée par l'exercice, qui se réalise par l'acte donnant à la matière destinée à un ouvrage quelconque, la forme que présente un dessin. La théorie, au contraire, consiste à démontrer, à expliquer la justesse, la convenance des proportions des objets travaillés ». (Vitruve, 1847)

3.2.1. CONCEPTION

« On appelle concevoir, la simple vue que nous avons des choses qui se présentent à notre esprit, comme nous nous représentons un soleil, une terre, un arbre, un rond, un carré, la

pensée, l'être, sans en former aucun jugement exprès ; et la forme par laquelle nous nous représentons ces choses s'appelle idée. » (Arnauld, 1662)

La notion de conception est généralement une action extraordinaire et mystique, car elle est toujours associée à un acte de création. Etymologiquement, la conception comprend la manipulation de concepts, c'est à dire l'utilisation d'une « représentation générale et abstraite d'un objet ou d'un ensemble d'objets ». (Larousse, 2001)

H.A. Simon, créateur des sciences de la cognition, a été un des premiers à formuler ce qui deviendra les fondements de "la science de la conception". Dans ses travaux, il propose d'assimiler la conception à une résolution de problème où le champ des solutions est très vaste et où il n'existe pas de formule permettant d'énumérer l'ensemble des solutions possibles. Il définit cette vision comme : « *Une exploration au sein d'un immense labyrinthe des possibles, un labyrinthe qui décrit l'environnement. La réussite en matière de résolution suppose quelques sélections dans l'exploration de ce labyrinthe, et la possibilité de réduire assez son étendue pour que l'on puisse s'y diriger.* » (Simon, 1991, p.58)

3.2.2. CONCEPTION ARCHITECTURALE

« L'architecture est une science qui embrasse une grande variété d'études et de connaissances ; elle connaît et juge de toutes les productions des autres arts. Elle est le fruit de la pratique et de la théorie. La pratique est la conception même continuée et travaillée par l'exercice, qui se réalise par l'acte donnant à la matière destinée à un ouvrage quelconque, la forme que présente un dessin. La théorie, au contraire, consiste à démontrer, à expliquer la justesse, la convenance des proportions des objets travaillés » (Vitruve, 1847).

De nombreuses recherches portent sur la définition et la caractérisation de la conception architecturale. L'étude de cette dernière a été initiée par H.A. Simon (Simon, 1990) et Ch. Alexander (Alexander, 1971). En effet, H.A. Simon, est considéré comme le créateur des sciences de la cognition, il a été un des premiers à formuler ce qui deviendra les fondements de "la science de la conception". Dans ses travaux, il démontre que la conception architecturale est une recherche heuristique d'une solution non optimale. En effet, selon lui la conception est une forme de solution octroyée à un problème donné où le champ des solutions est infini et où il n'existe pas de formule optimale et fixe à ce problème. Il définit cette théorie comme : « *une exploration au sein d'un immense labyrinthe des possibles, un labyrinthe qui décrit*

l'environnement. La réussite en matière de résolution suppose quelques sélections dans l'exploration de ce labyrinthe, et la possibilité de réduire assez son étendue pour que l'on puisse s'y diriger. » (Simon, 1991, p.58). Par ailleurs, Ch. Alexander défend une vision plus artistique où l'intuition et l'illumination sont essentielles au processus de conception. Il définit le processus de conception architectural comme un processus intuitives.

3.2.3. CONCEPTION ARCHITECTURALE ET LUMIERE

« 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. » (Le Corbusier, 1930)

En architecture, la lumière ne peut être dissociée du bâtiment, de son concept, de sa structure, de sa construction ou de l'environnement de travail en en résultant (Millet, 1996). Elle est considérée comme un outil d'expression architecturale qui participe au processus de conception de l'espace architectural en lui introduisant une dimension sensible. Elle est donc un révélateur de l'architecture, au sens matériel et symbolique (Millet, 1996).

En effet, au cours du temps, la lumière naturelle et l'architecture se sont adaptés mutuellement. Cette influence, qui est le résultat de la volonté de satisfaire un besoin de lumière, a permis le développement des techniques de construction et particulièrement la structure et les ouvertures.

Selon Henri Ciriani (Ciriani, 1991), il existe 4 types de lumières :

LUMIERE EMOTION

La lumière comprend un grand nombre d'informations, qui donne du sens et de la mesure à l'espace architectural. En effet, pour matérialiser cette espace, ce matériau est modelé, adapté et sculpté par les architectes afin de formaliser leurs intentions. Lorsque cette intention est localisée dans un endroit particulier de l'espace et que cette configuration est un intérêt déterminant pour la lecture et l'identification de l'espace, on parle de « lumière émotion ». « *L'objectif de la lumière-émotion est de capter l'attention pour produire une concentration* » (Ciriani, 1991). Son objectif est de capter l'attention pour produire une concentration, c'est la raison pour laquelle l'ambiance lumineuse l'intérieure donne un sentiment plus violent que celui de l'extérieur de l'espace. (Plummer, 2009). Et pour parvenir à créer ce sentiment, le concepteur doit concevoir « *la pénombre : dialogue entre l'ombre et une lumière « solide » qui la*

transperce par endroits » (Reiter, De Herder, 2004) en contrastant les espaces : le contraste entre le centre d'intérêt (très fortement éclairé) et les zones annexes (faiblement éclairées). La lumière devient ainsi elle-même une représentation de l'extérieur à l'intérieur.

Ce contraste crée de l'espace de l'émotion donne une dimension spirituelle à l'espace architectural. Ce type d'ambiance a fait la particularité des espaces religieux durant les différentes époques jusqu'à nos jours. Des architectes comme Le Corbusier ou Tadao Ando ont développé ce type d'effet dans leur architecture en utilisant des matériaux et des techniques de construction modernes (Figure 39).

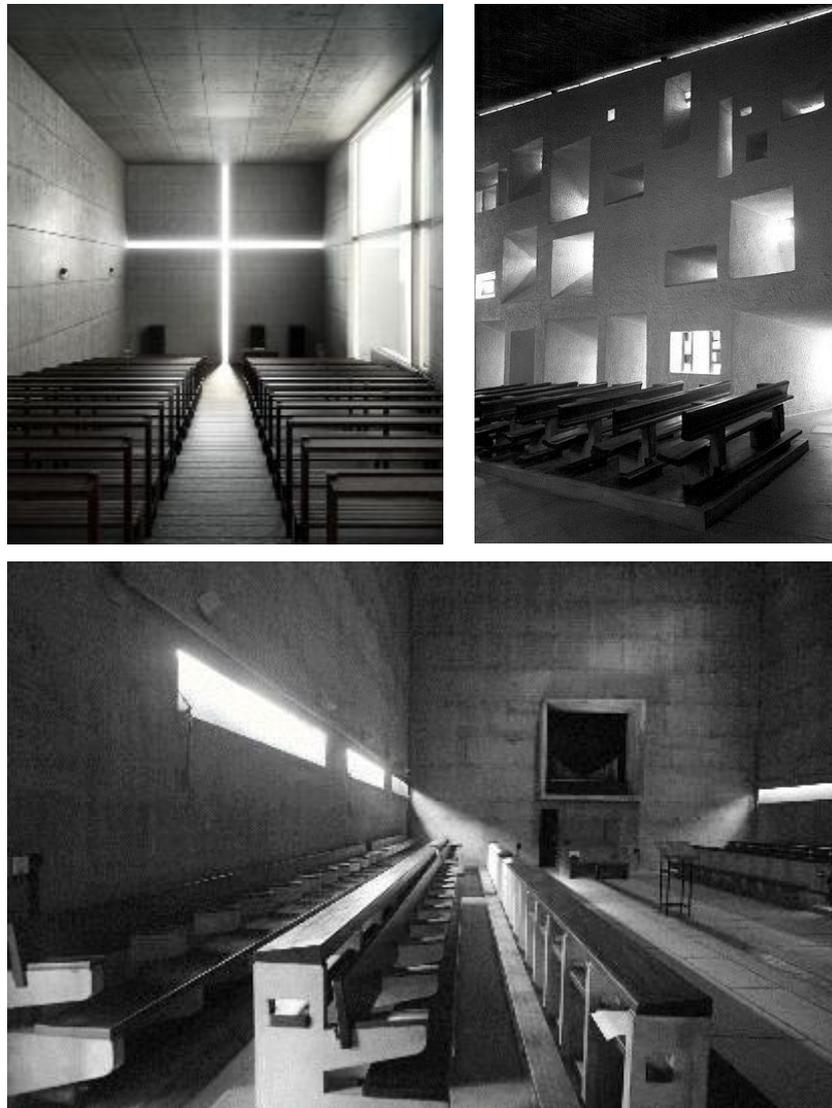


FIGURE 39. THE CHURCH OF LIGHT (TADAO ANDO, 1989) - LA CHAPELLE DE RONCHAMP (LE CORBUSIER, 1955) - COUVENT DE LA TOURETTE (LE CORBUSIER, 1957)

LUMIERE-ECLAIRAGE

La révolution industrielle et les changements sociétaux qu'elle a générés ont fait disparaître l'enceinte opaque et massive pour laisser place à de larges surfaces vitrées, continues ou segmentées, transmettant les conditions d'éclairage extérieur vers l'intérieur des espaces. Ce changement a donné naissance à une lumière plus fonctionnelle répondant à des besoins sanitaires. Appelée « lumière éclairage », elle éclaire l'espace d'une manière globale et uniforme dans toutes les directions sans donner d'indication sur la position de la source, elle a pour but de créer une continuité spatiale entre ces deux environnements distincts. « *Une ambiance lumineuse : clarté ambiante, omniprésente d'une lumière qui tend à disparaître parce qu'elle est partout* » (Reiter, De Herde, 2004). Mies Van Der Rho et Philip Johnson, ont été les précurseurs dans la réalisation de projet mettant en œuvre ce type de lumière (Figure 40).



FIGURE 40. FARNSWORTH HOUSE (MIES VAN DER ROHE, LUDWIG, 1951) / GLASS HOUSE (PHILIP JOHNSON, 1949)

LUMIERE INONDEE

On appelle la « lumière inondée », la lumière ayant un rayonnement direct et une forte incidence. Elle présente les mêmes propriétés de continuité entre l'intérieur et l'extérieur que la « lumière éclairage » mais avec quantité d'apports plus importante et plus qu'il n'en faut, elle vise à présenter l'extérieur dans l'intérieur. Cette lumière envahit les espaces intérieurs en leur attribuant une identité artistique et irradie leurs occupants. « *L'ambiance inondée : exaltation de la lumière qui embrase tout l'espace, trop plein de lumière envahissante et parfois écrasante.* » (Reiter, De Herde, 2004). Richard Meier et Jean Pierre Raynaud font partie des architectes qui ont su mettre en valeur ce type de lumière (Figure 41).

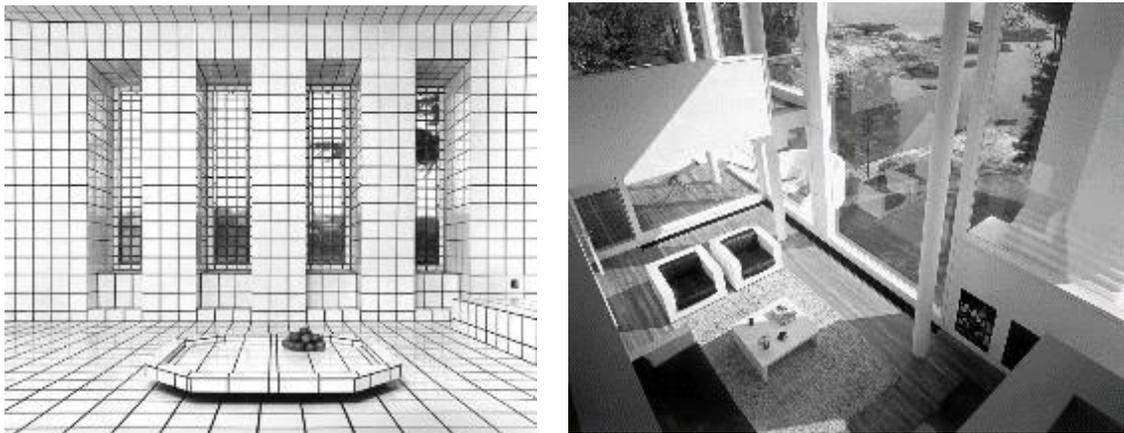


FIGURE 41. LA MAISON (JEAN PIERRE RAYNAUD) / SMITH HOUSE (RICHARD MEIER, 1965)

LUMIERE PICTURALE

La lumière naturelle est un outil de dessin et de représentation qui a permis aux architectes de modeler et de colorer leurs espaces comme une peinture. La « lumière picturale » exprime la volonté des architectes de construire la peinture (Ciriani, 1991). Cette lumière a la capacité de transformer la matière, tel un tableau sur un mur qui transforme ce mur (Ciriani, 1987), ainsi que de séparer l'espace de sa réalité physique et statique en lui accordant une autre réalité virtuelle et dynamique. Ce type d'effet est présent dans l'architecture Arabo-musulmane où les mucharabias filtrent et modèlent la lumière pour créer des tâches de forme géométrique pure qui anime l'espace. « *La lumière picturale essaie de se dégager de la source lumineuse, pour permettre à l'espace de se dégager de sa gravité. De même qu'un tableau sur un mur transforme le mur, la lumière picturale a cette capacité de transformer la matière.* » (Ciriani, 1991). Les architectes modernes tel que Le Corbusier ou Jean Nouvel ont exploité cette dimension picturale à travers différents dispositifs pour créer un environnement spatial abstrait dégageant ainsi l'occupant du monde réel (Figure 42).

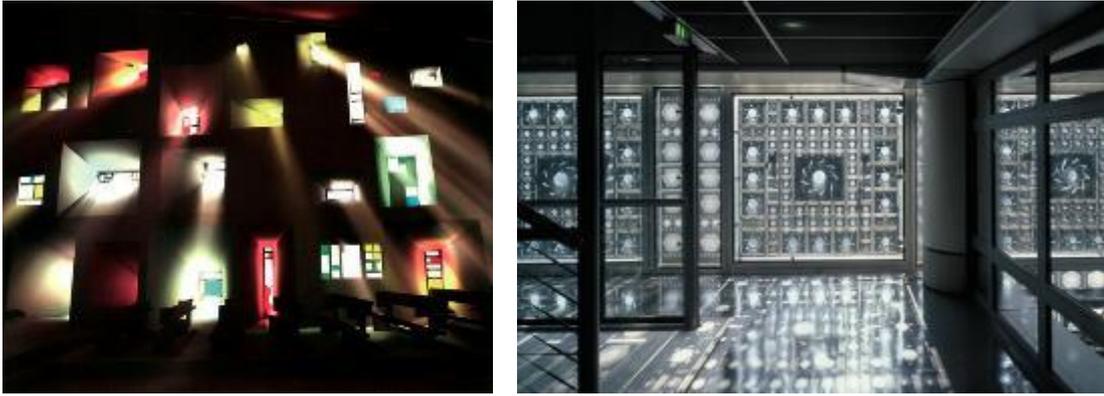


FIGURE 42. CHAPELLE DE RONCHAMP- LE CORBUSIER (1950-1955) / INSTITUT DU MONDE ARABE – JEAN NOUVEL (1981-1987)

Les propriétés structurantes de l'ambiance lumineuse sont le résultat de la cohérence entre la forme architecturale et la lumière. Le mot ambiance suggérant lui-même plusieurs niveaux de lecture et de complexité quant à son interprétation, il convient de s'attarder à des définitions élaborées dans le contexte de la recherche sur les ambiances lumineuses.

3.3. CONCEPTION ARCHITECTURALE ET AMBIANCE LUMINEUSE

3.3.1. L'AMBIANCE

" L'ambiance est ce que nous percevons d'un lieu dans lequel nous sommes situés. Elle est fonction de notre sensibilité du moment. C'est le résultat global de notre perception de l'influence entre eux des volumes, de la lumière, de la répartition entre les pleins et les vides, de la couleur, du végétal, des sons, des odeurs, du mouvement, de l'agitation, du silence, entre autres choses. /.../ La notion d'ambiance reconnaît l'impossibilité d'une lecture neutre des lieux et l'inanité de la croyance en une géographie urbaine non subjective, eu égard au fait qu'aucun lieu n'est neutre, au moins en termes de perception, mais astreint à l'interprétation sociale. " (Cartier dans Lumières sur la ville, 1998, p.36)

Cette définition, citée ci-dessus, fait partie d'une longue liste de tentatives de définitions de la notion d'ambiance, ce qui prouve sa complexité. Cette difficulté réside dans le fait qu'elle soit « perçue » et donc difficile à saisir et à interpréter. Le terme perception suppose tous les niveaux de lecture possibles liés aux sens de l'individu. En effet, en s'appuyant sur son expérience personnelle, l'individu ressent et reconnaît ce qu'est une ambiance conviviale, une ambiance chaleureuse, une ambiance hostile... Et donc, l'interprétation de l'ambiance utilise des

mécanismes qui laissent place à la subjectivité qui est liée à de multiples facteurs autant physiques, psychologiques que culturels.

Dans le domaine de l'architecture, Augoyard (Augoyard, 1998) tente de définir l'ambiance comme ce qui suit :

« 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- perceptions- représentations est exprimable »

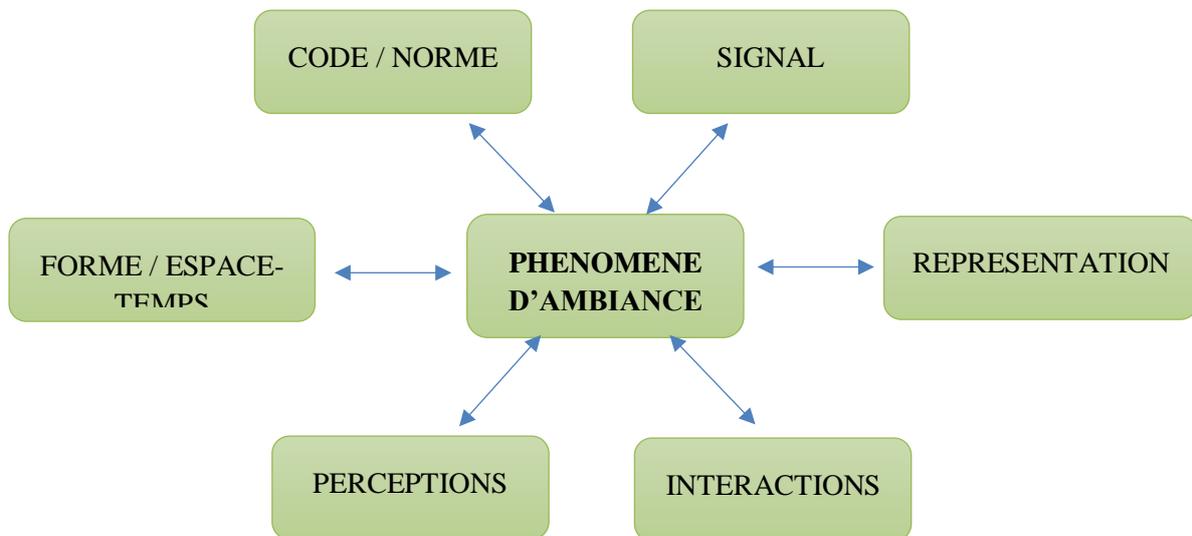


FIGURE 43. PHENOMENE D'AMBIANCE (AUGOYARD, 1998)

De cette définition, nous constatons que la recherche sur les ambiances architecturales touche aussi bien, l'évaluation et l'analyse des phénomènes physiques qui composent une ambiance, que l'approche sensible qui consiste à prendre en compte les sensations de l'homme et sa perception de l'environnement architectural. La notion d'ambiance repose sur l'ensemble des sens humains et se décrit comme la rencontre entre une donnée physique et ce que les sens en

perçoivent (Augoyard, 1979). En effet, pour évaluer judicieusement une ambiance, il est impossible d'isoler la dimension physique des phénomènes d'ambiance de leur perception sensible et esthétique.

Dans ce travail de recherche nous nous limitons à l'ambiance lumineuse générée par la lumière naturelle.

3.3.2. L'AMBIANCE LUMINEUSE

« Dans un bâtiment, j'aime la lumière, la pénombre et même l'obscurité. Ce sont des choses en rapport, complémentaires. Dans un pays du Sud, cette idée de profondeur, de variation et de contrôle de la lumière est très importante. On a toujours dans la mémoire l'exemple de l'Alhambra de Grenade où l'on est envahi par la lumière et le soleil dans le jardin, et on entre dans un espace et on passe dans un patio qui protège qui donne l'ombre et on entre dans une loggia où la lumière est moins intense et on passe dans une autre chambre où déjà il y a la pénombre et on va jusqu'à la sérénité totale. Ce sont des dimensions de l'architecture que l'on ne peut pas perdre. Que l'on doit utiliser. » (Siza, 2001).

Lorsque nous lisons cette citation et la manière avec laquelle l'auteur décrit l'ambiance du lieu, nous ne pouvons pas nous empêcher d'imaginer cette ambiance et de nous sentir immergé dans cet environnement lumineux et la manière avec laquelle elle a influencé l'auteur qui baigne dedans. De là, nous pouvons définir l'ambiance lumineuse comme la manière dont l'ensemble des aspects de l'environnement lumineux affecte un sujet.

Il s'agit d'ambiance lumineuse lorsque dans un même lieu se rassemblent une source de lumière, un objet éclairé par cette lumière et si ce lieu est dans le champ de vision d'un sujet. Si ces 3 conditions sont réunies, il y a alors ambiance lumineuse. Dans ce travail de recherche, nous nous préoccupons des ambiances lumineuses dont la source de lumière est naturelle, dont l'objet est architectural et dont le sujet perçoit cette lumière naturelle. En effet, l'ambiance lumineuse résulte de la perception du sujet de l'interaction entre la lumière et de l'espace architectural, lors de son usage. Nous pouvons décrire cette ambiance à travers les effets lumineux qui la composent. La lumière et l'objet architectural forment l'environnement lumineux qui est un stimulus extérieur pour le sujet. Les deux principaux paramètres de l'environnement lumineux sont la quantité de lumière et la qualité de la lumière. Leur appréciation subjective par le sujet dépend du sens qu'elle donne à l'espace.

3.3.3. INTEGRATION DE L'AMBIANCE LUMINEUSE DANS LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Le Corbusier décrit l'architecture *comme « le jeu savant, correct et magnifique des volumes assemblés sous la lumière... »* (Corbusier, 1923). En effet, la lumière est un matériau que l'architecte a su modeler de diverses manières afin de créer des ambiances architecturales. La lumière donne vie à l'architecture. Elle est génératrice et révélatrice de l'espace architectural.

“J'aime les espaces nus, les plans libres, les volumes simples et je travaille beaucoup l'idée de transition. Entre le dedans et le dehors, la nature et le construit, l'individu et le monde. Mes architectures sont ouvertes au vent, à la lumière et l'ombre. Je parle beaucoup de lumière mais l'ombre aussi est essentielle. Au Japon nous préférons le crépuscule à l'aube. A Naoshima, mes créations sont largement orientées pour permettre de profiter du coucher de soleil.” T. Ando (interview l'express, 2014)

L'histoire de l'architecture retrace l'intérêt que portent les architectes pour la lumière naturelle. L'architecte Tadao Ando, en est un exemple. Il a toujours donné une grande importance à la lumière dans ses créations architecturales. Pour lui, elle est un outil riche de la création des volumes et des perspectives.

« Afin de percevoir un objet dans toute sa diversité, il faut modifier d'une manière ou d'une autre la distance entre moi et l'objet. (...) la sensation d'espace naît des diverses orientations du regard à partir de points de vue multiples et non d'une vision absolue et unique du regard. » T. Ando (interview l'express, 2014)

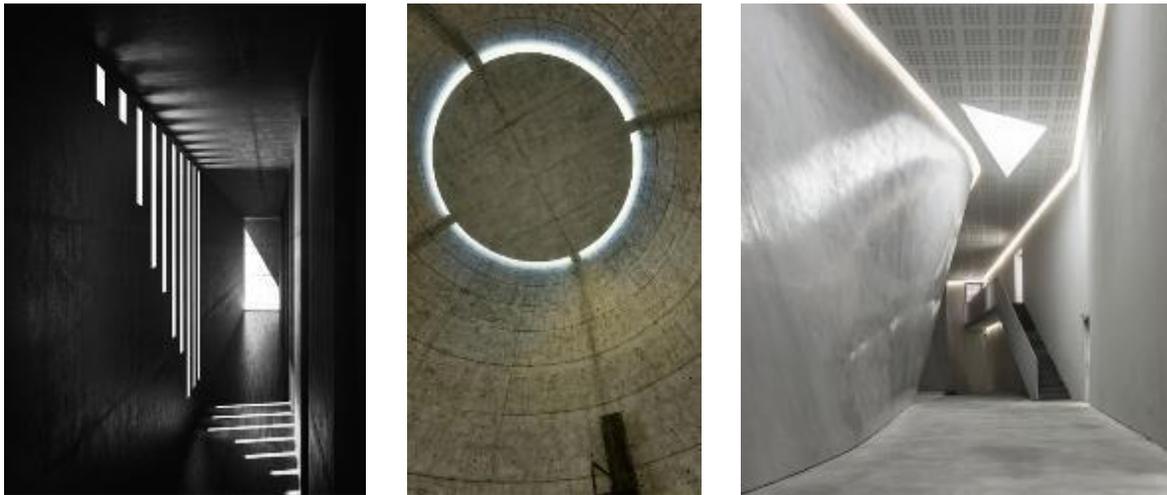


FIGURE 44. LA MAISON KOSHINO / ESPACE DE MEDITATION / LE TEATRINO DE PALAZZO GRASS
(TADAO ANDO) (SOURCE: [HTTP://WWW.DISTYLIGHT.COM](http://www.distylight.com))

« Même une pièce qui doit être obscure, a besoin au moins d'une petite fente pour qu'on se rende compte de son obscurité. Mais les architectes qui aujourd'hui dessinent les pièces ont oublié leur foi en la lumière naturelle. Assujettis à la facilité d'un interrupteur, ils se contentent d'une lumière statique et oublient les qualités infinies de la lumière naturelle grâce à laquelle une pièce est différente à chaque seconde de la journée. » (Kahn, 2006).

Au cours de l'histoire, les différents courants architecturaux ont été influencé par l'évolution perpétuelle du couple lumière/architecture. En effet, cette évolution est le résultat d'efforts mis en œuvre par les architectes afin répondre aux besoins liés à la maîtrise et au contrôle de la lumière naturelle. Ces besoins, vont de la simple volonté d'apporter la quantité nécessaire de lumière naturelle pour éclairer un espace, à celle de mettre en valeur un espace spécifique ou un aspect particulier de ce dernier afin de créer ainsi une ambiance lumineuse bien particulière.

« Le choix d'une pièce carrée est aussi le choix de sa lumière, distinct d'autres formes et de leur lumière. » (Kahn, 2006).

L'ambiance révèle l'architecture, ceci lui donne une importance majeure dans toute conception architecturale. En effet, la lumière naturelle est considérée comme le matériau primaire pour la création d'ambiances architecturales. En sollicitant les sens, l'ambiance influence la perception de l'utilisateur. Marc Crunelle (Crunelle, 1996), illustre cet aspect personnel de l'ambiance en disant que : « l'architecture est du vécu, c'est-à-dire qu'un espace architectural prend sens lorsqu'il est parcouru, puisque l'ambiance du lieu fait référence aux différentes expériences de chacun ».

Concevoir un espace architectural implique donc aussi la conception d'une ambiance. Les travaux de recherche sur les ambiances dans la conception architecturale tournent le plus souvent autour de la caractérisation des ambiances existantes d'un lieu construit et se traduisent par l'évaluation des phénomènes physiques qui composent une ambiance. Mais peu se penchent véritablement sur la conception architecturale par une intention d'ambiance et cela dès le début du processus de conception architecturale. Comme le souligne Daniel Siret (Siret, 1997), la place des ambiances dans le processus de conception est peu connue :

« [...] les pratiques de conception relatives aux ambiances sont ainsi mal connues et souvent décrites de manière schématique. Les parts relatives du maître d'ouvrage, des architectes et des bureaux d'études techniques dans l'intention d'ambiance et dans sa mise en œuvre restent en générale obscures. L'est tout autant le rôle des ambiances dans les argumentaires des acteurs tout au long du processus de conception. »

Dans notre cas, nous nous intéresserons aux ambiances lumineuses qui constituent les intentions de l'architecte au moment de la conception du projet architectural, et particulièrement au tout début de la conception.

3.4. CONCEPTION ARCHITECTURALE PAR L'INTENTION LUMINEUSE

« Aborder l'architecture du point de vue de l'ambiance conduit à trouver du sens à des constructions très simples, qu'une lecture sous le seul angle de la complexité spatiale conduirait à ignorer cela développe une grande sensibilité à des effets apparemment ténus mais qui se révèlent très importants dans la perception d'un espace. Il en découle une attention très forte portée à la matérialité des bâtiments. Le travail sur l'ambiance architecturale tend à démultiplier les moyens d'expression des architectes, puisque la perception d'un bâtiment sollicite dès lors, tous les sens, bien au-delà de la seule vue. » (Lapierre, 2003, p.29)

Faire de l'architecture, c'est aussi créer des ambiances, élaborer des atmosphères en fonction de l'utilisation de l'espace. Concernant l'ambiance lumineuse plus spécifiquement, cette dernière peut être caractérisée comme étant le résultat d'une interaction entre un individu, une lumière naturelle et un espace.

« J'entre dans un bâtiment, je vois un espace, je perçois l'atmosphère et, en une fraction de seconde, j'ai la sensation de ce qui est là. L'atmosphère agit sur notre perception émotionnelle. » Peter Zumthor (Zumthor, 2006)

La relation entre l'ambiance et le contexte physique d'un lieu est fondamentalement subjective car toute personne possède une perception unique, prenant en compte ses capacités sensorielles, son expérience, son vécu, son histoire, son âge, son état d'esprit. En effet, un lieu ne sera pas ressenti de la même façon par deux personnes. Néanmoins, lors de la conception architecturale par une intention d'ambiance lumineuse, l'architecte peut jouer avec la perception humaine et créer des ambiances spécifiques, en cherchant à provoquer une émotion particulière, tout en ayant conscience que celle-ci puisse présenter des variations en fonctions des individus qui peuvent l'exprimer par des phrases qui peuvent être une description physique, aussi bien qu'une attribution subjective.

3.4.1. CONCEVOIR UNE AMBIANCE LUMINEUSE

Comme l'avons vu précédemment, l'ambiance peut être définie comme étant une relation et une perception sensible au monde. L'ambiance lumineuse d'un lieu, d'un édifice, d'une pièce touche la sensibilité de chaque personne en faisant appel à ses sens. Celle-ci est immatérielle et relève de l'esprit du lieu. En effet, deux espaces différents n'interagiront pas avec la lumière de la même façon. Leur géométrie s'appropriera d'une façon singulière et propre à l'espace. L'ambiance créée dépendra de l'intention émise pour concevoir ces deux espaces.

Le terme « Concevoir une ambiance lumineuse » induit une intention de créer une ambiance lumineuse. Le terme "concevoir" exige la présence d'une intention émise par l'individu. Dans un contexte architectural, la conception d'une ambiance, ne concerne pas uniquement l'espace à travers une production des formes et des matières, mais surtout de connaître les ambiances, de les mettre en situation, de se mettre en situation par rapport à elles, pour expérimenter cette relation au monde et entraîner une expérience sensible déterminée (Ouard, 2011).

« *Qu'est-ce qui m'a touché alors? Tout. Tout, les choses, les gens, l'air, les bruits, le son, les couleurs, les présences matérielles, les textures, les formes aussi. (...) Et quoi encore ? mon état d'âme, mes sentiments, mon attente d'alors, lorsque j'étais assis là. Et je pense à cette célèbre phrase en anglais renvoyant à Platon: « Beauty is in the eye of beholder.» Cela signifie que tout est seulement en moi. Mais je fais alors l'expérience suivante: j'élimine la place — et mes impressions disparaissent. Je ne les aurai jamais eues sans son atmosphère. C'est logique. II*

existe une interaction entre les êtres humains et les choses. C'est ce à quoi je suis confronté comme architecte. » (Zumthor, 2008, p17)

L'architecte Peter Zumthor (Zumthor, 2008) travaille beaucoup avec la notion d'ambiance qu'il désigne d'atmosphère. Pour lui, l'atmosphère relève de la dimension esthétique et lui attribue un rôle clé au sein de ses projets. Pour expliquer son point de vue sur la qualité architecturale, il évoque le rôle indispensable de l'atmosphère créé par un espace. Elle est l'émotion de l'espace construit qui interagit avec l'homme et on ne peut ressentir cette qualité que si le bâtiment touche nos émotions.

« 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, 2006)

Selon lui, il existe un rapport émotionnel entre l'environnement de l'homme et l'architecture. La première impression face à un espace, la sensation qui est ressentie, les émotions qui surviennent, résultent tous de l'ambiance du lieu qui touche émotionnellement le perceuteur.

3.4.2. CONCEPTION PAR L'INTENTION D'AMBIANCE LUMINEUSE

«...mes exigences dans ce que j'appelle une réussite architecturale, nées de ces moments particuliers de mon expérience, vont plus loin et m'amènent de poser la question : puis-je comme architecte créer quelque chose qui constitue véritablement une atmosphère architecturale, cette densité, cette ambiance unique, ce sentiment de présence, de bien être, de cohésion, de beauté ? Ce qui d'un moment donné fait la magie du réel et sous le charme de quoi j'éprouve, je vis quelque chose que sans cette qualité, il ne me serait jamais donné de vivre, cela se peut-il créer ? » (Zumthor, 2008, p.33)

Pour notre travail de recherche, nous utilisons l'expression « intentions d'ambiance lumineuse » qui désigne les souhaits formulés par les architectes lors du processus de conception architecturale afin d'aboutir à une ambiance lumineuse voulue. En effet, cette intention lumineuse est une idée de l'ambiance perçue qu'un architecte imagine et désire créer dans son projet architectural.

Selon Faucher (Faucher, 1998), l'intention d'ambiance est le désir exprimé de conceptualisation et de matérialisation d'une sensation. Chaque usager individuellement aura sa propre perception des lieux, son interprétation personnelle en fonction de nombreux critères tels que sa culture, son humeur, ses expériences antérieures. Cette perception est donc intimement liée à l'expérience. L'architecte lui-même utilisera sa propre expérience et s'inspirera de son vécu afin d'imaginer une ambiance lumineuse et de pouvoir formuler ses intentions. L'intention d'ambiance est donc en relation avec l'idée que se fait le concepteur de la perception présumée des usagers. Une intention d'ambiance est donc toujours une référence à une ambiance vécue. Aussi, au même titre qu'il existe des bâtiments de référence, il existe des ambiances de référence (Tourre, 2007).

Dans notre travail de recherche, nous nous intéresserons aux ambiances lumineuses qui composent les intentions de l'architecte au moment de la conception du projet architectural, et particulièrement au tout début de la conception. La conception par l'intention d'ambiance lumineuse est donc une méthode de conception architecturale qui utilise l'ambiance comme point de départ (Tourre, 2007). Cette méthode utilise la lumière naturelle comme un des paramètres principaux abordés au moment de la déclaration des intentions. Elle suggère la prise en compte constante de cette dernière lors de chaque étape du processus de conception. Ces intentions permanentes permettent une interaction optimale entre la lumière et le bâtiment. L'avantage de cette dernière est de travailler directement sur l'ambiance du projet qui sera perçue par l'utilisateur, sans être obligé de passer par un intermédiaire. Ces intentions décrivent la manière avec laquelle le concepteur va modeler et diriger la lumière naturelle pour éclairer, animer ou mettre en valeur ses espaces (Gallas, 2013). Les intentions sont donc les éléments de base qui influencent les différents paramètres du projet architectural. Elles décrivent la manière avec laquelle le concepteur compte modeler et diriger la lumière naturelle pour éclairer, animer ou mettre en valeur ses espaces.

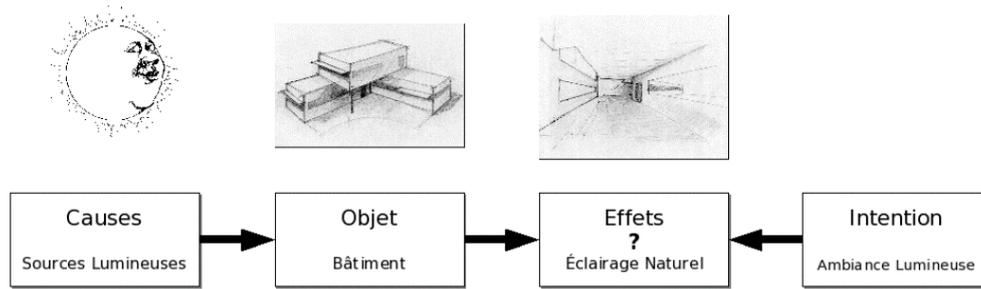


FIGURE 45. LA CONCEPTION PAR L'INTENTION D'AMBIANCE. (TOURRE, 2007)

3.5. L'IMAGE PHOTOGRAPHIQUE COMME AIDE A LA CONCEPTION DES AMBIANCES LUMINEUSES

« La véritable tradition, dans les grandes choses, n'est pas de refaire ce que d'autres ont fait, mais de retrouver l'esprit qui a fait ces grandes choses, en d'autres temps. » (Valéry, 1961)

« ...Ces références aux notions de flux, d'intrusion, de pression et d'expansion sont à ce point pertinentes que nous ne pouvons les considérer comme simplement métaphoriques. Ce sont les descriptions fidèles de percepts...Les proportions que les artistes et les architectes estiment avec une si grande sensibilité ne nous fourniraient aucun critère d'évaluation si elles n'étaient que de simples quantités mesurables et non des vecteurs de forces. » (Arnheim, 1986, p. 219)

Plusieurs outils ont été développés pour assister et aider les concepteurs dans la conception d'ambiances lumineuses. Il s'agit notamment de la recherche, des visualisations de concepts architecturaux et des rendus. Le processus de conception architecturale par l'intention lumineuse commence par une phase de recherche d'idées et d'intentions que l'architecte va essayer de conceptualiser et de concrétiser afin de réaliser des formes architecturales.

La coté créatif du processus de conception implique des activités artistiques qui s'appuient fortement dans des références visuelles. En effet, le processus de conception, et plus particulièrement son assistance, définit un contexte riche en problèmes où la référence sous forme d'images peut avoir un rôle important à jouer (Halin, 2004, p. 10).

Dans ce chapitre, nous allons examiner ce que sont les références et comment elles peuvent être utilisées dans la conception d'ambiances lumineuses. Nous commencerons par définir le terme "référence" et son rôle dans la conception architecturale. Puis nous nous concentrerons sur les

images photographiques en tant que type particulier de référence et sur les ambiances intérieures créées par la lumière naturelle en tant que particularité de l'activité de conception.

3.5.1. L'IMAGE PHOTOGRAPHIQUE COMME REFERENCE

Dans cette recherche nous nous intéressons aux outils d'aide à la conception qui assistent l'architecte à concevoir par une intention d'ambiance lumineuse et cela avant même les premières esquisses. Ce sont des outils qui permettent de visualiser la diversité des ambiances physiques en relation avec le design architectural et qui, malgré la subjectivité de l'ambiance perçue, permettent à l'architecte de faire des choix et de progresser de manière cohérente de l'idée initiale à une formalisation de l'intention d'ambiance.

Cette méthode qui une façon de représenter la lumière dans le processus de conception consiste à d'utiliser des références visuelles classées selon certaines caractéristiques. En étudiant ces références, le concepteur peut faire des prédictions sur le comportement de la lumière dans les bâtiments et ainsi améliorer ses propres conceptions.

3.5.1.1. LA REFERENCE

« **Référence**, relation qui unit un signe linguistique à l'objet du monde qu'il désigne, et qu'on appelle référent... Par objet du monde, on n'entend pas forcément un objet réel et concret. Le référent peut, en effet, correspondre à une entité abstraite (amour, idée, fraternité, etc.), voire à un objet d'un monde imaginaire, celui par exemple des romans (les personnages fictifs comme Emma Bovary) ou des mythologies (la licorne). Cela revient à considérer que les référents ne correspondent pas à des objets du monde physique, mais plutôt à des objets du monde tel que celui-ci est perçu à l'intérieur d'une culture donnée ». (Microsoft® Encarta®, 2009)

« ...Allusion précise ou abstraite (à quelque chose ou à quelqu'un) » (Microsoft® Encarta®, 2009)

« ...Repère sur lequel on se fonde (pour situer une chose par rapport à une autre) » (Microsoft® Encarta®, 2009)

Les différentes définitions que nous venons de citer montrent qu'une référence est une sorte de base de comparaison et consiste principalement en la mise en rapport de deux univers, deux domaines ou encore de deux personnes. Ainsi, dans les définitions précédentes, « l'acte de référer permet de lier un objet ou élément quelconque, souvent peu connu, voire inconnu et à

explorer, à un autre objet qui est, au contraire, une source généralement connue, soit par convention, soit par expérience, etc. » (Kacher, 2005, p.19)

Une référence établit donc une mise en relation de deux univers où l'un va venir enrichir le sens de l'autre (Gosselin, 1998, p.33). Elle est une base de données porteuse d'information(s) et de connaissance que l'architecte utilise pour compléter des informations manquantes sur une idée, de lever des incertitudes et de construire une chose nouvelle.

3.5.1.2. L'IMAGE PHOTOGRAPHIQUE

La photographie est un domaine aux multiples fonctions. Elle est un outil trouvant de multiples usages aussi bien de la représentation réelle que de l'expression artistique. Elle joue un rôle déterminant dans le développement de la société moderne par son rôle d'outil de communication. La photographie est quelque chose de complexe., mais c'est surtout un acte : celui de la capture de l'espace. Dès ses origines, elle est d'ailleurs aussi intimement liée à l'architecture. « Tu ne prends pas une photographie, tu la crées. » Ansel Adams (1902 -1984)
« Techniquement, la photographique, est le dispositif permettant d'obtenir une image permanente par l'action de la lumière sur une surface sensible (photo argentique) ou par mémorisation de signaux numérisés provenant de la conversion des rayons lumineux captés des cellules photosensibles (photo numérique). » (Microsoft® Encarta® 2009)

3.5.1.3. IMAGE PHOTOGRAPHIQUE COMME REFERENCE ARCHITECTURE

« Moins il en sait sur le sujet, plus l'observateur est contraint de compter sur sa connaissance et son expérience visuelle. La photographie agit comme un écran de projection pour la personne qui la regarde. (...) L'invisible est une composante fixe de l'architecture. Une photographie, comme telle, montre tout, et c'est seulement dans la visualisation que l'invisible lui est ajouté. L'écran de projection est grand, et l'apparente proximité au motif est attirante. » (Sasse, 1985)

La photographie est l'un des outils majeurs de diffusion de la culture architecturale. En effet, l'image photographique conquiert plus rapidement que l'écrit, elle est un langage universel compréhensible par tout le monde. Elle est l'outil d'une mise en images du monde.

L'image, *« s'emploie dans presque tous les domaines, la physique, les mathématiques, la littérature (...) Dans le sens restrictif de l'image optique et visuelle : reflet (...) reproduction (...) représentation d'un objet par les arts graphiques ou plastiques (...) illustration (...) »*

reproduction exacte ou représentation analogique d'un être, d'une chose (...) ressemblance (...) figure. » (Dictionnaire Le nouveau petit Robert, 1993)

La photographie joue un rôle très important dans l'architecture. Ce sont deux domaines fortement liés. Elle permet de mémoriser des ouvrages architecturaux, ainsi que d'immortaliser l'instant d'un processus d'édification. Comme l'explique Matthieu Gualandi (Gualandi, 2009), dans le domaine de l'architecture, l'image intervient à plusieurs niveaux du projet architectural : comme moyen de communication, mais elle peut aussi devenir un important outil de conception et une source d'inspiration. En effet, l'architecte est entouré par des images qui ont un effet conscient ou inconscient sur ses intentions de réalisation.

« La photographie prouve que le bâtiment existe (ou qu'il a existé), un dessin prouve seulement qu'il a été proposé. » Harry Stuart Goodhart Rendel (1887 - 1959) Cité dans Robert Ewall. p. 129

Guillaume Péronne (Péronne, 2007, p09) définit l'image photographique d'architecturale comme la rencontre de quatre éléments : *un lieu, un temps, un objet, un dispositif* de capture. Selon lui, il s'agit de prendre en compte autant le processus photographique que le contexte dans lequel l'image est produite.

*Un lieu...*L'objet architectural est à la fois en un lieu, et formant un lieu. Deux aspects intimement liés.

*Un temps...*Le temps de pose, bien sûr, mais aussi le temps comme moment de l'histoire où est déclenché le processus — le contexte culturel. Enfin, le temps météorologique comme qualité de lumière.

*Un objet...*L'objet architectural en lui-même comme assemblage cohérent de matériaux selon une logique préétablie. Se caractérise par sa singularité et sa finitude.

*Un dispositif...*Ce terme regroupe deux éléments : l'appareil en lui-même et la technique qu'il sous-tend. S'y ajoute l'opérateur qui maîtrise cette technique et pilote le dispositif selon ses intentions esthétiques.

3.5.2. L'IMAGE PHOTOGRAPHIQUE COMME OUTIL DE REFERENCE A LA CONCEPTION

Dans le cadre de notre recherche, nous nous intéressons particulièrement aux références sous forme d'images photographiques et plus particulièrement à celles qui renvoient aux ambiances intérieures éclairées naturellement.

La particularité de l'image photographique autant que référence et sa richesse en informations que l'architecte peut utiliser. Dans le processus de conception architecturale, ces informations peuvent être utilisées à n'importe quel moment de l'activité de conception, et ceci dès les premières phases du projet, selon des besoins du besoin du concepteur. En effet, elles permettent de formuler une intention, de conforter des idées conceptuelles ou bien de les réfuter. L'image photographique autant que référence peut donc contribuer à la définition, à la formulation d'un problème conceptuel, ou encore à sa résolution grâce à la richesse d'informations qu'elle apporte. Les références photographiques permettent également à l'architecte d'avoir accès à des ambiances lumineuses existantes et réelles qui lui permettent de formuler sa problématique et à l'exprimer en termes d'intentions. (Chaabouni, 2006)

Selon Bignon et al. (Bignon, 2000), l'image photographique peut être utilisée dans deux situations. La première concerne la formulation du problème, l'image permet aux architectes d'exprimer leurs intentions de conception et également d'avancer dans la formulation de leurs problèmes de conception. La deuxième concerne la résolution des problèmes. Ils proposent en effet l'idée que l'image présente l'avantage d'illustrer de nombreuses solutions potentielles pour un problème de conception.

L'utilisation de l'image photographique comme référence se manifeste par le recours à des informations sur des projets existants conçus par d'autres architectes. Ceci permet donc à un architecte de bénéficier de l'expérience de ces confrères.

3.6. CONCLUSION

Ce chapitre a porté, en premier lieu, sur la connaissance et la caractérisation du processus de conception architecturale. Ensuite, Nous avons essayé de présenter des notions relatives aux ambiances et plus précisément aux ambiances lumineuses, puis nous avons expliqué notre choix de la conception par l'intention d'ambiance comme méthode de conception architecturale qui

utilise l'ambiance comme point de départ. Par la suite, nous avons expliqué comment l'image photographique peut être une référence dans le processus de conception et comment son utilisation peut avoir plusieurs intérêts dans la conception d'ambiances en guidant l'architecte dans la formulation de son problème de conception. Et enfin, nous avons vu, que grâce à sa capacité à être une réponse possible à un problème posé, nous avons choisi d'utiliser l'image photographique comme outil d'aide à la conception des ambiances lumineuse.

CHAPITRE 4

ANALYSE QUANTITATIVE ET QUALITATIVE DE LA LUMIERE SUR L'IMAGE PHOTOGRAPHIQUE NUMERIQUE

1. ANALYSE DE LA LUMIERE SUR L'IMAGE PHOTOGRAPHIQUE NUMERIQUE

3.4. INTRODUCTION

« L'évaluation simultanée des aspects qualitatifs et quantitatifs de la lumière devrait contribuer à une critique de l'espace-lumière et initier un discours d'éclairage architectural sur des bases théoriques solides » (Demers, 1997b).

Dans notre travail de recherche, afin d'analyser la lumière sur les images photographiques numériques, nous avons choisi d'associer deux méthodes : l'analyse quantitative et l'analyse qualitative. En effet, ce sont deux méthodes complémentaires qui peuvent être associées pour obtenir des résultats à la fois détaillés et à large portée.

Ces deux analyses seront réalisées sur des photographies d'architecture mettant en scène des espaces intérieurs ; éclairés naturellement ; dans le but de vérifier les hypothèses de recherche.

« L'image est l'élément qui fait le lien entre l'art et la science. Elle a l'avantage de fournir une évaluation quantitative et qualitative de la lumière d'un espace » (Demers, 1997).

- **Pour l'analyse qualitative** : nous avons choisi de travailler avec **la méthode d'analyse d'images numériques proposée par Demers (Demers, 1997)**. Celle-ci constitue un précédent théorique et expérimental très intéressant pour notre recherche, puisqu'elle utilise l'image photographique pour évaluer les luminosités. L'analyse qualitative a pour but de comprendre ou d'expliquer un phénomène. Elle se concentre plus sur la description et sur l'interprétation des données. Ces données, ne sont pas mesurables statistiquement et doivent être ensuite interprétées de façon subjective.
- **Pour l'analyse quantitative** : nous avons choisi de travailler avec **la méthode des différentiels sémantiques (questionnaire)**. L'analyse quantitative sert à collecter des données brutes et concrètes, principalement sous forme numérique (statistiques) qui permettent de calculer des moyennes, compter la fréquence d'une certaine réponse, diviser les données en pourcentages...Et qu'au final, aident à tirer les conclusions

générales de l'étude. En effet, cette méthode sert à prouver ou démontrer des faits en quantifiant un phénomène.

L'intérêt d'avoir choisi l'analyse qualitative de Demers (Demers, 1997) et l'analyse quantitative des différentiels sémantiques, réside dans le fait qu'il est possible de quantifier et de qualifier les caractéristiques des effets de la lumière naturelle en partant de données perceptibles non mesurables à savoir, l'image photographique numérique.

3.4. NOTIONS RELATIVES A L'IMAGE NUMERIQUE

Le domaine de l'analyse numérique de l'image a connu ces dernières années un intérêt de plus en plus croissant et suscite de par ses différentes applications l'intérêt des chercheurs de différents domaines. En effet, les images sont des outils essentiels pour la compréhension des concepts car elles peuvent, sous certaines conditions, rendre intelligibles des composants imperceptibles à l'œil nu.

L'analyse numérique de l'image est une discipline scientifique qui désigne l'ensemble des techniques permettant de modifier une ou plusieurs images dans le but de l'améliorer ou d'en extraire des informations. Dans une image, tout n'est pas toujours analysable, voire visible, d'un simple coup d'œil, et l'information contenue est rarement quantifiable de manière immédiate.

L'intérêt architectural de l'analyse numérique de l'image réside dans le fait qu'elle permet d'étudier le rapport qu'entretient l'environnement lumineux sur l'environnement bâti. Ce type d'étude peut assister le concepteur dans la génération d'un type d'ambiance particulier d'un lieu au moment de sa conception. En effet, cette discipline présente un potentiel intéressant, pour notre recherche, à la fois pour la visualisation et l'analyse de la lumière à travers des images photographiques mettant en scène des espaces intérieurs.

4.2.1. L'IMAGE NUMERIQUE

L'image est une reproduction d'une scène réelle, ou une représentation exacte de celle-ci. Elle est aussi appelée scène tridimensionnelle sur un support bidimensionnel. L'image contient en chaque point, une intensité lumineuse, qui peut être représentée sous la forme d'une fonction

[f(x,y)] qui présente les coordonnées linéaires d'un point de l'image et aussi son intensité lumineuse définie sur un domaine bien défini. Lorsqu'une image n'est pas exploitable par l'ordinateur en raison de sa mauvaise qualité, elle nécessite sa numérisation par différentes méthodes.

Une image numérique est un fichier électronique qui a été créé en convertissant une image de son état analogique à un format numérique. L'image numérique peut être créée directement à l'aide de programmes informatiques. La numérisation est le processus qui permet de convertir une image optique, qui a un nombre infini de valeurs d'intensité lumineuse, en une image numérique avec un nombre fini de points distincts. En effet, les images numériques sont des représentations d'une image visuelle qui ont été acquises, traitées et enregistrées sous une forme codée.

Une image numérique est composée d'unités élémentaires (appelées pixels) qui représentent chacun une portion de l'image. Une image est définie par :

- le nombre de pixels qui la compose en largeur et en hauteur (qui peut varier presque à l'infini),
- l'étendue des teintes de gris ou des couleurs que peut prendre chaque pixel (on parle de dynamique de l'image). (Bergounioux, 2008)

4.2.2. LES PIXELS

Les images numériques sont constituées d'une multitude de petits points appelés pixels. Un pixel est la plus petite unité d'une image numérique. Une image peut être considérée comme un tableau contenant les pixels qui, ensemble, forment une image. Plus une image comporte de pixels, plus sa qualité et sa définition sont élevées, et plus sa taille (nombre de lignes et de colonnes) est importante.

Le pixel est l'unité de base pour mesurer la définition d'une image numérique. Le pixel est appelé "élément d'image". C'est le plus primitif, le plus pauvre en informations car ses seules propriétés sont la position où il se trouve sur une matrice d'image (numéro de ligne, numéro de colonne), et la valeur numérique indiquant sa couleur, ou son niveau de gris.

Les valeurs des pixels sont stockées sous forme d'entiers entre 0 et 255 dans un ordinateur ou un appareil photo numérique, ce qui fait 256 valeurs possibles pour chaque pixel. La valeur 0 correspond au noir. La valeur 255 correspond au blanc, et les valeurs intermédiaires correspondent à des niveaux de gris allant du noir au blanc.



FIGURE 46. VARIATION DU NOMBRE DE PIXELS (SOURCE : AUTEUR)

4.2.3. DEFINITION ET RESOLUTION

Les termes Résolution et Définition sont souvent confondus dans le langage de la photo numérique. Ils sont liés à la notion de pixels.

La définition (ou dimension de l'image) est le nombre de points (ou pixels) que comporte une image numérique en largeur et en hauteur (le nombre de colonnes et nombre de lignes). On parle aussi de Taille en pixels. Pour calculer la définition d'une image numérique, il suffit de multiplier le nombre de pixels sur la hauteur par le nombre de pixels sur la largeur de l'image. Par exemple, une image possédant 1280 pixels en largeur et 720 en hauteur aura une définition de 1280 pixels par 720, notée 1280 x 720. Plus la résolution est grande, plus la précision des détails est grande. Ce nombre de pixels détermine directement la taille de l'information nécessaire au stockage d'une image (le fichier numérique brut). La dimension, en pixels, détermine le format d'affichage sur un écran (la taille des pixels sur un écran étant fixe).

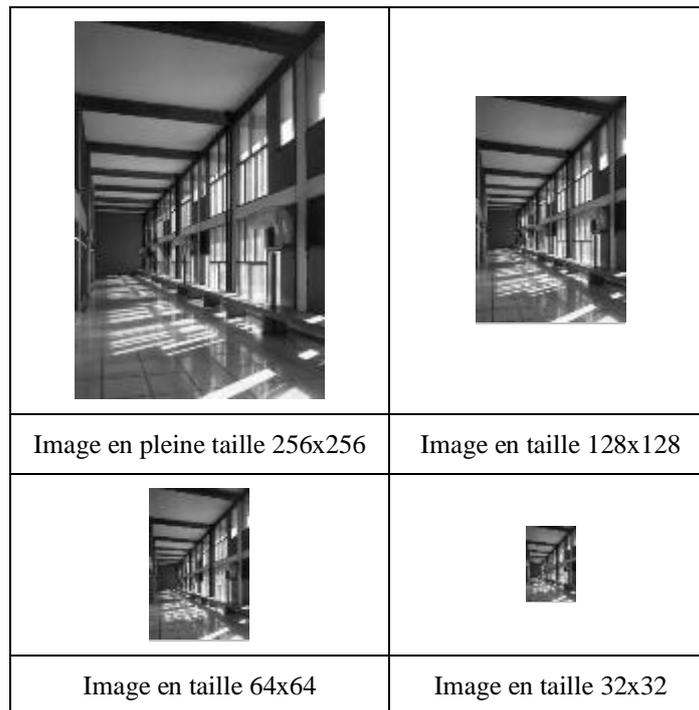


FIGURE 47. DEFINITION D'UNE IMAGE NUMERIQUE (SOURCE : AUTEUR)

La résolution d'une image est souvent confondue avec la "définition", elle détermine le nombre de points par unité de surface. Il s'agit d'une densité. De manière conventionnelle, on parle de dpi (*dots per inch*, ou pixels par pouce). À noter qu'un pouce mesure 2,54 cm. La résolution définit la netteté et la qualité d'une image. Plus la résolution est grande (c'est-à-dire plus il y a de pixels dans une longueur de 1 pouce), plus l'image est précise dans les détails. Par exemple, une résolution de 300 dpi signifie donc 300 colonnes et 300 rangées de pixels sur un pouce carré ce qui donne donc 90000 pixels sur un pouce carré. La résolution d'une image numérique définit le degré de détail de l'image.

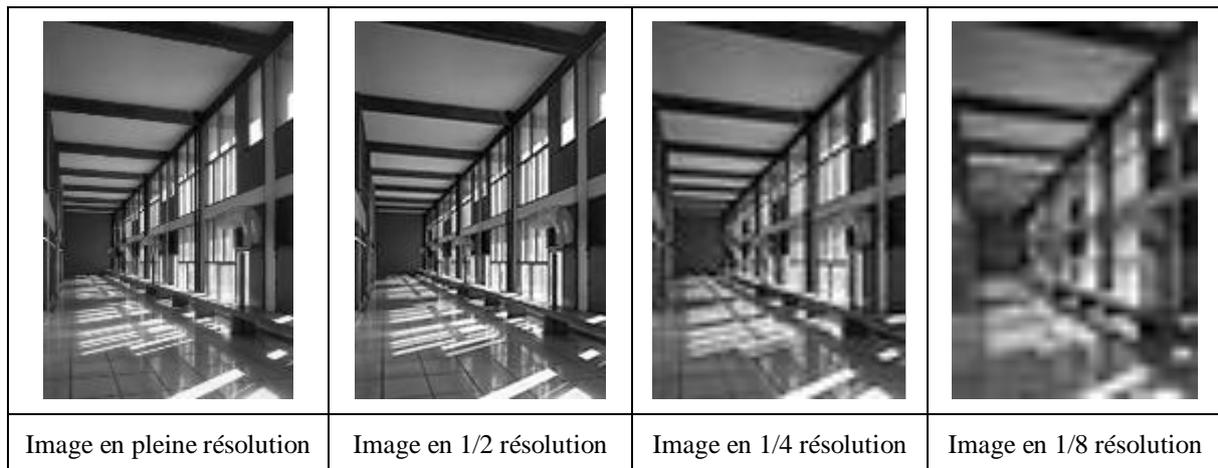


FIGURE 48. RESOLUTION D'UNE IMAGE NUMERIQUE (SOURCE : AUTEUR)

La résolution est un aspect de la qualité de l'image qui permet de déterminer la dimension réelle d'une image numérique sur un support physique (affichage écran, impression papier...)

4.2.4. L'HISTOGRAMME

En imagerie numérique, l'histogramme représente la distribution des intensités (ou des couleurs) de l'image. Son graphique visuel représente la luminosité des pixels d'une photo. C'est un outil très utile avec de très nombreuses applications. En effet, l'analyse de l'histogramme peut se révéler intéressante à plusieurs niveaux : détecter de l'information peu ou pas visible sur l'image, observer la forme de la distribution et en tirer des conclusions sur l'existence ou non de plusieurs classes significatives, etc... En effet, il permet d'obtenir des informations sur l'exposition de l'image afin de mieux analyser la répartition des tons.

Tous les logiciels de traitement d'images permettent d'ailleurs de visualiser cet histogramme, et beaucoup donnent même certaines de ses valeurs statistiques : moyenne, écart-type, médiane...

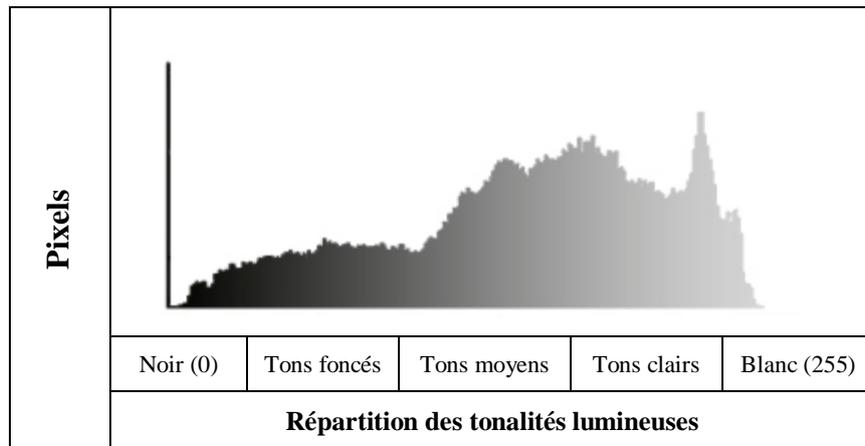


FIGURE 49. HISTOGRAMME (SOURCE : AUTEUR)

- L'axe horizontal en abscisses représente les différentes tonalités allant du plus foncé au plus clair en passant par les tons moyens au centre.
- L'axe vertical en ordonné représente la quantité de pixels de chaque tonalité.
- L'écrtage se produit lorsque les valeurs de tons dépassent la droite, la gauche ou le haut du graphique.

4.2.5. LA SEGMENTATION

La segmentation est une étape importante dans l'analyse numérique d'une image. C'est une opération qui a pour but de regrouper des pixels entre eux en zones (ensembles de pixels), suivant des critères prédéfinis. Elle n'est généralement une première étape indispensable dans le processus d'interprétation d'une image numérique. Le but de la segmentation est de simplifier et / ou changer la représentation d'une image en quelque chose de plus significatif et plus facile à analyser. Elle est utilisée pour localiser les objets et les limites (lignes, courbes, etc.) dans l'image. Plus précisément, la segmentation d'images est le processus qui consiste à coder chaque pixel d'une image de sorte que les pixels ayant le même code partagent certaines caractéristiques, pour ce qui concerne notre travail de recherche, il s'agira de la lumière.

En matière de segmentation d'images, il existe deux approches : l'approche par les contours et l'approche par les zones. Dans l'approche basée sur les contours, le principe est d'isoler les contours des objets à caractéristiques communes. Le résultat est généralement un ensemble de

chaînes de pixels, formant une sorte de frontières entre les zones. Un traitement supplémentaire est souvent nécessaire pour associer les contours aux objets de l'image. Dans les méthodes basées sur les zones, le principe est de chercher des régions homogènes dans une image avec caractéristiques communes. La notion de bonne segmentation/bonne détection des contours et de zones dépend fortement du type d'image à traiter et des applications prévues.

3.4. ANALYSE QUALITATIVE DE LA LUMIERE SUR L'IMAGE NUMERIQUE

4.3.1. ANALYSE NUMERIQUE ET IMAGE D'ARCHITECTURE

Nous désignons par analyse d'image d'architecture l'ensemble des techniques numériques permettant de modifier une image numérique dans le but (en ce qui concerne ce travail de recherche) d'en extraire des informations.

« L'image est l'élément qui fait le lien entre l'art et la science. Elle a l'avantage de fournir une évaluation quantitative et qualitative de la lumière d'un espace » (Demers, 1997).

Nous avons choisi de travailler avec la méthode d'analyse d'images numériques proposée par Demers (Demers, 1997). Celle-ci constitue un précédent théorique et expérimental, puisqu'elle utilise l'image photographique pour évaluer les luminosités (Biron, 2008). Elle comprend l'analyse qualitative et l'analyse quantitative de l'image. Ces deux analyses sont exécutées sur des photographies d'architecture mettant en scène des espaces intérieurs ; éclairés naturellement ; dans le but de vérifier les hypothèses de recherche.

4.3.2. PRESENTATION DE LA METHODE D'ANALYSE NUMERIQUE

Notre recherche s'appuie sur la méthode Demers (1997). Cette méthode utilise l'image numérique et un logiciel informatique de traitement (AdobePhotoshop©) pour obtenir le « pattern » de la lumière matérialisée sur les surfaces d'analyse afin de montrer et décrire certains effets de la lumière. (Étude préparatoire au plan lumière de la CCNQ, 1997). À propos de cette méthode, Liljefors [1999, p.6] note :

« Étudier et décrire l'information visuelle en termes de contrastes, et faire le lien entre ces « patterns » et les aspects physiques, permettant d'établir une séparation claire des facteurs physiques et visuels, est probablement la seule façon d'atteindre une bonne compréhension de la vision et de sa relation avec notre environnement physique. » (Cité dans Koulouris, 2001).

Dans ce travail de recherche nous utiliserons le terme « empreinte » au lieu de « pattern » pour désigner le motif que la lumière naturelle matérialisé sur les surfaces. En effet, la notion d'empreinte, interprétée par des formes limitées, fait référence à l'organisation de la lumière dans l'espace et sur les surfaces (Biron, 2008). Demers (1997) propose donc une méthode d'analyse et de caractérisation des effets de lumière en partant d'images numérisées de surfaces planes éclairées (Gallas, 2013). L'utilisation de cette méthode nous permettra de faire le lien entre des aspects visuels qualitatifs et des aspects quantitatifs de la lumière naturelle sur des images photographiques numériques. (Koulouris, 2001)

4.3.3. ETUDE DE LA FORME DE LUMIERE

4.2.4.1. DETECTION DES CONTOURS LUMINEUX

La détection de contours est une étape préliminaire à de nombreuses applications de l'analyse d'images. Les contours constituent en effet des indices riches. En traitement d'image, nous appelons détection de contours les procédés permettant de repérer les lignes d'une image numérique qui correspondent à un changement brutal de l'intensité lumineuse (Wikipédia, 2015). Cette étape sert à réduire le niveau de détail des photographies pour se concentrer sur certaines qualités de la lumière (Dubois, 2006). Grâce à cette réduction du niveau de détail, des lignes représentant les contours sont mises en évidence et servent à différencier des zones lumineuses de l'image, à faire de la segmentation d'images, à extraire des informations souvent pertinentes sur la lumière présente sur l'image. Pour localiser les contours, le logiciel s'appuie donc sur les formes lumineuses. Celles-ci sont délimitée par les lignes de contours, c'est-à-dire les endroits où les variations de niveaux de gris sont les plus rapides : c'est ce que l'on appelle aussi les bords (Van Droogenbroeck, 2007). Plus le nombre de lignes est important plus le niveau de contraste est haut. En effet, un contour est une transition marquée entre deux régions de luminosité distincte (Van Droogenbroeck, 2007).

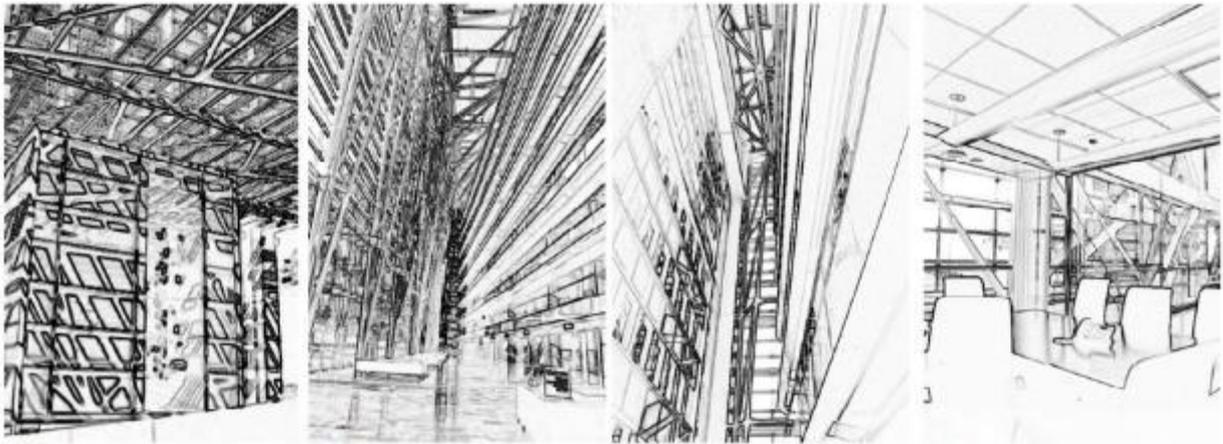


FIGURE 50. DETECTION DES CONTOURS LUMINEUX (DEMERS, 1997)

4.2.4.2. SEGMENTATION DE LA LUMIERE PAR CONTRASTE

Nous utilisons le plus souvent le terme « contraste » pour désigner les différences entre les zones les plus sombres et les zones les plus claires d'une image. En effet, le contraste est la façon dont le noir peut être distingué du blanc à une résolution donnée. Pour qu'une image apparaisse bien définie, les détails noirs doivent apparaître en noir et les détails blancs doivent apparaître en blanc (Wikipédia, 2015).

L'analyse du contraste contribue à montrer la qualité de la lumière puisqu'il constitue un élément essentiel à la description perceptuelle d'une ambiance, selon Demers et Hawkes ([Demers et Hawkes, 1996, p.4), le contraste apparaît comme étant un indice idéal pour l'étude de la diversité des ambiances dans l'espace et dans le temps car il permet de lier des aspects quantifiables et qualifiables (Koulouris, 2001) :

- « *Quantitativement, l'image représente plus que ses attributs habituels puisqu'elle devient un ensemble bidimensionnel de valeurs numériques représentant chacune une portion de l'image digitale. L'interprétation de l'information numérique à partir de « patterns » de lumière et des histogrammes fournit une base de classification de l'image.* »

- « *Qualitativement, les « patterns » de lumière deviennent la représentation essentielle de la lumière et une expression tangible de la perception visuelle directement affectée par l'apparence et la morphologie de l'espace.* »

Chaque photo a des zones plus sombres et des zones plus claires. C'est ce qui forme les segments de lumière. Les zones les plus sombres sont normalement appelées « ombres », tandis que les zones les plus claires sont appelées « lumineux ». Plus zone se dirigent vers les gris intermédiaires, plus le contraste à cette fréquence est faible. Plus la différence d'intensité entre une ligne claire et une ligne sombre est grande, plus le contraste est important (Wikipédia, 2015). En effet, dans une image à contraste élevé, il y a une différenciation et une distinction net entre les zones sombres et les zones lumineuses et moins de tons gris. Les images à faible contraste se présentent sous différentes formes : il y a des images claires, lumineuses et peu contrastées et des images sombres et peu contrastées.

La segmentation de la lumière permet de révéler les empreintes lumineuses des espaces intérieurs tels que la forme de la lumière et sa dispersion sur les surfaces, les niveaux de contraste sur les surfaces, la concentration relative de la lumière, la gradation ou niveau d'uniformité de la lumière sur une surface et l'intensité relative de la lumière (Koulouris, 2001).

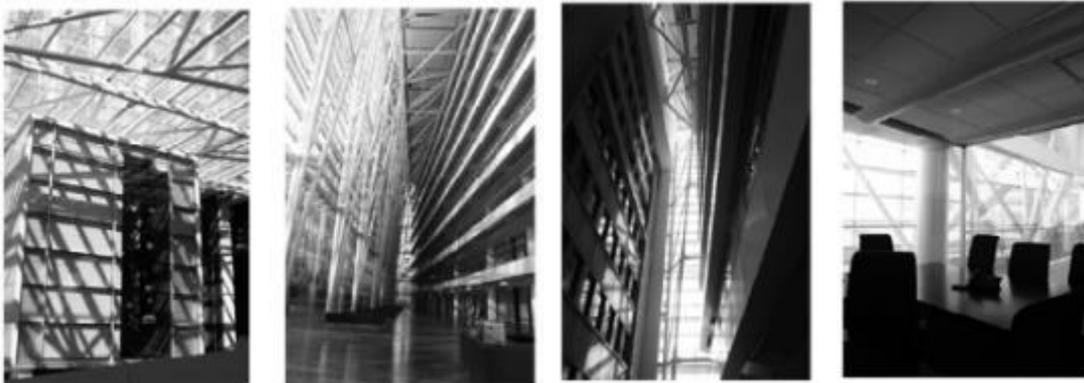


FIGURE 51. SEGMENTATION DE LA LUMIERE (DEMERS, 1997)

4.3.4. L'ANALYSE QUALITATIVE

L'analyse qualitative des images numériques (Demers, 2004) est dépendante de leur niveau de brillance et de leur degré de contraste global. (Dubois, 2006)

Ces informations sont obtenues à partir de l'histogramme produit par le logiciel de traitement d'images AdobePhotoshop© (Dubois, 2006). Il est une source utile d'information pour l'évaluation globale du contraste sur une surface (Demers, 1997, p.93).

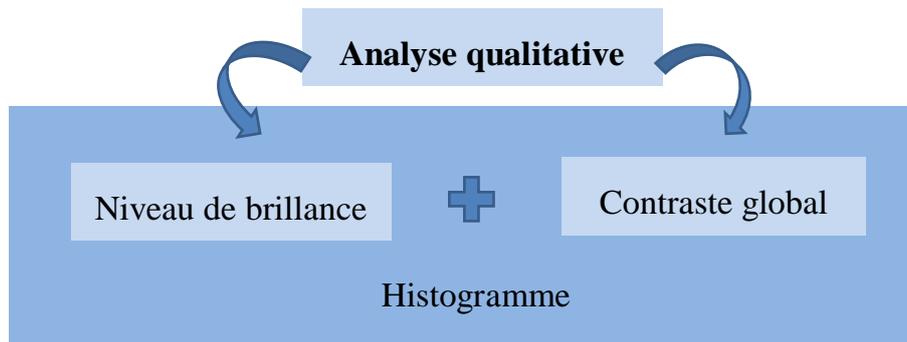


FIGURE 52. ANALYSE QUANTITATIVE (SOURCE : AUTEUR)

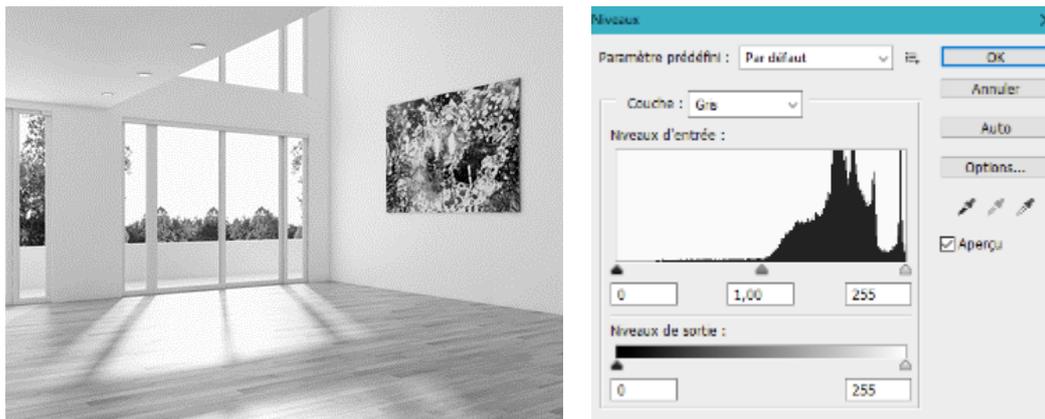
Elle s'effectue en deux étapes à l'aide du logiciel de traitement d'images AdobePhotoshop©. La première étape consiste à transformer une photographie couleurs en niveaux de gris (grayscale), la deuxième à la segmenter en un nombre donné de plages de brillance. Cette opération est réalisée par la commande « posterize ». (Dubois, 2006)

4.2.4.1. L'HISTOGRAMME

Un histogramme est un graphique statistique permettant de représenter la distribution des intensités des pixels d'une image, c'est-à-dire le nombre de pixels pour chaque intensité lumineuse. Par convention un histogramme représente le niveau d'intensité en abscisse en allant du plus foncé (à gauche) au plus clair (à droite) (Pareti, 2007). Il ne contient toutefois aucune information sur la distribution spatiale des brillances à travers l'image (Demers, 1997).

Ainsi, l'histogramme d'une image en 256 niveaux de gris est représenté par un graphique possédant 256 valeurs en abscisse, et le nombre de pixels de l'image en ordonnée (Pareti, 2007). Il représente la distribution de la luminance : la valeur 0 correspond à une brillance de 0% et la valeur 255 à une brillance de 100%.

L'histogramme sur la (figure 35) montre par exemple une image simplifiée en niveaux de gris et son histogramme : l'histogramme indique un niveau de brillance très élevé car la majorité des pixels est positionnée à droite. Il indique aussi une absence quasi-totale de contraste et de zones d'ombres vu l'absence des pixels foncés à la gauche de l'histogramme.



Très peu de pixels
sombres

Beaucoup de pixels
clairs

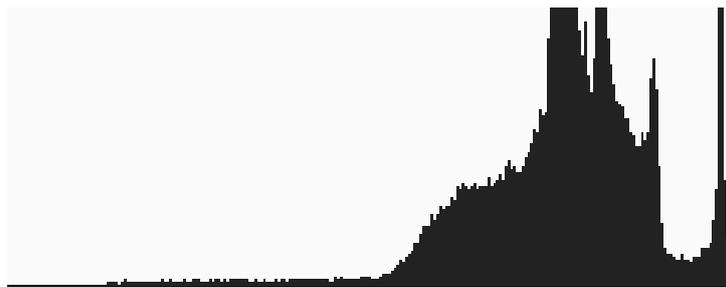


FIGURE 53. EXEMPLE D'HISTOGRAMME (SOURCE : AUTEUR)

La méthodologie proposée par Demers permet de combiner l'information contenue dans l'histogramme avec l'analyse de la distribution spatiale de la brillance dans l'image en étudiant l'empreinte de lumière (Koulouris, 2001).

4.2.4.2. NIVEAUX DE BRILLANCE

Le logiciel de traitement d'images AdobePhotoshop© permet de séparer les pixels de l'image en plusieurs niveaux de brillances, correspondant au pourcentage de luminosité, lesquelles peuvent être associés à des intensités lumineuses. Ces niveaux de brillance peuvent donner une évaluation sommaire des intensités de la lumière (Hopkinson, 1963) (Gallas, 2013).

Cette méthode permet une description typologique de la lumière, en caractérisant l'aspect morphologique de la lumière naturelle et son mode de propagation dans l'espace (Gallas, 2013).

Elle fournit également des informations sur l'intensité lumineuse, sur la concentration de la lumière en répartissant les pixels sur un histogramme (Biron, 2008) et localise les zones de contraste afin d'en faire l'analyse (Demers, 1998).

Les niveaux de brillance regroupent un certain nombre de pixels en fonction de leur valeur de gris. Cette valeur est comprise entre 0 et 255 (Dubois, 2006). La méthode propose d'utiliser la commande « posterize » pour décomposer l'image numérique en un nombre défini de ton de gris représentant la distribution de la lumière dans l'espace (Lépine, 2011). Ces derniers, sont souvent limités au nombre de cinq, varient du blanc (100%) au noir (0%) (Gallas, 2013) afin de simplifier la lecture de la lumière et mettre en évidence les anomalies visuelles (Étude préparatoire au plan lumière de la CCNQ, 1997). Les ombres peuvent aussi être appréciées par cette méthode, où le 0% correspond à l'ombre la plus dense (Biron, 2008).

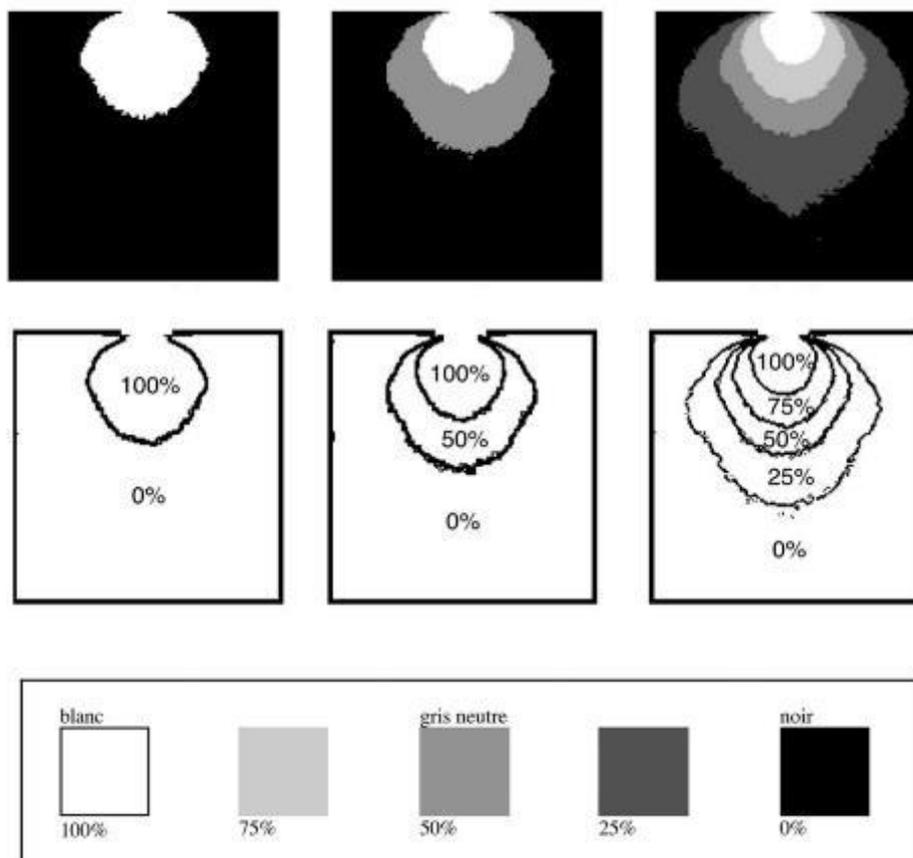


FIGURE 54. NIVEAU DE BRILLANCE (DEMERS, 1997B CITE DANS GALLAS, 2013)

4.2.4.3. CONTRASTE GLOBAL

Le contraste caractérise la répartition lumineuse d'une image. Visuellement il est possible de l'interpréter comme un étalement de l'histogramme de luminosité de l'image. Selon Demers (Demers, 1997, p.92) : « L'évaluation du contraste sur une image entière fournit une interprétation plus globale de la qualité visuelle de l'espace. Le « pattern » de lumière permet de localiser les zones de contraste élevé, alors que l'histogramme identifie l'importance relative du contraste sur une image entière. »

L'histogramme généré par le logiciel de traitement d'images AdobePhotoshop© permet d'obtenir une appréciation globale du contraste sur l'image (Koulouris, 2001). Il décrit l'ambiance lumineuse générale comme l'explique Demers (Demers, 1997, p.90) (Koulouris, 2001) : « *En passant par les histogrammes, la méthode proposée introduit une approche plus globale où le contraste est interprété sur un plan entier* ».

Le contraste global est représenté par l'écart type « standard déviation », il se répartit sur une échelle de 1 à 128, alors que la brillance de l'image, correspondant à la luminosité, s'obtient par la moyenne « mean » et se répartie sur une échelle de 1 à 255 tonalités de gris. (Demers, 2007) (Biron, 2008).

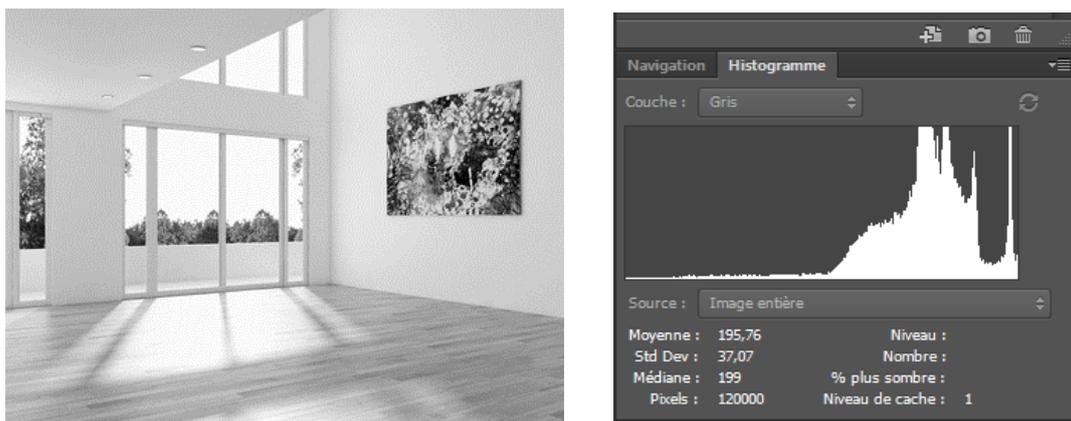


FIGURE 55. HISTOGRAMME AVEC DONNEES QUANTITATIVES (SOURCE : AUTEUR)

4.2.4.4. ETUDE DES CONTRASTES

Comme nous l'avons vu précédemment, l'analyse quantitative des images numériques est fonction du niveau de brillance et du contraste global. Le niveau de brillance de l'image, correspondant à la luminosité, s'obtient par la moyenne « mean » et se répartie sur une échelle de 1 à 255 tonalités de gris (Biron, 2008). Pour être en mesure de la traduire en niveau de brillance (%), la moyenne est divisée par le nombre total de pixels. Elle permet donc de qualifier sommairement une image de « sombre », lorsque le pourcentage est faible (0-50%) et de « claire » lorsqu'il est élevé (50-100%) (Dubois, 2006). Le contraste global est représenté par l'écart type « standard déviation ». Il indique le degré de contraste global d'une image. Un écart-type élevé équivaut à une image contrastée, les valeurs des pixels étant dispersées de part et d'autre de la valeur gris moyenne (Demers, 1997, p.95). Il permet ainsi de qualifier globalement une image de « faiblement » ou de « fortement » contrastée. (Dubois, 2006)

Analyse qualitative	Demers	AdobePhotoshop©
	Niveau de brillance	La moyenne (Mean)
	Contraste global	L'écart type (Std Dev)

TABLEAU 6. CORRESPONDANTS DU NIVEAU DE BRILLANCE ET DU CONTRASTE GLOBAL SUR PHOTOSHOP (SOURCE : AUTEUR)

Avec ces deux mesures (contraste global et niveau de brillance), il est possible d'obtenir un graphe de répartition des ambiances lumineuses (Figure 56) utile pour classer les images. (Biron, 2008). L'axe vertical, relatif au degré de contraste global, signale la valeur de l'écart-type (Std Dev) et l'axe horizontal indique la valeur de gris moyenne des images (Mean) (Dubois, 2006).

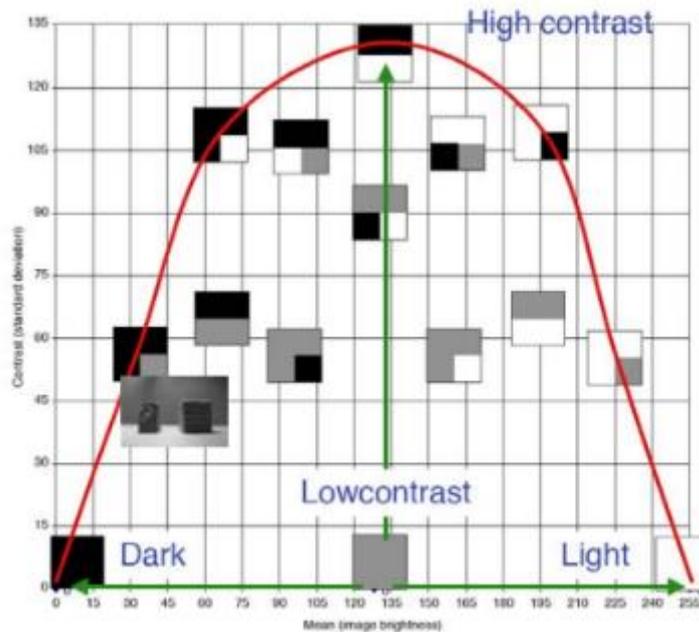


FIGURE 56. ANALYSE QUALITATIVE (DEMERS, 2007 CITE DANS BIRON, 2008)

4.3.5. LIMITES DE LA METHODE DE DEMERS :

Par son utilisation de l'image numérique pour l'analyse des formes et empreintes lumineuses, la méthode développée par Demers présente un potentiel intéressant, pour notre recherche, à la fois pour la visualisation, l'évaluation et l'analyse de la lumière naturelle à travers des images photographiques mettant en scène des espaces intérieurs. Toutefois, certaines limites ainsi que certains problèmes se posent face à son application pour le présent projet de recherche :

- Les images photographiques sont sujettes à des différences de luminances d'un appareil à photo à un autre.
- La luminosité ne correspond pas forcément à la luminance réelle de la scène photographiée (surtout dans les extrêmes, c'est-à-dire dans les tons plus clairs et plus foncés).
- Les ambiances prises en photo en un moment T ne sont pas forcément des ambiances réellement ressenties. Vu qu'elle sort du contexte existant.
- Les images photographiques peuvent être sujettes aux erreurs de manipulation des appareils à photos (Lépine, 2011).

3.4. ANALYSE QUANTITATIVE (LE QUESTIONNAIRE) :

Les analyses quantitatives sont des enquêtes par questionnaires, administrées à un échantillon représentatif de la population appelé panel. Elles ont pour but de décrire et d'étudier les comportements et les opinions. Elle consiste à interroger un grand nombre d'individus afin de produire des données chiffrées.

L'analyse quantitative permet d'opérer des mesures, qu'elles soient de satisfaction, de fréquentation, d'audience ou de perception d'un message. Elle est généralement utilisée pour prouver et démontrer des faits ou des hypothèses.

Les informations chiffrées collectées grâce à l'analyse quantitative sont des données mesurables et vérifiables et peuvent être représentées dans des graphiques ou tableaux. Elles servent à mieux comprendre le comportement du panel et aident à tirer les conclusions générales de l'étude.

Les étapes de l'analyse quantitative sont :

- La sélection de l'échantillon représentatif de la population à étudier (le panel).
- La construction du questionnaire (différentiels sémantiques). Les questions à poser sont souvent fermées ou sous forme de QCM.
- L'analyse des données.
- L'interprétation des résultats.

4.4.1. LA METHODE DES DIFFERENTIELS SEMANTIQUES

L'échelle du différentiel sémantique est un outil psychométrique permettant de mesurer une attitude chez des individus. En effet, la méthode du différentiel sémantique est un questionnaire qui permet de positionner une opinion sur une échelle bipolaire. Cette échelle est composée de deux bornes extrêmes constituées de mots de sens opposé. Elle a pour but de recueillir une opinion lors d'une enquête en faisant prendre une position à la personne interrogée par rapport à des mots de sens opposés. Le différentiel sémantique est aujourd'hui l'une des échelles les plus utilisées dans la mesure des attitudes.

Le différentiel sémantique, également appelé polarité ou profil de polarité, a été mise au point par le psychologue américain Charles Osgood à l'université de l'Illinois en 1967 pour découvrir quelles attitudes ou sensations les gens associent à certains objets, choses ou faits. L'objectif de cette méthode est d'évaluer statistiquement les impressions subjectives que nous ressentons devant un objet ou la représentation imagée d'un objet.

Une grille d'analyse sémantique se présente comme une liste de qualificatifs regroupés par paire, aussi opposés que possible (fort/faible, féminin/masculin...), ou items, séparés par un nombre impair de cases (5 ou 7, en général). En effet, Les scores des énoncés sur une échelle sémantique peuvent aller de -3 à +3 ou bien de 1 à 7. Le point central (0) constitue l'élément de neutralité. Par la suite, les résultats obtenus sont étudiés grâce à une analyse de profil. En effet, le profil obtenu en reliant ces différentes valeurs relevées sur les échelles constitue une représentation graphique permettant de comparer différentes marques ou différents produits. Les valeurs des moyennes ou médianes sont calculées et comparées au moyen d'une analyse graphique ou statistique.

L'avantage de l'échelle du différentiel sémantique est sa souplesse, sa rapidité et son intuitivité. Le choix de cette méthode pour l'analyse quantitatif de notre enquête semble donc évident. Pour notre travail de recherche qui est accès sur les ambiances lumineuse, nous verrons par la suite la construction de notre questionnaire et les critères du choix des adjectifs du différentiel sémantique.

3.4. CONCLUSION

Nous avons vu dans ce chapitre, qu'afin de vérifier nos hypothèses de recherche, nous avons choisi de travailler avec deux méthodes complémentaires qu'on a associé afin d'obtenir des résultats à la fois détaillés et à large portée : l'analyse qualitative de Demers (Dermers, 1997) et l'analyse quantitative des différentiels sémantiques sous forme d'un questionnaire.

Nous avons commencé au premier lieu par expliquer des notions relatives à l'image numérique indispensables à la bonne compréhension des deux méthodes utilisées. Nous avons ensuite expliqué l'analyse qualitative de Demers (Dermers, 1997) et nous avons vu que les travaux de Demers constituaient un précédent qui guide cette recherche, tant au niveau théorique que

méthodologique (Demers 1993-2007). Et en fin l'analyse quantitative des différentiels sémantiques sous forme d'un questionnaire.

Tous ces termes, définis précédemment, sont repris aux chapitres méthodologie et expérimentation (Chapitre 5) et seront appliqués sur des photographies d'architecture mettant en scène des espaces intérieurs ; éclairés naturellement.

CHAPITRE 5

EXPERIMENTATION ET INTERPRETATION

2. EXPERIMENTATION ET INTERPRETATION

5.1. LES OBJECTIFS

Notre approche de recherche s'inscrit dans la branche des recherches qui considèrent l'intention lumineuse comme élément de départ de la conception architecturale, et l'image photographique comme outil d'aide à la conception architecturale, nous nous intéressons particulièrement aux images photographiques mettant en scène des ambiances lumineuses intérieures.

Notre objectif est de vérifier si l'intention d'ambiance lumineuse provenant de références architecturales est bien interprétée par le concepteur. En effet, nous nous interrogeons sur la pertinence de la référence architecturale et plus précisément sur l'image photographique comme aide à la conception lumineuse. Autrement dit, si la photographie peut être un outil de référence, et constituer l'un des composants de la base du processus créatif.

5.2. METHODOLOGIE

La place de l'ambiance lumineuse dans le processus de conception est le point de départ de notre problématique. Cette ambiance est formulée par une intention d'ambiance, qui traduit les souhaits du concepteur. Ce parti pris de la conception par l'intention lumineuse est la clé pour maintenir une cohérence dans l'ambiance voulue. Ceci est utilisé comme guide durant tout le processus de conception.

La conception des ambiances lumineuses à l'aide des images photographiques est la ligne directrice de notre projet de recherche. Elles permettent de maintenir une logique architecturale et d'harmoniser les différents éléments de la conception. Notre projet de recherche s'articule autour de l'exploration, l'analyse et le traitement de la lumière véhiculée par l'image photographique numérique afin d'en explorer le potentiel. La méthodologie employée s'appuie sur la recherche développée par Demers (Demers, 1997). Nous nous intéressons aux ambiances lumineuses existantes à partir de photographies numériques mettant en scène des ambiances lumineuses. Notre projet de recherche propose, d'évaluer l'image photographique numérique, d'une part, comme outil d'aide à la conception des ambiances lumineuses, et d'autre part, comme outil support permettant des analyses et des traitements quantitatives et qualitatives de la lumière des espaces intérieurs.

L'expérimentation de ce travail de recherche se poursuit en deux étapes :

- **La première**, consiste à effectuer **une analyse qualitative** selon la méthode de Demers (Demers, 1997) : Les images photographiques numériques (5 images) sont analysées à partir de paramètres tels que la brillance et le contraste avec le logiciel AdobePhotoshop©.
- **La seconde**, consiste à effectuer **une analyse quantitative**, à partir d'un différentiel sémantique, sous forme d'un questionnaire : Les images analysées sont présentées à un ensemble de participants (architectes) en leur demandant de qualifier chacune des images selon deux échelles sémantiques.

Les résultats de ces deux expérimentations sont traités, analysés et surtout corrélés avec le logiciel STATISTICA par une analyse en composantes principales (ACP), cette analyse a pour objectif est de représenter graphiquement les relations entre les variables quantitatives (descripteurs sémantiques) et de visualiser en même temps les individus (images photographiques) qui sont en relation avec ces variables. A partir de cette double visualisation, nous pouvons interpréter les résultats en fonction de sa connaissance du sujet étudié.

L'objectif des deux premières expérimentations est d'essayer de répondre à la première partie de notre problème de recherche qui est de vérifier si : l'image photographique peut être une référence pertinente dans la conception des ambiances lumineuses ? Et si la qualité de l'ambiance lumineuse, capturée sur une image photographique, peut être valablement caractérisée, évaluée et appréciée à partir les jugements subjectifs de l'architecte ?

5.3. LA SELECTION DES IMAGES D'AMBIANCE LUMINEUSES INTERIEURES

Pour réaliser nos expérimentations nous utilisons 5 images photographiques numériques. Ces images constituent le support de notre analyse qualitative et le composent « stimuli » de notre analyse quantitative.

Les images à évaluer ont été sélectionnées parmi des photographies publiées sur internet mettant en scène des ambiances lumineuses intérieures. Ainsi, ces images correspondent à ce

qu'un architecte pourrait croiser sur internet lors de sa recherche afin de s'inspirer. Le choix des images évaluées a été fait selon :

Des critères de contenu :

- Espaces intérieurs éclairés naturellement : les images sélectionnées doivent représenter des ambiances intérieures éclairées avec une lumière naturelle.
- Présence d'ouvertures : la source d'où vient la lumière qui définit l'ambiance représentée doit être visible.
- Facilité de lecture de l'espace éclairé : la prise de vue de la scène doit être assez suffisante pour bien montrer et comprendre l'espace éclairé (pas de photo zoomée de détail).
- Pas de personnes en premier plan sur les photos.

Des critères de forme :

- Photographies réelles.
- Photographies en couleurs.
- Même format et même résolution.

Nous travaillons donc, avec ces 5 images d'ambiances lumineuses intérieures dans les 2 phases de l'analyse : l'analyse qualitative, l'analyse quantitative (le questionnaire).

Nous présentons ci-après les 5 images photographiques qui composent notre support de travail :



Image 1 : Atrium de Vichy
(Source : archi-guide.com)



Image 2 : Bishan Public Library
(Source : archdaily.com)



Image 3 : Skylight House à Sydney
(Source : architectureau.com)



Image 5 : Bishan Public Library
(Source : archdaily.com)



Image 4 : Modern Penthouse à New York
(Source : designrulz.com)

FIGURE 57: IMAGES D'AMBIANCES LUMINEUSES INTERIEURES UTILISEES POUR LES ANALYSES QUALITATIVE ET QUANTITATIVE.

Ces images photographiques numériques que nous avons utilisées pour nos expérimentations sont aussi présentées en haute résolution en annexe (n°1) de ce mémoire.

5.4. L'ANALYSE QUALITATIVE

Comme nous l'avons vu dans le chapitre 4 (4.3), l'analyse qualitative proposée par de Demers (Demers, 1997) consiste en premier lieu à réduire le niveau de détail des photographies pour se concentrer sur certaines qualités de la lumière. Elle s'effectue en deux étapes à l'aide du logiciel de traitement d'images AdobePhotoshop©.

La première étape consiste à transformer une photographie couleurs en niveaux de gris, la deuxième à la segmenter en un nombre donné de plages de brillance. Cette opération est réalisée par la commande « *isohélie* ».

L'analyse qualitative des photographies est dépendante de leur niveau de brillance et de leur degré de contraste global. Ces informations sont obtenues à partir de l'histogramme produit par le logiciel de traitement d'images AdobePhotoshop©.

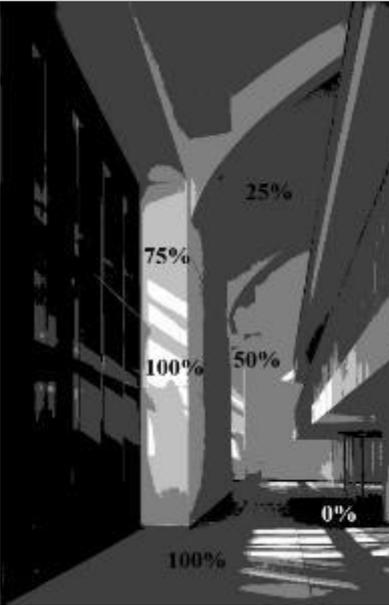
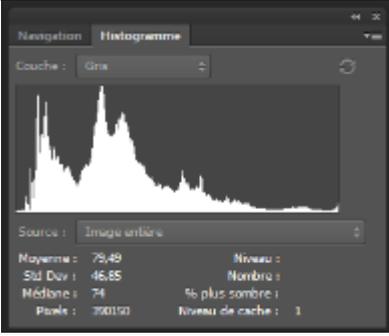
Image 1		
Image d'origine	Niveau de gris	5 niveaux de brillances
		
Histogramme	Interprétation de l'histogramme	
	<p>Niveau de brillance (Mean) : 79,49</p> <p>Contraste global (Std Dev) : 46,85</p> <p>L'histogramme indice un niveau de brillance bas car la majorité des pixels est positionnée à gauche. Il indique aussi une forte présence de contraste et de zones d'ombres vu la présence d'un grand nombre de pixels foncés à la gauche de l'histogramme.</p>	

TABLEAU 7. INTERPRETATION DE L'HISTOGRAMME DE L'IMAGE 1

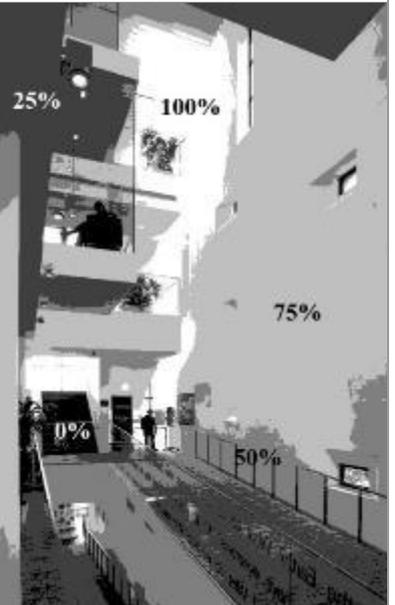
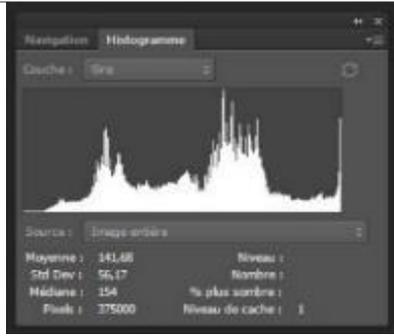
Image 2		
Image d'origine	Niveau de gris	5 niveaux de brillances
		
Histogramme	Interprétation de l'histogramme	
	<p>Niveau de brillance (Mean) : 141,68</p> <p>Contraste global (Std Dev) : 56,17</p> <p>L'histogramme indice un niveau de brillance moyen car la majorité des pixels est positionnée au centre. Il indique aussi une absence de contraste et de zones d'ombres vu l'absence des pixels foncés à la gauche de l'histogramme.</p>	

TABLEAU 8. INTERPRETATION DE L'HISTOGRAMME DE L'IMAGE 2

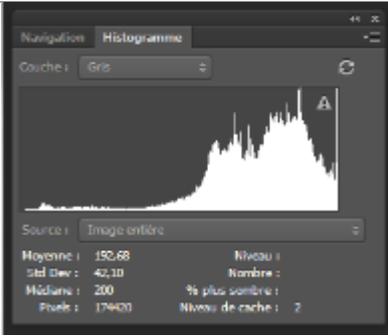
Image 3		
Image d'origine	Niveau de gris	5 niveaux de brillances
		
Histogramme	Interprétation de l'histogramme	
	<p>Niveau de brillance (Mean) : 192,68</p> <p>Contraste global (Std Dev) : 42,10</p> <p>L'histogramme indice un niveau de brillance très élevé car la majorité des pixels est positionnée est positionné à droite. Il indique aussi une absence quasi-totale de contraste et de zones d'ombres vu l'absence des pixels foncés à la gauche de l'histogramme.</p>	

TABLEAU 9. INTERPRETATION DE L'HISTOGRAMME DE L'IMAGE 3

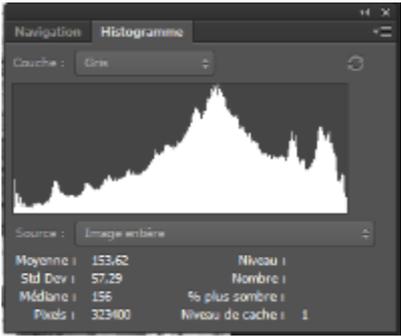
Image 4	
Image d'origine	Niveau de gris
	
Histogramme	5 niveaux de brillances
	
Interprétation de l'histogramme	
<p>Niveau de brillance (Mean) : 153,62</p> <p>Contraste global (Std Dev) : 57,29</p> <p>L'histogramme indique un niveau de brillance très élevé car la majorité des pixels est positionnée à droite. Il indique aussi une faible présence de contraste et de zones d'ombres vu de peu des pixels foncés à la gauche de l'histogramme.</p>	

TABLEAU 10. INTERPRETATION DE L'HISTOGRAMME DE L'IMAGE 4

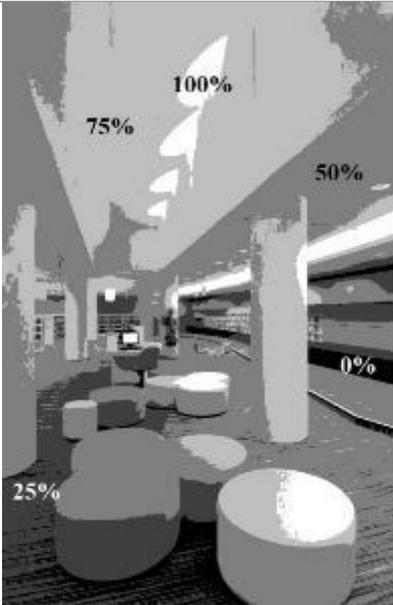
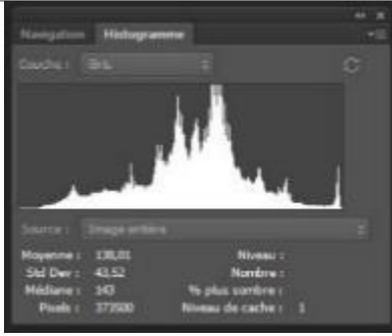
Image 5		
Image d'origine	Niveau de gris	5 niveaux de brillances
		
Histogramme	Interprétation de l'histogramme	
	<p>Niveau de brillance (Mean) : 138,01</p> <p>Contraste global (Std Dev) : 43,52</p> <p>L'histogramme indique un niveau de brillance moyenne car la majorité des pixels est positionnée au centre. Il indique aussi une absence de contraste et de zones d'ombres vu l'absence des pixels foncés à la gauche de l'histogramme.</p>	

TABLEAU 11. INTERPRETATION DE L'HISTOGRAMME DE L'IMAGE 5

Le tableau 11 montre le récapitulatif des informations fournies par les histogrammes des 5 images photographiques.

	Image 1	Image 2	Image 3	Image 4	Image 5
Valeur de gris moyenne	79,49	141,68	192,68	153,62	138,01
Ecart type (Std Dev) (Contraste global)	46,85	56,17	42,10	57,29	43,52
Nombre total de pixels	390150	375000	174420	323400	373500

TABLEAU 12. TABLEAU RECAPITULATIF DES INFORMATIONS FOURNIES PAR LES HISTOGRAMMES DES 5 IMAGES PHOTOGRAPHIQUES

Comme nous l'avons vu dans la méthode de Demers (Demers, 1997), avec les deux mesures (contraste global et niveau de brillance), il est possible d'obtenir un graphe de répartition des ambiances lumineuses (Figure 58) afin de classer les images. L'axe vertical, relatif au degré de contraste global, signale la valeur de l'écart-type (Std Dev) et l'axe horizontal indique la valeur de gris moyenne des images (Mean).

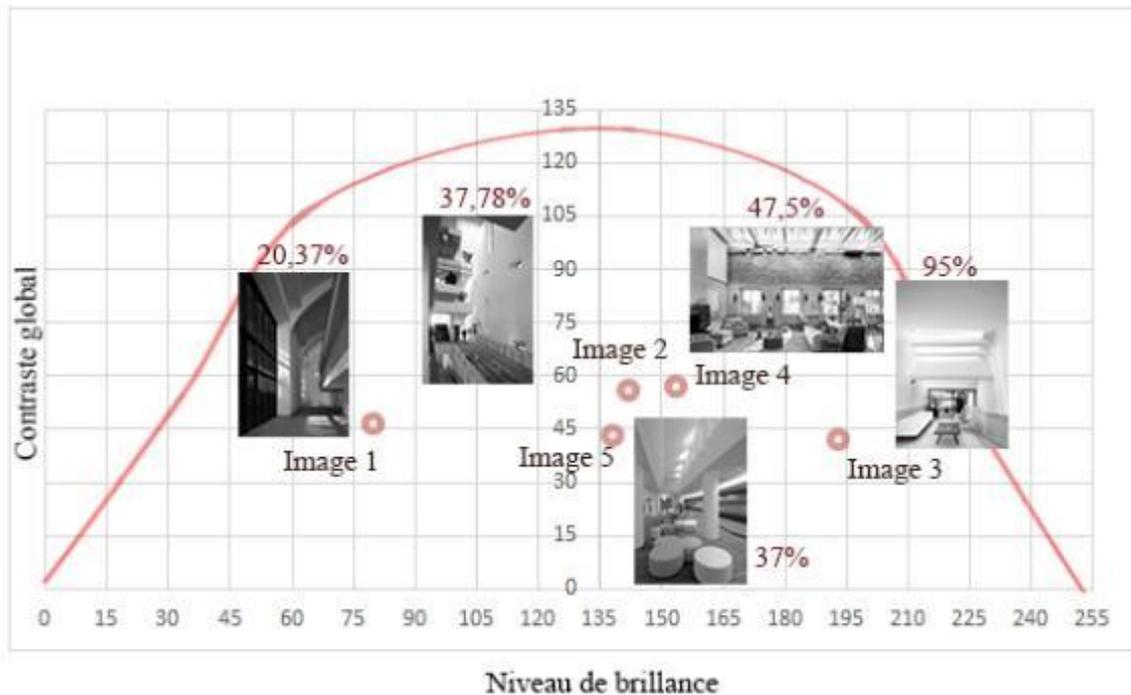


FIGURE 58: CLASSIFICATION DES IMAGES SELON LEUR NIVEAU DE BRILLANCE ET DE CONTRASTE.

Les pourcentages obtenus sur le graphe indiquent le niveau de brillance. Afin de convertir le niveau de brillance en pourcentage (%), la moyenne est divisée par le nombre total de pixels. Ces pourcentages permettent de qualifier sommairement une image de « sombre », lorsque le pourcentage est faible (0-50%) et de « claire » lorsqu'il est élevé (50-100%) (Demers, 1997). Pour ce travail de recherche nous allons plus décortiquer ces qualificatifs et considérer un pourcentage de (0-25%) de très sombre, (25-50%) de sombre, (50-75%) de lumineux et (75-100%) de très lumineux.

Sur le graphe (figure 58), l'image (1) est considérée comme très sombre avec un niveau de brillance de 20,37 %, suivi de l'image (2) et (5) avec des niveaux de brillance de 37,78 % et 37% respectivement, considérées comme sombres. Ensuite vient l'image (4) considérée comme lumineuse avec un niveau de brillance de 47,5 % (comme le % se rapproche de 50 % nous allons la considérer comme lumineuse). Et enfin avec un niveau de brillance de 95 %, l'image (3) est considérée comme très lumineuse. Le tableau ci-dessous récapitule les résultats obtenus lors de l'analyse qualitative.

Tous les résultats trouvés sont récapitulés dans le tableau 13.

	<i>Image 1</i>	<i>Image 2</i>	<i>Image 3</i>	<i>Image 4</i>	<i>Image 5</i>
<i>Luminosité</i>	Très sombre	Sombre	Très lumineuse	Lumineuse	Sombre
<i>Contraste</i>	Contrastée	Uniforme	Très uniforme	Uniforme	Uniforme

TABLEAU 13: TABLEAU RECAPITULATIFS DES RESULTATS DE L'ANALYSE QUALITATIVE

5.5. L'ANALYSE QUANTITATIVE (LE QUESTIONNAIRE)

La 2ème étape de l'expérimentation consiste à mener une enquête sur l'ensemble des 5 images photographiques, mettant en scène des ambiances lumineuses intérieures, utilisées durant l'analyse qualitative. Les personnes enquêtées, en l'occurrence des étudiants en architecture, évaluent leur perception des ambiances lumineuses présentes sur les 5 images photographiques, sans avoir connaissance de la problématique d'étude. Cette enquête est réalisée avec la méthode du différentiel sémantique (Voir chapitre 4) qui permet d'évaluer les opinions des enquêtés sur des échelles de qualification bipolaires en leur attribuant une note. En effet, chacune des 5 images photographiques est caractérisée selon un questionnaire composé de dix paramètres différents représentés par un binôme d'adjectifs opposés. Notre expérimentation s'est déroulée suivant ses 4 étapes :

- La sélection de l'échantillon représentatif de la population à étudier (le panel).
- La construction du questionnaire (différentiels sémantiques).
- L'analyse des données.
- L'interprétation des résultats.

5.5.1. SELECTION DE L'ECHANTILLON INTERROGE

Ce travail a été réalisé auprès des étudiants en architecture. Nous avons interrogé au total 100 personnes, tous étudiants en 5ème année architecture, du département d'architecture de Sétif (promotion 2011-2012). L'enquête s'est étalée sur le mois de juin 2012. Chaque personne interrogée devait évaluer 5 images photographiques selon un questionnaire. Les étudiants ne

connaissaient pas l'objectif de l'enquête et étaient invités à évaluer les images une par une, répondant au questionnaire le plus naturellement possible et évitant tout recours à la réflexion.

5.5.2. CONSTRUCTION DU QUESTIONNAIRE (DIFFERENTIELS SEMANTIQUES)

5.5.2.1. CHOIX DES BINOMES D'ADJECTIFS

Afin d'effectuer une sélection des qualificatifs (adjectifs) pour décrire l'environnement lumineux présent sur les 5 images photographiques, nous avons mené une réflexion sur les différents termes utilisés dans la littérature pour décrire un environnement lumineux. Les premiers travaux ayant mis en évidence les réactions subjectives de l'individu en réponse à des variations d'environnements lumineux sont ceux de Flynn, dans les années 1970. Ses travaux représentent un support considérable dans l'étude de la perception des environnements lumineux.

A partir des travaux de Flynn (Flynn et al,1979), 5 critères d'évaluations en rapport avec la qualité objective de l'environnement lumineux ont été choisis : luminosité, uniformité, spaciosité, éblouissement, confort. Et 5 critères d'évaluations en rapport avec la qualité subjective de l'environnement lumineux : accueil, intéressement, plaisance, inspiration, relaxation, gaieté. Nous nous sommes limités à la section de 10 critères d'évaluations afin de ne pas trop charger la tâche de l'enquêté et de le fatiguer.

Une échelle de sept cases entre les deux adjectifs permet aux personnes interrogées de choisir quel degré correspond le mieux à ce qu'elles ressentent par rapport aux 5 images photographiques. Voici les dix d'adjectifs retenus pour notre questionnaire :

Lumineux/Sombre, Uniforme/Contrasté, Intéressant/Non – Intéressant, Agréable /Désagréable, Confortable/Inconfortable, Inspirant/Non – Inspirant, Relaxant/Stressant, Spacieux/Etroit, Eblouissant/Non-éblouissant, accueillant/Non-accueillant.

5.5.2.2. DEROULEMENT DU QUESTIONNAIRE

Notre enquête s'est déroulée durant la séance d'atelier des étudiants de 5ème années architecture. Nous avons commencé par prendre le temps d'expliquer aux étudiants le

déroulement de l'enquête sans forcément expliquer le but exact de notre recherche afin qu'il y ait le moins d'erreurs de compréhension :

« Bonjour, Je m'appelle Amel BOURAFIA. Je suis étudiante en magister, option « Architecture, formes, ambiances et développement durable » au département d'architecture de Biskra. Je réalise en ce moment un travail de recherche qui porte sur les ambiances lumineuses et la conception architecturale. Le questionnaire ne devrait prendre que 5 minutes. Je vais vous distribuer à chacun un questionnaire et je vais vous faire passer 5 images photographiques. Je vous demande, s'il vous plait, de donner votre opinion personnelle sur chaque image photographique en cochant sur l'une des 7 cases de chaque duo opposé d'adjectifs. Vous ne pouvez cocher d'une seule case par duo opposé d'adjectifs. La case 0 représente un avis neutre. »

Après avoir distribué le questionnaire et avoir expliqué le sens des adjectifs (en arabe pour certains), nous avons fait passer les images photographiques une par une et non pas au même temps pour éviter toute comparaison et toute influence.

La figure 59 montre le questionnaire de l'étude.

Sexe : Féminin Masculin Age : 20-25 26-30 31-45 46-50

PHOTOGRAPHIE 1

	3	2	1	0	1	2	3	
Sombre	<input type="checkbox"/>	Lumineux						
Contrasté	<input type="checkbox"/>	Uniforme						
Non-intéressant	<input type="checkbox"/>	Intéressant						
Désagréable	<input type="checkbox"/>	Agréable						
Inconfortable	<input type="checkbox"/>	Confortable						
Non-inspirant	<input type="checkbox"/>	Inspirant						
Stressant	<input type="checkbox"/>	Relaxant						
Etroit	<input type="checkbox"/>	Spacieux						
Non-éblouissant	<input type="checkbox"/>	Eblouissant						
Non-accueillant	<input type="checkbox"/>	Accueillant						

PHOTOGRAPHIE 2

	3	2	1	0	1	2	3	
Sombre	<input type="checkbox"/>	Lumineux						
Contrasté	<input type="checkbox"/>	Uniforme						
Non-intéressant	<input type="checkbox"/>	Intéressant						
Désagréable	<input type="checkbox"/>	Agréable						
Inconfortable	<input type="checkbox"/>	Confortable						
Non-inspirant	<input type="checkbox"/>	Inspirant						
Stressant	<input type="checkbox"/>	Relaxant						
Etroit	<input type="checkbox"/>	Spacieux						
Non-éblouissant	<input type="checkbox"/>	Eblouissant						
Non-accueillant	<input type="checkbox"/>	Accueillant						

PHOTOGRAPHIE 3								
	3	2	1	0	1	2	3	
Sombre	<input type="checkbox"/>	Lumineux						
Contrasté	<input type="checkbox"/>	Uniforme						
Non-intéressant	<input type="checkbox"/>	Intéressant						
Désagréable	<input type="checkbox"/>	Agréable						
Inconfortable	<input type="checkbox"/>	Confortable						
Non-inspirant	<input type="checkbox"/>	Inspirant						
Stressant	<input type="checkbox"/>	Relaxant						
Etroit	<input type="checkbox"/>	Spacieux						
Non-éblouissant	<input type="checkbox"/>	Eblouissant						
Non-accueillant	<input type="checkbox"/>	Accueillant						

PHOTOGRAPHIE 4								
	3	2	1	0	1	2	3	
Sombre	<input type="checkbox"/>	Lumineux						
Contrasté	<input type="checkbox"/>	Uniforme						
Non-intéressant	<input type="checkbox"/>	Intéressant						
Désagréable	<input type="checkbox"/>	Agréable						
Inconfortable	<input type="checkbox"/>	Confortable						
Non-inspirant	<input type="checkbox"/>	Inspirant						
Stressant	<input type="checkbox"/>	Relaxant						
Etroit	<input type="checkbox"/>	Spacieux						
Non-éblouissant	<input type="checkbox"/>	Eblouissant						
Non-accueillant	<input type="checkbox"/>	Accueillant						

PHOTOGRAPHIE 5								
	3	2	1	0	1	2	3	
Sombre	<input type="checkbox"/>	Lumineux						
Contrasté	<input type="checkbox"/>	Uniforme						
Non-intéressant	<input type="checkbox"/>	Intéressant						
Désagréable	<input type="checkbox"/>	Agréable						
Inconfortable	<input type="checkbox"/>	Confortable						
Non-inspirant	<input type="checkbox"/>	Inspirant						
Stressant	<input type="checkbox"/>	Relaxant						
Etroit	<input type="checkbox"/>	Spacieux						
Non-éblouissant	<input type="checkbox"/>	Eblouissant						
Non-accueillant	<input type="checkbox"/>	Accueillant						

FIGURE 59. QUESTIONNAIRE UTILISE LORS DE L'EXPERIMENTATION

5.5.3. TRAITEMENT DES RESULTATS

5.5.3.1. CHOIX DE L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP) POUR TRAITER NOS RESULTATS.

La partie de notre expérimentation consacrée au différentiel sémantique doit permettre de déterminer le niveau d'appréciation des ambiances lumineuses sur des images photographiques par des étudiants en architecture. Les caractéristiques techniques de cette expérimentation ainsi que les particularités relatives au choix des sujets ont été détaillées précédemment. Rappelons simplement que notre échantillon est composé de 100 sujets, tous des architectes en voie d'être diplômés.

La première phase de l'analyse consiste à transformer les réponses fournies sur questionnaires papiers par les sujets en données informatiques. Ainsi, à chaque sujet correspond un tableau à une entrée réunissant ses jugements relatifs à chacune des 5 images photographiques présentées, pour les 10 échelles descriptives proposées (LUM=lumineux, UNI=uniforme, INT=intéressant, AGR=agréable, CON=confortable, INS=inspirant, REL=relaxant, SPA=spacieux, EBL=éblouissante, ACC=accueillante).

La phase suivante consiste à réunir tous les jugements des sujets en une seule table afin de faciliter leur analyse. Nous avons tout d'abord sommé, pour chaque image, le nombre de réponses attribuées, puis nous avons calculé la moyenne des réponses (Tableau 14).

Les techniques d'analyse factorielle ont pour principaux objectifs de réduire le nombre de variables et de détecter la structure des relations entre variables : ceci revient à classifier les variables. Nous pouvons ainsi considérer l'analyse factorielle comme une méthode de synthèse de données ou de détection de structure.

Plusieurs techniques peuvent être utilisées : nous avons choisi l'analyse des correspondances (ACP), qui est une méthode exploratoire multivariée, conçue pour analyser des tables à entrées multiples. Il est possible de synthétiser la corrélation entre deux variables dans un nuage de points. A l'aide du logiciel STATISTICA, nous avons extrait les composantes principales relatives aux données étudiées (ceci par un procédé de maximisation de la variance). Les composantes principales peuvent être considérées comme des axes orthogonaux les uns par rapport aux autres. Après l'extraction de la première composante, la méthode consiste à

continuer à chercher une autre composante qui va maximiser la dispersion restante, et ainsi de suite (tous ces facteurs étant indépendants les uns des autres).

A l'aide du logiciel d'analyse statistique STATISTICA, nous avons ainsi réalisé deux analyses en composantes principales (ACP) normée des données issues de notre test (La première ACP nous a permis de traiter les données concernant l'évaluation des descripteurs sémantiques en fonction des 5 Images photographiques et la seconde ACP nous a permis d'étudier le positionnement des images photographiques par rapport au descripteurs sémantiques). Cette analyse a permis de situer les données statistiques les unes par rapport aux autres (le fait d'utiliser des données normées permet de faire abstraction des différences d'échelle entre les différents types de données). Pour cela, le logiciel a créé un repère orienté selon les vecteurs propres principaux du système (nous nous sommes limités à l'espace composé de deux dimensions principales). Les résultats de cette étude peuvent être synthétisés dans un plan factoriel défini par deux axes orientés par ces vecteurs propres. La connaissance des valeurs propres du système permet de connaître l'importance des différents axes dans l'étude statistique.

	1 LUM	2 UNI	3 INT	4 AGR	5 CON	6 INS	7 REL	8 SPA	9 EBL	10 ACC
Image 1	-2,38	-2,1	1,24	-1,72	0,54	1,89	-1,54	1,68	-0,9	-1,08
Image 2	-1,81	-1,05	2,12	1,68	0,16	2,55	1,94	2,12	1,31	-1,02
Image 3	2,54	2,08	1,54	2,78	1,68	1,26	1,04	1,48	2,55	1,72
Image 4	1,84	0,65	0,55	1,7	1,06	1,95	1,42	1,68	2,1	0,85
Image 5	1,17	0,15	0,51	0,86	1,88	1,16	0,54	1,42	1,15	2,12

TABLEAU 14. TABLEAUX DE LA MOYENNE DE JUGEMENTS CORRESPONDANT AUX 5 IMAGES

5.5.3.2. ANALYSE DES DONNEES

Les résultats du questionnaire ont donc été codés et traités par analyse statistique. L'ACP nous a permis de traiter les données concernant l'évaluation des descripteurs sémantiques en fonction des 5 images photographiques et aussi d'étudier le positionnement des images photographiques par rapport au ressenti émotionnel des étudiants.

L'espace des individus (Images photographiques) : Dans notre étude, les 5 images photographiques, peuvent être représentés comme un nuage de points dans un espace à 10 dimensions (autant que de critères ou descripteurs sémantiques). Le profil d'une image photographique, constitué de l'ensemble des évaluations qu'il a obtenu, est donc représenté par

un point dans l'espace géométrique. Dans le cas de l'ACP, la distance entre deux images photographiques, est définie pour chaque variable, par la différence entre les notes de l'évaluation qu'ils ont respectivement obtenue pour une variable donnée ; cette différence est élevée au carré puis divisée par l'écart type de cette variable. On effectue ensuite la somme des valeurs obtenues pour l'ensemble des variables. En divisant chaque écart par l'écart type de la variable en question, on obtient ensuite une différence mesurée en unité d'écart type.

L'utilisation de cette procédure de réduction a pour but de ramener à la même échelle toutes les variables étudiées ; elles ont ainsi la même importance dans l'analyse. L'espace des individus se présente sous la forme d'un ensemble de points, avec ses structures affines et euclidiennes.

L'espace des variables (descripteurs sémantiques) : Les 10 descripteurs sémantiques exprimés sont représentés par des vecteurs dans un espace à 5 dimensions (autant de dimensions que d'images photographiques). Le coefficient de corrélation entre deux variables est ici le cosinus de l'angle que forment les vecteurs. Si la valeur du cosinus se rapproche de 1 (angle petit) cela indique que la corrélation est élevée et positive ; si les vecteurs représentant les variables sont perpendiculaires : la valeur du cosinus est égale à 0, ce qui indique qu'il n'y a pas de corrélation.

L'objectif de l'ACP est de trouver un nombre plus limité d'axes orthogonaux pour résumer au mieux les données. Un nouvel espace est ainsi constitué, dans lequel on pourra visualiser :

- Les 10 variables (descripteurs sémantiques)
- Les 5 images photographiques

L'interprétation des axes se fera d'une part à partir des images photographiques, et d'autre part à partir des descripteurs sémantiques.

Pour étudier la fiabilité et la pertinence de l'ACP réalisée, il faut analyser les valeurs propres et leurs pourcentages de variances associées.

Axe 1	Axe 2
61,64 %	30,92 %

TABLEAU 15. AXES RETENUS POUR LES PLANS FACTORIELS

Nous pouvons, si l'on considère les données du tableau 14, considérer que 61,64 % des informations statistiques issues de l'étude sont expliquées par l'axe 1, 30,92 % le sont par l'axe 2, ces deux axes peuvent être considérés comme très satisfaisant (plus de 92 % de la variance prise en compte), il n'est donc pas nécessaire d'observer les résultats sur les autres axes.

Tous les liens existants entre les différentes données (autrement dit les rapprochements d'échelles et de descripteurs) peuvent donc être analysés à partir d'un espace factoriel bidimensionnel. Cet espace est présenté, dans la figure 60, en projection sur le plan factoriel formé par les axes factoriels 1 et 2.

Le premier résultat significatif d'une ACP est représenté sur le cercle des corrélations (Figure 60).

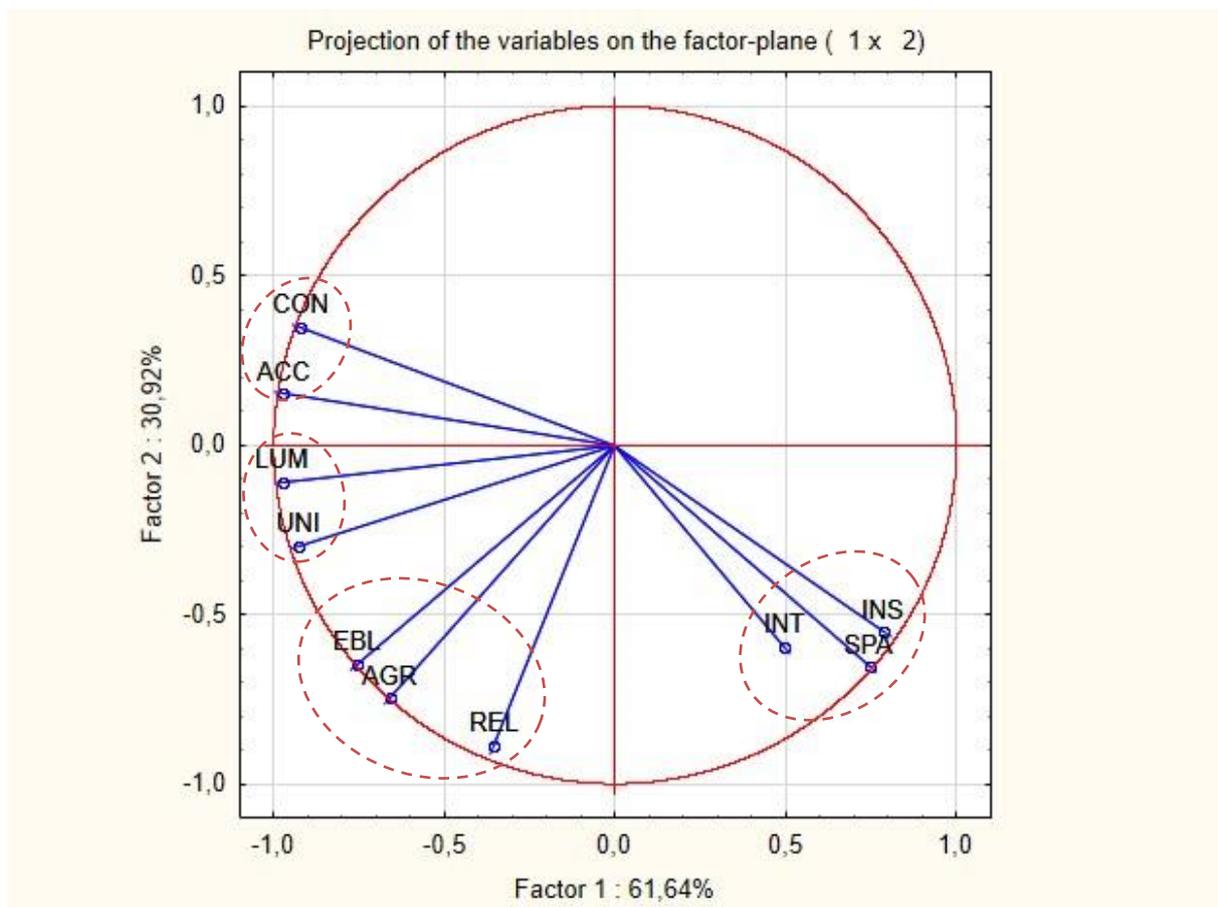


FIGURE 60. PRESENTATION DES CERCLES DES CORRELATIONS SUR LE PLAN FACTORIEL

Les corrélations sont synthétisées dans un cercle imaginaire à deux axes appelé cercle de corrélation. Chaque axe représente une composante principale. On regarde la position des variables par rapport à cet axe. Lorsque deux variables sont proches de la circonférence du cercle :

- Si elles sont proches les unes des autres, alors elles sont positivement corrélées ;
- Si elles sont orthogonales les unes par rapport aux autres, alors elles sont non corrélées ;
- Si elles sont symétriquement opposées par rapport au centre, alors elles sont négativement corrélées,
- En revanche, on ne peut rien dire quand les variables sont regroupées au centre du cercle ou de la sphère unité.

Nous pouvons grâce à la figure 60, observer 4 groupes descripteurs sémantiques qui sont bien représentés par le plan factoriel et qui se corréllent :

- Groupe 1 : lumineux, uniforme.
- Groupe 2 : Confortable, accueillant
- Groupe 3 : Eblouissant, agréable, relaxant
- Groupe 4 : Inspirant, intéressant, spacieux

Cette corrélation est encore plus claire et lisible sur les graphes de corrélation de la figure 61.

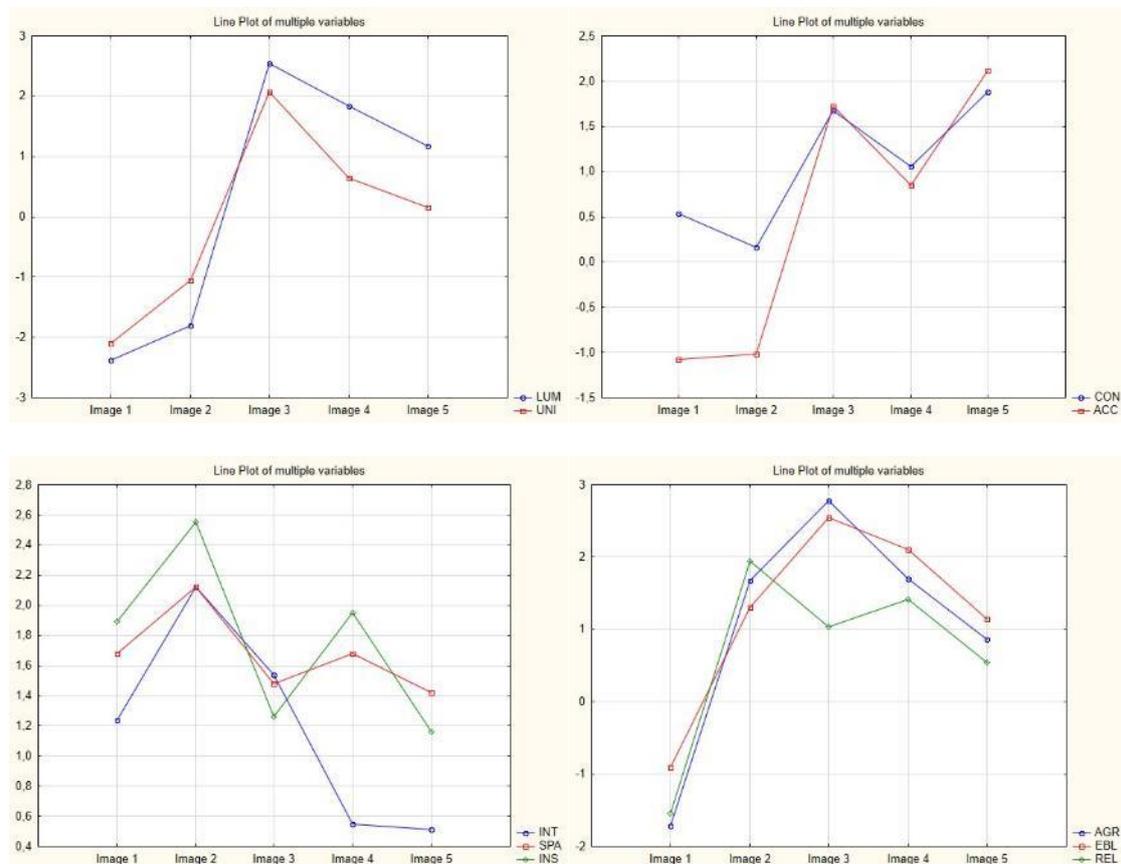


FIGURE 61. GRAPHE DES CORRELATIONS DES 4 GROUPES DESCRIPTEURS SEMANTIQUES

En observant le positionnement des descripteurs sémantiques sur le cercle de corrélations, nous avons pu nommer les axes FI et F2 (figure 62).

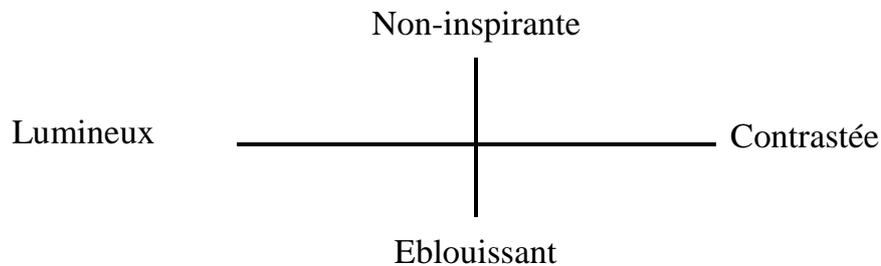


FIGURE 62. NOMINATION DES AXES FACTORIELS

La figure ci-dessous (figure 63) est issu de l'ACP réalisée, elle permet de positionner les différentes images photographiques par rapport aux axes que nous avons prédéfinis auparavant grâce au cercle de corrélation.

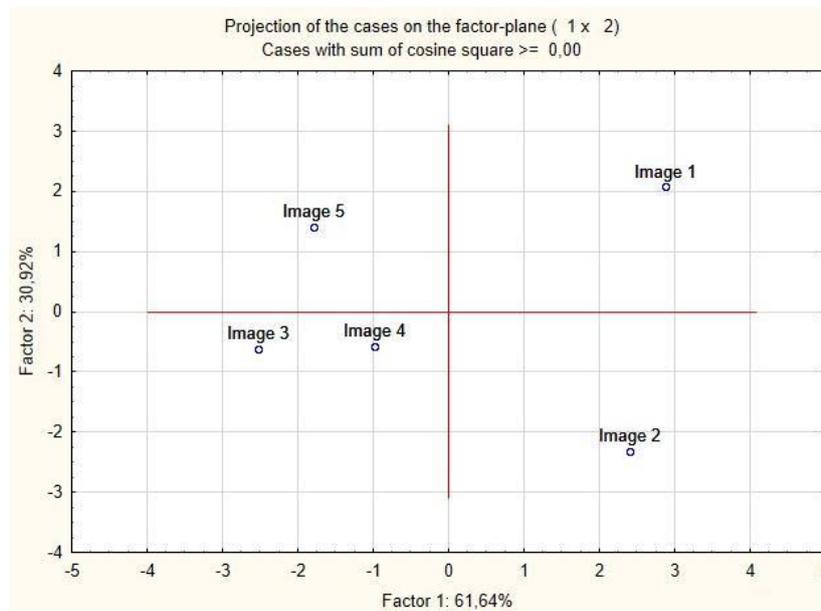


FIGURE 63. PROJECTION DES INDIVIDUS SUR LE PLAN FACTORIEL

En superposant les descripteurs sémantiques sur les axes avec la projection des images photographiques sur le plan factoriel nous obtenons la figure 64.

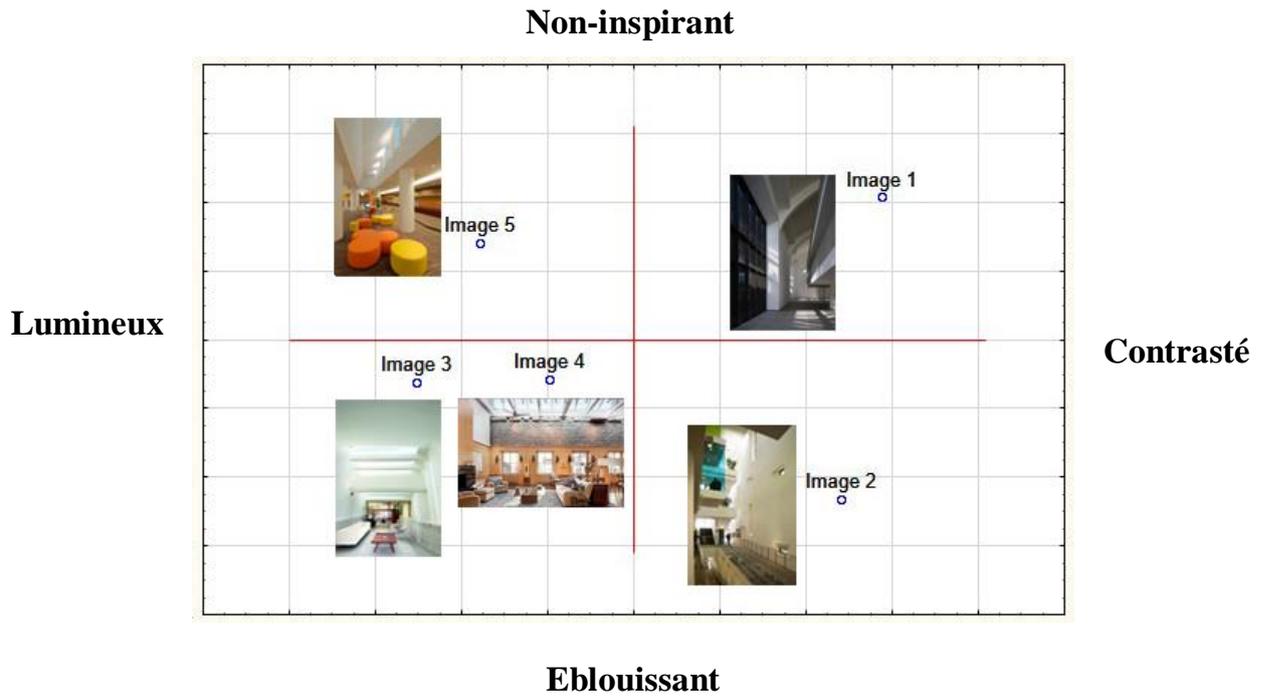
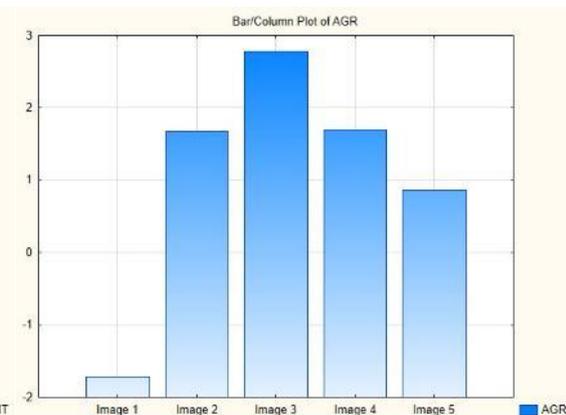
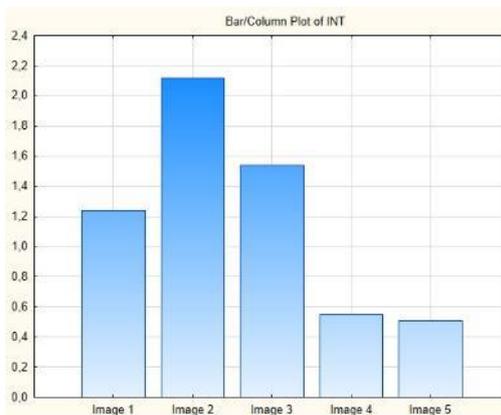
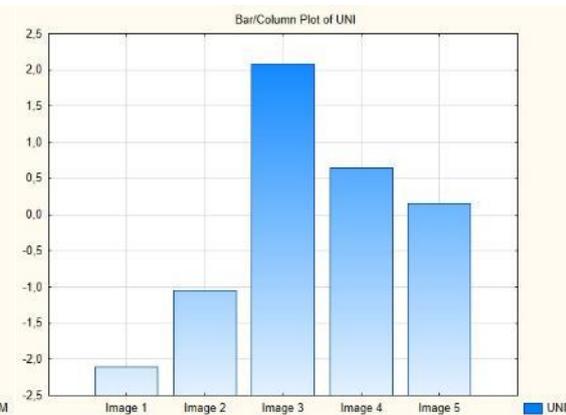
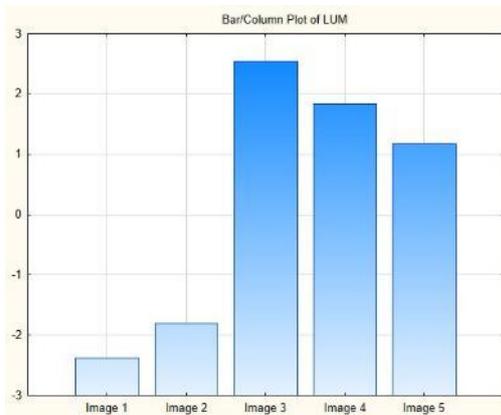
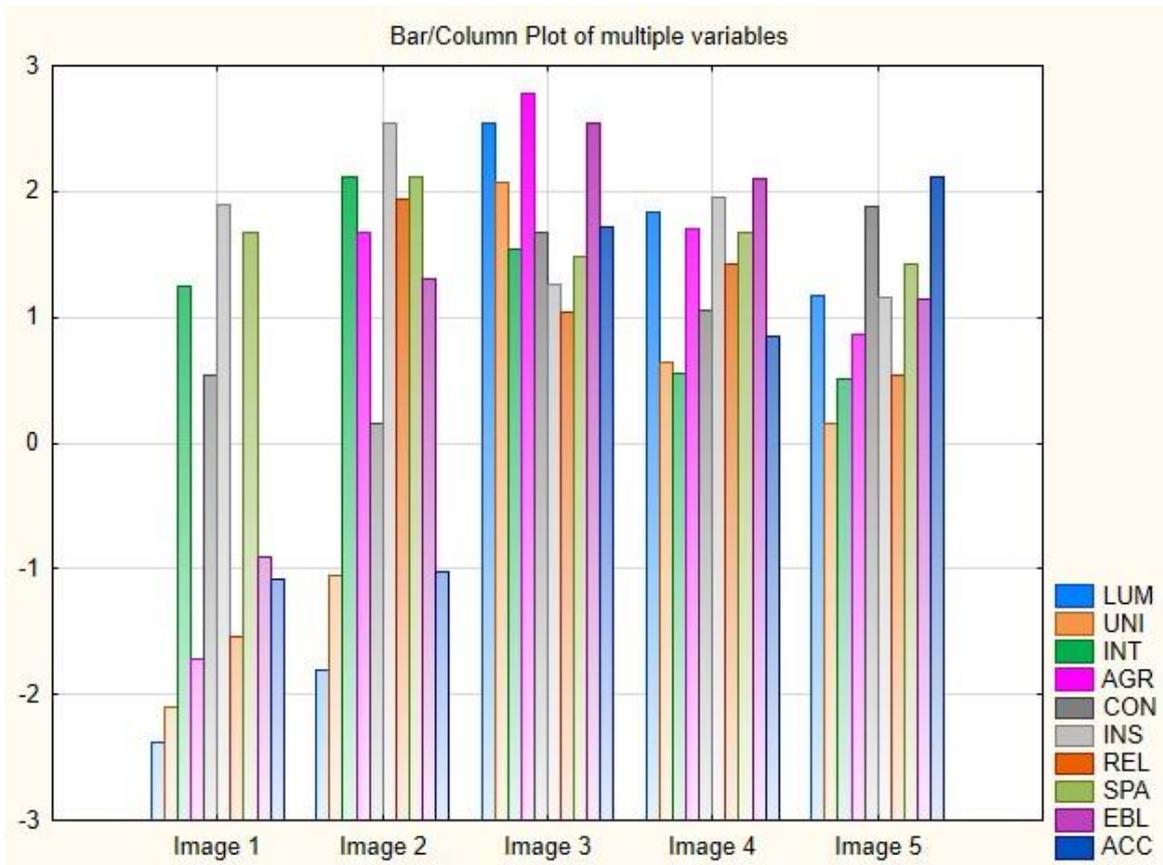


FIGURE 64. PROJECTION DES IMAGES PHOTOGRAPHIQUES ET DES DESCRIPTEURS SEMANTIQUES SUR LE PLAN FACTORIEL

Grace à la projection des images photographiques et des descripteurs sémantiques sur le plan factoriel, nous pouvons ainsi analyser la perception qu’ont les architectes interrogés des 5 images photographiques :

L’image 1 est considérée très sombre, très contrastée, non éblouissante et non inspirante. Alors que l’image 2 est considérée comme sombre, contrastée mais éblouissante et inspirant. Pour les images 3 et 4 elles sont considérées pareils : lumineuses, uniformes, éblouissantes et inspirantes. Tant disque l’image 5 est considérée quant à elle comme : lumineuse, uniforme, non éblouissante et non inspirante.

Les histogrammes de la figure 65 nous permettent d’avoir encore plus d’informations sur les différents avis des étudiants :



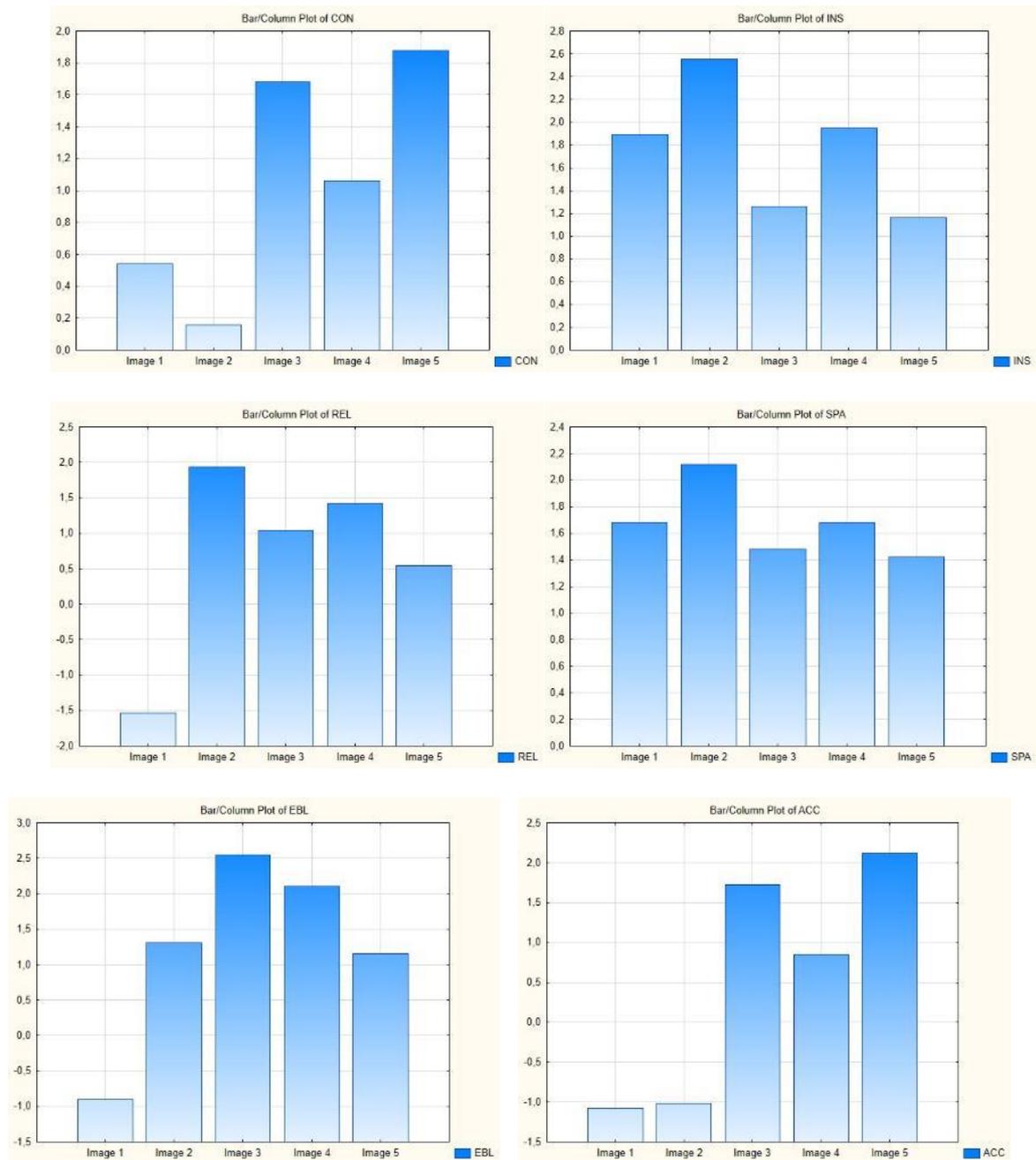


FIGURE 65. HISTOGRAMMES DES 5 IMAGES PHOTOGRAPHIQUES PAR RAPPORT AUX 10 DESCRIPTEURS SEMANTIQUES

Les descripteurs de luminosité et de contraste se corrént parfaitement : L'image 1 est considérée comme la plus sombre et la plus contrastée, suivit de l'image 2 et 5. Les images 3 et 4 sont considérées comme les plus lumineuses et les plus uniformes.

Malgré qu'elle soit considérée comme sombre et contrastée, l'image 2 est considérée comme la plus inspirante. Suivie des images 4 et 1 et presque égalité. Les images 3 et 5 sont considérées comme les moins inspirantes.

Afin d'effectuer une corrélation entre l'analyse qualitative et quantitative nous nous limiterons dans le tableau récapitulatif (Tableaux 16) sur la luminosité et le contraste afin de les corrélés avec le niveau de brillance et le contraste global de l'analyse quantitative :

	<i>Image 1</i>	<i>Image 2</i>	<i>Image 3</i>	<i>Image 4</i>	<i>Image 5</i>
<i>Luminosité</i>	Très sombre	Sombre	Très lumineuse	Lumineuse	Lumineuse
<i>Uniformité</i>	Très Contrastée	Contrasté	Très uniforme	Uniforme	Uniforme

TABLEAU 16. TABLEAU RECAPITULATIFS DES RESULTATS DE L'ANALYSE QUANTITATIVE

5.5.3.3. CORRELATION ENTRE L'ANALYSE QUANTITATIVE ET QUALITATIVE :

L'objectif de l'expérimentation est de comparer les valeurs des indicateurs de brillance et de contraste global avec les résultats de l'évaluation sémantique afin de mettre en évidence les corrélations qui existent entre la dimension subjective et perceptible de lumière. Le tableau ci-dessous (Tableau 16) récapitule les résultats obtenus pour l'analyse qualitative et quantitative.

	<i>Image 1</i>	<i>Image 2</i>	<i>Image 3</i>	<i>Image 4</i>	<i>Image 5</i>
<i>Images photographiques</i>					
Niveaux de brillance	Très sombre	Sombre	Très lumineuse	Lumineuse	Sombre
Luminosité	Très sombre	Sombre	Très lumineuse	Lumineuse	Lumineuse
Contraste global	Contrastée	Uniforme	Très uniforme	Uniforme	Uniforme
Uniformité	Très Contrastée	Contrasté	Très uniforme	Uniforme	Uniforme

TABLEAU 17. TABLEAU RECAPITULATIFS DES RESULTATS DE L'ANALYSE

QUALITATIVE ET QUANTITATIVE

Les graphes ci-dessous (Figure 66) viennent confirmer les résultats obtenus.

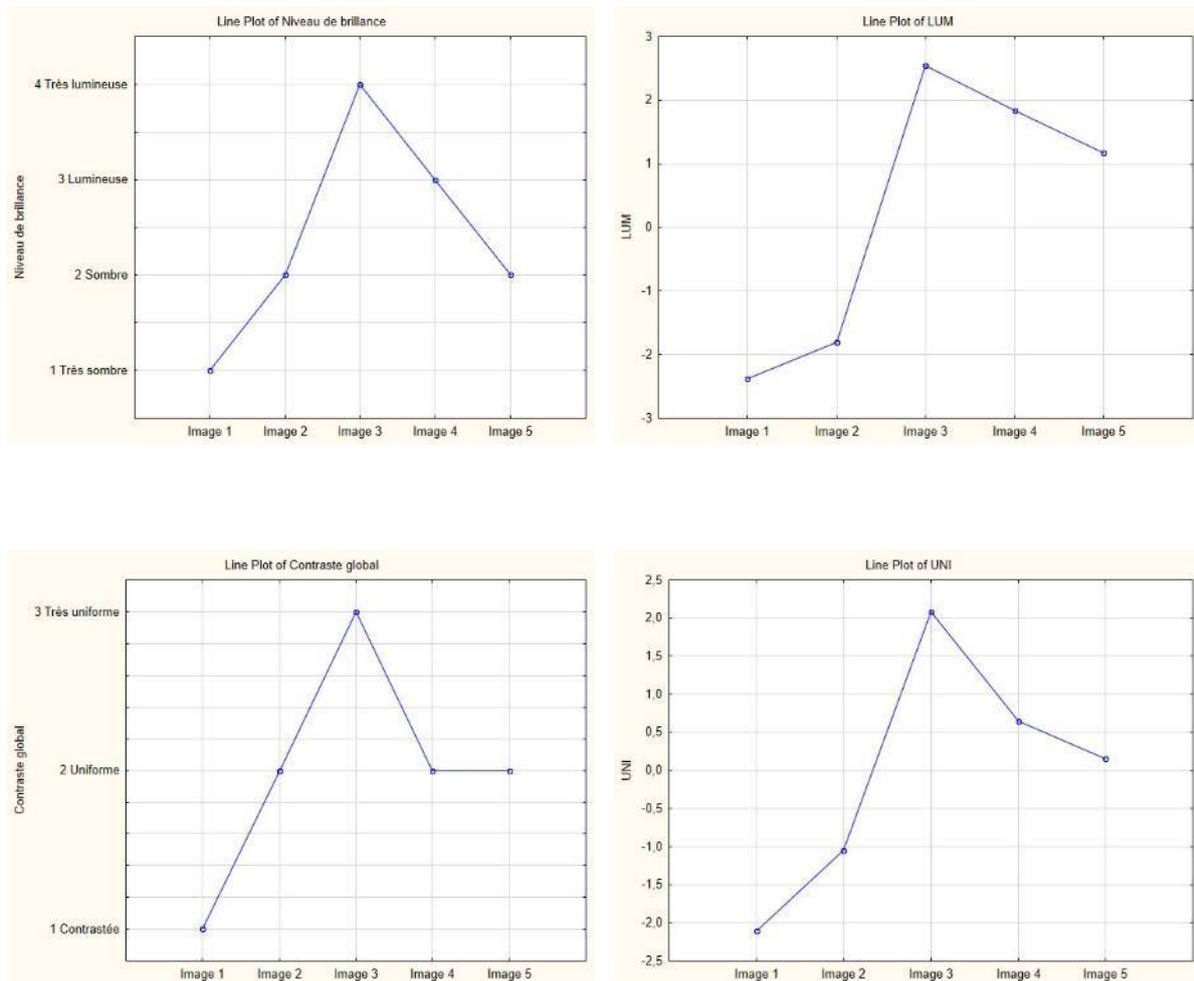


FIGURE 66. GRAPHES COMPARATIFS DES COUPLES LUMINOSITE/NIVEAUX DE BRILLANCE ET UNIFORMITE/CONTRASTE GLOBAL

5.5.4. BILAN DE L'EXPERIMENTATION

L'expérimentation a consisté, en premier lieu, à utiliser un logiciel de traitement d'images AdobePhotoshop© et un support de 5 images photographiques mettant en scène des ambiances lumineuses intérieures caractérisés par des luminosités différentes pour estimer la luminosité et le contraste globale de ces dernières. En second lieu, l'expérimentation a consisté à baser les jugements des observateurs sur des images photographiques. Pour cela, une enquête de différentiel sémantique a été menée auprès d'un panel de 100 sujets.

La corrélation entre les résultats de l'analyse des images et les jugements exprimés par les sujets ont alors montré qu'un espace est perçu d'autant plus uniforme que les contrastes entre les contrastes de luminance entre zones sombres et zones éclairées sont faibles.

Il est apparu aussi que l'impression d'uniformité était corrélée avec le niveau de luminosité de pixel moyen. Les jugements exprimés par les enquêtés ont alors montré qu'un espace était donc jugé d'autant plus uniforme que son niveau de luminosité de pixel moyen était élevé et que l'impression de non-uniformité augmente avec l'écart type des valeurs de luminosité présente dans l'image.

CONCLUSION GENERALE

Notre projet de recherche s'est intéressé à la conception architecturale par l'intention lumineuse, nous avons cherché à comprendre la perception et à l'interprétation des ambiances lumineuses que l'architecte peut se faire, à travers une image photographique. Autrement dit, notre recherche s'est portée sur l'étude de la relation entre les concepteurs/architectes, les ambiances lumineuses véhiculées par les images photographiques. Plus spécifiquement, ce projet vise à apporter une contribution à la compréhension de l'interaction entre un individu (l'architecte) et un objet (la lumière), à travers un support (image photographique), dans un contexte particulier (phase amont de la conception). Dans ce mémoire, nous avons considéré que ces quatre entités, l'architecte, la lumière, l'image photographique, la phase amont de la conception composent le phénomène de perception et d'interprétation que nous étudions.

L'utilisation de la lumière naturelle en architecture est considérée par les architectes comme un outil d'expression des idées architecturales. En effet, la lumière naturelle est l'un des principaux matériaux utilisés par les architectes pour donner vie à leurs idées. Grâce à ce matériau, le projet sort de son aspect matériel et fonctionnel, parfois limitant, en lui donnant un aspect plus sensible. Le travail avec la lumière naturelle est un moyen pour les architectes d'exprimer leurs idées et de les mettre en forme par la manière dont ils créent l'espace. La lumière révèle les intentions des architectes et les aide à les matérialiser dans leur travail.

Conclusion générale

La conception des ambiances lumineuses à l'aide des images photographiques a été la ligne directrice de notre projet de recherche. Elles permettent de maintenir une logique architecturale et d'harmoniser les différents éléments de la conception. Notre projet de recherche s'est articulé autour de l'exploration, l'analyse et le traitement de la lumière véhiculée par l'image photographique numérique afin d'en explorer le potentiel. La méthodologie employée s'appuie sur la recherche développée par Demers (Demers, 1997). Nous nous sommes intéressés aux ambiances lumineuses existantes à partir de photographies numériques mettant en scène des ambiances lumineuses. Notre projet de recherche a proposé, d'évaluer l'image photographique numérique, d'une part, comme outil d'aide à la conception des ambiances lumineuses, et d'autre part, comme outil support permettant des analyses et des traitements quantitatives et qualitatives de la lumière des espaces intérieurs.

Le but de cette recherche était d'évaluer si l'intention d'ambiance lumineuse provenant de références architecturales est bien interprétée par le concepteur. Autrement dit, nous nous sommes interrogés sur la pertinence de la référence architecturale et plus précisément sur l'image photographique comme aide à la conception lumineuse. L'expérimentation de ce travail de recherche s'est déroulée en deux étapes : La première, consiste à effectuer une analyse qualitative selon la méthode de Demers (Demers, 1997) : Les images photographiques numériques (5 images) sont analysées à partir de paramètres tels que la brillance et le contraste avec le logiciel AdobePhotoshop©. La seconde, consiste à effectuer une analyse quantitative, à partir d'un différentiel sémantique, sous forme d'un questionnaire : Les images analysées sont présentées à un ensemble de participants (architectes) en leur demandant de qualifier chacune des images selon deux échelles sémantiques.

Les résultats de ces deux expérimentations ont été traités, analysés et surtout corrélés avec le logiciel STATISTICA par une l'analyse en composantes principales (ACP), cette analyse a pour objectif est de représenter graphiquement les relations entre les variables quantitatives (descripteurs sémantiques) et de visualiser en même temps les individus (images photographiques) qui sont en relation avec ces variables. A partir de cette double visualisation, nous avons pu interpréter les résultats en fonction de sa connaissance du sujet étudié.

La corrélation entre les résultats de l'analyse des images et les jugements exprimés par les sujets ont alors montré que :

Tout d'abord, en ce qui concerne les contrastes, les résultats ont montré que des contrastes faibles entre les zones sombres et les zones éclairées dans une image conduisent à une

Conclusion générale

perception d'uniformité accrue de l'espace. Cela signifie que lorsque les différences de luminance entre les parties sombres et les parties éclairées d'une image sont minimales, l'espace est perçu comme étant plus uniforme.

En ce qui concerne la luminosité, les résultats ont montré que des niveaux de luminosité plus élevés dans l'espace sont associés à une perception d'uniformité accrue. Cela signifie que lorsque la moyenne des valeurs de luminosité des pixels dans une image est élevée, les sujets auront tendance à percevoir l'espace comme plus uniforme.

Enfin, l'étude a également révélé que l'impression de non-uniformité augmente avec l'écart type des valeurs de luminosité présentes dans l'image. Cela signifie que lorsque les valeurs de luminosité des pixels varient considérablement dans une image, les sujets auront tendance à percevoir l'espace comme moins uniforme. Par exemple, si une pièce présente des zones très éclairées et d'autres très sombres, avec peu de transitions douces entre les deux, elle sera perçue comme moins uniforme.

En résumé, les résultats de notre étude suggèrent que l'uniformité perçue d'un espace est influencée par les contrastes de luminance, le niveau de luminosité moyen et l'écart type des valeurs de luminosité. Des contrastes faibles, un niveau de luminosité élevé et une faible variation de luminosité conduisent à une perception d'uniformité accrue, tandis que des contrastes élevés, un niveau de luminosité moyen faible et une forte variation de luminosité conduisent à une perception de non-uniformité. Ces résultats ont des implications importantes dans divers domaines tels que la conception d'intérieurs, la psychologie de la perception visuelle et l'analyse d'images.

L'utilisation de l'image photographique comme outil d'aide à la conception des ambiances lumineuses ouvre de nouvelles perspectives et offre une représentation plus réaliste des conditions lumineuses. Elle facilite la communication, inspire la créativité et permet une validation plus précise des choix de conception. Pour cela nous proposons les perspectives de recherches suivantes :

Évaluation objective des variations temporelles : En analysant une séquence d'images photographiques prises à différents moments de la journée ou dans des conditions d'éclairage variables, il est possible d'évaluer objectivement les variations temporelles de l'ambiance lumineuse. Cela permet de comprendre comment la lumière évolue dans un espace donné.

Conclusion générale

Étude des effets de la composition photographique : Examiner comment les différents éléments de la composition photographique, tels que la disposition des objets, les contrastes de couleur et les jeux d'ombres et de lumières, peuvent influencer la perception des ambiances lumineuses. Cela pourrait permettre de développer des lignes directrices spécifiques pour la composition photographique dans le but de créer des ambiances lumineuses spécifiques.

Perception de l'espace en utilisant des images photographiques : Explorer comment les images photographiques peuvent être utilisées pour simuler et évaluer la perception de l'espace et des ambiances lumineuses. Cela pourrait impliquer l'utilisation de techniques de réalité virtuelle ou de visualisation avancée pour permettre aux concepteurs de visualiser et d'expérimenter différentes configurations d'éclairage avant leur mise en œuvre réelle.

Influence des caractéristiques photographiques sur la perception de l'éclairage : Examiner comment les caractéristiques spécifiques des images photographiques, telles que la profondeur de champ, le rendu des couleurs et les propriétés esthétiques, peuvent influencer la perception de l'éclairage. Cela pourrait aider à mieux comprendre comment les photographies peuvent être utilisées pour transmettre des informations précises sur les ambiances lumineuses et guider les décisions de conception.

Utilisation de l'apprentissage automatique pour l'analyse des images : Exploiter les techniques d'apprentissage automatique pour analyser de grandes collections d'images photographiques représentant différentes ambiances lumineuses. Cela pourrait permettre de découvrir des motifs, des relations et des tendances entre les caractéristiques des images et les évaluations subjectives des ambiances lumineuses, aidant ainsi à développer des modèles prédictifs pour la conception d'éclairage.

BIBLIOGRAPHIE

- ALEXANDER, Christopher.** *De la synthèse à la forme.* Paris, Editions Dunod, 1977.
- ALEXANDER, Christopher.** *Pattern language,* New York, Oxford University Press, 1997.
- AMPHOUX, Pascal.** *La notion d'ambiance, une mutation de la pensée urbaine et de la pratique architecturale.* Paris : PUCA, 1998, 167 p.
- ARNHEIM, Rudolf.** *Dynamique de la forme architecturale,* Bruxelles, Pierre Mardaga, 1986, p. 219
- ARNHEIM, Rudolf.** *Buildings as percepts,* Via 6 : architecture and visual perception, Cambridge, MIT Press, 1983, p. 12-19
- AUGOYARD, Jean-François.** A comme Ambiances. *Les Cahiers de la Recherche architecturale et urbaine,* 11020/21, mars 2007, p.33-37
- AUGOYARD, Jean-François.** *Pas à pas, essai sur le cheminement quotidien en milieu urbain.* Paris : Ed. du Seuil, 1979.
- AUGOYARD, Jean-François.** *Eléments pour une théorie des ambiances architecturales et urbaines.* Cahiers de la Recherche Architecturale (les), 1998.
- ARNAULD, Antoine et NICOLE, Pierre,** *La logique ou l'art de penser,* éd. Gallimard, 1992, p. 30
- BAENZA, Alberto Campo.** AA, n°274, 1991, p.90
- BALTANAS, J.,** *Le Corbusier, parcours,* Marseille, parenthèses, 2005
- BERGOUNIOUX, Maïtine.** Quelques méthodes de filtrage en Traitement d'Image. Université d'Orléans, 2008.
- BIGNON, J.-C.; HALIN, G.; NAKAPAN, W.,** *Building project search by images.* 5th Design and Decision Systems Conference in architecture and urban planning, Nijkerek, Pays-Bas, août 2000.
- BIRON, Karole.** *Dynamique Forme/Lumière (Exploration du processus de création de l'espace architectural par modèles maquettes/images).* Mémoire de maîtrise en sciences de l'architecture, Faculté des études supérieures de l'Université Laval, 2008
- BOUDON, Philippe.** *Sur l'espace architectural,* Paris, Dunod, 1971.
- BOUDON, Philippe et DESHAYES, Philippe.** *Introduction à la complexité de la conception architecturale : Stanislas Fiszer.* Nancy, Rapport de recherche BRA/Plan construction, 1992.
- BOUDON, Philippe ; DESHAYES, Philippe ; POUSIN, Frederic ET SCHATZ, Françoise.** *Enseigner la conception architecturale,* Paris, La Villette, 1994.
- BOUDON, Philippe.** *Réflexions sur l'idée de « sciences de la conception » chez H.Simon.* In : Les sciences de la conception sont-elles énonçables et enseignables ?, 1997.

Bibliographie

CHAABOUNI, Salma. *Référence par l'image pour assister la conception d'ambiances intérieures en éclairage naturel : Construction d'un thésaurus applicable au domaine des ambiances lumineuses.* École Nationale Supérieure d'Architecture de Strasbourg, 2006, p.28

CORBUSIER, Le. *Vers une architecture.* Editions Flammarion. ISBN 2081217449, 1923.

CORBUSIER, Le. *Précisions sur un état présent de l'architecture et de l'urbanisme,* 1930.

CIRIANI H. "Lumière de l'espace", *Architecture d'Aujourd'hui*, no. 274, 1991.

CRUNELLE, Marc. *L'architecture et nos sens,* Bruxelles, ULB, 1996.

DE HERDE A ET REITER S. *Eclairage naturel des bâtiments.* Ed presses universitaires de Louvain, Louvain la neuve, Belgique, 2002

DEMERS, Claude M.H., *L'influence du design des ouvertures sur le contraste d'intensité dans les espaces intérieurs éclairés naturellement,* Thèse de Maîtrise, École d'architecture, Faculté d'architecture, Université Laval, Québec, 1993.

DEMERS, Claude M.H.; HAWKES, D.U., *Images of light: an approach to space generation from light,* Solar Energy in Architecture and Urban Planning, 4th European Conference, 26-29 March, Berlin, Germany, 1996.

DEMERS, Claude M.H., *Etude préparatoire au plan lumière de la capitale nationale du Québec,* DEMERS POTVININC. Ambiances physiques, 1997b.

DEMERS, Claude M.H., *The Sanctuary of art, images in the assessment and design of light in architecture,* Thèse de doctorat en architecture, Emmanuel College, département d'architecture, Université de Cambridge, Angleterre, 1997.

DEMERS, Claude & POTVIN, A. *LUMcalcul2.01 : prédiction de la lumière naturelle pour la conception architecturale.* In: Proceedings of eSIM2004, Vancouver. 2004

DEMERS, Claude M.H., (draft to be published, 2006), *Luminous ambiances in architecture : a classification based on digital image contrast and brightness,* Acte de colloque de la AIDI International Conférence, Associazione Italiana di Illuminazione, CIE (Commission Internationale de l'Éclairage), Venise, Italie, 9 au 10 octobre 2006.

DEMERS, Claude M.H. *Assessing light in architecture: a numerical procedure for a qualitative and quantitative analysis,* Proceedings of International Lighting Conference, AIDI, CIE, Venise, October 2006, p.6

DUBOIS, Marie-Claude. *Confort et diversité des ambiances Lumineuses en architecture, l'influence de l'éclairage naturel sur les occupants.* Mémoire de master. Faculté d'aménagement, d'architecture et des arts visuels. Université de Laval, Québec, 2006.

DROZD, Céline. *Représentations langagières et iconographiques des ambiances architecturales : de l'intention d'ambiance à la perception sensible des usagers.* Architecture, space management. Ecole Centrale de Nantes, 2011.

FAUCHER, D. et NIVET, M.-L. *Playing with design intents: Integrating physical and urban constraints in cad.* In ACADIA 98 proceedings: Do Computers Make a Difference in Design Studio?, 1998, p.118–137

Bibliographie

GALLAS, M-A. *De l'intention à la solution architecturale proposition d'une méthode d'assistance à la prise en compte de lumière naturelle durant les phases amont de conception.* Thèse de doctorat. Université de Lorraine, 2013.

GANDON, Fabien ; BARRY, Catherine et LOISEL, Regine. *Structuration hypertextuelles des connaissances liées aux traces d'un projet architectural.* IC'99 (Ingénierie des connaissances), Palaiseau, actes, 14-18 juin, 1999, p.73

GILLES, Halin. *Modèles et outils pour l'assistance à la conception. Application à la conception architecturale.* Ecole d'Architecture de Nancy, 2004.

GOSSELIN, M. ; LOISEL, R. ; ET GREBOVAL-BARRY, R., « *Un objet médiateur en conception architecturale : le cahier créatif* ». Les Objets en Conception, EUROPIA, Paris, 1998, p. 33-43

GUALANDI, Matthieu. *Le pouvoir des images à travers l'évolution des modes de représentation graphique en architecture.* Mémoire de fin d'études. Liège : Institut Supérieur d'Architecture Saint-Luc de Wallonie, 185 p, 2009.

GUIDES, Les « BIO-TECH ». *L'éclairage naturel.* Michel Le Sommer (Le Sommer Environnement) et Christine Lecerf (AILTER), 2014.

HALIN, Gilles. *Modèles et outils pour l'assistance à la conception. Application à la conception architecturale.* Ecole d'Architecture de Nancy, 2004.

KACHER, S., *Proposition d'une méthode de référencement par l'image pour assister la conception architecturale : Application à la recherche d'ouvrages,* Thèse de doctorat, Institut National polytechnique de Lorraine, Nancy, 2005, p.19

KAHN, Louis I. *Silence et lumière.* Linteau. ISBN 2910342042, 2006.

KOULOURIS, Véronique. *Ombre et lumière dans la ville : le potentiel de l'image numérique pour l'exploration et l'analyse des ambiances lumineuses nocturnes.* Faculté d'aménagement, d'architecture et des arts visuels École d'architecture Université Laval, 2001.

LAPIERRE, Eric. *Architecture du réel, architecture contemporaine en France.* Paris : Le Moniteur, 2003, p.29

LASSANCE G., *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-Luminy8, 1995.

LIUEFORS, Anders. *Lighting Quality: possibilities and barriers,* Royal Institute of Technology, Stockholm, School of architecture, Lighting department, 1999.

MANDEL D. R. *Methodological approaches to environmental psychology.* Environmental Psychology, 1978, p. 373-403

MASSAUX, Aurélie. *La perception visuelle : ou l'art de voir,* 2006

MENACHEM, R. *Le différenciateur sémantique,* In L'année psychologique. Vol. 68, n°2, 1968, p.451

MERLEAU-PONTY, M. *Phénoménologie de la perception.* Gallimard. 2003

Bibliographie

MILLET, M. S. *Light revealing architecture*. John Wiley and Sons, 1996

NAKAPAN, W. *Recherche d'informations par l'image. Application à la recherche interactive de produit du bâtiment*. Doctorat, Institut National de Polyethnique de Lorraine, Nancy, 2003, 240 pages.

OUARD, Thomas. *Concevoir une ambiance en architecture ?*. Augoyard, Jean-François. 1st International Congress on Ambiances, Grenoble 2008, Sep 2008, Grenoble, France. A La Croisée, Ambiances, ambiance, 2011, p.450-454

PERONNE, Guillaume. *Machines à voir : architecture et photographie* [en ligne]. Galerie photo, mis en ligne en 2008, <http://www.galerie-photo.com/memoire-photo-architecture-gp.pdf>, consulté le 8 novembre 2013, p. 09

PEYRE, Gabriel. *Le traitement numérique des images*, CNRS et CEREMADE, Université Paris-Dauphine, 2012

PLUMMER, H. *Architectes de la lumière*, Hazan, 2009.

PROST, R. *Conception architecturale : une investigation méthodologique*. Paris, France, L'Harmattan, 1992, p.31

PURINI, Franco. AA, n°274, 1991, p. 114

REITER, Sigrid et DE HERDE, André. *L'éclairage naturel des bâtiments*. Louvain-la-Neuve Belgique : Presses universitaires de Louvain, 2004

SASSE, Jörg . *Photographe* .Ancien élève de Berndt et Hilla Becher.

SIMON, H. A. *Sciences des systèmes, Sciences de l'artificiel*. Paris, Dunod, 1990.

SIRET, Daniel. *Propositions pour une approche déclarative des ambiances dans le projet architectural: application à l'ensoleillement*. Thèse de doctorat. Université de Nantes-ISITEM-École d'Architecture de Nantes. Nantes, France, 1997.

SIZA, Alvaro. *Architecte, extrait du DVD Architectures, vol. 1. Collection Architecture - Éd. Arte Vidéo, 2001.*

Subjective Contours. Gaetano Kanizsa in *Scientific American*, Vol. 234, No. 4, pages 48-52; April 1976.

TOURRE, V. *Simulation inverse de l'éclairage naturel pour le projet architectural*. École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes, 2007.

VALÉRY, Paul. Alazard and Hebert, 1961

L'ARCHITECTURE DE VITRUVÉ. Tome 1 (Éd.1847) (Arts) (French Edition) Paperback – February 28, 2018

VITRUVÉ. *De l'architecture, livre I. De l'architecture ; Qualités de l'architecte*. C.L.F. Panckoucke, Trad. par M.Ch.-L. Maufra, Paris , 1847.

VAN DROOGENBROECK, Marc. Septembre 2007 (version 4.80). *Traitement numérique des images*. Institut MONTEFIORE. Service de Télécommunications et d'Imagerie, 2007.

Bibliographie

ZUMTHOR, Peter. *Penser l'architecture*, Birkhauser, Bâle, 2006.

ZUMTHOR, Peter. *Penser l'architecture*. Springer. ISBN 9783764384531, 2008.

ZUMTHOR, Peter. *Atmosphères. Environnements architecturaux – Ce qui m'entoure*, Basel, Boston, Berlin, Birkhäuser, 2008, p. 17-33.

Sites internet :

ARCHITECTURE ET CLIMAT, 2012. Site Energie+. In : [en ligne]. juillet 2012. [Consulté en octobre 2012]. Disponible à l'adresse : <http://www.energieplus-lesite.be/>.

ART HISTOIRE KIMTIAM, 2011. Site blogspot. In : [en ligne]. mai 2011. [Consulté en octobre 2012]. Disponible à l'adresse : <http://arthistoirekimtiam.blogspot.fr/>.

COMMENT CA MARCHE, 2013. Site cnrs. In: [en ligne]. Juin 2013. [Consulté en avril 2013]. Disponible à l'adresse : <http://commentcamarche.net/Traitement-d'images.html/>

CNRS, 2012. Site cnrs. In: [en ligne]. janvier 2012. [Consulté en mars 2012]. Disponible à l'adresse : <http://images.math.cnrs.fr/Le-traitement-numerique-des-images.html>

ERCO, 2012. Site erco. In : [en ligne]. 20/02/2012. [Consulté en mai 2013]. Disponible à l'adresse : <http://www.erco.com/>

Image 1. <https://www.archi-guide.com/VL/Fra/vichy.htm> [Consulté en octobre 2012].

Image 2. <https://www.archdaily.com/209596/bishan-public-library-look-architects/5005b57828ba0d077900150a-bishan-public-library-look-architects-photo> [Consulté en mars 2012].

Image 3. <https://architectureau.com/articles/skylight-house-1/> [Consulté en mars 2012].

Image 4. <https://www.designrulz.com/design/2014/05/modern-penthouse-displaying-artistic-flare-new-york-city-duane-street/> [Consulté en mars 2012].

Image 5. https://www.archdaily.cl/cl/904856/biblioteca-publica-de-bishan-look-architects/5005b58c28ba0d0779001510-bishan-public-library-look-architects-photo?next_project=no [Consulté en mars 2012].

LIGHT CURIOSITE, 2011. Site wordpress. In : [en ligne]. 10/03/2011. [Consulté en mars 2012]. Disponible à l'adresse : <https://lightcuriosite.wordpress.com/tag/architecture/>

METEO CENTRE, 2010. Site meteocentre. In: [en ligne]. Mai 2010. [Consulté en juin 2012]. Disponible à l'adresse : <https://meteocentre.com/>

PERCEPTION DE L'IMAGE, 2010. Site crayons. In: [en ligne]. Mai 2010. [Consulté en juin 2012]. Disponible à l'adresse : <http://www.crayons.be/>

PHOTOMATIX, 2013. Site cnrs. In: [en ligne]. Juin 2013. [Consulté en avril 2013]. Disponible à l'adresse : <http://actvra.in/4rKG/>

VIINZ, 2012. Site viinz. In : [en ligne]. décembre 2012. [Consulté en octobre 2012]. Disponible à l'adresse : <http://www.viinz.com/voyages/rome-le-coup-au-coeur-du-pantheon-et-de-la-piazza-navona/>