



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences et de la technologie
Architecture

MÉMOIRE DE MASTER

Architecture
ARCHITECTURE ET ENVIRONNEMENT
Réf. :

Présenté et soutenu par :
Aliouèche Asma

Le : mardi 26 juin 2018

Le Thème : Etude de l'impact du moucharabieh sur les ambiances lumineuses des espaces architecturaux : cas de la ville de JIJEL

Le projet : Musée

Jury

M. Mahaya Chafik	1ier membre du jury	Maître Assistant (A)	Université de Biskra	Président
Dr. Berkouk Djihad	2e membre du jury	Maître Assistant (B)	Université de Biskra	Rapporteur
Pr. Zemmouri Nouredine	3e membre du jury	Professeur	Université de Biskra	Examineur
Mme.Meliouh Fouzia	4e member du jury	Maître Assistant (A)	Université de Biskra	Examineur
Mme. Madhoui Meriem	5e membre du jury	Maître Assistant (A)	Université de Biskra	Examineur

| *Dédicace*

Je dédie ce modeste travail
À mes parents, pour les sacrifices qu'ils
ont consentis à mon égard,
À mon frère et ma sœur
À mon amie Soumia
À mes nouvelles amies Asma et Hafida que
j'ai le plaisir de les rencontrer pendant cette aventure

| *Remerciements*

À Mr. Berkouk Djihad pour
m'avoir suivi durant toute l'année et
m'avoir orienté pour le développement
de ce sujet.

À Mr. Rezig Djemoui pour son aide
durant toute l'année

À Mr. Debbache Azziz mon premier enseignant
dans le département d'architecture à l'université de Jijel

Aux membres de jury

| **Résumé**

La lumière naturelle est toujours recherchée à l'intérieur du bâtiment, par ses bienfaits et ses avantages elle est indispensable au sein de nos espaces de vie. La lumière naturelle présente une grande influence sur la qualité architecturale des espaces intérieurs, elle apporte une dynamique et révèle une esthétique. Par sa variabilité, elle présente un éclairage d'ambiance par excellence, les différentes ambiances lumineuses créées durant la journée et les saisons changent la lecture des espaces et provoquent des sensations qui permettent la qualification des espaces. Les exigences de la lumière dans le domaine d'architecture sont généralement limitées à la demande fonctionnelle relative à la quantité de lumière nécessaire pour éclairer un espace, en négligeant la qualité et les effets esthétiques de la lumière sur les espaces architecturaux.

Dans le cadre de ce travail, notre objectif est de découvrir le potentiel de la lumière naturelle et du moucharabieh dans la création des ambiances lumineuses à l'intérieur des espaces architecturaux. Nous proposons d'étudier l'interaction de la lumière naturelle avec le dispositif du moucharabieh à travers un modèle réduit (maquette) d'une salle d'exposition équipé d'un module de moucharabieh au niveau des ouvertures. Ce module de moucharabieh est combiné d'un diaphragme à IRIS afin de contrôler la quantité de lumière. L'impact de trois facteurs est étudié : la position d'ouverture, le nombre d'ouvertures IRIS par module de moucharabieh et le pourcentage d'ouverture IRIS. Plusieurs combinaisons sont réalisées entre ces trois facteurs afin de mieux étudier leurs impacts. La maquette est exposée à la lumière naturelle à travers un parcours lumineux, où la maquette se déplace suivent ce parcours sous le ciel réel pour obtenir un maximum d'ambiance lumineuse créée à l'intérieur de la maquette. Les différentes ambiances lumineuses obtenues sont enregistrées sous forme d'images numériques puis traitées en noir et blanc et classées comme ambiance claire, moyenne ou sombre on comparant leurs histogrammes à un histogramme modèle de classement. Les résultats sont présentés sous forme des graphes afin de comparer entre les différentes combinaisons et choisir la meilleure combinaison qui présente des ambiances lumineuses claires.

A travers notre travail, nous avons découvrir la richesse des ambiances lumineuses créées par un module moucharabieh et la capacité de ses petites ouvertures de créer des ambiances lumineuses claires à l'intérieur de l'espace et un jeu de lumière et d'ombre particulier. Enfin, cette méthode nous permis d'avoir une idée préconçue sur le type d'ambiance lumineuse crée par un outil de moucharabieh.

Mots clés : Ambiances lumineuses, éclairage naturelle, moucharabieh, création d'ambiance, valeur esthétique.

| *Abstract*

Natural light is always searched inside the building, by its benefits and advantages it is essential in our living spaces. Natural light has a great influence on the architectural quality of interior spaces; it brings a dynamic and reveals an aesthetic. By its variability, it presents an ambient lighting, the different luminous ambiances created during the day and the seasons change the reading of the spaces and provoke sensations that allow the qualification of the spaces. The requirements of light in the architectural field are generally limited to the functional demand for the amount of light needed to illuminate a space, neglecting the quality and aesthetic effects of light on architectural spaces.

In this research, our goal is to discover the potential of natural light and moucharabieh in the creation of luminous ambiances in architectural spaces. We propose to study the interaction of natural light with the moucharabieh module through a reduced model of an exhibition space with a moucharabieh module at the openings. This moucharabieh module is combined with an iris diaphragm to control the quantity of light. The impact of three factors is studied: the opening position, the number of IRIS openings per moucharabieh module and the IRIS opening percentage. Many combinations are made between these three factors to better study their impacts. The model is exposed to natural light through a light path, where the model moves along this path under the real sky to get a maximum of luminous ambiances created inside the model. The different luminous ambiances are saved as digital images then treated as black and white images and classified as a clear, medium or dark ambiance by comparing their histograms to a model histogram. The results are presented in graph, in order to compare the different combinations and to choose the best one that presents clear luminous ambiances.

Through our work, we discover the richness of the luminous ambiances created by a moucharabieh module and the ability of its small openings to create clear luminous ambiances inside the space and a particular effect of light and shadow. Finally, this method allowed us to have a preconceived idea about the type of luminous ambiances created by a moucharabieh module.

Keys words: Luminous ambiances, natural lighting, moucharabieh, ambiance creation, aesthetic value.

| *Sommaire*

Dédicace.....	1
Remerciements.....	1
Résumé.....	2
Abstract.....	3
Sommaire.....	4
Liste des figures.....	7
Liste des tableaux.....	13

Introduction générale

Introduction.....	16
Etat de l'art.....	17
Raisons du choix du thème de la recherche :.....	24
Problématique et questionnements.....	24
Hypothèses.....	25
Objectifs du travail.....	25
Méthodologie de la recherche.....	25
Structure du mémoire.....	26

Chapitre I : Lumière naturelle et architecture

Introduction :.....	28
1. Aperçue historique sur l'architecture et la lumière :.....	29
2. Découvrir la lumière naturelle.....	33
2.1. Définir la lumière naturelle.....	33
2.2. Le rayonnement et le spectre solaire.....	33
2.3. Les sources de la lumière naturelle.....	34
2.4. La propagation de la lumière :.....	34
2.5. La photométrie :.....	37
2.6. L'instabilité de la lumière naturelle :.....	38
2.7. Définir la position du soleil.....	39
3. L'éclairage naturel d'un bâtiment.....	39
3.1. Les stratégies de l'éclairage naturel.....	39
3.2. Les différents facteurs influençant l'éclairage naturel d'un bâtiment :.....	42

3.3. Les dispositifs d'éclairage naturel	45
3.4. L'éclairage naturel des espaces d'expositions :.....	50
Conclusion	51

Chapitre II : Ambiances lumineuses dans l'espace architectural

Introduction.....	53
1. La notion d'ambiance en architecture	54
2. La création d'ambiance en architecture	54
3. L'ambiance lumineuse	55
3.1. Définition de l'ambiance lumineuse.....	55
3.2. L'interaction entre la lumière naturelle et un espace : Les effets de la lumière .	56
3.3. L'interaction entre la lumière naturelle et un usage: quantité et qualité de lumière	57
3.4. La qualification des ambiances lumineuses :	58
3.5. La dimension sensorielle et esthétique dans la conception d'une ambiance lumineuse :	59
3.6. Les éléments influençant une ambiance lumineuse :.....	62
Conclusion :	62

Chapitre III : Cas d'étude et méthodologie de la recherche

Introduction.....	64
1. Cas d'étude.....	65
1.1. Analyse du terrain.....	65
1.2. Analyse du musée	76
1.3. Analyse des exemples.....	81
2. Méthodologie de la recherche	102
2.1. Moucharabieh comme dispositif de création d'ambiances lumineuses.....	102
2.2. Mécanisme IRIS	104
2.3. Le modèle réduit (maquette).....	107
2.4. L'histogramme et l'image numérique	108
2.5. Modèle expérimental :	113
Conclusion	123

Chapitre IV : Résultats et interprétations

Introduction :.....	125
1. Étude de l'impact du nombre d'ouverture IRIS par module de moucharabieh :.....	125

1.1. Lecture des résultats.....	126
1.2. Interprétation des résultats.....	128
2. Étude de l'impact du pourcentage d'ouverture IRIS sur l'ambiance lumineuse de l'espace architectural:	129
2.1. Lecture des résultats.....	129
2.2. Interprétation des résultats.....	132
3. Etude de l'impact de la position d'ouverture sur l'ambiance de l'espace:	132
3.1. Lecture et interprétation des résultats	132
4. Synthèse	134
Conclusion	135

Chapitre V : L'application du projet

Introduction.....	137
1. Les éléments de passage	137
1.1. Synthèse de l'analyse de terrain	137
1.2. Synthèse de l'analyse du musée et des exemples	138
1.3. Synthèse de l'expérimentation.....	139
2. L'application du projet.....	140
2.1. L'idée de base.....	140
2.2. Le développement du volume.....	142
2.3. Présentation du projet	149
Conclusion	153

Conclusion générale

Conclusion générale.....	156
Bibliographie.....	158
Annexes	

Liste des figures

Figure 1: Exemples d'images traitées	18
Figure 2: Exemples d'images photographiques	18
Figure 3: Interprétation de cinq espaces-maquettes.....	18
Figure 4: Représentation graphique d'une analyse des directions et zones d'un espace maquette.....	18
Figure 5: Modifications de l'effet d'encadrement lumineux des objets, par modification de l'angle d'éclairage.....	19
Figure 6: L'éclairage des couloirs de la basilique Saint-Vital de Ravenne en Italie.....	29
Figure 7: Les vitraux colorés de la cathédrale Notre-Dame de Chartres, Paris, France.....	30
Figure 8: Palais Rucellai, Florence, Italie.....	30
Figure 9: L'usine Fagus en Allemag.....	31
Figure 10: Le musée Guggenheim de New York, vue de l'extérieur.....	31
Figure 11: Le musée Guggenheim de New York, vue de l'intérieur sur le dôme en verre.....	31
Figure 12: La cité radieuse de Marseille.....	32
Figure 13: BrynMawrcollege à Berlin.	32
Figure 14: l'église de Rochester aux Etats Unies.....	32
Figure 15: Composition du spectre solaire.....	33
Figure 16: Les différents types de la réflexion.....	34
Figure 17: Le phénomène de réfraction de la lumière.....	35
Figure 18: Le phénomène de diffraction.....	35
Figure 19: La diffusion de la lumière.....	36
Figure 20: La dispersion de la lumière blanche.....	36
Figure 21: Les grandeurs photométriques.....	37
Figure 22: La course solaire durant les saisons de l'année.....	38
Figure 23: Définition de la position du soleil.....	39
Figure 24: L'impact des masques sur le captage de la lumière naturelle.....	40
Figure 25: La pénétration de la lumière par ouverture horizontale et verticale.....	40
Figure 26: Différents dispositifs pour améliorer la répartition de l'éclairage à l'intérieur du bâtiment.....	41
Figure 27: Protections solaires selon l'orientation.....	41
Figure 28: les caractères des deux locaux utilisés dans l'étude de d'impact de la forme et les dimensions du bâtiment sur l'éclairage naturel.....	43
Figure 29: Résultats de l'étude de l'impact de la forme et des dimensions du bâtiment sur l'éclairage naturel.....	43
Figure 30: L'impact de la clarté de parois intérieures sur l'éclairage.....	44
Figure 31: L'impact de la clarté du plafond sur l'éclairage.....	44
Figure 32: L'impact de la brillance du sol sur l'éclairage.....	44
Figure 33: Résultats de la simulation du groupe ICEB, comparaison de la répartition des facteurs de lumière du jour pour trois cas de position de fenêtre.....	45
Figure 34: Calcul de l'indice d'ouverture.....	46
Figure 35: Zone d'influence d'une ouverture.....	46
Figure 36: les deux types d'embrasure.....	47
Figure 37: l'impact de la menuiserie sur l'éclairage.....	47
Figure 38: l'impact de la retombée du linteau sur l'éclairage.....	47
Figure 39: Comportement des verrières horizontales.....	48
Figure 40: Verrière incliné selon l'orientation.	48
Figure 41: Sheds verticaux.....	48
Figure 42: Le principe d'atrium.	49
Figure 43: Exemple de puits de lumière, maison Kunz, Genève.....	49
Figure 44: L'éclairage des espaces intérieurs par un conduit à lumière.....	49
Figure 45: Le principe des conduits à lumière.....	49

Figure 46: Eclairage d'espace d'exposition en shed, musée d'Art Contemporain, Vitry-sur-Seine, France.....	50
Figure 47: verrière du british museum,Londres.....	50
Figure 48: Vue de l'extérieur du Musée de Grenoble, éclairage d'espaces d'exposition par de grands lanterneaux.	51
Figure 49: Espace d'exposition éclairé par des lanterneaux, Musée de Grenoble.....	51
Figure 50: Ambiance lumineuse vécue.....	55
Figure 51: Filtrage de la lumière.....	56
Figure 52: Le cadrage de la lumière.....	57
Figure 53: La découpe de la lumière.....	57
Figure 54: La pénombre en architecture.....	58
Figure 55: Ambiance luminescente.....	58
Figure 56: Ambiance inondée.....	59
Figure 57: (A) Vue de l'extérieur de la chapelle, (B) L'ouverture zénithale de la chapelle, (C) Le regard est attiré vers le puits de lumière.....	60
Figure 58: Les canons de lumière à l'intérieur de l'église.....	60
Figure 59: Un jeu de lumière dans un couloir de circulation.....	61
Figure 60: Une ligne de lumière sur le mur intérieur dirige le regard vers le fond.....	61
Figure 61: la lumière venant du haut dans l'escalier principale du musée.....	61
Figure 62: La structure apparente au niveau de l'escalier principal du musée.....	61
Figure 63: Situation de la ville de Jijel.....	65
Figure 64: la carte de classification des climats dans le monde (carte de Köppen-Geiger).....	65
Figure 65: Carte du relief de la ville de Jijel.....	66
Figure 66: Graphe des températures moyennes mensuelles de l'année 2017.....	66
Figure 67: L'humidité relative moyenne (%) de l'année 2017.....	67
Figure 68: Quantité des précipitations (mm) dans l'année 2017.....	67
Figure 69: La vitesse du vent (Km/h) mesurée pour l'année 2017.....	68
Figure 70: Application de la méthode de Givoni.....	69
Figure 71: Situation du POS entrée Est de Jijel.....	70
Figure 72: Limites du terrain.	70
Figure 73: Accessibilité du terrain.....	70
Figure 74: Photo du terrain.....	71
Figure 75: (A) Plan topographique du terrain, (B) Coupe A-A, (C) Coupe B-B.....	71
Figure 76: 3D du terrain présente la pente du terrain.....	72
Figure 77: Trajectoire du soleil au solstice d'hiver.....	72
Figure 78: Trajectoire du soleil à l'équinoxe de printemps et d'automne.....	73
Figure 79: Trajectoire du soleil au solstice d'été.....	73
Figure 80: Carte de la direction des vents dominants.....	74
Figure 81: L'exposition du terrain aux rayons solaires.....	74
Figure 82: Schéma de synthèse de l'analyse du micro climat du terrain.....	75
Figure 83: National Gallery of Art à Washington D.C.....	76
Figure 84: Musée historique, Haguenau.....	76
Figure 85: Muséum d'Histoire Naturelle de la Rochelle.....	76
Figure 86: Musée allemand des Techniques de Berlin.....	76
Figure 87: La spirale du musée Guggenheim.....	78
Figure 88: Parcours linéaire, musée de Grenoble.....	78
Figure 89: le musée d'arts contemporain « LE MOCA » à Los Angeles.....	78
Figure 90: L'atrium du musée à Atlanta.....	79

Figure 91: Musée à Francfort, musée extraverti.....	79
Figure 92: Diagramme fonctionnel d'un musée.....	80
Figure 93: Vue e l'île de Saadiyat.....	81
Figure 94: Vue aérienne du musée.....	81
Figure 95 : Les bâtiments blancs du musée.....	81
Figure 96: La coupole s'étale sur les bâtiments.....	81
Figure 97: Maquette du Louvre Abu Dhabi.....	82
Figure 98: La position des 4 piliers.....	82
Figure 99: Les différentes couches de la coupole.....	82
Figure 100: Schéma du module de base.....	83
Figure 101: Détail de la coupole.....	83
Figure 102: L'espace de circulation entre les bâtiments sous l'ombre de la coupole.....	84
Figure 103: Bâtiments de couleur blanche.....	84
Figure 104: Façade sud du musée.	84
Figure 105: Coupe sur le musée.....	84
Figure 106: Vue du côté nord-ouest.....	84
Figure 107: Les perforations de la coupole.	85
Figure 108: La pénétration de la lumière.	85
Figure 109: Ouverture zénithale dans une salle d'exposition.....	85
Figure 110: Plan de masse du projet.....	86
Figure 111: L'entrée principale du musée en face du jardin.....	86
Figure 112: Schéma de conception du musée.....	87
Figure 113: Volume du projet.	87
Figure 114: Plan du RDC.....	88
Figure 115: Plan du premier étage.....	88
Figure 116: Circulation autour du patio.	88
Figure 117: Salle d'exposition.....	88
Figure 118: la pénétration des rayons solaires à l'intérieur du patio.....	89
Figure 119: Entrée du projet sous l'ombre de l'auvent.....	89
Figure 120: Lumière naturelle filtrée par les puits en hexagone.....	89
Figure 121: Gravures de moucharabieh imprimées sur les murs intérieurs.....	89
Figure 122: Plan de masse et plan de situation.....	90
Figure 123: Croquis du projet.	90
Figure 124: Vue d'extérieur du projet.....	91
Figure 125: Analyse du volume.	91
Figure 126: Les matériaux.....	92
Figure 127: Analyse du plan RDC.....	92
Figure 128: Plan du premier étage.....	93
Figure 129: Façade principale.....	93
Figure 130: Façade arrière (Nord-ouest).....	94
Figure 131: Les différentes stratégies d'éclairage naturel.....	94
Figure 132: Situation d musée KOTAMA.....	95
Figure 133: Différentes vues du musée KOTAMA.....	96
Figure 134: Façade de l'extension à côté de l'ancienne bâtisse.....	96
Figure 135: Volume de l'ancienne bâtisse.	96
Figure 136: La façade principale de l'extension.....	96
Figure 137: Plan du RDC.....	97

Figure 138: Le patio de l'ancienne bâtisse.....	98
Figure 139: Plan du premier étage.....	98
Figure 140: Circulation au premier étage autour du patio (ancienne bâtisse).	99
Figure 141: Circulation au premier étage autour du vide (l'extension).....	99
Figure 142: Façade sud-ouest.....	99
Figure 143: Façade sud-ouest et sud-est.....	99
Figure 144: Dégradation de la peinture à cause d'une mauvaise aération des espaces.....	100
Figure 145: Éblouissement au niveau d'une salle d'exposition.	101
Figure 146: Éclairage artificiel insuffisant.....	101
Figure 147: Le programme du musée tiré de l'analyse des exemples.	101
Figure 148: Exemple de moucharabieh traditionnel en bois.....	102
Figure 149: Lumière tamisée par moucharabieh.....	103
Figure 150: les composants de l'œil.	104
Figure 151: Différents types de diaphragmes simples.....	104
Figure 152: l'ouverture et la fermeture d'un diaphragme à IRIS.....	105
Figure 153: Différents types de diaphragme à IRIS selon le nombre des lames.	105
Figure 154: Les différentes pièces du diaphragme à IRIS.	106
Figure 155: Exemple d'un diaphragme à IRIS, à droite ouvert, à gauche fermé.....	106
Figure 156: Le principe de fonctionnement de la photographie numérique.....	108
Figure 157: Image simplifiée d'une matrice, principe de l'image numérique.....	109
Figure 158: Le pixel.....	110
Figure 159: La résolution d'une image.....	110
Figure 160: Distribution des 256 valeurs du niveau d'intensité lumineuse.	111
Figure 161: (A) Image 1, (B) Histogramme RGB de l'image 1, (C) Histogramme de luminosité de l'image 1.....	112
Figure 162: Histogramme de luminosité.	112
Figure 163: La lecture d'un histogramme de luminosité.	113
Figure 164: Les étapes de formation du schéma de moucharabieh utilisé dans l'expérimentation.....	113
Figure 165: Image de la pièce du module moucharabieh utilisée dans le modèle réduit.....	114
Figure 166: La composition du diaphragme à IRIS utilisé dans l'expérimentation.....	115
Figure 167: Les deux cas de la position d'ouverture.	115
Figure 168: Les trois cas de la combinaison entre le diaphragme à IRIS et le module de moucharabieh.....	116
Figure 169: Les différents scénarios d'ouvertures à étudier.....	117
Figure 170: Les différents schémas de moucharabieh produits pour chaque pourcentage d'ouvertu.....	117
Figure 171: Les dimensions de la maquette utilisée.	118
Figure 172: Image de la maquette réalisée.....	118
Figure 173: L'installation de la caméra.	119
Figure 174: Photo de la maquette avec les deux ouvertures.	119
Figure 175: 3D de la maquette avec les différentes pièces.	119
Figure 176: Photo de la pièce avec module moucharabieh placée au niveau de l'ouverture verticale.....	120
Figure 177: Photo des différentes pièces du diaphragme pour le cas 01 et l'ouverture verticale.....	120
Figure 178: Photo des différentes pièces du diaphragme pour le cas 01 et l'ouverture horizontale.....	120
Figure 179: Photo de la pièce avec module moucharabieh placée au niveau de l'ouverture horizontale.....	120

Figure 180: Schéma du parcours.....	121
Figure 181: Histogramme modèle.....	122
Figure 182: Schéma de synthèse du principe de l'expérimentation.....	123
Figure 183: Nombre des images claires, moyennes et sombres, dans le cas 01 pour les quatre scénarios d'ouverture (ouverture verticale).....	126
Figure 184: Nombre des images claires, moyennes et sombres, dans le cas 02 pour les quatre scénarios d'ouverture (ouverture verticale).....	126
Figure 185: Nombre des images claires, moyennes et sombres, dans le cas 03 pour les quatre scénarios d'ouverture (ouverture verticale).....	126
Figure 186: Ensemble des images de l'expérimentation pour une ouverture verticale avec 100% d'ouverture: (depuis la gauche vers la droite) : image du cas 01, image du cas 02, image du cas 03.....	127
Figure 187: Nombre des images claires, moyennes et sombres, dans le cas 01 pour les quatre scénarios d'ouverture (ouverture horizontale).....	127
Figure 188: Nombre des images claires, moyennes et sombres, dans le cas 02 pour les quatre scénarios d'ouverture (ouverture horizontale).....	127
Figure 189: Nombre des images claires, moyennes et sombres, dans le cas 03 pour les quatre scénarios d'ouverture (ouverture horizontale).....	127
Figure 190 : Ensemble des images de l'expérimentation pour une ouverture horizontale avec 100% d'ouverture: (depuis la gauche vers la droite) : image du cas 01, image du cas 02, image du cas 03.....	128
Figure 191: Nombre des images claires, moyennes et sombres, avec un scénario d'ouverture de 25% dans les trois cas (ouverture verticale).....	129
Figure 192: Nombre des images claires, moyennes et sombres, avec un scénario d'ouverture de 50% dans les trois cas (ouverture verticale).....	129
Figure 193: Nombre des images claires, moyennes et sombres, avec un scénario d'ouverture de 75% dans les trois cas (ouverture verticale).....	129
Figure 194: Nombre des images claires, moyennes et sombres, avec un scénario d'ouverture de 100% dans les trois cas (ouverture verticale).....	129
Figure 195: Ensemble des images de l'expérimentation pour une ouverture verticale dans le cas 01: (depuis la gauche vers la droite) : image 25% d'ouverture, image 50% d'ouverture, image 75% d'ouverture, image 100% d'ouverture.....	130
Figure 196: Nombre des images claires, moyennes et sombres, avec un scénario d'ouverture de 25% dans les trois cas (ouverture horizontale).	130
Figure 197: Nombre des images claires, moyennes et sombres, avec un scénario d'ouverture de 50% dans les trois cas (ouverture horizontale).	130
Figure 198: Nombre des images claires, moyennes et sombres, avec un scénario d'ouverture de 75% dans les trois cas (ouverture horizontale).....	130
Figure 199: Nombre des images claires, moyennes et sombres, avec un scénario d'ouverture de 100% dans les trois cas (ouverture horizontale).....	130
Figure 200: Ensemble des images de l'expérimentation pour une ouverture horizontale dans le cas 01: (depuis la gauche vers la droite) : image 25% d'ouverture, image 50% d'ouverture, image 75% d'ouverture, image 100% d'ouverture.....	131
Figure 201: Nombre des images claires, moyennes et sombres, avec une ouverture verticale, dans les différents cas et les différents scénarios d'ouverture.....	132
Figure 202: Nombre des images claires, moyennes et sombres, avec une ouverture horizontale, dans les différents cas et les différents scénarios d'ouverture.....	132
Figure 203: Pourcentage totale des images claires, moyennes et sombres, avec une ouverture verticale.....	133
Figure 204: Pourcentage totale des images claires, moyennes et sombres, avec une ouverture horizontale.....	133
Figure 205: Images de l'expérimentation pour le cas 01 et un pourcentage d'ouverture de 100%, image à droite: ouverture horizontale, image à gauche : ouverture verticale.	133
Figure 206: Le cas choisit: ouverture horizontale de huit ouvertures IRIS par module de moucharabieh avec un pourcentage d'ouverture IRIS de 25%.....	134
Figure 207: Schéma de synthèse de l'analyse de terrain.....	137
Figure 208: Diagramme fonctionnel du musée.....	138

Figure 209: Programme du musée.....	138
Figure 210: Le cas 03 qui présente une ambiance lumineuse claire.....	139
Figure 211: Le cas 01 qui présente une ambiance lumineuse particulière.....	139
Figure 212: les fonctions principales du musée.....	140
Figure 213: L'analogie dans l'idée de base.....	140
Figure 214: Le passage entre l'objet et le musée.....	141
Figure 215: La forme générale des maisons : carrée ou rectangulaire avec un patio à l'intérieur...141	
Figure 216: Tissu urbain compacte, l'accès aux maisons à l'intérieur de l'îlot à travers "Skifa".....	141
Figure 217: "Skifa": couloir étroit, à ciel ouvert, généralement de 1m à 1.5 m de largeur, ombré par les constructions qui le limite.....	142
Figure 218: C'est des maisons généralement d'un seul niveau (RDC) ou au maximum R+.....	142
Figure 219: Façade simple, opaque, un nombre limité des ouvertures avec le minimum des dimensions, on peut même trouver des façades sans ouvertures, maison introvertie.	142
Figure 220: L'accès de la maison elle-même se fait par un couloir qui donne sur la cour centrale (le patio) et à partir de ce couloir on peut accéder aux différents espaces.	142
Figure 221: Les différentes formes des patios.	142
Figure 222: Les toitures en pente, dont le sens est toujours vers l'intérieur pour assurer l'intimité et se protéger des regards extérieurs.	142
Figure 223: La forme de base.	143
Figure 224: Schéma d'organisation de différentes fonctions du musée selon les exigences du terrain.	143
Figure 225: Parcours en boucle (loop).....	144
Figure 226: Division du volume du RDC.....	144
Figure 227: Etape 01 du développement du volume.	145
Figure 228: Etape 02 du développement du volume.	145
Figure 229: Etape 03 du développement du volume.	145
Figure 230: Etape 04 du développement du volume.	146
Figure 231: Etape 05 du développement du volume.	146
Figure 232: Etape 06 du développement du volume.	147
Figure 233: Etape 07 du développement du volume.	147
Figure 234: Etape 08 du développement du volume.	148
Figure 235 : Etape 08 du développement du volume.	148
Figure 236: Etape 08 du développement du volume.	148
Figure 237: Etape 09 du développement du volume.	149
Figure 238: Plan entresol.....	150
Figure 239: Plan RDC.....	151
Figure 240: Plan 1 ^{er} étage.....	151
Figure 241: Coupe A-A.....	152
Figure 242: Façade principale (façade sud).....	152
Figure 243: Vue de l'entrée du projet.....	152
Figure 244: Vue des perforations au niveau du mur d'entrée du projet.....	152
Figure 245: Plan de la salle d'exposition sans mur.....	153
Figure 246: Plan de la salle d'exposition avec le mur.....	153
Figure 247 : Coupe A-A sur la salle d'exposition.....	153
Figure 248: Vue d'intérieur d'une salle d'exposition sans le mur à l'intérieur : des tâches de lumière sur le mur périphérique d'exposition.....	154
Figure 249: Vue d'intérieur d'une salle d'exposition avec le mur à l'intérieur : les tâches de lumière sont projetées sur le mur créé.....	154

| *Liste des tableaux*

Tableau 1: Tableau des grandeurs photométriques	37
Tableau 2: Différents échelles des modèles réduits	107
Tableau 3: les 24 combinaisons entre les trois facteurs.	122
Tableau 4: Tableau de référence de la numérotation des images (résultats de l'expérimentation).....	125
Tableau 5: Tableau de synthèse du nombre des images claires, moyennes et sombres dans les 24 compositions	134

Introduction générale

Introduction

Depuis l'antiquité, architecture et lumière naturelle sont intimement liées. Avant l'apparition de la lumière artificielle dans les bâtiments, la lumière naturelle était la source principale d'éclairage et l'un des éléments structurants de la ville et de l'architecture. En 1879, la toute première ampoule électrique est développée par Thomas Edison et l'architecture se libère des besoins en éclairage naturel, le développement de l'éclairage artificiel a de plus en plus minimisé l'importance de l'éclairage naturel dans le bâtiment et la lumière pénétrant des ouvertures est devenue complémentaire et pas nécessaire. Les nouvelles intentions concernant l'amélioration de la qualité de vie, les besoins du confort dans les lieux de travail, l'orientation actuelle vers la haute qualité environnementale, la recherche des nouveaux systèmes d'économie d'énergie, rendre à l'éclairage naturel toute sa place dans le projet architectural.

La lumière naturelle est une source d'énergie dynamique, elle est toujours variable d'un lieu à un autre et d'un moment à un autre, sa position change par le changement de l'heure, du jour, de la saison et de l'année. Cette instabilité porte non seulement sur sa position, mais aussi sur sa disponibilité (la durée de la journée), son intensité, sa direction et la teinte des rayons lumineux. Cette diversité que la lumière naturelle peut produire donne la possibilité de loger plusieurs ambiances lumineuses au sein du même espace.

La lumière naturelle est une source de confort visuel, elle est généralement mieux appréciée que la lumière artificielle, c'est la lumière à laquelle nos yeux sont exposés la plupart du temps, plusieurs études témoignent de l'impact non négligeable de l'exposition à la lumière naturelle sur le fonctionnement du corps humain et sur son bien-être. Sans oublier son impact sur la consommation d'énergie électrique dans le bâtiment.

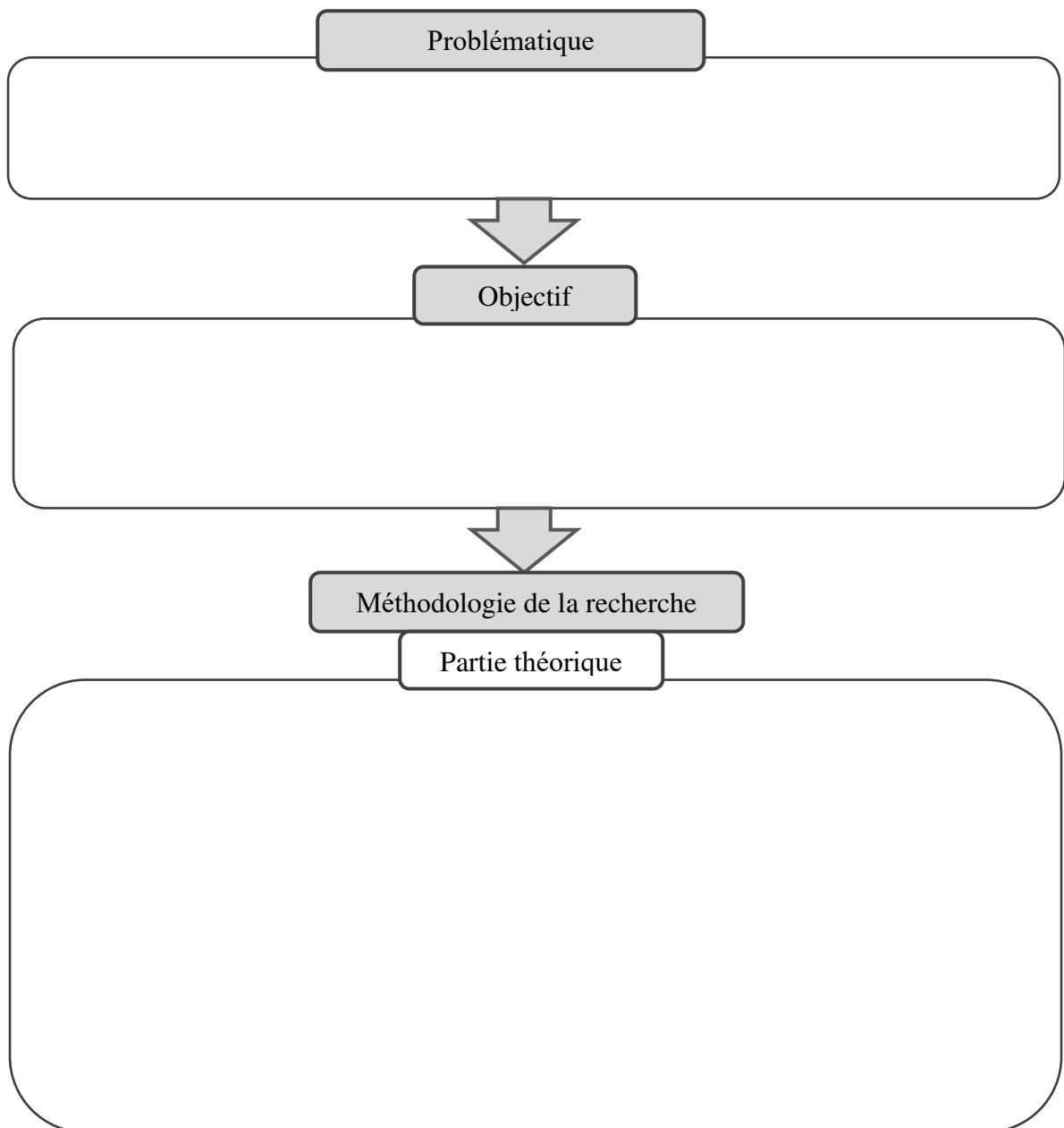
Donc privilégier l'éclairage naturel n'est pas toujours synonyme de bien-être, de confort et d'économie d'énergie, mais il y'a une autre dimension celle des ambiances lumineuses qu'il engendre.

Etat de l'art

Avant de commencer notre travail, il faut faire une petite recherche sur des études précédentes concernant notre thème de recherche « ambiances lumineuses ».

Etude 01 : « *Dynamique lumière/architecture – Un processus de création et d'analyse de l'ambiance lumineuse et de l'espace architectural* » (article scientifique)

Article publié dans le 2^{ème} congrès international sur les ambiances au Centre Canadien d'Architecture à Montréal (CCA), par Biron et Demers (2012) de Groupe de Recherche en Ambiances Physiques, école d'architecture de l'université Laval, Québec, Canada.



Partie expérimentale



Résultats

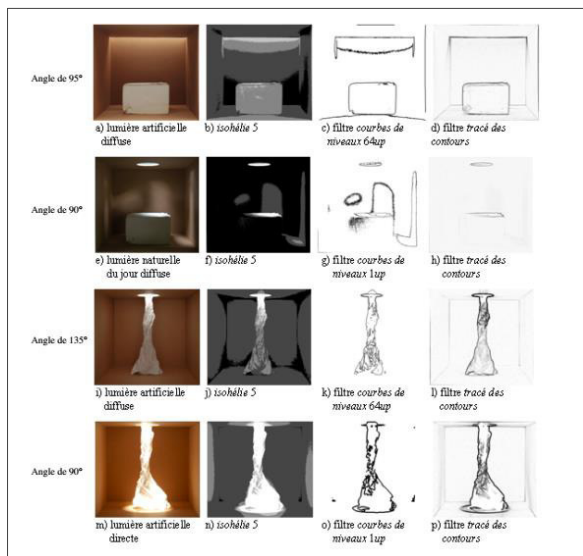


Figure 1: Exemples d'images traitées
 (Source : Biron et Demers, 2012)

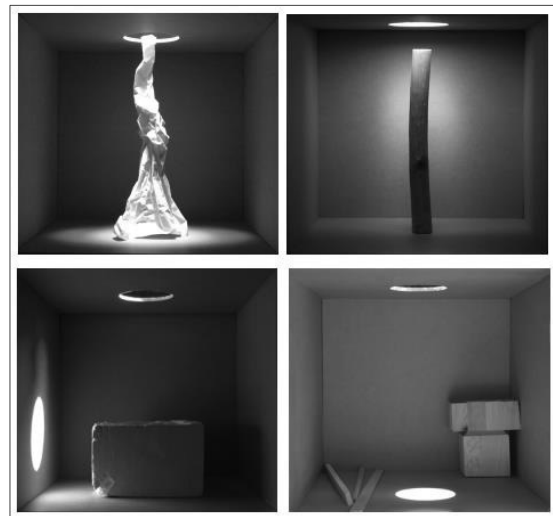


Figure 2: Exemples d'images photographiques
 (Source : Biron et Demers, 2012)

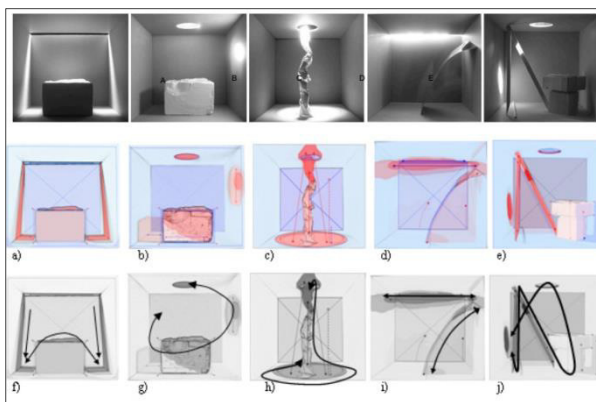


Figure 3: Interprétation de cinq espaces-maquettes
 (Source : Biron et Demers, 2012)



Figure 4: Représentation graphique d'une analyse des directions et zones d'un espace maquette.
 (Source : Biron et Demers, 2012)

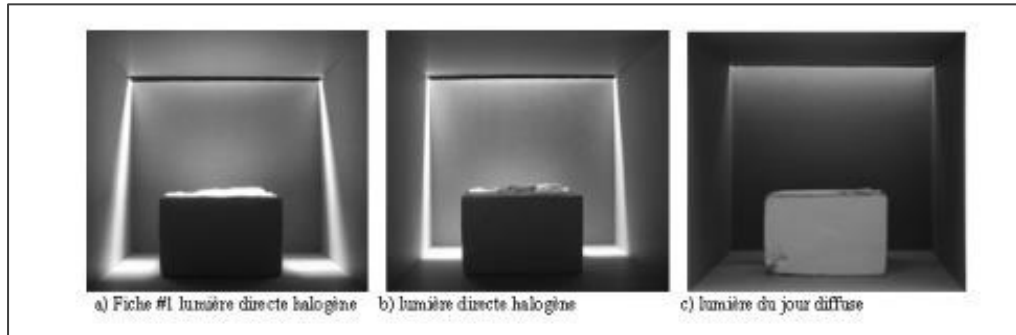
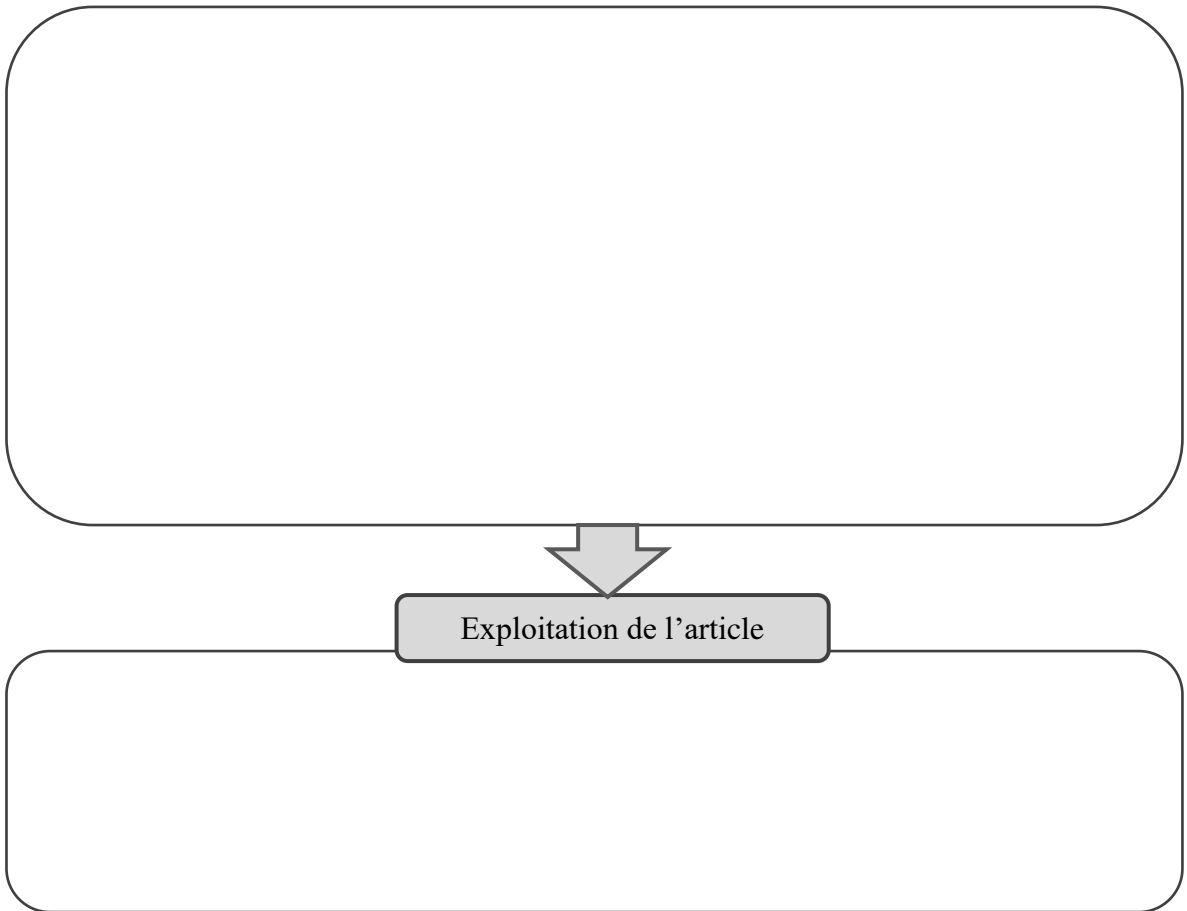


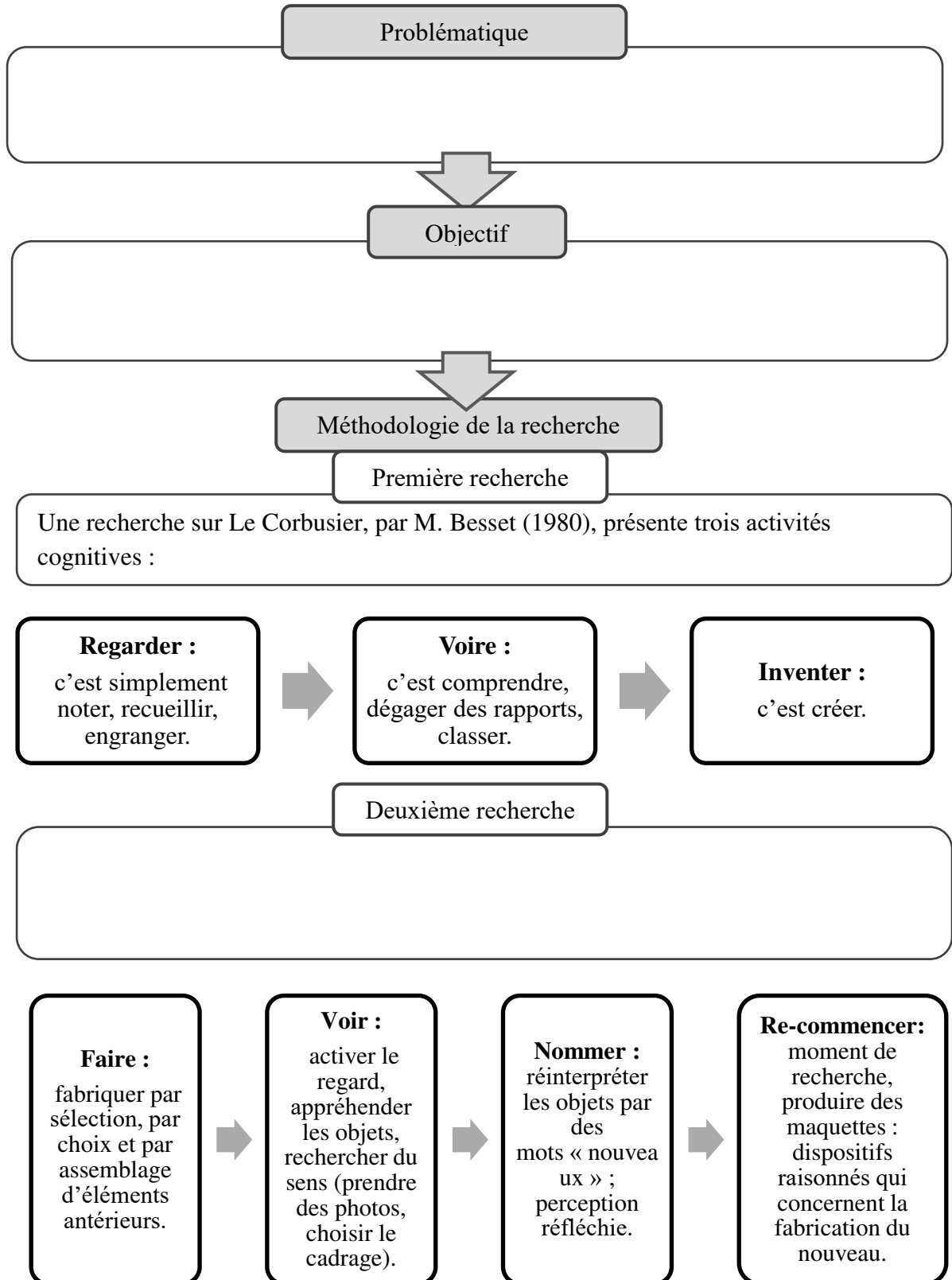
Figure 5: Modifications de l'effet d'encadrement lumineux des objets, par modification de l'angle d'éclairage.

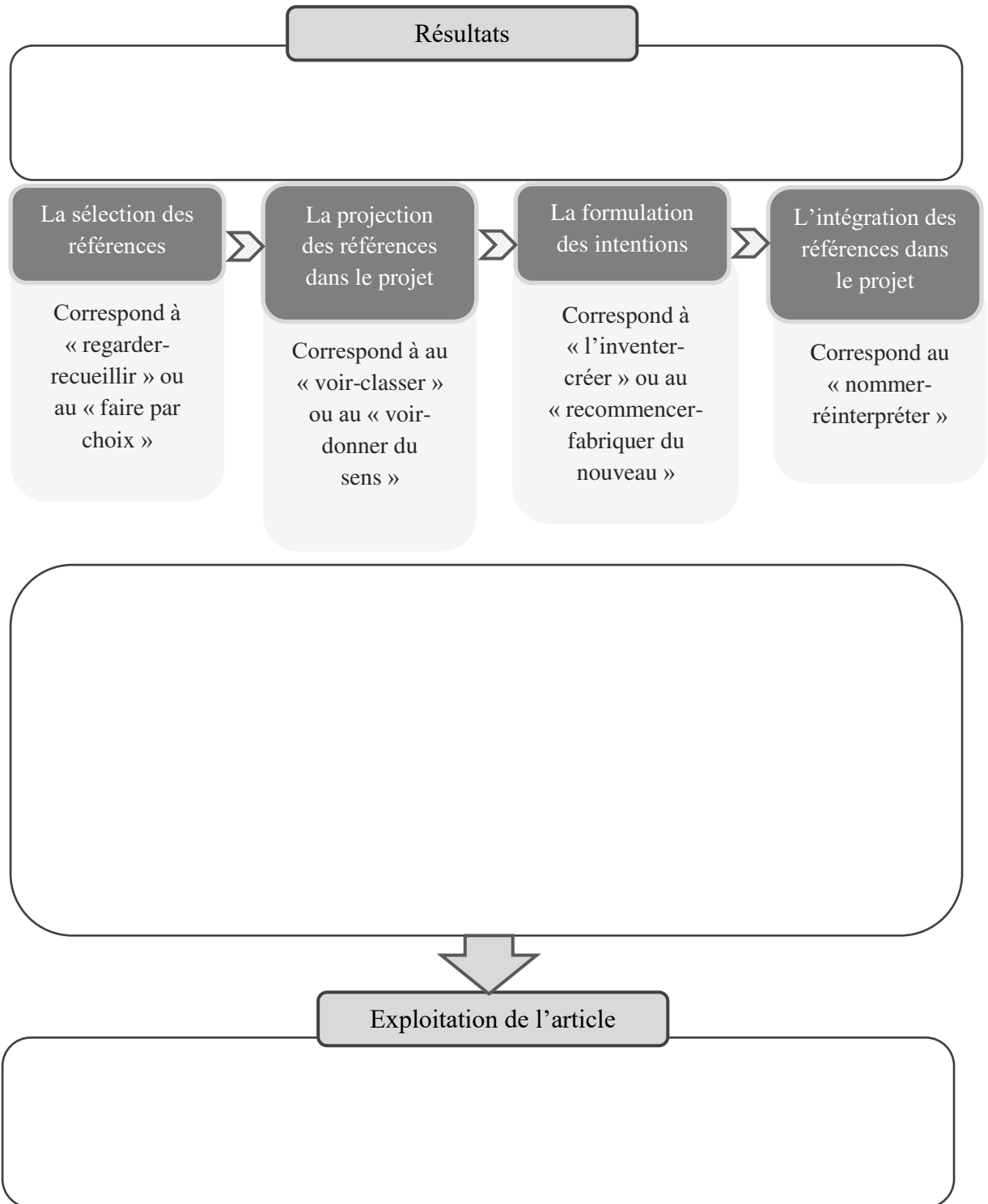
(Source : Biron et Demers, 2012)



Etude 02: « Conception des ambiances lumineuses : Navigation et raisonnement par l'image pour la formation des intentions » (article scientifique)

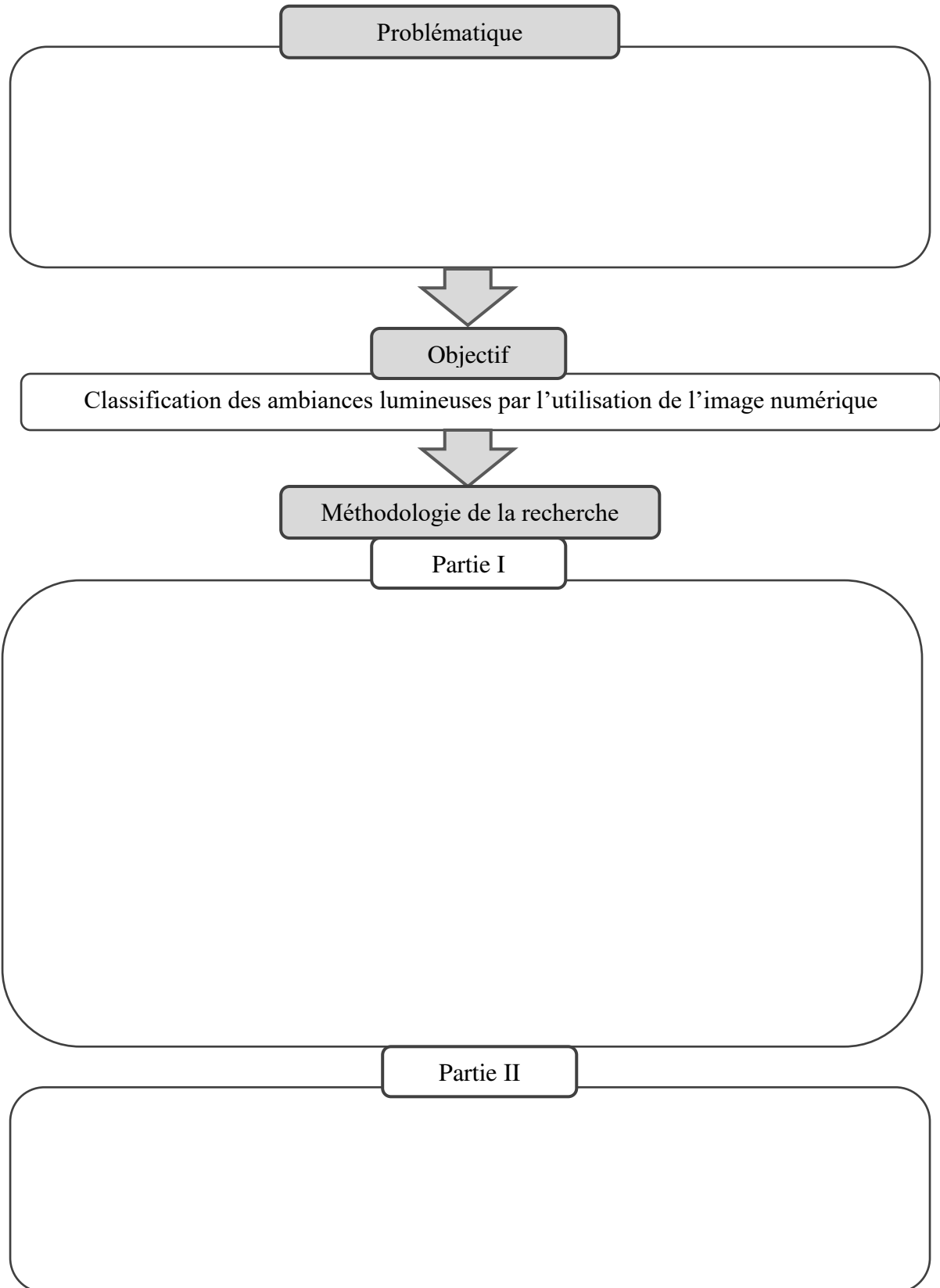
Article publié dans le 1^{er} congrès international sur les ambiances à Grenoble, France, par CHAABOUNI, BIGNON et HALIN (2008).

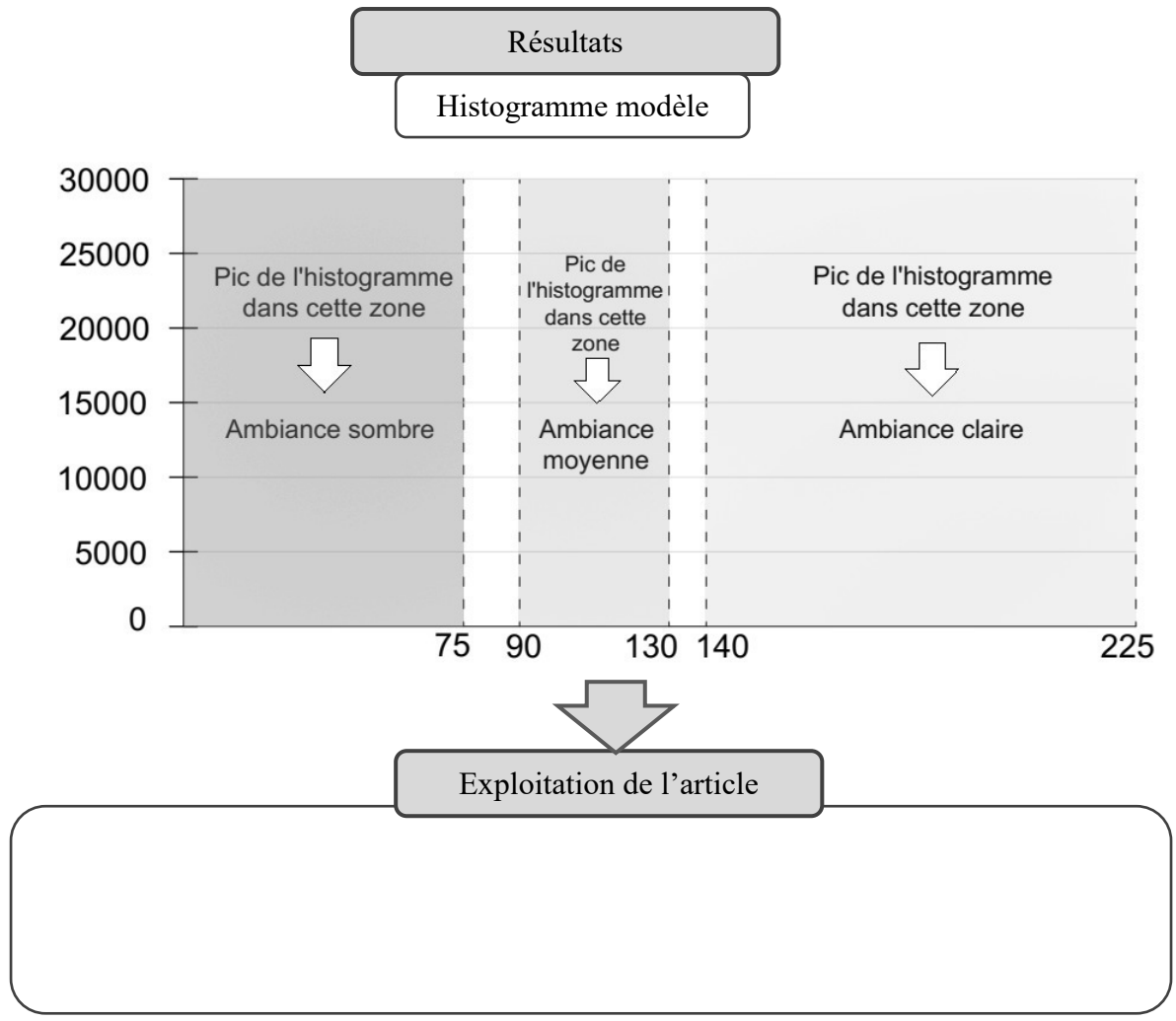




Etude 03: « *l'image numérique comme un outil de classification des ambiances lumineuses* » (Mémoire)

Mémoire de master en architecture, option : Architecture et environnement dans les zones arides et semi-arides, Université Mohamed Khider-Biskra, par *BOUZIR* (2014).





Raisons du choix du thème de la recherche :

D'après l'analyse de plusieurs études traitant le thème des ambiances lumineuses dans les espaces architecturaux, une ambiance lumineuse peut modifier en permanence l'espace éclairé et sa perception par l'œil humaine. Cette idée de changer l'aspect d'une pièce sans changer celle-ci physiquement est intéressante à étudier et à découvrir.

De plus, l'ambiance lumineuse est un phénomène subjectif, difficile à définir puisqu'il dépend de la sensation de chaque individu, nous ne pouvons pas le calculer ou le mesurer facilement, c'est un phénomène complexe qui peut bouleverser l'aspect de l'espace architectural.

Le moucharabieh est un élément de l'architecture arabe traditionnelle. Il permet d'aérer, sert de brise-vue, produit une protection solaire et générateur d'ombre. En plus de toutes ces fonctions, ses motifs géométriques aérés permettent d'obtenir une luminosité tamisée, qui produit une certaine ambiance lumineuse à l'intérieur des espaces architecturaux.

Problématique et questionnements

Généralement, dans le domaine de l'architecture, l'étude de la lumière est limitée à la demande fonctionnelle relative à l'éclairage minimum des locaux donné par des valeurs en (lux). Mais l'architecture, dans sa définition de base, est « l'art de bâtir », cette expression simple porte deux sens fondamentaux de cette discipline : le côté esthétique et le côté technique. La demande en quantité de lumière est tout ce qui existe dans les programmes des maîtres d'ouvrage aujourd'hui. Une simple étude sur la relation de la lumière et l'architecture à travers l'histoire révèle le rôle important de la lumière naturelle non seulement sur l'éclairage des bâtiments, mais aussi sur la décoration avec sa valeur esthétique à l'intérieur et à l'extérieur des espaces architecturaux.

Dans ce travail de recherche, nous allons dépasser la question des besoins d'éclairage par la lumière naturelle, puisqu'elle est déjà évoquée dans plusieurs études précédentes, notre point de vue concerne la qualité et l'effet esthétiques de la lumière naturelle sur les espaces architecturaux, on étudiant l'ambiance lumineuse créée par l'interaction de la lumière naturelle avec un outil de moucharabieh. Ce qui nous conduit à poser les questions suivantes :

« Quel type d'ambiance lumineuse peut produire un moucharabieh ? Et comment cette ambiance, projetée à l'intérieur d'un espace architectural, peut changer son aspect ? »

« Est-ce que c'est possible d'obtenir une idée plus proche de la réalité sur le type d'ambiance lumineuse générée par un dispositif de moucharabieh ? Et quels outils ou méthodes utilisés pour obtenir cette idée ? »

Hypothèses

D'après les questionnements posés dans cette étude, nous avons proposé les hypothèses suivantes :

- Un dispositif de moucharabieh produit une ambiance lumineuse sombre, à cause des petites ouvertures générées par ses formes géométriques.
- La forme des ouvertures de moucharabieh projetée sur un mur par la lumière naturelle et l'ombre peut attirer l'attention sur ce phénomène et ajouter une valeur esthétique à cet espace.
- Avoir une idée préconçue sur le type d'ambiance lumineuse créée par un outil de moucharabieh, est possible à travers une simulation par des outils informatiques, ou par un modèle réduit (maquette) avec des photos numériques de chaque type d'ambiance lumineuse créée.

Objectifs du travail

L'objectif principal de cette recherche consiste à découvrir le potentiel de la lumière naturelle dans la création des ambiances lumineuses à l'intérieur des espaces architecturaux, et la valeur esthétique qu'une ambiance lumineuse particulière, générée par un moucharabieh, peut ajouter à un espace.

Méthodologie de la recherche

Cette recherche consiste à étudier l'impact du moucharabieh sur les ambiances lumineuses des espaces architecturaux. Parmi les questions posées au début de cette recherche, quels outils utilisés afin d'étudier cet impact. Dans notre étude, la méthode adoptée est l'expérimentation, à l'aide d'un modèle simplifié de la réalité.

En premier lieu, nous allons choisir de faire un modèle réduit d'une salle d'exposition, avec du moucharabieh au niveau des ouvertures, l'expérimentation sera exécutée sous un ciel réel et pas dans une position fixe, mais à travers un parcours lumineux riche, afin d'obtenir plusieurs ambiances lumineuses sous la lumière naturelle du ciel, une vidéo sera filmer pendant ce parcours.

Dans la deuxième partie de l'expérimentation, nous allons extraire, de la vidéo, les images des différentes ambiances lumineuses créent pendant ce parcours, faire des traitements des images pour les convertir d'images couleur en niveau du gris, et en suite obtenir l'histogramme afin de pouvoir juger les différentes ambiances.

Structure du mémoire

Notre étude se structure en deux parties principales. La première partie, qui présente les notions théoriques de la recherche, est exposée à l'intérieur des trois premiers chapitres. Le cadre méthodologique, la démarche expérimentale et les résultats des analyses sont présentés successivement aux chapitres 4 et 5, qui présentent la partie pratique.

La première partie s'articule autour de deux chapitres :

Chapitre I : dans ce chapitre nous allons jeter un coup d'œil sur l'utilisation de la lumière naturelle à travers l'histoire de l'architecture, se familiariser avec les notions de base de la lumière naturelle et s'informer sur l'éclairage naturel dans les espaces architecturaux.

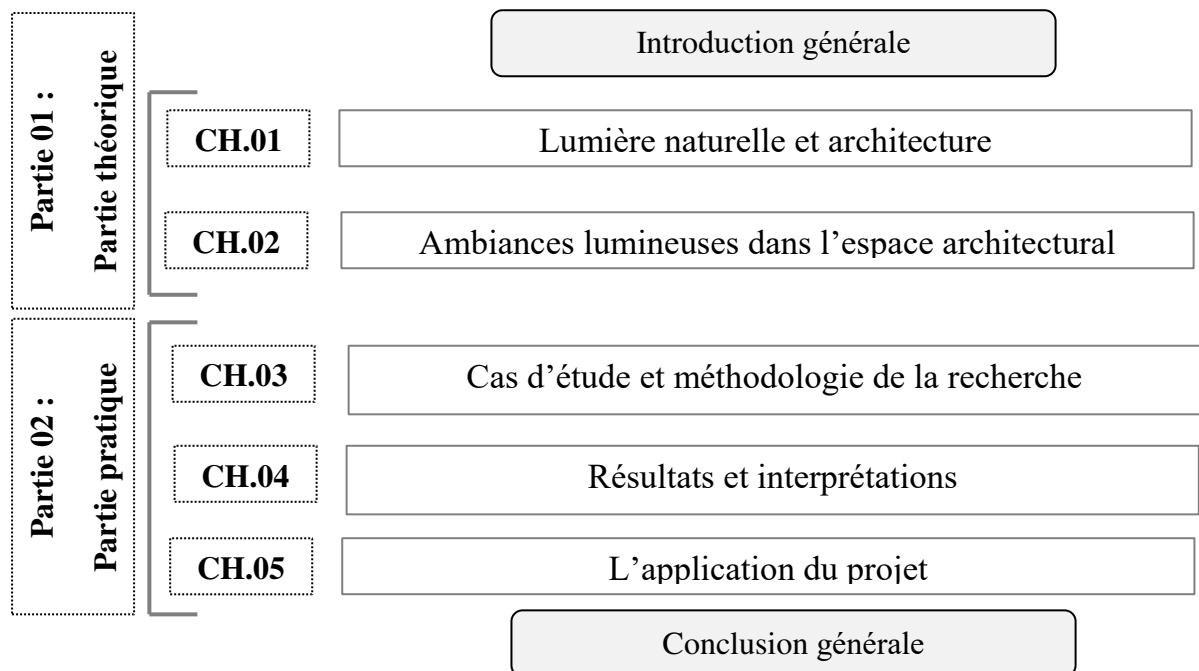
Chapitre II : ce chapitre aura pour objet de mieux comprendre la notion d'ambiance lumineuse, par sa définition, la connaissance de ses types et de ses effets sur l'espace architectural.

La deuxième partie s'articule autour de trois chapitres :

Chapitre III : ce chapitre décrira notre cas d'étude et notre méthodologie de recherche, l'analyse du site d'intervention, l'analyse du musée et de quelques exemples livresques et existants, et enfin présentera notre démarche expérimentale basée sur l'utilisation d'un modèle réduit avec des ouvertures en moucharabieh, étudié sous la lumière naturelle, avec capture d'images des différentes ambiances créées.

Chapitre IV : ce chapitre présente les résultats de l'expérimentation avec des photos numériques avec ses histogrammes afin de traiter les résultats.

Chapitre V : enfin, ce dernier chapitre présente les différents éléments de passage entre le mémoire et le projet.



Chapitre I : Lumière naturelle et architecture

« Les architectes qui aujourd'hui dessinent des 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 »

Louis Kahn, Silence et lumière(1996)

Introduction :

La lumière est au cœur de l'architecture, elle est la raison par laquelle l'architecture se manifeste, c'est le premier matériau. Sans elle, le mur, l'espace, l'ombre n'existe pas. L'histoire témoigne d'une recherche permanente de lumière au sein du bâtiment. Les évolutions du 19^{ème} siècle ont permis de libérer les façades de leur rôle structurel. Les architectes ont pu faire entrer la lumière du jour, lumière naturelle, en abondance dans les logements et créer des ambiances diverses, on jouant avec la dimension des ouvertures. (CONSTANS, 2012)

Les relations entre l'intérieur et l'extérieur d'un bâtiment sont modulées par les ouvertures. La pénétration de la lumière est un élément essentiel de l'usage et de l'esthétique de l'architecture (Le GIF-lumière, 2011). Certains usages nécessitent une quantité et une qualité de lumière spécifique. Les espaces d'un bâtiment n'ont pas la même fonction, ne sont pas orientés de la même façon et par conséquent n'ont pas nécessairement besoin d'avoir un rapport de lumière, une ambiance, une atmosphère identique. La qualité d'une architecture réside dans sa faculté à pouvoir créer une atmosphère, donner vie au lieu, lui conférer une âme particulière pouvant être ressentie par chaque personne. (CONSTANS, 2012)

Le caractère variable et instable de la lumière naturelle a longtemps conduit de nombreux architectes à préférer un éclairage artificiel adaptable et « contrôlable » au détriment de l'éclairage naturel. Pourtant, la lumière naturelle se révèle le mode d'éclairage le plus agréable, le plus performant et le plus économique pour peu qu'on puisse s'en préserver lorsque c'est nécessaire. Sa variabilité se montre extrêmement bénéfique pour le confort des occupants. Eclairage d'ambiance par excellence, son utilisation judicieuse est un atout majeur pour développer les qualités architecturales, énergétiques et environnementales d'un bâtiment. (Le GIF-lumière, 2011)

Il est important de bien savoir les caractéristiques physiques de la lumière naturelle pour comprendre les effets qu'elle produit sur la vision et sur la lecture des espaces, aussi les différentes interactions entre la lumière et le bâtiment, et c'est ce qu'on va toucher dans le présent chapitre.

1. Aperçue historique sur l'architecture et la lumière :

La nécessité de créer un environnement artificiel pour protéger l'homme, est développé pour se protéger des différentes conditions environnantes qui affectent son activité et sa production. Quand l'homme a commencé à construire sa première maison, il n'a pas pensé à faire des trous pour l'éclairage, puisque les matériaux de construction dont il disposait, les troncs d'arbres et les feuilles des palmiers, sont des matières qui laissent passer la lumière du jour, aussi l'ouverture d'entrée était suffisante pour l'éclairage de l'intérieur.

Plus tard, lorsque l'argile est utilisée dans la construction des maisons, il était difficile d'ouvrir une fenêtre dans le mur porteur du plafond, la solution était d'ouvrir au dans le mur. La quantité de lumière à l'intérieur était tous dépend de l'état du ciel à l'extérieur et de la surface d'ouverture. Les anciens ont essayé de contrôler la quantité de lumière à l'intérieur des bâtiments selon la fonction désirée. Par exemple, dans l'architecture des temples égyptiens antiques, le but de l'éclairage était de créer une atmosphère de mystère et de secrets sur le lieu et donc les ouvertures étaient étroites et minces, comme dans les temples de la ville de Habu. Les Grecs, comme le reste des peuples méditerranéens, avaient tendance à s'isoler chez eux, de sorte que les pièces de la maison étaient éclairées par une cour à ciel ouvert au milieu.

Les Romains utilisaient la lumière pour attirer l'attention des gens dans leurs temples, en focalisant la lumière sur les parties à valoriser et en l'abaissant dans le reste du temple. À Saint-Vitale, par exemple, des fenêtres au niveau du support octogonal du dôme central ont été ouvertes pour éclairer la nef de l'église, tandis que l'éclairage dans les couloirs environnants a été considérablement réduit.

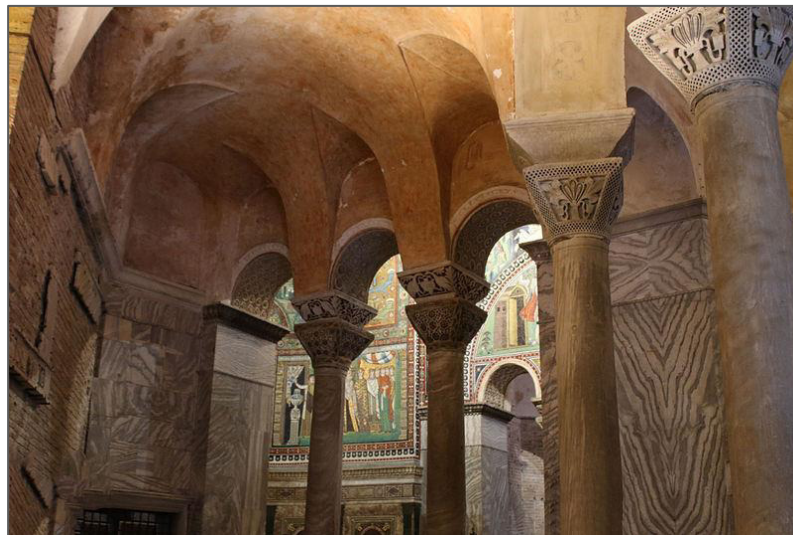


Figure 6: L'éclairage des couloirs de la basilique Saint-Vital de Ravenne en Italie.
(Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Basilique_Saint-Vital_de_Ravenne)

Comme la lumière en Europe du Nord était grise en raison de la condensation des nuages et du faible angle du soleil, les cathédrales médiévales étaient caractérisées par des grandes ouvertures avec du verre coloré afin de remplacer les lumières grises par de la lumière colorée. Cela au contraire des cathédrales d'Italie, dont les fenêtres étaient étroites à cause de l'intensité de la lumière.



Figure 7: Les vitraux colorés de la cathédrale Notre-Dame de Chartres, Paris, France.
(Source : <http://onditmedievalpasmoyenageux.fr/les-autres-vitraux-de-chartres/>)

Avec l'invention de l'imprimerie à la Renaissance et l'augmentation du besoin en lecture, il est apparu nécessaire d'utiliser de larges fenêtres, et dans cette période-là que les fenêtres rectangulaires avec des appuis élevés sont apparues. Leon Alberti était derrière ce mouvement, l'un de ses conseils était que les fenêtres doit être de forme rectangulaire avec des appuis élevés pour que l'éclairage venant de ciel peut facilement pénétrer à l'intérieur de la bâtisse, il a dit que c'est la situation logique de la fenêtre, puisque "... nous voyons le ciel avec nos yeux et non avec les talons de nos pieds", cela a été bien visible dans ses célèbres bâtiments à Florence, tel que le palais Rucellai en 1446.



Figure 8: Palais Rucellai, Florence, Italie.
(Source : <https://i.pinimg.com/originals/07/f1/5e/07f15e011df7a1c2a991b0b04f103bd8.jpg>)

Au début du XXe siècle, l'architecture se dirige vers la théorie d'interaction entre l'intérieur et l'extérieur, commencé par Frank Lloyd Wright avec la création des terrasses et l'ouverture des pièces les unes sur les autres, suivis par Walter Gropius, qui a conçu l'usine Fagus en 1911, dont les façades étaient totalement en verre pour assurer un éclairage naturel de l'intérieur.

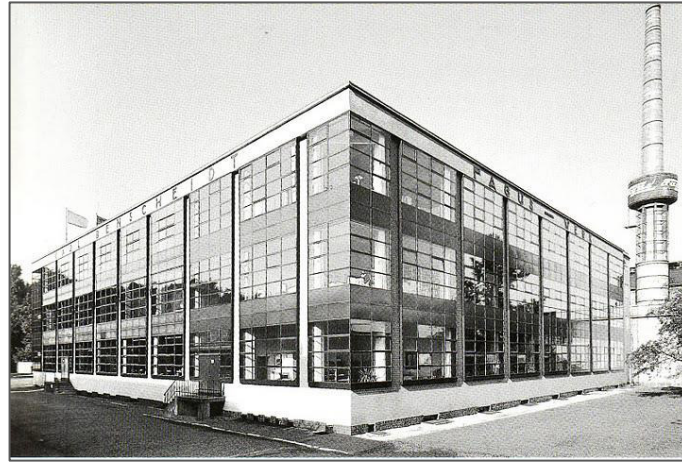


Figure 9: L'usine Fagus en Allemagne.
(Source : 1981, وجيه فوزي يوسف)

Frank Lloyd Wright a traité la lumière comme source de chaleur, c'est pour ça que la plupart de ces ouvertures ont été accompagnées par des auvents et des balcons, et malgré qu'il a utilisé un dôme en verre au musée Guggenheim de New York, c'était pour éclairer l'espace de circulation et pas les salles d'exposition.



Figure 10: Le musée Guggenheim de New York, vue de l'extérieur.
(Source : 1981, وجيه فوزي يوسف)



Figure 11: Le musée Guggenheim de New York, vue de l'intérieur sur le dôme en verre.
(Source : 1981, وجيه فوزي يوسف)

Le Corbusier a utilisé la lumière pour montrer les éléments du bâtiment composés des formes géométriques simples telles que le cube, le cylindre, le cône et la sphère, et il a étudié l'effet du mouvement du soleil sur ces formes. Aussi les couleurs et leur impact sur l'homme selon sa culture et ses capacités mentales à les comprendre. Il a inventé la fenêtre en bandeau horizontal et il a dit qu'elle donne une illumination de huit fois la lumière donnée par une fenêtre rectangulaire avec la même surface.

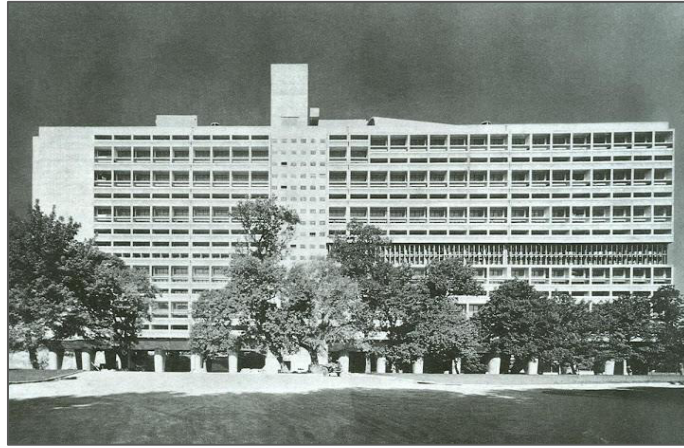


Figure 12: La cité radieuse de Marseille.
(Source : 1981, وجيه فوزي يوسف)

Pour Louis Kahn la lumière donne au bâtiment un certain caractère qui le distingue de tout autre bâtiment, et le bâtiment doit s'ouvrir pour recevoir cette lumière qui le distingue. Il a dit que la lumière naturelle donne plusieurs atmosphères à la même pièce, et la pièce qui reçoit la lumière du nord a un aspect différent de la pièce qui reçoit les rayons du soleil du sud, pour cela la conception d'une ouverture qui reçoit la lumière d'une orientation spécifique doit être différente de la conception d'une ouverture qui reçoit la lumière d'une autre orientation. Il été contre l'idée d'utiliser la lumière artificiel dans les bâtiments, et il a dit que toute pièce éclairée artificiellement ne mérite pas d'être appelée une pièce, où nous vivons comme si nous étions toujours dans l'obscurité de la nuit. En ce qui concerne les endroits profonds dans le bâtiment, il a recommandé de les éclairés à partir du toit, c'est ce qui a réalisé dans les auberges pour étudiants Bryn Mawr college à Berlin et à l'église de Rochester aux Etats Unies. Du point de de Kahn, même si l'endroit est conçu pour être sombre, un trou doit être fait quelque part pour donner une idée sur son obscurité. (1981, وجيه فوزي يوسف)



Figure 13: Bryn Mawr college à Berlin.
(Source : 1981, وجيه فوزي يوسف)



Figure 14: l'église de Rochester aux Etats Unies.
(Source : 1981, وجيه فوزي يوسف)

2. Découvrir la lumière naturelle

2.1. Définir la lumière naturelle

En générale, la lumière naturelle est la lumière émise par le soleil, la nature de cette lumière était au cœur des débats scientifiques depuis longtemps. La théorie corpusculaire d'Issac Newton, montre que la lumière naturelle est composée de corpuscules (grains, particules) en mouvement rapide qui se propagent en ligne droite, sa célèbre expérience avec le prisme en verre décompose la lumière blanche en un spectre de couleurs de l'arc-en-ciel. La théorie ondulatoire de Christian Huygens, apparue après celle de Newton, définit la lumière comme une onde électromagnétique, ce qui signifie que la lumière est une onde qui se propage avec une certaine vitesse, sa théorie finira par s'imposer jusqu'à ce que la dualité onde-corpuscule devenue le caractère inévitable du rayonnement lumineux. (Chaabouni, 2011)

2.2. Le rayonnement et le spectre solaire

Le rayonnement solaire est une très grande quantité de photons émit par le soleil, voyagent dans l'espace à une très grande vitesse et atteignent la terre avec différentes longueurs d'ondes (CHAABOUNI, 2011). La décomposition du rayonnement solaire selon ses différentes composantes en termes de fréquence, d'énergie des photons ou encore de longueur d'onde nous donne un spectre solaire (DAICH, 2012).

Le spectre solaire est la répartition des rayons ayant des longueurs d'onde allant de 10^{-15} à 10^5 m. Les radiations de longueur d'ondes très courtes (les rayons x, gamma) sont arrêtées dès les couches supérieures de l'atmosphère. Les radiations de longueur d'onde très longues (ondes radio) sont très faibles à la surface de la terre. La partie du rayonnement arrivant sur la terre occupe une plage de longueur d'onde entre 250 et 2600 nm après avoir traversé l'atmosphère. Il est dit « énergétique » (Bernstein et al, 2007). Le rayonnement énergétique est composé des Ultraviolets (UV) de 250 à 380nm invisibles, de spectre visible de 380 à 780 nm (dit « visible » car c'est les seules radiations qui sont visibles pour l'œil humain) et des Infrarouges (IR) de 780 à 2600 nm, invisibles.

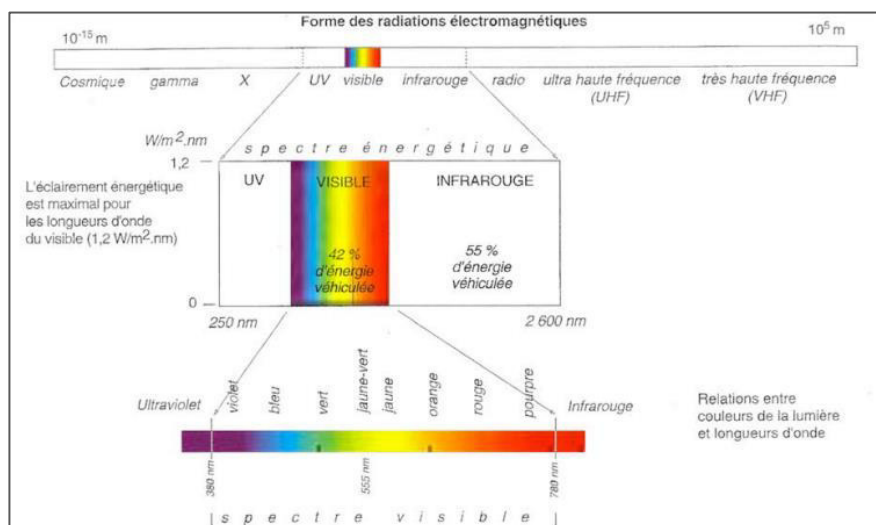


Figure 15: Composition du spectre solaire.
(Source : Bernstein et al, 2007)

2.3. Les sources de la lumière naturelle

Les sources lumineuses peuvent être classées en deux catégories : primaire ou secondaire. La source est qualifiée primaire lorsque elle produit la lumière qu'elle émet, ou secondaire lorsque elle diffuse des rayons reçus d'une source primaire, c'est-à-dire, elle ne produit pas de lumière. La source de toute lumière naturelle est le soleil. Le rayonnement émit par le soleil est divisé en deux parties :

- Rayonnement solaire direct : c'est la partie du rayonnement solaire qui atteint la terre après avoir traversé l'atmosphère. Il peut être défini comme des rayons parallèles qui génèrent dans les espaces intérieurs des taches lumineuses aux contours nets dont la position varie en fonction de la position du soleil dans la voûte céleste. (CHAABOUNI, 2011).

- Rayonnement diffus : c'est la partie du rayonnement solaire absorbée par l'atmosphère puis réémise dans toutes les directions. Celle-ci donne au ciel l'apparence d'une source émettrice de lumière. (CHAABOUNI, 2011).

La somme de ces deux parties de rayonnement solaire (direct et diffus) présente le rayonnement global au niveau du sol.

Donc le soleil est défini comme la source primaire de la lumière naturelle, puisque c'est lui qui produit la lumière qu'il émet, par contre, le ciel est une source secondaire de la lumière naturelle, puisque il diffuse les rayons reçus par le soleil. Il existe d'autre type de source secondaire de lumière naturelle tel que le sol, les façades de bâtiments, montagnes, etc., c'est -à-dire, les différentes composantes d'un site qui réfléchissent les flux émis par le ciel et le soleil.

2.4. La propagation de la lumière :

La propagation de la lumière peut changer de direction par réflexion, réfraction, diffraction, diffusion, dispersion, absorption ou transmission.

2.4.1. La réflexion

Lorsqu'un rayon de lumière rencontre un objet, il rebondit sur l'objet, comme une balle sur un mur, on dit qu'il est renvoyé ou réfléchi. (DAICH, 2012).

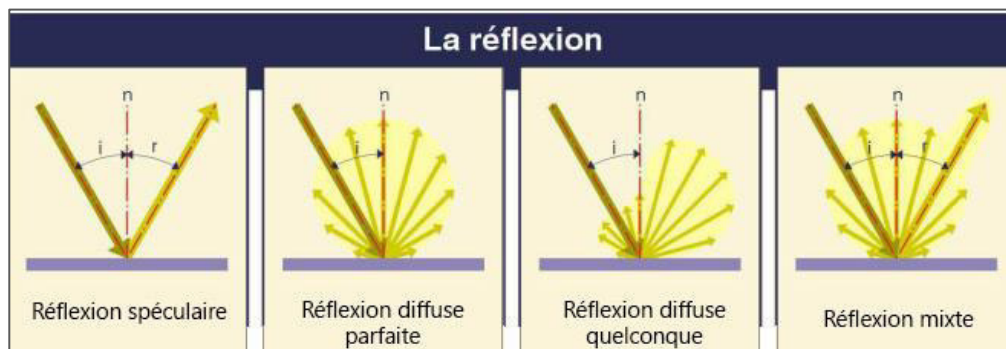


Figure 16: Les différents types de la réflexion.
(Source : http://www.guide-clea.fr/clea_projet/ecla/)

2.4.2. La réfraction

Le phénomène de réfraction est le changement de direction lorsque le rayon lumineux traverse obliquement la limite séparant deux milieux avec différentes vitesses de propagation de lumière, c'est-à-dire, la déviation d'une onde lorsque la vitesse de celle-ci change. (DAICH, 2012)

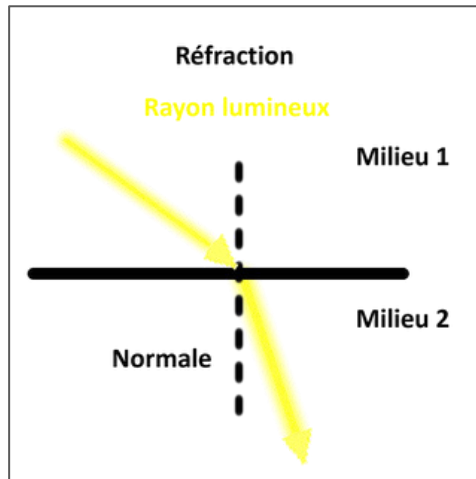


Figure 17: Le phénomène de réfraction de la lumière.

(Source : <http://siteheritage.csdecou.qc.ca/heritage2011/robertsonm/sites.google.com/site/larefraction/our-company.html>)

2.4.3. La diffraction

La diffraction de la lumière est le phénomène par lequel les rayons lumineux issus d'une source ponctuelle sont déviés de leur trajectoire rectiligne lorsqu'ils rasant les bords d'un obstacle opaque. Ce phénomène d'optique, affectant l'observation d'une image à travers un instrument, est dû au caractère ondulatoire de la lumière. (futura-sciences)

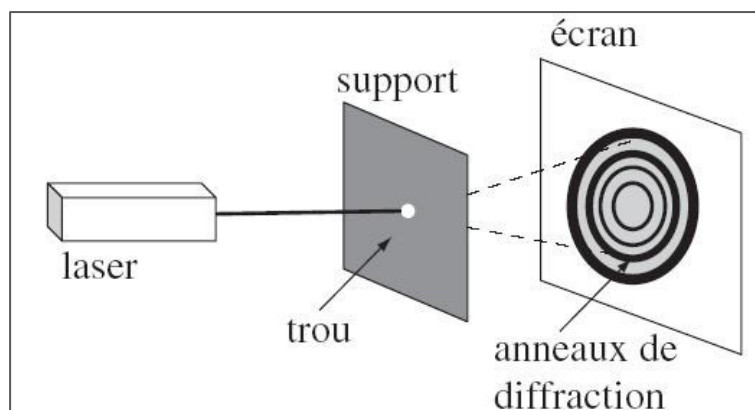


Figure 18: Le phénomène de diffraction.

(Source : <http://e.guimberteau.free.fr/Site/TS/Physique/A3%20cours.htm>)

2.4.4. La diffusion

C'est le phénomène de déviation du rayonnement lumineux dans de multiples directions par une interaction avec d'autres objets. (DAICH, 2012)

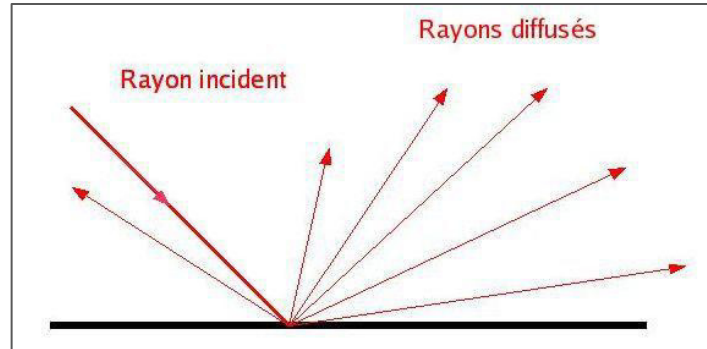


Figure 19: La diffusion de la lumière
(Source : <http://www.eclatsdelumiere.fr/tag/diffusion>)

2.4.5. La dispersion

Ce phénomène est interprété dans l'expérience du prisme en verre, lorsque la lumière blanche est décomposée en plusieurs faisceaux colorés, dont chaque faisceau est dévié dans une direction différente selon son indice de réfraction. C'est la dispersion des couleurs du rayon lumineux.

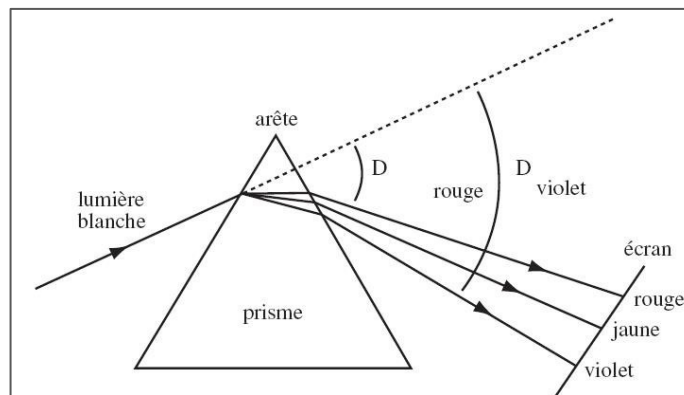


Figure 20: La dispersion de la lumière blanche.
(Source : <http://e.guimberteau.free.fr/Site/TS/Physique/A3%20cours.htm>)

2.4.6. L'absorption

Certains corps absorbent juste quelques fréquences du spectre électromagnétique. Les couleurs qu'on voit ne sont pas contenues dans les objets mais dans la lumière à l'aide de laquelle on les voit. Une feuille verte est verte parce qu'elle absorbe toutes les couleurs sauf la verte qu'elle réfléchit. Les corps transparents sont des corps qui absorbent de petites quantités de lumière visible. (DAICH, 2012)

2.4.7. La transmission

La lumière traversant un corps translucide peut être partiellement absorbée par celui-ci et partiellement ou totalement transmise par cette matière. (DAICH, 2012)

2.5. La photométrie :

La photométrie est la science qui étudie le rayonnement lumineux du point de vue de la perception par l'œil humain. (DAICH, 2012)

Grandeur photométrique	Unité	Abréviation	Définition
<i>Le flux lumineux</i>	Lumen	lm	Le flux lumineux d'une source est l'évaluation, selon la sensibilité de l'œil, de la puissance lumineuse rayonnée dans tout l'espace par cette source (c'est un débit de lumière)
<i>L'intensité lumineuse</i>	Candela	cd	Une mesure de l'éclat d'une source lumineuse perçue par l'œil dans une direction donnée.
<i>L'éclairement</i>	lux	lx	C'est la quantité moyenne de lumière reçue par une surface. L'éclairement dépend de l'intensité de la source lumineuse, de la distance entre la source et la surface éclairée et de son inclinaison par rapport aux rayons lumineux.
<i>La luminance</i>	candela par mètre carré	cd/m ²	La luminance d'une source (principale ou secondaire) est le rapport entre l'intensité lumineuse émise dans une direction et la surface apparente de la source lumineuse dans la direction considérée.

Tableau 1: Tableau des grandeurs photométriques (Source : auteur)

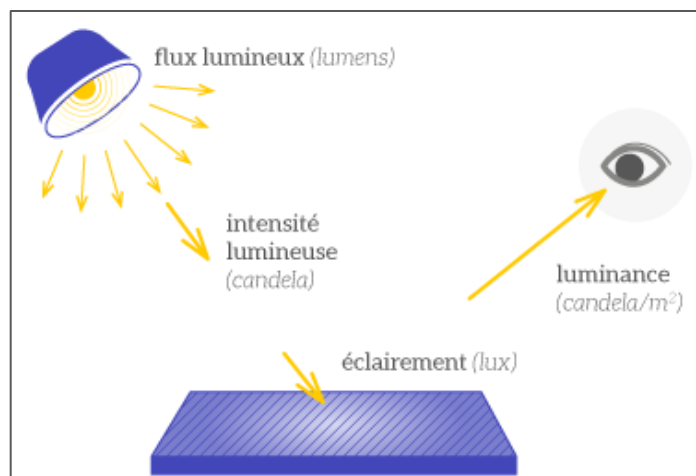


Figure 21: Les grandeurs photométriques (Source : <http://leclairage.fr/th-photometrie/>)

2.6. L'instabilité de la lumière naturelle :

La variabilité de la lumière naturelle résulte des phénomènes liés au mouvement de rotation de la terre autour de son axe et autour du soleil et de l'épaisseur de l'atmosphère parcourue par les rayons du soleil.

Mouvement de rotation de la terre autour de son axe et autour du soleil : Le mouvement de rotation apparent du soleil autour de la terre n'est réellement que le résultat du mouvement de la terre autour de son axe. Ce mouvement de rotation de la terre durant une journée détermine l'alternance entre la nuit et le jour. La division de l'année en saisons est quant à elle définie par la rotation de la terre autour du soleil et résulte de l'inclinaison de l'axe de rotation de la terre par rapport au plan de son orbite. Durant une journée, la course du soleil décrit une courbe entre le lever et le coucher qui peut être plus ou moins longue en fonction des saisons. Dans l'hémisphère nord, la journée la plus longue est au solstice d'été (21 juin), le soleil atteint sa hauteur la plus élevée et balaie le secteur azimutal le plus large, il se lève au nord-est pour se coucher au nord-ouest. Au solstice d'hiver (21 décembre), le soleil est beaucoup plus bas dans le ciel, la journée est beaucoup plus courte, le soleil se lève au sud-est pour se coucher au sud-ouest. Ce n'est qu'aux équinoxes de printemps et d'automne (21 mars et 21 septembre) que la durée du jour est égale à celle de la nuit, le soleil se lève à l'est pour se coucher à l'ouest. (CHAABOUNI, 2011)

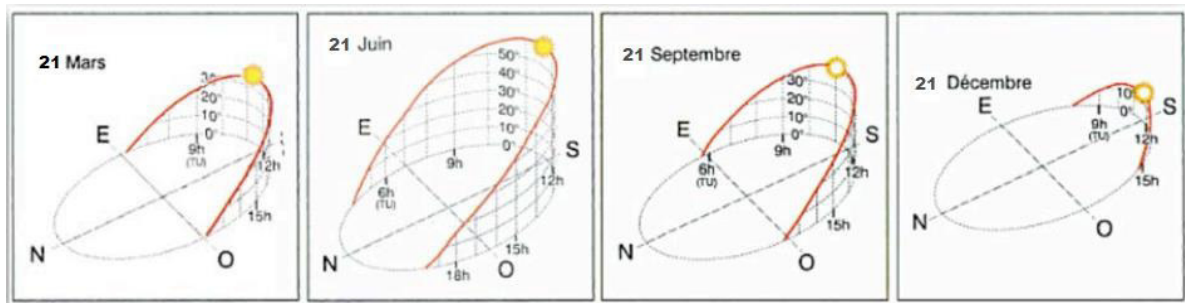


Figure 22: La course solaire durant les saisons de l'année.
(Source : REITER et DE HERDE, 2003)

L'atmosphère parcourue par les rayons du soleil : en milieu de journée, quand le soleil est au zénith, les rayons lumineux traversent l'atmosphère verticalement. Le soleil au zénith semble presque blanc et le ciel apparaît plus bleu (La coloration bleue du ciel est due à une forte réfraction des ondes courtes de la lumière solaire par les molécules gazeuses de l'atmosphère) lorsque l'air est pur. Quand le soleil est à l'horizon, les rayons ont un trajet plus long, la couche atmosphérique à traverser est plus grande. Ce sont surtout les longueurs d'ondes élevées qui sont réfractées, la couleur transmise est alors orangée. Enfin, quand il pleut ou par une atmosphère polluée, toutes les radiations sont diffractées de manière sensiblement égale, le ciel tend vers le blanc. Ainsi, nous pouvons voir que la variabilité de la lumière solaire rend sa prédiction sensible et délicate. Ceci représente en effet l'une des principales difficultés de la prise en compte de la lumière naturelle dans la conception de projets architecturaux. (CHAABOUNI, 2011)

2.7. Définir la position du soleil

Pour repérer précisément la position du soleil dans le ciel à un moment donné, il est nécessaire d'utiliser deux coordonnées : l'azimut et la hauteur

2.7.1. L'azimut :

L'azimut solaire est l'angle que forme le plan vertical du soleil avec le plan méridien du lieu. On le mesure à partir du Sud, vers l'Est ou vers l'Ouest (0° pour le Sud, 180° pour le Nord). (CHAABOUNI, 2011)

2.7.2. La hauteur du soleil :

La hauteur du soleil est l'angle que forme la direction du soleil avec le plan horizontal, elle se compte de 0° à 90° à partir de l'horizon vers la voute céleste (0° pour le plan horizontal et 90° pour le zénith).

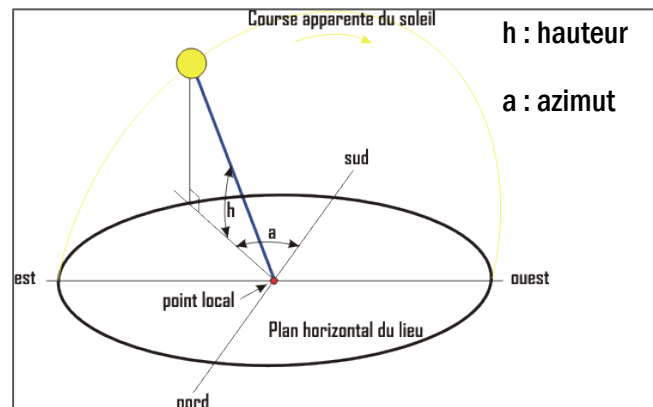


Figure 23: Définition de la position du soleil.

(Source : <http://herve.silve.pagesperso-orange.fr/solaire.htm>)

En joignant les différentes positions du soleil à divers moments de la journée, nous obtenons le tracé de la course du soleil pour une journée. Cette méthode permet de tracer la course du soleil pour chaque jour de l'année. (CHAABOUNI, 2011)

3. L'éclairage naturel d'un bâtiment

Éclairer naturellement un bâtiment est l'un des objectifs à atteindre afin de diminuer l'impact de la construction sur l'environnement. Laisser une grande part de l'éclairage du bâtiment à la lumière naturelle pour diminuer celle de l'éclairage artificiel, permet la réduction des consommations énergétiques.

3.1. Les stratégies de l'éclairage naturel

Le principe des stratégies de l'éclairage naturel des bâtiments est de capter et faire pénétrer la lumière naturelle, de la mieux répartir à l'intérieur et évidemment contrôler et se protéger de la lumière pour éviter l'inconfort visuel.

3.1.1. Capter

Le rayonnement extérieur à capter pour l'utiliser dans l'éclairage intérieur, peut-être de trois natures : direct, réfléchi ou diffus. Pour bien étudier la stratégie de « capter » la lumière naturelle, il est essentiel de prendre en considération le climat, les masques éloignés (topographie) et proches (bâtiments alentours) dans l'implantation du bâtiment.

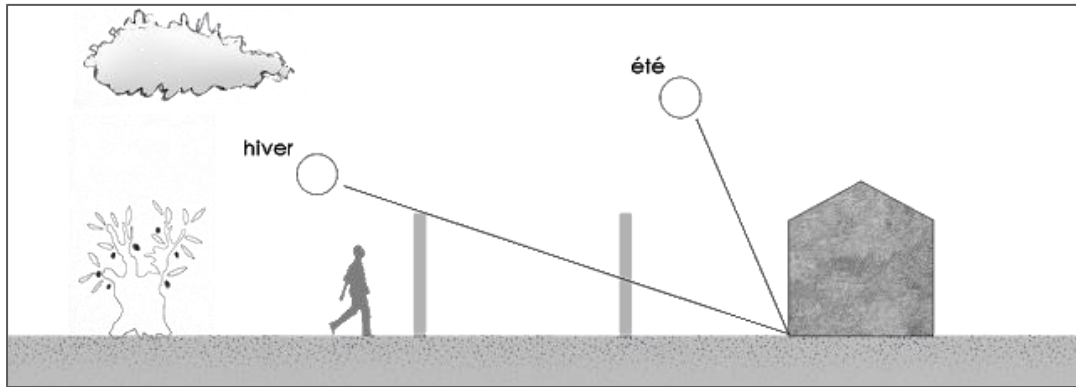


Figure 24: L'impact des masques sur le captage de la lumière naturelle.
(Source : <http://archipositive.blogspot.com/2016/07/passif-1-lumiere-naturelle.html>)

Bien qu'il soit difficile des fois d'avoir un rayonnement direct, le rayonnement qui atteint le bâtiment est généralement réfléchi. Afin de favoriser la quantité de lumière réfléchie, il faut prêter attention à la nature et à la couleur des surfaces environnantes (sols, murs) et leur caractère réfléchissant, ce qui est appelé albédo¹ de surface. La lumière renvoyée est plus importante avec une terrasse au dallage clair mais le risque d'éblouissement est augmenté. Tandis qu'un dallage foncé stocke souvent trop de chaleur en été. Les murs réflecteurs sont une solution efficace pour orienter les rayonnements réfléchis vers des ouvertures peu ou mal exposées aux rayonnements directs (typiquement, les façades nord). (archipositive)

3.1.2. Pénétrer

Cette stratégie concerne les caractéristiques de la fenêtre (dimension, forme, position et vitrage). En terme de performance, la fenêtre horizontale apporte deux à trois fois plus de lumière qu'une fenêtre verticale à surface équivalente. S'ouvrant sur la voûte céleste, la lumière diffuse d'un ciel couvert pénètre largement. Comme la lumière provient du plafond, l'éblouissement est limité. En revanche, une ouverture horizontale n'est possible qu'au dernier niveau du bâtiment, elle génère rapidement une surchauffe en été avec le rayonnement direct du soleil au zénith. (archipositive)

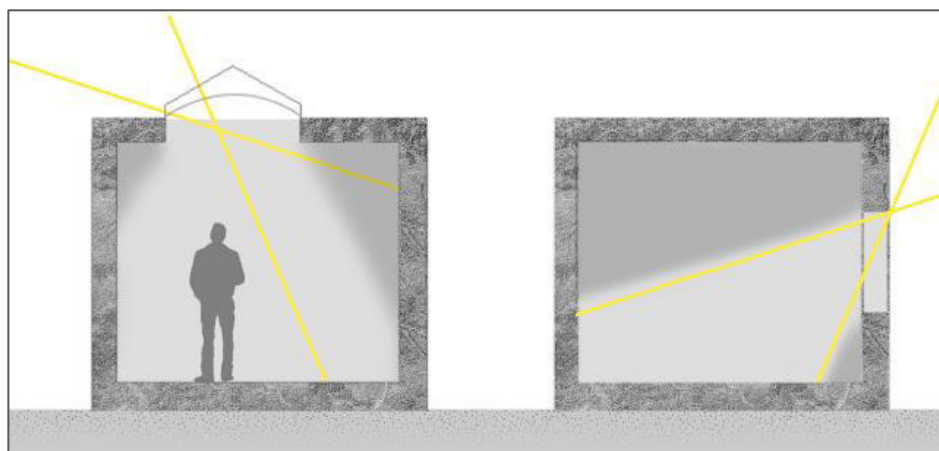


Figure 25: La pénétration de la lumière par ouverture horizontale et verticale.
(Source : <http://archipositive.blogspot.com/2016/07/passif-1-lumiere-naturelle.html>)

¹ L'albédo s'exprime par une valeur comprise entre 0 et 1. Un miroir a une valeur de 1 tandis qu'un corps noir qui absorbe toutes les longueurs d'ondes a un indice nul.

3.1.3. Répartir

Si la lumière est transmise grâce aux percements, encore faut-il la répartir dans l'espace en jouant sur les caractéristiques du local et avec des dispositifs architecturaux simples. Prévoir au moins deux sources différentes d'éclairage naturel (avoir deux fenêtres de directions différentes, selon l'orientation et la position). Les étagères de lumière qui renvoie les rayonnements du soleil pour obtenir une lumière indirecte, plus diffuse. Le principe de second jour pour apporter la lumière naturelle dans les pièces arrière. Des parois et un plafond clairs améliorent la répartition uniforme de la lumière dans la pièce. (archipositive)

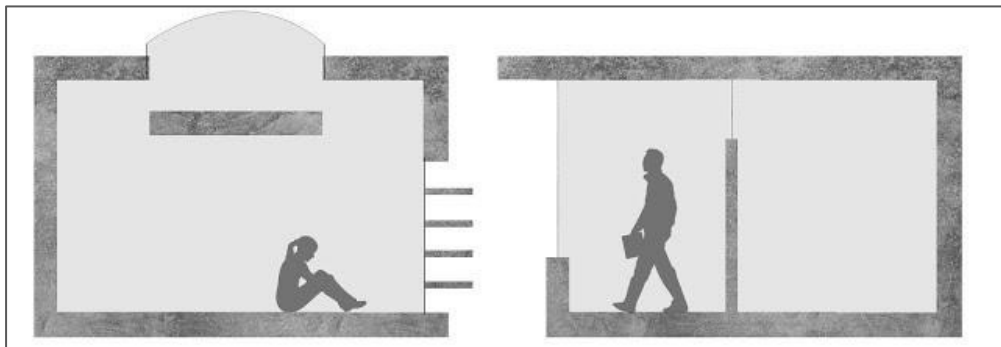


Figure 26: Différents dispositifs pour améliorer la répartition de l'éclairage à l'intérieur du bâtiment (à droite: le second jour, à gauche: les étagères de lumière).

(Source : <http://archipositive.blogspot.com/2016/07/passif-1-lumiere-naturelle.html>)

3.1.4. Protéger

Les rayonnements du sud, et ceux de l'ouest dans l'après-midi, sont source de surchauffe en été. Si les ouvertures possèdent les protections solaires adaptées à leur orientation, on peut tirer parti de ces apports calorifiques en hiver tout en s'en protégeant l'été. Les masques extérieurs fixes remplissent deux fonctions : écran (brise soleil) et réflecteur (étagère de lumière où le choix de l'albédo est capital). Ils sont horizontales au sud (casquette, débord de toiture, auvent, balcon, brise soleil) et verticaux à l'est et à l'ouest, orientées en fonction de la course du soleil. Les rayonnements sont arrêtés en été mais pénètrent en hiver. (LIEBARD et DE HEDRE, 2005)

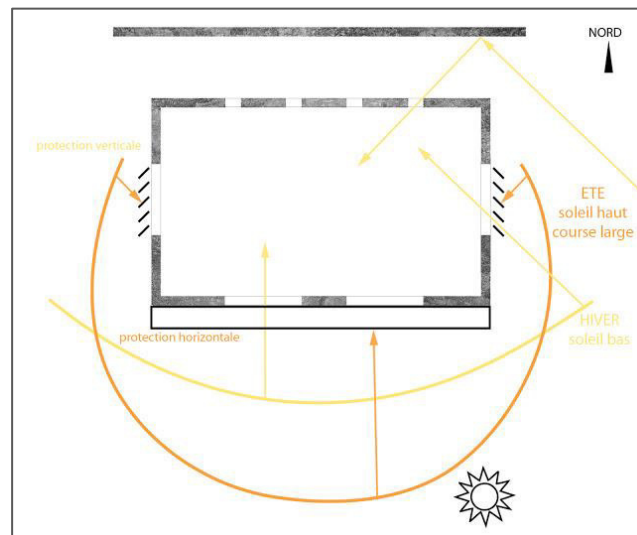


Figure 27: Protections solaires selon l'orientation.

(Source : <http://archipositive.blogspot.com/2016/07/passif-1-lumiere-naturelle.html>)

3.1.5. Contrôler

Une prédétermination par logiciel de simulation ou en test maquette offre la possibilité de contrôler la quantité de lumière pénétrée dans le local.

3.1.6. Focaliser

Il est parfois nécessaire de focaliser l'apport de lumière naturelle pour mettre en valeur un lieu ou un objet particulier. Un éclairage zénithal(ou latéral haut) crée un contraste lumineux important avec l'éclairage d'ambiance, moins puissant. Un atrium au centre d'un bâtiment permet aussi à la lumière du jour de mieux pénétrer dans le bâtiment tout en créant un espace de circulation et de repos attrayant. Des bâtiments hauts et profonds peuvent ainsi recevoir la lumière naturelle en leur cœur par le biais de conduits lumineux. (LIEBARD et DE HEDRE, 2005)

3.2. Les différents facteurs influençant l'éclairage naturel d'un bâtiment :

3.2.1. Typologie et utilisation du bâtiment :

Les besoins en lumière naturelle varient selon l'usage d'un bâtiment : ses fonctionnalités et périodes d'occupation. Les exigences seront différentes dans un bureau, un hôpital ou encore une école. Il existe bien entendu des contraintes diverses concernant la localisation de la construction d'un projet mais si le choix est possible, on préférera, par exemple, implanter une école sur un site dégagé pour offrir aux enfants des vues stimulantes et un maximum de lumière naturelle (ICEB, 2014)

3.2.2. Impact de l'environnement extérieur :

La quantité de lumière naturelle disponible à l'intérieur d'un local est la somme de la lumière provenant du soleil, de la voûte céleste, des réflexions sur les surfaces extérieures et des réflexions sur les surfaces intérieures du local. Plus la composante directe, c'est-à-dire le rayonnement solaire direct et la lumière provenant de la voûte céleste, est importante, plus la qualité de l'éclairage naturel dans le local sera considérée comme satisfaisante. Il en résulte que plus les masques extérieurs sont proches et importants, plus l'éclairage naturel à l'intérieur du local sera faible. On peut considérer que si un local fait face à une obstruction qui ne dépasse pas 25° au-dessus de l'horizon alors le potentiel d'éclairage naturel du local sera favorable. Dans le cas contraire, il faudra évaluer avec attention l'impact de l'obstruction sur la qualité de l'éclairage naturel du local. (ICEB, 2014)

3.2.3. Formes et dimensions des bâtiments :

La géométrie d'un local est également un paramètre influant sur l'éclairage naturel. Elle est souvent liée à la fonction du local lui-même. Cependant, plus un local est profond et étroit, plus il sera difficile d'y obtenir une bonne répartition et pénétration de la lumière naturelle en fond de pièce, même si sa façade est entièrement vitrée. Sur une même façade et à profondeur égale, l'éclairage naturel dans un bureau étroit sera toujours moindre que dans un bureau plus large. Ce phénomène est étudié par un groupe de travail de l'ICEB (Institut pour la conception éco responsable du bâti), à l'aide d'un exemple, ou ils ont comparé les performances d'un bureau à 2 trames avec un bureau à 6 trames.

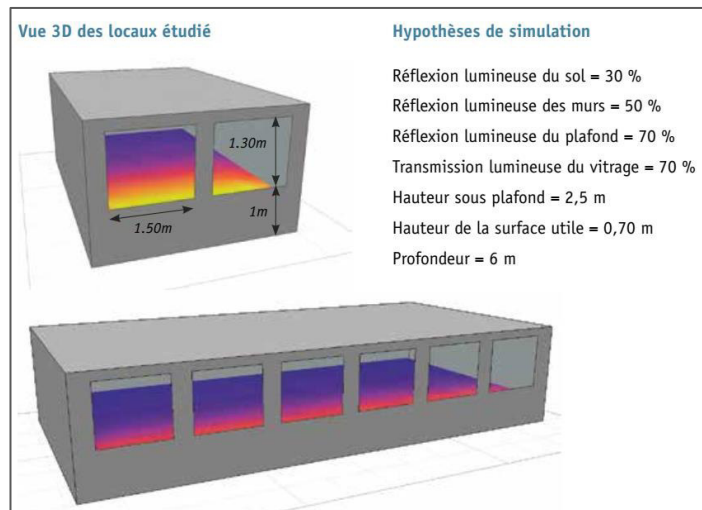


Figure 28: les caractères des deux locaux utilisés dans l'étude de l'impact de la forme et des dimensions du bâtiment sur l'éclairage naturel. (Source : ICEB, 2014)

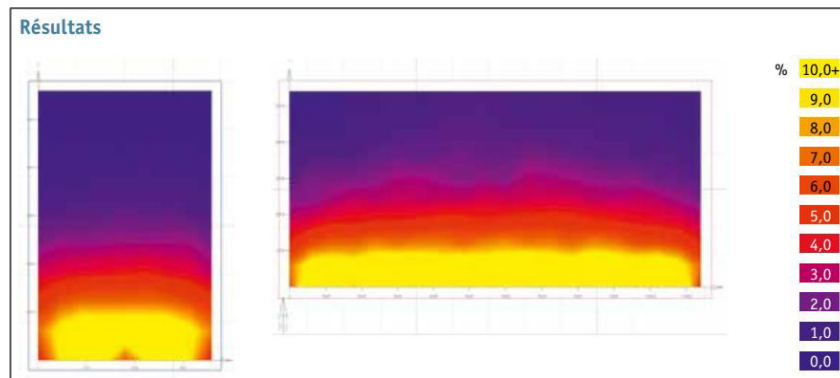


Figure 29: Résultats de l'étude de l'impact de la forme et des dimensions du bâtiment sur l'éclairage naturel. (Source : ICEB, 2014)

Les résultats montrent que les conditions d'éclairage naturel seront globalement meilleures dans le cas d'un local étroit et moins profond que dans un local de plus grandes largeur et profondeur.

3.2.4. Variabilité de la lumière naturelle selon la journée et les saisons :

Comme on a vu dans la première partie de ce chapitre, la lumière naturelle est par nature très variable, elle dépend de la localisation du lieu considéré, c'est-à-dire de sa latitude, sa longitude et de son altitude, ainsi que des conditions atmosphériques et météorologiques (caractéristiques du ciel).

3.2.5. L'orientation du bâtiment par rapport au soleil :

Globalement, un des facteurs les plus influents est l'orientation du bâtiment par rapport au soleil. Non seulement sa lumière améliore le confort visuel des pièces, mais il améliore le rendement énergétique du bâtiment. En cumul annuel, la partie Nord de la voûte céleste est la moins lumineuse. En conséquence, les locaux dont les ouvertures donnent sur cette orientation seront nettement défavorisés. (PAUL, 2007)

3.2.6. Impact de l'intérieur du bâtiment:

Clarté des parois :

La clarté des parois intérieures influence de manière prépondérante la quantité de lumière disponible en fond de pièce. De plus, un local sombre apparaît toujours plus exigü qu'un local clair. (PAUL, 2007)

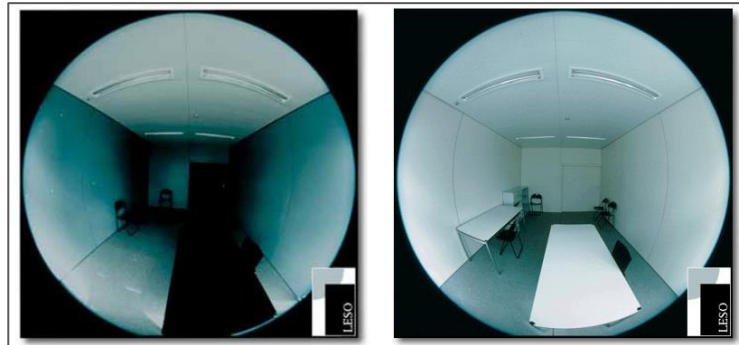


Figure 30: L'impact de la clarté de parois intérieures sur l'éclairage.
(Source : PAULE, 2007)

Clarté du plafond :

Un plafond sombre induit une sensation « d'écrasement » qui est souvent perçue de manière négative par les occupants. (PAUL, 2007)

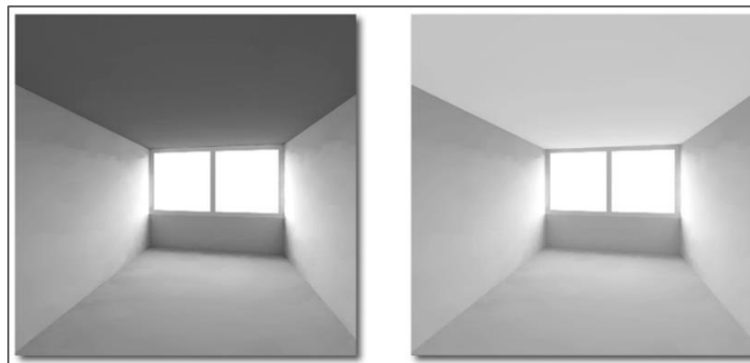


Figure 31: L'impact de la clarté du plafond sur l'éclairage.
(Source : PAULE, 2007)

Brillances :

L'emploi de matériaux brillants entraîne des risques d'éblouissement. Ceci est particulièrement vrai pour les revêtements de sol (l'œil est plus sensible aux fortes luminances dans la partie basse du champ visuel). (PAUL, 2007)

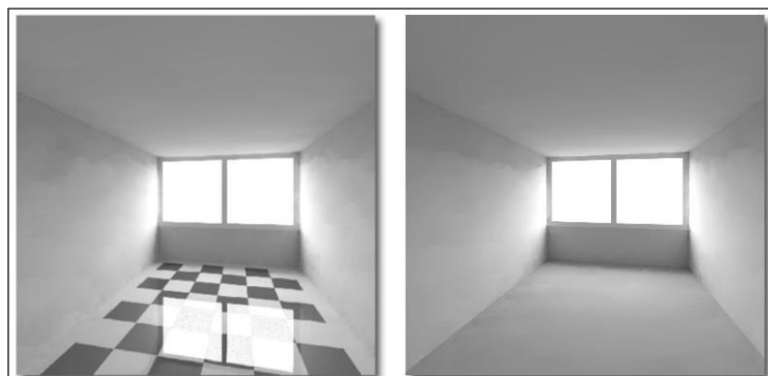


Figure 32: L'impact de la brillance du sol sur l'éclairage.
(Source : PAULE, 2007)

3.3. Les dispositifs d'éclairage naturel

3.3.1. Les ouvertures en façades (verticales):

La baie vitrée en façade est le moyen le plus simple et le plus répandu d'apporter de la lumière naturelle à l'intérieur d'un local. Cependant, une grande surface de vitrage sur une façade ne permet pas à elle seule de définir si l'éclairage naturel sera optimisé. En complément, il y'a d'autres paramètres à prendre en considération :

La forme des ouvertures :

Une forme d'ouverture optimisée peut augmenter la qualité de l'éclairage naturel en limitant les effets de contrastes et les zones d'ombres. On préférera une fenêtre large à la place de plusieurs petites fenêtres étroites afin de limiter une succession de contrastes forts, à surface vitrée égale, on choisira une forme de baie et une position sur le mur qui offre, dans la mesure du possible, une vue sur le sol extérieur, le paysage et le ciel. (ICEB, 2014)

La position des ouvertures :

La position des ouvertures sur la façade aura un impact sur la répartition de la lumière naturelle dans le local qu'elles éclairent. Les impostes permettent à la lumière naturelle d'entrer plus en profondeur dans un local. En revanche, les ouvertures situées en dessous de la hauteur du plan utile ne contribuent pas à l'éclairage des plans de travail tout en augmentant les échanges thermiques.

L'impact de la position de l'ouverture sur l'éclairage naturel d'un local est étudié par un groupe de travail de l'ICEB (Institut pour la conception éco responsable du bâti) par des simulations, les résultats montrent qu'une allège vitrée est peu efficace sur l'éclairage naturel. En revanche, la combinaison d'une fenêtre en imposte et une à hauteur d'œil est la configuration optimale pour l'éclairage naturel. (ICEB, 2014)

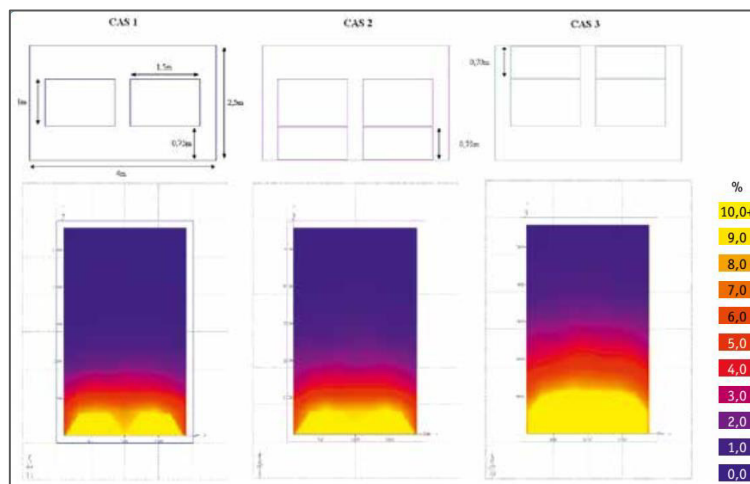


Figure 33: Résultats de la simulation du groupe ICEB, comparaison de la répartition des facteurs de lumière du jour pour trois cas de position de fenêtre. (Source : ICEB, 2014)

Indice d'ouverture :

L'indice d'ouverture représente le pourcentage de surface vitrée rapportée à la surface du local.

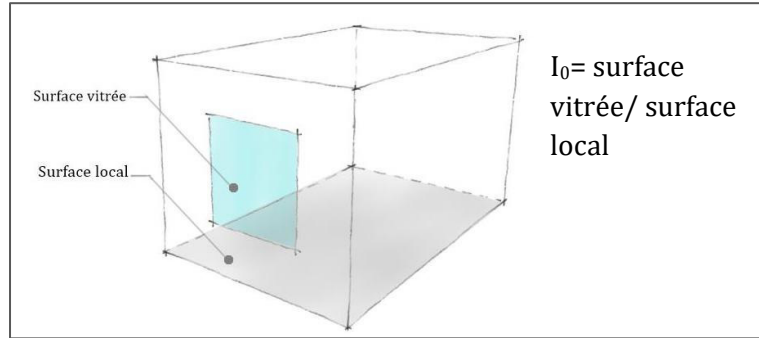


Figure 34: Calcul de l'indice d'ouverture.
(Source : auteur)

$I_0 = 10\%$ n'est pas suffisant pour procurer un éclairage satisfaisant à l'ensemble du local.

$I_0 = 20\%$ généralement suffisant pour offrir une couverture satisfaisante des besoins en lumière naturelle (quantitatif + vues), à condition que l'environnement extérieur et l'orientation ne soient pas trop défavorables.

$I_0 = 30\%$ des risques de surchauffe accru en été (pour les façades exposées).

$I_0 = 50\%$ des échanges thermiques très importants (hiver & été).

$I_0 = 100\%$ correspond à des espaces extrêmement exposés du point de vue éclairage et thermique.

Zone d'influence d'une ouverture :

La zone d'influence de la lumière naturelle est directement liée à la position de la limite supérieure du vitrage (h). Au-delà d'une distance égale à $2xh$, l'influence de l'ouverture est « négligeable ». (PAUL, 2007)

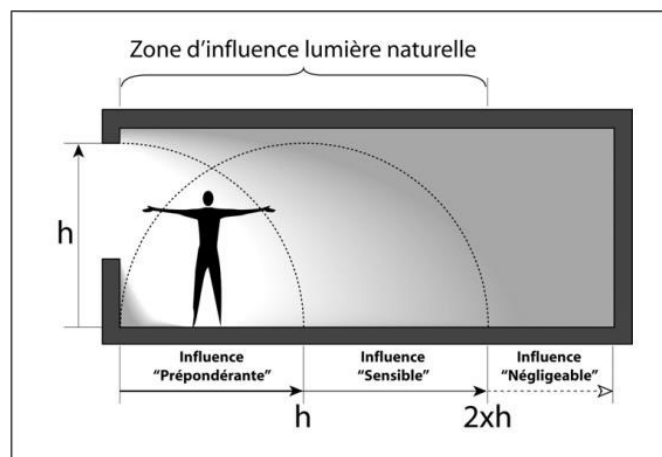


Figure 35: Zone d'influence d'une ouverture.
(Source : PAULE, 2007)

Embrasures :

Dans le cas de parois épaisses (ou si les ouvertures sont de petites dimensions), le traitement des embrasures peut permettre d'augmenter sensiblement la captation de lumière naturelle. (PAUL, 2007)

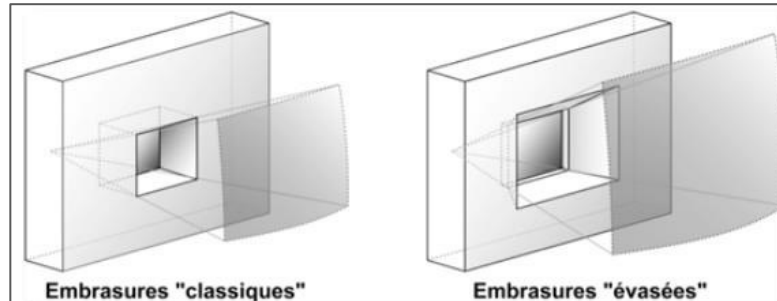


Figure 36: les deux types d'embrasure.
(Source : PAULE, 2007)

Menuiseries :

Les menuiseries représentent un obstacle au passage de la lumière naturelle. La simplification des systèmes d'ouverture permet d'augmenter de façon notable la quantité de lumière transmise. (PAUL, 2007)



Figure 37: l'impact de la menuiserie sur l'éclairage.
(Source : PAULE, 2007)

Linteau :

Chaque fois que cela est possible, il faut aller chercher la lumière naturelle «vers le haut» en réduisant la retombée du linteau. Plus l'angle de vision du ciel est important, plus la contribution de la lumière naturelle sera élevée en fond de local. (PAUL, 2007)

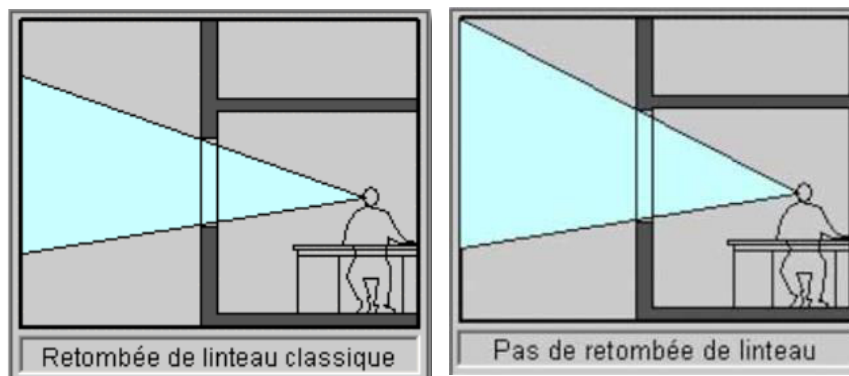


Figure 38: l'impact de la retombée du linteau sur l'éclairage.
(Source : PAULE, 2007)

3.3.2. Les ouvertures en toitures :

Les ouvertures en toiture sont les ouvertures qui peuvent apporter le plus de lumière naturelle. Il existe plusieurs types d'ouverture en toitures :

Verrières horizontales :

Le principe des ouvertures horizontales est d'apporter de la lumière zénithale. À surface égale, les prises de jour horizontales permettent d'offrir deux fois plus de lumière qu'une fenêtre verticale. C'est le bon moyen d'améliorer l'uniformité en fond de pièce ou d'apporter de la lumière naturelle dans les circulations du dernier niveau d'un bâtiment. (ICEB, 2014)

Verrières inclinées :

L'inclinaison des ouvertures permet de rééquilibrer les apports solaires entre hiver et été. (PAUL, 2007)



Figure 39: Comportement des verrières horizontales. (Source : PAULE, 2007)

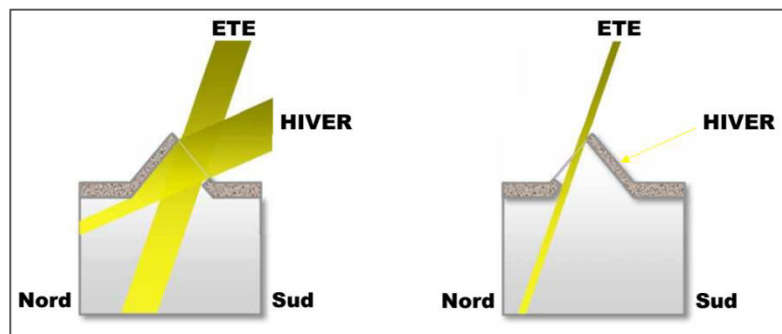


Figure 40: Verrière inclinée selon l'orientation. (Source : PAULE, 2007)

Sheds verticaux :

Orientés au Sud, les sheds verticaux permettent de favoriser les apports en hiver au détriment de l'été. Orientés au Nord, les apports sont extrêmement réduits (mais pas nuls). (PAUL, 2007)

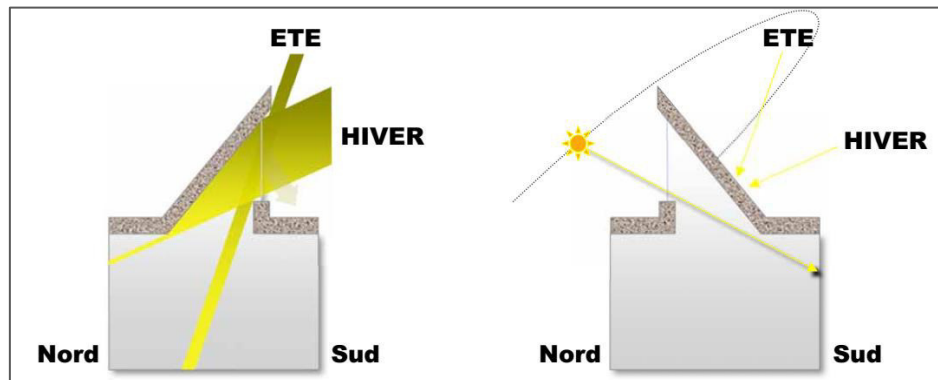


Figure 41: Sheds verticaux. (Source : PAULE, 2007)

Les atriums/patios et puits de lumière :

Ces trois systèmes apportent de lumière naturelle par un volume extrudé plus ou moins grand au cœur d'un bâtiment. (ICEB, 2014)

Atrium : un atrium est une cour intérieure couverte d'une verrière. Il s'agit d'une percée, en général effectuée sur toute la hauteur d'un édifice qui accroît fortement les possibilités de pénétration de la lumière naturelle au cœur même des bâtiments. (REITER et DE HERDE, 2003)

Patio : le patio est un espace à ciel ouvert au cœur de la construction, généralement de forme carrée, qui assure la diffusion de la lumière vers les espaces qui l'entourent.

Puits de lumière : les puits de lumière sont utilisés pour transporter la lumière naturelle à travers un ou plusieurs niveaux afin d'éclairer les pièces sombres éloignées des ouvertures. Il est très important de revêtir le conduit avec un matériau très réfléchissant. Par ailleurs, le rapport Hauteur/Section ne doit pas dépasser 1/8. (PAUL, 2007)

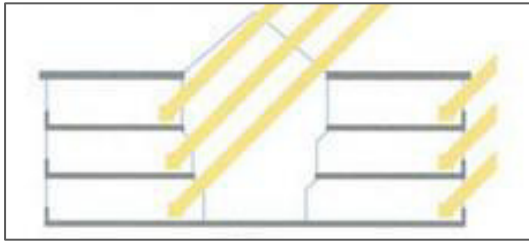


Figure 42: Le principe d'atrium.
(Source : REITER et DE HERDE, 2003)

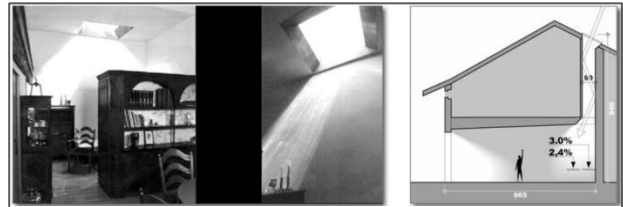


Figure 43: Exemple de puits de lumière, maison Kunz, Genève.
(Source : PAULE, 2007)

Les conduits à lumière :

Le principe des conduits à lumière est un tube en matériau ultra réfléchissant qui collecte la lumière naturelle en toiture et la conduit dans le bâtiment. (ICEB, 2014)



Figure 44: L'éclairage des espaces intérieurs par un conduit à lumière.
(Source : <http://www.notreterre.org/article-28344745.html>)

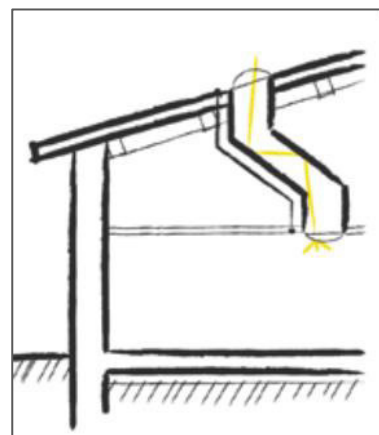


Figure 45: Le principe des conduits à lumière.
(Source : ICEB, 2014)

3.4. L'éclairage naturel des espaces d'expositions :

La lumière est matériau fondamental de l'architecture des musées. Fenêtres hautes et verrières zénithales des salles de peintures des musées du XIX^e siècle, plafonds diffusants, baies vitrées des salles de sculptures, failles ou fentes latérales, toiture à sheds et lanterneaux sont autant de dispositifs qui recueillent, reflètent et diffusent sur les œuvres une lumière adaptée à leur nature. Si la lumière naturelle pénètre au cœur des espaces d'exposition pour orienter le visiteur et valoriser les œuvres, encore faut-il la contrôler pour ne pas altérer ces dernières. (DESMOULINS, 2005)

Certains responsables de la conservation disent que la lumière est la cause numéro un de la dégradation des objets, mais à l'inverse, l'obscurité signifierait la mort d'un musée. Laisser entrer la lumière naturelle dans les salles d'expositions est conditionner par le respect des principes de conservation des œuvres exposées. La difficulté consiste à créer une ambiance lumineuse homogène sans taches de lumière.

La lumière, dans un musée, est utilisée pour la mise en valeur des œuvres, pour mieux comprendre le message de l'exposition, et aussi peut contribuer au parcours.

3.4.1. Les types d'éclairage naturel des musées :

L'ouverture verticale :

C'est le type le plus ancien dans l'éclairage des musées, il peut être sous forme de fenêtres, baies vitrées ou de petites ouvertures (en fonction de l'éclairage souhaité). L'orientation et les dimensions des ouvertures doivent être en fonction de l'emplacement des œuvres exposées, pour éviter tout éblouissement.

L'ouverture Zénithale :

L'éclairage zénithal dans les musées peut être sous différentes formes :

Verrière : toute la toiture est transparente, l'espace baigne dans la lumière naturelle, elle peut prendre plusieurs formes : incliné, voutée.....

Shed : c'est un dispositif en dents de scie, avec une alternance de surfaces vitrées et opaques, ils sont souvent traités pour réfléchir une partie des rayons lumineux.

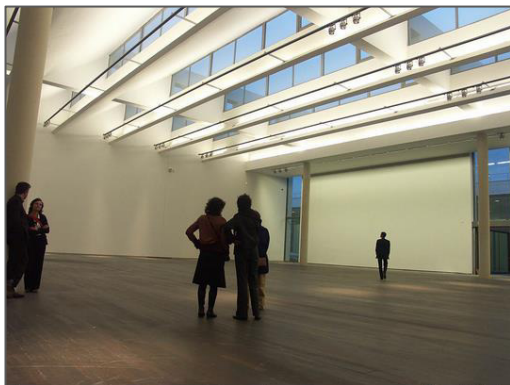


Figure 46: Eclairage d'espace d'exposition en shed, musée d'Art Contemporain, Vitry-sur-Seine, France. (Source : http://www.concepto.fr/portfolio_page/mac-val-musee-dart-contemporain-vitry-sur-seine-france/)



Figure 47: verrière du british museum, Londres. (Source : <https://londonist.com/london/secret/facts-about-the-british-museum>)

Lanterneau :

C'est une structure de plan carré ou rectangulaire, de forme élancée, présente deux faces vitrées opposées surmontées d'un toit opaque.



Figure 48: Vue de l'extérieur du Musée de Grenoble, éclairage d'espaces d'exposition par de grands lanterneaux. (Source : <https://www.macary-page-architectes.com/Musee-de-Grenoble>)

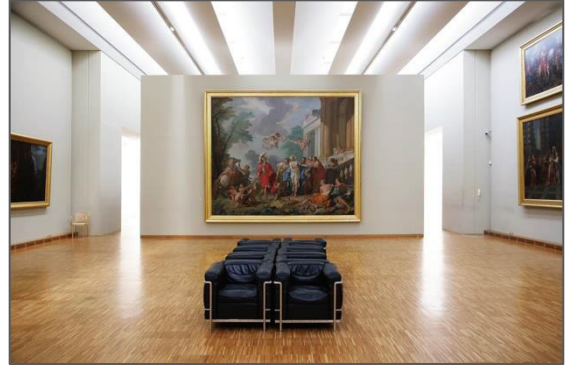


Figure 49: Espace d'exposition éclairé par des lanterneaux, Musée de Grenoble. (Source : <https://www.macary-page-architectes.com/Musee-de-Grenoble>)

Conclusion

Dans ce premier chapitre, nous avons vu l'évolution de l'utilisation de la lumière naturelle au sein du bâtiment et comment elle était un facteur important dans la conception des espaces. Ensuite, on a parlé de lumière dans son cadre physique dans la mesure de découvrir sa nature, ses différentes sources, son comportement, et de son caractère qui nous intéresse le plus : son instabilité, et comment on peut la repérer à tous moments de l'année. Enfin, nous avons répondu à la question la plus importante pour un architecte : comment peut-on éclairer naturellement un bâtiment ? Cela par la présentation de différents dispositifs d'éclairage naturel et par la connaissance des facteurs influençant ce dernier. Finalement, on peut dire que la conception d'un bon éclairage se fonde tout d'abord sur une utilisation adéquate de la lumière naturelle.

Chapitre II : Ambiances lumineuses dans l'espace architectural

« 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, Atmospheres (2006)

Introduction

Peter Zumthor dans son livre « Atmospheres » détermine la qualité architecturale par l'atmosphère que crée un bâtiment et un espace. Il établit un rapport émotionnel à l'environnement de l'homme et à l'architecture. Son point de vue sur l'architecture est généralement expliqué en évoquant un souvenir personnel d'une après-midi ensoleillée passée sous les arcades d'une ville. La lumière est l'un des éléments créateurs d'ambiance dans un espace architectural, elle met le lieu en scène et peut attirer l'attention sur un endroit en particulier en guidant le regard de l'individu.

La lumière naturelle est caractérisée par sa diversité, elle est changeante et elle ne présente pas les mêmes qualités au cours de la journée, des saisons et suivant son orientation, ce qui la place au premier lieu dans la création d'une variété d'ambiances lumineuses.

Dans ce chapitre nous allons essayer de mieux comprendre c'est quoi une ambiance lumineuse, quels sont ses effets sur l'espace architectural et quels sont les facteurs qui peuvent l'influencer.

1. La notion d'ambiance en architecture

Dans le cadre de la pratique architecturale, la notion d'ambiance indique les différents phénomènes physiques environnementaux : éclairage, thermique, acoustique.....etc. Selon Thomas Ouard (OUARD, 2008) l'utilisation de ce terme « ambiance » fait référence à la dimension sensible, au vécu de l'espace. Le terme vécu définit l'expérience individuelle du monde dans son épaisseur spatiale et temporelle, ce qui est vécu fait certes référence à mon expérience du monde, mais se situe toujours dans la contemporanéité de Moi. L'ambiance est un phénomène au sens plein de la phénoménologie, autrement dit la conscience d'une expérience sensible. Elle ne se définit donc pas comme un objet ou un substitut d'objet, mais comme une réalité spécifique immanente à l'individu.

2. La création d'ambiance en architecture

Lorsqu'on parle de création d'ambiance, dans son contexte architectural, cela veut dire que l'architecte peut mener une expérience sensible identifiée auparavant lors de la conception d'un espace. Comme on a dit précédemment, l'ambiance est une expérience exclusivement individuelle, donc à chaque espace il y aurait autant d'ambiances différentes qu'il y a d'utilisateurs. L'architecte, lors de la conception, penserait l'ambiance de son point de vue et non plus de celui des utilisateurs. L'architecte ferait une ambiance qui n'existerait que pour lui (OUARD, 2008). Ouard par cette pensée nous présente la difficulté de l'acte de la « création d'ambiance » puisque cette ambiance créée par l'architecte, de son point de vue propre, est vécue autrement par chaque individu. On peut dire que l'ambiance est créée par deux : l'architecte qui forme l'espace et l'utilisateur qui le vit.

Une étude comparative menée par Céline DROZD (DROZD et al., 2010) sur deux projets : les Thermes de Vals de Peter Zumthor (Vals, Suisse, 1996) et les Bains des Docks de Jean Nouvel (Le Havre, France, 2008) étudie le rapport entre les intentions initiales d'ambiances présentées par les architectes durant les différentes étapes du processus de conception et les ambiances vécues par les utilisateurs après la réalisation des projets. L'étude montre que les ambiances projetées par les deux architectes sont généralement perçues, vécues comme telles par les utilisateurs dans le bâtiment construit. Les différents modes de représentation des ambiances ont permis d'établir des corrélations entre les ambiances projetées et celles vécues (DROZD et al., 2010).

3. L'ambiance lumineuse

3.1. Définition de l'ambiance lumineuse

Selon Narboni (NARBONI, 2006) une ambiance lumineuse vécue est l'interaction entre plusieurs éléments : lumière, espace construit et traité, usage et usager

L'usager : l'appréciation de l'ambiance est en fonction de l'usager, de son vécu, de ses connaissances, de son origine géographique et de son état d'esprit. Par exemple, la perception de la chaleur s'avère différente pour une personne vivant au pôle nord ou en Afrique. Un même lieu peut être perçu comme très chaud pour le premier individu et agréable, voire froid, pour le second. Cet exemple illustre bien que des individus peuvent apprécier différemment un même espace. (CHAABOUNI, 2011)

L'espace construit et traité : le traitement de l'espace, les dimensions et la forme du volume, les matières, les textures et les couleurs qui le caractérisent.

L'usage : en fonction de l'activité, un espace mis en lumière sera perçu et apprécié de manière parfois radicalement différente. Une chambre éclairée par une faible lumière tamisée peut apparaître reposante, mais elle sera potentiellement vécue comme sombre et pesante si l'on y effectue une tâche nécessitant une bonne vision (écrire, lire...). (CHAABOUNI, 2011)

La lumière : par ses effets et la manière dont elle est intégrée à l'intérieur de l'espace.

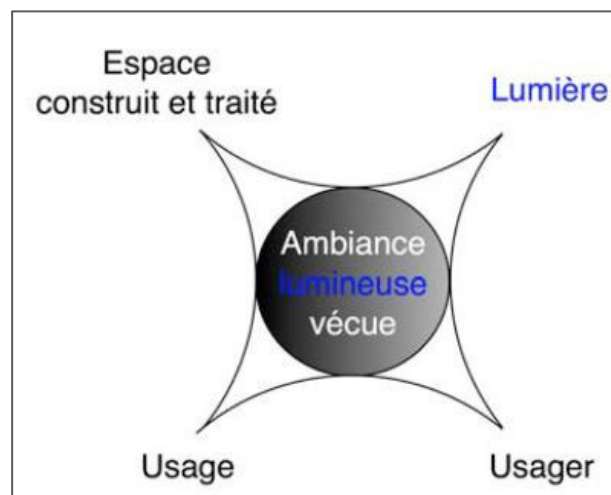


Figure 50: Ambiance lumineuse vécue.
(Source: CHAABOUNI, 2011)

Une ambiance lumineuse est un phénomène qui relève de points de vue multiples. Elle renvoie à des phénomènes physiques (la propagation d'une onde, la réflexion et l'absorption de la lumière par une matière...etc), à des phénomènes socio-humains (citons la capacité oculaire, le besoin de lumière lié aux usages...etc), ou encore à des phénomènes sensibles et esthétiques comme les sensations liées à la lumière, les émotions ressenties...etc. (DAICH, 2012)

Lorsqu'il y a une interaction entre la lumière naturelle et un usage quelconque on parle de quantité et qualité de lumière. L'interaction entre la lumière naturelle et un espace produit les différents effets de lumière.

3.2. L'interaction entre la lumière naturelle et un espace : Les effets de la lumière

3.2.1. Le filtrage :

Avant que la lumière, dérivant d'une source lumineuse, atteigne l'œil, elle traverse toujours un milieu. Ce milieu peut être naturel (atmosphère, brouillard, ... etc.) ou construit (parois translucides ou transparentes, moucharabieh...). Le filtrage se produit lorsqu'un dispositif s'interpose entre deux milieux; sans interdire le passage de l'un à l'autre, un filtre sépare des unités distinctes tel un tamis. Il est nécessaire de traverser ce dispositif pour s'infiltrer; la lumière et le regard sont tous deux transformés. (DAICH, 2012)



Figure 51: Filtrage de la lumière.
(Source: <https://archello.com/project/villa-cp>)

3.2.2. La découpe :

La découpe est provoquée par un rapport figure/fond particulièrement contrasté produisant une distinction nette entre différents plans ou éléments visuels juxtaposés. Le contre-jour produit ce type de motif visuel : la lumière éclaire un objet du côté opposé à celui par lequel on regarde. (DAICH, 2012)

3.2.3. Le cadrage :

Le cadrage a pour double fonction de soustraire au regard une partie de l'environnement visuel en même temps qu'il valorise et unifie ce qu'il rend visible. Il joue de la dialectique du dedans et du dehors de la séparation et de l'unification. Le cadrage questionne le statut des limites visuelles davantage qu'il ne les institue définitivement. En effet, conjointement aux cadres fixés par l'environnement construit, le sujet percevant intervient activement sur la structuration de l'espace de visibilité. (CHELKOFF et THIBAUD, 1992)

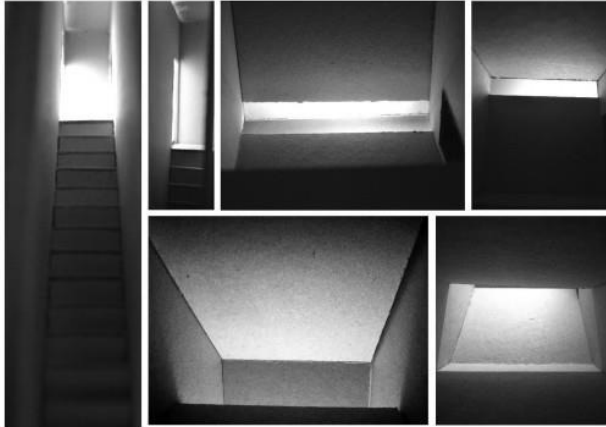


Figure 52: Le cadrage de la lumière.
(Source: http://enacit3srv5.epfl.ch/alice2/WP_2011_S3/pachoud/)

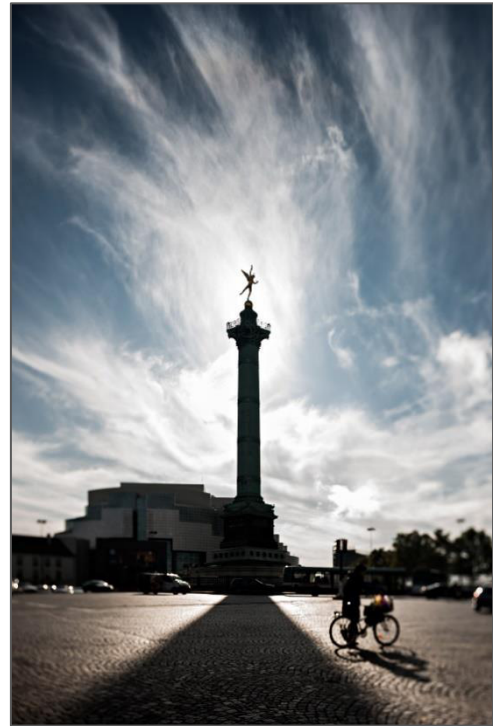


Figure 53: La découpe de la lumière.
(Source: <https://www.arnaudfrichphoto.com/place-de-la-bastille-et-colonne-bastille-en-contre-jour.htm>)

3.3. L'interaction entre la lumière naturelle et un usage: quantité et qualité de lumière

Cette interaction évoque des notions de besoins, de fonctionnalité et de confort. Dans la conception des ambiances lumineuses, la dimension d'usages résulte essentiellement d'une étude des besoins selon les usages attribués aux espaces. Chaque type d'usage nécessite une « qualité » lumineuse particulière, mais surtout une « quantité » de lumière adaptée. (CHAABOUNI, 2011)

Selon Chaabouni (CHAABOUNI, 2011) l'étude de la qualité de lumière (d'un point de vue usage) est généralement l'étude de la distribution de la lumière à l'intérieur d'un espace. Cette distribution peut être évaluée par des grandeurs photométriques mesurables : le flux lumineux, l'intensité lumineuse (voir chapitre I, page 39) ou selon des appréciations perceptibles : distribution homogène, uniforme, contrastée. La qualité de lumière dans un espace est définie par le type d'activité qui se déroule à l'intérieur. Dans un bureau, par exemple, une distribution de lumière uniforme est nécessaire afin d'éviter tout contraste fort, les ombres gênantes et le phénomène d'éblouissement. Mais au contraire, cette distribution uniforme s'avère totalement inappropriés dans un espace où l'usage serait très différent, par exemple pour une salle d'exposition dans un musée.

L'étude de quantité de lumière évoque la notion d'éclairage minimum, elle s'intéresse à un seuil minimum d'éclairage nécessaire afin d'assurer la bonne exécution d'une tâche donnée.

3.4. La qualification des ambiances lumineuses :

La variété des vocabulaires de qualification des ambiances lumineuses est reliée à la diversité des facteurs influençant cette qualification. Une ambiance lumineuse est qualifiée non seulement par le type de lumière, mais aussi par l'état d'esprit de l'observateur et la tâche qu'il accomplit dans le lieu.

Selon Daich (DAICH, 2012) une ambiance lumineuse est classée en trois catégories selon le degré de la luminosité d'un espace :

3.4.1. *La pénombre* : qui représente le dialogue entre l'ombre et une lumière "solide" qui la transperce par endroits.

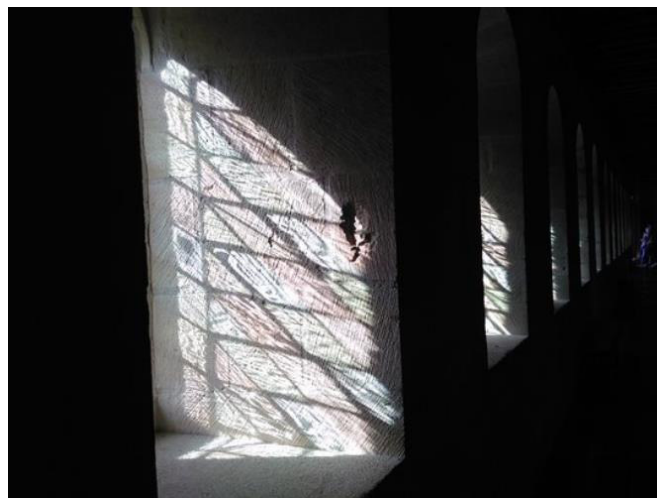


Figure 54: La pénombre en architecture
(Source : <https://www.tripadvisor.fr>)

3.4.2. *L'ambiance lumineuse* : ou la clarté ambiante, omniprésence d'une lumière qui tend à disparaître parce qu'elle est partout.



Figure 55: Ambiance lumineuse
(Source: <https://www.mamaisonmonjardin.com/blog/quelles-ouvertures-pour-eclairer-naturellement-sa-maison/>)

Chapitre II : Ambiance lumineuse dans l'espace architectural

3.4.3. *L'ambiance inondée* : qui est l'exaltation de la lumière qui embrase tout l'espace, trop plein d'une lumière envahissante et parfois écrasante.

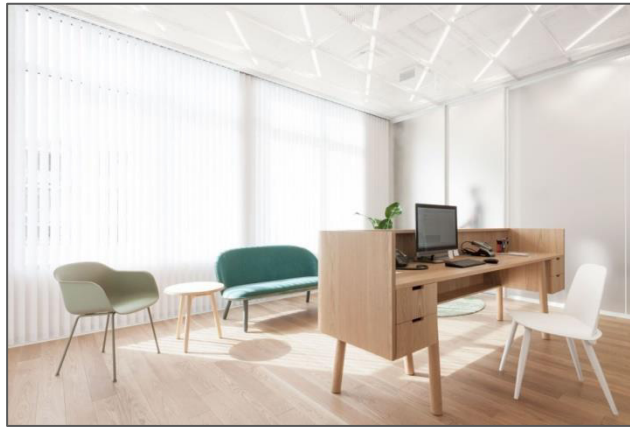


Figure 56: Ambiance inondée.

(Source : <https://www.index-design.ca/article/clinique-ora-par-la-shed>)

Chacun de ces types d'ambiances recouvre une grande variété de manière d'admettre la lumière et une multitude de qualités de lumière.

3.5. La dimension sensorielle et esthétique dans la conception d'une ambiance lumineuse :

Dans un projet architectural, c'est la lumière qui donne naissance à une ambiance lumineuse, qui peut avoir plusieurs lectures selon la manière par laquelle la lumière est pensée à l'intérieur de l'espace. L'architecte Peter Zumthor parle de construire un bâtiment à partir du noir, penser l'édifice comme une masse d'ombre qu'il vient sculpter, modeler afin d'y faire entrer la lumière et la diriger vers des endroits stratégiques en fonction de ce qu'il veut exprimer. (CONSTANS, 2012) Dans la chapelle Saint-Nicolas-de-Flue, Peter Zumthor a éclairé l'intérieur par une ouverture zénithale qui a permis de créer une atmosphère de caverne très intime. Cette mise en scène a complètement changé l'atmosphère à l'intérieure et crée une certaine intimité entre l'individu et le lieu provoqué par la petite taille de l'édifice ainsi que l'éclairage faible provenant de l'ouverture zénithale. L'unique source de lumière provient du ciel, la lumière descend directement du ciel rempli l'espace par un symbolique forte, la personne est attirée par la source lumineuse, son regard est directement dirigé vers le ciel.

Chapitre II : Ambiance lumineuse dans l'espace architectural

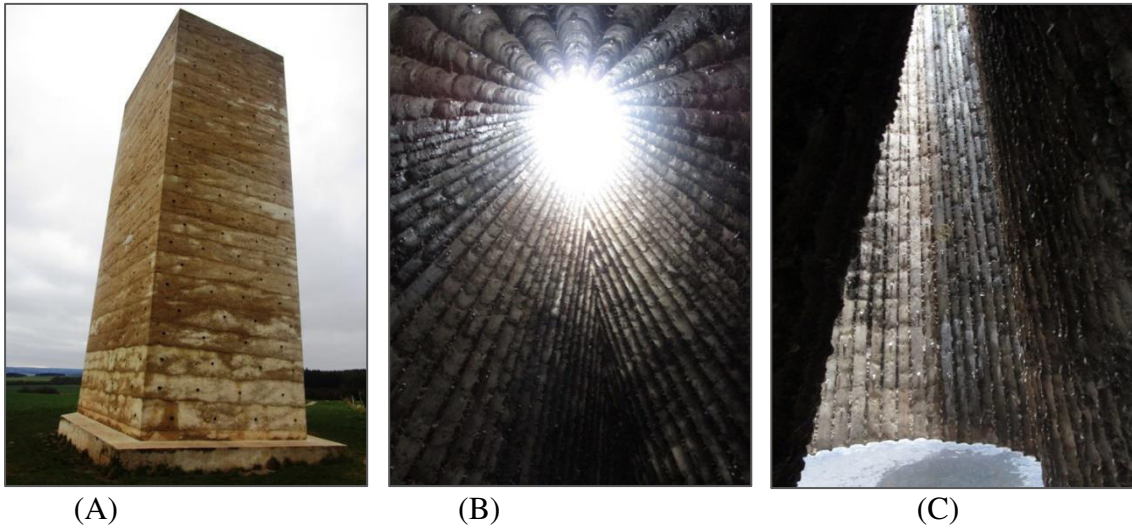


Figure 57: (A) Vue de l'extérieur de la chapelle, (B) L'ouverture zénithale de la chapelle, (C) Le regard est attiré vers le puits de lumière.

(Source : <https://www.protestantismetimages.com/La-chapelle-de-Frere-Nicolas-2007.html>)

Le Corbusier a utilisé le même dispositif dans la chapelle du couvent de la Tourette, des puits de lumière appelés « canons de lumière » sont utilisés pour éclairer la chapelle et la mettre en scène. Ces cheminées amènent de la lumière naturelle à l'intérieur du bâtiment en créant des taches lumineuses concentrées et projetées vers l'intérieur sur le sol.



Figure 58: Les canons de lumière à l'intérieur de l'église.
(Source: <http://arquiscopio.com/archivo/page/14/?lang=fr>)

Dans ce même bâtiment, Le Corbusier a eu recours à environ 14 types d'ouvertures différentes qui procurent différentes sensations et émotions.

Chapitre II : Ambiance lumineuse dans l'espace architectural

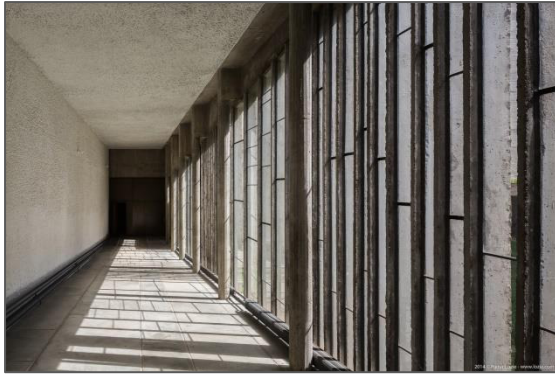


Figure 59: Un jeu de lumière dans un couloir de circulation.
(Source :<http://www.lozie.com/architecture/architects/le-corbusier/>)



Figure 60: Une ligne de lumière sur le mur intérieur dirige le regard vers le fond.
(Source:<https://boutique.arte.tv/detail/architectureslecouventdelatourette>)

Dans le musée juif de Berlin de l'architecte Daniel LEBESKIND, présente différentes ambiances lumineuses dont chacune apporte aux visiteurs un sentiment particulier. Nous citons comme exemple l'escalier principal, avec la structure apparente et la lumière qui se dégrade vers le sous-sol donne aux visiteurs une sensation de remontée vers la lumière.



Figure 61: la lumière venant du haut dans l'escalier principale du musée. (Source: <http://skildy.blog.lemonde.fr>)

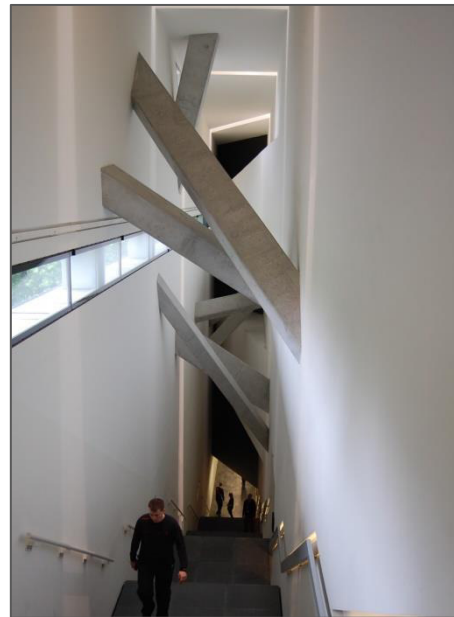


Figure 62: La structure apparente au niveau de l'escalier principal du musée. (Source: <http://www.lankaart.org/article-36316538.html>)

3.6. Les éléments influençant une ambiance lumineuse :

L'évaluation de l'ambiance lumineuse dépend de plusieurs paramètres comme la géométrie et la dimension du local, la couleur des parois ainsi que le plafond et le sol, la quantité et la qualité de lumière reçue à l'intérieur, l'aménagement intérieur, les matériaux utilisés...etc. (DAICH, 2012)

Le choix des matériaux engendre des conséquences importantes sur le ressenti d'un espace architectural et peut procurer une sensation de chaleur ou de froid influençant l'ambiance créée. Ils vont réfléchir ou absorber la lumière plus ou moins intensément et révéler plus ou moins « violemment » les couleurs. De par leur texture, c'est-à-dire leur relief micro ou macroscopique, ils vont jouer avec la lumière en laissant apparaître certaines faces plus que d'autre, certains aspects seront révélés tandis que d'autre « disparaîtront » dans l'ombre. La lumière est réfléchiée dans différentes directions et le choix du matériau influe fortement sur la vision, la perception de l'objet et donc de l'ambiance du lieu. (CONSTANS, 2012)

Conclusion :

Le charme de la lumière naturelle, utilisée dans la conception des bâtiments, réside dans son aspect changeant. Selon le changement du temps, la lumière peut donner un ou plusieurs sens à l'espace. Elle a un impact considérable sur l'ambiance créée à l'intérieur d'un espace, car elle influence le ressenti et la perception de chaque utilisateur de l'espace.

Dans ce chapitre nous avons essayé de mieux comprendre la notion des ambiances lumineuses, ce que nous avons retenu est que l'ambiance est une expérience vécue par l'individu dans un espace précis sous l'interaction d'un ensemble de phénomènes physiques de lumière. Pour mieux comprendre ce phénomène complexe dont les réflexions se diffèrent, nous avons présenté l'utilisation de la dimension sensorielle de la lumière dans la conception de quelque projet célèbre.

Aujourd'hui, il reste beaucoup à faire pour que les ambiances lumineuses soient considérées par les professionnels et les usagers comme un élément essentiel à l'intérieur du bâtiment.

Chapitre III : Cas d'étude et méthodologie de la recherche

Introduction

Ce chapitre va s'organiser en deux parties : cas d'étude et méthodologie de la recherche. Dans la première partie « cas d'étude » nous allons analyser notre terrain d'intervention, une analyse bioclimatique qui va être structurée en deux parties : la première est une analyse du climat de la ville de Jijel en général, la deuxième est plus microscopique c'est l'analyse du micro climat du terrain d'intervention, le but de cette analyse est de prendre en considération les données climatiques spécifiques de la région pour mieux définir les choix des stratégies au niveau de la conception. Puis nous allons présenter une analyse globale sur le musée, afin de bien comprendre c'est quoi un musée. À la fin, nous allons analyser quelques exemples livresques et existants des musées, pour mieux comprendre le fonctionnement et à la fin tirer un programme des espaces nécessaires. Dans la deuxième partie « méthodologie de la recherche », nous allons expliquer la procédure de l'expérimentation appliquée afin de vérifier la validité de nos hypothèses. Avant ça, nous allons présenter quelques notions de base sur les méthodes et outils utilisés dans l'expérimentation.

1. Cas d'étude

1.1. Analyse du terrain

1.1.1. Analyse du climat

Présentation de la ville de Jijel :

Notre terrain d'intervention se situe dans la ville de Jijel, une ville côtière du nord-est de l'Algérie, elle est située à 359 km de la capitale Alger. S'étalant sur une superficie de 2 398 km², avec une façade maritime de 120 km, elle est limitée par : la mer méditerranéenne au nord, la wilaya de Skikda à l'est, Constantine, Mila et Sétif au sud et Bejaia à l'ouest.



Figure 63: Situation de la ville de Jijel.
(Source : Google earth, dessiné par l'auteur)

Le climat de la ville de Jijel :

D'après la carte de classification des climats dans le monde (Figure 81), l'Algérie présente trois principaux types de climat : le climat méditerranéen, le climat semi-aride et le climat désertique. Le long de la côte le climat est de type méditerranéen avec des étés chauds et secs et des hivers doux et pluvieux. C'est la zone la plus humide en Algérie. Jijel détient de record de la pluviométrie en Algérie avec une moyenne de 1 200 mm/an de précipitation. Les températures varient entre 20°C et 35°C en été et 5°C à 15°C en hiver.

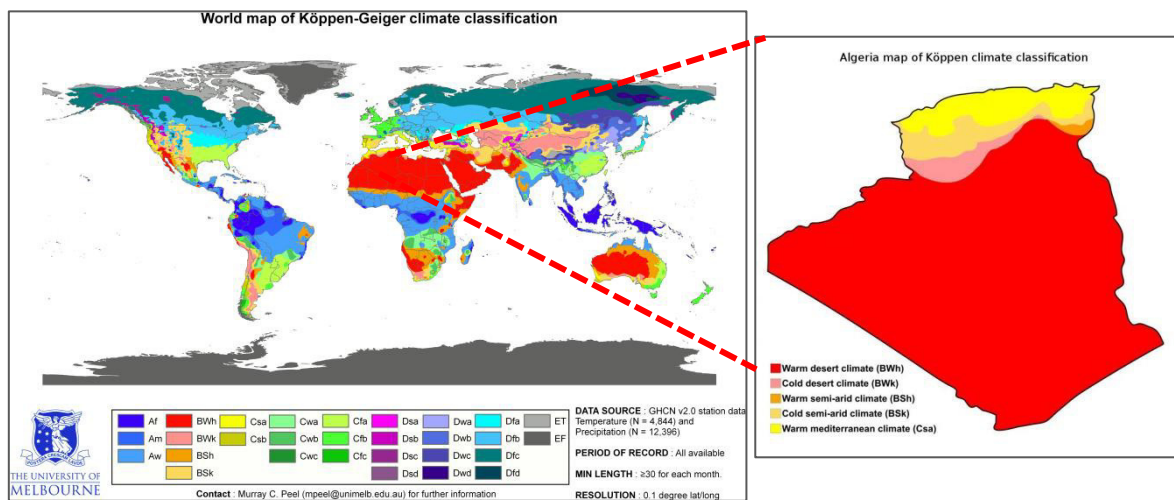


Figure 64: la carte de classification des climats dans le monde (carte de Köppen-Geiger).
(Source : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:World_K%C3%B6ppen_Map.png)

Le relief de la ville de Jijel :

La wilaya de Jijel est caractérisée par un relief montagneux très accidenté. Les montagnes occupent 82 % de la superficie totale, elles se tiennent jusqu'à 1 800 m d'altitude. On distingue principalement deux régions physiques : les zones de plaines et les zones de montagnes.

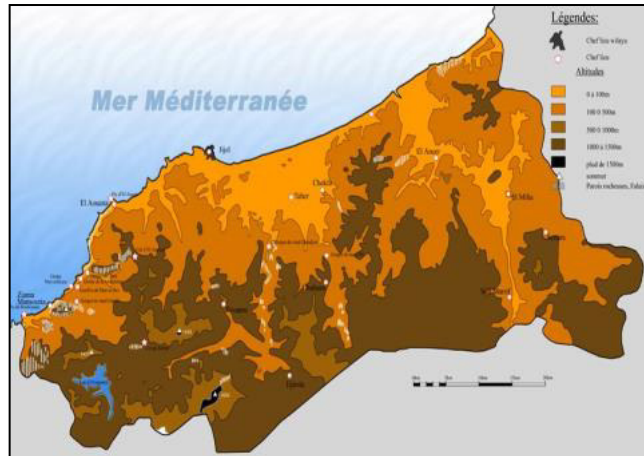


Figure 65: Carte du relief de la ville de Jijel. (Source : KHELLAF, 2012)

Les données climatiques de la ville de Jijel :

La température de l'air :

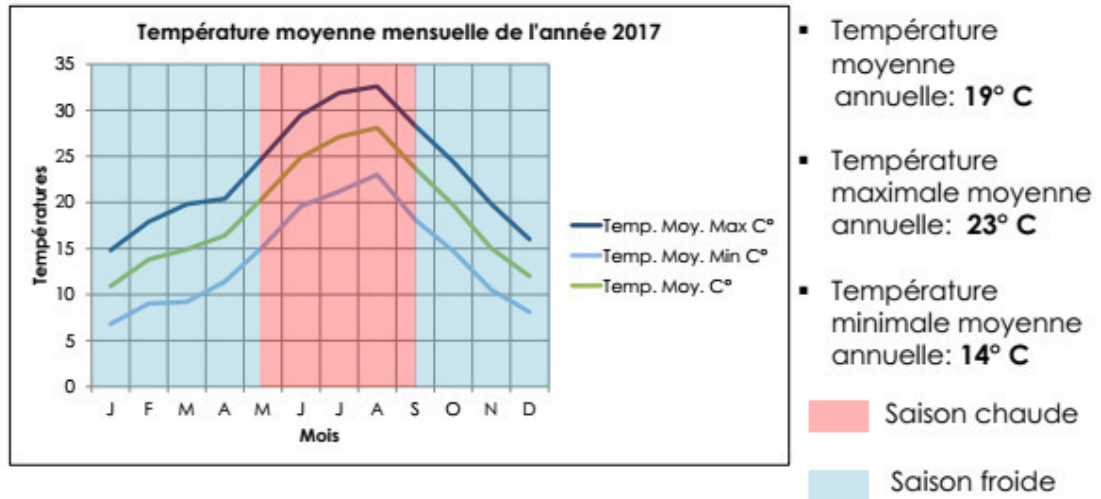


Figure 66: Graphe des températures moyennes mensuelles de l'année 2017. (Source : tutiempo, dessiné par l'auteur)

D'après le graphe, on peut distinguer deux saisons :

Une saison chaude et courte qui s'étale du mois de mai jusqu'au mois de septembre avec des températures comprises entre 15.2° et 32.6°. L'écart entre les températures mensuelles diurnes et nocturnes est faible, dont le mois le plus chaud est le mois d'août avec une température moyenne mensuelle de 28.1°, une moyenne maximale de 32.6° et minimale de 23°.

Chapitre III : Cas d'étude et méthodologie de la recherche

Une saison froide et longue qui s'étale du mois d'octobre jusqu'au mois d'avril avec des températures variant de 6.8° à 24.4°. Au mois de janvier (le mois le plus froid) les températures atteignent leurs valeurs minimales avec une moyenne mensuelle de 10.9°, une moyenne maximale de 14.8° et minimale de 6.8°.

Humidité et précipitation :

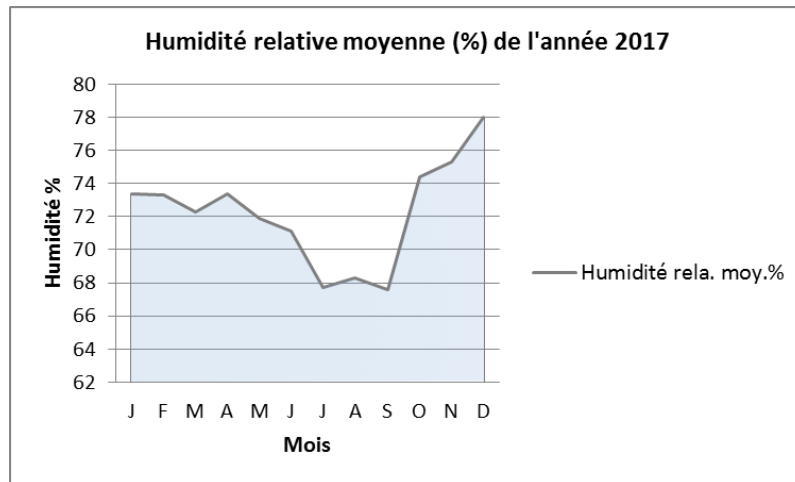


Figure 67: L'humidité relative moyenne (%) de l'année 2017. (Source : tutiempo, dessiné par l'auteur)

On remarque que le climat est très humide avec une moyenne annuelle de l'humidité relative de 72.2%. La période la plus humide est la période hivernale avec une valeur maximale de 78% enregistrée au mois de décembre, et la période dont l'humidité est relativement basse est la période estival une valeur minimale de 67.6% enregistrée au mois de septembre.

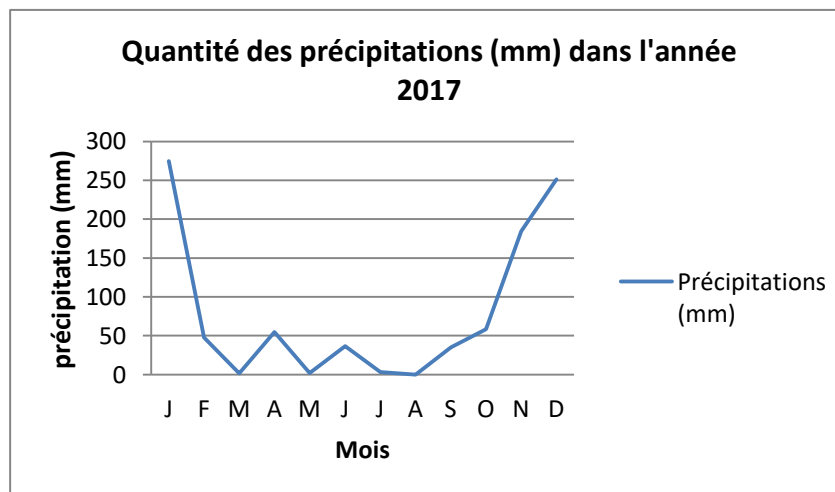


Figure 68: Quantité des précipitations (mm) dans l'année 2017. (Source : tutiempo, dessiné par l'auteur)

La période la plus pluviale est la période d'hiver, du mois d'octobre jusqu'au mois de janvier, dont la valeur maximale des précipitations est enregistrée en mois de janvier 274.57mm avec deux tiers du mois des jours pluvieux (20 jours de pluie). Les précipitations dans la période d'été est faible, dont le mois le plus sec est le mois d'août avec zéro jours de pluie.

Le vent :

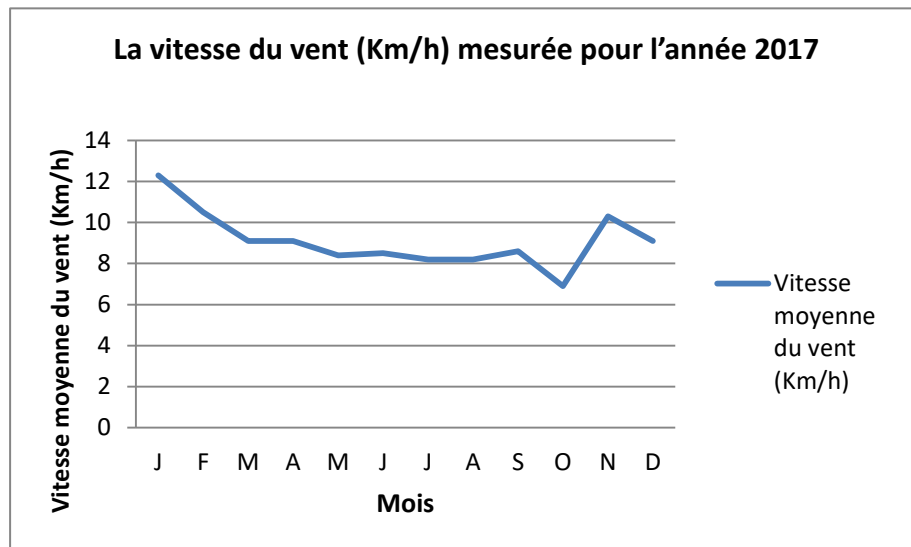


Figure 69: La vitesse du vent (Km/h) mesurée pour l'année 2017.
(Source : tutiempo, dessiné par l'auteur)

La courbe des vitesses des vents présente deux périodes remarquables :

Période d'été : du mois de mai au mois de septembre, la courbe est stable, le vent souffle avec une vitesse moyenne comprise entre 8.2 km/h et 8.6 km/h.

Période d'hiver : du mois d'octobre au mois d'avril, la courbe est irrégulière, une hausse remarquable au mois de janvier, les vents sont assez forts avec une vitesse maximale enregistrée de **77.8 km/h** le 6 Février.

Vitesse moyenne annuelle du vent (Km/h) est de : **9.1 km/h**

Analyse bioclimatique de la ville de Jijel :

L'analyse bioclimatique repose essentiellement sur l'analyse des données climatiques de la ville de Jijel en exploitant les tableaux de Mahoney et le diagramme de Givoni pour ressortir enfin avec des recommandations conformes au climat de la région.

Application de la méthode de Mahoney :

En appliquant la méthode de Mahoney sur la ville de Jijel, on peut ressortir avec un certain nombre de recommandations variant du général (implantation, plan de masse, orientation...), jusqu'au détail (dimension des ouvertures...) :

Recommandations générales :

- Bâtiment orienté suivant un axe longitudinal Est-Ouest afin de minimiser l'exposition au soleil.
- Compacité du plan de masse avec cour intérieur.
- Espacement entre les bâtiments pour favoriser la pénétration du vent, mais avec protection contre les vents chaud/froid
- Assurer une simple orientation du bâtiment afin de permettre une circulation d'air permanente.

Chapitre III : Cas d'étude et méthodologie de la recherche

- Ouvertures de grandes dimensions
- Construction légère, faible inertie thermique, couvertures à revêtements réfléchissants et vide d'air.

Recommandations détaillées :

- Taille moyenne des ouvertures 40 à 80%
- Ouvertures sur murs Nord et Sud à hauteur d'homme du côté exposé au vent.
- Prévoir une protection contre la pluie et un système de drainage approprié des eaux de pluie.

Application de la méthode de Givoni :

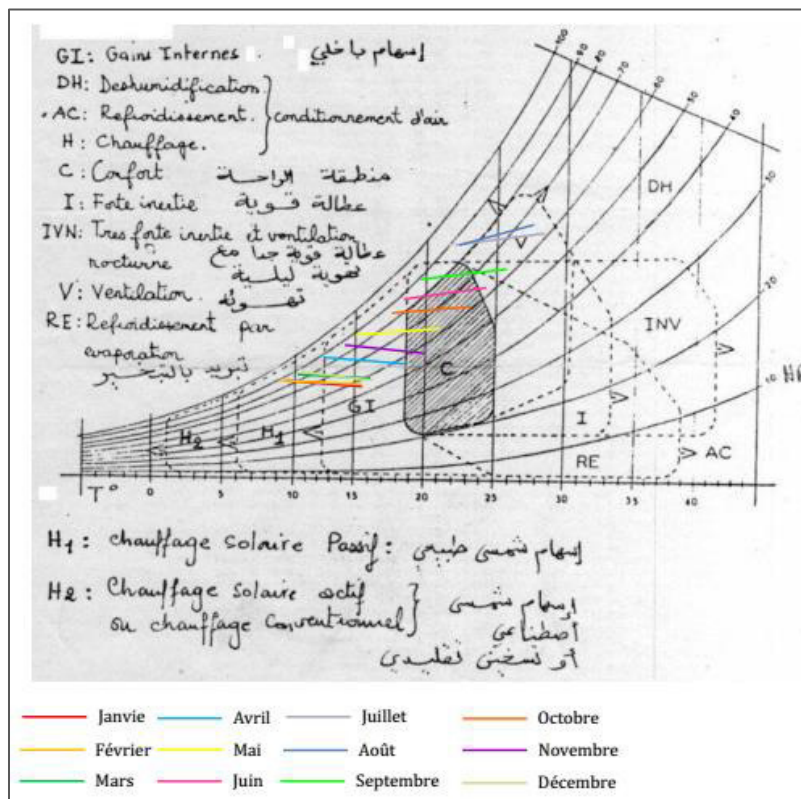


Figure 70: Application de la méthode de Givoni.
(Source : auteur)

D'après le diagramme de Givoni on remarque que :

- La majeure partie des mois de mai, juin, septembre et octobre sont situés dans la zone confort.
- La totalité des mois d'août et juillet sont situés dans la zone de ventilation "V", avec des températures et des taux d'humidité élevés, des systèmes de ventilation sont favorisés pour atteindre les bonnes conditions du confort.
- La majeure partie des mois de janvier, février, mars, avril, novembre et décembre sont situés dans la zone du chauffage solaire passif et des gains internes. Donc il est recommandé d'augmenter les gains internes et d'assurer un chauffage solaire passif

1.1.2. Analyse du micro climat

Situation du terrain d'intervention :

A une distance de 03 km du centre-ville, le terrain se situe dans le POS entrée est (extension est de la ville). POS récemment aménagé, caractérisé par un regroupement administratif et différents équipements culturels.



Figure 71: Situation du POS entrée Est de Jijel. (Source : Google earth, dessiné par l'auteur)

Le terrain est positionné au côté ouest du POS, il est limité au nord par un ensemble d'équipements administratifs et culturel, à l'est par un terrain réservé pour l'aménagement d'un parc urbain de loisirs remarquable par la présence de deux retenues collinaires. Le terrain s'étale sur une forme irrégulière longitudinale selon l'axe nord-sud, sur une surface de 40 000 m². Il est accessible de son côté nord par une voie secondaire, de son côté est par une voie primaire et de son côté ouest par un boulevard périphérique du POS.

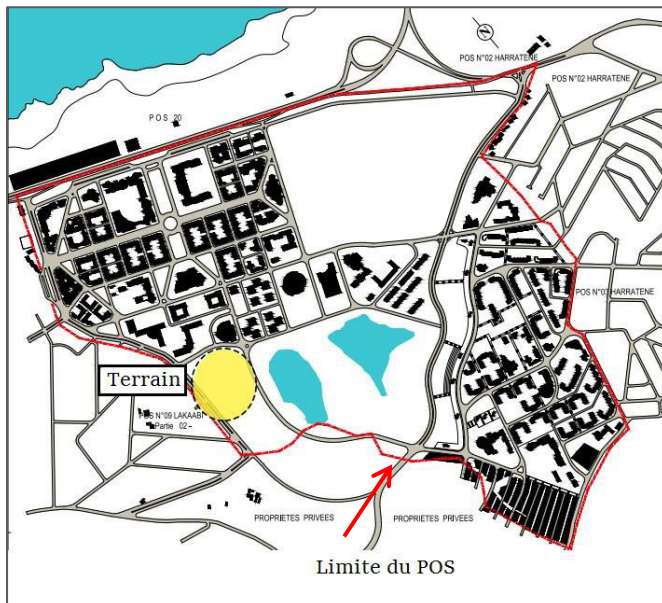


Figure 72: Limites du terrain. (Source : auteur)

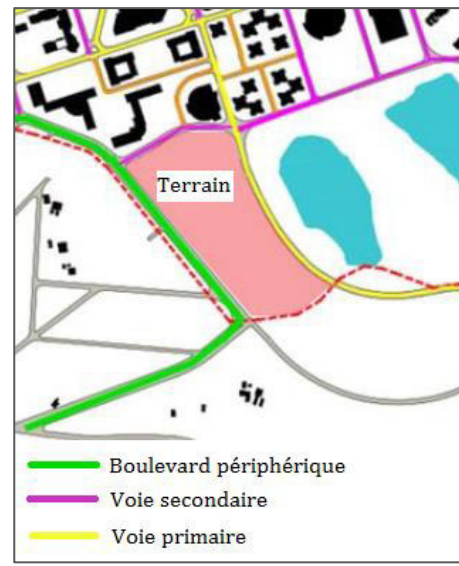


Figure 73: Accessibilité du terrain. (Source : auteur)

Le choix du terrain est basé sur plusieurs caractères :

- Sa situation dans une zone qualifié d'être une future extension de la ville, caractérisée par l'implantation de plusieurs équipements culturel.
- Sa situation dans une partie haute du site, qui peut dégager des vues panoramiques sur la mer sans obstacles.



Figure 74: Photo du terrain.
(Source : auteur)

Relief du terrain :

Le terrain est marqué par sa topographie prononcée, une forte pente dans les deux sens, longitudinale et transversale. La coupe A-A, transversale, présente une pente d'une inclinaison moyenne de 17%, dû à la présence de la retenue collinaire. La coupe B-B, longitudinale, présente deux pentes dans les deux sens, une pente légère de 9% d'inclinaison, et une pente de forte inclinaison 26% dans le sens de la mer.

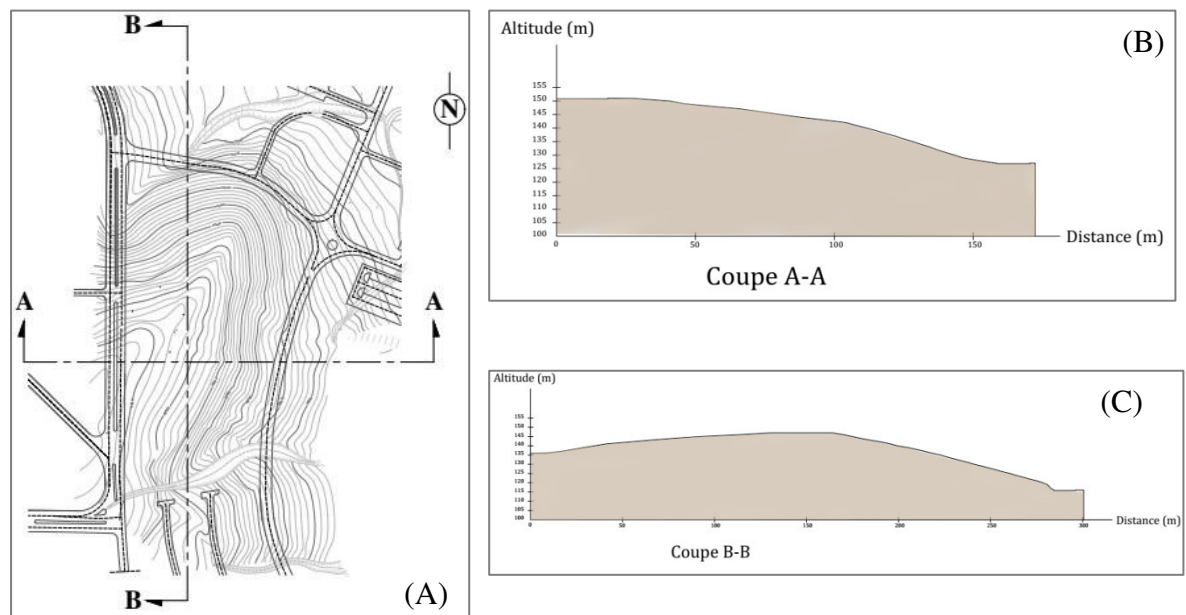


Figure 75: (A) Plan topographique du terrain, (B) Coupe A-A, (C) Coupe B-B.
(Source : auteur)

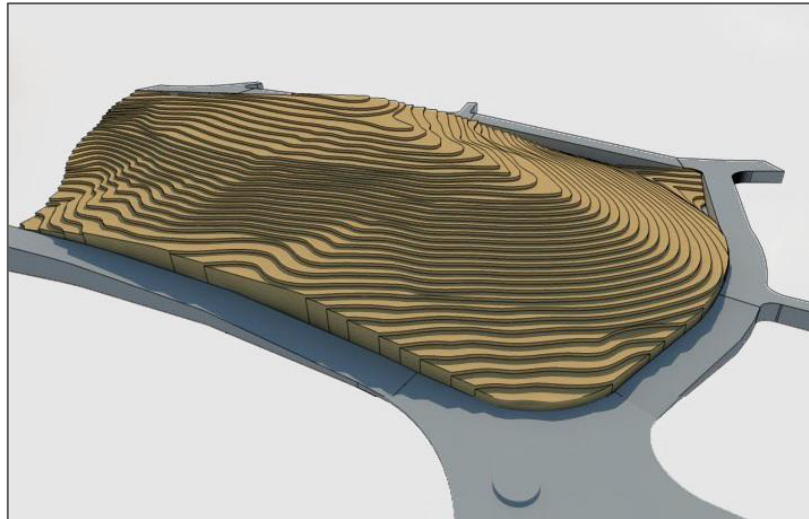


Figure 76: 3D du terrain présente la pente du terrain.
(Source : auteur)

L'ensoleillement :

L'étude d'ensoleillement concerne l'étude de position du soleil dans les 4 saisons de l'année, le solstice d'hiver le 21 décembre, l'équinoxe de printemps le 21 mars et d'automne le 21 septembre, et le solstice d'été le 21 juin.

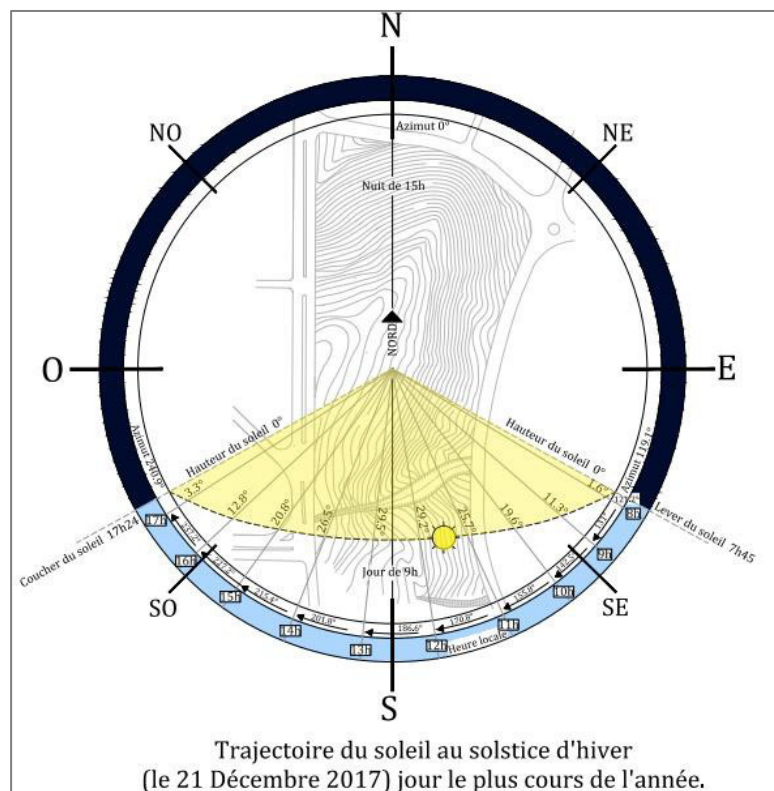


Figure 77: Trajectoire du soleil au solstice d'hiver.
(Source : sunearthtools, dessiné par l'auteur)

En hiver, précisément le 21 décembre, le lever de soleil est à **7h 45min** avec un azimut de **119.07°** côté **sud-est**. Le coucher de soleil est à **17h 24min** du côté **sud-ouest** sur un azimut de **240.93°**. La hauteur du soleil à midi est à **29.5°** de la ligne d'horizon

Chapitre III : Cas d'étude et méthodologie de la recherche

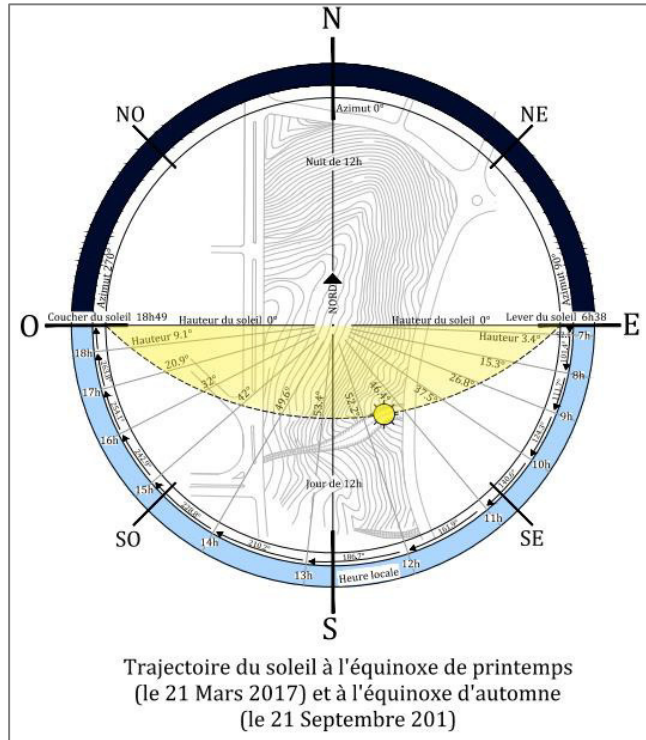


Figure 78: Trajectoire du soleil à l'équinoxe de printemps et d'automne. (Source : sunearthtools, dessiné par l'auteur)

A l'équinoxe de printemps et d'automne, le 21 mars et le 21 septembre, le lever de soleil est à **6h 38min** avec un azimut de **88.97°** côté **Est**. Le coucher de soleil est à **18h 49min** du côté **Ouest** sur un azimut de **271.27°**, La hauteur du soleil à midi est à **53.4°** de la ligne d'horizon.

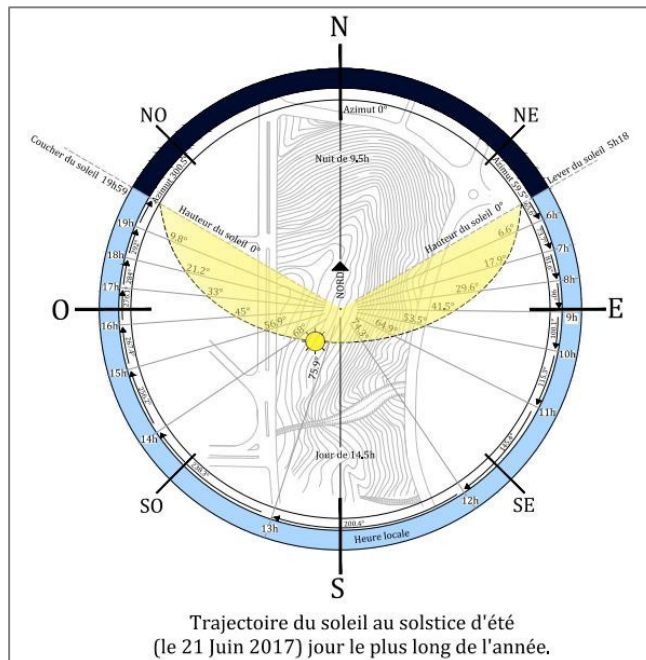


Figure 79: Trajectoire du soleil au solstice d'été. (Source : sunearthtools, dessiné par l'auteur)

En été, précisément le 21 juin, le lever de soleil est à **5h 15min** avec un azimut de **59.49°** côté **Nord-est**. Le coucher de soleil est à **19h 59min** du côté **nord-ouest** sur un azimut de **300.51°**. La hauteur du soleil à midi est à **75.9°** de la ligne d'horizon.

Les vents dominants :

Le terrain est exposé aux vents dominants nord-est en été, et nord-ouest en hiver. Un vent chaud sec souffle du sud vers le nord en période sèche d'été, sa fréquence moyenne est de 24 jours. La topographie du terrain et sa position en hauteur augmente la vitesse des vents. Une couverture végétale dense au côté nord-ouest présente un obstacle aux vents dominants d'hiver.



Figure 80: Carte de la direction des vents dominants. (Source : Google earth, dessiné par l'auteur)

Les masques solaires :

C'est un terrain dégagé, il est totalement exposé aux rayons solaires, sauf que la partie la plus haute du terrain est au côté sud tandis que la partie basse est au côté nord. Ce qui provoque des problèmes d'ombrage lors de l'implantation du projet.

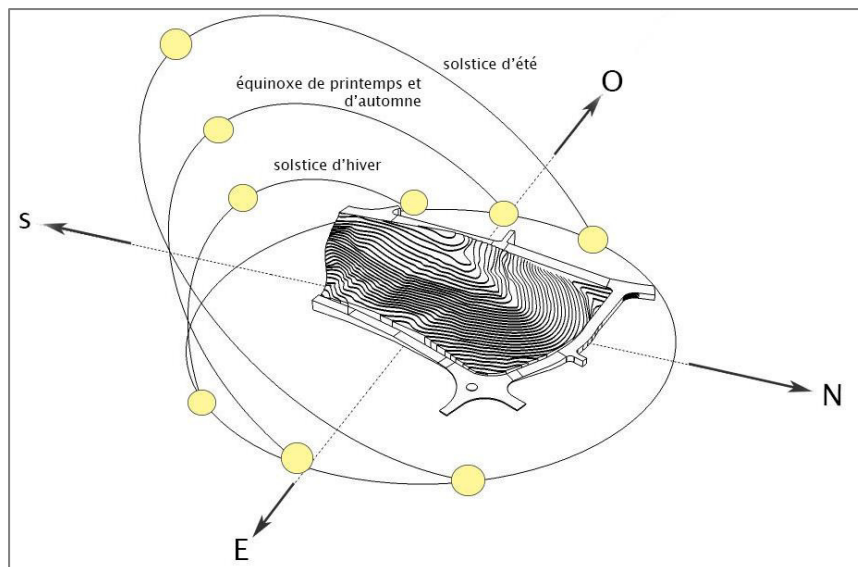


Figure 81: L'exposition du terrain aux rayons solaires. (Source : auteur)

1.1.3. Synthèse :

Pour résumer l'analyse du micro climat, voici un schéma de synthèse qui regroupe tous les influences du climat et du site qui peuvent orienter notre conception bioclimatique.

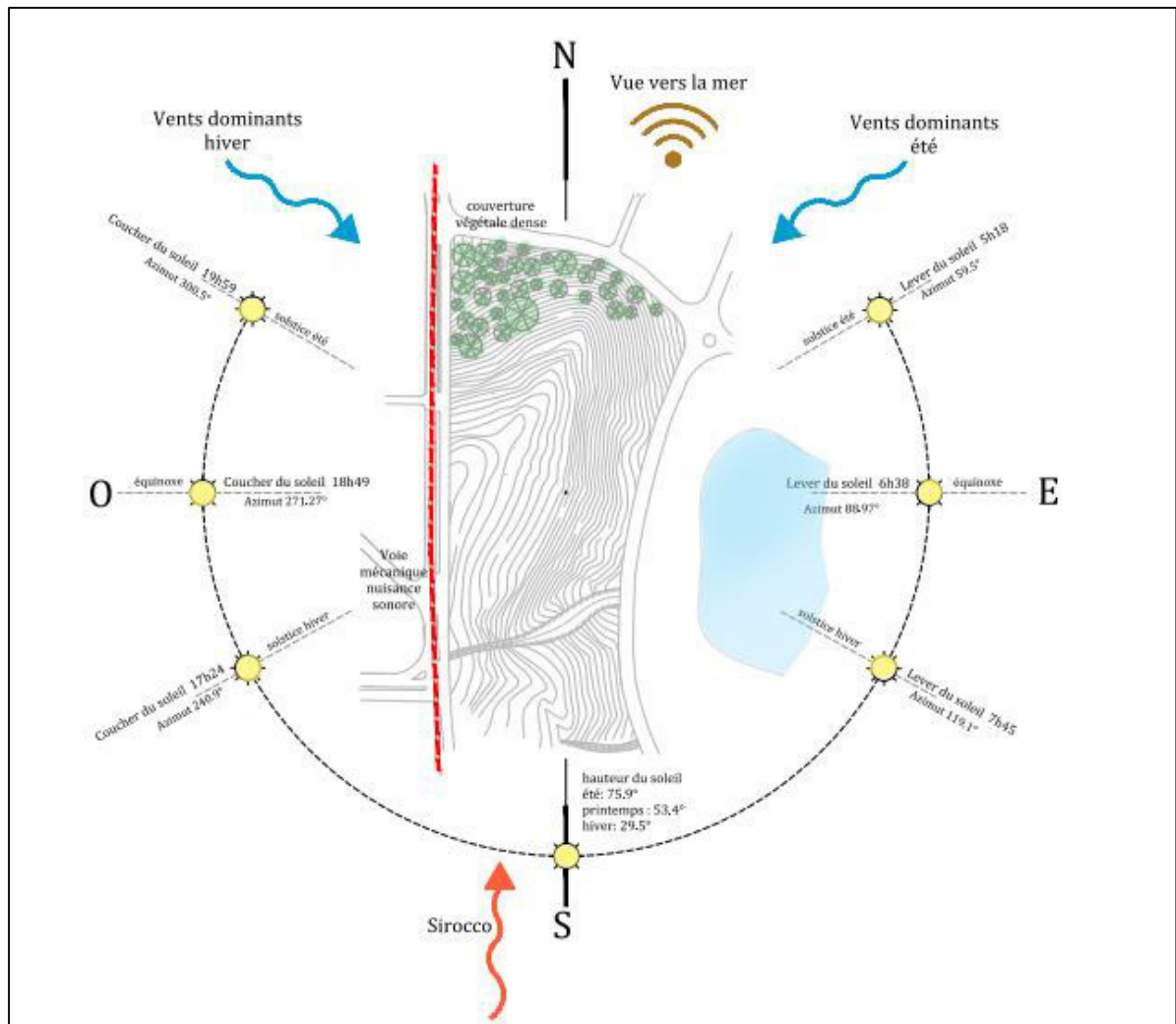


Figure 82: Schéma de synthèse de l'analyse du micro climat du terrain.
(Source : auteur)

1.2. Analyse du musée

1.2.1. La définition du musée :

D'après le Conseil international des musées (ICOM), Un musée est une institution permanente sans but lucratif au service de la société et de son développement ouverte au public, qui acquiert, conserve, étudie, expose et transmet le patrimoine matériel et immatériel de l'humanité et de son environnement à des fins d'études, d'éducation et de délectation.

1.2.2. Les différents types des musées :

Les musées sont généralement spécialisés, on peut citer :

Les musées d'art : consacrés à la conservation et l'exposition d'œuvres d'art, ils présentent des tableaux, des sculptures... choisis pour leur intérêt artistique.

Les musées d'histoire et d'archéologie : ils sont organisés autour d'un thème historique, d'une époque...

Les musées des sciences naturelles : ils s'intéressent à l'histoire de la vie, à la Terre.

Les musées des techniques : ils conservent la trace de techniques anciennes en présentant par exemple des machines, des outils.

Les musées d'ethnographie : ils retracent la vie de nos ancêtres, les gestes qu'ils pratiquaient, les habits qu'ils portaient...



Figure 83: National Gallery of Art à Washington D.C.
(Source: <https://www.thousandwonders.net/National+Gallery+of+Art>)



Figure 84: Musée historique, Haguenau.
(Source: https://fr.wikipedia.org/wiki/Mus%C3%A9e_historique_de_Haguenau)



Figure 85: Muséum d'Histoire Naturelle de la Rochelle.
(Source: <http://www.cosilpeutz.eu/en/node/80>)



Figure 86: Musée allemand des Techniques de Berlin.
(Source: <http://www.berlin-en-ligne.com>)

1.2.3. Les différentes fonctions d'un musée :

Le musée se voit attribuer trois fonctions essentielles : collecter, conserver, et exposer.

Collecter : toute œuvre entrée à l'inventaire d'un musée lui appartient définitivement. Chaque œuvre achetée, reçue en don ou prêtée par l'État est inventoriée (identifiée) sur un registre où figurent, en regard d'un numéro d'inventaire, le nom de l'artiste, lorsque celui-ci est connu, le titre et la date de l'œuvre, la nature et la taille du support, un descriptif, la provenance et la date d'entrée au musée.

Conserver : maintenir les œuvres d'arts en bon état n'est pas facile, ne favorisant leur développement encore plus, un musée doit veiller sur la restauration des objets pour transmettre aux générations successives un patrimoine qui pourrait participer à l'éducation de ces dernières.

Exposer : c'est mettre en vue, en plaçant des objets ou des œuvres d'arts sous les regards du public après une étude approfondi car chacun de ces objets doit être exposé d'une manière différente qu'il soit accroché ou placé dans une vitrine, donc, l'exposition est la tâche essentielle dans un musée, c'est l'image du bâtiment aux yeux de ses visiteurs.

1.2.4. La circulation à l'intérieur d'un musée (le parcours) :

On distingue deux types de parcours :

Le parcours imposé : le plan du musée et la disposition des salles d'exposition conditionne le cheminement des visiteurs les obligeant à effectué tous le même parcours.

Le parcours ouvert : généralement consiste d'un axe principal qui se ramifie en plusieurs salles laissant le choix au visiteur d'y accéder dans l'ordre qu'il veut voir même de ne pas voir ce qui ne l'intéresse pas.

Afin d'offrir au visiteur un parcours intéressant, en traversant la salle d'exposition, tout en le guidant dans un tracé simple, et agréable, car le parcours au sein d'un musée joue un rôle capital pour la connaissance et la découverte du visiteur. De là les principes qui régissent la circulation du visiteur dans le musée se répartissent en (3) catégories :

Le parcours circulaire : un espace central articule les espaces d'exposition dans la périphérie, et le public à la liberté de choisir l'intérieur de sa visite.

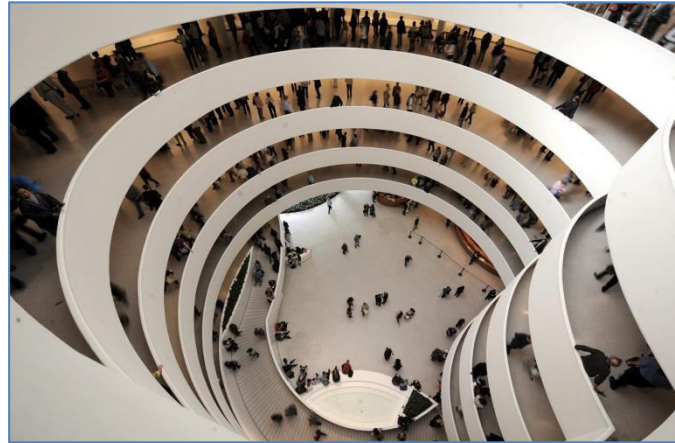


Figure 87: La spirale du musée Guggenheim.

(Source : <https://www.rts.ch/info/culture/livres/8662080-de-la-misere-a-la-gloire-la-saga-des-guggenheim-originares-de-suisse.html>)

Le parcours linéaire : le cheminement dans ce parcours est imposé, les murs de part et d'autre de la salle d'exposition reçoivent les tableaux, le visiteur se trouve dans l'obligation d'emprunter un cheminement imposé.



Figure 88: Parcours linéaire, musée de Grenoble.

(Source : <https://france3-regions.francetvinfo.fr/auvergne-rhone-alpes/sculptures-giuseppe-penone-au-musee-grenoble-597868.html>)

Le Parcours labyrinthe : dans ce type, une série d'espaces différenciés, bien qu'enchaînés entre eux, n'impose aux visiteurs aucune contrainte de circulation, puisque ce dernier a la liberté de parcourir les différentes salles dans un cheminement de découverte.



Figure 89: le musée d'arts contemporain « LE MOCA » à Los Angeles.

(Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Mus%C3%A9e_d%27art_contemporain_de_Los_Angeles)

1.2.5. La forme architecturale:

La forme architecturale du musée est dictée par des considérations contradictoires on peut avoir un musée extraverti ou introvertis, ouvert ou fermé, flexible ou rigide monumentale ou banal.

Le traitement de la façade peut déterminer le degré d'ouverture d'un musée, on peut avoir d'un côté une façade opaque, rigide et massive faisant barrière avec l'extérieur et l'autre, une façade transparente, souple et légère et communicante permettant la continuité de l'espace extérieur vers l'intérieur.

On prend comme exemple les deux musées de Richer Meier, le premier à Francfort et le deuxième à Atlanta, qui sont conçu différemment :

A Francfort ; le musée est situé dans un parc où il y a beaucoup d'espace, c'est un musée qui est tourné vers l'extérieur, il est extraverti, tous les lieux intérieurs sont ouverts sur le paysage et vers la communale.

A Atlanta, le musée est introverti, il est organisé autour d'un espace central, l'atrium qui est une grande promenade architecturale.



Figure 90: L'atrium du musée à Atlanta.

(Source : <https://www.archdaily.com/110019/ad-classics-high-museum-of-art-richard-meier-partners-architects>)



Figure 91: Musée à Francfort, musée extraverti.

(Source : <http://www.archi-guide.com/AR/meier.htm>)

1.2.6. Synthèse

Comme synthèse de l'analyse du musée nous avons tiré un diagramme fonctionnel de l'organisation de différentes fonctions d'un musée.

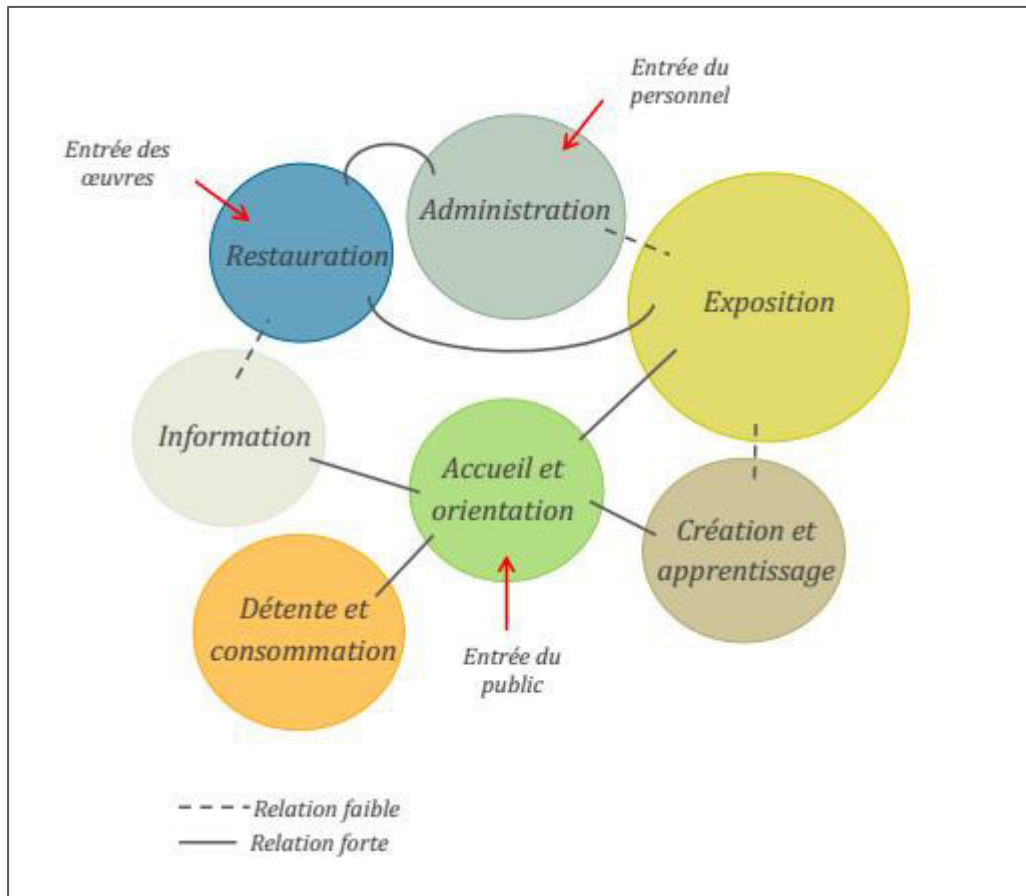


Figure 92: Diagramme fonctionnel d'un musée.
(Source : auteur)

1.3. Analyse des exemples

1.3.1. Le musée du « LOUVRE ABU DHABI » :

Contexte :

Situé à L'émirat d'Abu Dhabi au Moyen-Orient, il est construit sur l'île de Saadiyat, une île naturelle de 27 km², à 10 km de la ville d'Abu Dhabi. Conçu par l'architecte français Jean Nouvel, dont la phase esquisse est duré une année de 2006 à 2007, la phase d'étude est duré 5ans de 2007 à 2012 et l'exécution est duré 4 ans. Le musée est implanté sur la partie côtière de la ville, s'étale sur la mer, il est totalement immergé d'eau. Il est accessible par des passerelles reliant le projet à la côte.



Figure 93: Vue e l'île de Saadiyat.
(Source : <https://www.louvre.fr/louvre-abu-dhabi>)

Musée du Louvre
Abou Dhabi



Figure 94: Vue aérienne du musée.
(Source : <https://www.louvre.fr/louvre-abu-dhabi>)

Concept :

L'architecte s'est inspiré de la culture architecturale arabe traditionnelle pour concevoir le musée. Le projet a été pensé comme une « ville-musée » sur la mer, se compose d'une série de bâtiments blancs inspirés des médinas arabes et des constructions basses traditionnelles. Une large partie du complexe muséal s'étend à l'abri d'une coupole gigantesque, un symbole majeur de l'architecture arabe, souvenir de celle de la mosquée, mais sa forme et sa basse hauteur, donne une expression beaucoup plus contemporaine.



Figure 95: Les bâtiments blancs du musée.
(Source : <http://www.jeannouvel.com/projets/louvre-abou-dhabi-3/>)



Figure 96: La coupole s'étale sur les bâtiments. (Source : <http://www.jeannouvel.com/projets/louvre-abou-dhabi-3/>)

Volume :

Le projet est constitué de 55 bâtiments, la majorité en RDC, élevés à des hauteurs variables de 4 à 12m, de couleur blanche. Une grande partie du musée est couverte par une coupole de 180m de diamètre et de 36m de hauteur depuis le sol.



Figure 97: Maquette du Louvre Abu Dhabi.
(Source : <http://a-res.be/en/archief/saadiyat-island-cultural-district-exposition/>)

Structure et matériaux :

La coupole est soutenue par 4 piliers seulement, distants de 110 mètres et dissimulés au sein des bâtiments, ce qui permet de donner l'impression qu'il flotte. Elle est composée de 8 strates (couches), 4 extérieures et 4 intérieures; elles sont séparées par une structure en acier de cinq mètres de hauteur. Ces deux couches sont formées de 10 000 éléments préfabriqués, pré-assemblés en 85 éléments monumentaux. Chaque couche de ces 8 couches est distinguée par un motif spécifique, le module de base pour la formation de ces motifs est une étoile de 8 branches, caractéristique des motifs géométriques arabes. Chaque couche est formée de l'assemblage de ce module, mais à chaque fois (pour chaque couche) l'échelle et l'angle du motif se change. La superposition de ces 8 couches forme un toit perforé à la manière des claustras des moucharabiehs.

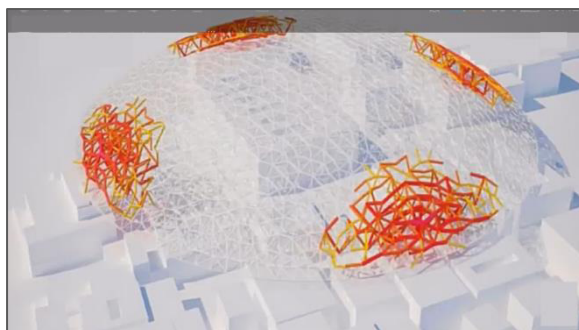


Figure 98: La position des 4 piliers.
(Source : <https://www.dlupal.com/fr/telechargements-et-informations/references/projets-clients/2014/0851>)

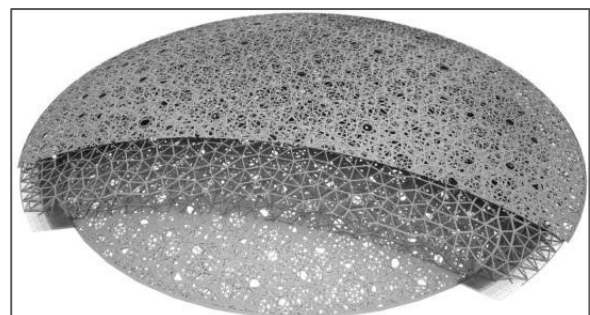


Figure 99: Les différentes couches de la coupole.
(Source : <http://ultimateglance.blogspot.com/2014/05/le-louvre-paris-abu-dhabi-dart-et.html>)

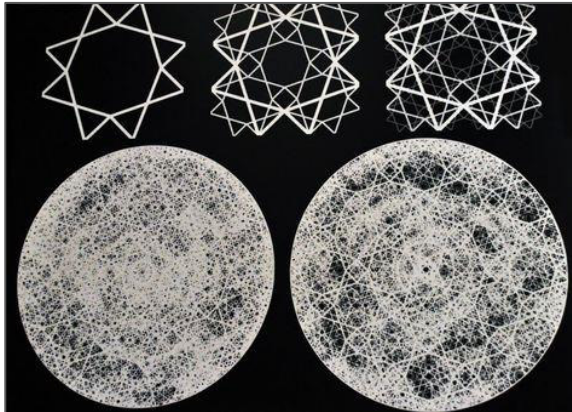


Figure 100: Schéma du module de base.

(Source : <http://architecturalmoleskine.blogspot.com/2012/10/jean-nouvel-louvre-museum-abu-dhabi.html>)

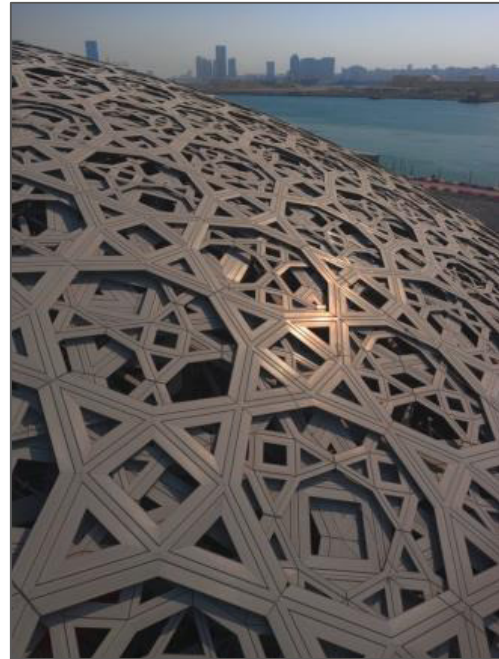


Figure 101: Détail de la coupole.

(Source : www.archdaily.com)

Programme :

Espace	Surface
Galeries d'exposition permanentes	6 400 m ² (26 bâtiments individuels)
Espaces d'exposition temporaires	2 000 m ²
Musée des enfants	200 m ²
Auditorium	420 m ² / 250 places assises
Réserves	/
Bâtiment de conservation des œuvres	/
Ateliers de restauration	/
Espaces publics	/
Bâtiment administration	/
Restaurant	/
Café	/
Boutique	/

L'intégration du projet à son environnement :

Abou Dhabi bénéficie d'un climat aride subtropical, avec des températures élevées qui peuvent parfois atteindre plus de 55 °C durant les mois de juillet. La fonction première du dôme est d'agir à la façon d'une canopée et de protéger les bâtiments et l'esplanade intérieure de l'ardeur du soleil et de la chaleur, de façon à assurer le confort des visiteurs et de réduire la consommation énergétique du bâtiment. On remarque l'espace de circulation (le passage entre les bâtiments) est totalement protégé des rayons solaires sous l'ombre de la coupole, tandis qu'une partie importante des espaces d'exposition s'étale à l'extérieur de l'ombre de la coupole, pour se protéger de ces rayons, des ouvertures de dimensions réduites au niveau de la façade sud.

Chapitre III : Cas d'étude et méthodologie de la recherche



Figure 102: L'espace de circulation entre les bâtiments sous l'ombre de la coupole.
(Source : www.archdaily.com)

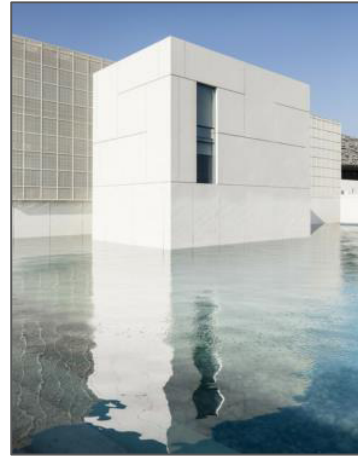


Figure 103: Bâtiments de couleur blanche.
(Source : www.archdaily.com)

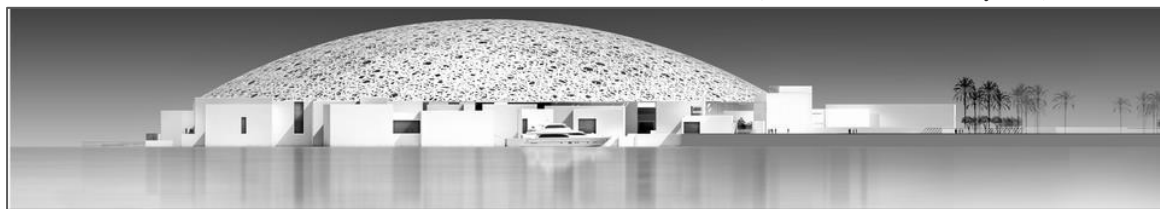


Figure 104: Façade sud du musée.
(Source : www.archdaily.com)

Les perforations du toit laissent entrer la lumière du jour sans apports solaires excessifs ; les matériaux, de couleurs claires, utilisés dans la construction, reflétant la lumière et renvoient la chaleur au lieu de l'absorber. Cela crée un 'microclimat' qui permet aux visiteurs de circuler à l'extérieur entre les bâtiments.

Le côté nord-ouest est totalement exposé aux vents dominants par l'absence des bâtiments à ce côté, ce qui favorise la circulation de l'air à l'intérieur entre les bâtiments, en plus la présence de l'eau toute au tour du projet permet de rafraichir l'air chaud par évaporation.

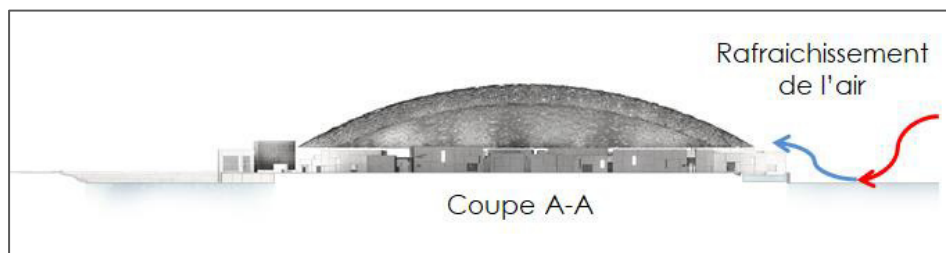


Figure 105: Coupe sur le musée.
(Source : www.archdaily.com)



Figure 106: Vue du côté nord-ouest.
(Source : <http://architecturalmoleskine.blogspot.com/2012/10/jean-nouvel-louvre-museum-abu-dhabi.html>)

Tous ces stratégies ont permettre de créer un micro climat à l'intérieur du projet, dont une différence de température entre l'intérieur et l'extérieur de 5° est marquée.

Ensemble, ces techniques permettent de bénéficier de :

- o une réduction de 42% en apport solaire
- o une économie d'énergie de 27,2 %
- o une économie en eau de 27%

Le design du Louvre Au Dhabi vise une évaluation LEED Silver et a obtenu le niveau 3 pearl Estidama Design.

Les stratégies de la lumière naturelle :

La superposition des huit couches de la coupole forme une couverture ajourée à la manière des feuilles de palmes entrelacées, traditionnellement utilisées comme matériel de toit dans les Émirats.

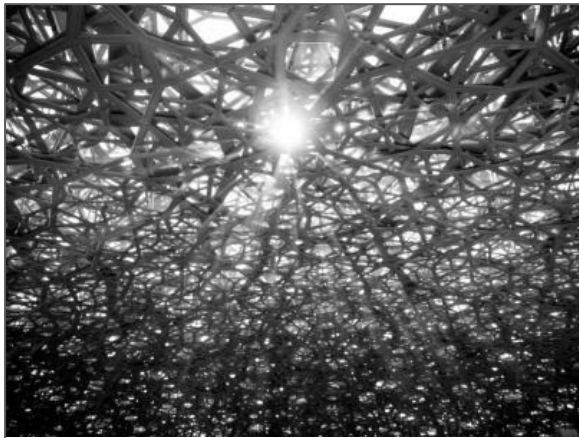


Figure 107: Les perforations de la coupole.
(Source : www.archdaily.com)

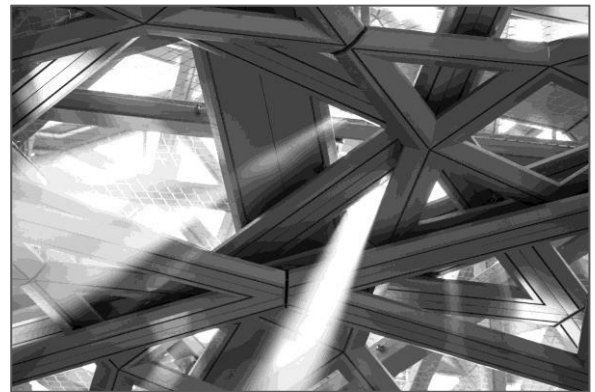


Figure 108: La pénétration de la lumière.
(Source : www.archdaily.com)

Avec un pourcentage de perforation global de : **1.8 %**, chaque rayon de lumière doit pénétrer ces 8 couches, apparaissant et disparaissant au gré de la progression quotidienne du soleil, produisant une ambiance lumineuse agréable au fil de la journée.

Toutes les salles d'exposition sont conçues de façon à recevoir une lumière naturelle filtrée, soit provenant de fenêtres latérales qui permettent des points de vue sur le paysage environnant, soit en éclairage zénithal. Les plafonds de verre permettent de combiner des systèmes d'éclairage naturels et artificiels afin de fournir une lumière optimale pour les œuvres exposées.



Figure 109: Ouverture zénithale dans une salle d'exposition. (Source : www.archdaily.com)

1.3.2. Musée AGA KHAN

Contexte :

Le musée Aga Khan est un musée des arts et de la culture islamiques situé à Toronto, la capitale de la province canadienne d'Ontario en Amérique du Nord. Il regroupe les chefs-d'œuvre de l'art islamique collectés depuis les années 1950.

Le projet est une initiative de l'Aga Khan Development Network, il fait partie d'un complexe qui regroupe 3 projets : le musée Aga Khan, le Centre ismaélien (salle de prière) et le parc. Le site s'étale sur une superficie totale de 7 hectares, tandis que la surface bâtie pour le musée est de 4 000 m² dont la surface totale des 3 étages est de 11 600 m².

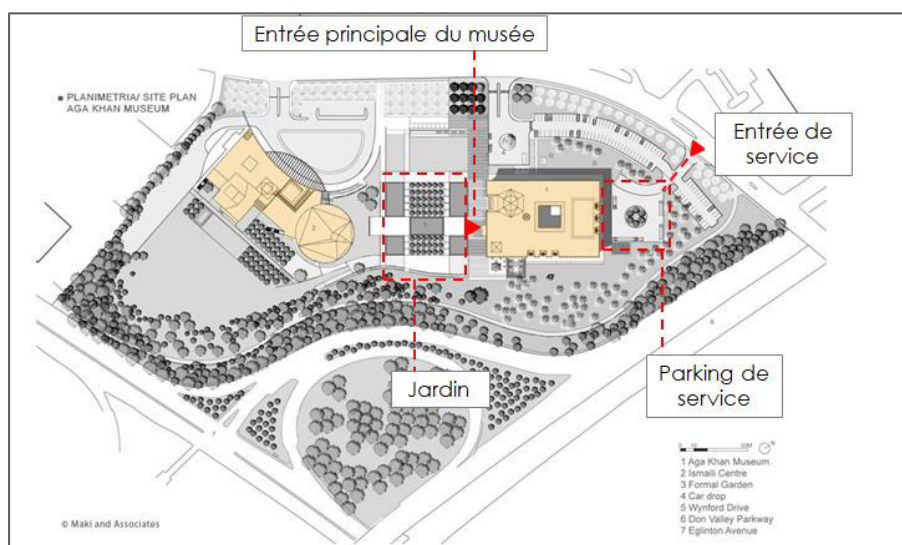


Figure 110: Plan de masse du projet.

(Source : <https://arch.iit.edu/prize/mchap/selected-works/project/aga-khan-museum>)

L'entrée principale du musée est au côté sud-ouest du projet en face d'un large jardin au tracé régulier avec des grands bassins d'eau et des espaces vert, conçu à la manière d'un jardin persan (divisé en quatre parties par un plan en croix). L'accès de service au côté nord qui donne directement au parking de service en contact direct avec le sous-sol.



Figure 111 : L'entrée principale du musée en face du jardin.

(Surface : <https://www.harpersbazaararabia.com/art/news/aga-khan-museum-gulf-initiative>)

Concept :

La notion de lumière était la source d'inspiration pour la conception du musée, une cour centrale à ciel ouvert qui mène la lumière aux autres espaces qu'ils entourent. L'architecte a imaginé le bâtiment comme une composition d'une série de surfaces blanches pliées dans le sens horizontal, autour d'un patio rempli de lumière naturelle. Les différents fonctions du musée sont organisés autour du patio : espace d'exposition, atelier et salle de classes, auditorium, espaces multi médias.

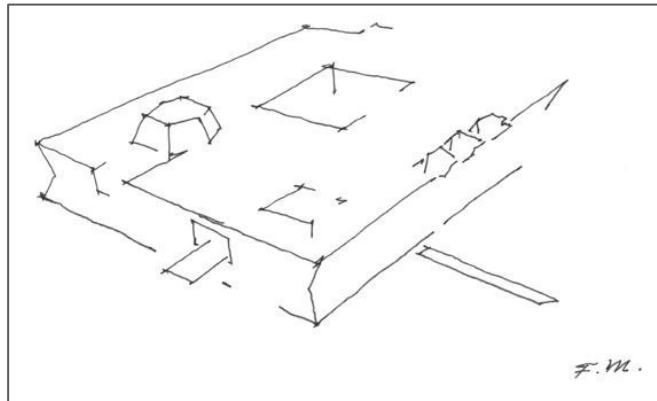


Figure 112: Schéma de conception du musée.
(Source : https://archnet.org/sites/7234/media_contents/87439)

Volume :

Le musée présente un volume simple, un plan rectangulaire de 81 m de longueur sur 54 m de largeur, centré sur un patio carré, entouré de murs en verres gravés aux motifs géométriques de moucharabiehs. Le volume est remarquable par ces façades qui donnent l'impression des feuilles pliées tentent de se soulever. L'entrée principale du musée est en retrait par rapport à la façade ce qui donne une fausse impression que les murs ont plusieurs mètres d'épaisseur. Avec un auvent remarquable en saillie qui protège l'entrée des rayons solaires du sud. Un grand dôme d'une base hexagonale remarquable depuis l'extérieur à côté de l'entrée présente la toiture de l'auditorium. La forme de l'auditorium est étudiée soigneusement afin d'assurer une excellente clarté musicale, le volume de la salle est augmenté de façon significative pour obtenir une réverbération plus élevée.

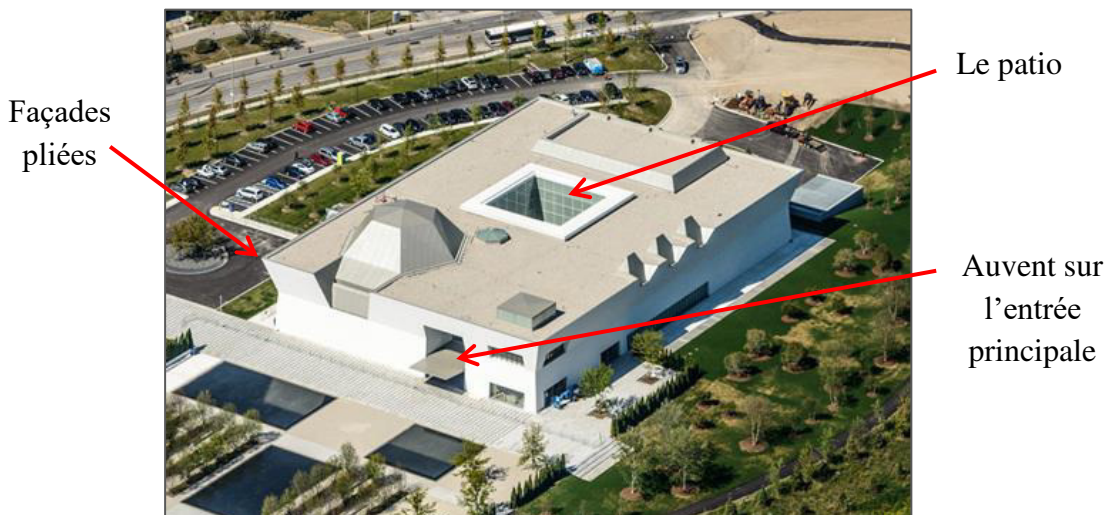


Figure 113: Volume du projet.
(Source : <https://www.designboom.com/architecture/aga-khan-museum-fumihiko-maki-toronto-09-15-2014/>)

Programme :

Le programme se compose de quatre fonctions principales (musée, auditorium, éducation et restaurant). Le plan du RDC s'organise autour d'un patio de forme carré (totalement vitré) entouré d'espace de circulation qui baigne dans la lumière naturelle offrir par le vitrage du patio, tous les espaces : restaurant, magasin, foyer, auditorium, espaces d'exposition, salle de classe, atelier, sont accessible à partir de cet espace de circulation. La surface la plus importante est dédiée à l'exposition permanente. Le patio est utilisé comme espace d'exposition temporaire. Au niveau du premier étage, on trouve les bureaux avec une grande salle d'exposition en mezzanine qui s'ouvre sur la salle d'exposition du RDC.



Figure 114: Plan du RDC.

(Source: <https://arch.iit.edu/prize/mchap/selected-works/project/aga-khan-museum>)



Figure 115: Plan du premier étage.

(Source: <https://arch.iit.edu/prize/mchap/selected-works/project/aga-khan-museum>)



Figure 116: Circulation autour du patio.

(Source: <https://www.theplan.it/eng/webzine/international-architecture/en-aga-khan-museum>)

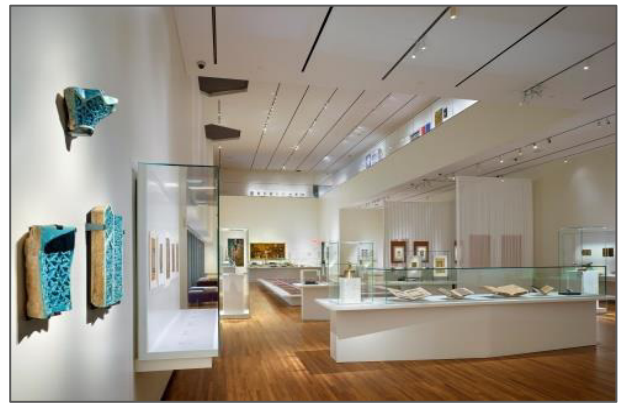


Figure 117: Salle d'exposition.

(Source: <https://www.theplan.it/eng/webzine/international-architecture/en-aga-khan-museum>)

L'intégration du projet à son environnement :

La ville de Toronto bénéficie d'un climat continental humide avec des étés chauds et humides et les hivers froids. Dans un climat pareil, dont la période hivernale est plus importante avec des températures très basses, le captage des rayons solaires est très important. La position du patio au centre du volume, qui est totalement vitrée, sert à capter les rayons solaires et diffuser de la chaleur aux espaces de circulation toute au tour. La basse hauteur du bâtiment R+1 permet la pénétration des rayons solaires à l'intérieur du patio.

Les murs extérieurs se rétrécissent vers l'extérieur en haut et en bas, réagis comme des auvents au niveau des fenêtres afin de les protéger des rayons solaires. L'entrée du projet eu côté sud, est totalement ombrée par un remarquable auvent qui dépasse le volume. Un système de chauffage sous le sol du patio, aidera à empêcher la neige de s'accumuler dans la cour en hiver, et l'eau s'échappera par l'intermédiaire d'un drain en forme d'étoile qui offre un autre signe de symbolisme religieux.



Figure 118: la pénétration des rayons solaires à l'intérieur du patio.
(Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Mus%C3%A9e_Aga_Khan)



Figure 119: Entrée du projet sous l'ombre de l'auvent.
(Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Mus%C3%A9e_Aga_Khan)

Les stratégies de la lumière naturelle :

La lumière été un élément principal dans la conception du musée, à partir des murs vitrés, qui entourent les quatre côtés du patio, gravés d'un motif qui fait référence aux écrans de moucharabieh de l'architecture islamique traditionnelle. C'est un motif géométrique tiré d'une étoile de huit branches.

Alors que le soleil se déplace autour du bâtiment, ces gravures sont imprimées sur les murs intérieurs du bâtiment à travers la lumière naturelle à la manière d'un moucharabieh. Des puits de lumière en aluminium, de forme hexagonale, perforés avec de petites ouvertures hexagonales, permettent de filtrer la lumière naturelle diffuse dans les galeries d'exposition depuis le plafond.

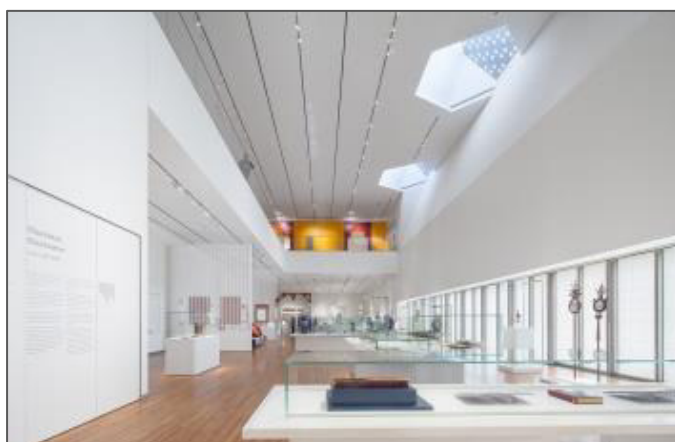


Figure 120: Lumière naturelle filtrée par les puits en hexagone.
(Source : <https://arch.iit.edu/prize/mchap/selected-works/project/aga-khan-museum>)

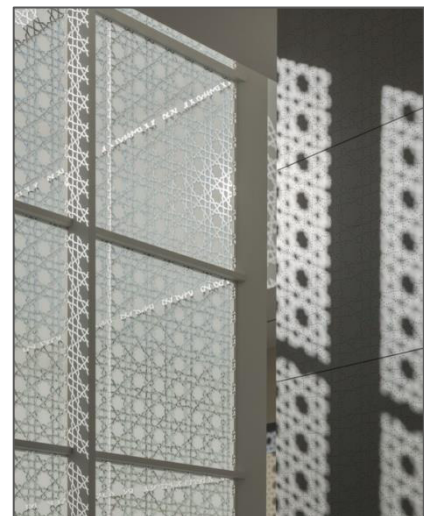


Figure 121: Gravures de moucharabieh imprimées sur les murs intérieurs.
(Source : <https://www.theplan.it/eng/webzine/international-architecture/en-aga-khan-museum>)

1.3.3. Musée d'art contemporain à Barcelone

Contexte :

Le musée d'art contemporain de Barcelone est situé à Barcelone, la capitale de la province de Barcelone, l'une des quatre provinces de la communauté autonome de Catalogne, au Nord-est de l'Espagne. Le projet est implanté dans le centre historique de Barcelone, dans un tissu urbain dense. L'entrée principale du musée est au côté sud-est à partir d'une esplanade qui vient d'aérer la densité du quartier. On peut découvrir le musée à partir des petites ruelles étroites du quartier. La conception du musée est due à l'architecte américain Richard Meier. La réalisation est commencée en 1987, est achevée et inaugurée en 1995. Le projet présente une surface planchée totale de 14 000 m².

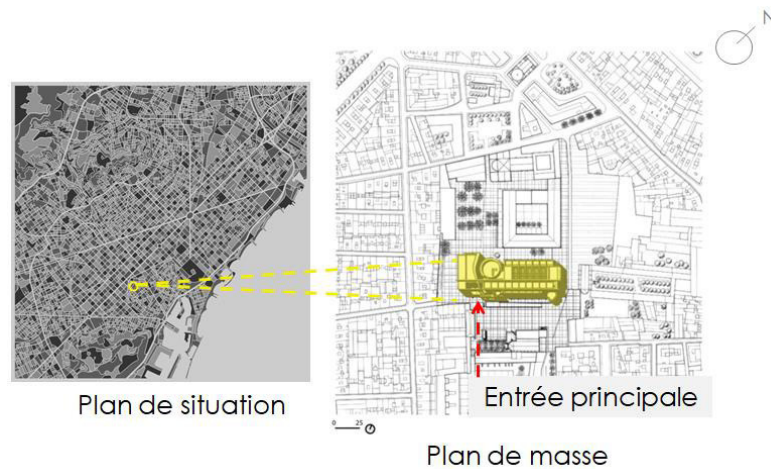


Figure 122: Plan de masse et plan de situation.

(Source : <https://voirenvrai.nantes.archi.fr/?p=2727>)

Concept :

L'architecte est basé dans sa conception sur des formes géométriques, qui combine lignes droites et lignes courbes. Une forme rectangulaire de base, avec une forme circulaire qui s'intègre à l'intérieur créant un passage de forme d'arc qui relie l'esplanade au sud avec le jardin au nord.

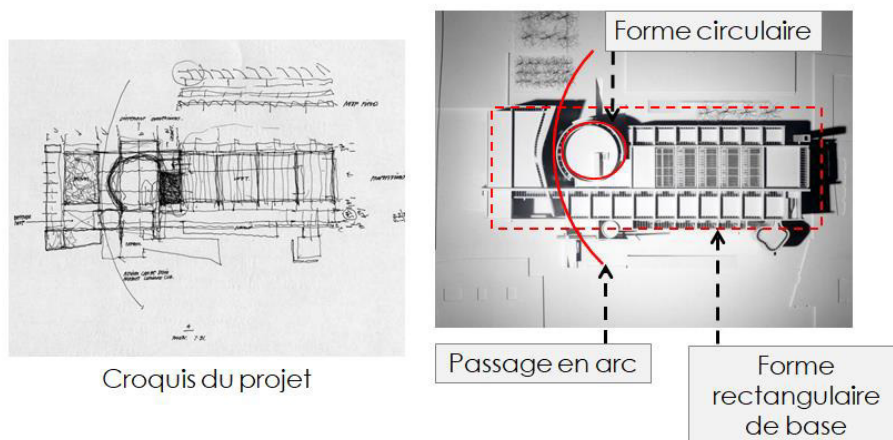


Figure 123: Croquis du projet.

(Source : <http://www.richardmeier.com/?projects=barcelona-museum-of-contemporary-art-2>)

Chapitre III : Cas d'étude et méthodologie de la recherche

L'utilisation des murs en verre et de la couleur blanche favorise la mise en lumière des espaces intérieurs et le dialogue entre les espaces intérieurs et extérieurs.



Figure 124: Vue d'extérieur du projet.

(Source : <http://www.richardmeier.com/?projects=barcelona-museum-of-contemporary-art-2>)

Volume :

Le projet présente un volume de parallélépipède de forme rectangulaire de base de 120m de longueur sur 35m de largeur et avec une hauteur de 23 m Qui vient s'intégrer avec les bâtiments historiques mitoyens. Le volume est riche en formes géométriques, dans la façade principale, il y'a une prédominance des lignes droites et des formes régulières, soudainement brisées par une forme courbée abrite une salle d'exposition, une autre forme cylindrique a l'autre côté du volume ou se trouve la cage d'escalier. Entre ces deux volumes un rectangle totalement vitré entoure une rampe qui mène vers les 02 niveaux supérieurs. Pour la façade arrière, une forme cylindrique remarquable, inséré dans le volume longitudinal, s'étale verticalement à travers tous les étages, laissant un passage étroit en arc qui relie l'esplanade au côté sud avec le jardin au nord.

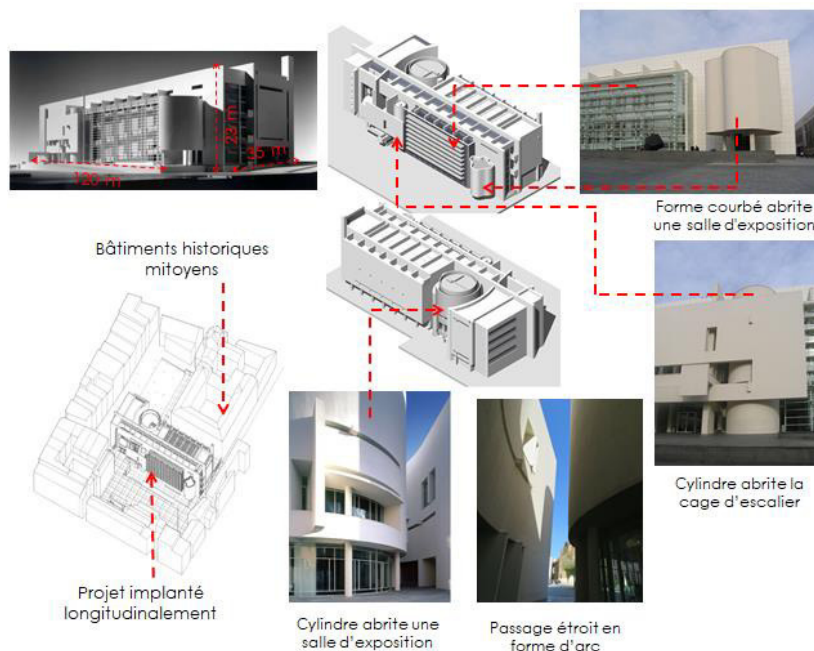


Figure 125: Analyse du volume.

(Source: auteur)

Matériaux :

La totalité des murs intérieurs et extérieurs sont construits en béton blancs, mis à part quelques-uns où le verre est utilisé comme pour le mur rideau de la façade principale. Le pavé de verre est aussi utilisé pour quelques murs extérieurs et même pour certains planchers des couloirs de circulation à l'intérieur du bâtiment.



Figure 126: Les matériaux.

(Source: <https://www.spacesxplaces.com/macba-museum-architecture-barcelona-richard-meier/>)

Programme :

L'entrée principale du projet est au côté sud-est d'après l'esplanade devant le projet, elle mène directement à un espace circulaire, utilisé comme galerie d'exposition et foyer, qui donne sur un couloir de circulation à triple hauteur, dont le visiteur peut choisir, pour monter aux étages supérieurs, entre : une circulation verticale lente par une rampe, qui s'étale toute au long de la façade vitrée, ou une circulation verticale rapide par un escalier circulaire. Les espaces d'expositions sont alignés toute au long du couloir de circulation, il est aussi utilisé comme espace d'exposition temporaire.

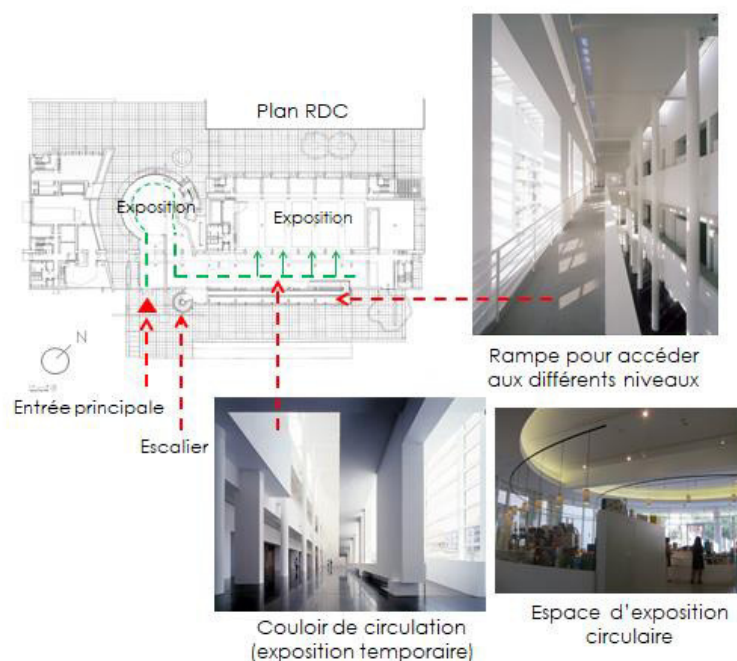


Figure 127: Analyse du plan RDC.

(Source: auteur)

Chapitre III : Cas d'étude et méthodologie de la recherche

Pour les deux autres niveaux le visiteur est toujours arrivé à un couloir intermédiaire, permet aux visiteurs d'accéder à six espaces d'exposition continus de type loft (c'est-à-dire pas de séparation entre elles), avec un espace d'exposition semi-attaché d'une forme courbé à l'extrémité du bloc. Les bureaux de conservations sont alignés derrière les salles d'expositions.

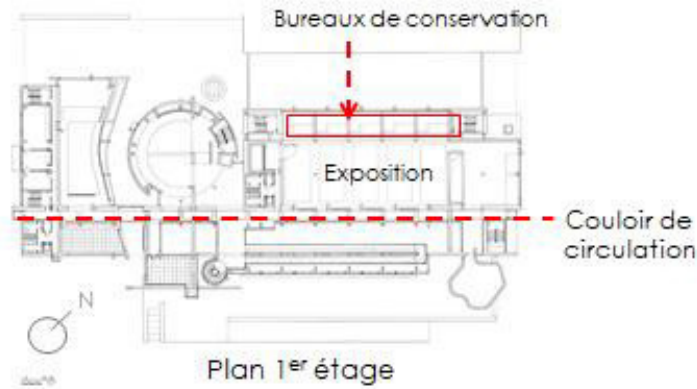


Figure 128: Plan du premier étage.
(Source: <http://www.richardmeier.com/?projects=barcelona-museum-of-contemporary-art-2>)

L'intégration du projet à son environnement :

La façade principale du projet au côté sud-est, marqué par un mur rideau avec des brises soleil horizontales afin de protéger l'espace de circulation derrière ce mur des rayons du soleil du sud. Un élément opaque en béton blanc vient s'imposer devant le vitrage de la façade afin d'offrir de l'ombre. Tandis que l'entrée principale est en retrait par rapport à la façade ce qui la protège aussi du soleil.

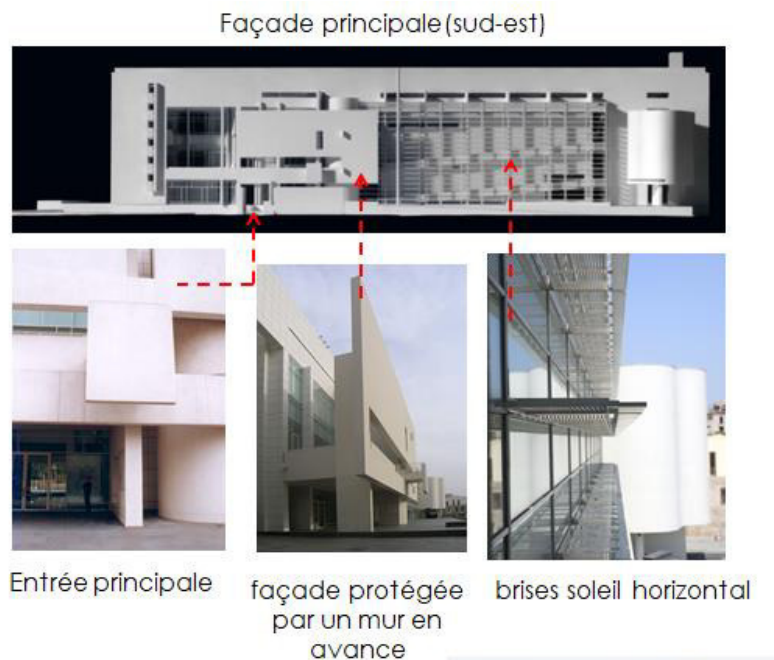


Figure 129: Façade principale.
(Source : <http://www.richardmeier.com/?projects=barcelona-museum-of-contemporary-art-2>)

Chapitre III : Cas d'étude et méthodologie de la recherche

La façade arrière, côté nord-ouest, est la façade des bureaux de conservation, qui nécessitent d'assurer le minimum de besoin en éclairage et pas des rayons solaire afin de protéger les œuvres d'art, ce qui explique l'opacité de cette façade avec des ouvertures horizontal étroites.

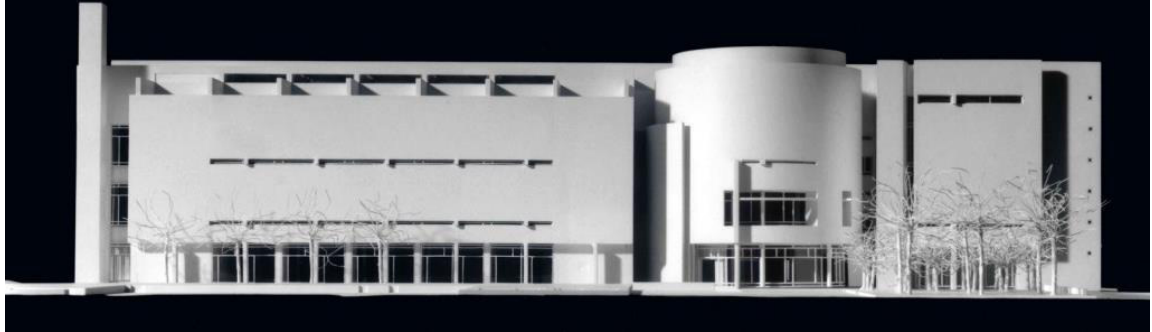


Figure 130: Façade arrière (Nord-ouest).

(Source : <http://www.richardmeier.com/?projects=barcelona-museum-of-contemporary-art-2>)

Les stratégies de la lumière naturelle :

L'espace de circulation longitudinal est totalement éclairer par la lumière naturelle pénètre par mur rideau au sud, elle est tamisée en parties par les persiennes horizontales extérieurs. Certains éléments de structure sont séparés de la ligne de la façade et de l'enveloppe du bâtiment, en vue de permettre un éclairage naturel libre et continu. La lumière naturelle combinée à la blancheur des surfaces intérieures élargit et agrandit la perception de l'espace. La salle d'exposition en forme de courbe est éclairée horizontalement par une fonte produite du détachement de la toiture de parois verticales.

Les passages pour accéder aux espaces d'exposition dans les niveaux supérieurs sont éclairés par des ouvertures zénithales. Le sol de ces passages est en pavé de verre afin de laisser passer la lumière aux niveaux supérieurs.

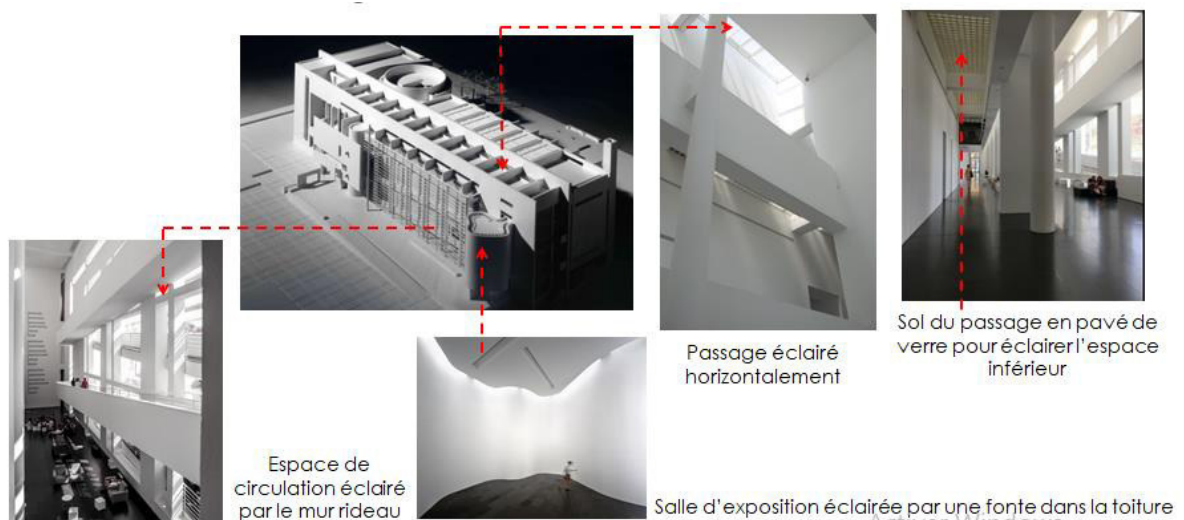


Figure 131: Les différentes stratégies d'éclairage naturel.

(Source : auteur)

1.3.4. Musée KOTAMA à Jijel

Contexte :

Le musée KOTAMA est situé à la ville de Jijel, au nord-est de l'Algérie, plus exactement au centre-ville historique de Jijel. Le musée est composé de deux bâtisses en R+1: l'ancienne bâtisse était à l'origine une école coranique fut fondée en 1939, pendant la guerre de la révolution, la bâtisse était devenue le siège du 2ème bureau de l'armée française. Après l'indépendance, l'école a repris ces activités comme école primaire jusqu'au 1993. Le musée est ouvert officiellement le 11-03-1995. L'extension, mitoyenne avec l'ancienne de sa façade nord-ouest, construite récemment.

L'ancienne bâtisse est accessible à partir de l'ongle au côté sud. La nouvelle bâtisse est accessible à partir de la placette devant la façade nord-ouest.



Figure 132: Situation d musée KOTAMA.
(Source : Google Earth)

Concept :

Inspirée de son entourage, l'ancienne bâtisse est conçue à la manière des maisons traditionnelles du centre-ville, une forme irrégulière, s'élève en R+1, avec patio à l'intérieur, avec toiture en pente en tuile. Des façades conçues selon le style colonial, basée sur la répétition d'un module, qui est la fenêtre en arc.

L'extension du musée est d'une forme rectangulaire, en R+1, toiture en pente en tuile, avec deux verrières couvrent deux vides à l'intérieur du bâtiment. La façade sud-ouest (à côté de l'ancienne partie) est conçue avec le même style que l'ancienne bâtisse, avec la présence des colonnes qui séparent chaque deux fenêtre afin de casser l'horizontalité de la façade. Tandis que pour la façade principale l'architecte n'a pas respecté le même style colonial utilisé dans l'autre façade, l'entrée principale est en recul de la façade dégageant un espace libre, utilisé pour les expositions temporaires, des fenêtres rectangulaire au côté gauche, au premier étage, au centre, un mur arrondis aveugle avec des parties en pavé de verre.

Chapitre III : Cas d'étude et méthodologie de la recherche

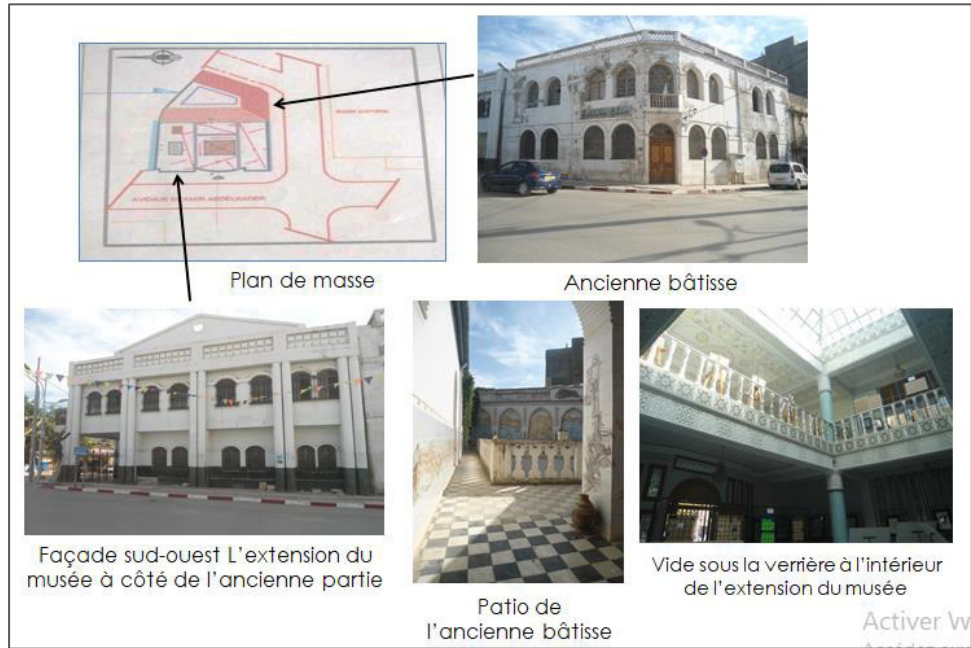


Figure 133: Différentes vues du musée KOTAMA.
(Source : auteur)

Volume :

Les deux bâtisses présentent un volume simple modeste en R+1, qui ne donne pas l'impression d'un musée mais beaucoup plus d'une maison de l'époque coloniale. La façade principale de l'extension présente une certaine richesse par rapport aux autres façades, l'entrée en recule et les deux balcons au premier étage donnent une certaine richesse au volume.



Figure 134: Façade de l'extension à côté de l'ancienne bâtisse.
(Source: auteur)



Figure 135: Volume de l'ancienne bâtisse.
(Source: auteur)



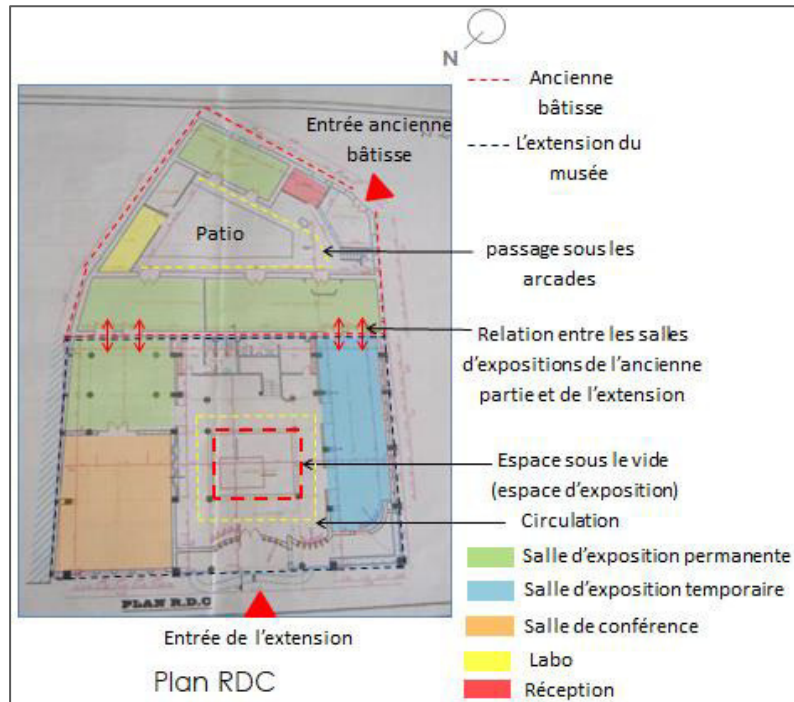
Figure 136: La façade principale de l'extension.
(Source: auteur)

Chapitre III : Cas d'étude et méthodologie de la recherche

Programme :

Espace	Surface
RDC	
Salle d'exposition permanente	48.68 m ²
Salle d'exposition temporaire	57.04 m ²
Circulation	30.15 m ²
Salle de conférence	130 m ²
Labo	14.76 m ²
Cage d'escalier	12.09 m ²
1er étage	
Bureau	53.64 m ²
Salle d'exposition	31.40 m ²
Circulation	58.60 m ²
Bibliothèque	126.00 m ²
Sanitaire	5.00 m ²

D'après le programme du musée, on remarque l'absence de plusieurs espaces, comme les espaces de détente (caféteria, foyer, boutique), les ateliers d'apprentissage, les aménagements extérieurs (jardin, parking), on remarque que les surfaces des espaces d'exposition sont des surfaces limitées insuffisantes.



Au niveau du RDC de l'ancienne bâtisse, l'entrée donne directement sur un grand patio de forme trapézoïdale, entouré par un passage sous des arcades qui donne directement vers les salles d'exposition, ce patio est utilisé comme espace d'exposition, les objets et tableaux exposés dans ce patio sont endommagés à cause de leur exposition aux différents

Chapitre III : Cas d'étude et méthodologie de la recherche

conditions climatiques toutes les saisons de l'année. Les deux grandes salles d'exposition sont en relation directe avec les salles d'exposition dans la nouvelle partie du musée, ce qui permet au visiteur de circuler facilement entre les deux bâtisses.



Figure 138: Le patio de l'ancienne bâtisse.
(Source : auteur)

Pour la nouvelle bâtisse, l'entrée au côté nord-ouest, donne directement sur un hall de réception sous un vide au premier étage éclairé par une verrière au niveau de la toiture, cet espace est utilisé comme espace d'exposition temporaire et aussi atelier pour les différentes activités, cet espace est entouré d'un passage qui mène vers deux salles d'expositions et la salle de conférence, une organisation simple et fonctionnelle.

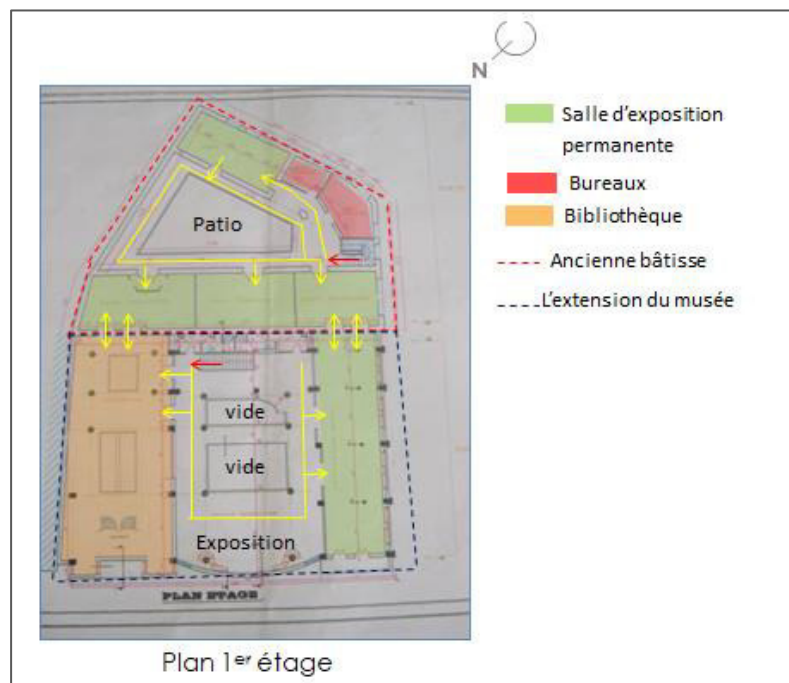


Figure 139: Plan du premier étage.
(Source: auteur)

Au niveau de l'ancienne bâtisse le visiteur est arrivé au premier étage à un couloir autour du vide du patio qui mène vers les 3 salles d'exposition, le déplacement entre ces salles d'exposition ce fait à travers ce couloir puisque il y'a pas de relation direct entre les salles, ce qui oblige le visiteur de sortir à l'extérieur à chaque fois qu'il se déplace d'une

salle à une autre. A partir de 2 salles d'exposition on peut accéder à la salle d'exposition et la bibliothèque dans l'extension du musée. La circulation dans cette partie du musée ce fait par un couloir autour de 2 vides sur le RDC couverts par 2 verrières ce qui assure un éclairage zénithal de l'espace de circulation, qui est utilisé aussi comme espace d'exposition. Les deux balcons au premier étage sont sans aucune utilisation.



Figure 140: Circulation au premier étage autour du patio (ancienne bâtisse). (Source: auteur)



Figure 141: Circulation au premier étage autour du vide (l'extension). (Source: auteur)

L'intégration du projet à son environnement :

La région de Jijel est caractérisée par un climat méditerranéen pluvieux en hiver et chaud en été, avec des taux d'humidité très élevés. Les vents soufflent du côté nord-ouest en hiver, et du côté nord-est en été.

Par son implantation, les façades nord-est et est sont des façades mitoyennes aveugles, les autres façades s'étalent du sud-est jusqu'au nord-ouest. Les façades sud-est et sud-ouest, abritent les espaces d'exposition et les bureaux, ces espaces sont ensoleillés pendant toutes l'année, cela peut produire une dégradation des œuvres exposées, surtout en été lorsque le soleil est plus élevé dans le ciel, et les rayons solaires peuvent pénétrer à l'intérieur des espaces d'exposition par les fenêtres qui ne sont pas protégées. Mais en hiver, lorsque le soleil est plus bas dans le ciel, les espaces au RDC peuvent souffrir d'un manque d'ensoleillement à cause de l'ombre projeté des constructions avoisinantes.



Figure 142: Façade sud-ouest. (Source: auteur)



Figure 143: Façade sud-ouest et sud-est. (Source: auteur)

Chapitre III : Cas d'étude et méthodologie de la recherche

Pour la façade principale, nord-ouest, qui présente d'un pourcentage faible des ouvertures, elle est ensoleillée juste en été, ce qui peut être un avantage pour le hall d'exposition au 1^{er} étage protégé des rayons solaires agressive des mois d'été du côté ouest par des ouvertures en pavé de verre. Mais la salle de conférence au RDC peut souffrir d'un manque d'ensoleillement à cause de la petite taille et de l'orientation de ses ouvertures. Les espaces d'exposition au niveau de l'ancienne bâtisse, qui sont en relation avec l'extension, souffre d'un manque d'ensoleillement et d'éclairage à cause de l'absence des fenêtres, elles sont juste éclairées par les portes qui donnent sur le patio.

A cause du taux d'humidité élevé dans la ville de Jijel, les stratégies d'aération sont les plus importantes pour assurer le confort à l'intérieur des constructions. Le musée souffre des problèmes d'humidité à cause d'une mauvaise aération des espaces surtout le côté nord. Par son volume en mono bloc et sa façade nord-est aveugle, le volume bloque les vents dominants nord-est en période d'été de se pénétrer à l'intérieur des espaces afin de les aérer. La présence d'un patio ouvert aux différents espaces, présente une source d'inconfort pour les visiteurs, et provoque la dégradation des œuvres exposés par les différentes conditions climatiques.



Figure 144: Dégradation de la peinture à cause d'une mauvaise aération des espaces.
(Source: auteur)

Les stratégies de la lumière naturelle :

Les espaces de circulation sont bien éclairés par le patio, dans l'ancienne bâtisse, et par l'atrium dans l'extension, à cause de ça ces espaces sont aussi utiliser comme des ateliers de création et des espaces d'exposition afin de profiter de leur éclairage naturel. Au contraire des espaces d'exposition qui souffrent d'un manque d'éclairage, ou parfois même d'éblouissement pour les espaces au côté sud-ouest. Même la présence d'éclairage artificiel dans ces espaces est insuffisante et mal étudier. Pour la bibliothèque au premier étage, elle est bien éclairées par un éclairage zénithal à travers 2 verrière dans la toiture.

Chapitre III : Cas d'étude et méthodologie de la recherche



Figure 145: Éblouissement au niveau d'une salle d'exposition. (Source: auteur)



Figure 146: Éclairage artificiel insuffisant. (Source: auteur)

1.3.5. Synthèse

Après l'analyse des 4 exemples, 3 livresques et un exemple existant, nous avons pu retirer un programme des espaces nécessaires dans un musée avec leurs surfaces.

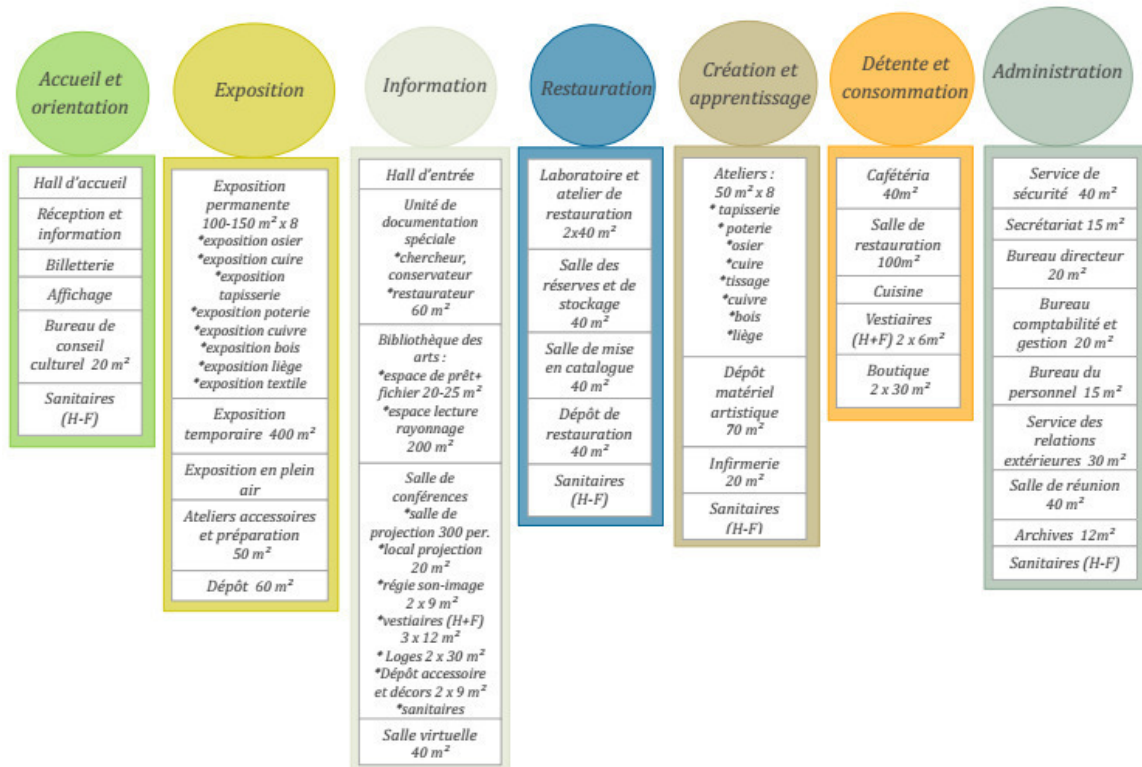


Figure 147: Le programme du musée tiré de l'analyse des exemples. (Source: auteur)

2. Méthodologie de la recherche

Afin d'atteindre les objectifs ciblés au début de notre recherche, nous proposons d'étudier l'impact du moucharabieh sur les ambiances lumineuses à travers une expérimentation. Cette expérience consiste à réaliser une maquette, c'est un modèle réduit de la réalité qui permet de garder les mêmes propriétés géométriques de l'espace réel, mais avec une échelle plus petite. L'espace que nous avons choisi de l'étudier est un espace d'exposition, puisque c'est l'espace le plus important dans un musée. Les ouvertures au niveau de la maquette seront équipées de modules moucharabieh avec un système d'ouverture appelé IRIS. Afin d'obtenir différentes ambiances lumineuses similaires à celles produites en réalité, nous avons choisi de faire l'expérimentation sous un ciel réel, non dans une position fixe, mais à travers un parcours lumineux, donc c'est la boîte qui change de position et pas le soleil. La maquette sera équipée d'une caméra numérique, afin de saisir toutes les ambiances lumineuses générées pendant le parcours. Ensuite, les images obtenues de cette expérimentation seront traitées et classées, selon le type d'ambiance lumineuse obtenu, comme : ambiance claire, moyenne ou sombre.

2.1. Moucharabieh comme dispositif de création d'ambiances lumineuses

Le moucharabieh est un élément de l'architecture traditionnelle, en principe c'est un panneau ajouré fait de petits morceaux de bois tournés et assemblés par emboîtement. Ils étaient utilisés originellement pour fermer les fenêtres et les balcons donnant sur l'extérieur. Les moucharabiehs étaient utilisés pour voir sans être vu ; ils laissent passer l'air tout en préservant des ardeurs du soleil.

Les variations des moucharabiehs viennent des différentes formes géométriques, souvent complexes, obtenues lors du tournage du bois.



Figure 148: Exemple de moucharabieh traditionnel en bois.
(Source : <http://www.atelierdesorient.com/le-moucharabieh.html>)

Chapitre III : Cas d'étude et méthodologie de la recherche

Le moucharabieh est aussi un dispositif de ventilation naturelle. La réduction de la surface produite par le maillage du moucharabieh accélère le passage du vent. Celui-ci est mis en contact avec des surfaces humides, bassins ou plats remplis d'eau qui diffusent leur fraîcheur à l'intérieur de la maison. (wikipedia)

À travers les trous de différentes formes (étoile, croissant, losange...), générées par sa géométrie complexe, la lumière est tamisée à l'intérieur de l'espace en créant un jeu de lumière et d'ombre permettant de donner vie, d'animer et de valoriser l'espace.

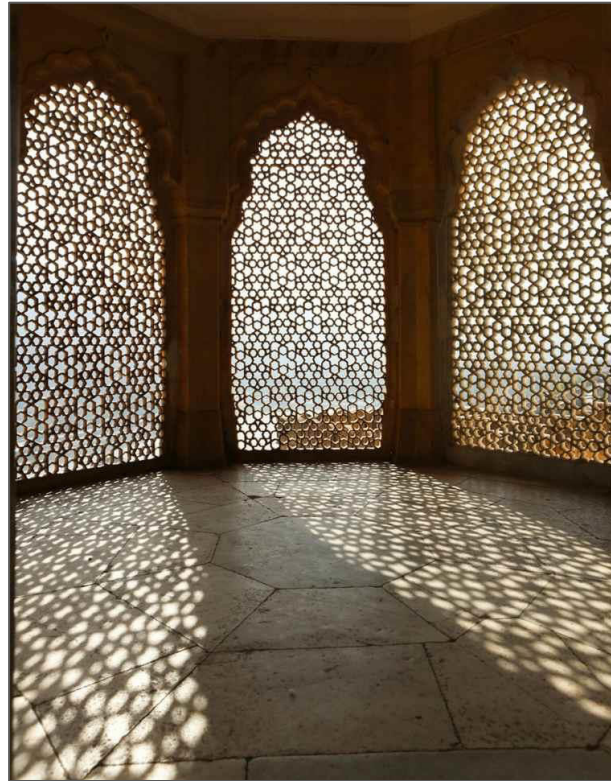


Figure 149: Lumière tamisée par moucharabieh.
(Source : <http://www.allureetbois.com/blog/moucharabieh-moderne-bois/>)

En plus de tout ça, le moucharabieh a prouvé son efficacité thermique, par sa capacité de réduire la luminosité entrant directement par la fenêtre et à protégé de la lourde chaleur venant du soleil fort.

2.2. Mécanisme IRIS

2.2.1. Le mécanisme de l'œil :

L'œil est l'organe principal de la vision, c'est le sens qui permet à un être vivant de capter la lumière reçue par l'objet qu'il perçoit. Il est constitué de plusieurs parties permettant le fonctionnement de la vision. Dans notre étude, ce qui nous intéresse c'est la partie qui s'appelle « Iris », c'est la partie qui donne la couleur de l'œil, elle règle la quantité de lumière pénétrant dans l'œil, on dit qu'elle a un rôle de diaphragme. L'iris se dilate ou se contracte par réflexe naturel pour adapter l'œil à son environnement lumineux. Son mécanisme est comparable à un diaphragme : si la lumière est trop forte, la pupille devient petite, en cas d'obscurité, la pupille devient grande pour capter plus de lumière.

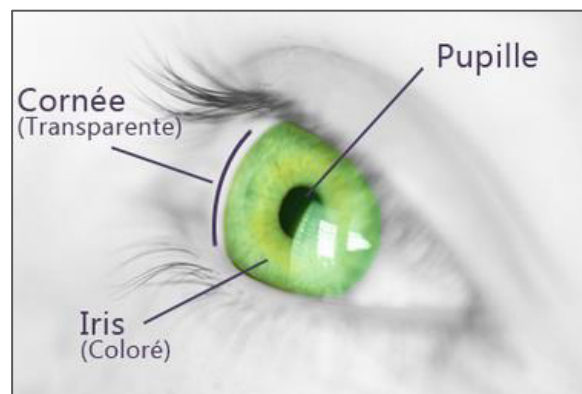


Figure 150: les composants de l'œil.
(Source : <https://www.guide-vue.fr/glossaire/iris>)

2.2.2. Diaphragme à IRIS :

Un diaphragme est un élément mécanique interposé sur le trajet lumineux dans un instrument optique, il conditionne la quantité de lumière transmise ainsi que l'ouverture du système. Sur les appareils les plus simples ou les plus anciens, le diaphragme est un simple trou sur une paroi interposée sur le trajet lumineux. Dans les expériences d'optique, il est rarement nécessaire de faire varier continûment l'ouverture du diaphragme, ce qui explique qu'un petit nombre de diaphragmes simples (trous percés dans des plaques métalliques) suffise. (wikipedia)

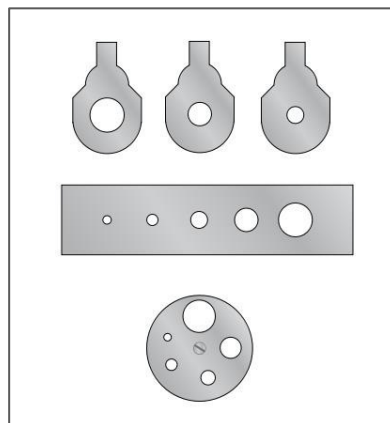


Figure 151: Différents types de diaphragmes simples.
(Source : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Diaphragme_\(optique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Diaphragme_(optique)))

Chapitre III : Cas d'étude et méthodologie de la recherche

D'autres systèmes optiques nécessitant une plus grande compacité ou un très grand nombre d'ouvertures différentes utilisent le diaphragme à IRIS, qui permet un réglage continu entre sa pleine ouverture et sa fermeture maximale.

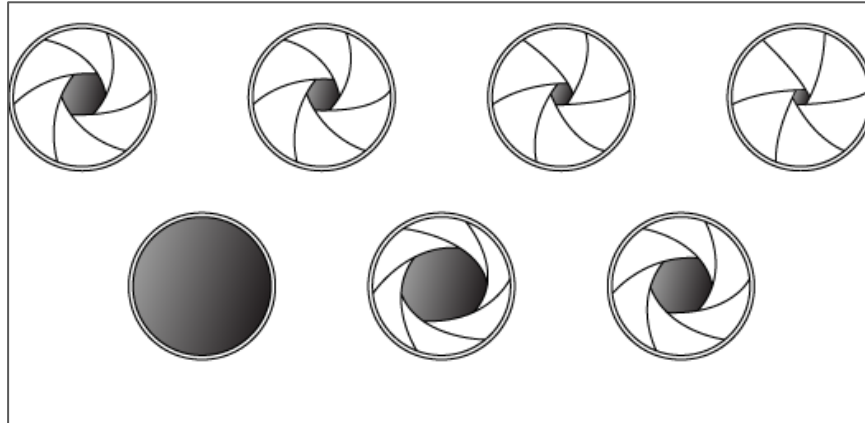


Figure 152: l'ouverture et la fermeture d'un diaphragme à IRIS.
(Source : <http://sheying.baik.com/article-222961.html>)

Un diaphragme à IRIS est constitué d'un ensemble de lamelles métalliques dont la tranche décrit un polygone régulier. En photographie, la majorité des diaphragmes possède de 5 à 9 lamelles. Le nombre et la forme de lames composant l'iris sont variables, plus leur nombre est grand plus l'ouverture sera circulaire.

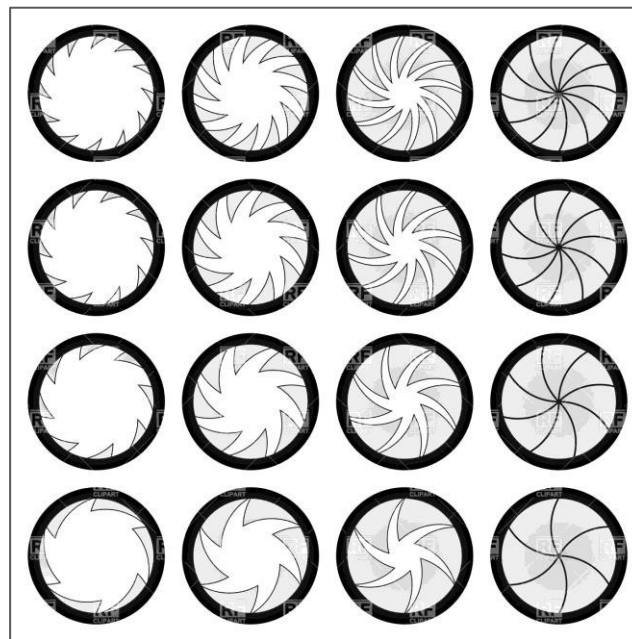


Figure 153: Différents types de diaphragme à IRIS selon le nombre des lames.
(Source : <https://rfclipart.com/multileaf-mechanism-like-simple-leaf-shutter-20556-vector-clipart.html>)

Chapitre III : Cas d'étude et méthodologie de la recherche

L'ouverture ou la fermeture du diaphragme à iris est contrôlée par des ergots placés sur les lames du diaphragme. Ce procédé mécanique permet l'ouverture ou la fermeture du diaphragme uniquement avec un élément de contrôle (plaque de contrôle) placé sur les lames du diaphragme à IRIS. Cette plaque de contrôle contient des trous placés sur les ergots des lames. Le mouvement en rotation de cette plaque de contrôle pousse les ergots et par conséquent les lames se déplacent dans différentes directions ce qui permet l'ouverture ou la fermeture du diaphragme.

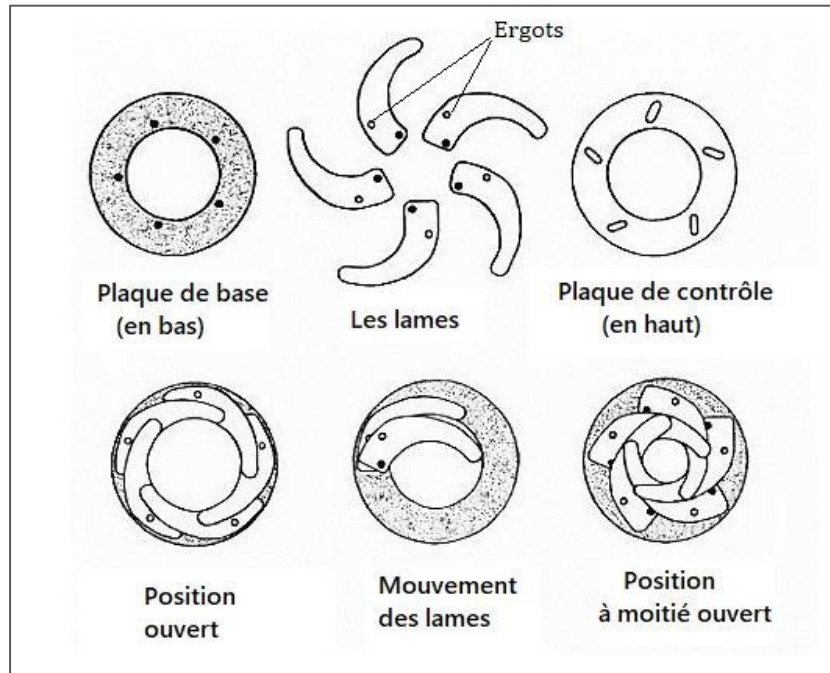


Figure 154: Les différentes pièces du diaphragme à IRIS.
 (Source : <http://grandtutodecors.blogspot.com/2013/10/necron-project-par-runtherder.html>)

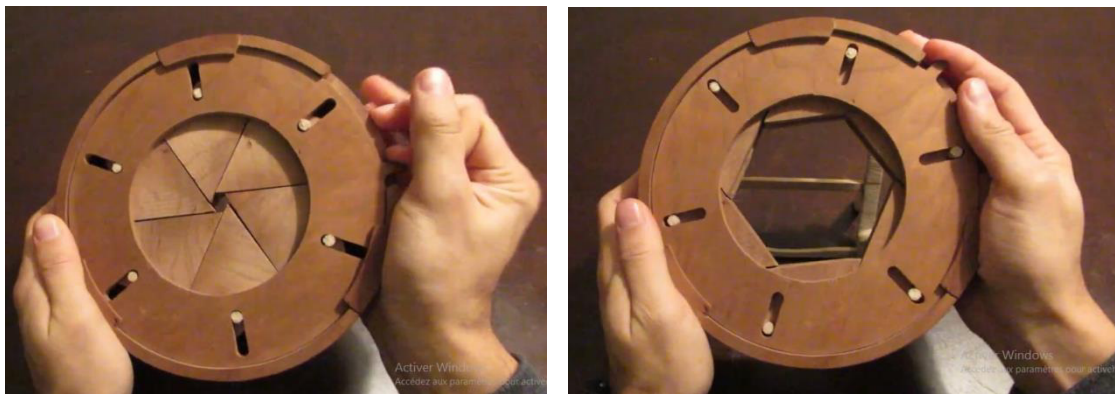


Figure 155: Exemple d'un diaphragme à IRIS, à droite ouvert, à gauche fermé.
 (Source : <https://www.youtube.com/watch?v=DH6umxxIRzY&t=2s>)

2.3. Le modèle réduit (maquette)

Les modèles étudiant la lumière peuvent donner des résultats qualitatifs et quantitatifs très précis. En tenant compte de la perception visuelle humaine, on ne discerne aucune différence visuelle entre la réalité et un modèle réduit. Lorsqu'on construit la maquette d'un local de manière précise, tout en respectant sa géométrie, les caractéristiques de ses parois intérieures (couleurs, matériaux ...etc) et de son mobilier. On retrouvera la même quantité et qualité de lumière que celle que l'on a dans le local réel (sous des conditions de ciel identiques). L'impression visuelle que l'on aura sera très proche à celle que l'on ressentira dans le local réel. (DAICH, 2012)

Le choix d'échelle de la maquette diffère selon le cas de l'étude. Cette échelle va de 1/500 jusqu'à l'échelle réelle de l'objet. Le tableau suivant donne les différentes échelles que peut prendre le modèle réduit :

Echelle	Objectifs de l'étude d'éclairage
1/200 à 1/500	-Pour un design préliminaire et le développement d'un concept. -Pour étudier les ombres créées par le futur bâtiment ou par les bâtiments voisins.
1/200 à 1/50	-Pour étudier la pénétration de la lumière directe dans un bâtiment. -Pour étudier l'éclairage diffus dans une espace très grand.
1/100 à 1/10	-Pour étudier les variations précises de certains composants spatiaux. -Pour avoir une vue intérieure très détaillée (photos ou vidéo). -Pour étudier précisément la pénétration diffuse et directe de la lumière naturelle.
1/10 à 1/1	- Pour intégrer des composants industriels critiques. - Pour étudier des systèmes d'éclairage naturel qui ne peuvent pas être réduits à l'échelle. - Pour procéder à l'évaluation finale de systèmes d'éclairage naturel avancés par un monitoring ou une évaluation par des utilisateurs.

Tableau 2: Différents échelles des modèles réduits.
(Source : BODART et al, 2008)

L'intégration d'une caméra à l'intérieur de la maquette doit prendre en compte plusieurs facteurs ; il faut penser au fait que le centre de la lentille doit se trouver à la hauteur de l'œil, entre 1,5 et 1,7 m. (DAICH, 2012)

Plusieurs méthodes de simulation de soleil sont utilisées pour étudier les phénomènes de lumière dans un local par un modèle réduit : Mirror Box, Soleil mécanique, ciel et soleil artificiel à une lampe, ou sous des conditions de ciel réel, mais dans ce cas le modèle est exposé aux différents problèmes liés à la variation des conditions climatiques.

La chose la plus importante dans la réalisation des modèles étudiant la lumière est d'assurer l'opacité du modèle, il convient également de placer du collant noir tout le long des intersections entre les différents éléments du modèle. Afin de vérifier l'étanchéité du

modèle à la lumière, il existe deux méthodes : la première consiste de placer le modèle réduit en plein soleil et de vérifier qu'aucune lumière n'est visible au travers des parois. La deuxième, est une méthode inverse, elle consiste de se placer dans un local obscur et d'allumer une source lumineuse à l'intérieur du modèle réduit. Si aucun rayon de lumière n'est visible, le modèle sera considéré comme étanche à la lumière. (DAICH, 2012)

2.4. L'histogramme et l'image numérique

2.4.1. La photographie numérique :

La photographie numérique est un procédé d'enregistrement qui produit l'image d'un sujet, au moyen de la lumière associée à un système optique et d'un capteur CCD permettant de la numériser. L'image captée par l'objectif est codée en une suite logique de 0 et 1, ce qui correspond au système de numération binaire. (BERNARD, 1998)

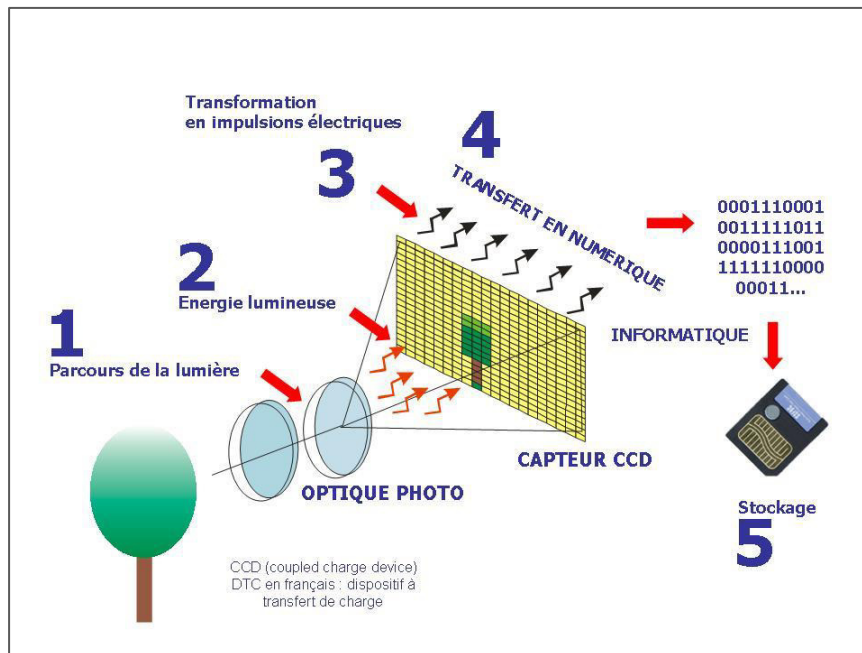


Figure 156: Le principe de fonctionnement de la photographie numérique.
(Source : <http://bipt.univ-tlse2.fr/SAVOIRPLUS/definition/definition.html>)

La photographie numérique associe les principes de la photographie traditionnelle à ceux de l'image numérique. D'un point de vue de la prise en main et de l'utilisation, un appareil photographique numérique est identique à un appareil classique. Il dispose d'un viseur, d'un déclencheur, d'une optique fixe ou interchangeable et d'un flash. C'est à l'intérieur que tout diffère : en lieu et place du film argentique classique, l'appareil numérique reçoit la lumière sur un capteur CCD (composé de cellules photosensibles) qui convertit le signal lumineux en signal électrique analogique. (BERNARD, 1998) Le principe de fonctionnement du capteur CCD se déroule en cinq étapes (figure 173):

- La lumière parvient sur l'appareil
- Elle passe à travers le système d'optique photo (lentilles) sous forme d'énergie lumineuse (photons)

- Les cellules du capteur transforment ces impulsions photoniques en impulsions électriques
- Ces impulsions électriques sont transférées en codes numériques
- Les codes sont organisés en matrices et stockés sur la mémoire de l'appareil

2.4.2. *L'image numérique :*

Le terme d'image numérique désigne, dans le sens général, toute image acquise, créée, traitée et stockée sous forme binaire. L'image numérique est une matrice de valeurs (un tableau de données) « interprétée » sous forme de couleurs sur ordinateur.

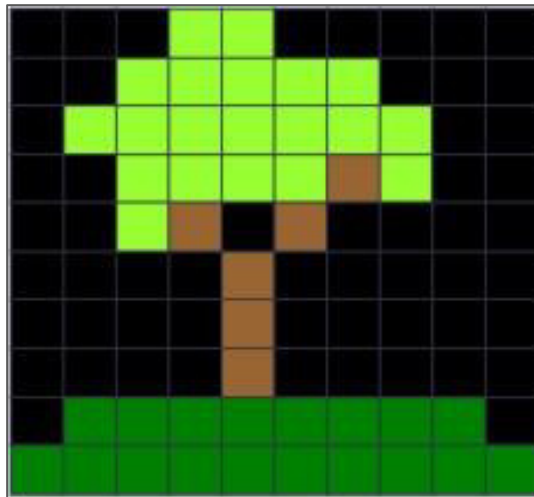


Figure 157: Image simplifiée d'une matrice, principe de l'image numérique.
(Source : <http://bipt.univ-tlse2.fr/SAVOIRPLUS/definition/definition.html>)

Une image numérique est composée réellement d'un agencement de points carrés appelé « Pixels », organisés en lignes et colonnes, sous forme de matrice (Figure 157).

Le pixel représente le plus petit point distinguable dans une image. Chaque pixel possédant une teinte, c'est la juxtaposition des différents pixels qui produit une image (Figure 158).

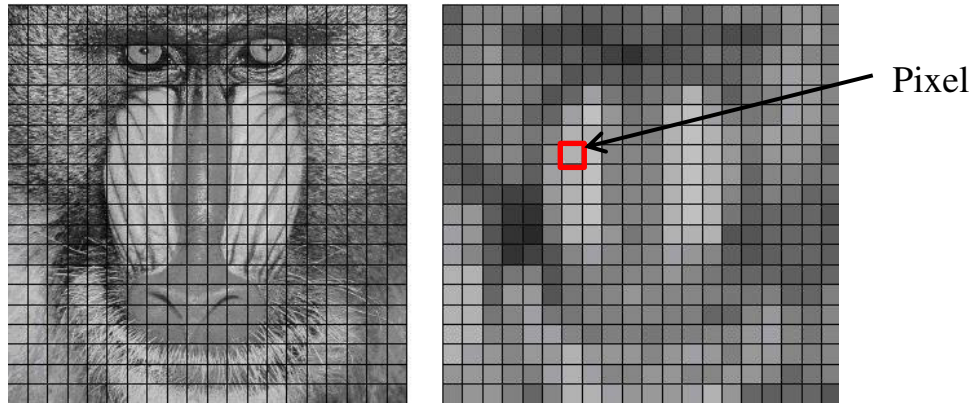


Figure 158: Le pixel.

(Source : <https://sites.google.com/site/androidtraitementimage/traitement-d-images?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1>)

Les images matricielles sont également définies par leur définition et leur résolution.

La **définition** d'une image est simplement sa *hauteur X largeur*, exprimées en pixels, en pouces ou en centimètres. (BERNARD, 1998) En image numérique, cela correspond au nombre de pixels qui composent l'image en hauteur (axe vertical) et en largeur (axe horizontal) : *200 pixels par 450 pixels* par exemple, abrégé en « 200 × 450 ». (Wikipédia)

La **résolution** est le nombre de pixels par unité de surface réelle. Elle s'exprime en DPI : Dot Per Inch (point par pouce). Plus le nombre de pixels par unité est élevé, plus la quantité d'information est importante et plus la résolution est élevée. La résolution d'une image numérique définit le degré de détail de l'image.



Figure 159: La résolution d'une image.

(Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Image_num%C3%A9rique)

2.4.3. Le traitement d'image :

Le traitement d'images est une discipline de l'informatique et des mathématiques appliquées qui étudie les images numériques et leurs transformations, dans le but d'améliorer leur qualité ou d'en extraire de l'information. (Wikipédia)

Quelques exemples types d'informations qu'il est possible d'obtenir d'une image numérique :

- la luminance moyenne ;
- le contraste moyen ;
- la couleur prédominante ;
- le taux d'acuité moyen (précis ou flou) ;

- le taux d'uniformité des couleurs ;

Le traitement d'image au niveau de gris :

Le niveau de gris représente l'intensité lumineuse d'un pixel, lorsque ses composantes de couleur sont identiques en intensité lumineuse.

Pour les images couleur, un pixel dispose généralement des trois composantes RGB (en anglais : Red, Green, Blue ; en français : Rouge, Vert, Bleu). Un pixel à ses trois valeurs RGB identiques. Une méthode simple pour convertir une image couleur en niveau de gris pourrait être de calculer la moyenne des trois composantes RGB et d'utiliser cette valeur moyenne pour chacune des composantes. (BOUZIR, 2014)

Le mode de codage pour une image au niveau de gris est un codage de niveau de l'intensité lumineuse, généralement sur 256 valeurs. Par convention, la valeur zéro représente le noir (intensité lumineuse nulle) et la valeur 255 le blanc (intensité lumineuse maximale) :



Figure 160: Distribution des 256 valeurs du niveau d'intensité lumineuse.
(Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Image_num%C3%A9rique)

2.4.4. 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.

Il y'a deux types des histogrammes : l'histogramme RGB et l'histogramme de luminosité. Les histogrammes de luminosité sont adaptés aux images noir et blanc ou aux images couleur, lorsqu'on s'intéresse qu'à la courbe L (courbe de luminosité). Pour les images couleurs, il existe des histogrammes à trois couleurs, une pour chaque courbe R, G et B de l'image qui permet d'obtenir de plus amples informations sur l'image que l'histogramme à une courbe. L'histogramme RGB peut être affiché de différentes façons suivant le logiciel utilisé. L'histogramme de chaque couche peut être affiché individuellement, on revient dans ce cas à l'histogramme à une courbe. Les trois courbes peuvent aussi être affichées simultanément. L'histogramme de la couche R est représenté par une courbe rouge, celui de la couche V par une courbe verte, et celui de la couche B par une courbe bleue. Les couleurs Cyan, Magenta ou Jaune apparaissent là où les courbes principales se superposent. (BOUZIR, 2014)

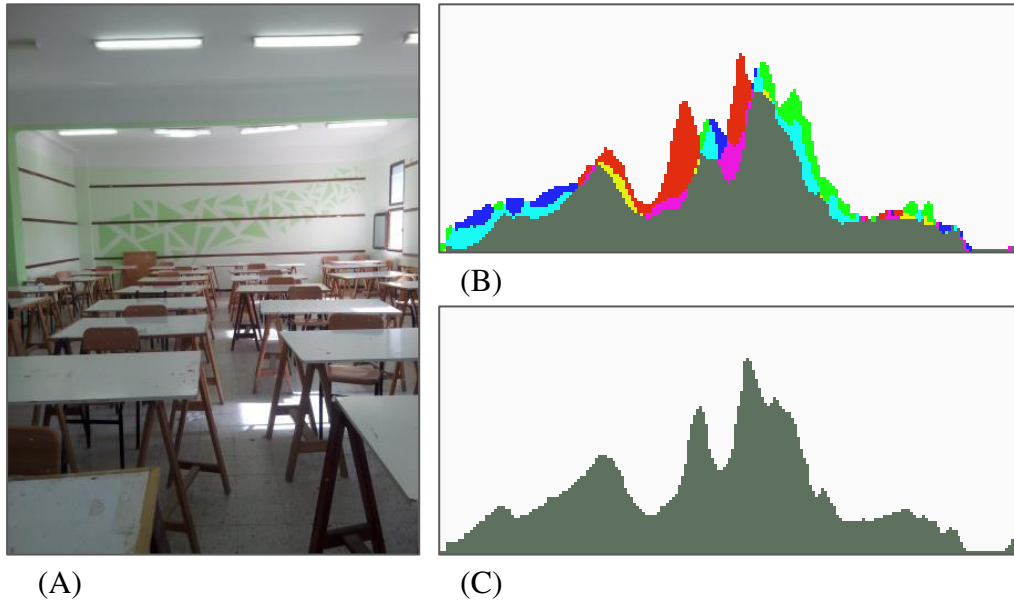


Figure 161: (A) Image 1, (B) Histogramme RGB de l'image 1, (C) Histogramme de luminosité de l'image 1.

(Source : auteur)

2.4.5. L'histogramme de luminosité :

Il s'agit d'une courbe, associée à chaque image, affichable directement sur l'écran de l'appareil photo, ou depuis un logiciel de retouche d'image, qui montre la répartition des pixels selon leur luminosité. L'histogramme associé à chaque niveau –de 0 pour le noir à 255 pour le blanc- le nombre de pixels correspondant dans l'image, il présente cette information selon deux axes : un axe horizontal qui représente les niveaux – du noir à gauche au blanc à droite- et un axe vertical qui donne le nombre de pixels correspondant. (BOUZIR, 2014)

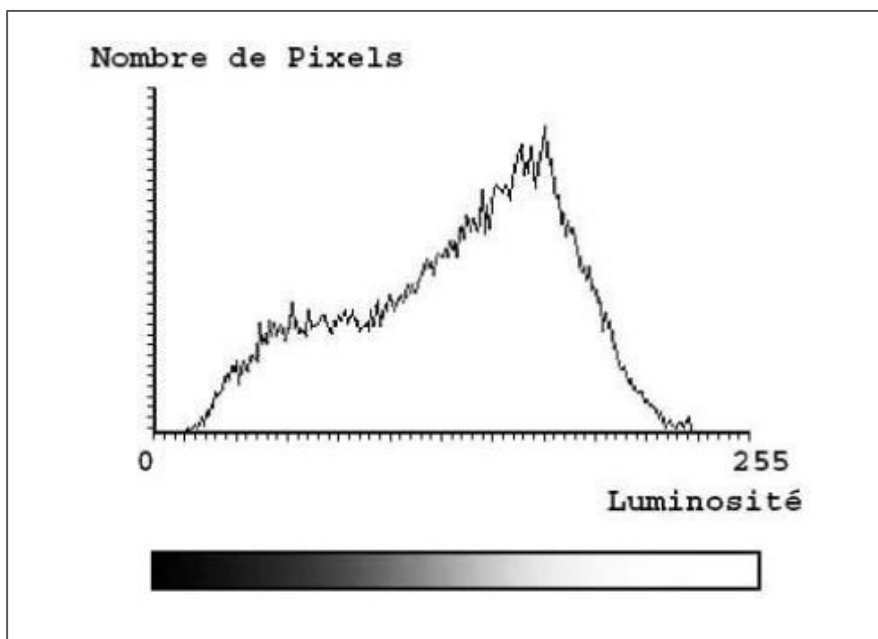


Figure 162: Histogramme de luminosité.
(Source : <http://slideplayer.fr/slide/3780028/>)

2.4.6. Les différentes zones de l'histogramme de luminosité :

L'histogramme présente différentes zones qui donnent des informations sur la luminosité de l'image :

Zone de gauche : il s'agit des tons sombres présents dans l'image

Zone de droite : il s'agit des tons clairs présents dans l'image

Zone de milieu : il s'agit des tons moyens présents dans l'image

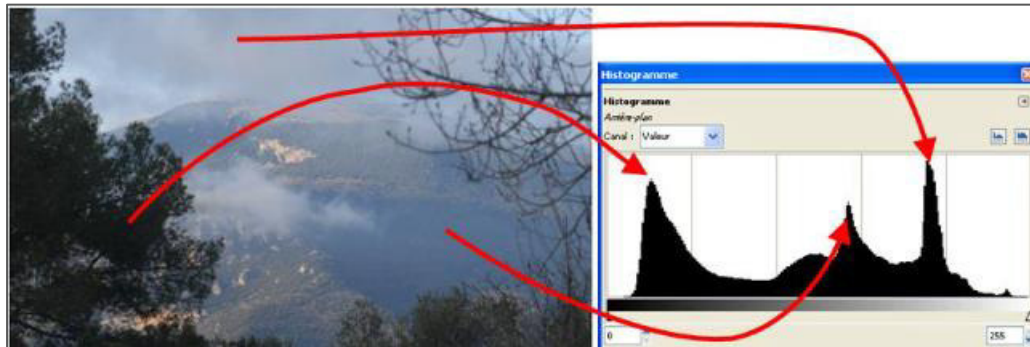


Figure 163: La lecture d'un histogramme de luminosité.
(Source : <http://slideplayer.fr/slide/3337868/>)

2.5. Modèle expérimental :

Comme nous avons expliqué précédemment dans la méthodologie de la recherche, nous allons étudier l'impact du moucharabieh sur les ambiances lumineuses à travers un modèle réduit d'une salle d'exposition avec des ouvertures équipées d'une combinaison entre un module moucharabieh et un diaphragme à IRIS.

Le schéma de moucharabieh utilisé dans cette expérimentation est un schéma géométrique, largement utilisé dans les dispositifs de moucharabieh. La figure 164 présente les étapes de formation de ce schéma.

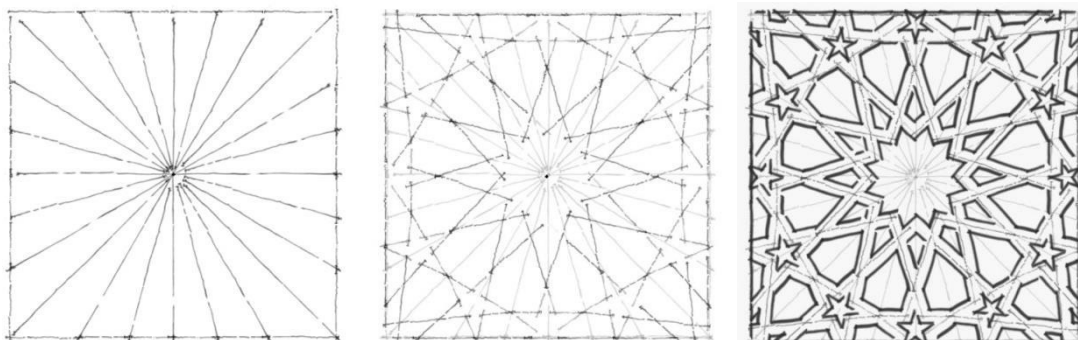


Figure 164: Les étapes de formation du schéma de moucharabieh utilisé dans l'expérimentation.
(Source : auteur)

Le module de moucharabieh utilisé dans le modèle réduit est une pièce réalisée en bois selon le schéma choisi.

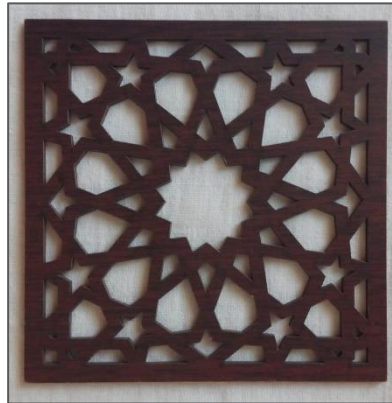


Figure 165: Image de la pièce du module moucharabieh utilisée dans le modèle réduit.
(Source : auteur)

Dans cette expérimentation, le module de moucharabieh est équipé d'un diaphragme à IRIS, nous avons proposé d'utiliser ce système au niveau des ouvertures afin de contrôler la quantité de lumière à l'intérieur de l'espace. Nous avons choisi un diaphragme à 6 lamelles dont l'ouverture prend la forme d'un hexagone. Le diaphragme est composé de trois pièces essentielles :

- plaque de base : située en bas du diaphragme, c'est une pièce fixe avec des creux pour placer les lamelles.
- Les lamelles : placées sur la plaque de base, c'est des pièces mobiles qui se déplacent sur les creux de la plaque de base. Sur chaque lamelle existe un ergot, c'est l'élément qui contrôle le déplacement de chaque lamelle.
- Anneau d'actionnement des lamelles : c'est une pièce mobile avec de petites ouvertures dans lesquelles sont placés les ergots des lamelles, la rotation de cette pièce permet le déplacement des lamelles et donc l'ouverture et la fermeture du diaphragme.

Le module de moucharabieh est placé sous la plaque de base.

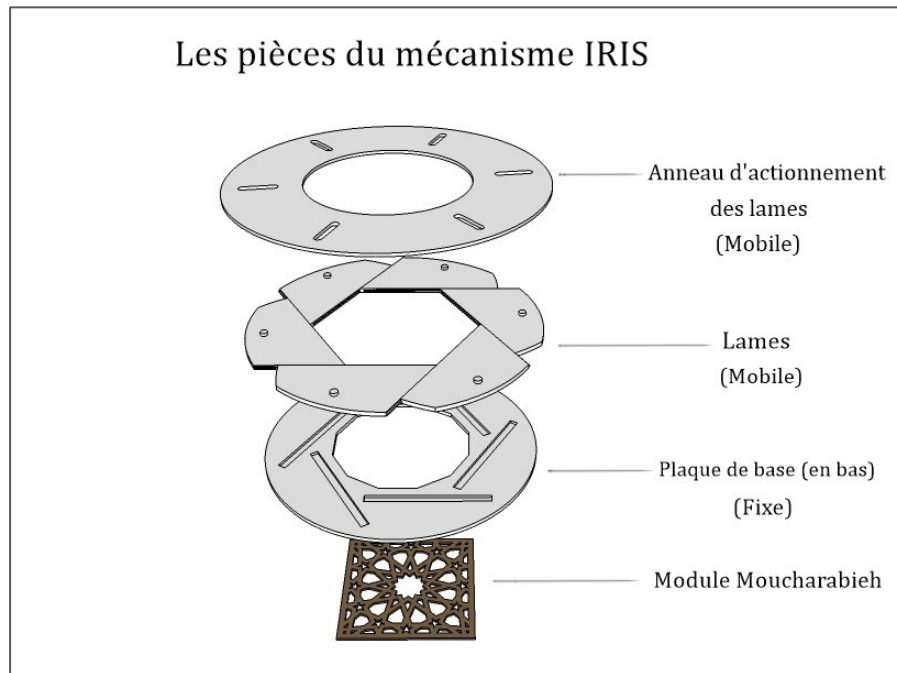


Figure 166: La composition du diaphragme à IRIS utilisé dans l'expérimentation. (Source : auteur)

2.5.1. Les facteurs étudiés dans l'expérimentation :

Afin d'étudier l'impact de moucharabieh sur les ambiances lumineuses, nous avons choisi d'étudier l'impact de trois facteurs : la position d'ouverture, le nombre d'ouvertures IRIS par module de moucharabieh et le pourcentage d'ouverture IRIS.

Facteur 01 : Étude de l'impact de la position d'ouverture

Pour la position d'ouverture, nous allons étudier l'impact de deux positions : verticale et horizontale. Dans ce cas, l'expérimentation est exécutée en deux parties. La première avec une ouverture verticale (sur le mur) et la deuxième avec une ouverture horizontale (sur le plafond). Pour éviter de réaliser deux modèles réduits, nous avons sur le même modèle deux ouvertures, une verticale et l'autre horizontale. Dans la première partie de l'expérimentation, avec l'ouverture verticale, l'ouverture horizontale sera fermée, et dans la deuxième partie avec l'ouverture horizontale c'est le contraire.

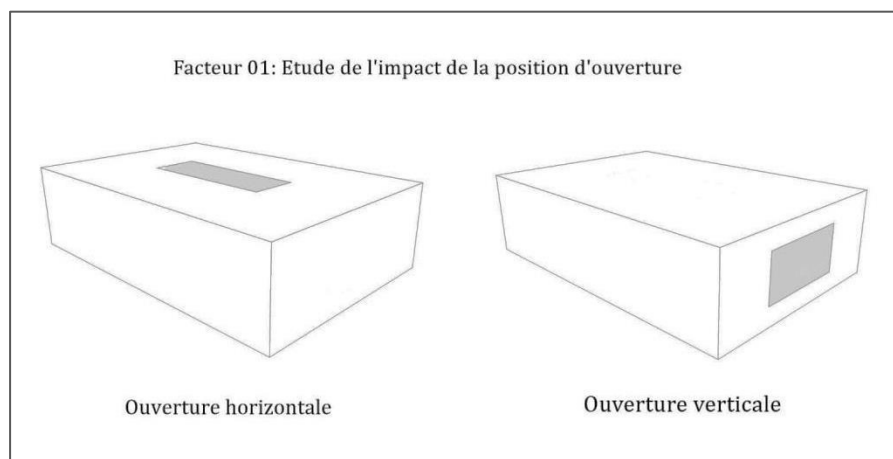


Figure 167 : Les deux cas de la position d'ouverture. (Source : auteur)

Facteur 02 : Étude de l'impact du nombre d'ouverture IRIS par module de moucharabieh

Dans cette expérimentation nous avons, au niveau des ouvertures, une combinaison entre un module de moucharabieh et un diaphragme à IRIS, nous avons choisi d'étudier l'impact de trois cas de cette combinaison :

- Cas 01 : combinaison d'un seul diaphragme à IRIS avec un module à moucharabieh.
- Cas 02 : combinaison de quatre diaphragmes à IRIS avec un module à moucharabieh.
- Cas 03 : combinaison de huit diaphragmes à IRIS avec un module à moucharabieh.

Donc l'expérimentation est divisée en trois parties, selon les trois cas de combinaison.

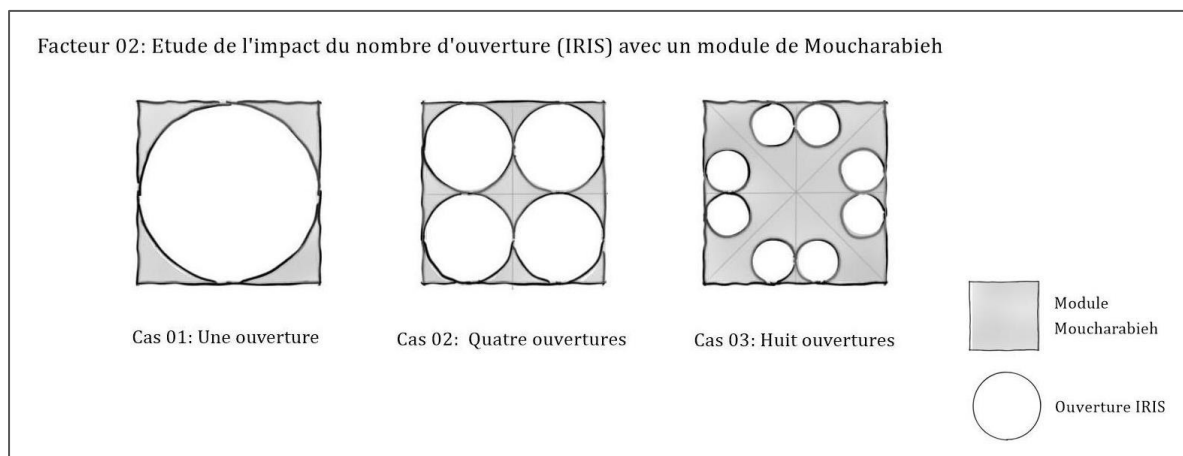


Figure 168: Les trois cas de la combinaison entre le diaphragme à IRIS et le module de moucharabieh.
(Source : auteur)

Facteur 03 : Étude de l'impact du pourcentage d'ouverture IRIS

Comme nous avons vu précédemment, le principe du diaphragme à IRIS est sa transition entre sa pleine ouverture et sa fermeture maximale. Entre ces deux positions, nous avons d'autres scénarios d'ouverture (ou pourcentages d'ouverture). Nous avons choisi d'étudier l'impact de quatre pourcentages d'ouvertures : 25%, 50%, 75% et le 100% qui présente l'ouverture maximale du diaphragme.

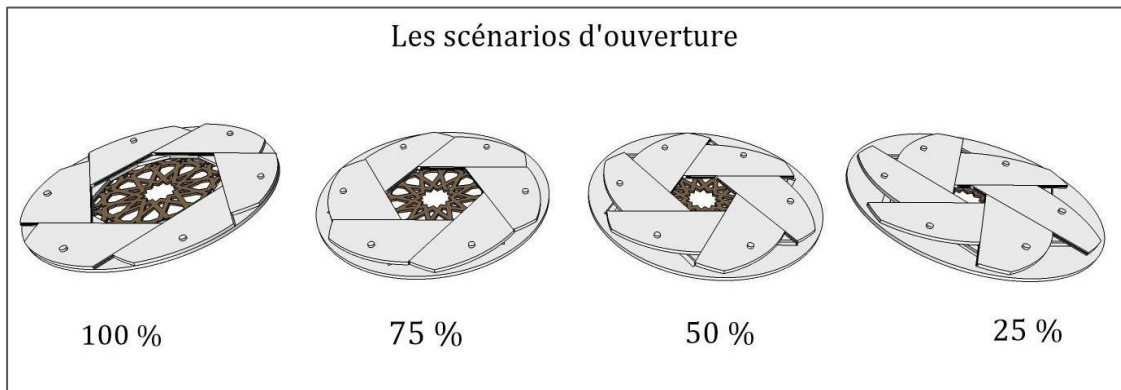


Figure 169: Les différents scénarios d'ouvertures à étudier.
(Source : auteur)

Le diaphragme à IRIS est assemblé avec un module de moucharabieh, donc pour chaque pourcentage d'ouverture un nouveau schéma de moucharabieh est produit.

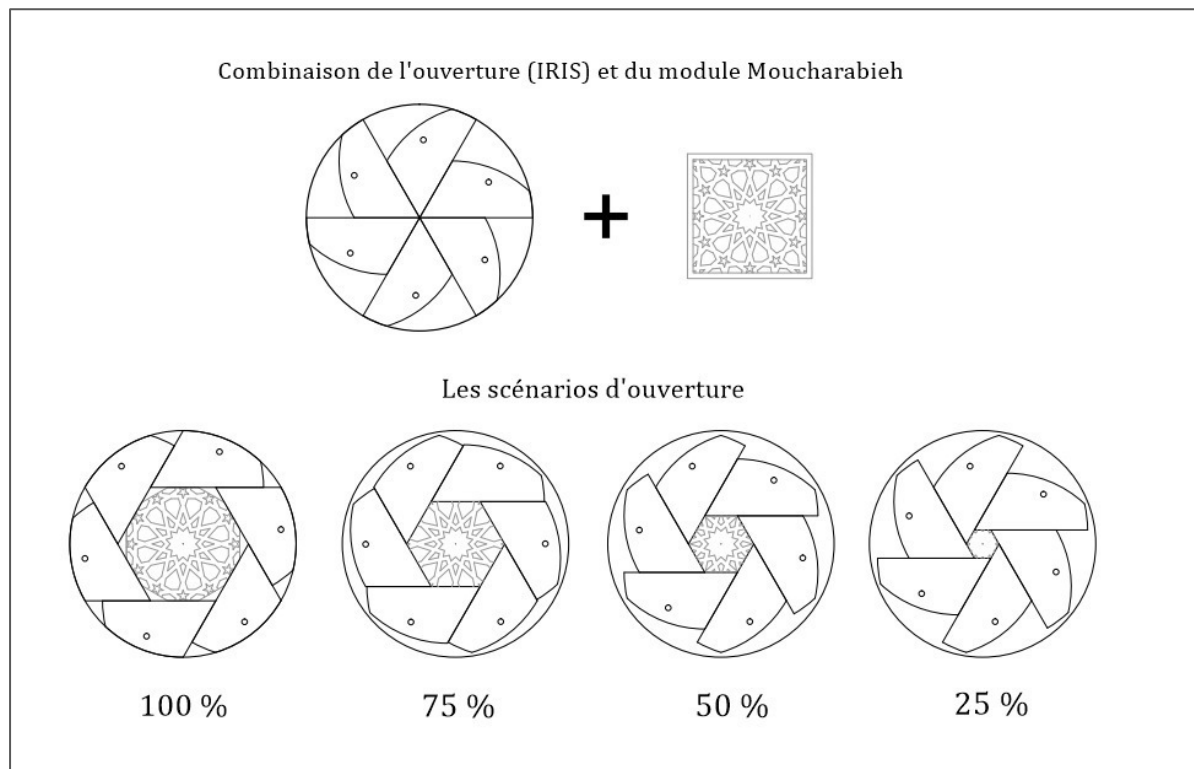


Figure 170: Les différents schémas de moucharabieh produits pour chaque pourcentage d'ouverture.
(Source : auteur)

2.5.2. La réalisation du modèle réduit :

Comme nous avons dit précédemment, nous avons choisi de faire notre expérimentation sur un modèle réduit d'une salle d'exposition. D'après le programme des surfaces, la surface d'une salle d'exposition est comprise entre 100 et 150 m² avec une hauteur entre 3.50 m et 4.00 m. pour notre expérimentation, nous avons choisi la surface maximale 150.00 m² avec 4.00 m de hauteur. Pour la forme, nous avons choisi la forme la plus répandue dans les salles d'expositions « un rectangle » (de 10m de largeur et 15m de longueur). La maquette est réalisée à l'échelle 1/20, c'est l'échelle utilisée pour avoir une vue intérieure très détaillée et pour étudier précisément la pénétration diffuse et directe de la lumière naturelle (Tableau 2), donc nous avons une maquette de 50 cm de largeur, 75 cm de longueur et 20 cm de hauteur.

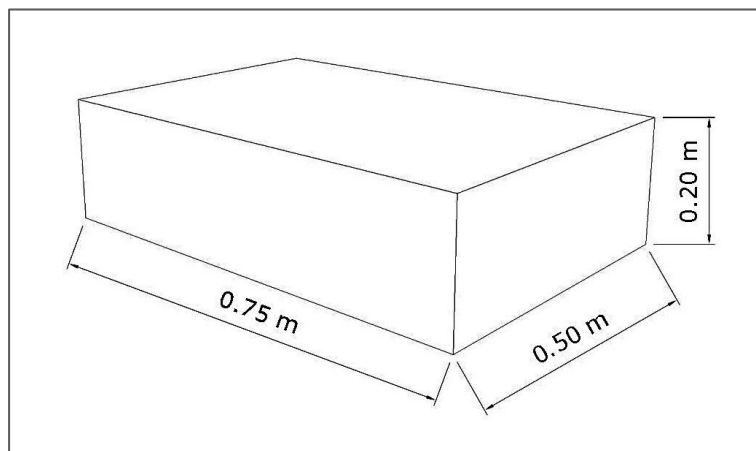


Figure 171: Les dimensions de la maquette utilisée.
(Source : auteur)

La maquette est réalisée à l'aide de carton recouvert sur deux faces avec du papier blanc. Afin de réaliser une maquette étanche à la lumière, nous avons choisi de couvrir toutes les arêtes de la maquette avec un papier noir pour éliminer les éventuelles pénétrations de la lumière à travers la jonction entre les coins.



Figure 172: Image de la maquette réalisée.
(Source : auteur)

Chapitre III : Cas d'étude et méthodologie de la recherche

Nous avons réalisé deux ouvertures au niveau de la maquette, une horizontale et l'autre verticale, et nous avons aussi effectué un trou dans la paroi en face de la fenêtre verticale, qui se trouve à la hauteur de l'œil (1.6m à l'échelle réelle, 8 cm à l'échelle de la maquette) pour installer la caméra.



Figure 173: L'installation de la caméra.
(Source : auteur)

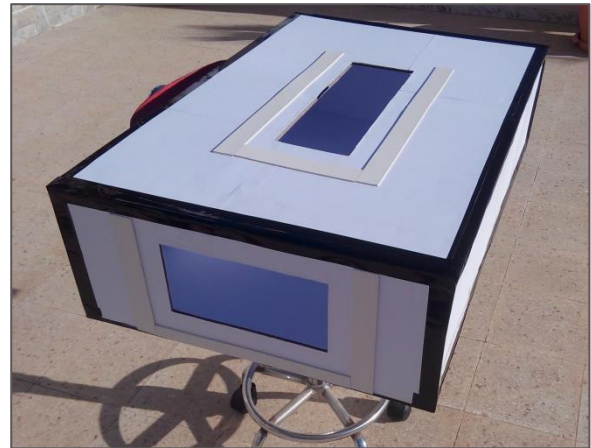


Figure 174: Photo de la maquette avec les deux ouvertures.
(Source : auteur)

Chaque ouverture est équipée de deux pièces : une pièce avec les modules de moucharabieh et l'autre pièce avec les différentes ouvertures du diaphragme à IRIS. Les pièces du diaphragme sont placées derrière celles du moucharabieh.

Les pièces avec les différentes ouvertures du diaphragme à IRIS

La pièce avec les modules moucharabieh

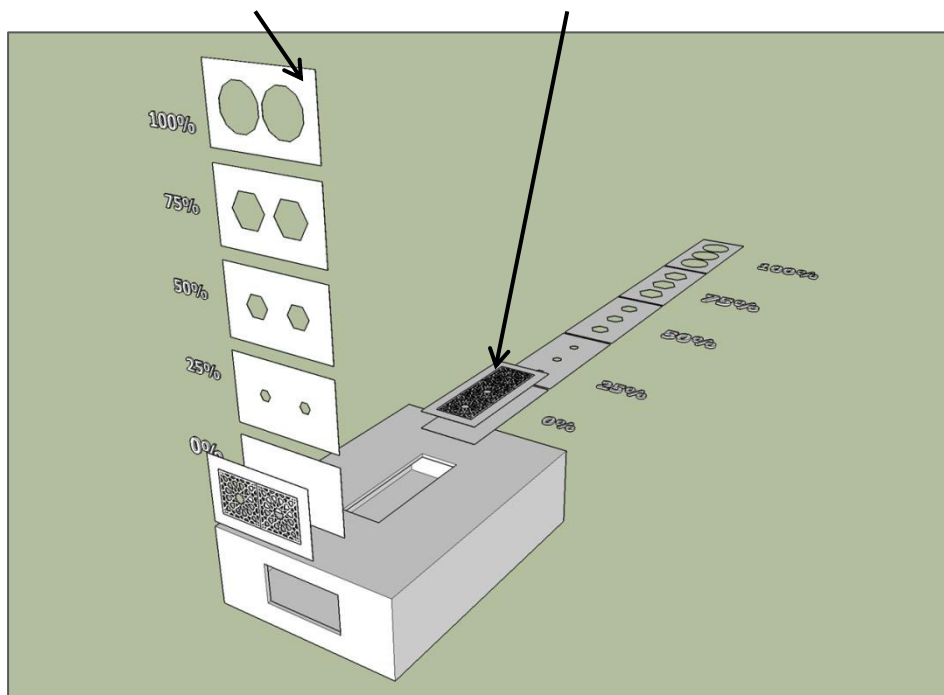


Figure 175: 3D de la maquette avec les différentes pièces.
(Source : auteur)

Chapitre III : Cas d'étude et méthodologie de la recherche

La pièce avec les modules de moucharabieh est fixe pour les deux positions d'ouverture (verticale et horizontale), mais les pièces avec les ouvertures du diaphragme sont changeables pour chaque cas (nombre d'ouverture à IRIS par module moucharabieh) et pour chaque pourcentage.

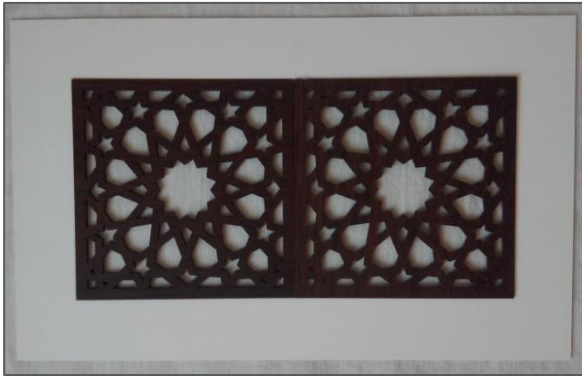


Figure 176: Photo de la pièce avec module moucharabieh placée au niveau de l'ouverture verticale.
(Source : auteur)

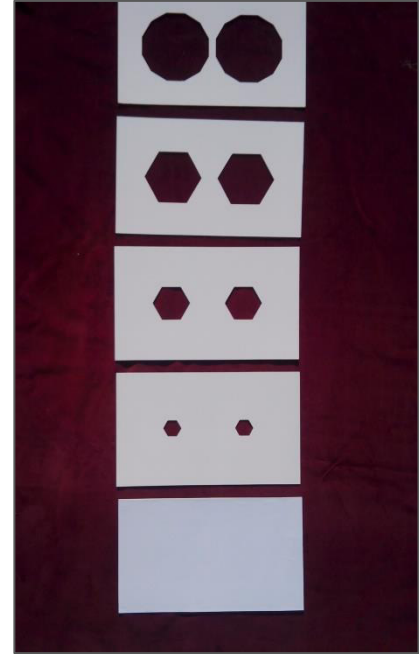


Figure 177: Photo des différentes pièces du diaphragme pour le cas 01 et l'ouverture verticale.
(Source : auteur)

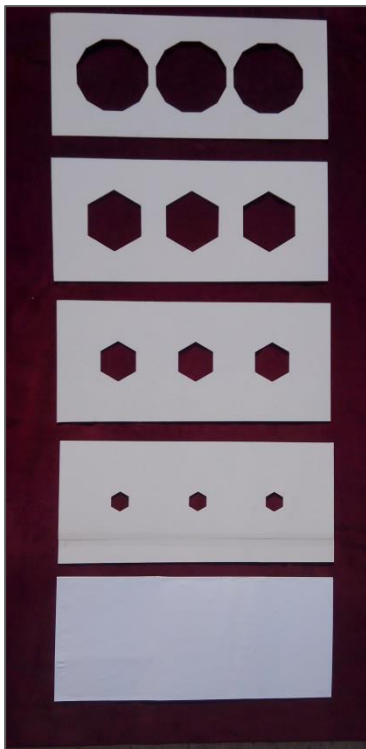


Figure 178: Photo des différentes pièces du diaphragme pour le cas 01 et l'ouverture horizontale.
(Source : auteur)

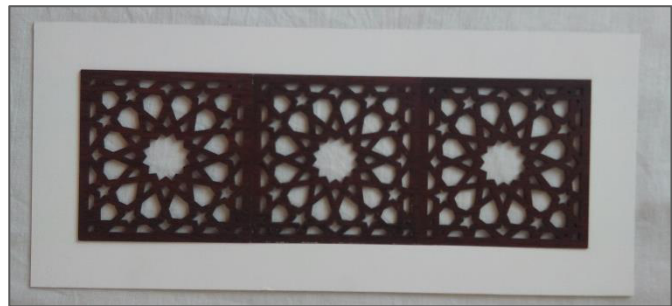


Figure 179: Photo de la pièce avec module moucharabieh placée au niveau de l'ouverture horizontale.
(Source : auteur)

2.5.3. L'exécution de l'expérimentation :

Première partie de l'expérimentation :

Après la réalisation du modèle réduit, nous passons à l'exécution. L'expérimentation est réalisée sous le ciel réel, afin d'étudier l'impact du moucharabieh sur les ambiances lumineuses créées par la lumière naturelle. Pour avoir différentes ambiances lumineuses similaires à celles produites en réalité, nous avons choisi de faire l'expérimentation, non dans une position fixe, mais à travers un parcours lumineux. Le parcours choisi est un parcours riche (présence de la végétation, des constructions, du vide) afin de produire un maximum d'ambiances.

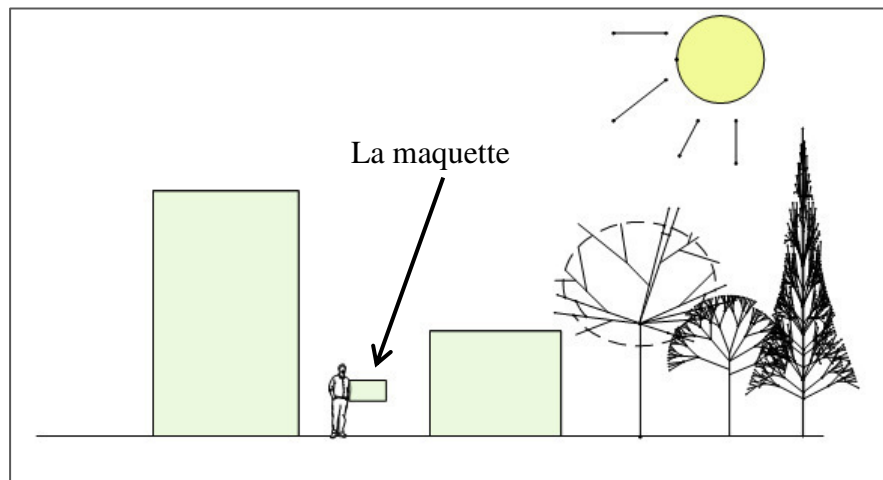


Figure 180: Schéma du parcours.
(Source : auteur)

Comme nous avons cité précédemment, nous avons étudié l'impact de trois facteurs :

- La position d'ouverture, dont il y'a deux cas : verticale et horizontale.
- Le nombre d'ouvertures IRIS par module de moucharabieh, dont nous avons trois cas : une ouverture, quatre ouvertures et huit ouvertures.
- Le pourcentage d'ouverture IRIS, dont on a quatre cas : 25%, 50%, 75% et 100%.

La combinaison des différents cas de ces trois facteurs nous donne au total 24 combinaisons. Pour chaque combinaison, nous avons réalisé une expérimentation. Le principe de l'expérimentation est que pendant une durée d'une minute, la maquette se déplace suivant le parcours lumineux choisi, et une vidéo est filmée pendant ce déplacement par la caméra placée sur la paroi verticale de la maquette, afin de capter le maximum des ambiances lumineuses générées à l'intérieur de la maquette. Donc au total nous avons 24 vidéos (chaque vidéo présente une combinaison), chaque vidéo d'une durée d'une minute (Tableau 03).







	Ouverture verticale			Ouverture horizontale		
	 Cas 01	 Cas 02	 Cas 03	 Cas 01	 Cas 02	 Cas 03
25%	Vidéo 01	Vidéo 05	Vidéo 09	Vidéo 13	Vidéo 17	Vidéo 21
50%	Vidéo 02	Vidéo 06	Vidéo 10	Vidéo 14	Vidéo 18	Vidéo 22
75%	Vidéo 03	Vidéo 07	Vidéo 11	Vidéo 15	Vidéo 19	Vidéo 23
100%	Vidéo 04	Vidéo 08	Vidéo 12	Vidéo 16	Vidéo 20	Vidéo 24

Tableau 3: les 24 combinaisons entre les trois facteurs.
(Source : auteur)

Deuxième partie de l'expérimentation :

La deuxième partie de l'expérimentation est l'extraction des images des différentes ambiances lumineuses et ensuite le traitement de ces images afin de les classer comme ambiance claire, moyenne ou sombre.

De chaque vidéo des 24 vidéos obtenues de l'expérimentation, nous avons capturé 10 images des différentes ambiances lumineuses générées à l'intérieur de la maquette par cette combinaison, donc au total nous avons 240 images. Ensuite, nous avons converti les images couleur en images en niveau de gris pour pouvoir obtenir l'histogramme de luminosité de chaque image, ce dernier nous permet de classer l'ambiance lumineuse dans chaque image comme : claire, moyenne ou sombre. Le classement des ambiances lumineuses se fait selon l'histogramme modèle de BOUZIR (Figure 181).

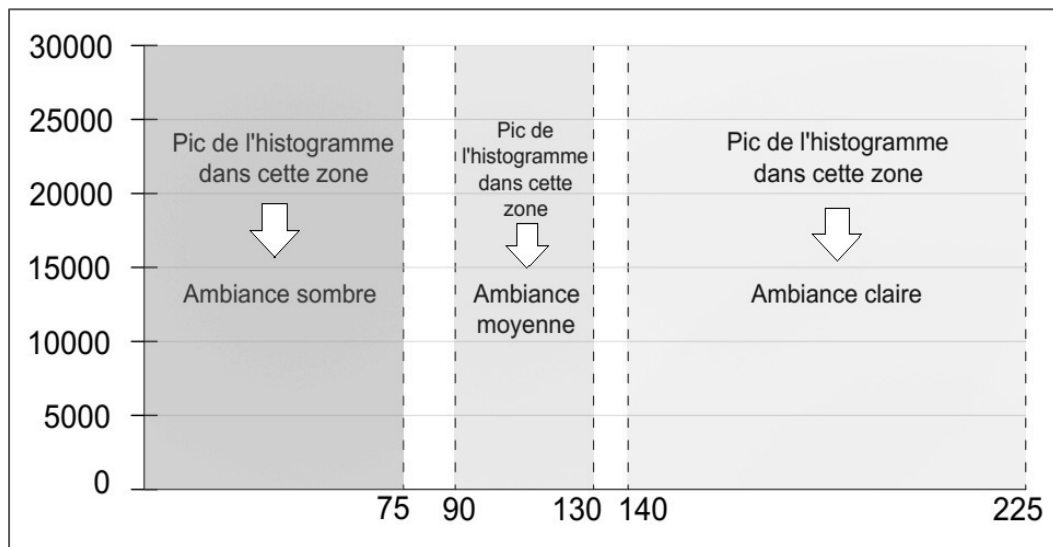


Figure 181: Histogramme modèle.
(Source : BOUZIR, 2014)

Toutes les images obtenues de l'expérimentation sont présentées et classées dans l'annexe 01. La figure 182 présente un schéma de synthèse du processus de l'expérimentation.

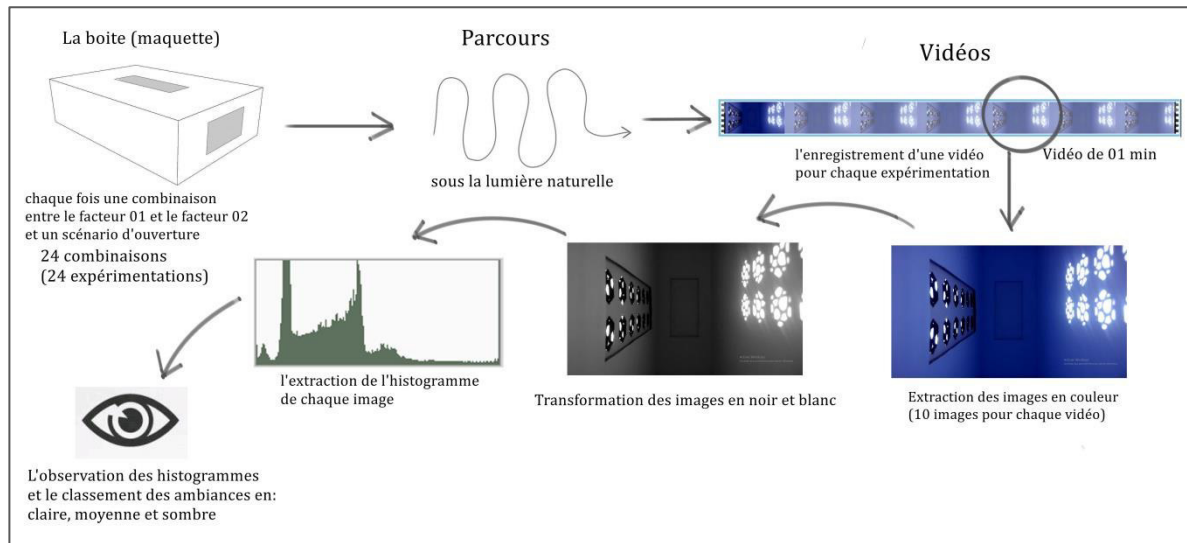


Figure 182: Schéma de synthèse du principe de l'expérimentation.
(Source : auteur)

Conclusion

Ce chapitre nous a permis de mieux comprendre les caractéristiques du climat de la ville de Jijel et du microclimat du site d'intervention, de savoir c'est quoi un musée et quelles sont ses exigences, d'analyser quelque exemple des musées et de tirer un programme des espaces et surfaces nécessaires pour la conception d'un musée. Dans ce chapitre aussi nous avons expliqué le contexte de notre expérimentation et les différentes étapes de la réalisation de la maquette et de l'exécution de l'expérimentation.

Dans le chapitre suivant, nous allons interpréter les résultats de l'expérimentation afin de déterminer la meilleure combinaison des trois facteurs ; position de l'ouverture, nombre d'ouverture IRIS par module de moucharabieh et le pourcentage d'ouverture, pour obtenir des ambiances lumineuses agréables à l'intérieur de l'espace d'exposition.

Chapitre IV : Résultats et interprétations

Introduction :

Dans ce présent chapitre, nous allons analyser et interpréter les résultats de l'expérimentation dans le cadre de l'étude de l'impact des trois facteurs (position d'ouverture, nombre d'ouvertures, pourcentage d'ouverture) afin de déterminer la meilleure combinaison entre ces facteurs pour obtenir une ambiance lumineuse agréable à l'intérieur des espaces d'exposition.

Les images obtenues de l'expérimentation sont présentées et sont jugées comme (claire, moyenne ou sombre) dans l'annexe 01. D'autre part, la numérotation des images a été effectuée dans le présent chapitre et dans l'annexe 01 selon le tableau de référence suivant :







	Ouverture verticale			Ouverture horizontale		
	 Cas 01	 Cas 02	 Cas 03	 Cas 01	 Cas 02	 Cas 03
25%	Image01- image 10	Image41- image50	Image81- image90	Image121- image130	Image161- image170	Image201- image210
50%	Image11- image20	Image51- image60	Image91- image100	Image131- image140	Image171- image180	Image211- image220
75%	Image21- image30	Image61- image70	Image101- image110	Image141- image150	Image181- image190	Image221- image230
100%	Image31- image40	Image71- image80	Image111- image120	Image151- image160	Image191- image200	Image231- image240

Tableau 4: Tableau de référence de la numérotation des images (résultats de l'expérimentation)
(Source : auteur)

1. Étude de l'impact du nombre d'ouverture IRIS par module de moucharabieh :

Comme nous avons cité dans le chapitre précédemment, plus précisément dans l'étude de l'impact du nombre d'ouverture (IRIS) par module de moucharabieh, nous allons comparer dans cette partie entre trois (03) cas de ce facteur selon le type d'ambiance généré par chaque cas, sachant que les ambiances sont déjà jugées comme: claire, moyenne ou sombre au niveau de l'annexe 01. Les trois (3) cas sont présentés dans cette étude comme suit :

- Cas 01 : une seule ouverture IRIS avec un seul module moucharabieh
- Cas 02 : quatre ouvertures IRIS avec un seul module moucharabieh
- Cas 03 : huit ouvertures IRIS avec un seul module moucharabieh

1.1. Lecture des résultats

1.1.1. Ouverture verticale

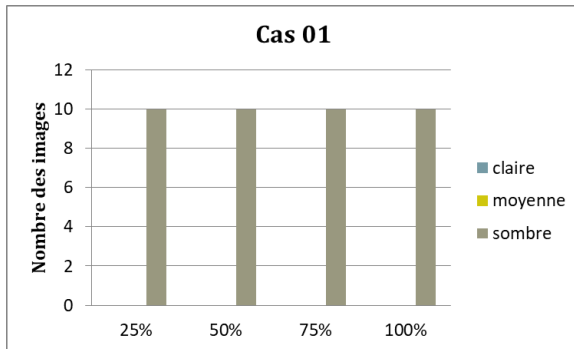


Figure 183: Nombre des images claires, moyennes et sombres, dans le cas 01 pour les quatre scénarios d'ouverture (ouverture verticale).
(Source : auteur)

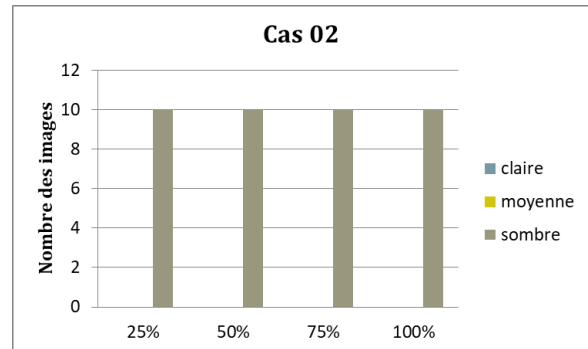


Figure 184: Nombre des images claires, moyennes et sombres, dans le cas 02 pour les quatre scénarios d'ouverture (ouverture verticale).
(Source : auteur)

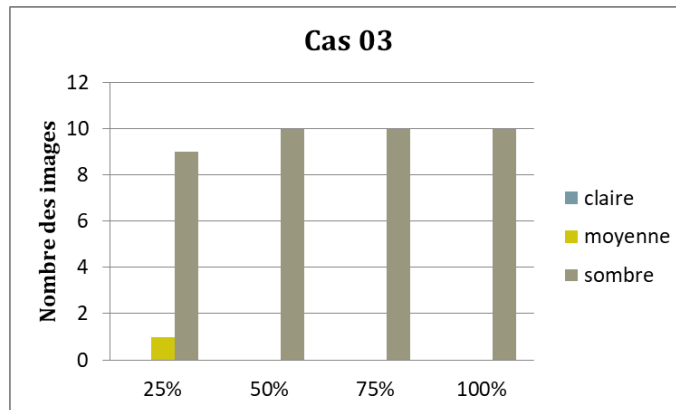


Figure 185: Nombre des images claires, moyennes et sombres, dans le cas 03 pour les quatre scénarios d'ouverture (ouverture verticale).
(Source : auteur)

D'après la lecture des figures 183 et 184, pour le cas 01 (une seule ouverture IRIS avec un seul module de moucharabieh) et le cas 02 (quatre ouvertures IRIS avec un seul module de moucharabieh), on remarque que toutes les images sont jugées sombres pour les quatre scénarios d'ouverture. D'autre part, pour le cas 03 (huit ouvertures IRIS avec un seul module de moucharabieh), on observe dans la figure 185 que la majorité des images sont jugées sombres, une seule image jugée moyenne pour 25% d'ouverture.

Pour la qualité d'ambiance lumineuse créée dans les différents cas 01, 02 et 03, pour une ouverture verticale et pour le même pourcentage d'ouverture 100%, on remarque que le cas 01 et 02 produisent des schémas de moucharabieh par un jeu de lumière et d'ombre projeté sur le sol. Tandis que le cas 03 produit des petits points de lumière. À ce niveau, la figure 186 présente un exemple des images de l'expérimentation ...

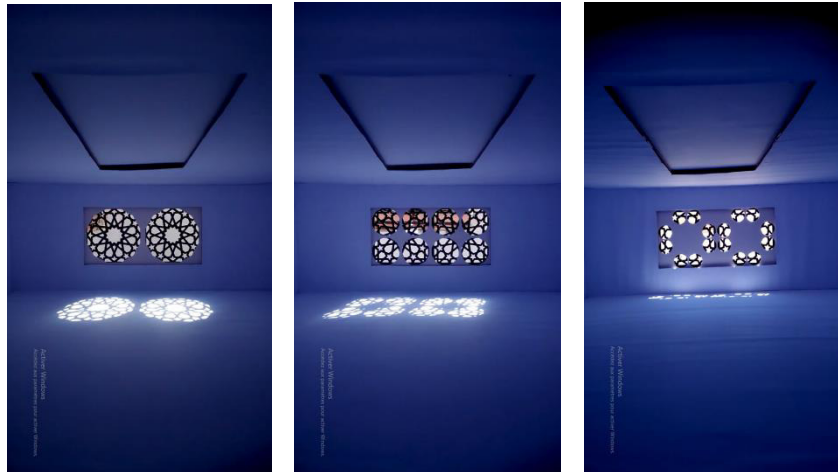


Figure 186: Ensemble des images de l'expérimentation pour une ouverture verticale avec 100% d'ouverture: (depuis la gauche vers la droite) : image du cas 01, image du cas 02, image du cas 03. (Source : auteur)

1.1.2. Ouverture horizontale

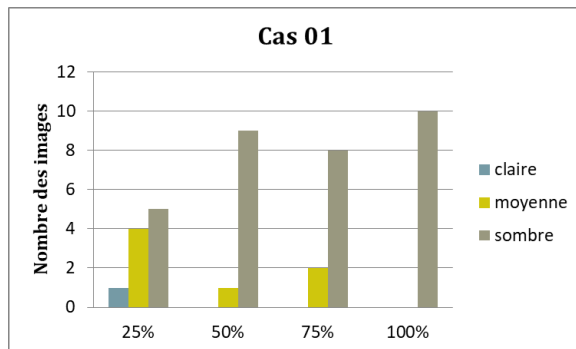


Figure 187: Nombre des images claires, moyennes et sombres, dans le cas 01 pour les quatre scénarios d'ouverture (ouverture horizontale). (Source : auteur)

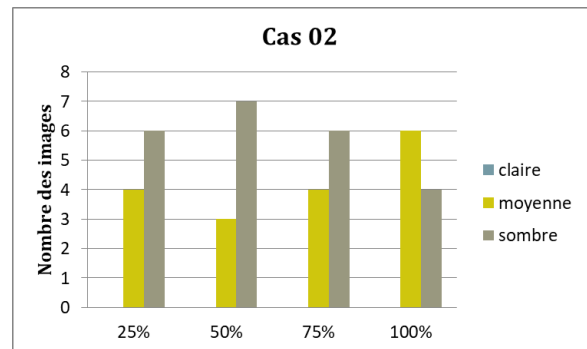


Figure 188: Nombre des images claires, moyennes et sombres, dans le cas 02 pour les quatre scénarios d'ouverture (ouverture horizontale). (Source : auteur)

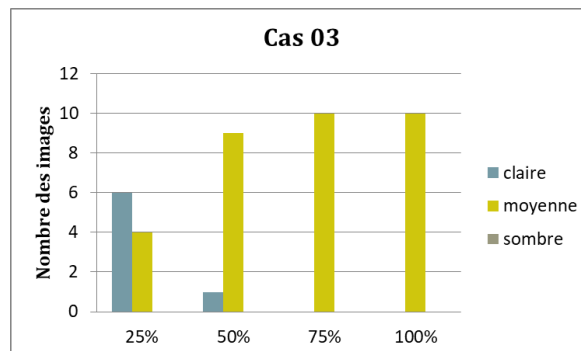


Figure 189: Nombre des images claires, moyennes et sombres, dans le cas 03 pour les quatre scénarios d'ouverture (ouverture horizontale). (Source : auteur)

Pour l'ouverture horizontale, on remarque que toutes les images du cas 03 sont des images jugées moyennes et claires, au contraire des deux autres cas où la majorité des images sont jugées sombres.

Pour la qualité d'ambiance lumineuse créée dans les différents cas 01, 02 et 03, pour une ouverture horizontale et pour le même pourcentage d'ouverture 100%, on remarque que le cas 01 produit des schémas de moucharabieh par un jeu de lumière et d'ombre. Tandis que le cas 02 et 03 produit de nouveaux schémas créent par l'interaction de la lumière, les petites ouvertures et le module moucharabieh. À ce niveau, la figure 190 présente un exemple des images de l'expérimentation ...

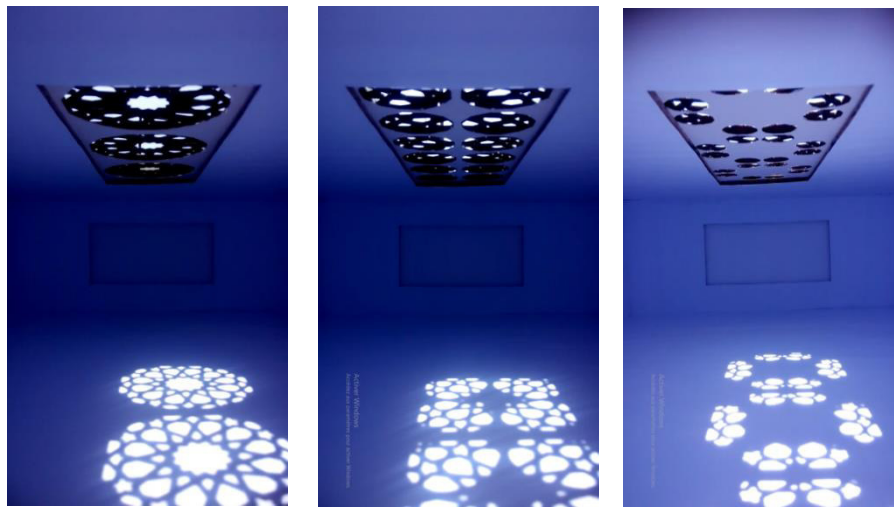


Figure 190: Ensemble des images de l'expérimentation pour une ouverture horizontale avec 100% d'ouverture: (depuis la gauche vers la droite) : image du cas 01, image du cas 02, image du cas 03.
(Source : auteur)

1.2. Interprétation des résultats

D'après l'analyse des résultats, on a remarqué que, pour les deux positions d'ouverture (verticale ou horizontale), c'est le troisième cas qui présente le grand nombre d'images jugées moyennes et claires par rapport aux deux autres cas. Cela est dû au nombre d'ouvertures présent dans ce cas (huit ouvertures), ces ouvertures sont de petite taille, mais elles sont plus que le nombre des ouvertures dans les autres cas (le cas 01 : une seule ouverture, le cas 02 : quatre ouvertures). Donc plus la surface d'ouverture est divisée en plusieurs ouvertures, plus le local est mieux éclairé. Cela est dû au phénomène de focalisation de la lumière, dans le cas 02 et le cas 03 la lumière est focalisée sur plusieurs endroits à l'intérieur du local ce qui permet de l'éclairer plus que dans le cas 01, où la lumière se focalise sur un seul endroit. Sachant que ces taches lumineuses peuvent provoquer un éblouissement aux usagers de l'espace.

2. Étude de l'impact du pourcentage d'ouverture IRIS sur l'ambiance lumineuse de l'espace architectural:

Comme nous avons déjà cité dans la partie précédente, au niveau de l'étude de l'impact du pourcentage d'ouverture IRIS sur l'ambiance lumineuse de l'espace architectural, on va comparer entre les quatre scénarios d'ouverture : 25%, 50%, 75% et 100%, selon le type d'ambiance générée (claire, moyenne ou sombre) par chaque pourcentage.

2.1. Lecture des résultats

2.1.1. Ouverture verticale

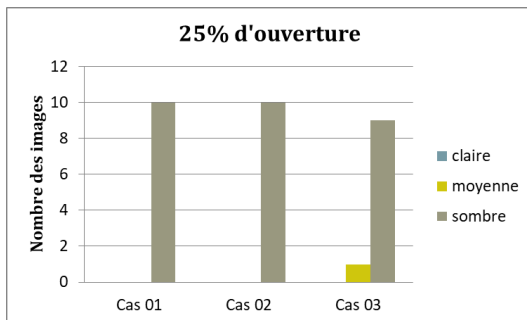


Figure 191: Nombre des images claires, moyennes et sombres, avec un scénario d'ouverture de 25% dans les trois cas (ouverture verticale).
(Source : auteur)

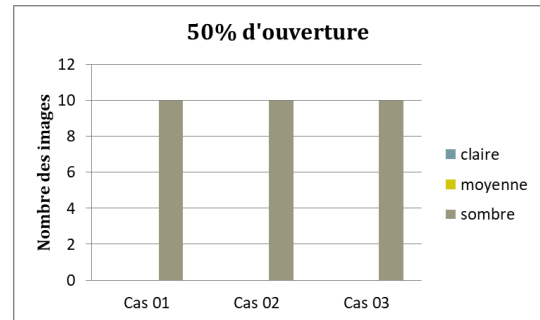


Figure 192: Nombre des images claires, moyennes et sombres, avec un scénario d'ouverture de 50% dans les trois cas (ouverture verticale).
(Source : auteur)

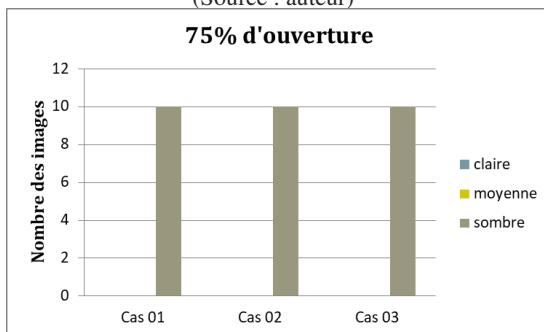


Figure 193: Nombre des images claires, moyennes et sombres, avec un scénario d'ouverture de 75% dans les trois cas (ouverture verticale).
(Source : auteur)

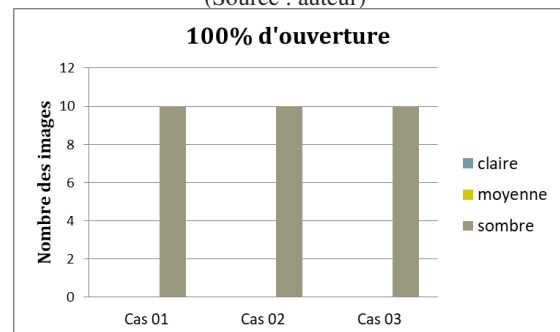


Figure 194: Nombre des images claires, moyennes et sombres, avec un scénario d'ouverture de 100% dans les trois cas (ouverture verticale).
(Source : auteur)

D'après la lecture des figures 191, 192, 193, et 194, on remarque pour l'ouverture verticale et pour tous les trois cas, que toutes les images des quatre scénarios sont jugées comme sombres. On observe également que seulement le scénario de 25% d'ouverture présente une image jugée moyenne dans le cas 03.

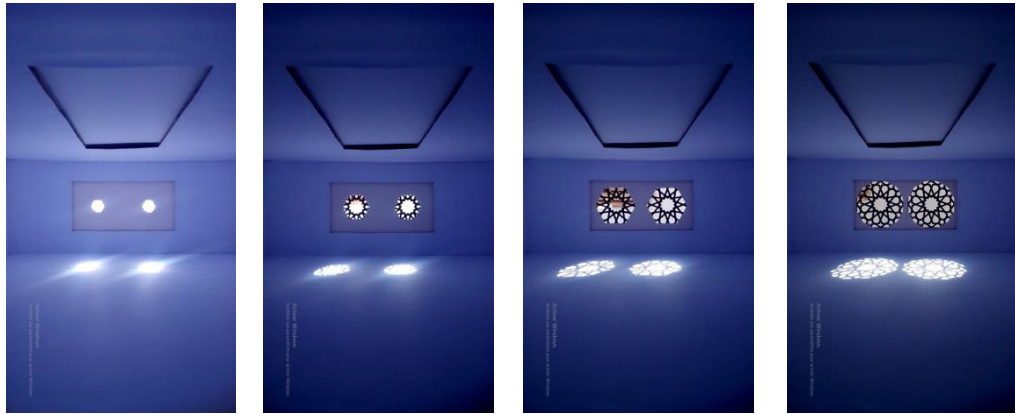


Figure 195: Ensemble des images de l'expérimentation pour une ouverture verticale dans le cas 01: (depuis la gauche vers la droite) : image 25% d'ouverture, image 50% d'ouverture, image 75% d'ouverture, image 100% d'ouverture. (Source : auteur)

Pour la qualité d'ambiance lumineuse créée dans les différents scénarios d'ouverture 25%, 50% 75% et 100%, pour une ouverture verticale et dans le même cas 01, on remarque dans la figure 195 que les deux scénarios de 25% et 50% produits des taches lumineuses, tandis que les deux autres scénarios de 75% et 100% produits des schémas de moucharabieh clairs et bien limités.

2.1.2. Ouverture horizontale

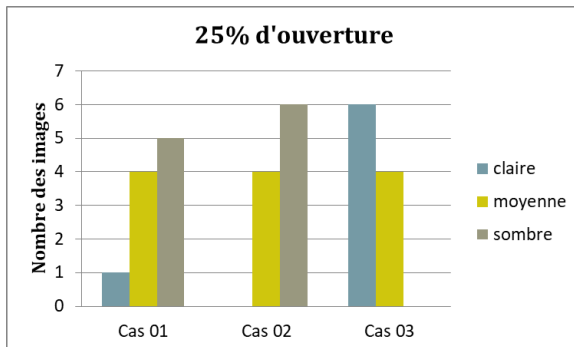


Figure 196: Nombre des images claires, moyennes et sombres, avec un scénario d'ouverture de 25% dans les trois cas (ouverture horizontale). (Source : auteur)

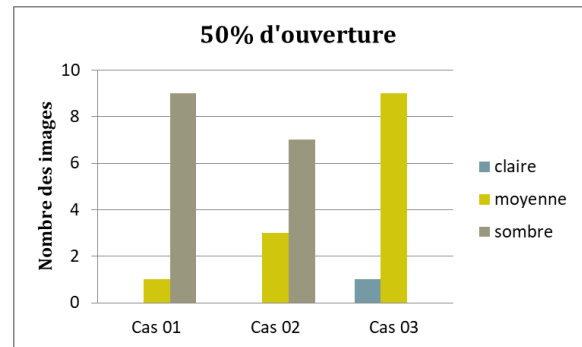


Figure 197: Nombre des images claires, moyennes et sombres, avec un scénario d'ouverture de 50% dans les trois cas (ouverture horizontale). (Source : auteur)

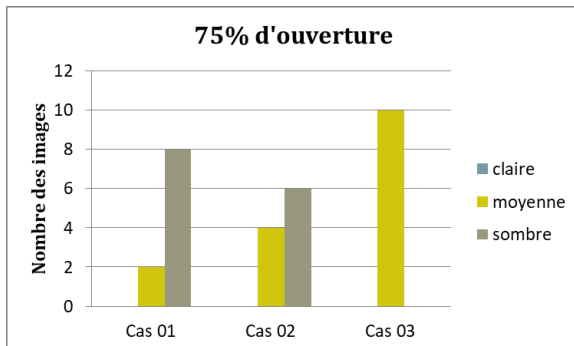


Figure 198: Nombre des images claires, moyennes et sombres, avec un scénario d'ouverture de 75% dans les trois cas (ouverture horizontale). (Source : auteur)

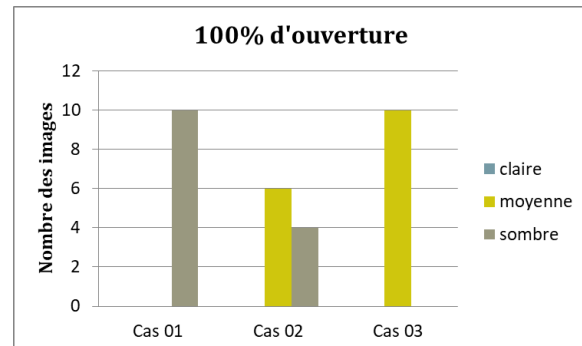


Figure 199: Nombre des images claires, moyennes et sombres, avec un scénario d'ouverture de 100% dans les trois cas (ouverture horizontale). (Source : auteur)

On remarque que, pour l'ouverture horizontale, le scénario de 25% d'ouverture présente un grand nombre d'images jugées claire et moyenne par rapport au trois autre scénarios (7 images claires, 12 moyennes et 11 sombres). Le scénario de 50% d'ouverture présente le grand nombre des images jugées sombre (16 images sombres, 13 moyennes et une claire). Les deux scénarios de 75% et 100% d'ouverture présentent le grand nombre des images jugées moyenne (16 images moyennes, 14 sombres et aucune image claire).

Au premier lieu, on remarque dans la lecture de la figure 196 que le scénario de 25% d'ouverture présente un grand nombre d'images jugées claires et moyennes par rapport aux trois autres scénarios (7 images claires, 12 moyennes et 11 sombres), pour l'ouverture horizontale. D'autre part, la figure 197 montre que scénario de 50% d'ouverture présente le grand nombre des images jugées sombres (16 images sombres, 13 moyennes et une claire). En outre, les figures 198 et 199 illustrent que les deux scénarios de 75% et 100% d'ouverture présentent le grand nombre des images jugées moyennes (16 images moyennes, 14 sombres et aucune image claire).

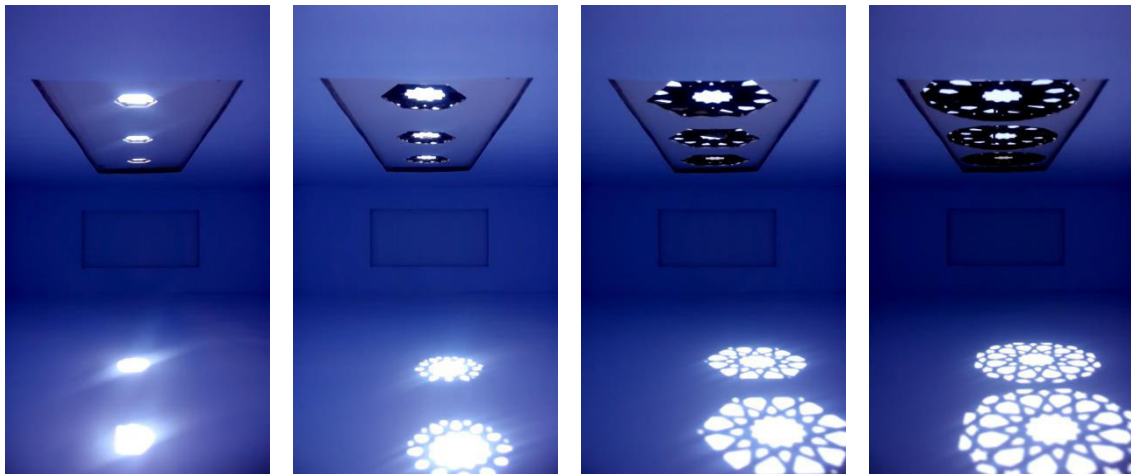


Figure 200: Ensemble des images de l'expérimentation pour une ouverture horizontale dans le cas 01: (depuis la gauche vers la droite) : image 25% d'ouverture, image 50% d'ouverture, image 75% d'ouverture, image 100% d'ouverture. (Source : auteur)

Pour la qualité d'ambiance lumineuse créée dans les quatre scénarios 25%, 50% 75% et 100%, pour une ouverture horizontale et dans le même cas 01, on remarque dans la figure 200 que pour une ouverture de 25% des taches lumineuses qui provoquent de l'éblouissement à l'intérieur de l'espace. Pour le scénario de 50% d'ouverture, le schéma de moucharabieh commence à se former, mais avec des bordures pas bien limitées. Tandis que pour les deux scénarios de 75% et 100% le schéma de moucharabieh est clair et bien limité.

2.2. Interprétation des résultats

Le scénario de 25% d'ouverture présente le grand nombre d'images jugées claires, cela est justifié par le phénomène de diffraction (la définition de ce phénomène est présentée au niveau du chapitre I), les rayons lumineux issus d'une source ponctuelle sont déviés de leur trajectoire rectiligne. De cela, ils peuvent produire donc une zone lumineuse d'un rayon plus grand que celui de la source. Contrairement au précédent, ce scénario présente des taches lumineuses à l'intérieur de l'espace qui puisse être des sources d'éblouissement.

3. Etude de l'impact de la position d'ouverture sur l'ambiance de l'espace:

3.1. Lecture et interprétation des résultats

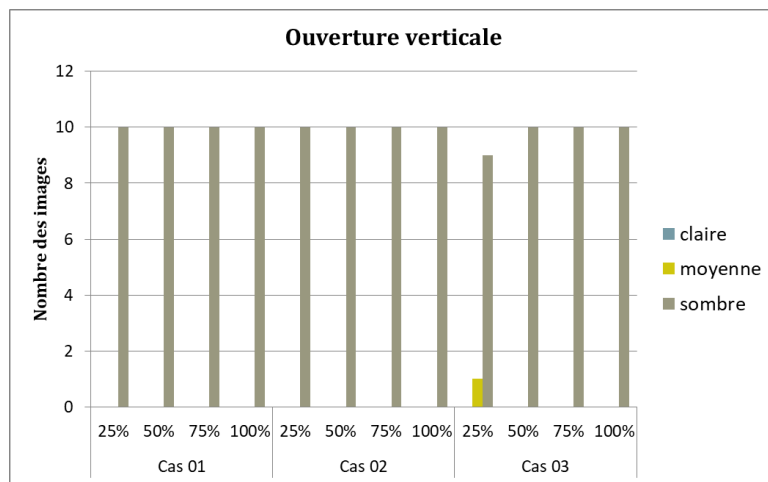


Figure 201: Nombre des images claires, moyennes et sombres, avec une ouverture verticale, dans les différents cas et les différents scénarios d'ouverture. (Source : auteur)

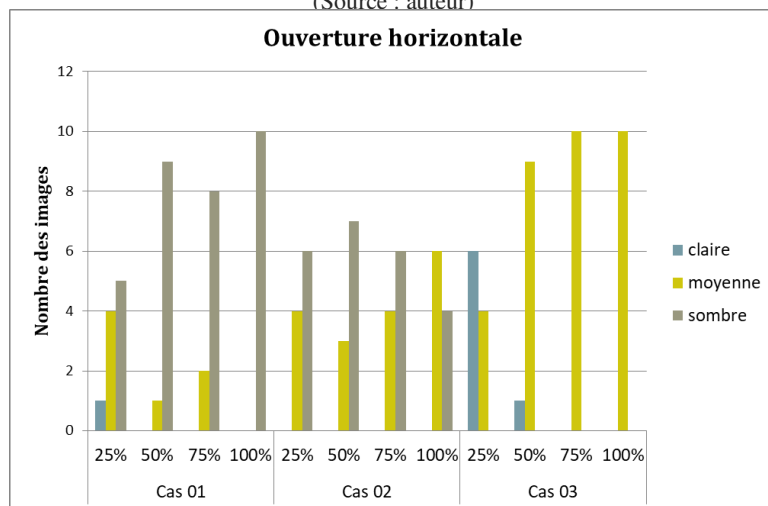


Figure 202: Nombre des images claires, moyennes et sombres, avec une ouverture horizontale, dans les différents cas et les différents scénarios d'ouverture. (Source : auteur)

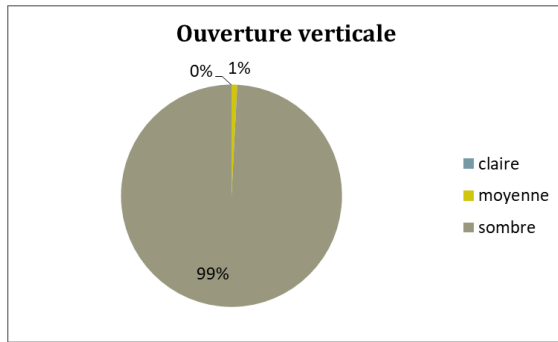


Figure 203: Pourcentage totale des images claires, moyennes et sombres, avec une ouverture verticale.

(Source : auteur)

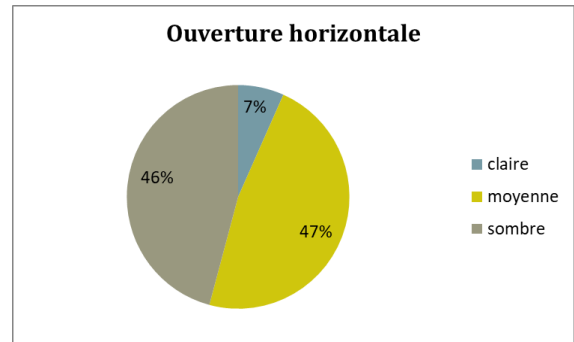


Figure 204: Pourcentage totale des images claires, moyennes et sombres, avec une ouverture horizontale.

(Source : auteur)

On remarque, dans les figures 201, 202, 203 et 204, après une comparaison des pourcentages des images jugées claires, moyennes et sombres entre l'ouverture verticale et l'ouverture horizontale, que 47% des images de l'ouverture horizontale sont jugées moyennes, au contraire de l'ouverture verticale où juste 1% des images sont jugées moyennes et 99% sont jugées sombres. Cela est expliqué par la position de l'ouverture horizontale dans le plafond, c'est un éclairage zénithal qui vient du haut directement du ciel, qui pénètre largement dans l'espace. Comme on a vu dans le chapitre I, une fenêtre horizontale apporte trois à cinq fois plus de lumière qu'une fenêtre verticale avec une surface équivalente.

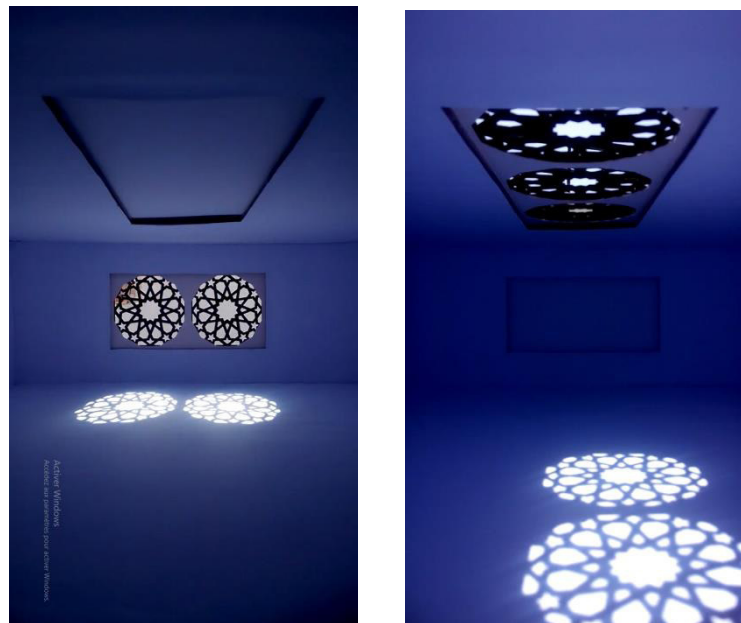


Figure 205: Images de l'expérimentation pour le cas 01 et un pourcentage d'ouverture de 100%, image à droite: ouverture horizontale, image à gauche : ouverture verticale.

(Source : auteur)

Pour la qualité d'ambiance lumineuse, on remarque que la projection du schéma de moucharabieh par la lumière est claire et bien limitée dans les deux positions d'ouverture horizontale et verticale.

4. Synthèse

Dans la synthèse, nous avons organisé les résultats des 24 combinaisons entre les trois facteurs étudiés dans ce chapitre dans un tableau de synthèse (tableau 5) afin de choisir la meilleure composition en termes de type d'ambiance lumineuse.

	Ouverture verticale											
	Cas 01				Cas 02				Cas 03			
	25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
Claire	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Moyenne	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Sombre	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10
	Ouverture horizontale											
	Cas 01				Cas 02				Cas 03			
	25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
Claire	1	0	0	0	0	0	0	0	6	1	0	0
Moyenne	4	1	2	0	4	3	4	6	4	9	10	10
Sombre	5	9	8	10	6	7	6	4	0	0	0	0

Tableau 5: Tableau de synthèse du nombre des images claires, moyennes et sombres dans les 24 compositions (Source : auteur)

Après l'étude de l'impact des trois facteurs et la comparaison entre les trois cas du nombre d'ouvertures (une ouverture, quatre ouvertures ou huit ouvertures), les quatre scénarios d'ouverture (25%, 50%, 75% et 100%) dans les deux positions d'ouverture (horizontale et verticale), montre que la meilleure combinaison entre ces trois facteurs pour obtenir une ambiance lumineuse claire est : une ouverture horizontale de huit ouvertures IRIS par module de moucharabieh avec un pourcentage d'ouverture IRIS de 25% (Figure 206).



Figure 206: Le cas choisi: ouverture horizontale de huit ouvertures IRIS par module de moucharabieh avec un pourcentage d'ouverture IRIS de 25% (Source : auteur)

Conclusion

En conclusion, On peut dire qu'après l'interprétation des résultats des différents facteurs et la comparaison entre les différentes combinaisons de ces facteurs, on a trouvé que lorsque le module moucharabieh est divisé en huit petites ouvertures IRIS l'ambiance lumineuse à l'intérieur de l'espace sera plus claire que lorsque le module moucharabieh est totalement ouvert par une seule ouverture IRIS. Par contre, la combinaison d'un seul module moucharabieh avec une seule ouverture IRIS produit un jeu de lumière et d'ombre à l'intérieur de l'espace architectural sous forme d'un schéma de moucharabieh dessiné par la lumière, ce qui est plus intéressé à utiliser dans les espaces d'exposition pour attirer les visiteurs à découvrir cette ambiance lumineuse agréable créée par l'interaction de la lumière et le module de moucharabieh.

Chapitre V : L'application du projet

Introduction

Dans ce dernier chapitre nous allons, premièrement, présenter les différents points et recommandations obtenus de la partie théorique : de l'analyse du terrain, du musée et des exemples, ainsi que les résultats de l'expérimentation. Deuxièmement, comment nous avons interprété ces différentes recommandations dans la conception de notre projet de musée.

1. Les éléments de passage

1.1. Synthèse de l'analyse de terrain

Les points les plus importants que nous avons tirés de l'analyse de notre terrain d'intervention sont :

- Le climat de la ville de Jijel est un climat méditerranéen, dont la période froide (l'hiver) est plus importante que la période chaude (l'été), un pourcentage d'humidité très élevé avec une forte précipitation durant la période hivernal.
- Les recommandations obtenues de l'analyse bioclimatique de la ville de Jijel par l'application de la méthode de Mahoney et le diagramme de Givoni sont :
 - Assurer une circulation d'air permanente.
 - Compacité du plan de masse avec cour intérieur.
 - Ouvertures de grandes dimensions.
 - Protection contre la pluie et un système de drainage approprié des eaux de pluie.

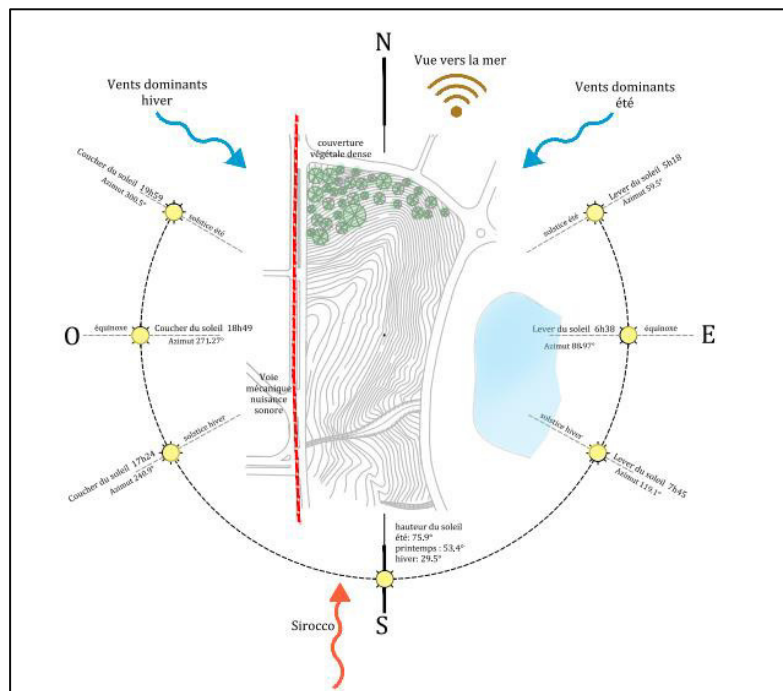


Figure 207: Schéma de synthèse de l'analyse de terrain.
(Source : auteur)

1.2. Synthèse de l'analyse du musée et des exemples

L'analyse du musée et des exemples nous donne un schéma fonctionnel et un programme des différents espaces et leurs surfaces.

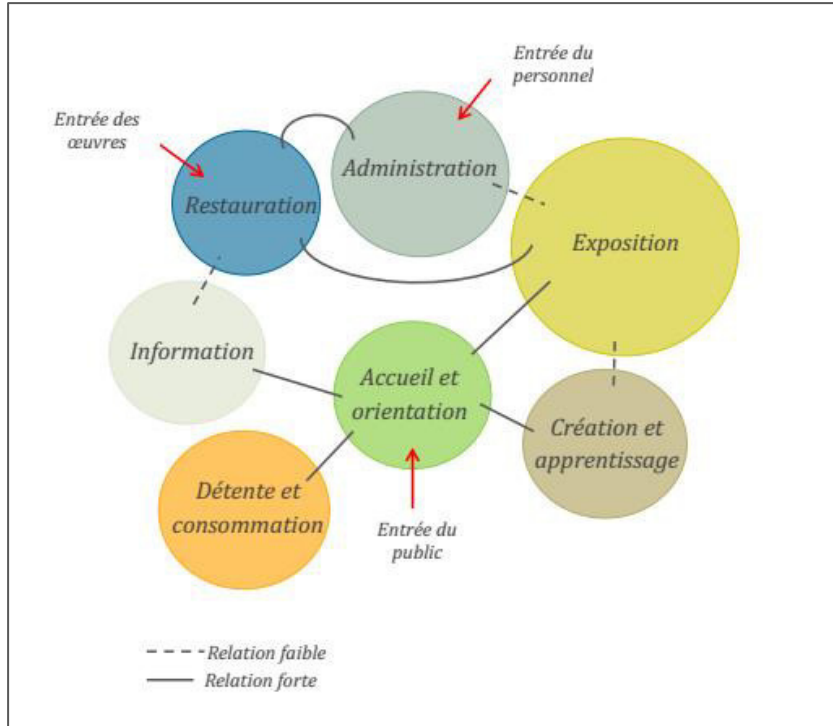


Figure 208: Diagramme fonctionnel du musée. (Source : auteur)

Accueil et orientation	Exposition	Information	Restauration	Création et apprentissage	Détente et consommation	Administration
Hall d'accueil Réception et information Billetterie Affichage Bureau de conseil culturel 20 m ² Sanitaires (H-F)	Exposition permanente 100-150 m ² x 8 *exposition osier *exposition cuire *exposition tapisserie *exposition poterie *exposition cuivre *exposition bois *exposition liège *exposition textile Exposition temporaire 400 m ² Exposition en plein air Ateliers accessoires et préparation 50 m ² Dépôt 60 m ²	Hall d'entrée Unité de documentation spéciale *chercheur, conservateur *restaurateur 60 m ² Bibliothèque des arts : *espace de prêt+ fichier 20-25 m ² *espace lecture rayonnage 200 m ² Salle de conférences *salle de projection 300 per. *local projection 20 m ² *régie son-image 2 x 9 m ² *vestiaires (H+F) 3 x 12 m ² *Loges 2 x 30 m ² *Dépôt accessoire et décors 2 x 9 m ² *sanitaires Salle virtuelle 40 m ²	Laboratoire et atelier de restauration 2x40 m ² Salle des réserves et de stockage 40 m ² Salle de mise en catalogue 40 m ² Dépôt de restauration 40 m ² Sanitaires (H-F)	Ateliers : 50 m ² x 8 *tapisserie *poterie *osier *cuire *tissage *cuivre *bois *liège Dépôt matériel artistique 70 m ² Infirmerie 20 m ² Sanitaires (H-F)	Cafétéria 40m ² Salle de restauration 100m ² Cuisine Vestiaires (H+F) 2 x 6m ² Boutique 2 x 30 m ²	Service de sécurité 40 m ² Secrétariat 15 m ² Bureau directeur 20 m ² Bureau comptabilité et gestion 20 m ² Bureau du personnel 15 m ² Service des relations extérieures 30 m ² Salle de réunion 40 m ² Archives 12m ² Sanitaires (H-F)

Figure 209: Programme du musée. (Source : auteur)

1.3. Synthèse de l'expérimentation

D'après les résultats de l'expérimentation, on a le meilleur cas pour obtenir une ambiance lumineuse claire dans un espace d'exposition de forme rectangulaire de 10m de largeur et 15m de longueur avec 4m de hauteur est une ouverture horizontale composée de trois module moucharabieh, chaque module est combiné de huit ouvertures IRIS qui s'ouvre et se ferme d'un pourcentage d'ouverture de 100% jusqu'à 25%, dont le petit pourcentage de 25% présente une ambiance lumineuse plus claire que les autres pourcentage. On a remarqué aussi que le premier cas (une seule ouverture IRIS avec un seul module moucharabieh) présente une ambiance lumineuse particulière produite par un jeu de lumière et d'ombre à l'intérieur de l'espace sous forme d'un schéma de moucharabieh dessiné par la lumière.

Ces deux cas présentent des tâches solaires qui peuvent gênées la perception des œuvres exposés.



Figure 210: Le cas 03 qui présente une ambiance lumineuse claire.
(Source : auteur)



Figure 211: Le cas 01 qui présente une ambiance lumineuse particulière. (Source : auteur)

2. L'application du projet

Nous avons choisi pour le type de musée un musée d'artisanat, à cause de l'importance de cette activité dans le domaine artistique de la ville de Jijel et le nombre important des artisans dans la ville et la variété des produits artisanaux.

2.1. L'idée de base

D'après l'analyse que nous avons faite sur le musée, un musée est un établissement culturel qui présente le cachet exceptionnel d'une région, c'est-à-dire son identité et sa tradition. La tâche essentielle dans un musée est de mettre en valeur un objet afin de l'exposer au public, donc la chose la plus importante dans un musée est « l'objet ». Les fonctions principales d'un musée tournent autour de l'objet, au début collecter l'objet, puis conserver l'objet, exposer l'objet, et à la fin faire découvrir l'objet par le public.

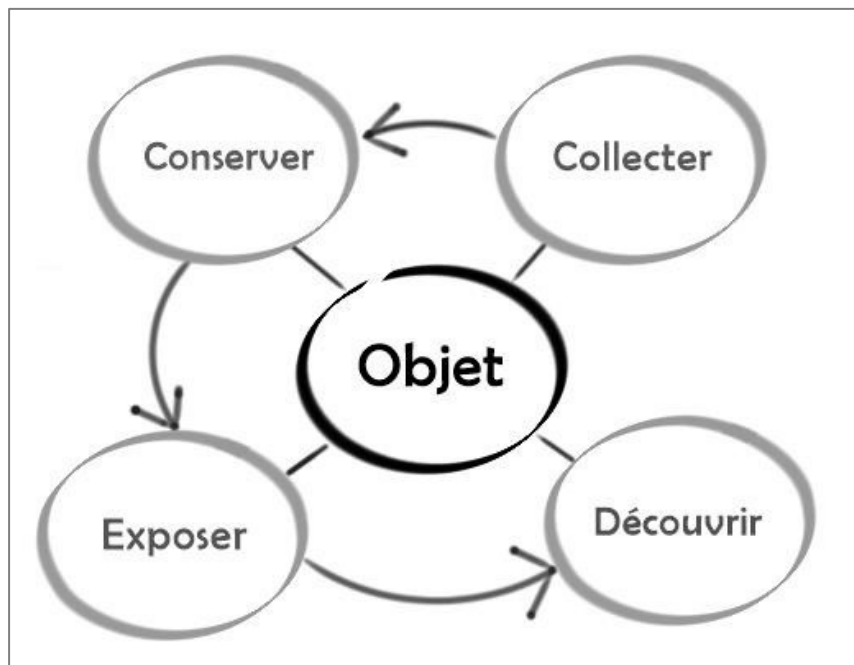


Figure 212: les fonctions principales du musée.
(Source : auteur)

L'idée de base est de traiter le musée lui-même comme un objet à exposer au public

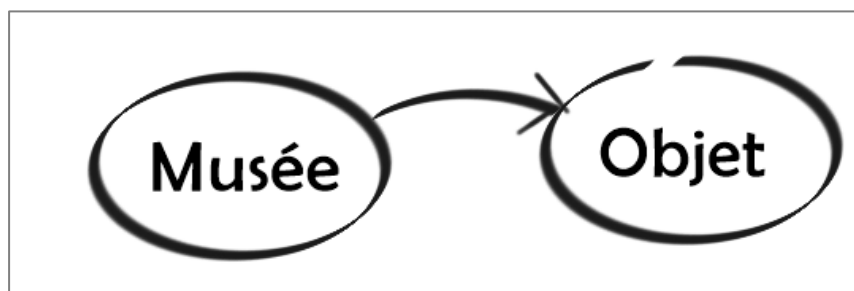


Figure 213: L'analogie dans l'idée de base.
(Source : auteur)

La question qui se pose après cette analogie c'est : « présenter ou exposer quoi ? »

Pour répondre à cette question, il faut faire retour à notre analogie « l'objet » : Un objet exposé dans un musée représente quoi ?

Un objet exposé représente la culture d'une ville, son identité culturelle, son histoire, chaque objet exposé à une histoire propre à lui. Les objets exposés constituent notre patrimoine, c'est-à-dire ce qui nous vient de nos ancêtres. L'importance de ce patrimoine est de **conserver les traces du passé** pour quelle ne s'abîment pas et que tout le monde puisse la découvrir.

Alors d'après cette analogie : le musée, par son architecture, expose les traces du passé « le cachet architectural de la ville ancienne », la construction ancienne, plus précisément « la maison traditionnelle ». Donc, la maison traditionnelle est notre référence, notre source d'inspiration pour la conception du musée.

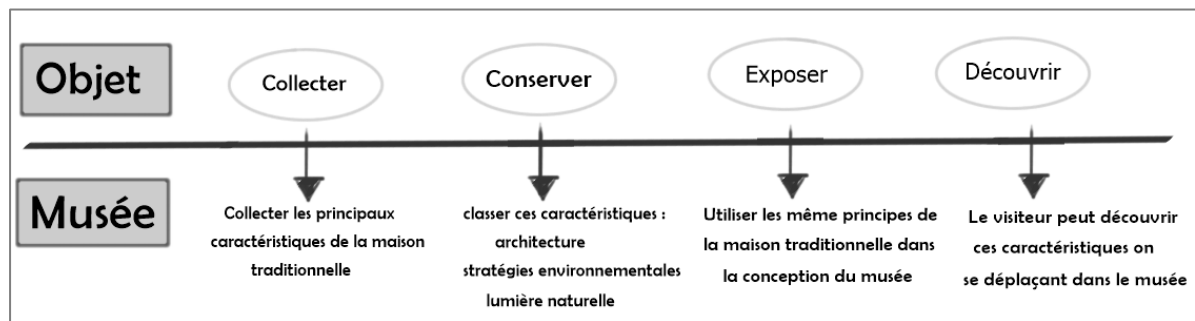


Figure 214: Le passage entre l'objet et le musée.
(Source : auteur)

Alors au début, il faut savoir quelles sont les caractéristiques d'une maison traditionnelle

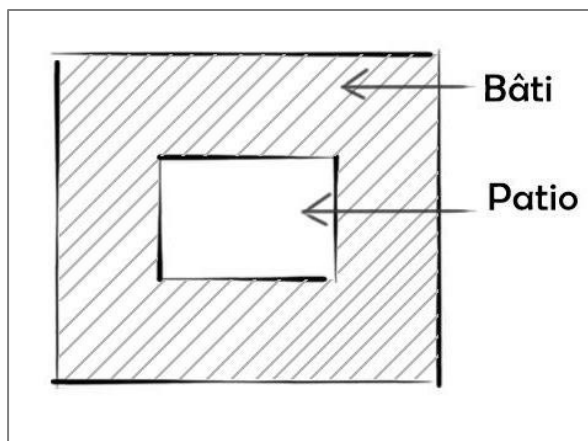


Figure 215: La forme générale des maisons : carrée ou rectangulaire avec un patio à l'intérieur.
(Source : auteur)

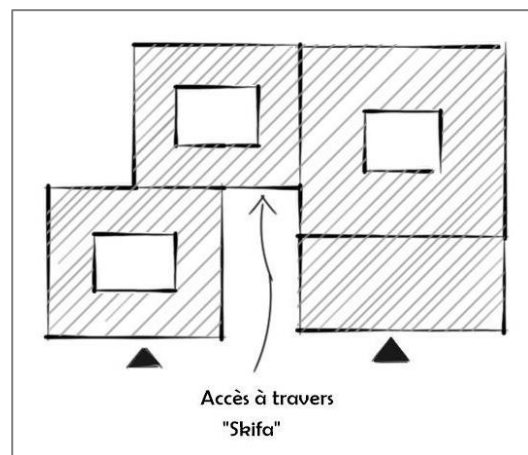


Figure 216: Tissu urbain compact, l'accès aux maisons à l'intérieur de l'ilot à travers "Skifa"
(Source : auteur)

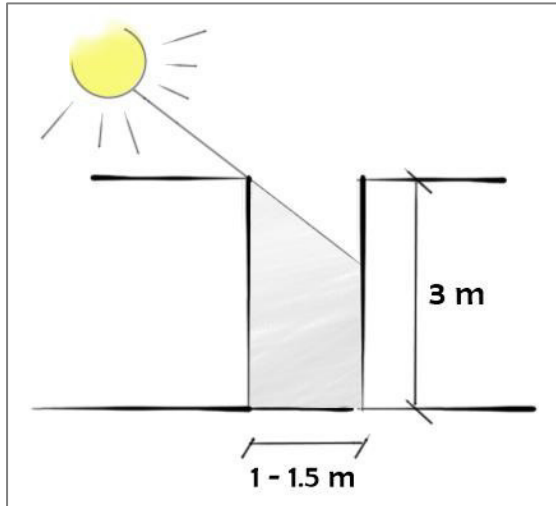


Figure 217: "Skifa": couloir étroit, à ciel ouvert, généralement de 1 m à 1.5 m de largeur, ombré par les constructions qui le limite
(Source : auteur)

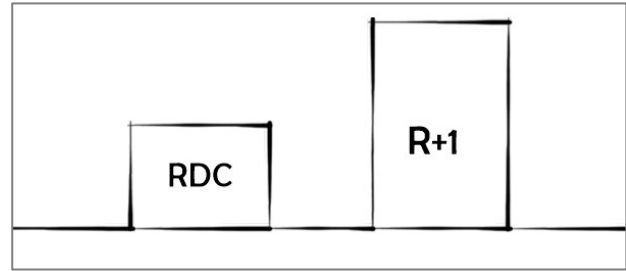


Figure 218: C'est des maisons généralement d'un seul niveau (RDC) ou au maximum R+1
(Source : auteur)

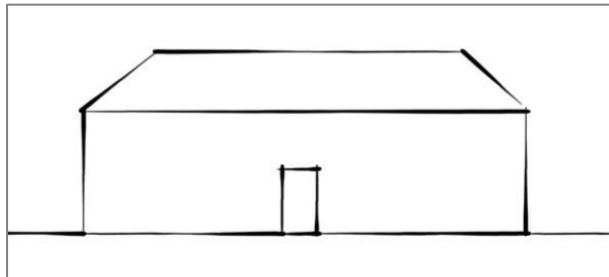


Figure 219: Façade simple, opaque, un nombre limité des ouvertures avec le minimum des dimensions, on peut même trouver des façades sans ouvertures, maison introvertie.
(Source : auteur)

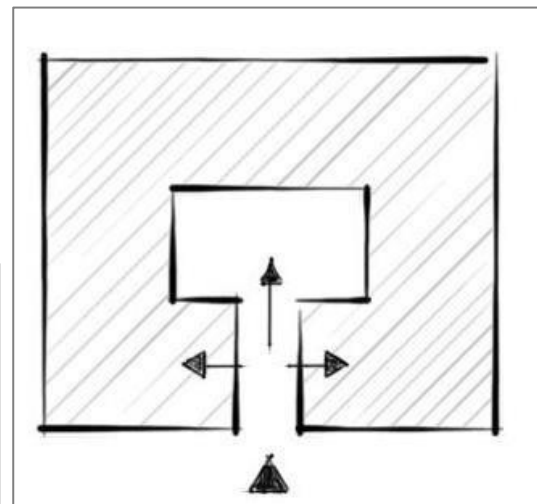


Figure 220: L'accès de la maison elle-même se fait par un couloir qui donne sur la cour centrale (le patio) et à partir de ce couloir on peut accéder aux différents espaces
(Source : auteur)

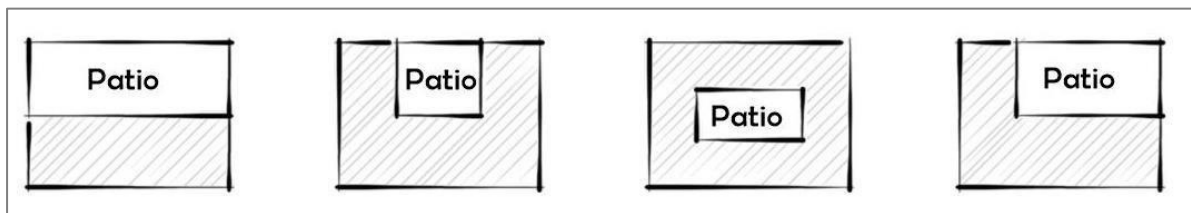


Figure 221: Les différentes formes des patios.
(Source : auteur)

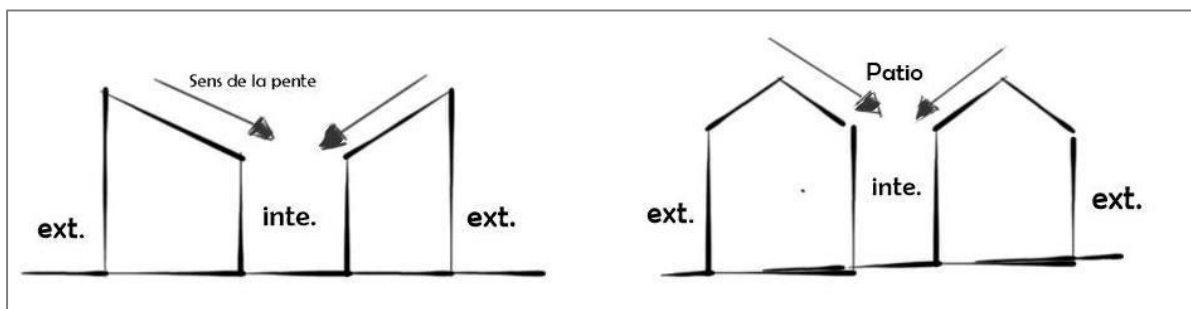


Figure 222: Les toitures en pente, dont le sens est toujours vers l'intérieur pour assurer l'intimité et se protéger des regards extérieurs.
(Source : auteur)

2.2. Le développement du volume

Nous avons commencé par une forme de base inspirée des maisons traditionnelles : un carrée avec patio à l'intérieur. Cette organisation été l'une des recommandations obtenues de l'analyse bioclimatique du terrain.

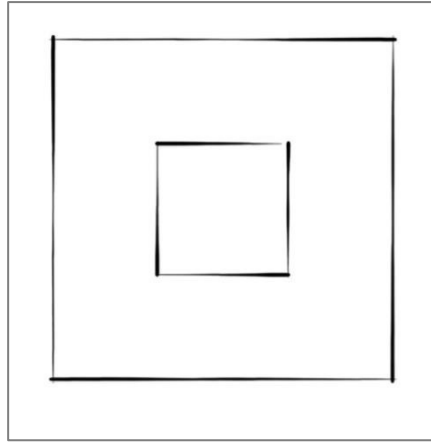


Figure 223: La forme de base.
(Source : auteur)

Avant de commencer le développement de notre projet, nous avons organisé les différentes fonctions du musée sur le terrain selon leurs exigences.

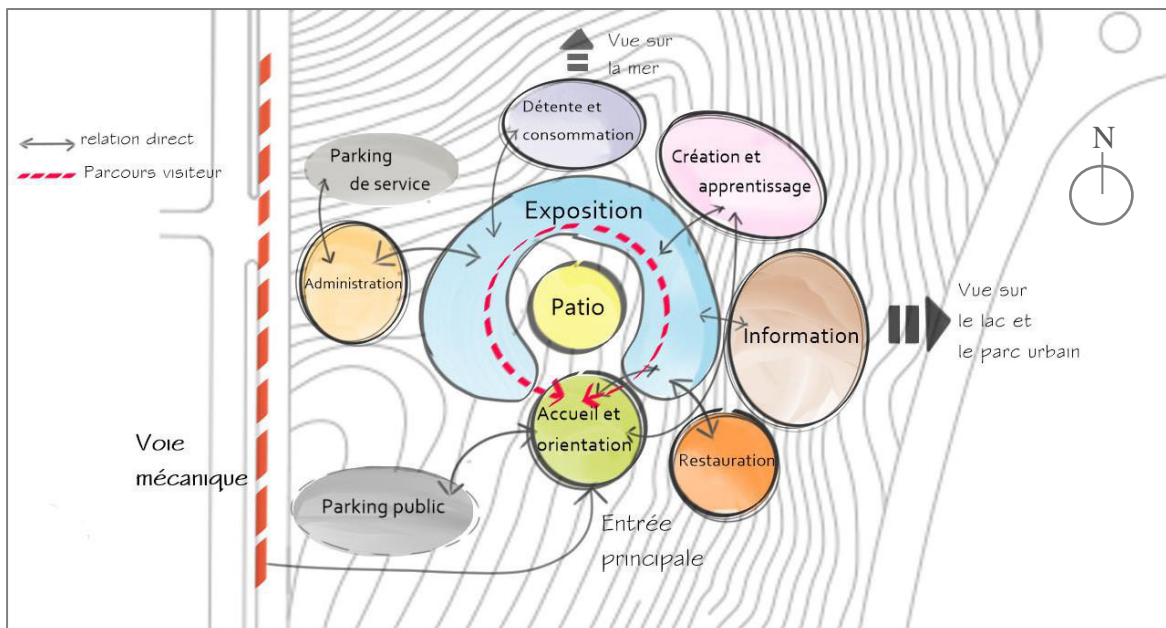


Figure 224: Schéma d'organisation de différentes fonctions du musée selon les exigences du terrain.
(Source : auteur)

L'accès au musée à travers la voie mécanique au côté ouest du terrain, la position des deux parkings à côté de la voie pour un accès direct. Au début on a l'accueil et l'orientation en relation direct avec le parking public. La salle de conférence (information) au côté est pour profiter de la pente de terrain. La partie restauration en relation direct avec l'exposition, c'est un espace privé séparé des espaces public. La partie détente et consommation avec la partie création et apprentissage au côté nord pour profiter de la vue sur la mer. La partie

exposition est organisée autour du patio, cette organisation nous permet de choisir un parcours en boucle (loop), c'est-à-dire le début de la visite par l'entrée, puis le visiteur se déplace d'un espace d'exposition à un autre, et à la fin le parcours ramène le visiteur à l'entrée (la fin de la visite).

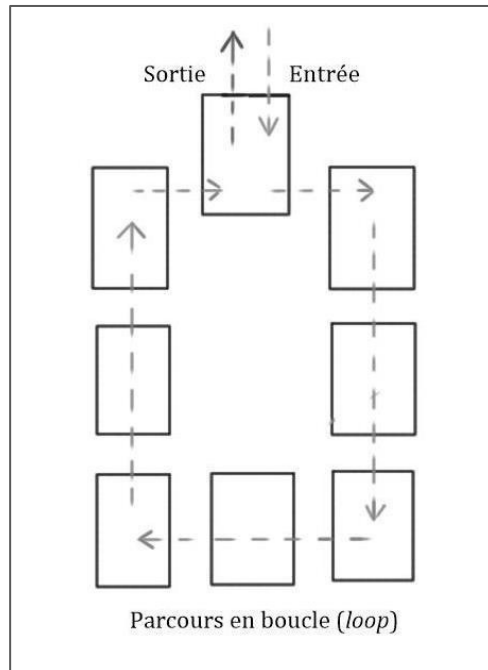


Figure 225: Parcours en boucle (loop)
(Source : Neufert)

D'après la surface du terrain et le programme, l'organisation des espaces est en 2 niveaux : le RDC et le 1^{er} étage. Le RDC est occupée par les différentes fonctions : accueil et formation, restauration, information, création et apprentissage, détente et consommation et administration. Le 1^{er} étage est totalement pour les salles d'exposition. Le volume au RDC est divisé en six volumes, un volume pour chaque fonction.

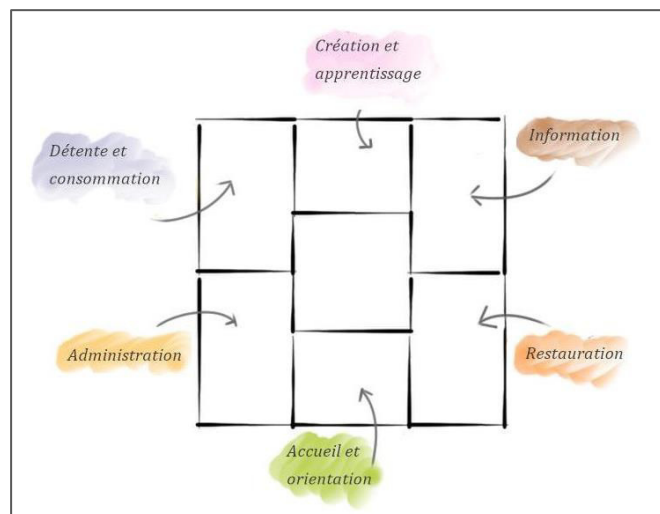


Figure 226: Division du volume du RDC
(Source : auteur)

Etape01 : positionnement du volume de base sur le terrain et la détermination de l'entrée du projet.

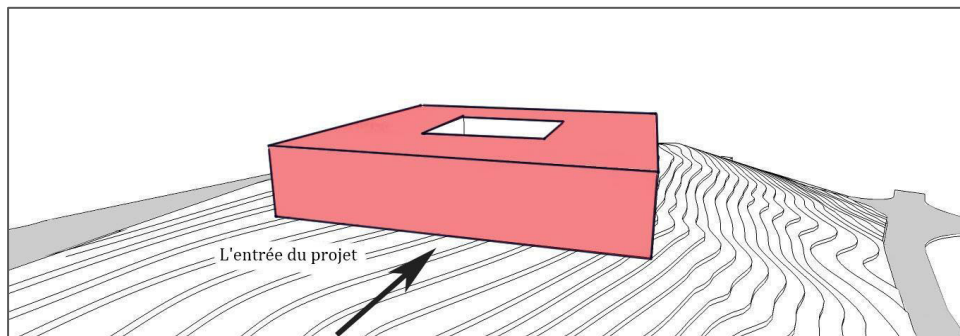


Figure 227: Etape 01 du développement du volume.
(Source : auteur)

Etape02 : - déplacement du volume d'accueil en avant = plus visible.

- L'inclinaison du volume à côté de l'entrée jusqu'au sol = toiture pour le déplacement des visiteurs.
- première idée sur le parcours du visiteur

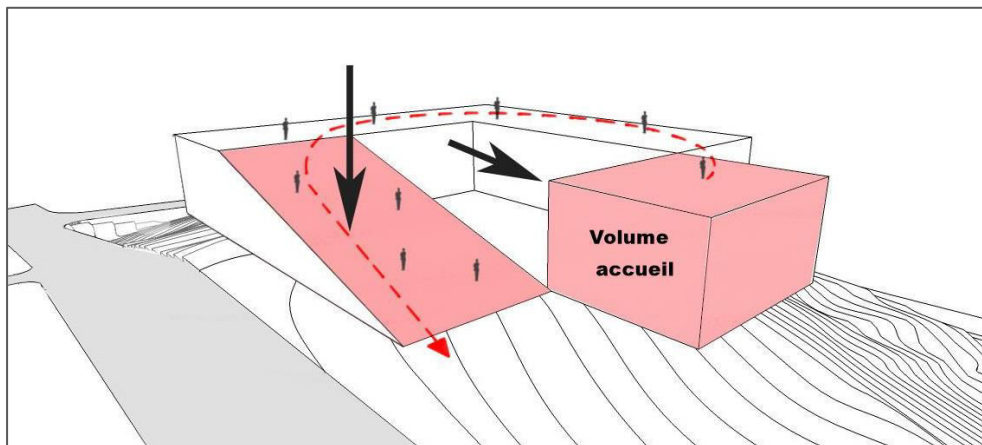


Figure 228: Etape 02 du développement du volume.
(Source : auteur)

Etape03 : - Soustraction d'un volume du volume d'accueil = élargir l'entrée.

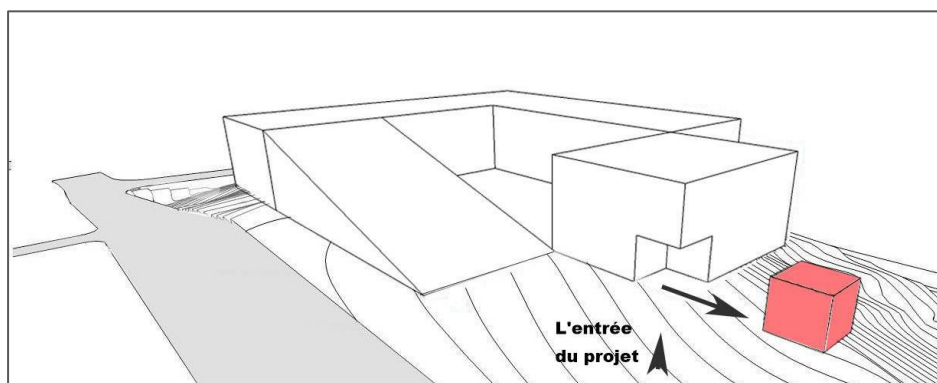


Figure 229: Etape 03 du développement du volume.
(Source : auteur)

Etape04 : - Jeu d'inclinaison de la toiture, inspiré des toitures des maisons traditionnelles = marquer l'entrée.

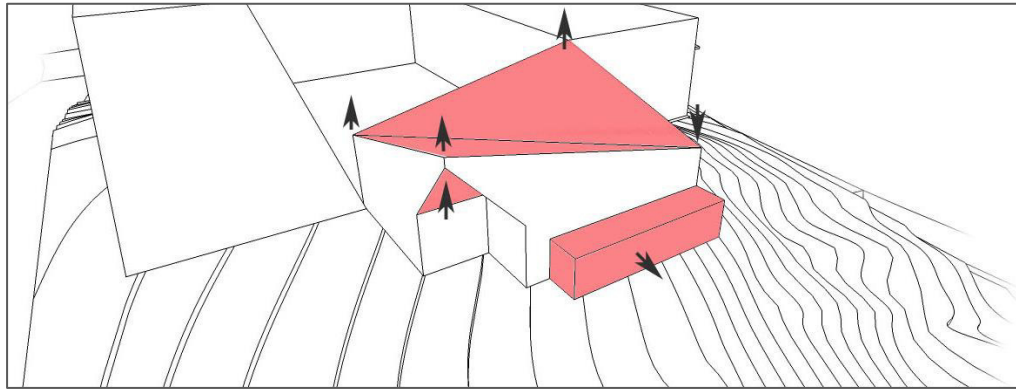


Figure 230: Etape 04 du développement du volume.
(Source : auteur)

Etape05 : - l'implantation du volume de la partie restauration sous le volume d'accueil en entresol = l'intégration au relief du terrain.

- l'implantation de la salle de conférence au même sens de la pente = l'intégration au relief du terrain.

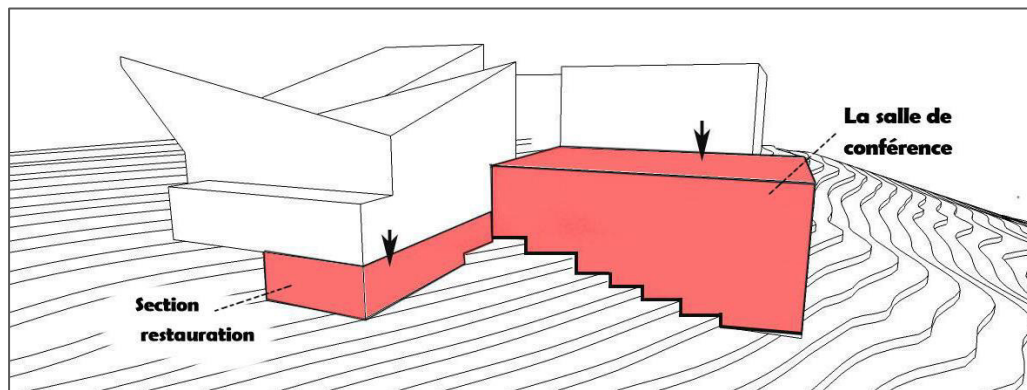


Figure 231: Etape 05 du développement du volume.
(Source : auteur)

Etape06 : - la création d'un patio à l'intérieur du volume de la création et apprentissage = éclairer et aérer les espaces intérieur.

- Division du volume en plusieurs plateformes de différent niveau = l'intégration au relief du terrain.

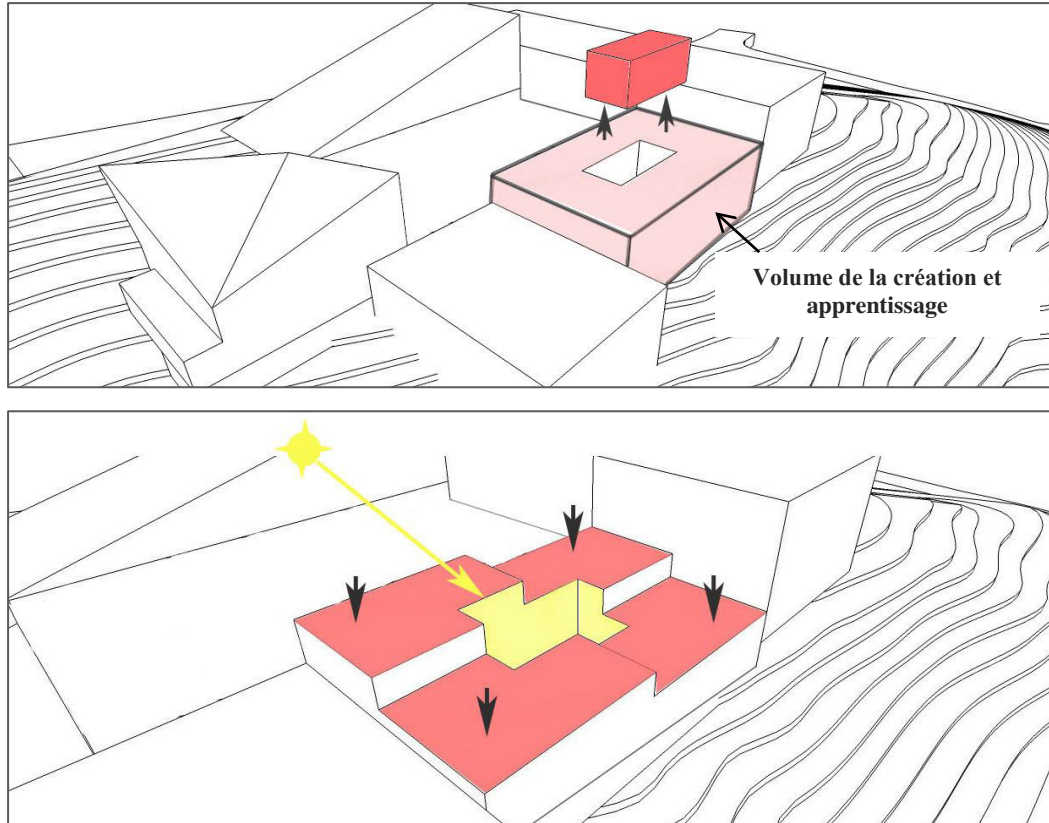


Figure 232: Etape 06 du développement du volume.
(Source : auteur)

Etape07 : - l'inclinaison de la façade côté nord du volume détente et consommation (cafétéria et salle de restauration) = profiter de la vue sur la mer.

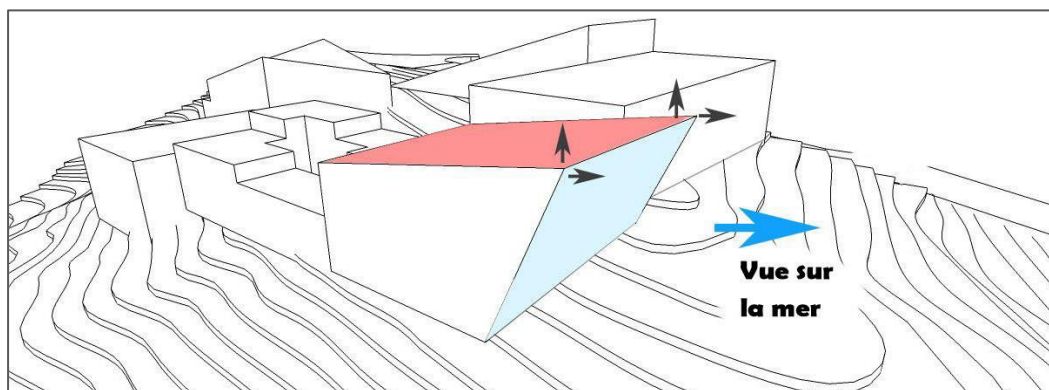


Figure 233: Etape 07 du développement du volume.
(Source : auteur)

Etape08 : - l'organisation des huit salles d'exposition en forme de L.

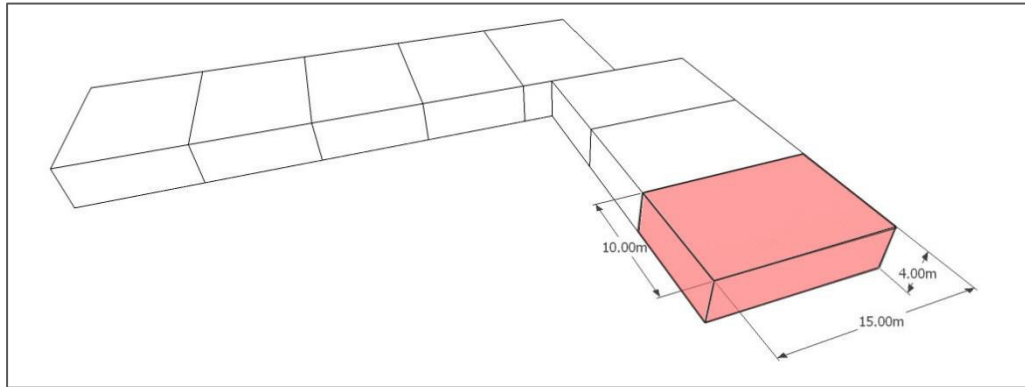


Figure 234: Etape 08 du développement du volume.
(Source : auteur)

-Déplacement des salles d'expositions en avant et en arrière = la création des couloirs de déplacement entre les salles.

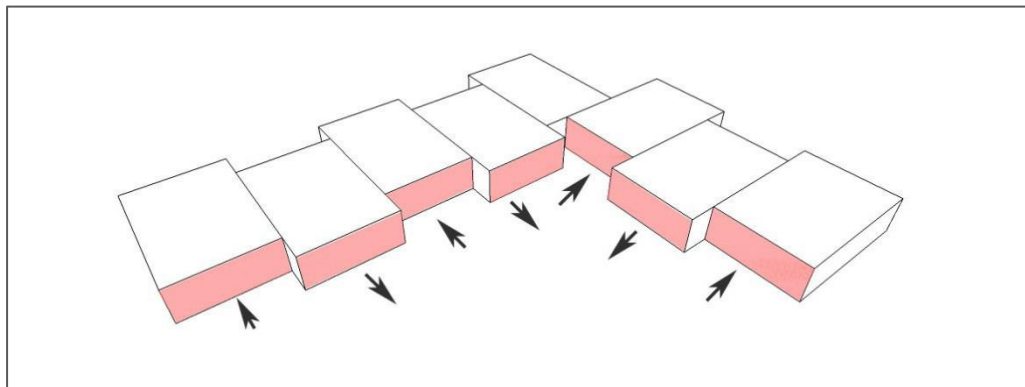


Figure 235 : Etape 08 du développement du volume.
(Source : auteur)

-Détermination du cheminement (parcours) du visiteur = transition du visiteur entre espace d'exposition et couloirs.

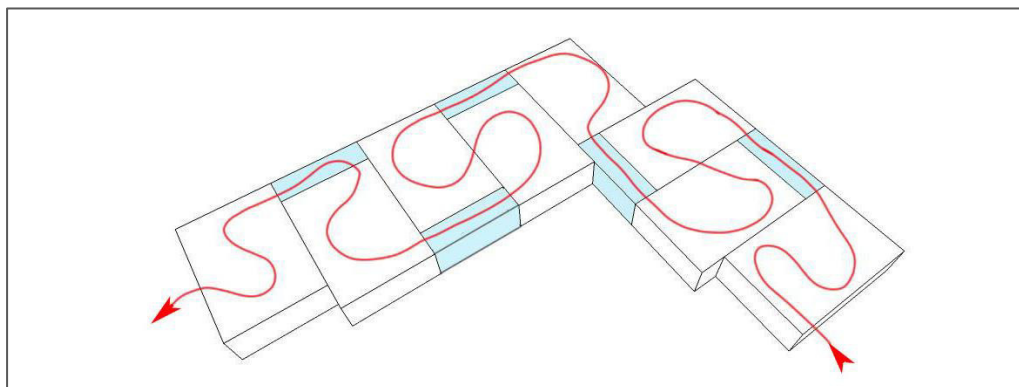


Figure 236: Etape 08 du développement du volume.
(Source : auteur)

Etape09 :

- Création d'un vide dans le volume au côté nord = circulation d'air à l'intérieur du patio
- L'implantation du volume administration en entresol = l'intégration au relief du terrain.

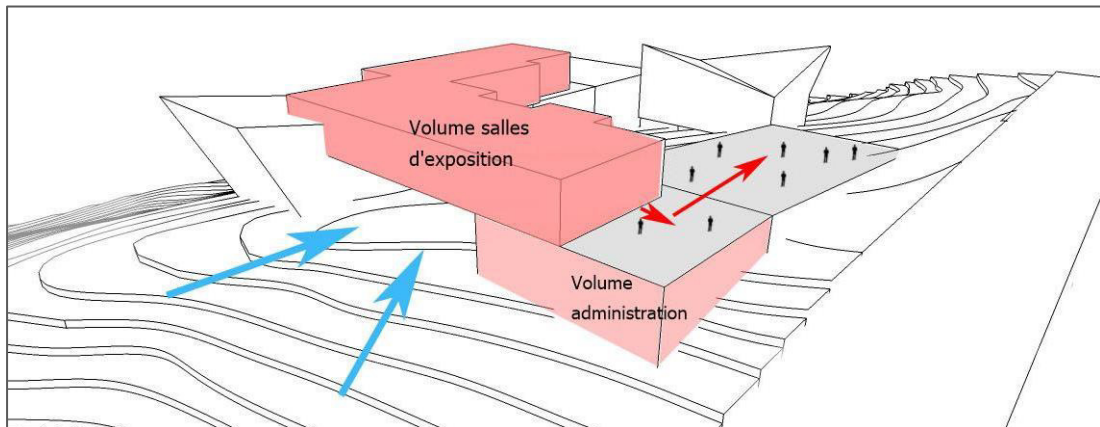


Figure 237: Etape 09 du développement du volume.
(Source : auteur)

2.3. Présentation du projet

Les plans :

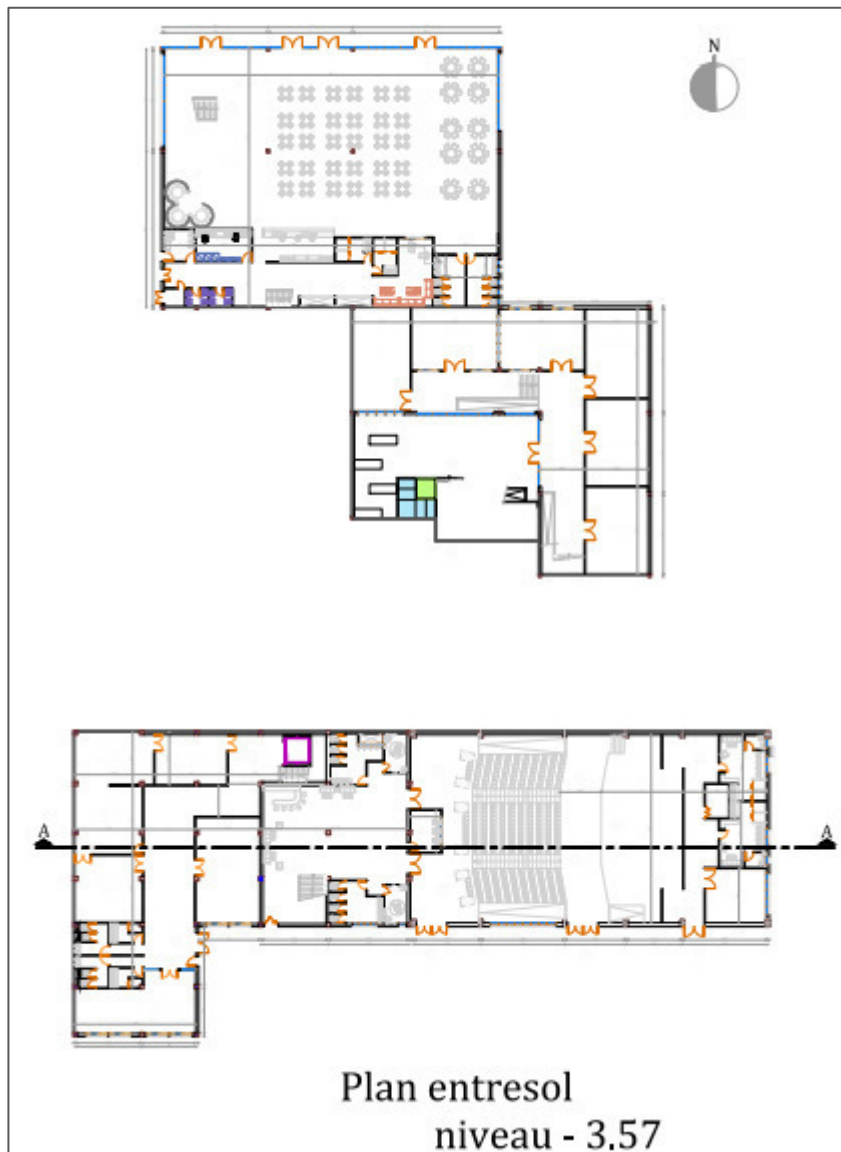


Figure 238: Plan entresol.
(Source : auteur)



Figure 239: Plan RDC.
(Source : auteur)

Le plan du RDC est organisé autour d'un grand patio, aménagé avec un grand bassin d'eau au centre on s'inspirant des bassins d'eaux à l'intérieur des patios des maisons traditionnelles. Le patio est divisé en trois niveaux on s'adaptant au relief du terrain. La partie supérieure du patio (en contact direct avec l'espace accueil) est dédiée à l'exposition en plein air.



Figure 240: Plan 1^{er} étage.
(Source : auteur)

Coupe et façade :

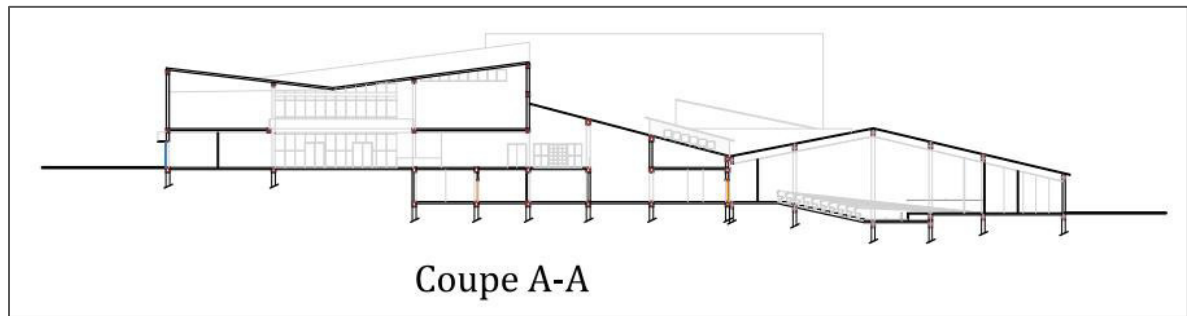


Figure 241: Coupe A-A.
(Source : auteur)

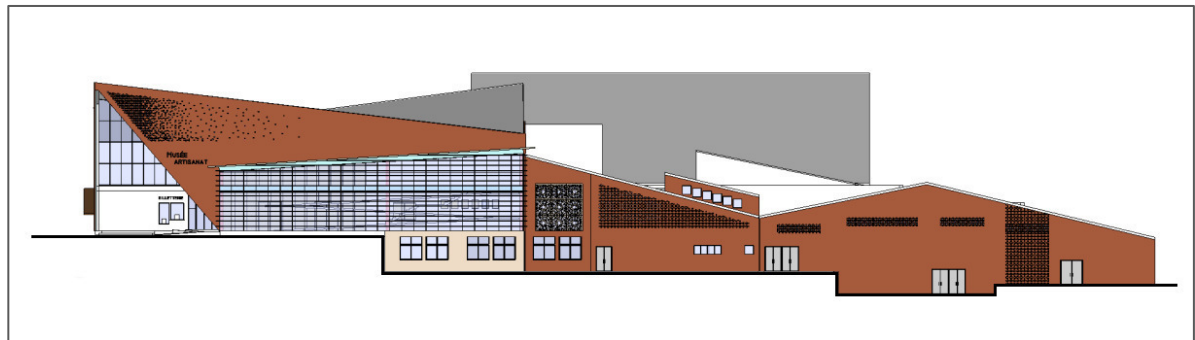


Figure 242: Façade principale (façade sud).
(Source : auteur)

La majorité des toitures des volumes du projet sont des toitures en pentes pour l'évacuation des eaux pluviales.

Nous avons choisi la brique pleine en terre cuite comme matériaux pour la façade puisque c'est un matériau performant en termes d'isolation thermique, elle est écologique et naturelle. Aussi, suivant la superposition des briques, elle nous a permis de réaliser des perforations de forme différentes au niveau du mur d'entrée, et de créer des effets de lumière à travers le filtrage de la lumière par ces petites perforations.



Figure 243: Vue de l'entrée du projet.
(Source : auteur)



Figure 244: Vue des perforations au niveau du mur d'entrée du projet.
(Source : auteur)

Les techniques utilisées dans le projet

Comme nous avons vu précédemment, l'utilisation de module moucharabieh au niveau d'une ouverture horizontale dans une salle d'exposition présente des tâches de lumière sur le mur de la salle (figure 248) qui peuvent gêner la perception des œuvres exposés. Ce problème est exposé en hiver lorsque le soleil est en bas dans le ciel, au contraire en été lorsque le soleil est en haut, les tâches sont présentés au niveau du sol et ne gêne pas la perception des œuvres (figure 247). Nous avons proposé comme solution pour ce problème l'utilisation d'un mur à l'intérieur de la salle, sous l'ouverture en toiture, pour que les tâches de lumière soient projetées sur ce mur et pas sur le mur périphérique de la salle (figure 249).

Pour éclairer naturellement les salles d'exposition nous avons proposé une toiture en shed, dont le vitrage est orienté au nord pour profiter d'un éclairage sans rayons solaires.

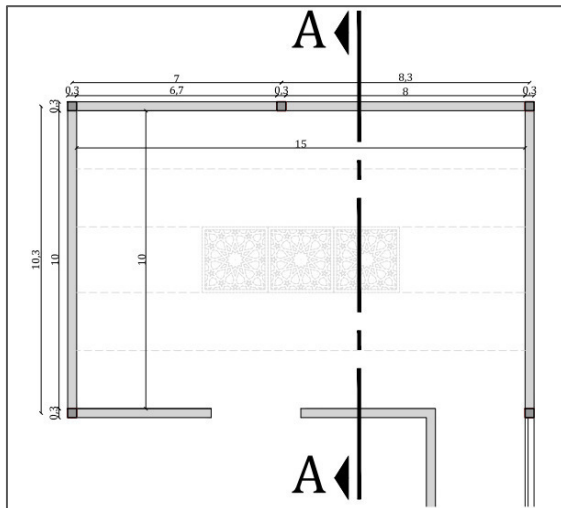


Figure 245: Plan de la salle d'exposition sans mur. (Source : auteur)

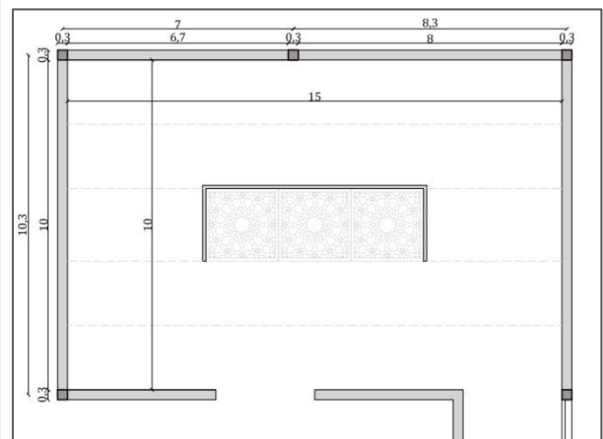


Figure 246: Plan de la salle d'exposition avec le mur. (Source : auteur)

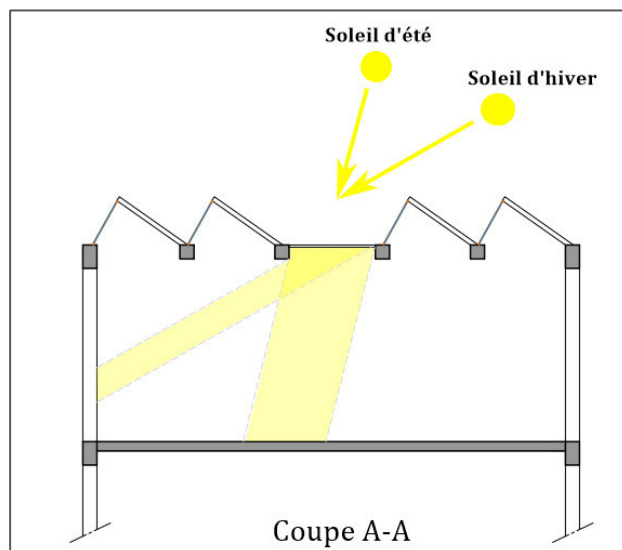


Figure 247 : Coupe A-A sur la salle d'exposition. (Source : auteur)



Figure 248: Vue d'intérieur d'une salle d'exposition sans le mur à l'intérieur : des tâches de lumière sur le mur périphérique d'exposition.
(Source : auteur)



Figure 249: Vue d'intérieur d'une salle d'exposition avec le mur à l'intérieur : les tâches de lumière sont projetées sur le mur créé.
(Source : auteur)

Conclusion

Dans ce dernier chapitre nous avons présenté une synthèse de notre travail de recherche et comment nous avons appliqué les éléments de passage dans notre projet de musée.

Conclusion générale

Conclusion générale

La lumière naturelle était toujours au cœur de l'architecture, elle transforme le bâtiment de l'extérieur et influence la perception de l'espace intérieur. Sa variabilité durant la journée et les saisons, donne à l'espace plusieurs lectures suivant le changement du temps. Elle révèle les formes, les volumes, les textures, les couleurs...etc. et influence plusieurs choix dans la conception : l'implantation, l'orientation, l'usage, les ambiances, les matériaux...etc. Elle permet selon le temps de donner plusieurs sens à un seul espace ce qui donne à chaque fois une ambiance lumineuse différente et son évaluation reste subjective selon la sensation de chaque individu.

La notion des ambiances lumineuses en architecture est une notion difficile à étudier puisque elle concerne l'étude d'un phénomène subjectif qui dépend de la sensation de chaque individu. La création des ambiances lumineuse est un processus qui a sa valeur dans la conception du projet architectural, nous avons choisis dans notre recherche d'étudier la création d'ambiance lumineuse à travers un dispositif de moucharabieh, un élément de l'architecture traditionnelle générateur d'ambiances lumineuses particulières. Nous avons choisis l'espace d'exposition dans un musée pour étudier l'interaction de la lumière naturelle avec le dispositif de moucharabieh, qui a été combiné d'un diaphragme à IRIS (un mécanisme d'ouverture pour contrôler la quantité de lumière) afin de générer plusieurs ambiances lumineuses à l'intérieur de l'espace.

A travers notre travail de recherche, nous avons montré qu'un dispositif de moucharabieh, avec ses petites ouvertures, peut générer des ambiances lumineuses particulières et claires à l'intérieur des espaces architecturaux. Notre travail de recherche, comme tout travail de recherche, est un travail imparfait, nous avons essayé de découvrir le potentiel du dispositif de moucharabieh dans la création des ambiances lumineuses à l'intérieur de espaces architecturaux, mais il existe d'autre notions à étudier dans ce domaine comme la notion de confort et l'influence de la lumière créée à l'intérieur des espaces architecturaux sur les différents paramètres du confort (éblouissement, tâches de lumière, contraste...etc.), cette notion peut être un thème de recherche pour d'autre études postérieurs.

Bibliographie

| **Bibliographie**

Mémoires :

BOUZIR. T, (2014). *L'image numérique comme un outil de classification des ambiances lumineuses*, Mémoire de master en architecture, Université Mohamed Khider-Biskra.

CHAABOUNI. S, (2011), *Voir, Savoir, Concevoir, Une méthode d'assistance à la conception d'ambiances lumineuses par l'utilisation d'images références*, Thèse de Doctorat, Institut national polytechnique de LORRAINE, France.

CONSTANS. A, (2012), *Lumière naturelle créatrice d'ambiances*, Mémoire de 3ème année de Licence en Architecture, École Nationale Supérieure d'Architecture de Montpellier.

DAICH. S, (2012), *Simulation et optimisation du système light-shelf sous des conditions climatiques spécifiques « Cas de la ville de Biskra »*, thèse de magister, Université Mohamed Khider – Biskra

KHELLAF. H, (2012), *Centre intergénérationnel au jardin de Calzada -Jijel-*, Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'architecte d'Etat, université de Jijel.

Livres :

BERNARD. H, (1998), *Dictionnaire de la Photonumerique*, Edition VM, P.190

BERNSTEIN. D, CHAMPETIER. J-P, HAMAYON. L, MUDRI. L, TRAISNEL. J-P, VIDAL. T, (2007), *Traité de Construction Durable*, Le Moniteur, Paris.

DESMOULINS. C, (2005), *25 musées*, Le Moniteur, Paris.

LIEBARD. A, DE HEDRE. A,(2005), *Traité d'Architecture et d'Urbanisme Bioclimatique*, Le Moniteur, Paris, p.124

NARBONI. R, (2006), *Lumière et Ambiance concevoir des éclairages pour l'architecture et la ville*, Le Moniteur, Paris.

REITER. S, DE HERDE. A, (2003), *L'éclairage Naturel des Bâtiments*, Presses universitaires de Louvain, Louvain-la-Neuve.

Articles scientifiques :

BIRON. C, DEMERS. C, (2012), *Dynamique lumière/architecture – Un processus de création et d'analyse de l'ambiance lumineuse et de l'espace architectural*, Article publié dans le 2^{ème} congrès international sur les ambiances au Centre Canadien d'Architecture(CCA), Montréal.

CHELKOFF. G, THIBAUD. J-P, (1992), *L'espace public, modes sensibles : Le regard sur la ville*, Les Annales de la Recherche Urbaine N° 57-58, P.9.

DROZD. C, MEUNIER. V, SIMONNOT. N, HÉGRON. G, (2010), *La représentation des ambiances dans le projet d'architecture*, Sociétés & Représentations, Éditions de la Sorbonne, PP. 97-110.

OUARD. T, (2008), *Concevoir une ambiance en architecture ?*, Article publié dans le 1er congrès international sur les ambiances à Grenoble, France.

وجيه فوزي يوسف, الإضاءة الطبيعية والعمارة قديماً وحديثاً, مقال من مجلة المهندسين, أكتوبر 1981, ص 64 - 69

Autres :

ICEB, (2014), *L'éclairage naturel*, ouvrage réalisé à la suite d'un groupe de travail de l'ICEB, l'institut pour la conception écoresponsable du bâti, France.

PAULE. B, (2007), *Dispositifs d'éclairage nature*, cour de master, Faculté Environnement Naturel, Architectural et Construit, École polytechnique fédérale de Lausanne, Suisse.

Les sites internet :

<http://www.gif-lumiere.com/lumiere/architecture.php> (le GIF-lumière, 2011)

<https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/physique-diffraction-1019/>

<http://archipositive.blogspot.com/2016/07/passif-1-lumiere-naturelle.html>

<https://idinterdesign.ca/limportance-de-la-lumiere-naturelle-en-architecture/>

<https://www.louvreabudhabi.ae/fr>

<https://fr.wikipedia.org>

<http://www.atelierdesorient.com/le-moucharabieh.html>

Annexes
