



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ SAAD DAHLAB- BLIDA



INSTITUT D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

MEMOIRE DE MASTRE 2

OPTION : Architecture et Patrimoine

THEME :

**L'IMPACT DE LA CONCEPTION DES FENÊTRES POUR LA
CRÉATION D'UNE AMBIANCE LUMINEUSE
CAS D'ÉTUDE MUSÉE COMMUNAL « EX : ÉGLISE SAINT
HILARION » À LA VILLE DE LAGHOUAT**

Présenté par : **Ben Belghit Hassiba**

Sous la direction du : **Dr.Rym Merzelkad**

Devant le jury d'examen :

Date de soutenance le: 01/10/2018

Examineur : Dr. NECISSA Yamina

Prof Univ. Blida

Examineur : Mme HOUGLAOUENE DALILA

M.C.A

Année Universitaire 2017- 2018

Remerciements

Je remercie avant tout Allah Clément et miséricordieux de m'avoir donné L'inspiration et la patience pour mener à bien ce travail.

Toute ma reconnaissance à mon encadreur Dr.Rym Merzelkad qui a accepté de diriger ce mémoire. J'exprime également mes vifs remerciements aux examinateurs: Dr NECISSA YAMINA et Mme HOUGLAOUENE DALILA en leur exprimant mes profonds respects et en espérant de ma part, que je saurais tirer profit de leurs remarques, conseils et orientations pour la continuation de ce travail.

J'adresse mes sincères remerciements à ma sœur l'enseignante Mme Benmoussa Fekkeur Biri qui a consacré beaucoup de son temps précieux pour m'orienter.

Je souhaite remercier vivement toutes les personnes qui étaient à l'origine de l'aboutissement de ce travail Mr.Mezaoukh Lakhdar ; Hadj kaddour ;Brahimi Adel ; Zian Abid, Omar Cherrak.





Dédicace

Avec joie, plaisir et fierté Je dédie ce mémoire à :

*Mes parents, que nulle dédicace ne puisse exprimer ma
sincère gratitude envers eux.*

*Leur encouragement continue, leur aide, en témoigne leur
profond amour. Je vous dois tout*

*Je suis redevable à ma mère, pour sa patience illimitée et
son soutien si précieux. A mes sœurs ; Fatiha et Imane, Mes
frères ; Ahmed et Ali pour leur amour et leur soutien
moral.*

*Mes chers amis (es) : Liela, Imane, Lina, , Fadila, Fatima,
Fatiha, Meriem , Abderrahmane, Mohamed, Madani,
Redouane , Tadj Mohamed.*



Résumé

La préservation du patrimoine historique, sa revitalisation et son exploitation ne fait qu'accroître la valeur de l'héritage et des origines des villes et c'est pour cette raison que l'intitulé de notre sujet de recherche exploitera un des monuments emblématiques coloniales de la ville de Laghouat on nommera ;L'Ex église sainte Hilarion transformé en musée dans les années 2000 Ou nous nous sommes intéressées à l'étude de l'ambiance lumineuse à l'intérieur du musée à travers les caractéristiques conceptuelles des fenêtres existantes (forme,taille,type de vitrage utilisé...etc.)Et si cette dernière convient à l'actuelle fonction de musée suivant les normes universelles requises. Et le rôle des fenêtres sur la création d'une ambiance lumineuse intérieur agréable.et pour mieux confirmé cette recherche on s'est servi d'un logiciel de simulation afin de confirmer nos hypothèses.et de conclure que l'actuel musée a besoin d'une amélioration de la qualité d'ambiance lumineuse conçu pour assurer une ambiance spirituelle sobre ce qui ne convient pas à son actuelle fonction muséale d'où la nécessité de nos solutions techniques et conceptuelle qui revaloriseront l'état du musée a tous les niveaux.

Les mots clé:monument,Église, ambiance lumineuse, musée, fenêtres, simulation

المخلص:

ان المحافظة على ارث الماضي واعادة احياءه واستغلاله يزيد من قيمة المدينة وتراثها واصولها ، لذلك فان موضوع بحثنا هذا يتطرق الى دراسة احد المعالم التاريخية في الحقبة الاستعمارية والذي كان في فترة ماضية عبارة عن كنيسة القديس هيلاريون وبعد الاستقلال تم تحويلها الى متحف بلدي خلال سنوات 2000 ، لذلك تطلعنا لدراسة الجو المشرق من الاضاءة الطبيعية وكيف يتجسد هذا الجو المشرق وذلك من خلال دراسة حول تصميم الفتحات وخصائصها نوع الزجاج،الشكل،الحجم)واذا ما كان هذا الجو المشرق م من الاضاءة الطبيعية يوافق الوظيفة الحالية وهي المتحف ،وهل هي على حسب المعايير الواجب اتباعها .

كما نطرح تسائل عن كيفية مساهمة استخدام هذه النوافذ لخلق الاجواء المشرقة الداخلية من الإنارة الطبيعية. كما اننا دعمنا لتأكيد هذه الدراسة استخدام برنامج المحاكاة ا لذي اكدنا به الفرضيات المطروحة وتوصلنا كنتيجة ان المتحف حاليا بحاجة الى تطوير وتحسين الاجواء المشرقة لتلائم وظيفة المتحف لأنها تختلف عن الاجواء الداخلية للكنيسة التي تتميز بالخفوت لان ذلك مرتبط بالجو الروحاني للكنيسة لذلك فقد اقترحنا بعض التحسينات من شأنها إحياء المتحف بكل المعايير .

الكلمات المفتاحية : معلم ،كنيسة، الاجواء المشرقة ، متحف، نوافذ، محاكاة.

Table de matières

Remerciements.....	
Dédicace	
Résumé.....	
Table de matières.....	
Liste des figures.....	
Liste des tableaux.....	
Chapitre I :introduction général	1
1.Problématique	1
2.Hypothèses.....	2
3.les Objectif:.....	2
4.Méthodologie de travail :.....	2
5. Structure du mémoire :.....	3
<u>Chapitre II : Les Notion Fondamentale De thème (éclairage, et l’ambiance Lumineuse)</u>.....	4
Introduction.....	5
1. Définitions de l’éclairage naturel :.....	5
2-Sources de l’éclairage naturel.....	6
2.1. Sources lumineuses diurnes directes	7
2.2. Sources lumineuses diurnes indirectes :.....	8
3-Type d’éclairage naturel :.....	8
4. Ambiance lumineuse	9
5.Ambiances architecturales et urbaines :.....	9
9. Rôle de l’ambiance lumineuse.....	9
7.Éclairage naturel et l’ambiance lumineuse dans les musées :.....	11
Analyse des Exemples	12
Exemple 1 : (Sainte Sophie, 532-37), de l’Eglise, Mosquée, Musée Sainte Sophie :.....	12

1-Présentation de l'église	12
2-Situation :.....	13
3.Plan de masse :.....	13
4.Étude architecturale de la basilique Sainte-Sophie :.....	14
4.1. Étude du plan	14
4.2. Vues sur la coupe et façade de sainte Sophie	16
5.L'ambiance lumineuse dans la basilique Sainte-Sophie :.....	17
Exemple 2 : Le musée national d'art moderne et contemporain d'Alger (MAMA)	21
1. situation	21
2- Composition du musée	21
3. Modes d'éclairage naturel dans le musée	22
7. La lumière et leur ambiance dans le musée	50
Tableau comparatif sur les ouvertures et l'ambiance lumineuse des exemples précédents.....	25
Synthèse	27

Chapitre III étude de cas : Analyse de cas d'étude musée de Laghouat« EX : Église Saint Hilarion »

.....	28
Introduction :.....	29
I. Présentation de Laghouat	29
1- Situation géographique :	29
2-Situation régional:.....	29
3 .Accessibilité routière et aérienne	30
4. Climat de Laghouat:	30
III. Choix de monument Religieuse « l'Église Saint-Hilarion » :.....	31
IV. Présentation du noyau historique de la ville: « Zgag el hadjdj »:	31
IV.1. Situation du musée « Ex :Eglise Sainte Hilarion » :.....	32
IV.2. Etude Historique :	32
IV.3. étude architecturale:	33

3.1. Plan de masse :	33
3.2. Étude du plan :	34
IV.4. Matériaux de construction :	38
V.Proposition d'ambiance lumineuse par outil de la simulation du musée communal « EX : l'Église Saint Héliarion »:	39
Introduction :	39
V.1.Intérêts et buts du logiciel de la simulation	39
V.2. Pré-dimensionnement des données des ouvertures du musée :	40
V.3. Observation pour chaque type ouvertures :	41
V.4. Logiciels de simulation :	44
1. Ecotect	44
2. Radiance	44
5. La modélisation et la simulation :	45
5.1. Les étapes de simulation :	46
5.2. Les résultats obtenus de cas initial : hall d'exposition (EX : salle de prière)	49
6. l'amélioration de l'ambiance lumineuse d'un hall d'exposition (EX : salle de prière) : à travers les normes	53
6.1. Le rendu numérique	54
7.La proposition d'installation des points électrique sur le hall:	56
Synthèse:	57
Conculion général.....	58
Conculion générale	59
Annexe	60
Annexe chapitre II	61
1. Lumière et espaces cultuels à travers l'histoire:.....	61
1. Egypte antique	61
2. Grèce antique	62
3. Rome antique :.....	63
4. Gothique :	63

5. bouddhistes	64
7. Ottomane.....	65
Synthèse de l’histoire de la lumière	66
2.Présentation des types d’ouvertures dans les musées	67
3.Éclairage:	68
4. Histoire de Basilique « Sainte-Sophie »	71
5. Historique Musée MAMA	72
Annexe chapitre III :.....	75
II.Aperçu historique sur la ville de Laghouat.....	75
Description architecturale des espaces	79
.Les éléments d’Église	80
Les vues intérieurs du musée.....	82
Les grandeurs photométriques	83
Repères Pour L’éclairément Des Musées :.....	86
4.Eclairage artificiel	87
Bibliographie.....	

Figure 1 : Les différentes sources externes d'éclairage naturel	6
Figure 2: Rayonnement visible direct	7
Figure 3 : Church of light (1989) par Tadao Ando à Osaka, Japon	9
Figure 4 et 5: gauche) Chapelle Notre-Dame du Haut (1950) par Le Corbusier à Ronchamp, France.	10
Figure 6 : musée Sainte Sophie.	12
Figure 7 : situation Sainte Sophie	13
Figure 8 : vue de masse.	13
Figure 9 : Plan de la basilique Sainte-Sophie	14
Figure 10 : Colonne de porphyre rouge, cerclée de métal.	15
Figure 11 : La coupole de la Basilique Ste Sophie, vue de l'intérieur	15
Figure 12 : vue de coupe	16
Figure 13 : vue sur la façade principale	16
Figure 14 : vue sur les ouvertures	17
Figure 15 : Le réflecteur sphérique d'Anthemius	18
Figure 16 : Le réflecteur ellipsoïdal d'Anthemius	18
Figure 17 : vue sur le dôme	18
Figure 18 : Capture d'écran de l'environnement logiciel et des variables d'entrée sur le côté droit	19
Figure 19: Coupe montrant le chemin de la lumière à travers une double courbure dôme avec un grand tambour.....	20
Figure 20: vue d'en bas montrant le chemin de la lumière à travers un double dôme de courbure avec un grand tambour. Dôme avec un grand tambour	20
Figure 21 : vue de la situation	21
Figure 22 : vue sur hall d'exposition	21
Figure 23: Situation du musée MAMA	22
Figure 24: les Ouverture du Musée MAMA d'Alger	22
Figure 25 : la toiture sous forme de coupole	23
Figure 26: Représentation en plan de la verrière du musée	23
Figure 27 : Les ouvertures installées dans la toiture	24

Figure 28 : type de fenêtre répartis	24
Figure 29 : La situation géographique de la wilaya de Laghouat	29
Figure 30: La situation régionale	30
Figure 31: caret d'accessibilité routière	30
Figure 32: musée communal Ex :Église Saint-Hilarion.	31
Figure 33 : situation de musée:	32
Figure 34 : ancien Église	33
Figure 35 : vue de masse de musée « ancien Église »	33
Figure 36 : hall d'exposition du musée « ancien Église »	34
Figure 37 : plan RDC du musée « ancien Église »	35
Figure 38 : façade du musée « ancien Église »	36
Figure 39 : coupe AA du musée « ancien Église ».....	36
Figure 40 : musée communal.....	38
Figure 41 : Pré-dimensions des fenêtres S 4	42
Figure 42 : Pré-dimensions des fenêtres et les Verrières.....	42
Figure 43 : Pré-dimensions des Verrières	42
Figure 41 : Pré-dimensions des fenêtres S 4	42
Figure 42 : Pré-dimensions des fenêtres et les vitraux :	42
Figure 43 : Pré-dimensions des vitraux	42
Figure 44 : Pré-dimensions des vitraux	42
Figure 45 : hall d'exposition Ex : salle de prière 20 février 2018 à 9h :30	43
Figure 46 : hall d'exposition Ex : salle de prière 20 février 2018 à 15 h :30	43
Figure 47 : hall d'exposition Ex : salle de prière 08 Août 2018 à 9 h : 30.....	43
Figure 48 : hall d'exposition Ex : salle de prière 08 Août 2018 à 15 h : 30.....	43
Figure 49 : logo de logiciel ecotec 2011	44
Figure 50 : Interface d'Ecotect montrant la 3d intérieure d' halle de musée	45
Figure 51 : Vue en plan de la 3d intérieure d' halle de musée.....	46
Figure 52 : capture d'écran du calcul d'Ecotect, exportation vers Radiance	46
Figure 53 : Sélection du calcul des éclairements	47

Figure 54 : choix d'ouvrir radiance .	47
Figure 55 : La sélection du type de ciel.	47
Figure 56 : Spécification de la date et l'heur.	47
Figure 57 : Les paramètres sélectionnés pour la qualité du rendu final.	48
Figure 58 : Spécification du dossier de sortie	48
Figure 59 : La fenêtre de contrôle de l'ensemble des paramètres du rendu.	48
Figure 60 : La fenêtre indiquant le lancement du rendu.	48
Figure 61 : Niveaux d'éclairément à 9h.....	49
Figure 62 : Niveaux d'éclairément affichés en cliquant sur l'image.	49
Figure 63 : Niveau d'éclairément en contour lines 9h .Source :	49
Figure 64 : Niveau d'éclairément en false color à 9h.	49
Figure 65 : Niveaux d'éclairément à 15h.....	50
Figure 66 : Niveaux d'éclairément affichés en cliquant sur l'image à 15h.....	50
Figure 67 : Niveau d'éclairément en contour lines 15h.....	50
Figure 68 : Niveau d'éclairément en false color à 15h.	50
Figure 69 : Niveaux d'éclairément à 9h.....	51
Figure 70 : Niveaux d'éclairément affichés en cliquant sur l'image.	51
Figure 71 : Niveau d'éclairément en contour lines 9h.	51
Figure 72 : Niveau d'éclairément en false color à 9h.....	51
Figure 73 : Niveaux d'éclairément à 15h.	52
Figure 74 : Niveaux d'éclairément affichés en cliquant sur l'image	52
Figure 75 : Niveau d'éclairément en contour lines 15h.....	52
Figure 76 : Niveau d'éclairément en false color à 15h.....	52
Figure 77 : Niveaux d'éclairément à 9h.....	54
Figure 78 : Niveau d'éclairément en false color à 9h.....	54
Figure 79 : Niveaux d'éclairément à 15h.....	54
Figure 80 : Niveau d'éclairément en false color à 15h.....	55
Figure 81 : Niveaux d'éclairément à 9h.....	55
Figure 82 : Niveau d'éclairément en false color à 9h.....	55

Figure 83 : Niveaux d'éclairement à 15.....	55
Figure 84 : Niveau d'éclairement en false color à 15h.....	55
Figure 85 : Plan RDC avec une propositions du emplacement des lampes.....	56
Figure86: la lumière dans les temples - d'Amon à Karnak, le temple d'Horus à Edfou.	61
Figure87: Grand Temple d'Amon, à Karnak, en Egypte (1530-323 avant JC). Plan, coupe.....	62
Figure 88 : La façade Est du Parthénon	62
Figure 89 : façade Est du Parthénon	62
Figure 90 : La coupole qui mesure 43m de diamètre est percée d'une ouverture centrale circulaire (oculus),	63
Figure 91 : L'édifice gothique	64
Figure 92 : La lumière divine dans un temple thaïlandais,.....	64
Figure 93 : Vue intérieure vers l'abside de la basilique Sainte-Sophie.	65
Figure 94: La coupole centrale, haute de 56m,	65
Figure 95: Le plafond complexe de Mosquée du Sultan Ahmed. L'imposante coupole, culminant à 43 m.....	66
Figure 96: Les 21043 carreaux de faïence bleue -vert, des XVI et XVII siècles.	66
Figure 90 : La coupole qui mesure 43m de diamètre est percée d'une ouverture centrale circulaire (oculus),	63
Figure 97et 98: Type d'ouverture zénithale :	67
Figure 99 : Type d'ouverture Latérale.	67
Figure 100 : l'angle d'incidence optimal de la lumière.....	68
Figure 101 :l'emplacement des projecteurs	68
Figure 102 :l'emplacement des projecteurs.	68
Figure 103 :l'emplacement des projecteurs	69
Figure 104 :l'emplacement des projecteurs,	69
Figure 105 : la distance au mur.....	69
Figure 106 : éclairage mural.....	70
Figure 107 : La lumière orientée.	70

Liste des figures

Figure 108 : vue sur la façade du musée,.....	72
Figure 109 : Plan ÉTAGE COURANT	73
Figure 110 : Plan terrasse	73
Figure 111 : façade principale	65
Figure 112: vue de Laghouat en 1853 (Dar-Seffah).....	75
Figure 113: Laghouat pendant la prise coloniale.	76
Figure 114 : Plan RDC	77
Figure 115 : coupe transversale AA,.....	77
Figure 116 : coupe longitudinale BB	78
Figure 117 : Façade Principale.	78
Figure 118 : La sacristie - espace pour les visiteurs	79
Figure 119 : Le parvis - entrée Principale	79
Figure 120 : Le chœur –la réception.	79
Figure 121 : Abside – réception.....	79
Figure 122 : Le collatéral – galerie d'exposition	79
Figure 123 : La nef – hall d'exposition.....	79
Figure 124 : Le transept hall d'exposition	79
Figure 125 : Le baptistère..	79
Figure 126 : Autel de la prothèse.....	80
Figure 127 : Autel de la prothèse.....	80
Figure 128 : Portes de forme d'un arc semi circulaire	80
Figure 129 : Grande porte de forme d'un arc semi circulaire avec ornement métallique.	80
Figure 130 32 fenêtres dans la coupole.....	81
Figure 131 : Balcon orné par un claustra au sommet de la tour coupole	81
Figure 132 : 4 Grandes fenêtres de forme d'un arc semi circulaire avec claustras	81
Figure 133 : Grande ouverture au-dessus de l'entrée avec un claustra de forme d'une fleur (rose).....	81
Figure 134 : Grandes fenêtres de forme d'un arc semi circulaire	81

Figure 135 : Les coupoles en cascade : Demi-coupoles l'une au-dessus de l'autre. La dernière est plus grande, et elles sont entourées par: -Petite ouverture de forme d'un arc semi circulaire avec une claustras.....	81
Figures 136 à 143 : vues intérieur du musée.....	82
Figure144: Intensité lumineuse, l'éclairement et la luminance	83
Figure 145 : Définition de facteur de lumière de jour.	84
Figure 146 : Tableau les normes d'éclairement des objets dans les musées	86
Figure 147 : Tableau provenant de la publication «Polluants dans les musées et les archives, évaluation des risques, stratégies de contrôle et gestion de la préservation» par Jean Tétreault.	87
Figure 148 : Spot multiréglable.	87
Figure 149 : Spot multiréglable	88
Figure 150 : Spot ultra puissant	88
Figure 151 : BEACON PROJECTOR-Iris.....	88
Figure 152 : BEACON PROJECTOR – Framing	89
Figure 153 : BEACON PROJECTOR – Gobo.....	89

Tableau 01 : comparaisons entre les ouvertures des exemples.	25
Tableau 02 : les différents espaces du musée (Ex : église).....	35
Tableau 03 : Description architecturale des espaces	37
Figure 4 et 5: gauche) Chapelle Notre-Dame du Haut (1950) par Le Corbusier à Ronchamp, France.	10
Tableau 04 : Pré-dimensions des fenêtres et les Verrière assurant l'éclairage naturel dans le musée	40
Tableau 05 : Climat lumineux.	49
Tableau 06 : Climat lumineux.	51
Tableau 07 : présente la norme d'éclairement recommandé. Source : Centre de conservation du Québec - Gouvernement du Québec	53
Tableau 08 : Climat lumineux cas amélioré.....	54
Tableau 09 : Climat lumineux cas amélioré.	55
Tableau 10 : Eclairage des différentes sources de l'éclairage naturel	83

La conservation des anciennes valeurs architecturales et des monuments historiques se fait principalement par leur rénovation et leurs mise à disposition aux habitants de la ville, a fin de lier le passé avec le présent. Si on veut redonner une nouvelle fonction aux anciens édifices, il est indispensable de procéder à une étude globale sur ces monuments. L'une de ces principales études s'intéresse à l'ambiance lumineuse intérieure, c'est pour cette raison précise que l'espace intérieur, n'est pas considéré ainsi sans l'éclairage naturel, d'après la philosophie du silence et de la lumière de Louis Kahn ; ou l'espace intérieur représente l'habitation de l'ombre « le seuil entre le silence et la lumière ».¹ Le chargement de la lumière naturelle au cours de la journée et des saisons. A pris une place importante dans la réflexion des concepteurs car la modification de la lumière naturelle conduit à la diversité d'ambiance lumineuse, en particulier en termes de voir les scènes d'intérieure et les conséquences des actes physique et matériel.

Nous avons jugé ce sujet très intéressant à développer. Pour notre cas de recherche on s'est intéressé à l'étude d'un monument historique de la ville de Laghouat « le musée communal anciennement église Sainte Hilarion » datant de l'époque coloniale.

1-Problematique :

La prise de conscience des concepteurs sur le rôle joué par l'ambiance lumineuse, qui donne une influence psychologique sur les espaces intérieure et son influence à les utiliser de différentes manières. La lumière et ses ambiances peut déterminer le fonctionnement de l'espaces lui-même.

L'histoire de l'architecture et les changements de ses moyens coïncide avec l'ouverture de la lumière naturelle sur l'espace, cette dernière qui est utilisée pour guider, orienter et diffusée la lumière. Pour mieux démystifier ce phénomène, nous présenterons la problématique suivante :

- Comment peut-on identifier une ambiance lumineuse dans le musée EX : l'Église Sainte Hilarion ??

- Et comment l'emploi des fenêtres participent-il dans la création d'ambiance lumineuse (en terme de qualité et quantité)??

¹ <https://www.etudier.com/dissertations/Silence-Et-Lumiere-Khan/254206.html>

2-Les hypothèses :

Nous supposons pour notre cas d'étude les hypothèses suivantes :

- dans le musée « Ex : église sainte Hilarion » un faible éclairage et ambiance lumineuse tamisé.
- le choix de conception des fenêtres et ses différents types et formes joue un rôle sur la création d'ambiance lumineuse.

3. Les objectifs:

L'objectif de notre recherche est :

- Vérification si l'ambiance lumineuse existe dans l'Ex église Sainte Hilarion et par conséquent son amélioration à travers un logiciel de simulation
- adaptation des quelques solutions pour une ambiance lumineuse adéquate afin que l'ex église reçoive sa nouvelle fonction de musée

4. Méthodologie de travail :

Notre Méthodologie d'Analyse de l'ambiance lumineuse s'appuiera principalement est axée sur la vérification de nos hypothèses une analyse à travers une étape a été appliquée sur le corpus sélectionné.

Typologie :

Afin de mener à bien cette initiation à la recherche une certaine démarche méthodologique est plus que nécessaire en vue d'une bonne gestion de temps et une meilleure maîtrise du sujet. Deux étapes nous on semblées nécessaires pour décortiquer notre sujet.

1-Première étape :

Cette étape consiste en la constitution d'une base documentaire relative au sujet traité. L'essentiel de cette étape sera consacré à la lecture de documents portant sur le thème de l'ambiance lumineuse ; ouvrages, mémoires, articles....etc. Doivent être exploités d'une façon judicieuse pour maîtriser le concept.

2-Deuxieme étape :

- Pour cette deuxième phase, il nous faut le maximum de données concernant notre cas d'étude s'agissant de l'Ex Église sainte Hilarion pour nous permettre de récolter les informations nécessaires au bon déroulement de notre recherche, un travail de terrain s'impose. À cet effet, nous ferons appel à deux techniques d'investigations et d'enquêtes : l'observation et la simulation.
- L'observation constituant le relevé métrique, photographique et l'observation des constituants pour continuer le document graphique.

5. Structure du mémoire :

Ce travail est composé de quatre Chapitres :

Le premier chapitre : partie introductive

Ce chapitre comporte les éléments de la problématique à savoir : la présentation du cas d'étude et les objectifs de la recherche, ainsi que la démarche à suivre

Le deuxième chapitre : État de l'art

Englobe les différentes connaissances de base et les notions fondamentales de l'éclairage naturel et les ambiances lumineuses dans les églises et les musées, à l'aide de l'étude des exemples.

Le troisième chapitre : Cas d'étude

Comprendre l'étude architecturale du musée et ses espaces; et les dispositifs des fenêtres et leurs types dans le hall d'exposition « ex salle de prière » à travers l'observation et la simulation de la lumière de jour et les effets d'ambiances lumineuses. Enfin on achèvera notre travail par :

Quatrième chapitre: conclusion générale

Introduction:

L'ambiance architecturale est une entité qui résulte de la synthèse des perceptions multiples et de l'environnement qui l'entourent à savoir ; thermique, acoustique, respiratoire, et visuelle. Plusieurs auteurs soulignent l'importance de la lumière dans l'architecture. Dans le présent chapitre nous allons présenter les notions fondamentales sur l'éclairage naturel et les ambiances lumineuses. Ainsi que la présentation des études d'exemples concernant l'ambiance intérieure et son impact. Et leur qualité d'éclairage intérieur à travers l'étude des exemples.

1. Définitions de l'éclairage naturel :

D'une manière générale, l'éclairage naturel est défini comme étant « l'utilisation de la lumière du jour pour éclairer les tâches à accomplir »¹.

Si le soleil est la source mère de tout type de lumière, techniquement l'éclairage naturel global comprend à la fois l'éclairage produit par le soleil, la voûte céleste et les surfaces environnantes ²

Cependant, certains spécialistes dans le domaine ont pendant longtemps, omis de considérer dans leurs définitions et leurs calculs l'éclairage direct provenant du soleil, ne prenant en considération que la lumière diffuse du ciel. Parmi ces spécialistes, nous citerons F. BOUVIER³ qui le définit comme étant « l'éclairage produit par la voûte céleste et les réflexions de l'environnement, à l'exclusion de l'éclairage direct du soleil ».

P. CHAUVEL⁴ de son côté, le décrit comme étant « l'éclairage produit par la voûte du ciel, à l'exclusion de l'éclairage produit par le soleil. Toutefois, dans certains cas, on considère l'éclairage global, mais il doit toujours être précisé que c'est y compris la lumière provenant directement du soleil ou réfléchi par des surfaces ensoleillées.»

¹ . C. BROWN et K. RUBERG.-Facteurs de performance des fenêtres-. RSB 88 -Canada.1988 [Enligne] <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/bsi/rsb.html>

² MUDRI, Ljubica. De l'hygiène au bien-être, du développement sans frein au développement durable: ambiances lumineuses. Paris. Ecole d'architecture de Paris- Belleville. Novembre 2002, p 1-3.

³ BOUVIER, François. « Eclairage naturel », Technique de l'ingénieur, Vol. C6, n°C 3 315, Paris (1981), p6.

⁴ CHAUVEL.P & DERIBERE. M. L'éclairage naturel et artificiel dans le bâtiment. Paris: Eyrolles. 1968, p61.

Quant à M. GARCIA, il précise que lorsqu'on étudie l'éclairage naturel à l'intérieur des locaux, on prend seulement en compte le rayonnement solaire diffus; c'est-à-dire la lumière provenant de la voûte céleste, car l'ensoleillement dans un local a des effets lumineux très intenses, mais crée rarement un éclairage fonctionnel.⁵

Cette exclusion du rayonnement direct du soleil est approuvée lorsque la région d'étude se caractérise par une par un ciel clair, où le soleil brille une bonne partie de l'année.

2. Sources de l'éclairage naturel :

En premier lieu le mot « source ». Du point de vue physique, désigne « un convertisseur qui transforme une énergie en un rayonnement »⁶.

Comme nous le savons, l'Homme est exposé à une grande variété de sources d'énergie naturelles qui émettent un rayonnement sur plusieurs bandes du spectre électromagnétique. Pour cela, il est indispensable de les classer car comme il existe des « sources lumineuses nocturnes », qui

émettent un rayonnement électromagnétique durant la nuit tel que la lune et les étoiles ; il existe également des « sources lumineuses diurnes » qui émettent un rayonnement électromagnétique pendant la journée. Pour ce qui nous concerne, nous nous intéresserons dans cette étude uniquement aux sources lumineuses diurnes qui permettent à l'être humain de percevoir clairement son environnement et d'accomplir les différentes tâches et activités qui rythment sa vie.

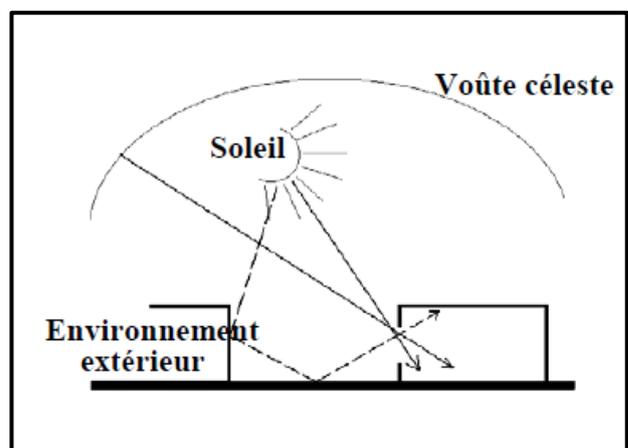


Figure1: Les différentes sources externes d'éclairage naturel source: l'éclairage naturel dans le bâtiment. Référence aux milieux arides à climat chaud et sec A. BELAKEHAL, K. TABET AOUL N°04, Juin 2003, pp. 03-13

⁵GARCIA, M in THIRY, Raymond. Eclairage naturel dans le bâtiment. Marseille: Ecole d'Architecture de Marseille- Luminy, p5.

⁶ Les sources primaires et les sources secondaires de la lumière » dans Encyclopédie ENCARTA sur CDROM , Paris: Encyclopédie Ecarta.2004

2.1. Sources lumineuses diurnes directes :

Parmi les sources lumineuses diurnes directes, nous distinguons une source primaire qui est le soleil et une source secondaire représentée par la voûte céleste.

-La « source primaire » est une source de lumière qui émet de la lumière qu'elle a elle-même produite. Elle est visible et isolée de toute autre source lumineuse. Le Soleil est une source primaire de la lumière naturelle diurne et il est à l'origine du rayonnement visible direct appelé « lumière solaire ». Quant à cette dernière, elle est définie par J. BELL et W. BURT comme étant « la partie de l'irradiation solaire qui atteint la surface terrestre sous forme de rayons parallèles et qui résulte d'une atténuation sélective par l'atmosphère ». ⁷ Et elle y'a deux type de source primaire et source secondaire.

Source primaire : La « source primaire » est une source de lumière qui émet de la lumière qu'elle a elle-même produite. Elle est visible et isolée de toute autre source lumineuse. ⁷ Le Soleil est une source primaire de la lumière naturelle diurne et il est à l'origine du rayonnement visible direct appelé « lumière solaire ». ⁸

Sources secondaires : est une source de

lumière qui n'est visible que lorsqu'elle est éclairée par une source primaire, telle la voûte céleste qui est éclairée par le rayonnement solaire dont une partie (environ 25%), qui est absorbée et réémise par l'atmosphère, constitue ce que les spécialistes appellent la lumière diffuse du ciel. ⁹

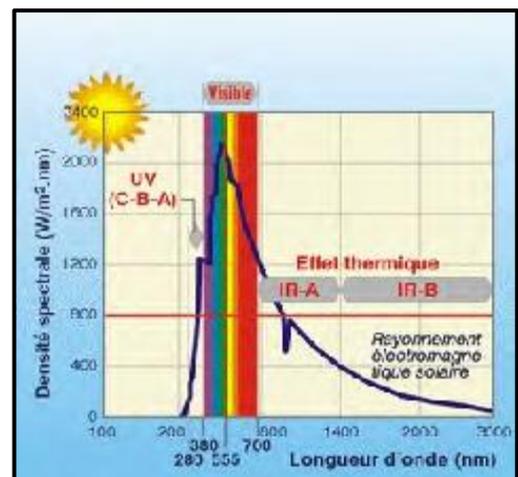


Figure 2: Rayonnement visible direct.

Source : A. DE HERDE & al.

[www.energie.arch.ucl.ac.be]

⁷ J. BELL & W. BURT in ROUAG, Djamila. Sunlight problems within new primary school classrooms in Constantine. Thèse de Doctorat. Constantine : Université Mentouri, Avril 2001, p 143.

⁸ Ibid

⁹ « Les sources primaires et les sources secondaires de la lumière » Op.Cit

2.2. Sources lumineuses diurnes indirectes :

Les corps environnants ne sont perceptibles par l'œil et n'émettent en gamme du visible que s'ils sont portés à une température élevée, ou bien s'ils réfléchissent, diffractent ou bien diffusent les rayonnements visibles qui les éclairent.

Tous les corps opaques excepté les corps noirs, interceptent le rayonnement solaire et le réfléchissent mais la quantité de la lumière réfléchie, dépend du facteur de réflexion de la surface, c'est-à-dire de son albédo. Quant à la couleur de la lumière réémise, elle correspond à la couleur de l'objet (si l'objet est éclairé en lumière blanche).

3. Type d'éclairage naturel :

Le type d'éclairage naturel est défini par la position des prises de jour qui le procure et qui peuvent être placées soit en façade (éclairage latéral), soit en toiture (éclairage zénithal), soit les deux à la fois. Mais leurs fonctions restent les mêmes. La prise de jour est cependant un des plus complexe et coûteux composants du bâtiment à cause du grand nombre de rôles contradictoires qu'elle doit jouer tels que l'éclairage et l'occultation, la vue sur l'extérieur et la recherche d'intimité, la pénétration du soleil et la protection solaire, et enfin, l'étanchéité et la ventilation¹⁰. Un autre élément fondamental qui permet de valoriser la lumière naturelle en architecture et qui a perdurer à travers l'histoire il s'agit de :

Éclairage zénithal : D'après C. TERRIER et B. VANDEVYVER¹¹, le recours à l'éclairage zénithal est indispensable pour les constructions dont la hauteur sous plafond est supérieure à 4,50 mètres. Quant aux locaux de hauteur intermédiaire, de 3 mètres à 4,50 mètres, le choix dépend d'autres caractéristiques à l'image de la profondeur, la largeur et la forme du bâtiment.

Et pour l'Éclairage latéral : caractérisé par l'usage de prises de jour en façade est associé, selon C. TERRIER et B. VANDEVYVER, aux locaux de faible hauteur sous plafond : de 2,50 mètres à 3 mètres. Ce système optique

¹⁰ Benharkat Sarah- Memoire De Magister Option : Architecture Bioclimatique Impact De L' Eclairage Naturel Zenithal Sur Le Confort Visuel Dans Les Salles De Classe -P12

¹¹ TERRIER. Christian et VANDEVYVER. Bernard. "L'éclairage naturel", fiche pratique de sécurité, Paris : ED 82, Travail et Sécurité, (Mai 1999), p1 [En ligne] www.inrs.fr (Page consultée le 21 septembre 2004)

est, d'après J.J. DELETRE , l'un des moins performants du point de vue éclairage par la lumière du jour, en particulier dans les cas où il y a un masque extérieur. C'est pourtant l'un des plus utilisés.¹²

4. Ambiance lumineuse :

L'ambiance lumineuse est une des composantes des ambiances architecturales et urbaines, au même titre que l'ambiance sonore ou olfactive. Elle résulte de notre perception de l'éclairage et de l'espace construit, lors de l'usage de cet espace construit. On peut décrire cette ambiance à travers les effets lumineux qui la composent. Le rôle de l'ambiance lumineuse dépend du sens qu'elle donne à l'espace.¹³



5. Ambiances architecturales et urbaines :

Les ambiances architecturales et urbaines rassemblent sous un même terme la perception du milieu et l'influence de l'environnement construit, au niveau physique et social. Selon cette définition, l'ambiance d'un lieu est le trait d'union entre l'homme et l'architecture. L'éclairage, support physique de l'ambiance lumineuse, est un équilibre entre l'espace et la lumière : la lumière révèle l'espace, et l'espace transforme la lumière.

Le bâtiment peut être considéré comme un filtre de la lumière naturelle par son interaction avec les phénomènes physiques. Au cours de la conception, l'architecte est donc en possession d'un formidable outil, le bâtiment, qui lui permet de maîtriser les phénomènes physiques, et ainsi modeler l'éclairage intérieur.

6. Rôle de l'ambiance lumineuse :

La lumière comprend un grand nombre d'informations, qui donne du sens et de la mesure à l'espace architectural. L'ambiance lumineuse est donc un révélateur de l'architecture, au sens matériel et symbolique. On distingue les notions de lumière par le latin lux, la lumière spirituelle qui s'approche de

¹² Benharkat Sarah -Op.Cit- P 24.

¹³ Vincent Tourre-Thèse de DOCTORAT Spécialité : Architecture- Simulation inverse de l'éclairage naturel pour le projet architectural - UNIVERSITÉ DE NANTES -Année 2007.P18

l'illumination, de la clairvoyance ou de l'émotion, et lumen la lumière physique qui est parfaitement rationnelle.¹⁴

a-Mise en forme :

La lumière procède à une réelle mise en forme de l'espace par la révélation des structures et des matières. Évoque même l'idée d'un volume de lumière qui vient construire l'espace. C'est la cohérence entre la morphologie du bâtiment et la lumière qui détermine les propriétés structurantes de la lumière. L'église de Ronchamp est un contre-exemple de cohérence entre la structure et la lumière. La lumière filtrée par les vitraux n'est volontairement pas en accord avec la structure lourde et massive, pour créer une impression de contraste et donc de légèreté (figs. 4,5). La lumière peut aussi dématérialiser la structure comme dans l'église Myyrmaki de Juha Leiviska .où le jeu d'ombres et de lumière fait en quelque sorte < disparaître > la structure.



b-Symbolique :

Les temples égyptiens et grecs seraient les premières constructions où le rôle de l'éclairage n'est plus seulement fonctionnel. La lumière est utilisée pour la création d'une atmosphère propice à l'adoration des dieux. Cette mise en lumière ajoute une dimension esthétique, voire divine, à l'aspect fonctionnel de l'éclairage. La dimension esthétique est supportée par des effets d'ambiance, qui sont des composantes perceptibles de l'expression

¹⁴ Vincent Tourre, Op.Cit , P23

architecturale. Si ces effets sont faciles à mettre en place avec un éclairage artificiel, ils sont beaucoup plus difficiles à réaliser avec la lumière naturelle. C'est le résultat d'une grande cohérence entre les éléments architecturaux : forme, matière, orientation.

Parmi les Exigences fonctionnels et formels les plus utiles dans les musées se trouvent:

7.Éclairage naturel et ambiance lumineuse dans les musées :

La lumière est un élément très important car il va contribuer dans la différenciation des parcours dans un même musée et qui varie selon le thème et la sensation. L'ambiance lumineuse accompagne le parcours du musée par de grands mouvements lumineux dans le plafond ou en creux.

La lumière naturelle pénètre dans les édifices, par des ouvertures, qui donnent, lieu à des typologies, aussi biens en éclairage zénithale ou latérale.¹⁵

Présentation des types d'ouvertures dans les musées (voir partie annexe page 67).

¹⁵ Mémoire MUSEE D'ART ET D'HISTOIRE À ORAN.PDF

Analyse des exemples :

Une analyse de deux exemples était utile, le premier sélectionné : Sainte Sophie à Istanbul datant de l'époque ottomane. Cette analyse consiste en un inventaire des dispositifs architecturaux d'éclairage naturel dans le musée ; ce qui est équivalent à notre cas d'étude.

Le deuxième exemple national s'agit du musée MAMA à Alger ; à travers cette analyse on a déterminé les dispositifs d'éclairage et les ambiances créent ainsi leurs effets en termes d'environnement lumineux ainsi que leur interrelation ou sein d'un modèle formel.

Exemple 1 : (Sainte Sophie, 532-37), de l'Eglise, Mosquée, Musée Sainte Sophie :

1. Présentation de l'église :

Sainte-Sophie est l'un des monuments les plus représentatifs de la grandeur de la civilisation byzantine. Elle fut construite à la demande de l'empereur Justinien, à l'emplacement même d'une ancienne basilique. Anthémios de Tralles et Isidore de Milet furent choisis par l'empereur pour édifier ce qui sera, pendant plusieurs siècles, l'un des plus grands bâtiments du monde et l'une des plus grandes coupoles jamais édifiées.



Figure 6 : musée Sainte Sophie. Source : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Sainte-Sophie_\(Constantinople\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Sainte-Sophie_(Constantinople))

La première basilique de l'histoire chrétienne, qui signifie « sagesse de Dieu », « sagesse divine », nom repris en turc sous la forme Ayasofya)¹⁶.

¹⁶ Source internet - <http://www.lankaart.org/article-33383426.html>

2.Situation :

Constantinople (actuelle Istanbul en Turquie) est située sur une hauteur à l'entrée du Bosphore, que les Grecs anciens appelaient Hellespont.

Sainte-Sophie est située sur la péninsule historique d'Istanbul.¹⁷

Voir détails historique dans la partie annexe (page 71).

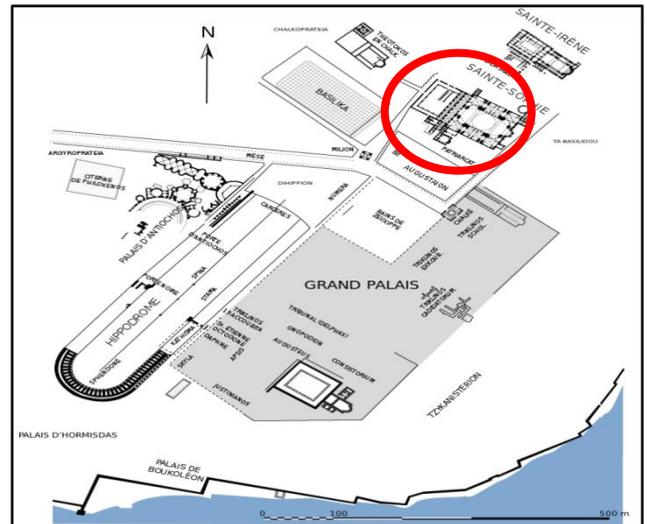


Figure 7 : situation Sainte Sophie .

Source : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Sainte-Sophie_\(Constantinople\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Sainte-Sophie_(Constantinople))

3.Plan de masse :



Figure 8 : vue de masse. source : www.google.com/maps

 **Axe principale vers Sainte-Sophie**

 **Axe secondaire**

 **Axe principale vers centre-ville (Istanbul)**

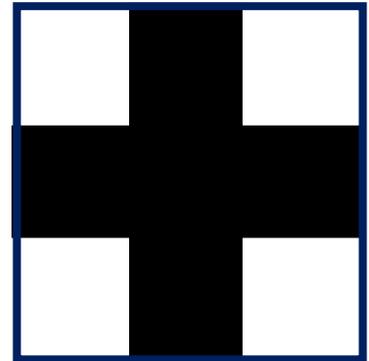
¹⁷Source internet- <http://www.video-du-net.fr/peinture/sainte-sophie-constantinople.php>

4.Étude architecturale de la basilique Sainte-Sophie :

-Elle tracée sous forme de plan carré (croix grecque, aux branches égales).

Dimensions :

- surface total : 7540 m²
- Dimensions de la basilique : 77 m x 71 m
- Hauteur de la coupole : 55 m
- Diamètre de la coupole : 31 m



La coupole est éclairée par 40 fenêtres. Au centre une représentation du Christ.

4.1. Étude du plan :

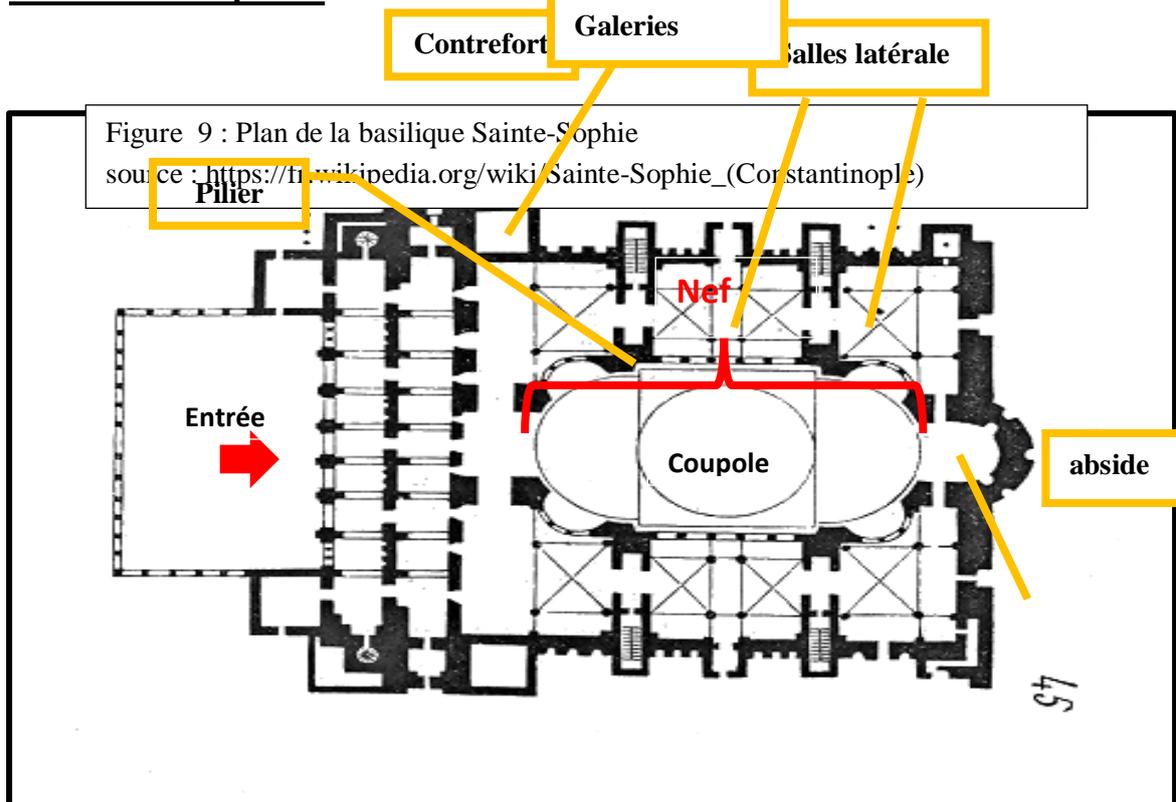


Figure 9 : Plan de la basilique Sainte-Sophie
 source : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Sainte-Sophie_\(Constantinople\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Sainte-Sophie_(Constantinople))

À l'intérieur :

- Les murs, les colonnes au nombre de (107), et les revêtements seront recouverts de marbres polychromes (de plusieurs couleurs), marbre blanc de Marmara, marbre vert de l'île d'Eubée, marbre rose des carrières de Synada, marbre jaune d'Afrique, porphyre d'Egypte (pierre des empereurs byzantins).
- Les tribunes laissent également pénétrer la lumière grâce aux 67 piliers qui soutiennent la coupole. Le diamètre de cette coupole est de 33 m.
- Une splendide décoration de mosaïques d'or couvrant 16 000 m² contribuait à augmenter l'éclat de l'intérieur.
- Coupole équilibrée à l'est et l'ouest par 2 autres coupoles de même diamètre et chacune d'elle l'est à son tour par des niches sphériques.
- Sur les côtés nord et sud, la coupole est contrebalancée par 2 grands arcs reposant sur des piliers enfermant un tympan percé de fenêtres reposant sur des colonnes.



Figure 10 : Colonne de porphyre rouge, cerclée de métal.

Source : <https://www.pinterest.com/pin/405675878926388577/?lp=true>



Figure 11 : La coupole de la Basilique Ste Sophie, vue de l'intérieur .

Source : <http://www.video-du-net.fr/peinture/sainte-sophie-constantinople.php>

4.2. Vues sur la coupe et façade de sainte Sophie :

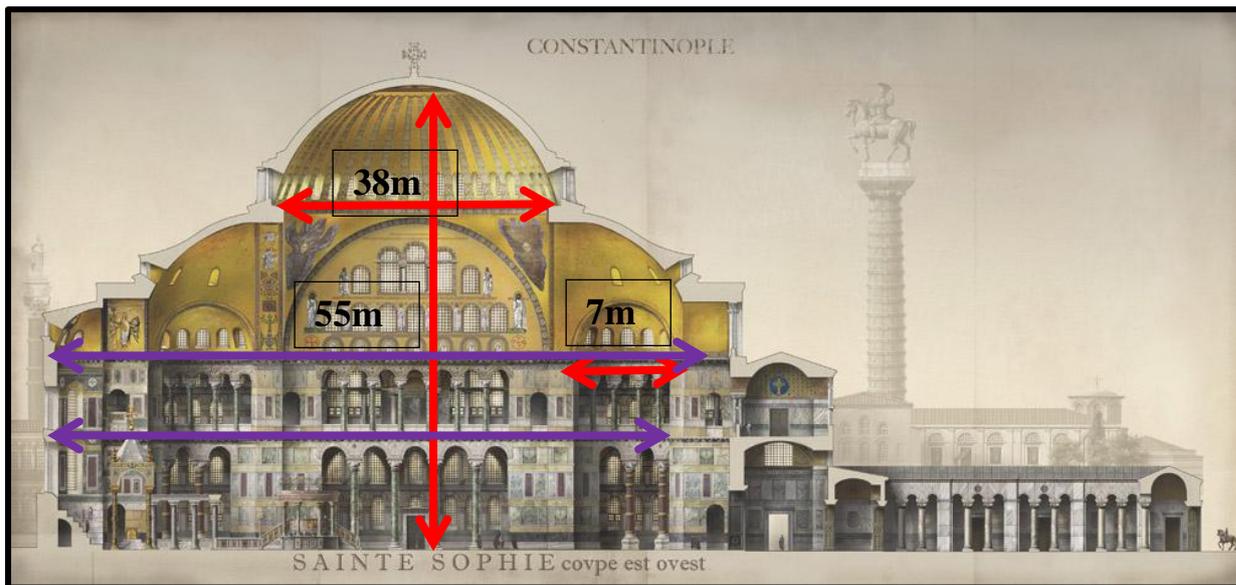


Figure 12 : vue de coupe source : <http://www.antoinehelbert.com/fr/portfolio/annexe-work/byzance-architecture.html>

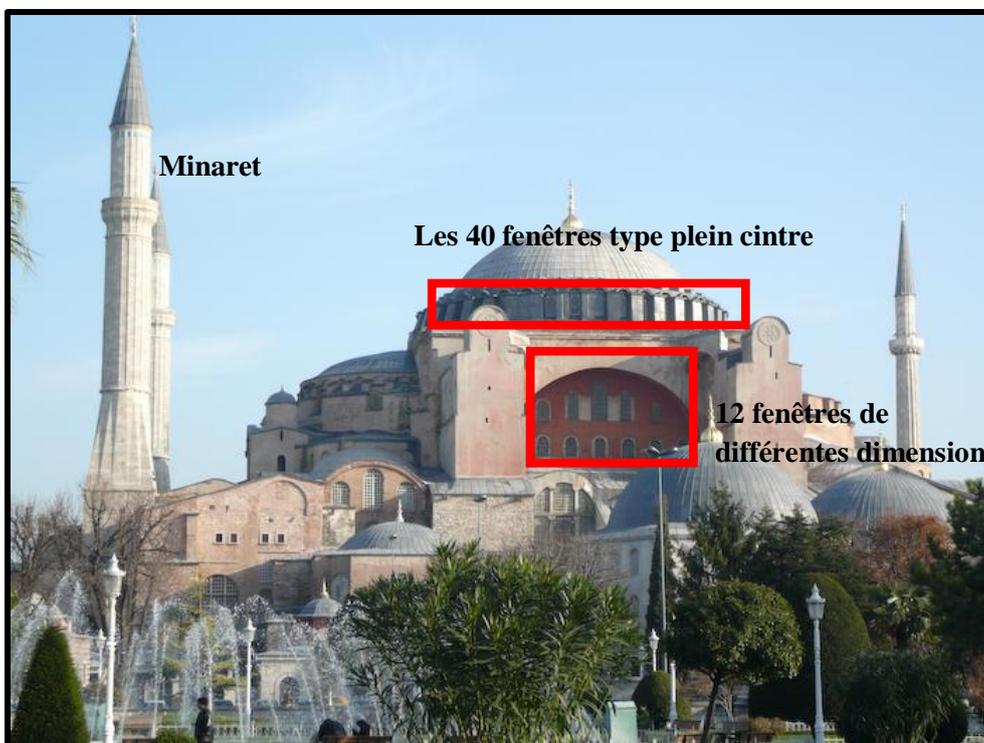


Figure 13 : vue sur la façade principale source : <https://orthodoxeordinaire.blogspot.com/2010/06/ce-que-lislam-doit-byzance.html>

5. L'ambiance lumineuse dans la basilique Sainte-Sophie :

La conception de « Hagia Sophia » semble être l'incarnation de l'intégration de la géométrie, la lumière et la cosmologie.

"... Sa largeur et sa longueur ont été si bien proportionnées qu'il peut à juste titre être dit à la fois très long et inhabituellement large ... abonde dans la lumière du soleil et des reflets brillants. En effet, on pourrait dire que rayonnement généré à l'intérieur, telle est l'abondance de lumière qui baigne ce sanctuaire tout autour ... Et quand on entre dans l'église pour prier, on comprend immédiatement qu'il a été façonné pas par un humain pouvoir ou compétence, mais par l'influence de Dieu.¹⁸

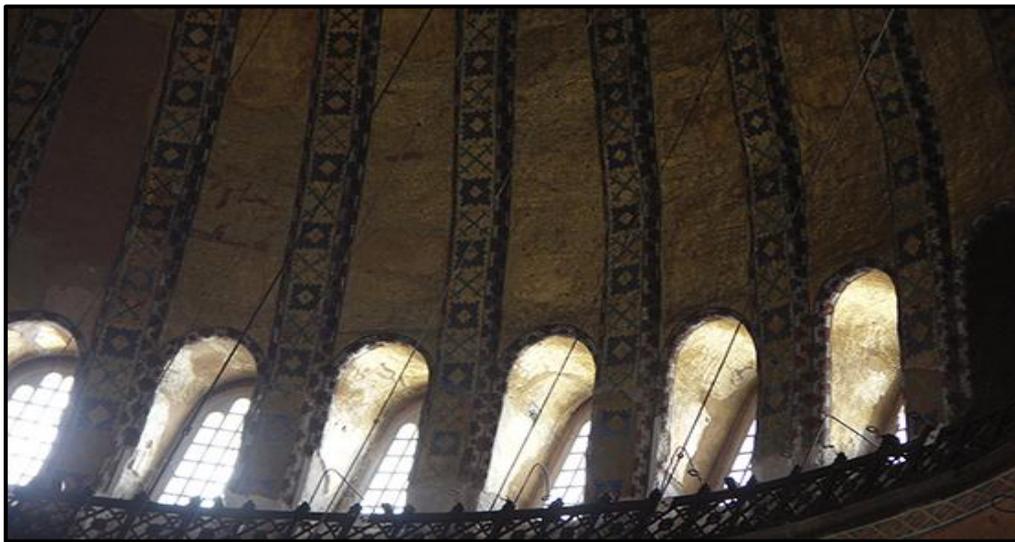


Figure 14 : vue sur les ouvertures

Source: <http://www.antoinehelbert.com/fr/portfolio/annexe-work/byzance-architecture.html>

Les fenêtres au bas du dôme sont étroitement espacées, affirmant visuellement que la base du dôme est insignifiante et touche à peine le bâtiment lui-même. Les planificateurs du bâtiment ont fait plus que serrer les fenêtres ensemble, ils ont également aligné les jambages ou les côtés des fenêtres avec de la mosaïque d'or. À mesure que la lumière frappe l'or, elle se forme autour des ouvertures et ronge la structure, laissant place à l'imagination pour voir un dôme flottant.¹⁹

¹⁸ Geometry, Light, and Cosmology in the Church of Hagia Sophia- Wassim Jabi and Iakovos Potamianos. Chapter 07;Page 305.

¹⁹ Site web : <https://www.khanacademy.org/humanities/ap-art-history/early-europe-and-colonial-americas/medieval-europe-islamic-world/a/hagia-sophia-istanbul>

Le dôme original de Hagia Sophia :

Le dôme de Hagia Sophia été conçu comme une combinaison de deux miroirs incurvés de différents courbure Ces conceptions de miroir ont été trouvées dans les propres écrits existants de l'architecte (G. L. Huxley, Anthemius de Tralles). Cette hypothèse peut être considéré comme grande prouvé en termes de preuves géométriques, topographiques et textuelles.²⁰

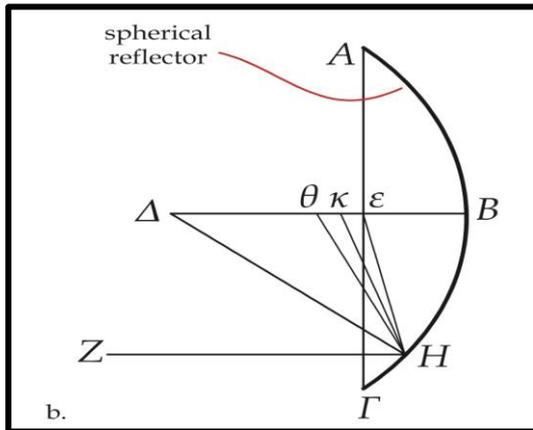


Figure 15 : Le réflecteur sphérique d'Anthemius. Source : A Parametric Model of Byzantine Church Domes

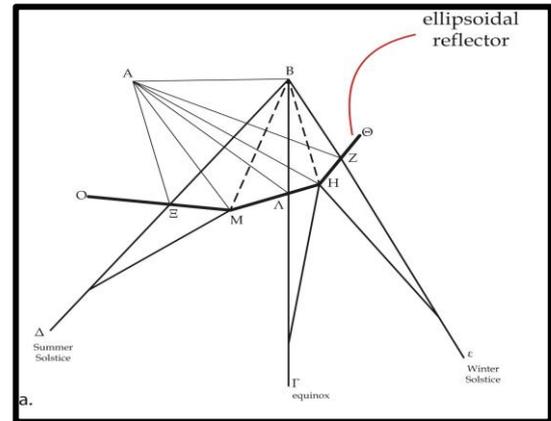


Figure 16 : Le réflecteur ellipsoïdal d'Anthemius Source : A Parametric Model of Byzantine Church Domes



Figure 17 : vue sur le dôme source : https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Cupola_Hagia_Sophia.jpg

²⁰ A Parametric Model of Byzantine Church Domes Iakovos Potamianos1 and Wassim Jabi- School of Drama, Faculty of Fine Arts, Aristotle University of Thessaloniki

Vérification par simulation de l'ambiance lumineuse a travers la coupole :

La modélisation paramétrique. Un tel modèle pourrait être basé sur la compréhension théorique de la façon dont la lumière se déplace et les éléments de forme de base et leur disposition dans un dôme de l'église. Un tel modèle faciliterait l'expérimentation d'un grand nombre de cas de test théoriques. Ce modèle devrait être construit de manière à pouvoir incorporer toutes les différentes variables susceptibles d'influencer l'effet du dôme lumineux.

Créé un script d'ordinateur dans la modélisation 3D d'Autodesk 3ds Max et un logiciel d'animation qui génère un en trois dimensions modèle solide d'un dôme, d'un tambour et de fenêtres utilisant plusieurs paramètres d'entrée.

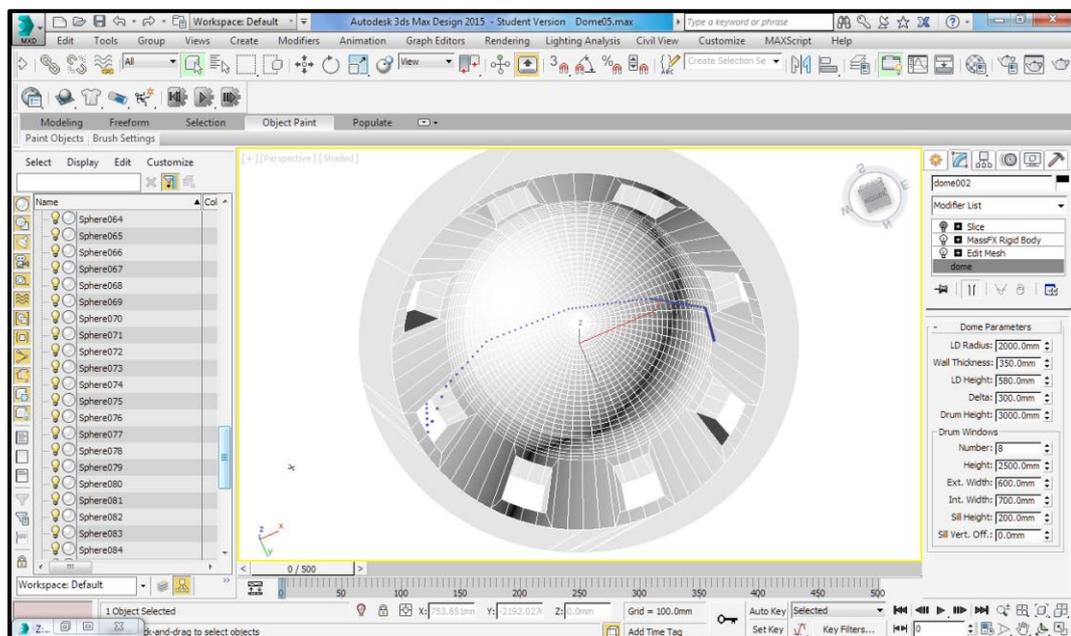
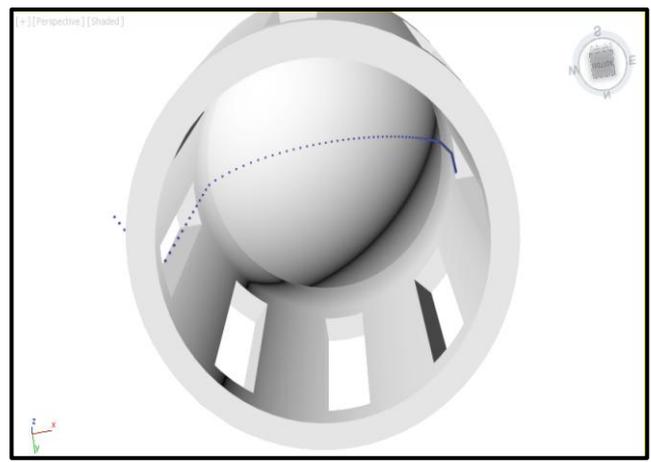
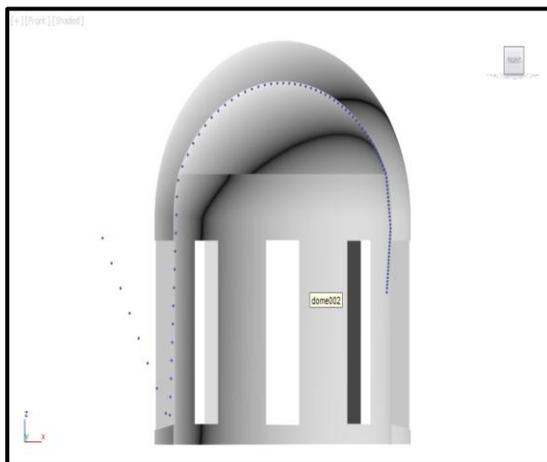


Figure 18 : Capture d'écran de l'environnement logiciel et des variables d'entrée sur le côté droit. Source : A Paramétrique Model of Byzantine Church Dômes.

Une fois le dôme créé, nous avons utilisé le logiciel de capacité à simuler la physique de collision et de réflexion à visualiser et animer une représentation des rayons du soleil ils frappent le rebord de la fenêtre et reflètent plusieurs fois à l'intérieur du dôme. En faisant varier les paramètres d'entrée et en relançant simulation de physique, nous avons pu dériver le approprié paramètres qui peuvent atteindre l'effet lumineux souhaité à travers le piégeage de la lumière dans le dôme.

Le modèle paramétrique présenté ici a été construit avec la capacité de représenter deux dômes différents courbures au-dessus du tambour. Le dôme peut acquérir n'importe quel rayon et l'épaisseur de la paroi. Les courbures

inférieure et supérieure du le dôme peut varier en fonction de leur hauteur verticale; créant ainsi différentes courbures composites tout en maintenant une cohérence relation géométrique entre eux. Tout nombre de les fenêtres, de n'importe quelle largeur et hauteur, peuvent être incorporées le tambour ou dans la courbure inférieure du dôme. Le rebord de la fenêtre peut être fait pour incliner vers l'intérieur ou vers l'extérieur. C'était pensé que la méthode la plus visuellement efficace pour présenter l'idée des réflexions multiples dans le dôme était de montre une petite sphère qui représente et suit la direction d'un rayon de soleil. La sphère impacte le rebord de la fenêtre et reflète dans la zone du dôme immédiatement au-dessus de la fenêtre à travers où il est entré et commence à voyager le long de la surface du dôme. Ici, deux cas sont présentés un avec un haut et un avec un tambour bas. Le cas avec la double courbure et un haut tambour a des fenêtres de tambour plus hautes. Le rebord de la fenêtre vers l'extérieur raide (Fig. 19, 20).



Le second cas est d'un dôme avec un tambour plus court. Ici Deux cas sont présentés: Un avec un dôme supérieur déféctueux et une autre avec un petit dôme supérieur .Nos expériences paramétriques ont illustré que le dôme supérieur moins profond génère un plus grand nombre de réflexions qui correspondent plus étroitement à la courbure globale du dôme.²¹

²¹ A Parametric Model of Byzantine Church Domes.Op.Cit

Exemple 2 : Le musée national d'art moderne et contemporain d'Alger (MAMA) :

1. situation :

Le musée (MAMA), situé au cœur de la capitale Alger en Algérie. Sa mission consiste à faire connaître, promouvoir et conserver l'art contemporain algérien tout en assurant une présence de l'art contemporain international par des présentations de sa collection permanente et des expositions temporaires d'œuvres algériens et internationaux. (Voir les détails historique partie annexe page 72).



Figure 21 : vue de la situation source : <https://www.google.com/maps>

2- Composition du musée :

Le musée d'art moderne d'Alger (MAMA), est conçu sous forme d'un bâtiment d'une architecture néo-mauresque, le musée s'élève sur cinq niveaux ; un sous-sol réservé aux expositions temporaire, affichage et événements culturels que le musée abrite chaque mois. Le dernier Niveau supérieur est consacré aux sciences dans l'Islam Le musée est équipé aussi par



Figure 22 : vue sur hall d'exposition. Source <https://chafik.com/2017/01/25/2673/>

une terrasse contenant les verrières en coupoles, assurant l'éclairage zénithal dans le musée.

3. Modes d'éclairage naturel dans le musée :

L'éclairage Latéral :

Délimité par des constructions au Nord et d'une partie à l'Est, le musée d'art moderne d'Alger, s'ouvre sur les autres façades Sud et Ouest, et une partie dans la façade Est.



Figure 23: Situation du musée MAMA .
Source : <http://image.MAMA.archi.fr>

Les Ouvertures :

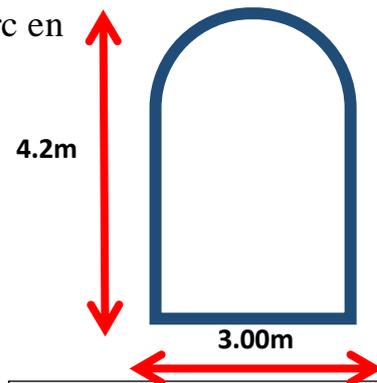
Le Musée d'art moderne d'Alger est conçu dans le style néo-mauresque, où les trois façades possèdent les mêmes ouvertures typiques à cette architecture. Dans le modèle utilisé consiste à l'utilisation des fenêtres verticales de moyenne dimensions, avec un traitement en arcades à leurs fins, répétitifs selon un ordre rythmique.



Figure 24: les Ouvertures du Musée MAMA d'Alger
(Source : <http://image.MAMA.archi.fr>)

Représentation schématique du type d'ouverture du musée :

Les fenêtres utilisées dans le musée sont de type Arc en plein cintre, en différentes dimensions.



Représentation et dimensions du model ouverture

L'éclairage Zénithal :

La toiture du musée comporte cinq verrières; qui permettent un éclairage zénithal des espaces intérieurs. Réparties en deux entités , la première composés de trois verrières placées parallèlement à la façade Sud (façade principale), assurant l'éclairage zénithal depuis l'entrée au musée , tandis que les deux autres , sont installées perpendiculaires aux premières , indiquant le formes musée , et permettant d'accompagnés le visiteurs dans sa visite dans le musée .

Forme des verrières :

L'éclairage zénithal dans le musée MAM Alger, est assuré par cinq petites verrières (8m de longueur, et 6m de largeur) sous forme de coupoles, réparties sur toutes les surfaces du toit (60% de la toiture). Ces verrières assurent l'éclairage zénithal et mettes l'accent sur les expositions du musée, depuis l'entrée, jusqu'à sa fin.²²

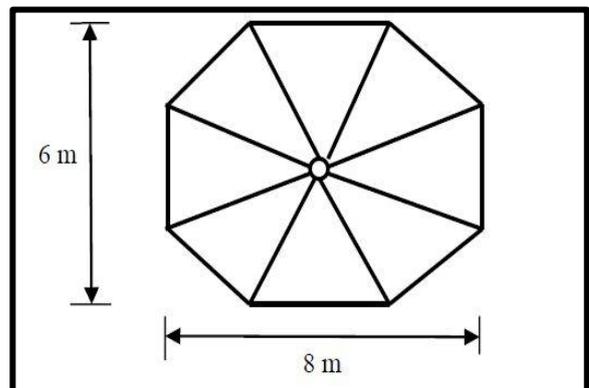
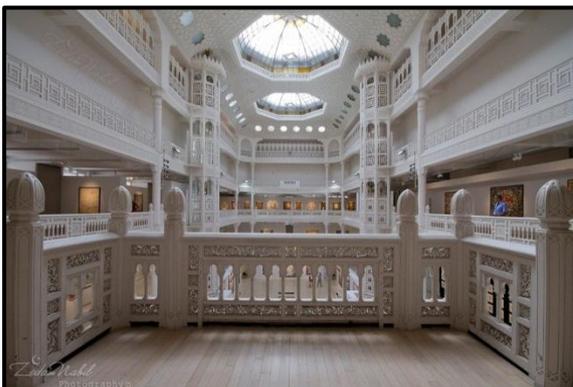


Figure 26: Représentation en plan de la verrière du musée (Source : Auteur.)

²² Source weep :<http://www.univ-bejaia.dz/dspace/handle/123456789/6418>

L'éclairage Latéral est le type d'éclairage le plus dominants dans le musée, avec l'emploi d'un type de fenêtre réparties sur toutes les façades et les niveaux, s'élèvent sur deux niveau avec un traitement en arcade au sommet, ses fenêtres assurent un large éclairage dans le musée, ainsi elles offrent une ambiance lumineuse dans les salles d'expositions ;Et pour l'éclairage Zénithal : Équipé de cinq verrière sur la toiture sous forme de coupole, répartites en deux entités, le musée est éclairés de lumière zénithal dans toutes ses espace à savoir le parcours, et ses salle d'exposition.

Les ouvertures installées dans la toiture, sont surélevée par des parois percées par des fenêtres. Offrant un double éclairage, et une ambiance lumineuse.



Figure 28 : type de fenêtre répartis. Source : <https://chafik.com/2017/01/25/2673/>

15. Tableau comparatif sur les ouvertures et l'ambiance lumineuse des exemples précédents :

Le musée représente une évolution dans les normes et exigences de la lumière naturelle dans l'espace muséal, et assurant une diversité d'ambiance ; guidant ainsi les visiteurs dans leurs visites.

Modèle de fenêtre		Le Basilique Sainte-Sophie	Le musée d'Alger (MAMA)
Type	Latérale	X	X
	Zénithale	X	X
Taille	Petite	X	X
	Moyenne	X	X
	Grande	X	X
Forme	Intermédiaire	X	X
	Verticale	X	X
Position	Haute	zénithale	zénithale
	Intermédiaire	X	X
Orientation		Toutes les orientations	Toutes les orientations
Contrôle		Fixe	Fixe
Vitrage		avec mosaïque	100% transparent
<p>Observation sur le musée Sainte-Sophie : Il se compose d'une diversité de types de fenêtres, employés en plusieurs séquences selon un ordre rythmique, ainsi le traitement propre à chaque façade, par rapport à la course du soleil, met en œuvre l'éclairage naturelle du musée, en lui assurant un maximum d'éclairage naturelle ; par son emplois des deux procédés (zénithal et latéral), parfois chaque type séparément, et parfois leurs réunions.</p>		<p>Observation sur le musée MAMA : le musée est équipé d'éclairage naturel à l'intérieurs de tous ses espaces disposé sous différentes orientations, permettant un large éclairage aux espaces, et assurant une diversité d'ambiance ; guidant ainsi les visiteurs dans leurs visites, afin de rendre les expositions plus éclairés et plus significatives. Procurant plus d'ambiance lumineuse aux espaces. Ce qui nous conduit principalement à dire, qu'un ensemble de normes existe produit par le type d'éclairage naturel employé dans le musée, tels: respect d'orientation, dimension des deux types de baies (fenêtres et verrières), choix de couleurs, et de textures.</p>	



Remarques personnels à partir de l'analyse des exemples :

À partir de l'analyse des exemples nous avons déduit qu'il est impératif de respecter certaines normes requises en terme d'ambiance lumineuse tels : Respect d'orientation, dimensions et type de fenêtres....etc.

Et pour mieux identifier si ces éléments son présent dans notre cas d'étude et si elle convient à sa nouvelle fonction musée communal ; qui est un lieu publique de plaisir, de savoir, et d'interrogation. Donc l'ensemble des éléments analyses dans les deux exemples nous aidera a démontrer la problématique ;si l'état de l'éclairage générale est satisfaisant pour la création d'une ambiance d'exposition.

Synthèse :

Dans un premier temps une partie théorique nous a permis de cerner l'essentiel des notions de base qui définissent les composante du thème d'étude à savoir l'éclairage naturel et les principes utilisés pour la création des ambiances lumineuse .

Ensuite on a analysé deux exemples à savoir ; sainte Sophie et Mama ce qui nous a permis de relever les critères essentiels quant aux éléments, techniques et dispositifs conceptuels favorisant une bonne ambiance lumineuse.

On a clôturé par notre comparaison sur les deux exemples à travers un tableau présentant les éléments invariants et composantes qui définissent et identifient la création d'une meilleur ambiance lumineuse dans un musée.

Introduction :

Dans le présent chapitre qui concernera la lecture urbaine et l'analyse de la ville de Laghouat, il nous a paru utile en premier lieu de donner une présentation générale de la ville, à travers son aperçu historique, sa situation géographique. Nous avons entamé par une analyse architecturale dans notre cas d'étude ; le musée communale « EX : Église Sainte Hilarion » afin d'atteindre notre objectif principale qui consiste à évaluer l'ambiance lumineuse a l'intérieur.

Enfin pour approfondir notre sujet de recherche nous poursuivront le chapitre suivant par un outil de simulation informatique qui nous permettra d'analyser la situation d'éclairage dans notre cas d'étude et nous aidera à apporter des solutions performantes pour une meilleur qualité d'éclairage possible transmise dans la salle d'exposition (autrefois salle de prière de l'église).

I. Présentation de Laghouat :

1- Situation géographique :

La ville de LAGHOUAT est une subdivision administrative algérienne ayant pour chef-lieu la ville du même nom. Cette agglomération de nature mixte entre les hautes et les basses terres, constitue une liaison et une zone tampon entre le nord et le sud du pays.

La ville de Laghouat se trouve au cœur du pays à 410 Km de la capitale ALGER.

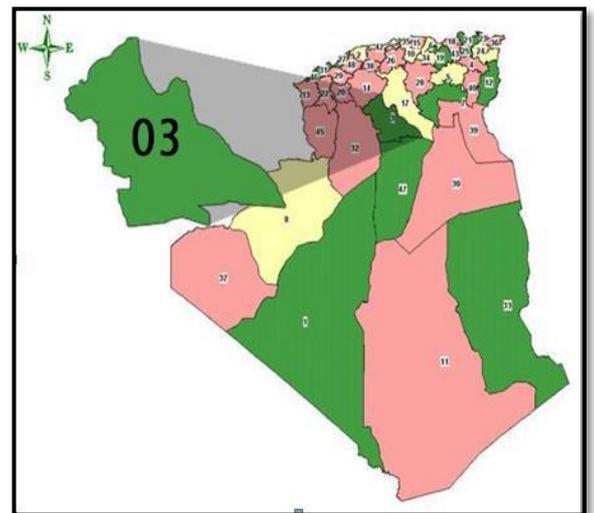


Figure 29 : La situation géographique de la wilaya de Laghouat .Source: <http://fr.wikipedia.org/wiki/Laghouat>)

2-Situation régional:

La wilaya de LAGHOUAT s'étend sur une superficie de 25.052km², est limitée par :

- La wilaya de **TIARET** et de **DJELFA** au nord.
- La wilaya de **GHARDAÏA** au Sud.
- La wilaya de **DJELFA** à l'Est
- La wilaya d'**EL BAYADH** a l'Ouest.



Figure 30: La situation régionale

Source :<http://www.andi.dz/PDF/monographies/Laghouat.pdf>

3 .Accessibilité routière et aérienne:

a. L'accessibilité routière et aérienne :

- La route nationale N° 01
- La route nationale N° 23 ,47
- Il y a un aéroport à 14 KM au sud de la ville de Laghouat. 403 Km routes nationales. 394 Km chemins de wilaya. 513 Km chemins. ²³



Figure 31: carrefour d'accessibilité routière

Source :<http://www.andi.dz/PDF/monographies/Laghouat.pdf>

4. Climat de Laghouat:

Décollant du relief, le climat est de type continental au Nord-Ouest avec une pluviométrie variant de 300 à 400 mm, des chutes de neige et des gelées blanches. Dans la région des Hauts Plateaux, le climat est de type saharien et aride. La pluviométrie varie entre 150 mm au Centre et 50 mm au Sud. Les hivers sont caractérisés par des gelées blanches et les étés par une forte chaleur accompagnée de vents de sable.

-Un rayonnement solaire direct et intense de l'ordre de 800-900w/m² pour une surface horizontale²⁴.

²³ <http://www.andi.dz/PDF/monographies/Laghouat.pdf>

²⁴ Ibid

II. Aperçu historique sur la ville de Laghouat :(voir annexe page75)**III. Choix du monument « l'Église
Sainte Hilarion » :**

On a choisi ce monument "musée communal de Laghouat Ex : église sainte Hilarion " parmi plusieurs de la ville car c'est l'une des plus belles et pour sa ressemblance a la basilique Sainte-Sophie d' Istanbul ; sans oublier son accessibilité aux visiteurs et sa fonctionnalité actuelle culturelle.



Figure 32: musée communal Ex :Église Saint-Hilarion.
Source: photographe Brahim.A

IV. Présentation du noyau historique de la ville: « Zgag el hadjdj »:

Notre monument d'étude musée communal EX : Église Sainte-Hilarion) est situé dans le quartier **Zgag el hadjdj** : qui est une partie classé patrimoniale de la vieille ville de Laghouat, caractérisé par son style traditionnel qui submergent les hauteurs, l'utilisation de matériaux locaux et ses traitements de façades, acquis comme étant un patrimoine exceptionnel. Le noyau historique apparue en1600, est délimité par :

Au Nord : le boulevard de l'indépendance **Au Sud** : la place Rondon.

AL'Ouest : Kef Tizigrarine. **À L'Est** : le boulevard des martyres.

Le quartier Ben Badis (EL AHLAFS) est l'un des deux quartiers formateur du tissu ancien du ksar, l'autre est le quartier de GHARBIA (Ouled Serghin)²⁵

²⁵ Direction de la culture Laghouat

IV.1. Situation du musée « Ex : Eglise Sainte Hilarion » :

Se trouve dans la partie nord-est de la ville, dans la périphérie du quartier **Z'gag el hadjadj** (noyau historique de la ville) et Plus précisément dans l'axe d'une longue avenue bordée de palmiers et de jardins.

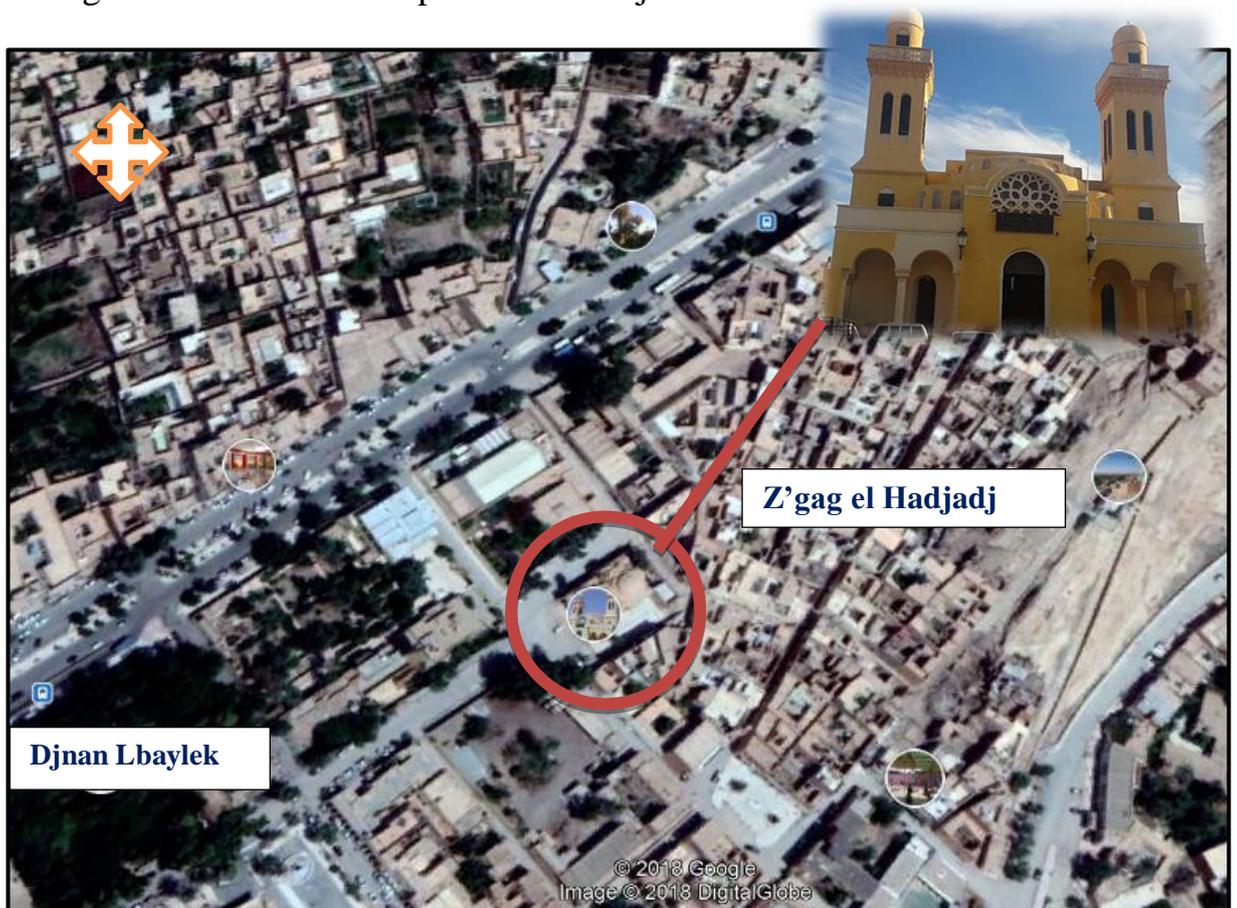


Figure 33 : situation de musée.
Source : <https://www.google.com/maps>.

IV.2. Etude Historique :

Elle est construite en Juin 1899. La première cérémonie chrétienne fut tenue en 1900. Elle a abrité tous les rites chrétiens jusqu'à l'indépendance. Selon l'histoire et juste après que la ville de Laghouat tombe entre les mains des colonisateurs, la mosquée des Ahlaf a été transformée en un lieu de culte. Après un certain temps les colonisateurs ont construits l'église pas loin de l'ancienne mosquée.

Après l'indépendance, l'église a été transformée en bibliothèque communale qui a servi parfaitement et brillamment à la culture et à la connaissance de la population. Plus tard, elle fut fermée pendant des années. Ensuite elle est devenue le siège du département archéologique de la ville, puis le siège de la Direction de la Culture de la wilaya de Laghouat pour devenir enfin le musée communal²⁶



Figure 34 : ancien Église .Source :
https://www.vitamedz.com/laghouat-l-eglise/Photos_20155_140147_3_1.html

IV.3. étude architecturale:

3.1. Plan de masse :

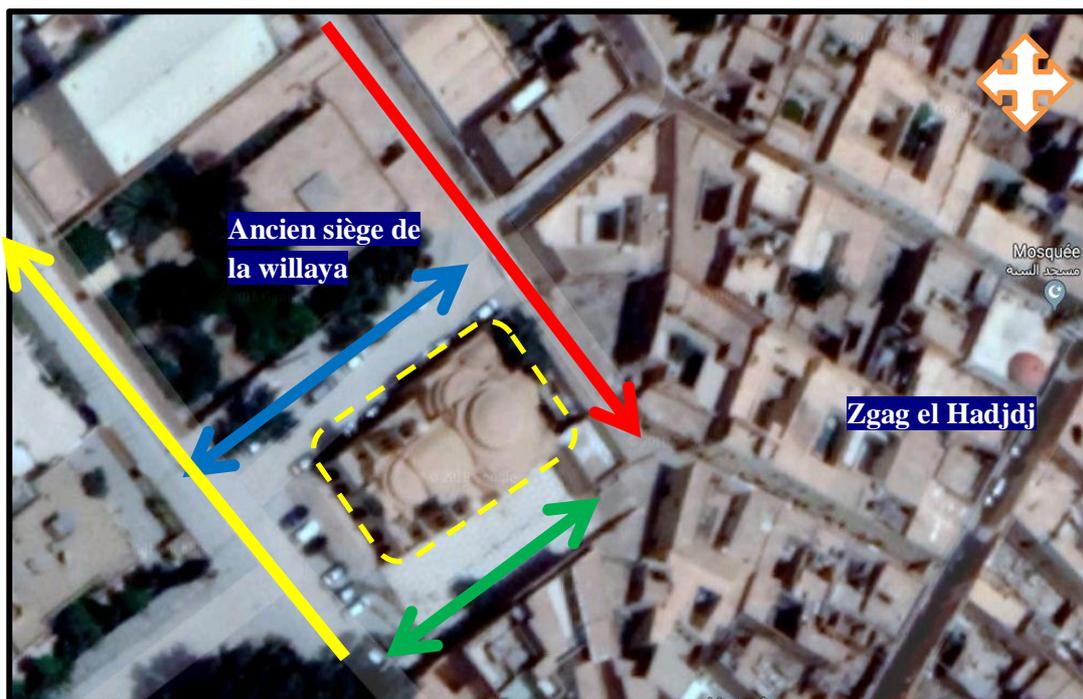
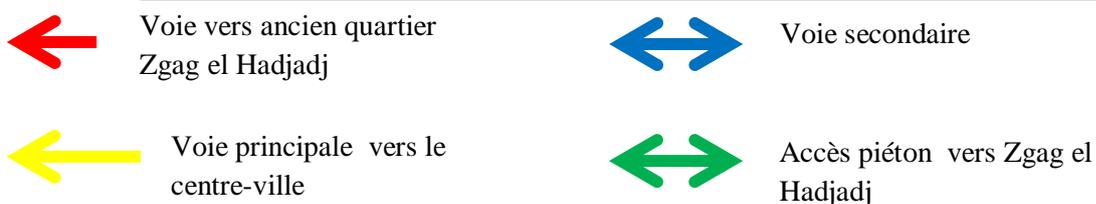


Figure 35 : vue de masse de musée « ancien Église » source : :
<https://www.google.com/maps>



²⁶ Musée communal de Laghouat

3.2. Étude du plan :

a. Planimétrie :

La conception du plan architectural de l'église ressemble à la croix chrétienne, la tête face à l'est. Le modèle de l'architecture a été inspiré de l'architecture ottomane, comme si elle conçue de la même façon que l'église AYASOFIA en Turquie. Les escaliers de la rentrée sont faits de pierre. La porte d'entrée principale se trouve au milieu de deux couloirs avec deux petites portes. Il existe deux tours en forme de carré qui ressemblent aux minarets d'une mosquée.

Les cloches sont toujours là, suspendues en haut et à l'intérieur de la tour du côté nord. Des escaliers en colimaçon sont faits de bois pour monter aux sommets des tours. L'intérieur de l'église comprend une salle de prière et deux ailes. Une aile au nord et une autre au sud et l'ensemble se termine par un mihrab semi-rond. Ce dernier a à ses cotée deux petites chambres de forme triangulaire.

Enfin, à l'intérieur du hall, l'élément le plus captivant est la salle dôme portée sur de grandes semi-coupes. Tandis que les plafonds des ailes latérales et de la rentrée sont faits de demi-dômes cylindriques supportés par des piliers cylindriques sur des socles carrés. Les chapiteaux sont décorés de gravures variées d'un pilier à l'autre.

Les dimensions du musée « Ex : Église Saint-Hilarion » :

- Longueur totale de la bâtisse : 35m
- Diamètre de la coupole : 7.17m
- Hauteur de la coupole : 1.90m
- Hauteur de sous coupole : 13.5m
- Hauteur d'un tour : 13m
- Épaisseur du mur : 0.4m
- Hauteur d'une voûte : 5m
- Longueur de la voûte : 8.25m

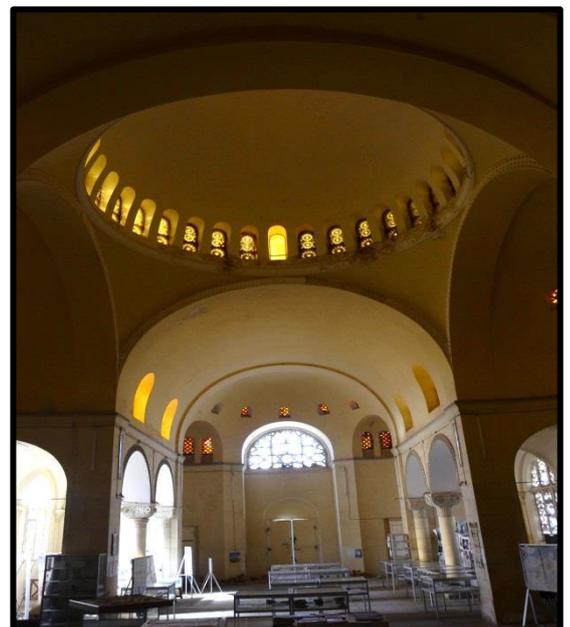


Figure 36 : hall d'exposition du musée

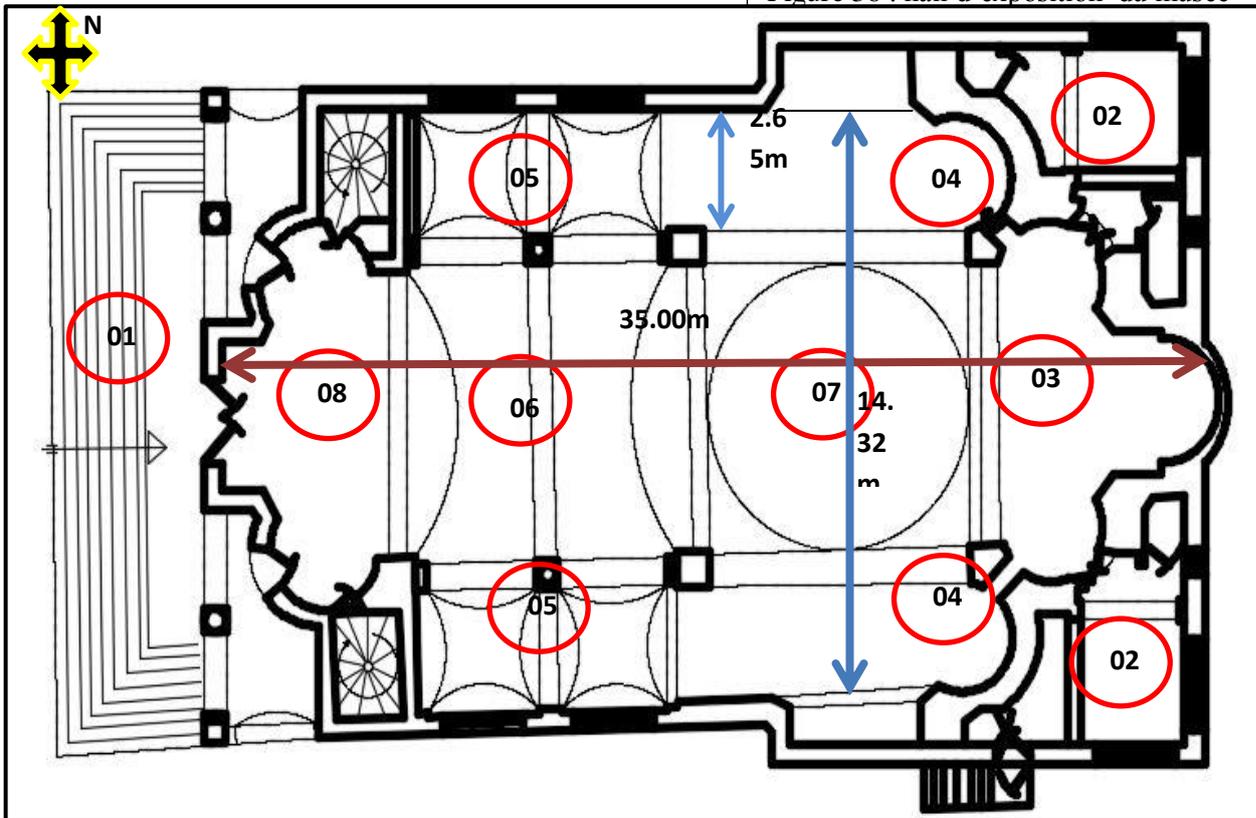


Figure 37 : plan RDC du musée « ancien Église »
Source : le musée communal – dessin d'auteur

Numéro	Espace pour l'Ex : Eglise	Nouvelle fonction spatiale pour le Musée
01	Le parvis	Entrée principale
02	Sacristie	Espace de repos pour visiteur et un autre utilisé comme bureau
03	Chœur	Espace de réception
04	L'abside	Espace pour les expositions
05	Collatéral (le bas-côté)	Circulation
06	Nef	Hall d'expositions
07	Le transept (croisillon)	Hall d'expositions
08	Le narthex :	Sas d'entrée



b/Plan altimétrique :

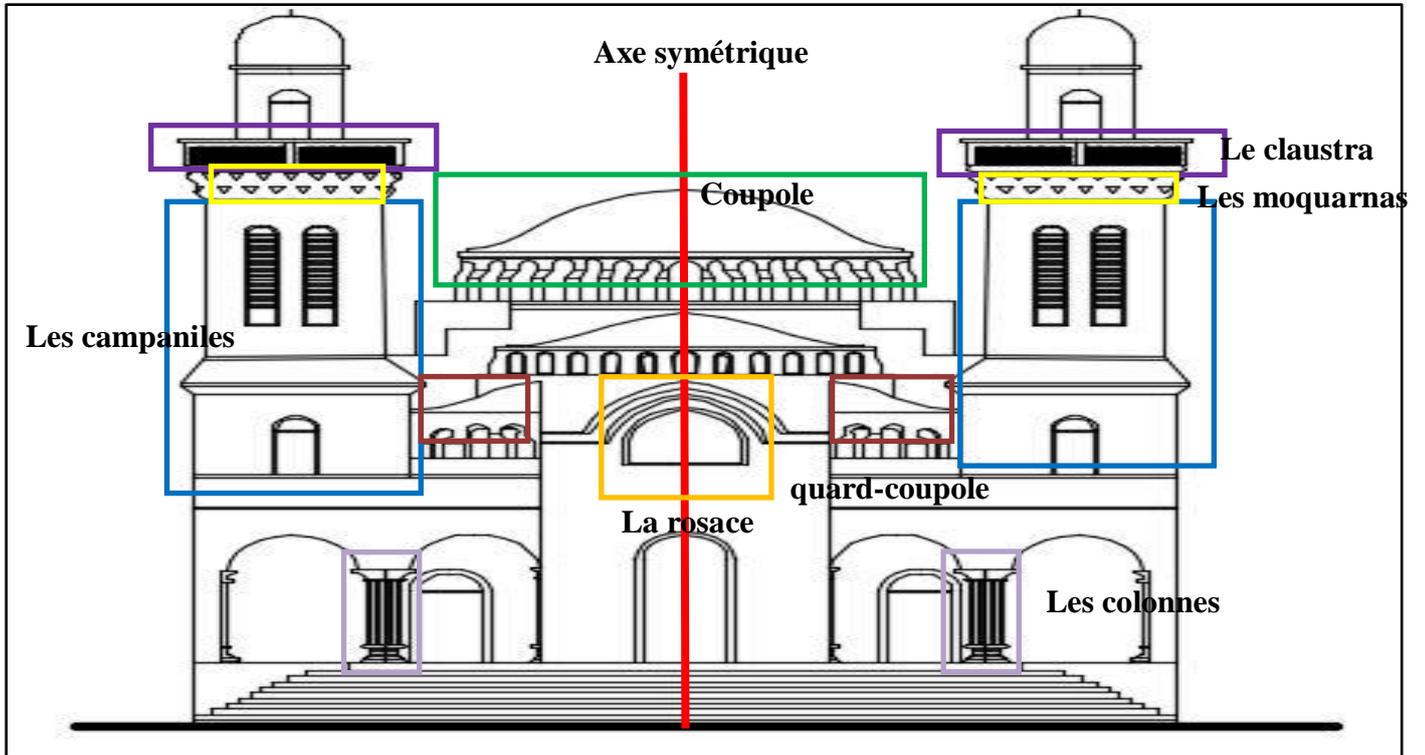
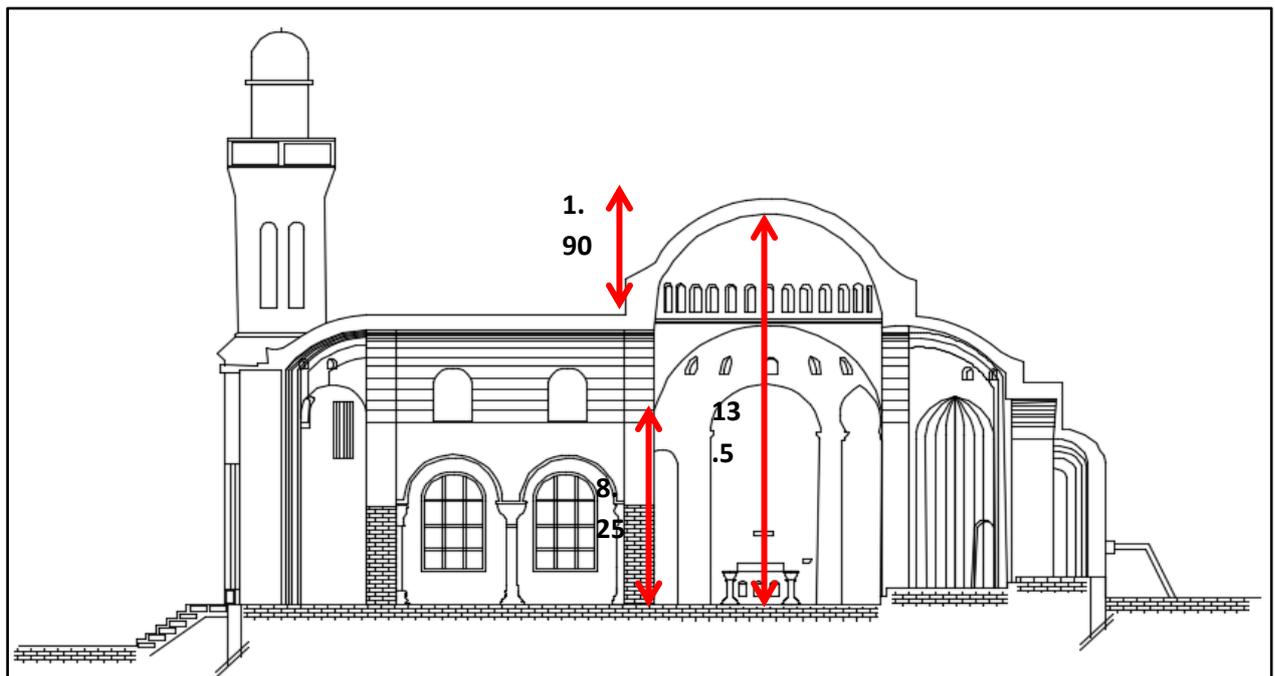


Figure 38 : façade du musée « ancien Église » source : le musée communal de Laghouat traité par l'auteur

Coupe A-A :



Description architecturale des espaces :

1. Le parvis	en latin paradisus-paradis place qui s'étend devant le portail d'une église
2. La sacristie	pièces d'une église dans laquelle rangées les robes du clergé et du chœur.
3. Le chœur	partie de l'église en croix Latimer située au-delà du transept vers l'est. il est en principe réservé aux cérémonies liturgiques.
4. Abside	parties semi circulaire ou polygonale à l'extrémité d'un édifice ; comme les latéraux ou le chœur d'une église.
5. Le collatéral (le bas-côté)	dans une église ou dans un autre édifice ; parti de circulation généralement bordée par des arcades sur un côté
6. La nef	part d'une église de plan allongé comprise entre l'entrée et le chœur destinées au fidèles .elle se subdivise souvent longitudinalement en vaisseau ; vaisseau central et collatéral. Partie central d'une église allant de l'entrée au transept ou à l'abside.
7. Le transept croisillon	dans une église ; corps de bâtiment transversal a la nef. Transept d'église travers associée au meneau de croisée petit bois de fenêtre
8. Le narthex	Élément composant une église à plan en croix. Proche clos à l'entrée de certaines églises chrétiennes primitives
9. Le baptistère	annexe d'une église destinée à l'administration du baptême



Voir les photos de chaque espace dans la partie annexe (page 82).

IV.4. Matériaux de construction :

L'ancienne église fut construite de matériaux de construction: tels que de diverses pierres naturelles taillées et sculptées, de briques de formes diverses grillées sur le feu, de la menuiserie de bois, de plâtre et de mortier de chaux.

La pierre taillée a été utilisée aux perrons et à la construction des colonnes et leurs fondations. Les fondements et certains murs sont construits avec peu de pierres naturelles taillées (moellon). Le mortier : Le joint des pierres est en mortier à base de chaux (lien aérien on l'obtient avec le calcaire CaCO_3 avec l'acide).

La brique cuites : Le sol est fait de briques cuites au four à 1400C° pendant 18h.

Le bois : a été utilisé pour les escaliers de forme spirale menant à la tour et à toutes les portes.

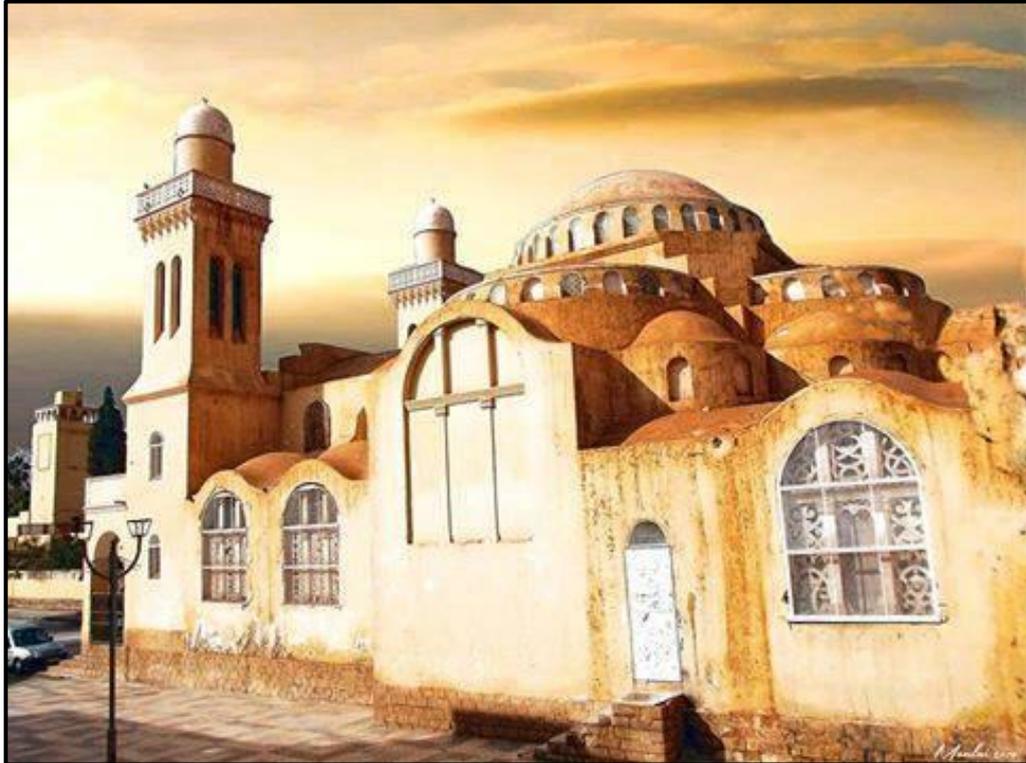


Figure 40 : musée communal. Source :
https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Mus%C3%A9e_communal,Laghouat..jpg

V. Proposition de l'ambiance lumineuse par outil de simulation du musée communal « EX : Église Sainte Hilarion »:

Introduction :

" Les logiciels de simulation de l'éclairage naturel permettent en général... la prise en compte de systèmes complexes d'éclairage naturel,... ils offrent également des impressions visuelles très réalistes. Cependant, ces programmes demandent en général un temps d'apprentissage assez long et un niveau certain d'expertise."²⁷

Pour établir cette numérisation, nous avons eu recours à deux logiciels afin d'atteindre des résultats précis. Le premier logiciel est **ECOTECT**, dans sa version la plus récente 2011, via lequel nous avons réalisé une simulation des niveaux d'éclairage intérieurs, des iso facteurs lumière du jour, ceci sous l'état de ciel dégagé.

Le second logiciel est **RADIANCE**, qui traite les mêmes aspects sous ciel dégagé.

Dans la suite de cette étude, nous avons procédé à l'évaluation numérique des niveaux d'éclairage intérieur, et de l'iso facteur lumière du jour.

V.1.Intérêts et buts du logiciel de la simulation :

C'est un outil permettant d'étudier le confort visuel et même de réaliser la conception d'éclairage. C'est également un logiciel qui requière une description détaillée de tous les éléments de l'espace à modéliser .elle permet d'étudier les performances du bâtiment comme par exemple la pénétration de lumière de jour et sa distribution, les niveaux de luminances, l'éblouissement et les contraste.

- Visualiser les ambiances intérieures.
- Représentation de la distribution lumineuse.
- La simulation de l'éclairage naturel par outil informatique permet de choisir les meilleures solutions parmi des centaines de solutions de solutions dans un temps réduit.
- Elle permet d'analyser la situation d'éclairage durant toute l'année en attribuant des paramètres de simulation (comme l'emplacement, date, heure

²⁷ http://www.gif-lumiere.com/wp-content/uploads/2018/06/Guide-Eclairage-GIF-Lumiere_WEB.pdf

et état du ciel), afin de modifier la taille des fenêtres, leurs orientation forme globale, ainsi que le choix des matériaux utilisés.

V.2. Pré-dimensionnement des données des ouvertures du musée :

Ouverture	Type D'éclairage	Taille	Type et Position	Orientation	Vitrage	Couleur ((Murs, plafond)	Morphologie (Inclinaison)
S1x32	Zénithale	Petite	vitreaux Incliné sur la coupole	Ouest	50 % transparence	Beige	Inclinaison a 45% (coupole)
S2x20	Zénithale	Petite	vitreaux Incliné sur les demi-coupoles	Tous les Orientation	50 % transparence	Beige	Inclinaison a 45% (coupole)
S3x4	Latérale	Moyen	vitreaux verticale sur la paroi	Sud Nord	50 % transparence	Beige	/
S4x4	Latérale	Grande	Fenêtre verticale sur la paroi	Sud Nord	100 % transparence	Beige	/
S5x6	Latérale	Moyen	vitreaux sur les demi-coupoles	Est	50 % transparence	Beige	/
S6x1	Latérale	Grande	vitreaux verticale sur la paroi	Est	50 % transparence	Beige	/

Tableau 04 : Pré-dimensions des fenêtres et les Verrière assurant l'éclairage naturel dans le musée
Source : Auteur

V.3.Observation pour chaque type ouvertures :

Ouverture S1 : des petits vitraux, dans la coupole centrale, ce type est le plus nombreux dans le musée, mais ils n'assurent pas une bonne ambiance lumineuse à cause des dessins et couleurs employées sur les vitraux.

Ouverture S2 : distribué en nombre de cinq vitraux sur les demi coupoles, ses vitraux offrent un faible éclairage à l'intérieure de l'espace ce qui est due à leur petite tailles.

Ouverture S3 : ses vitraux utilisés sur les murs nord et sud De dimension moyenne qui éclaire une surface moins réduites ce qui est due à leur forme et aux changements d'orientations par rapport au soleil.

Ouverture S4 : C'est les type d'éclairage les plus dominants dans le musée, représentant 4 grandes fenêtres d'arc en plein cintre avec claustra à l'extérieur répartis sur les murs nord et sud, permettant d'assurer un large éclairage à l'intérieure, ainsi une bonne ambiance lumineuse dans la salle d'exposition.

Ouverture S5 : ce type de vitraux dans le mur Est (mur d'entrée principale) sont identique au type S2 avec un faible éclairage.

Ouverture S6 : Grande ouverture au-dessus de l'entrée avec un claustra de forme florale offre une bonne ambiance lumineuse au sas d'entrée principale.

a- Les vues des types des fenêtres et ouvertures :



Figure 41 : Pré-dimensions des fenêtres S 4
Source : Auteur

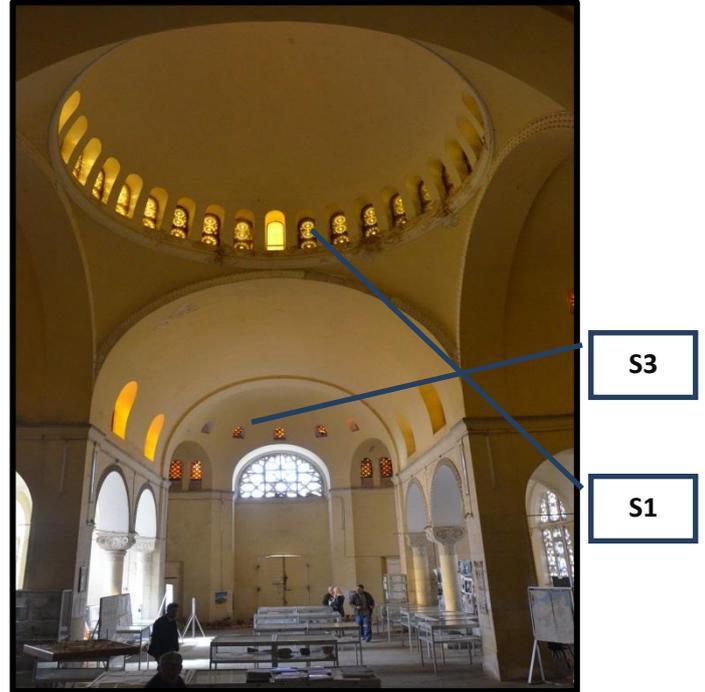


Figure 42 : Pré-dimensions des fenêtres et
les vitraux .Source : Auteur

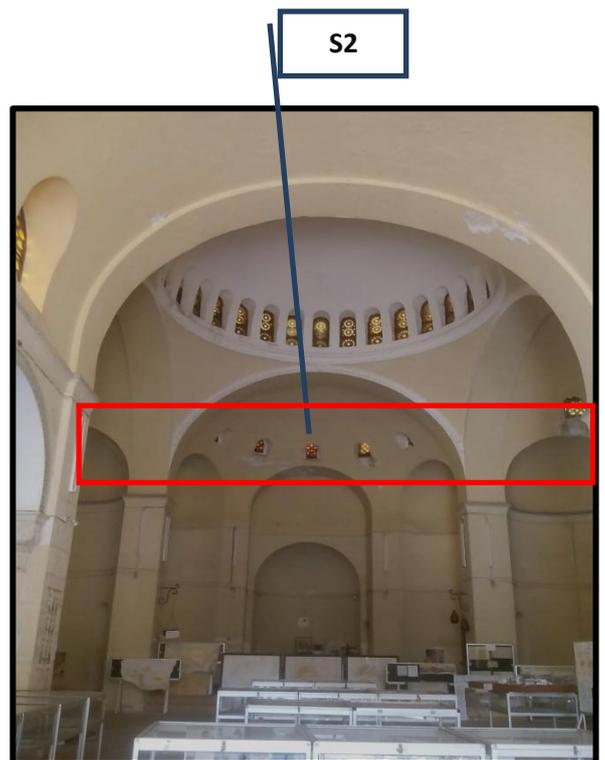
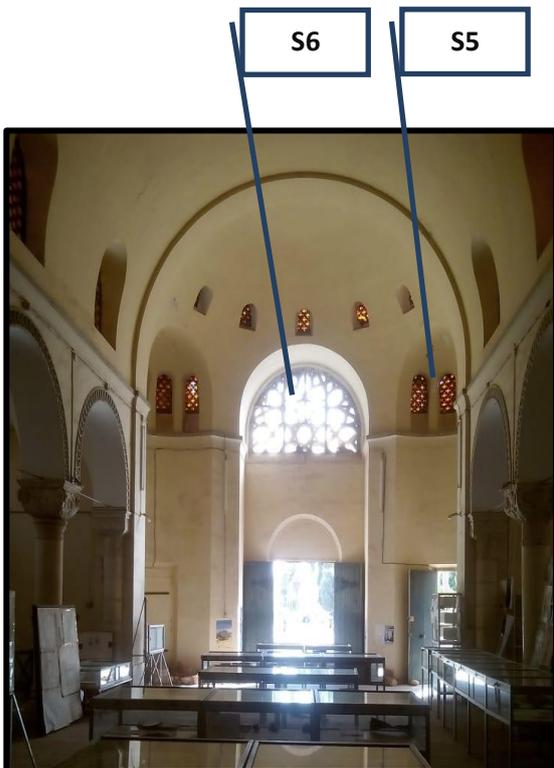


Figure 43 : Pré-dimensions des vitraux
Source : Auteur



Figure 44 : Pré-dimensions des vitraux
Source : Auteur



Figure 45 : hall d'exposition Ex : salle de
prière 20 février 2018 à 9h :30 .Source :
Auteur



Figure 46 : hall d'exposition Ex : salle de
prière 20 février 2018 à 15 h :30 Source :
Auteur



Figure 47 : hall d'exposition Ex : salle de
prière 08 Août 2018 à 9 h : 30.Source :
Auteur

Figure 48 : hall d'exposition Ex : salle de
prière 08 Août 2018 à 15 h : 30.Source :
Auteur

V.4. Logiciels de simulation :

Nous proposons une application mettant en exergue les deux logiciels, Pour rester dans le thème de notre recherche, le hall d'exposition du notre musée a été choisi pour l'évaluation de son environnement lumineux intérieur.

1. Ecotect:

Logiciel de simulation complet, associe un modeleur 3D avec des analyses solaire, thermique, acoustique et de coût. Il est également un outil d'analyse simple et qui donne des résultats très visuels. Ce logiciel a été conçu avec comme principe que la conception environnementale la plus efficace est à valider pendant les étapes conceptuelles du design.

Le logiciel répond à cet impératif en fournissant la rétroaction visuelle et analytique, guidant progressivement le processus de conception en attendant que les informations plus détaillées soient disponibles. Ses sorties étendues rendent également la validation finale de conception beaucoup plus simple en se connectant par interface à Radiance et à beaucoup d'autres outils plus spécialisés.²⁸



Figure 49 : logo de logiciel ecotec
2011Source : awazacademy.com

2. Radiance :

Radiance est un ensemble de programmes libres développé par Greg Ward Larsaon (1985 – 1997) au laboratoire national de Laurent Berkeley pour l'analyse de haute précision et la visualisation de l'éclairage dans la conception.

Le logiciel Radiance est un logiciel de création d'images réalistes sur le plan de la lumière naturelle. La très grande qualité et la précision de ses résultats en fait un des références dans Le monde. Le rendu d'images réalistes avec un niveau de précision et de similitude très fort (entre les résultats d'une simulation numérique de l'éclairage et la réalité).²⁹

²⁸ <http://logiciels.i3er.org/ecotect.html>

²⁹ <http://thesis.univ-biskra.dz/1609/8/CHAPITRE%205.pdf>

-La méthode de calcul est celle du lancer de rayon en tenant compte des différents rayons diffusés, réfléchis ou transmis.

Le calcul peut être partagé en trois parties principales : composante directe, composante indirecte spéculaire et composante indirecte diffuse.

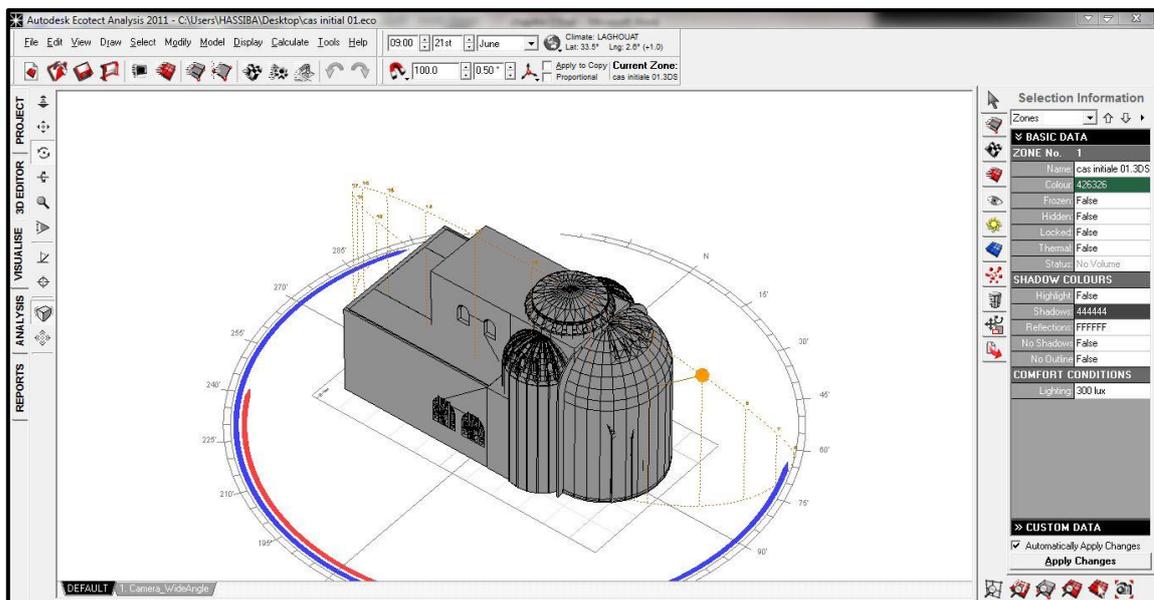
La composante directe est la lumière arrivant directement sur une surface depuis une source de lumière ou via des transferts spéculaires d'autres surfaces. Un échantillonnage aléatoire est couplé avec une subdivision adaptative des grandes sources pour le calcul des pénombres.

La composante indirecte spéculaire est la lumière, arrivant sur une surface, qui est réfléchiè où transmise dans une direction privilégiée. Les transferts spéculaires parfaits font suivre simplement le rayon dans la direction appropriée, réfléchiè ou transmise.

Les images ainsi produites sont de qualités photographiques et permettent de quantifier les niveaux de lumière et de luminance, le niveau de Facteur Lumière Jour (FLJ) ainsi que l'inconfort dû à l'éblouissement, caractérisé par les le niveau de confort visuel.

5. La modélisation et la simulation :

La modélisation est faite sur le logiciel **Autocade** .et comme nous l'avons déjà précisé la simulation est faite sur **Ecotect**, pour assurer plus de compatibilité entre logiciels et plus de précision aux niveaux de résultats obtenus.



On a Figure 50 : Interface d'Ecotect montrant la 3d intérieure d'halle de musée Source : auteur , et L'étape suivante a été celle de créer des prises de vues permettant une bonne visualisation de l'espace de d'exposition sur l'ambiance lumineuse intérieure :

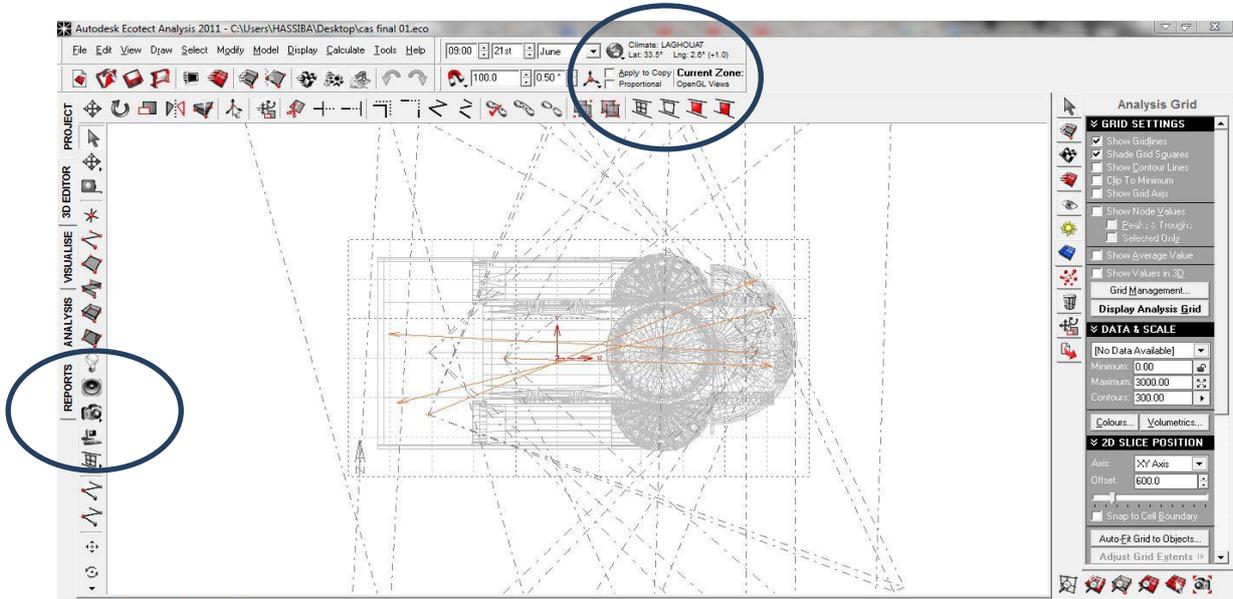


Figure 51 : Vue en plan de la 3d intérieure d'halle de musée Source : auteur

5.1. Les étapes de simulation :

Nous pouvons passer d'Ecotect à Radiance (exportation des données):

Pour démarrer le calcul de l'éclairage naturel, clique sur **Calculate** ensuite **Lighting Analysis** le menu suivant apparaît. On sélectionne **Export to RADIANCE for More Detailed Analysis**, puis on clique sur **Next**

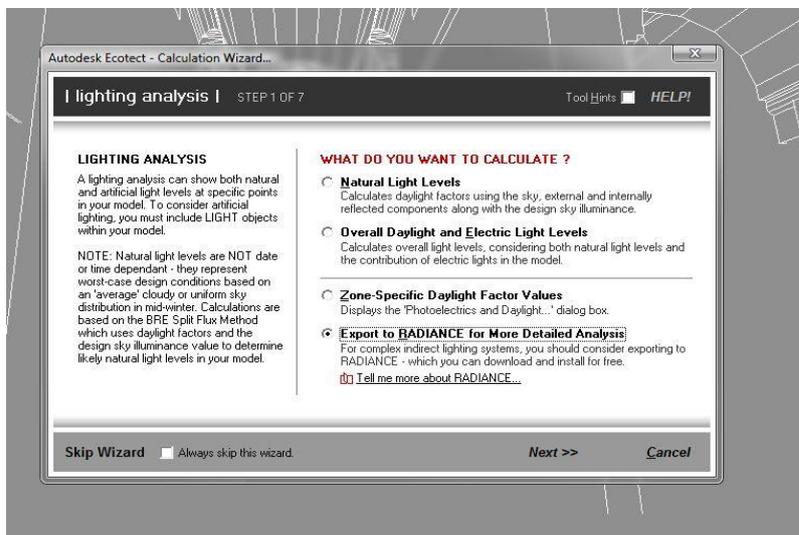


Figure 52 : capture d'écran du calcul d'Ecotect, exportation vers Radiance.. Source : auteur

Ensuite, on spécifie le type d'image Radiance que nous voulons créer, Illuminance Image (Lux).

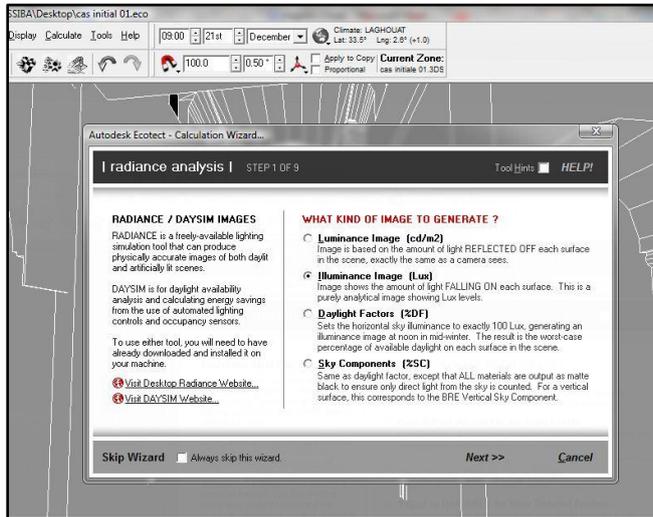


Figure 53 : Sélection du calcul des éclairements. Source : auteur

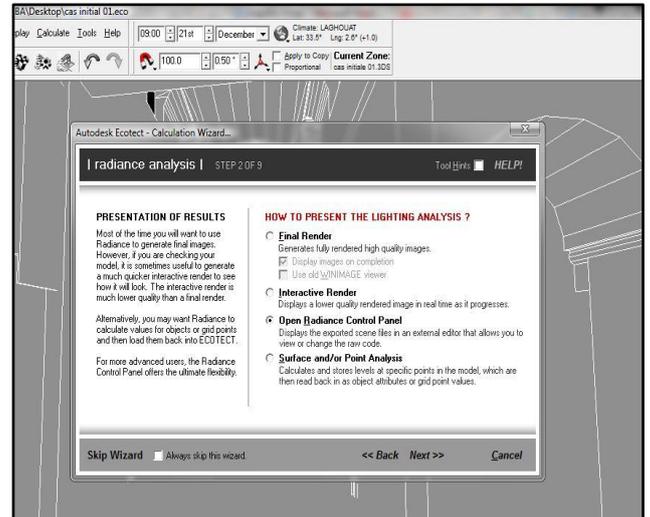


Figure 54 : choix d'ouvrir radiance . Source : auteur

Ensuite nous sélectionnons l'état du ciel à utiliser on sélectionne Sunny Sky (Summer), et nous choisissons les dates et les heures utilisées pour l'analyse, puis on clique sur Next.

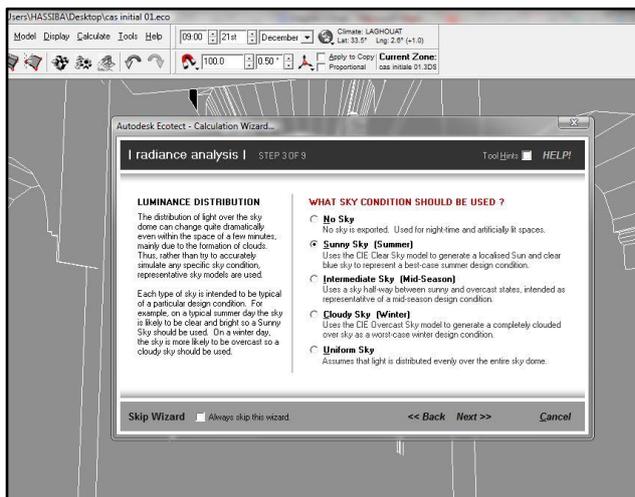


Figure 55 : La sélection du type de ciel. Source : auteur

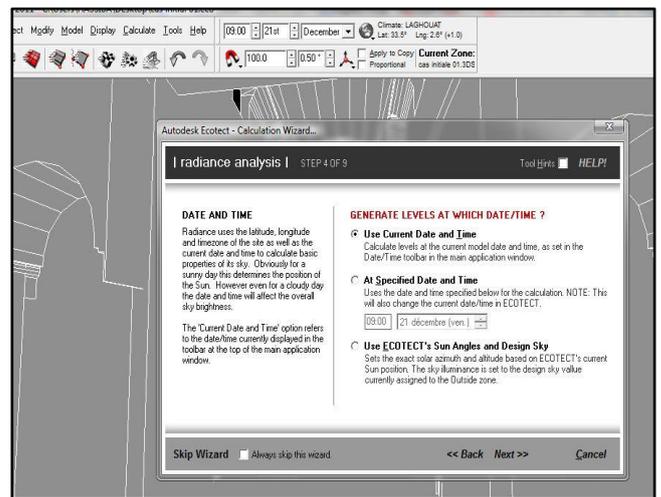


Figure 56 : Spécification de la date et l'heure. Source : auteur

Ensuite, nous précisons qu'il s'agit d'une analyse de l'environnement intérieur et nous fixons la taille des images à obtenir, la taille d'image choisie est de 600x800 pixels.

Maintenant nous spécifions la qualité du rendu final, basée sur le détail du modèle et la qualité de l'éclairage de l'image. et l'étape suivante est la spécification du chemin du dossier de sortie.

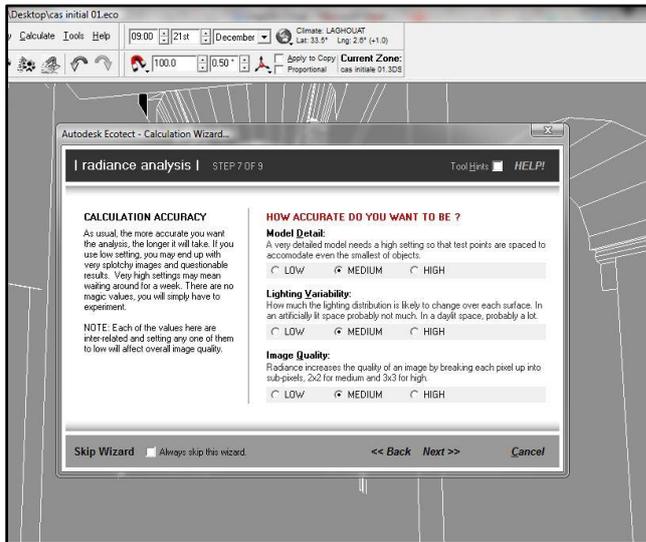


Figure 57 : Les paramètres sélectionnés pour la qualité du rendu final. Source : auteur

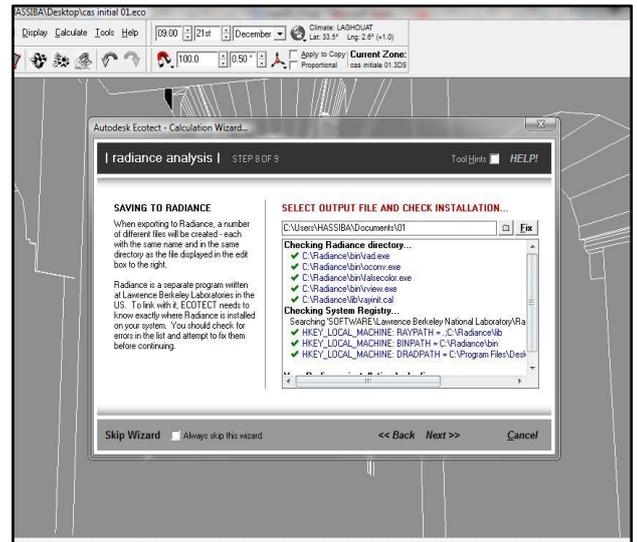


Figure 58 : Spécification du dossier de sortie. Source : auteur

Une fenêtre de contrôle apparaît, résumant tous les paramètres de rendu déjà établis, en cliquant sur **Render** le rendu est lancé Et ça démarre, une fenêtre de commande s'affiche, indiquant que **Radiance** a débuté les calculs de rendu.

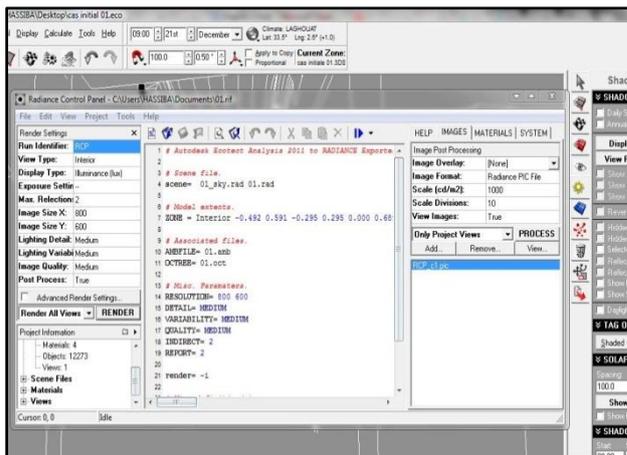


Figure 59 : La fenêtre de contrôle de l'ensemble des paramètres du rendu. Source : auteur

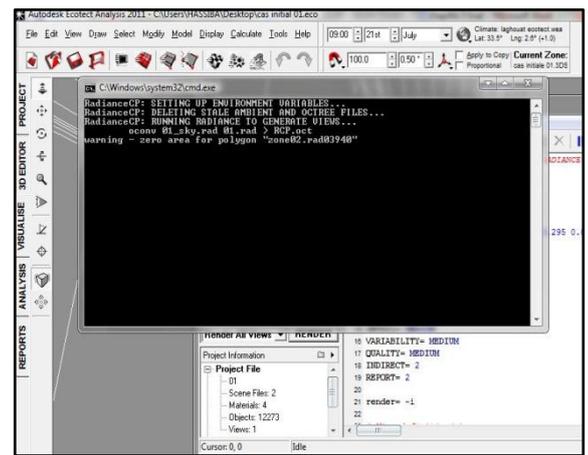


Figure 60 : La fenêtre indiquant le lancement du rendu. Source : auteur

L'image du rendu final prendra du temps, relativement au degré des détails et au nombre des éléments à calculer, pour être générée. Le rendu final produit par **Rdiance** s'ouvre dans **Image Viewer**.

5.2. Les résultats obtenus de cas initial : hall d'exposition (EX : salle de prière) :

On a étudié l'éclairage naturel pour les heures 09h GMT+1 et 15h GMT+1 pendant deux journées types notamment le solstice d'hiver (21 décembre) et le solstice d'été (21 juin).

Avant cela, nous avons étudié le facteur de lumière du jour, sous un ciel uniforme, avec un niveau d'éclairement extérieur de 4.500 lux.

Les valeurs du F.L.J montrent que les surfaces vitrées peuvent satisfaire l'espace d'étude en matière de niveau d'éclairement.

a-Période hivernale 21 décembre (ciel dégagé) : avec un niveau d'éclairement extérieur moyen égale à 46.700 lux:

Heur	Hauteur du soleil	Azimut	E Min (Lux)	E Max (Lux)	E M (Lux)	FLJ moy (%)
09h	11°4'	128.4°	25	224	145	4%
15h	24°9'	-146.5°	37	260	240	4%

Tableau 05 : Climat lumineux. Source : Auteur



Figure 61 : Niveaux d'éclairement à 9h . Source : auteur



Figure 62 : Niveaux d'éclairement affichés en cliquant sur l'image. Source : auteur



Figure 63 : Niveau d'éclairement en contour lignes 9h .Source : auteur



Figure 64 : Niveau d'éclairement en false color à 9h. Source : auteur

Interprétation :

Les valeurs de l'ambiance lumineuse intérieur au jour du 21 Décembre à 09h est entre E min 25 Lux et E max 224 Lux qui n'est pas confortable Près des fenêtres et des vitraux des coupoles.

Les rendus à 15h :

Figure 65 : Niveaux d'éclairément à 15h . Source : auteur



Figure 66 : Niveaux d'éclairément affichés en cliquant sur l'image à 15h. Source : auteur

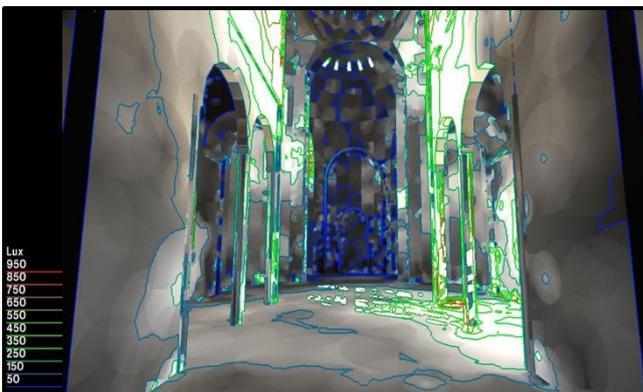


Figure 67 : Niveau d'éclairément en contour lines 15h .Source : auteur

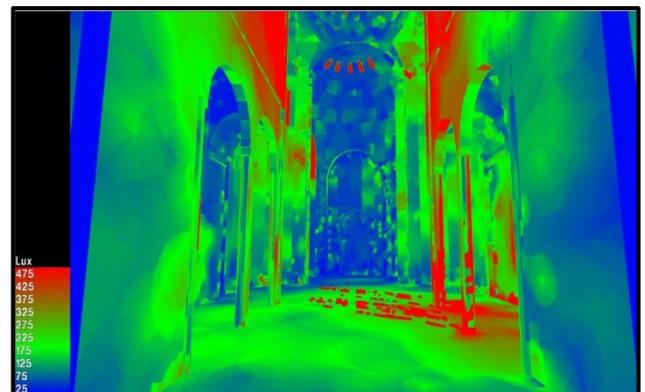


Figure 68 : Niveau d'éclairément en false color à 15h. Source : auteur

Interprétation :

À 15h le niveau de l'ambiance lumineuse est entre E min 37 Lux et E max 260 Lux, à cette heure, une nette amélioration en matière d'éclairément est enregistrée au niveau de la salle, avec la présence des taches près des fenêtres, mais qui reste non uniforme. Le fond du hall est toujours au de la norme requis.

b.Période estivale 21 Juin (ciel dégagé) : un niveau d'éclairement moyen extérieur égal à 83.350 lux :

Heure	Hauteur du soleil	Azimut	E Min (Lux)	E Max (Lux)	E M (Lux)	FLJ moy (%)
09h	38°9'	85.5°	32	271	177	4%
15h	60°1'	-101.2°	50	285	205	4%

Tableau 06 : Climat lumineux. Source : Auteur



Figure 69 : Niveaux d'éclairement à 9h. Source : auteur



Figure 70 : Niveaux d'éclairement affichés en cliquant sur l'image. Source : auteur



Figure 71 : Niveau d'éclairement en contour lignes 9h .Source : auteur

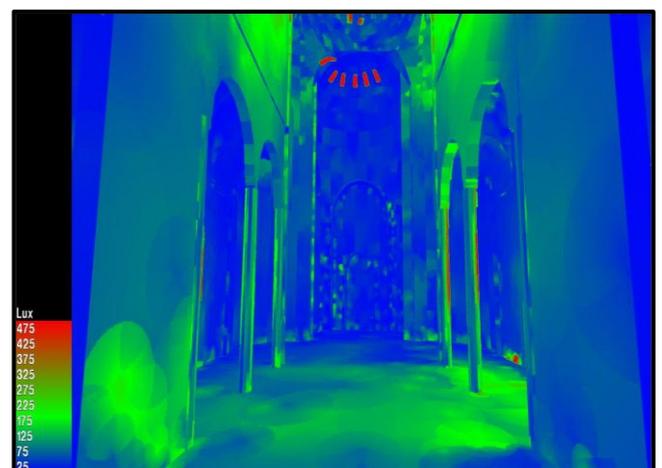


Figure 72 : Niveau d'éclairement en false color à 9h. Source : auteur

Interprétation :

À 9H GMT, la hauteur du soleil permet une pénétration des rayons solaires dans la salle d'exposition, cette dernière est frappée par une moyenne tache

solaires touchant le sol du lieu, est qui ne dépasse pas 500 lux. (Valeur de norme d'éclairage).



Figure 73 : Niveaux d'éclairage à 15h. Source : auteur



Figure 74 : Niveaux d'éclairage affichés en cliquant sur l'image. Source : auteur

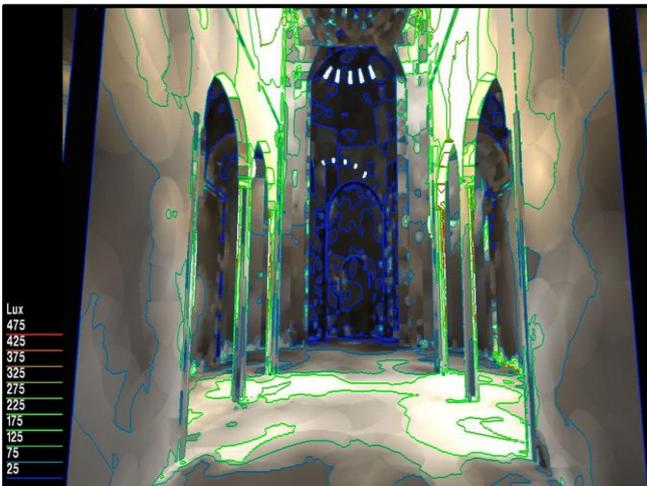


Figure 75 : Niveau d'éclairage en contour lines 15h. Source : auteur

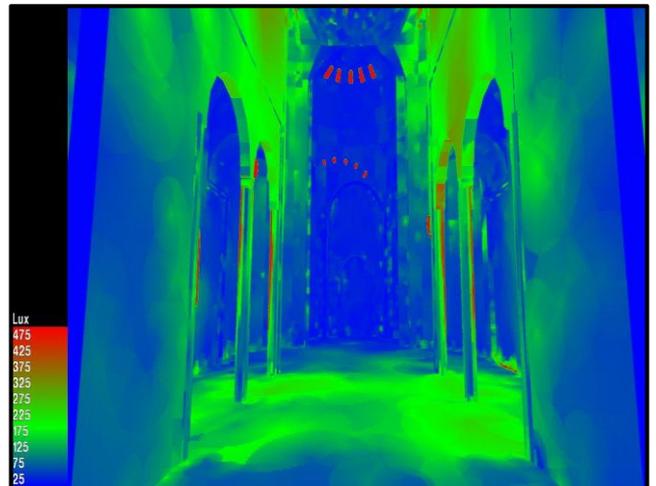


Figure 76 : Niveau d'éclairage en false color à 15h. Source : auteur

Interprétation :

La façade est de direction opposée au soleil, le niveau d'éclairage est trop bas pour assurer un confort visuel adéquat pour l'exposition. Les valeurs d'éclairage inférieures à 500 lux, Cet état peut provoquer un inconfort visuel, vu l'absence de l'uniformité d'éclairage.

6. l'amélioration de l'ambiance lumineuse du hall d'exposition (EX : salle de prière) : à travers les normes :

Les espaces	Niveau de l'éclairage (lux)
Salles d'expositions	500

Tableau 07 : présente la norme d'éclairage recommandé. Source : Centre de conservation du Québec - Gouvernement du Québec

Lorsque le niveau de l'éclairage n'est pas suffisant avec une faible ambiance lumineuse dans le Hall d'exposition Ex : salle de prière, et pendant les périodes hivernale et estivale, nous avons choisi les :

6.1. Solutions suivantes:

- appliqué sur les fenêtres latérales des dispositifs de contrôle dynamique en bois pour la protection des objets du musée des effets de l'éblouissement dû à la pénétration directe de la lumière naturelle dans le côté Est et Ouest : le soleil est rasant en été lorsque les apports solaires risquent de générer de la surchauffe et le problème d'éblouissement.
- changement des vitres des coupoles pour un bon éclairage zénithal
- Ajouter des miroirs qui reflète la lumière de jour dans le dôme central comme dans le musée de Sainte-Sophie (Exemple N°1).
- Le rajout d'un éclairage électrique d'appoint étudié pour éclairer les œuvres d'art exposées.

6.2. Le rendu numérique :

a-Période hivernale 21 décembre (ciel dégagé) :

Heur	Azimut	E Min (Lux)	E Max (Lux)	E M (Lux)	FLJ moy (%)
09h	128.4°	80	490	450	6%
15h	-146.5°	129	520	379	6%



Figure 77 : Niveaux d'éclairément à 9h.
Source : auteur

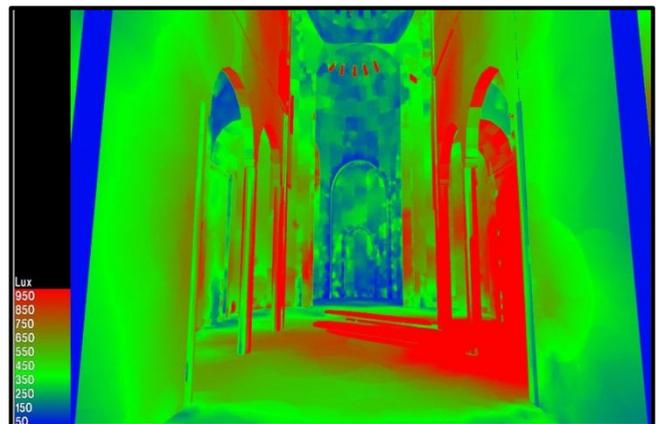


Figure 78 : Niveau d'éclairément en false color à 9h..
Source : auteur



Figure 79 : Niveaux d'éclairément à 15h Source : auteur

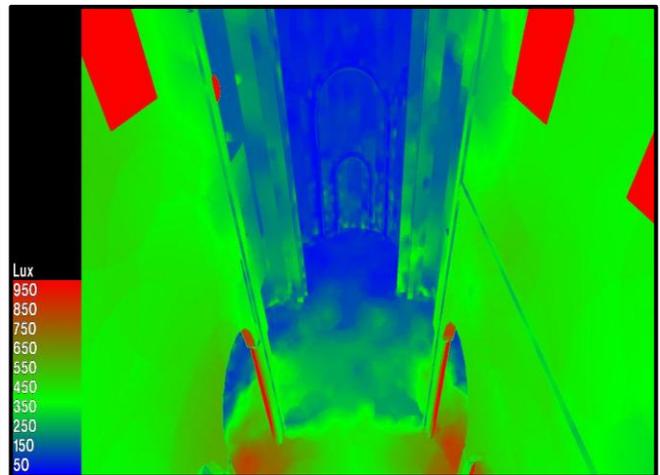


Figure 80 : Niveau d'éclairément en false color à 15h..
Source : auteur

Interprétation :

Le résultat de notre simulation de cas amélioré donne les valeurs à 09h. Est Emin 80 Lux et E max 490 Lux, et à 15h est Emin est de 129 Lux et Emax 520 Lux, cette valeurs dans la zone de confort, et le niveau FLJ est 06%, il est dans la zone de confort FLJ recommandée 5%.

b.Période estivale 21 Juin (ciel dégagé) :

Heur	Azimut	E Min (Lux)	E Max (Lux)	E M (Lux)	FLJ
09h	85.5°-	170	610	495	6%
15h	101.2°	195	626	464	6%



Figure 81 : Niveaux d'éclairément à 9h. Source : auteur

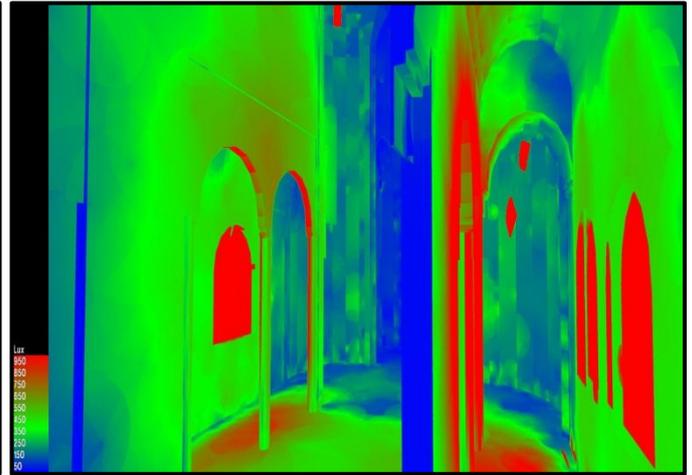
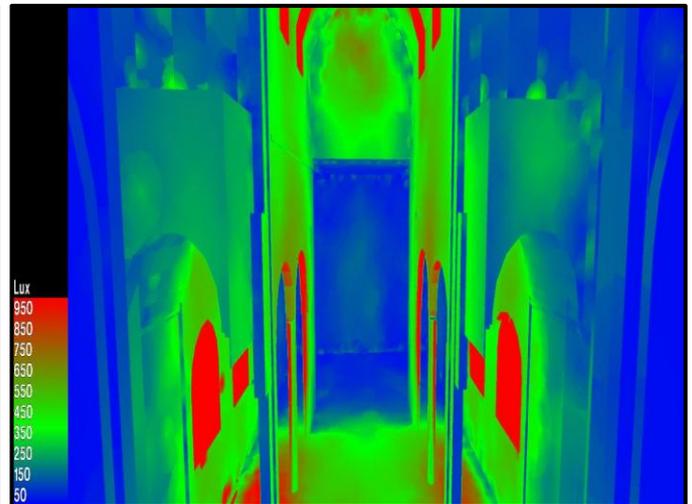
Figure 82 : Niveau d'éclairément en false color à 9h..
Source : auteur

Figure 83 : Niveaux d'éclairément à 15h Source : auteur

Figure 84 : Niveau d'éclairément en false color à 15h..
Source : auteur**Interprétation :**

Le résultat de notre simulation de cas amélioré donne les valeurs à 09h est Emin 170 Lux et E max 610 Lux , et à 15h ; Emin 195 Lux et E max 620 Lux, cette valeurs est Légèrement dépassé de la valeur de norme 500 lux, et le niveau FLJ est de 06% ,il est dans la zone de confort FLJ recommandée 5%.

Après la vérification de cas d'amélioration, on remarque que le niveau de l'éclairage de l'été et l'hiver est dans la zone du confort, entre 450 Lux et 500 lux, et le niveau de FLJ amélioré dans les normes de 5%, et le niveau de l'indice d'uniformité dans la zone est de 0.7 qui est une zone de confort pour l'œil d'humain ainsi pour les objets exposés.

7. La proposition d'installation des points électriques sur le hall :

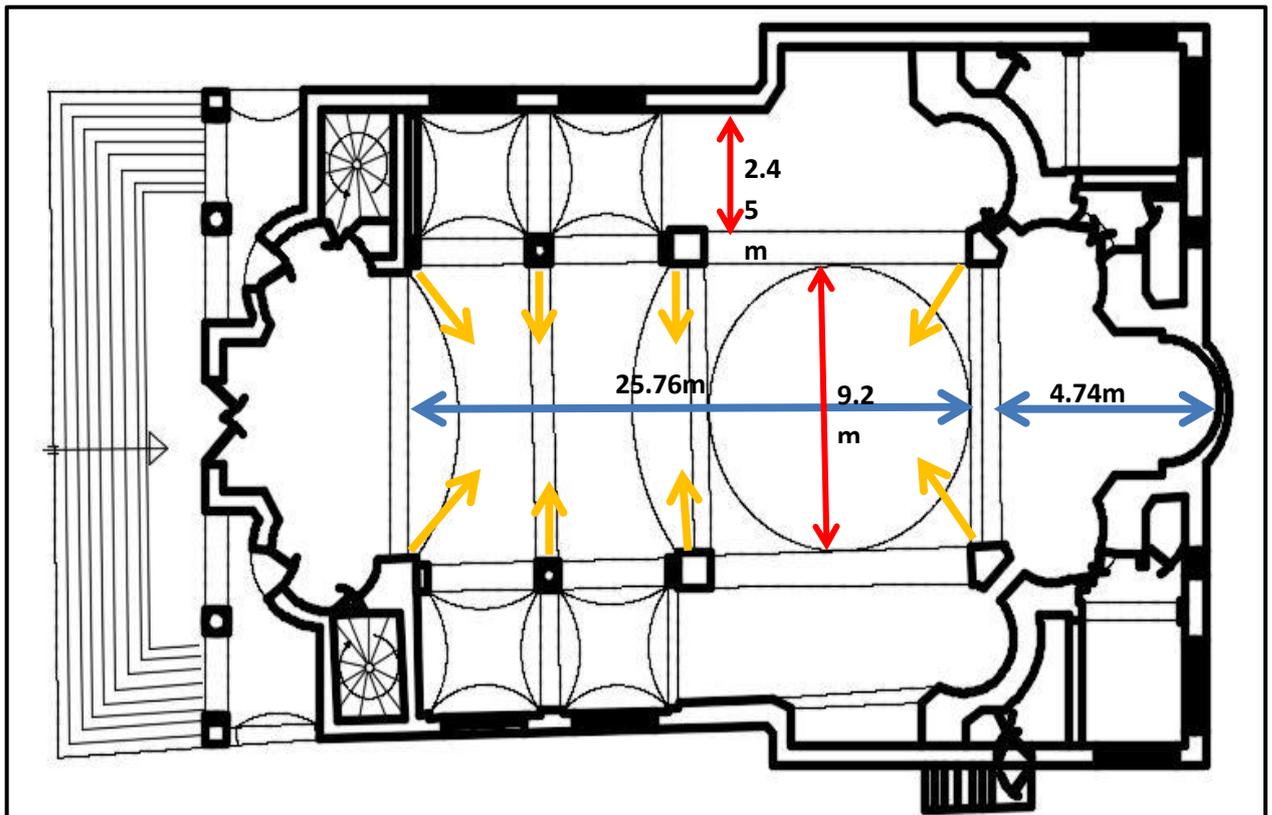


Figure 85 : Plan RDC avec une proposition de l'emplacement des lampes Source : auteur

Surface de hall d'expositions = 25.76m X 9.42m = 237 m²

Pour déterminer le nombre de lumens nécessaires, on utilise la formule suivante:

Nombre de surface en m² x nombre de lux de lampe³⁰

237*100 lum = 23700 lum

lumen lampe entre 50 et 100

Nombre des lampes :

23700 / 925 = 25 lampes

Spot multiréglable de 925 lumens

³⁰ <https://www.myplanetled.com/fr/blogs/myplanetled/quel-est-le-nombre-de-lumen-necessaire-par-endroit/>

Synthèse :

On a commencé par une introduction suivie d'une présentation de la ville d'intervention à travers sa situation ainsi que son étude climatique. Ce qui nous a permis de passer à une échelle plus réduite celle de notre cas de recherche; son développement historique ainsi que la description de ses différents espaces nous a conduit à approfondir la recherche en terme de qualité d'ambiance lumineuse en ayant accès à un logiciel de simulations informatiques permettent de prédéterminez assez précisément l'apport d'éclairage naturel, dans le but d'assurer la qualité des résultats, cette dernière est nécessaire pour vérifier et corriger les ambiances lumineuse intérieur et assurer au maximum une meilleure ambiance lumineuse aux usagers.

On a étudié aussi l'impact des fenêtres sur la qualité d'ambiance lumineuse dans le musée (cas d'étude):

Les différents rendus de simulation montrent l'efficacité d'éclairage de chaque ouverture selon sa dimension.

On a remarqué que : la quantité de lumière reçue à travers des ouvertures orientées côté Sud est excessive et qu'elle produit une grande ambiance lumineuse. Pour les ouvertures orientées Nord et Ouest elles reçoivent une quantité peu suffisante en hiver.

Les types de vitre utilisés jouent un rôle important sur l'impact de l'ambiance lumineuse dans le musée. Donc si on a amélioré le type de vitrage utilisé On augmentera la qualité d'ambiance lumineuse dans le musée, et sur les objets exposé ainsi que le confort visuel des visiteurs du musée.

Le thème de cette recherche tend à révéler l'influence des ouvertures sur la création d'une espace intérieure et leur taux d'amélioration ; on a tente de comprendre si les fenêtres existante conviennent a une ambiance lumineuse adéquate pour un musée cette recherche est le résultat de quatre chapitre interdépendant le premier chapitre se compose d'introduction générale, d'une problématique, des hypothèses, et objectifs à atteindre le tout coordonné par une méthodologie de travail.

Un second chapitre théorique nous a permis de définir les bases de notre recherche à savoir les notions fondamentales de l'éclairage et de l'ambiance lumineuse.

On également étudier deux exemples point de vue conceptuel et technique ce qui nous a permis de mieux approfondir le rôle des fenêtres dans la création d'une ambiance lumineuse dans l'espace intérieure.

Le troisième chapitre est consacré à l'étude de l'état actuel de l'Ex église convertie en musée à travers la collecte de l'ensembles des information historique, géométrique , ainsi l'éclairage actuel et son calcul à travers un logiciel de simulation pour déterminer que l'ambiance lumineuse n'est pas convenable pour servir un musée car cet éclairage tamisé était conçu pour l'acte sacré de prière de par la forme et la nature des vitres utilisés dans les fenêtres. C'est pour ces raison qu'on a jugé nécessaire d'apporter des solutions d'amélioration de la qualité de lumière a l'intérieure du musée pour que la salle d'exposition soit un lieu qui rythme entre le génie de l'ambiance du lieu.

Finalement ce travail a été mené par des études de l'impact des ouvertures dans la création d'une ambiance lumineuse. Les résultats issus de cette étude répondent aux problématiques de cette recherche.

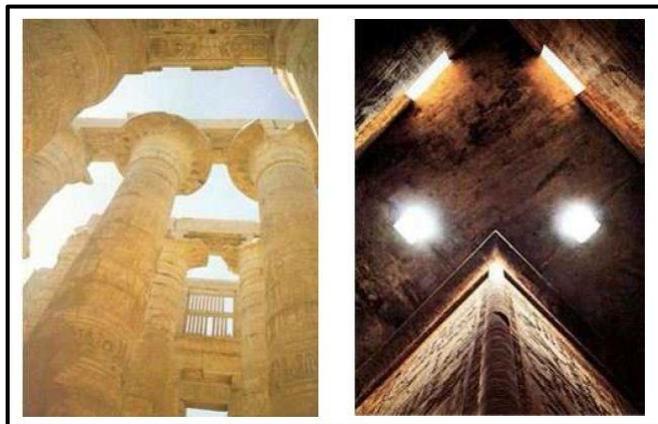
Annexe chapitre II :

1. Lumière et espaces cultuels à travers l'histoire:

Au fil du temps, la lumière naturelle acquies des usages et des significations propres à chaque civilisation. Ces acquis se manifestent au moyen de dispositifs architecturaux.

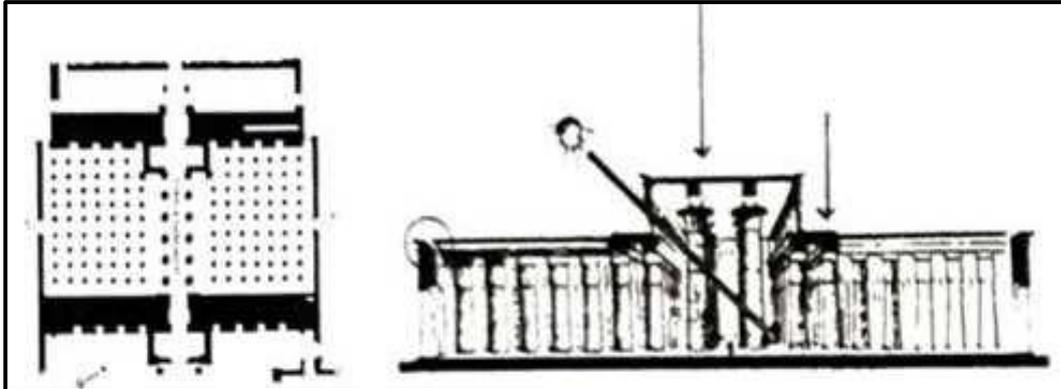
1. Egypte antique :

Les temples monumentaux en pierre dans le paysage du désert manifestent la profonde compréhension des effets de la lumière du soleil et de sa diffusion à partir de la tradition vernaculaire, mais interprètent cela par des moyens novateurs sur une grande échelle (Figure 86). Le rôle n'est plus simplement de protection et d'intimité, mais de créer une atmosphère propice à l'engagement des dieux ou des rois. L'architecture cultuelle égyptienne conçoit les édifices avec la notion d'éternité. Cette notion est liée aux phénomènes célestes et au culte des morts, Les pyramides, édifiées afin de faciliter l'ascension de l'âme du roi décédé vers son père Rê le Soleil, étaient revêtues de calcaire blanc et couronnées par un pyramidion de métal brillant précieux qui capture la lumière du soleil naissant



Les obélisques aussi seraient plafonnés d'or pour capter la première et la dernière lumière de la journée. Les monuments usent de la force de la lumière solaire pour révéler la forme en trois dimensions, à travers le contraste de lumière et d'ombre.

Pour éclairer l'intérieur des temples, la lumière est introduite dans les profondeurs des plans par des éléments de claire-voie constitués de fentes étroites creusées dans les dalles de pierre, qui servent de moucharabieh géant en pierre (certains sont à ce jour, intacts).



2. Grèce antique :

Plus au nord, les temples grecs démontrent aussi une compréhension claire de la géométrie solaire et les effets d'éclairage, L'orientation Est des portes permet au soleil du matin à angle faible (la première lumière rajeunissante de la journée) de pénétrer, profondément dans l'intérieur, et de révéler les statues de divinités. Extérieurement, la profondeur de la façade, en étroite collaboration avec des couches de colonnes espacées, en face des murs solides de pierre, est révélée par la forte lumière du jour (Figure88, Figure89).

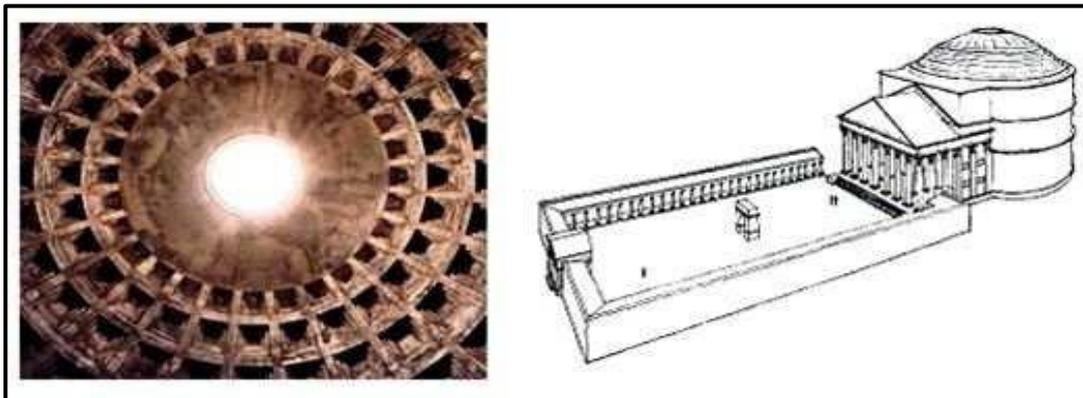
Entablements et sculptures en bas-relief du fronton, se révèlent dans la lumière vive. En outre, cette lumière est dynamique, tant dans son intensité que dans sa directivité, imprégnant architecture et sculpture avec la vie.



3. Rome antique :

Le Panthéon de Rome, construit, par le célèbre architecte Apollodoros, pour les dieux, entre les années 120 et 124 de notre ère (Figure 90), montre un usage subtil et habile de la lumière. Un puits de lumière du jour très haut, pénètre dans l'espace sphérique, à travers l'oculus. Comme le soleil se déplace, les taches du soleil tracent un chemin à travers l'intérieur. La production de fortes ombres ainsi que la diffusion de la lumière, dans le vaste intérieur, révèlent sa complète plasticité architecturale.

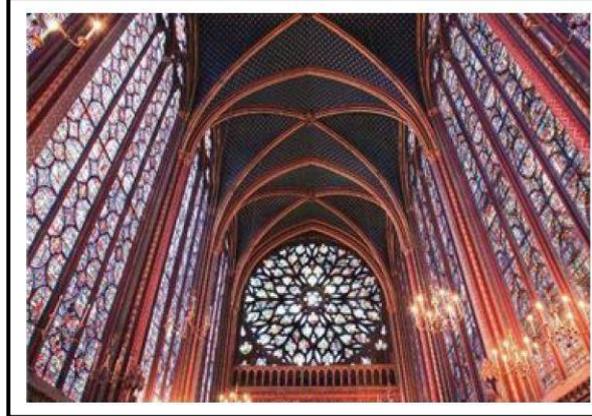
Toutefois, ce n'est pas seulement la qualité lumineuse de l'intérieur qui rend le Panthéon un exemple, particulièrement beau, de la conception de la lumière du jour. C'est l'approche de l'entrée de la lumière par la coupole qui module le décor et laisse une impression de profondeur (Rasmussen, 1964).



4 Gothique :

L'architecture gothique s'est essentiellement manifestée dans des édifices religieux. L'art gothique rompt avec la pénombre des églises, suite à l'impulsion de l'abbé Suger, qui inaugure, au début du XIIe siècle un nouveau rapport à la lumière, il débute l'agrandissement de la vieille église carolingienne. La pensée scolastique imprègne Suger qui estime nécessaire d'éclairer la foi par la raison, et la raison par l'imagination et les sens.

Convaincu que notre esprit peut s'élever à ce qui n'est pas matériel conduit par ce qui il est, il croit à l'importance du bâtiment abritant le culte. Il commande d'immenses vitraux illustrant les Saintes Écritures, pour illuminer la nef. La lumière qui pénètre dans l'espace sacré représente la parole de Dieu pénétrant les esprits. C'est donc cette lumière filtrant à l'intérieur par les vitraux, transformée, éclaircie, et non pas celle telle qu'elle nous parvient naturellement du Soleil, qui est admirée et recherchée

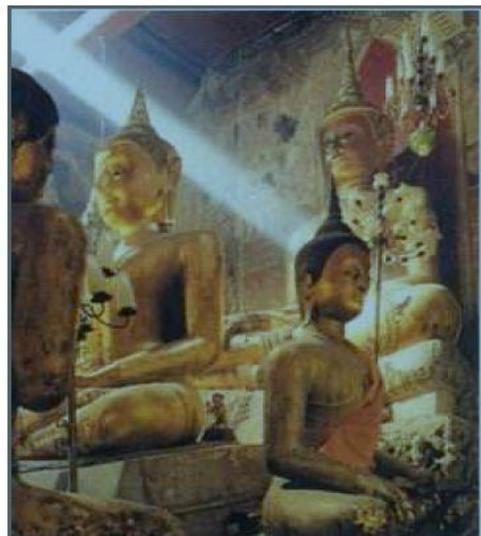


Les bâtisseurs conçoivent des vitraux de plus en plus grands, tendant vers la limite idéale qu'est le mur vitrail.

Les édifices gothiques s'ouvrent largement à la lumière par des fenêtres plus grandes et plus nombreuses. Cette évolution a été rendue technologiquement possible grâce à l'adoption de l'arc brisé. La dématérialisation de la paroi opaque et l'ouverture de l'espace à la lumière se poursuivent jusqu'aux limites des possibilités techniques de l'époque.

5 bouddhistes :

Dans l'architecture asiatique aussi les ouvertures apportaient une lumière sacrée dans l'espace religieux, comme souvent montrée dans les temples thaïlandais (Figure8) où la lumière du jour est guidée dans l'ambiance intérieure afin de sanctifier l'image dorée du Bouddha.

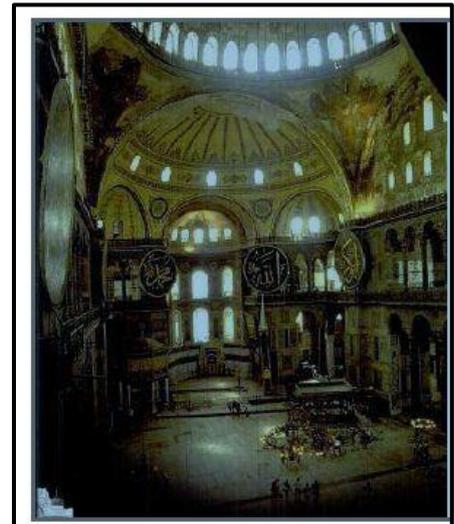
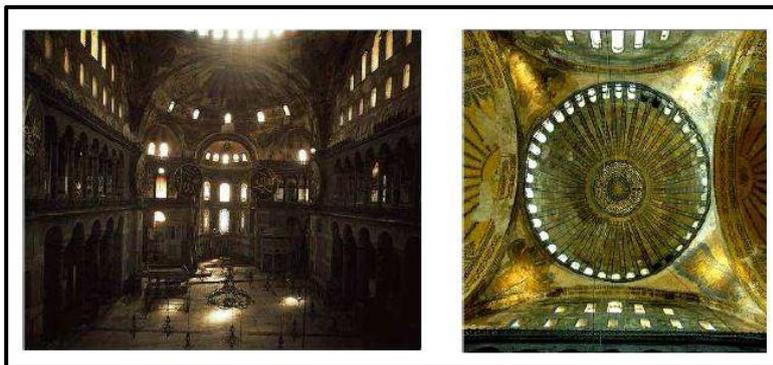


6 .Byzance :

A Byzance l'effet lumineux devient un facteur important. Par exemple Sainte-Sophie, basilique, église chrétienne byzantine de Constantinople (aujourd'hui Istanbul), datant du VI^e siècle et dédiée à la Sainte Sagesse (Hagia Sophia), puis transformée en mosquée à l'époque ottomane.

"...on donne une importance particulière aux illusions optiques dans l'admission de la lumière du jour à l'intérieur de l'édifice." La lumière qui s'infiltré à travers les quarante fenêtres entourant la coupole centrale brille intensément par rapport à l'obscurité de la coupole centrale, à cause de son inclinaison, ce contraste est d'autant plus fort que les fenêtres sont en retraits Figure93, Figure94 et les faisceaux lumineux en s'unissant par l'étroitesse des intervalles entre les fenêtres prenant la forme d'un collier.

La lumière qui entre directement dans le volume à travers les quarante fenêtres placées entre les piliers obscurs rompt la continuité de l'espace entre le sol et la coupole.



7. Ottomane :

La mosquée Sultan Ahmed Cami construite entre 1609 et 1617, est l'une des mosquées historiques d'Istanbul, elle comporte également une tombe du fondateur, une medersa et un hospice. Connue sous le nom de Mosquée Bleue pour les mosaïques bleues qui ornent les murs de son intérieur (Günay, 2007).

C'est la seule mosquée d'Istanbul qui possède six minarets.

Les murs sont couverts de céramique bleue (Figure95, Figure96) et la coupole est peinte dans les mêmes tons. L'ensemble donne une lumière douce et agréable. Quatre piliers principaux supportent la coupole dont le diamètre est de 22,20 m et la hauteur 43 m. La chaire (mimber) est en marbre blanc comme l'est également la niche du mihrab dans laquelle a été inséré un fragment de la pierre noire de la Kaaba .C'est l'une des dernières grandes mosquées sultanines témoin de l'apogée de l' Empire Ottoman tant sur le plan politique qu'artistique. Un mausolée au nord -est de la mosquée contient les restes des sultans Ahmed I, Osman II et Murad IV (Leduc, 1998).³¹



Synthèse de l'histoire de la lumière :

D'un aspect primitif au début de l'ère de l'humanité, associée à sa source principale, le soleil, la lumière participe à la représentation du divin : pyramides dédiées au soleil, temples baignés de lumière jusqu'aux constructions incroyables que sont les mosquées, les cathédrales, qui expriment les rapports entre le Créateur et sa création, entre la raison divine et le cosmos.

³¹ LACHEHEB SARA MÉMOIRE Op.Cit - p10-p18

2. Présentation des types d'ouvertures dans les musées :

a. Ouverture zénithale :

Ce sont des ouvertures, qui captent la lumière du ciel, en évitant toute entrée du rayonnement solaire. Si la partie vitrée des sheds est généralement disposée vers le Nord ; le Lanterneaux et la Verrière reçoivent eux, un rayonnement solaire important.



b. Ouverture Latérale :

Ce genre d'ouvertures donnent vie aux bâtiments, et permettent, une relation avec l'extérieurs, elles sont souvent source de reflets pour les objets présentés, sous une protection vitrée.

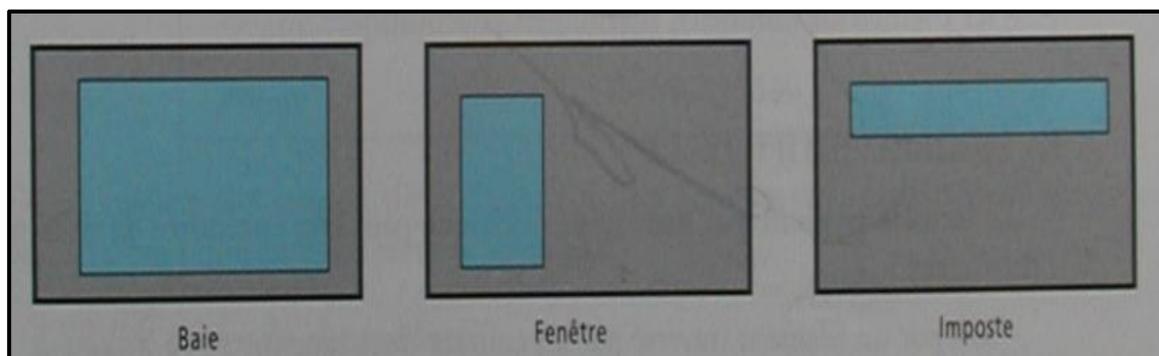


Figure 99 : Type d'ouverture Latérale.

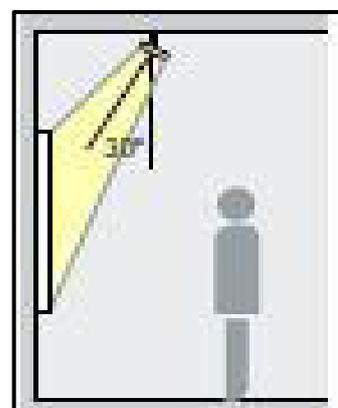


3.Éclairage:

On devraient profiter de l'éclairage naturel autant que possible et ne pas provoquer d'éblouissement à l'intérieur du musée sur la base de la formation du plafond, des murs et des trous dans le plafond ne doit pas être inférieure à un angle d'inclinaison d' environ 45° , et sont à intensité réglable par des miroirs dans les coins.

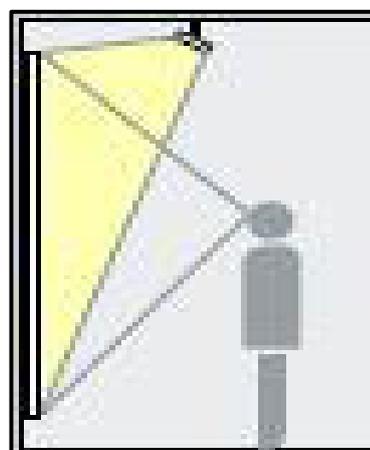
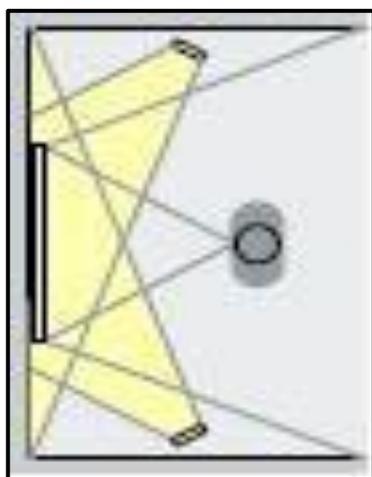
3.1. Bien positionner les appareils d'éclairage :

Pour éclairer les peintures et les sculptures, l'angle d'incidence optimal de la lumière est de 30° . Avec un angle plus ouvert, si l'appareil est éloigné de l'objet à éclairer, l'observateur risque de voir son ombre portée sur le tableau au moment où il se trouve devant. Un angle plus fermé produirait en revanche une lumière rasante, projetant sur le tableau des ombres allongées.



3.2. Réduire l'ombre portée du visiteur :

Deux projecteurs placés sur le côté éclairent les tableaux sans éblouir par réflexion ni former aucune ombre portée sur le tableau quand l'observateur se trouve face à l'œuvre.

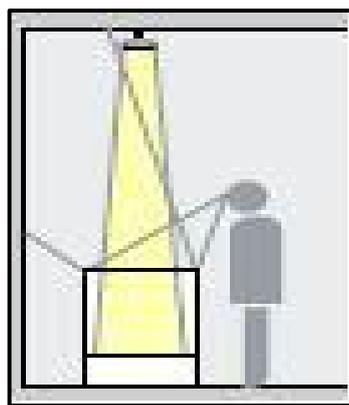
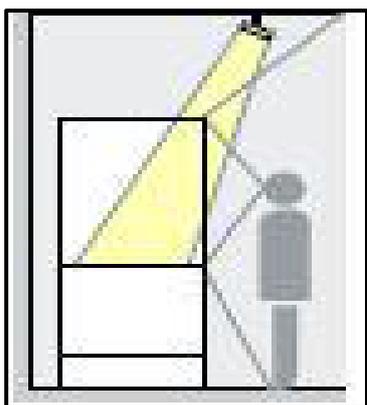


3.3. Éviter tout éblouissement par réflexion :

Les tableaux sous verre peuvent générer des réflexions parasites quand les appareils d'éclairage montés au plafond se reflètent sur la vitre protectrice. Une disposition adéquate des appareils, des faisceaux étroits et des sorties de lumière occultées évitent ces éblouissements par réflexion.

3.4. Éclairer les vitrines sans éblouir :

Les vitrines peuvent aussi être éclairées par des projecteurs placés à l'extérieur, dès lors que ces projecteurs sont disposés, du point de vue de l'observateur, en dehors des surfaces de réflexion.

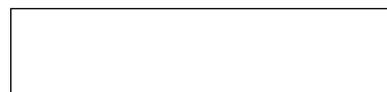
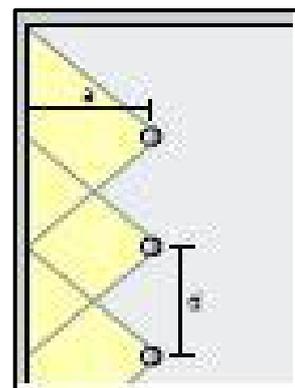


3.5. Éviter tout éblouissement par réflexion :

Les tableaux sous verre peuvent générer des réflexions parasites quand les appareils d'éclairage montés au plafond se reflètent sur la vitre protectrice. Une disposition adéquate des appareils, des faisceaux étroits et des sorties de lumière occultées évitent ces éblouissements par réflexion.

3.6. Bien disposer les appareils d'éclairage mural :

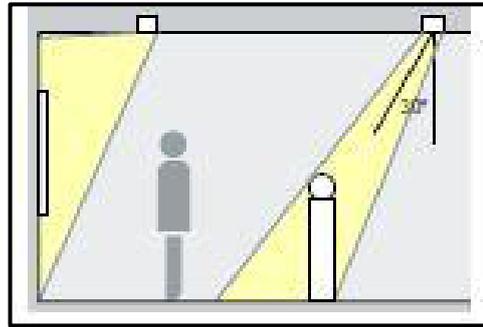
La distance au mur des appareils à faisceau mural doit être d'un tiers de la hauteur sous plafond pour que la lumière soit répartie sur le mur avec homogénéité.



L'entraxe des appareils doit être équivalent à la distance d'éloignement du mur
Souligner les murs et les œuvres

3.7. Souligner les murs et les œuvres :

Un éclairage équilibré des salles et de l'exposition résulte de l'association d'un éclairage mural homogène, pour donner un sentiment de clarté, et d'un éclairage d'accentuation, pour modeler les sculptures.



3.8. Disposer les appareils éclairant des objets imposants :

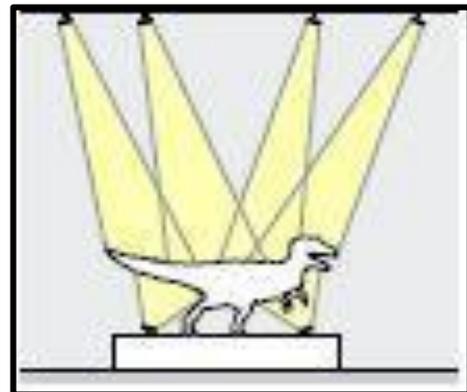
Plusieurs appareils diffusant un faisceau étroit éclairent à la perfection les œuvres imposantes, sans éblouir l'observateur.

-Exposées sous une lumière diffuse, les œuvres semblent empreintes d'une Atmosphère douce et paisible, dénuée d'ombres.

-La lumière orientée est une condition pour mettre en valeur les sculptures à la perfection.

Un seul projecteur produit des contrastes très marqués.

-Pour des contrastes équilibrés sur les sculptures, la lumière principale est complétée par une lumière d'appoint, plus faible, que dispense un second projecteur. ³²



³² Mémoire MUSEE D'ART ET D'HISTOIRE- Op.Cit

4. Histoire de Basilique « Sainte-Sophie » :

-Sa construction L'empereur Constantin a fait construire la première version de la Basilique en 330 après J.C, après sa conversion au christianisme. Sainte-Sophie fut incendiée lors d'une émeute en 404 puis en La Basilique de Justinien Après ces dernières émeutes, l'empereur Justinien entreprit de reconstruire l'édifice. Justinien choisit comme architectes : le physicien Isidore de Milet et le mathématicien Anthénius de Tralles. Mosaïque de Justinien Coupe de Sainte-Sophie Plan de Sainte-Sophie sous Justinien Les architectes dessinèrent un bâtiment inspiré du Panthéon de Rome et de l'art primitif d'Occident. L'empereur Justinien fit venir des matériaux de tout l'Empire, et plus de ouvriers furent employés pour cette construction, qui s'acheva en 537 après J.C. Des tremblements de terre en 553 et 558 causèrent des fissures et des destructions partielles de l'édifice. L'empereur ordonna une restauration immédiate. Cette reconstruction donna à la Basilique sa forme définitive qui remonte donc au 6 ème siècle.

-Reconstitution de Constantinople (vers le 6 ème siècle) La Basilique souffrit encore d'un incendie en 859, puis d'un nouveau séisme en 869. L'empereur Basile 1 er fit les réparations nécessaires. En 989, une nouvelle secousse très importante endommagea la Basilique. Des travaux de grande ampleur durèrent 6 ans et permirent à l'église de rouvrir ses portes en 994.

- la Basilique « Sainte-Sophie » devient une cathédrale catholique. Lors de la reprise de la ville par les Byzantins en 1261, ceux-ci trouvèrent la Basilique ravagée. Entre 1261 et 1354.

- La Basilique « Sainte-Sophie » devient une Mosquée à l'époque ottomane En 1453, les Turcs ont pris la ville et ont converti la Basilique alors en ruines, en mosquée. La transformation se fit avec le plus grand respect pour l'édifice. La croix est alors remplacée par le croissant au sommet de la Coupole.

- Aujourd'hui Sainte-Sophie est devenue un musée.³³

³³ <https://docplayer.fr/3895813-La-basilique-sainte-sophie-de-constantinople.html>

5. Historique Musée MAMA :

Construit entre 1901 et 1909, Le musée d'Art Moderne d'Alger (MAMA), est composé en majestueux bâtiment de cinq niveaux est un des fleurons de l'architecture néo-mauresque. Au début de 19eme siècle.

La bâtisse a été conçue par l'architecte français Henri Petit pour abriter des Galeries de France. Après

l'Indépendance, en 1962, le bâtiment fut rebaptisée en galeries Algériennes, et garda la même fonction jusqu'en 1988. La faillite de la société publique qui gérait l'établissement entrain la fermeture des lieux jusqu'à ce le Ministère de la Culture en bénéficie. Cette réaffectation de l'édifice par les pouvoirs publics visait un double objectif : sa sauvegarde et sa restauration (classé monument historique en 2008), et la création d'un musée d'art moderne et contemporain.

Fermées depuis une quinzaine d'années, Le Ministère de la Culture confie en 2006 la réhabilitation des galeries algériennes a l'architecte Halim FAIDI, pour abrité un musée d'art moderne d'Alger (MAMA). Après 9 mois de travaux de réhabilitations et de restauration, le musée ouvre ses porte accueille ses premiers visiteurs en 1 décembre 2007, pour le lancement de la Capitale arabe de la culture à Alger.³⁴



³⁴ Site weep : <http://www.mama-dz.com/musee/histoire>

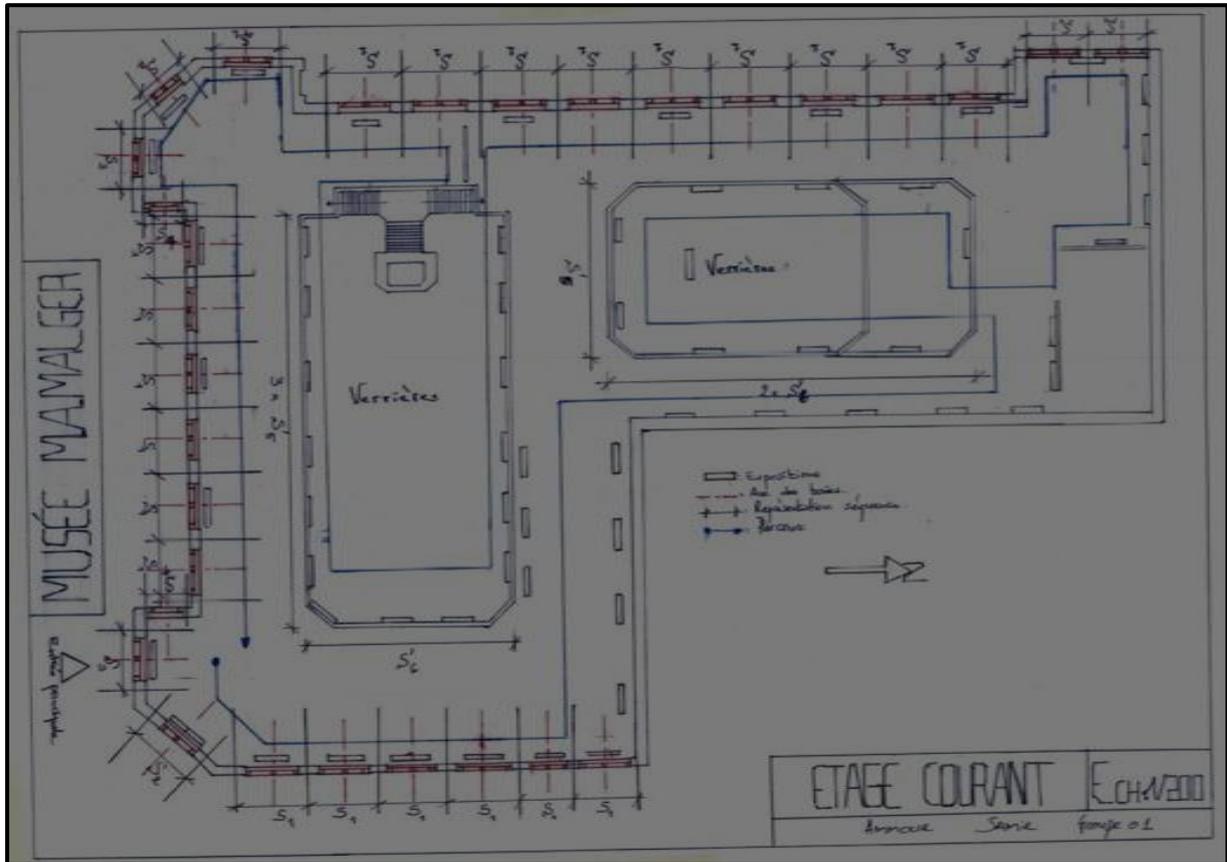


Figure 109 : Plan ÉTAGE COURANT. Source : <http://image.MAMA.archi.fr>

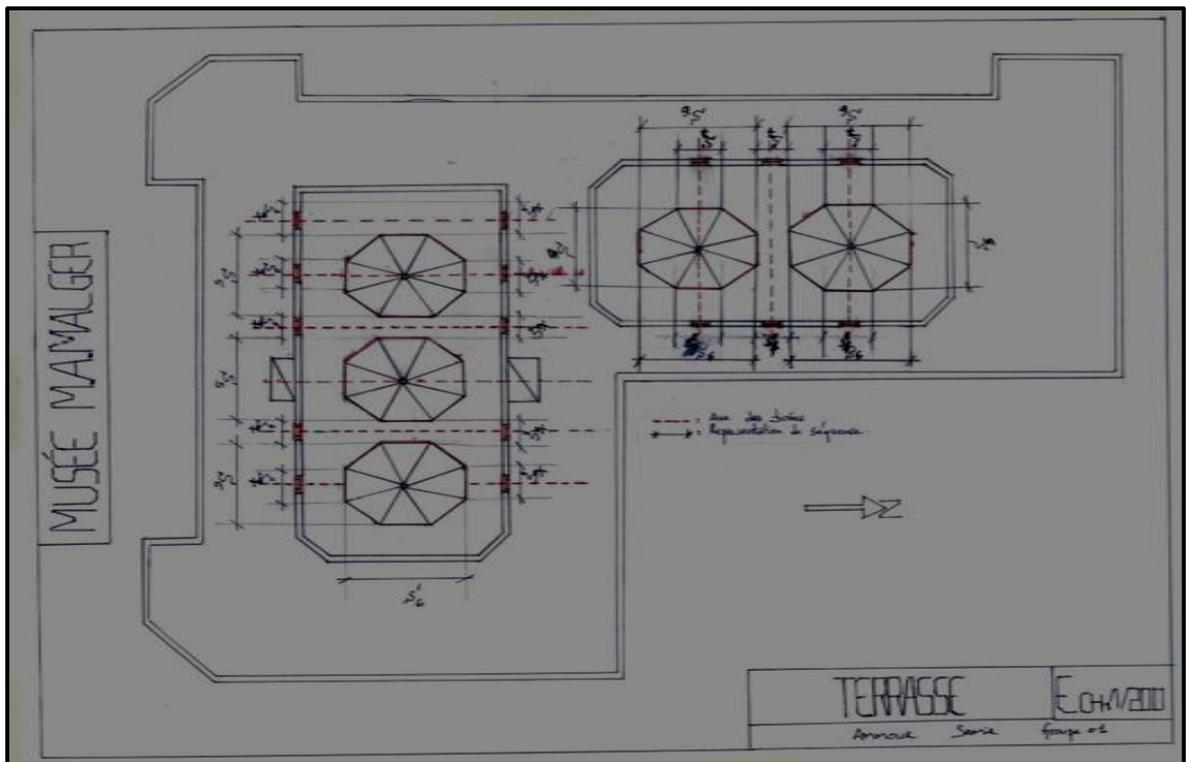


Figure 110 : Plan terrasse .Source : <http://image.MAMA.archi.fr>

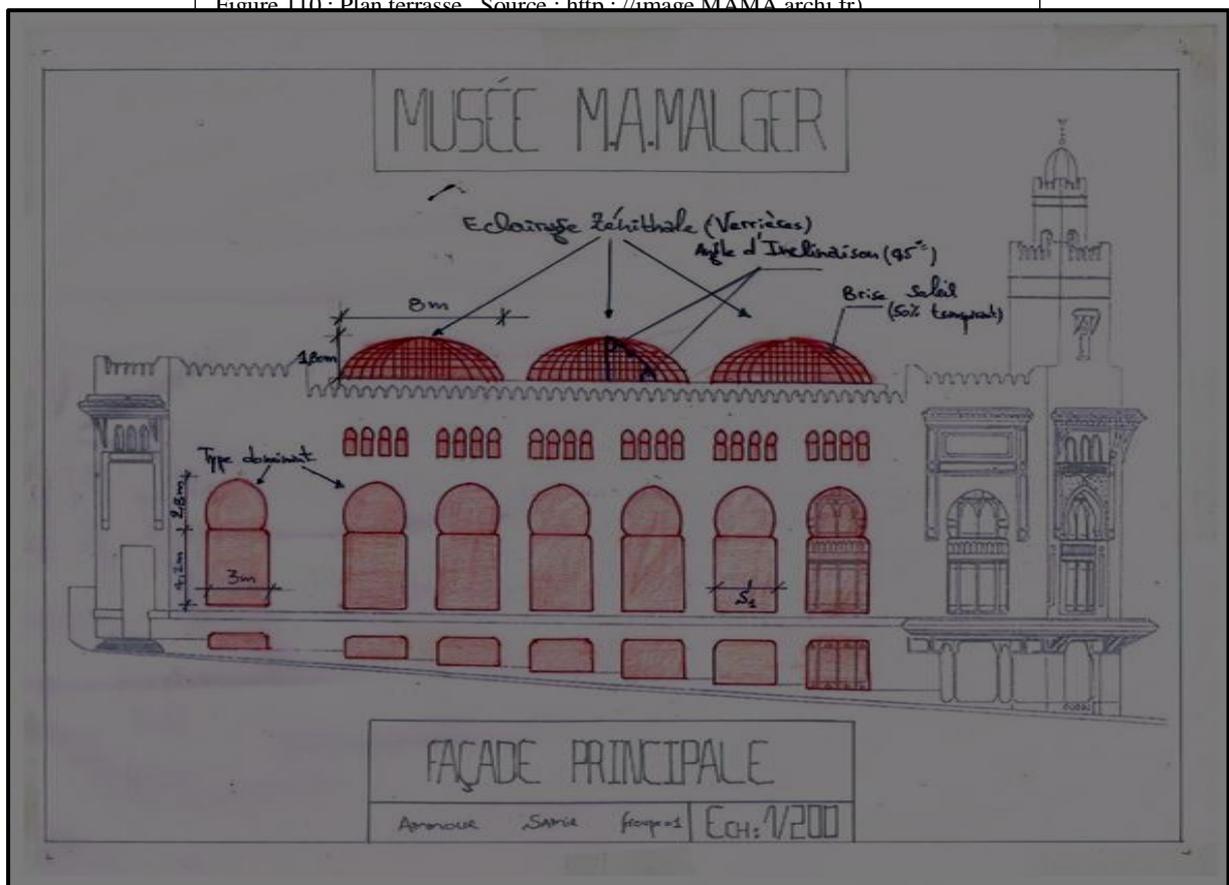


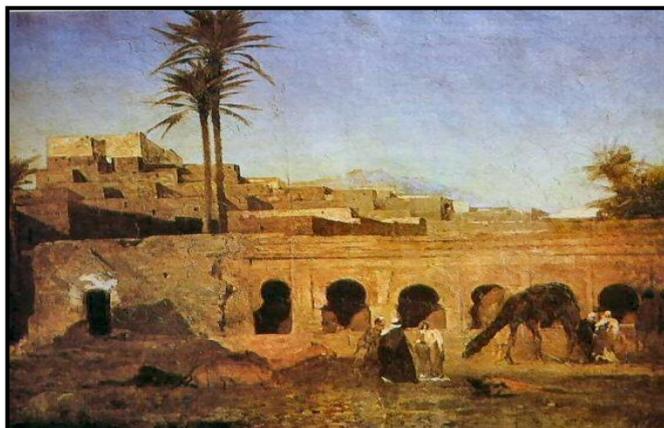
Figure 111 : façade principale .Source : [Source : http://image.MAMA.archi.fr](http://image.MAMA.archi.fr)

Annexe chapitre III :

II. Aperçu historique sur la ville de Laghouat :

1. Laghouat avant 1852 :

Le ksar de Laghouat était fondé sur la rive ouest de l'Oued M'zi et s'étendait du sud-ouest au nord-est sur trois collines, interrompues par Oued Lkheir (une dérivation de oued M'zi). Sa fondation remonte au XIème siècle. Le ksar présentait un groupement humain bien distinct regroupé en deux quartiers, chaque quartier avec ses mosquées, ses marchés, et ses cimetières...etc., La communication entre ces deux quartiers se



faisait à partir d'une porte de séparation, qui s'ouvraient et se fermaient selon l'état d'entente ou de discorde. L'ensemble était entouré par une enceinte formée de remparts rectangulaires de 4 mètres renforcée par deux tours principales de surveillance.

2. Laghouat pendant la prise coloniale 1852 :

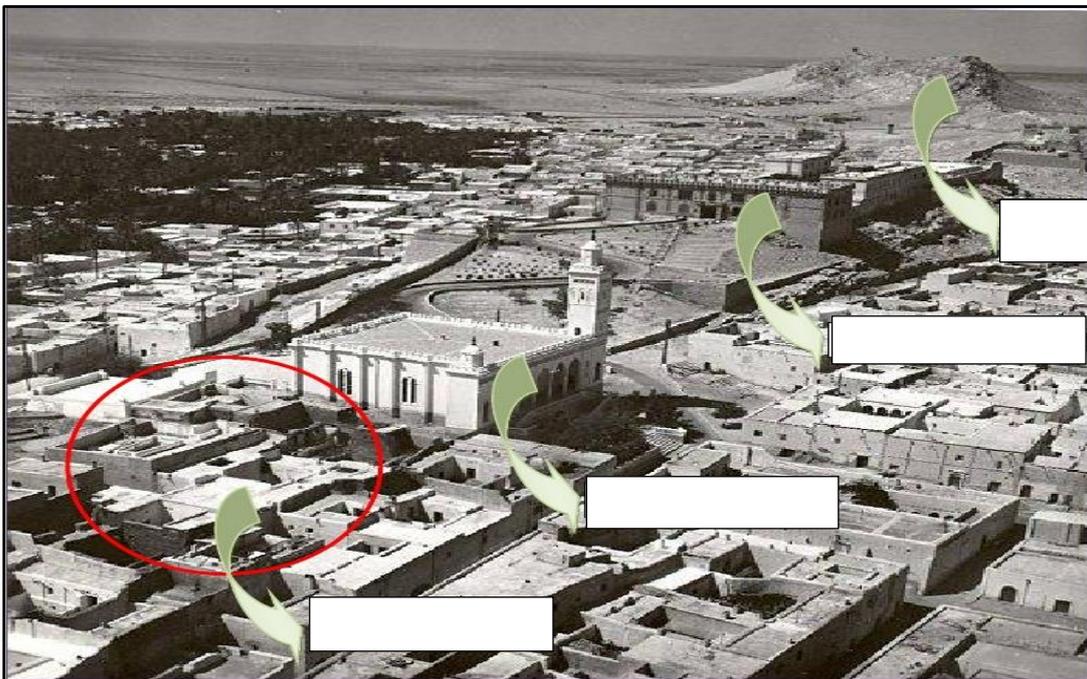
Le 4 décembre 1852, les troupes coloniales françaises s'emparèrent de Laghouat, après une farouche résistance des populations unies pour l'affrontement de cet ennemi. Elles ont intervenues sur les deux côtés, à l'ouest et l'est de ksar.

Pour atteindre cet objectif, le Capitaine Du Barraix a commencé la reconstruction de la ville en adoptant les instructions du Maréchal Randon et Son projet comportait essentiellement :

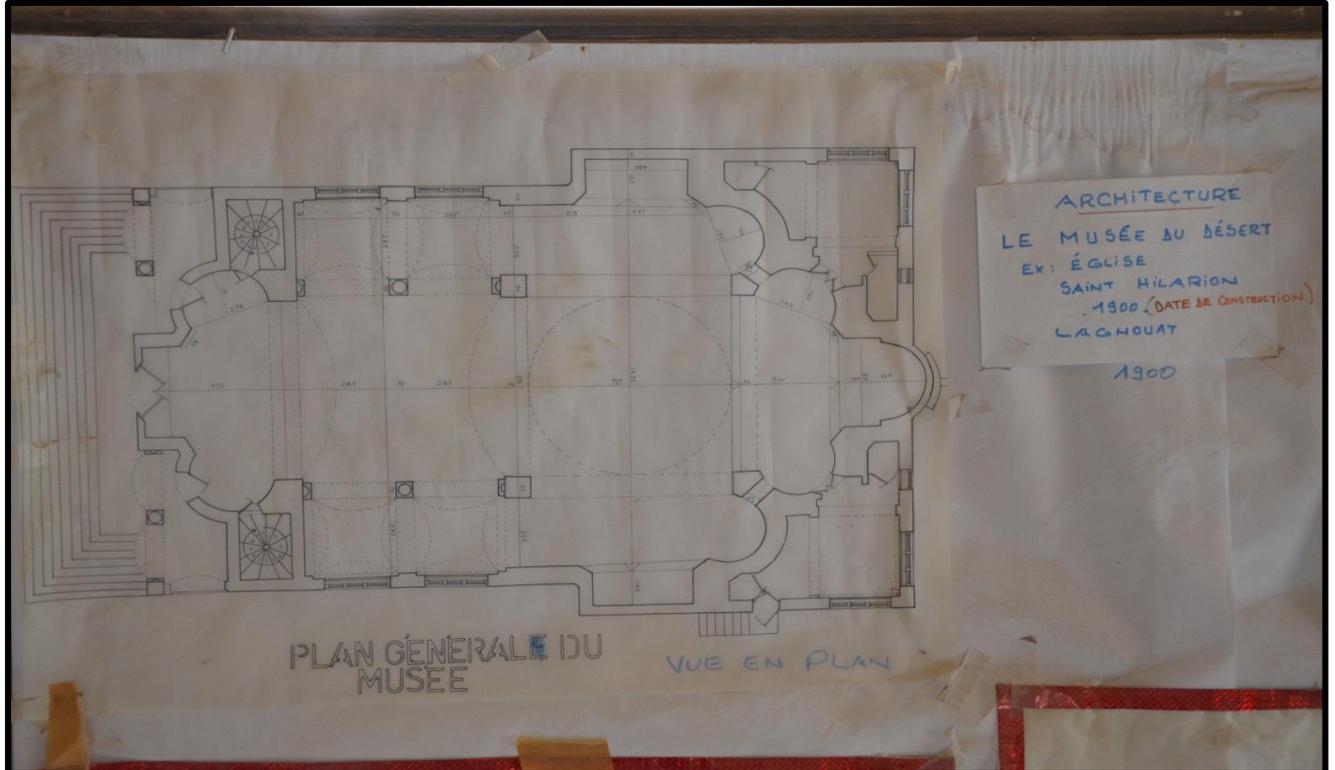
La suppression des tours du Ksar et leur remplacement par le fort Morand en 1856 et le fort Bouscaren en 1857.

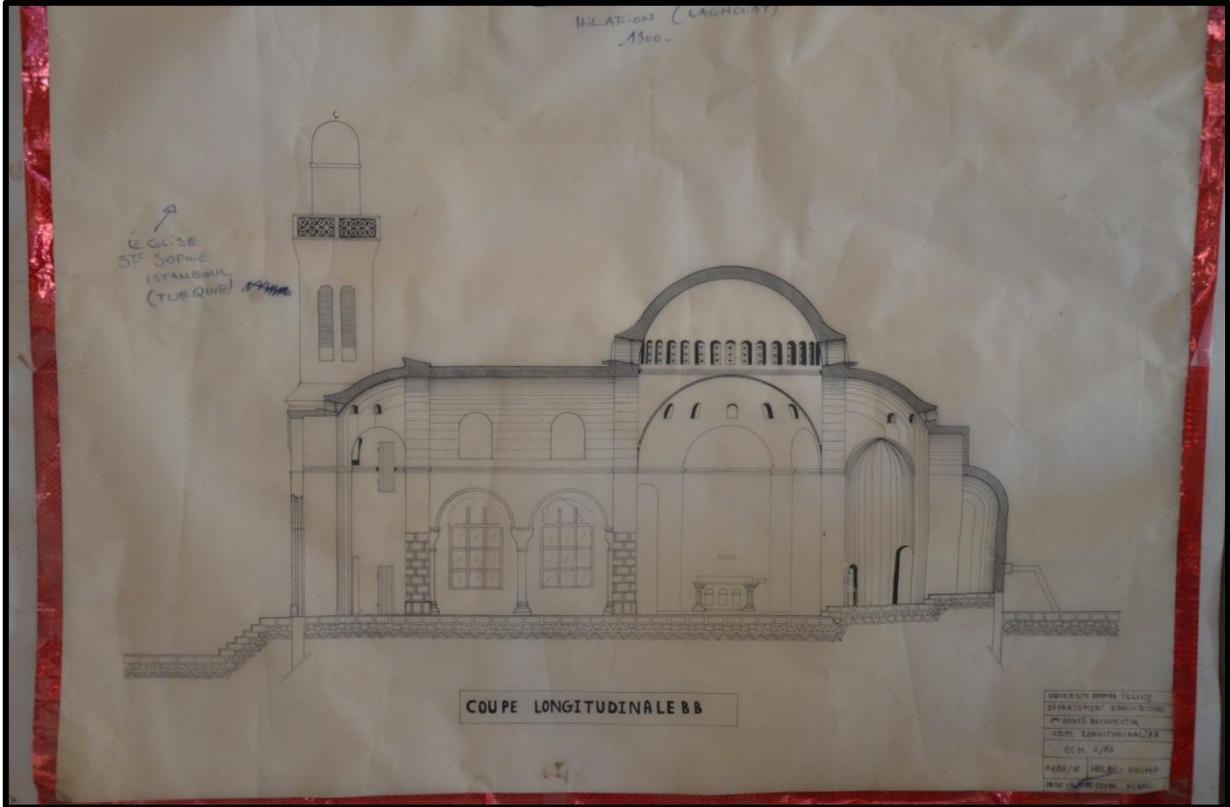
- La destruction des anciennes habitations et l'ancien tissu urbain et sa reconfiguration dans un style européen avec des constructions neuves.
- La reconstruction des fortifications du Ksar.

- La création et l'aménagement de nouvelles places, comme la place Rondon et la place Pélissier.
- L'ouverture de l'avenue Cassaigne au milieu des jardins denses du nord.
- L'élargissement et l'alignement des voies de circulation
- À l'échelle de quartier subit la transformation suivante :
- Phase de destruction et reconstruction l'équipement de Bouscarén et nouveau rempart
- Phase d'alignement et prolongement de quartier vers les oasis
- Phase de l'apparition d'une nouvelle extension s appel el makdar³⁵.



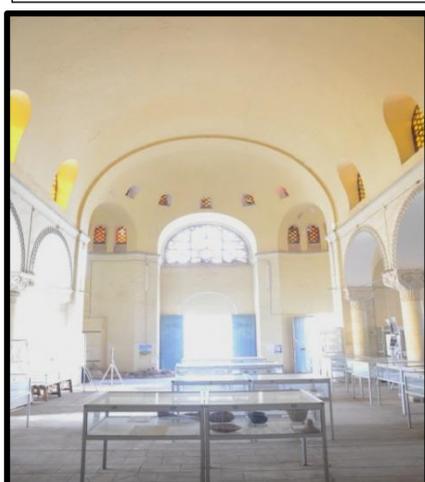
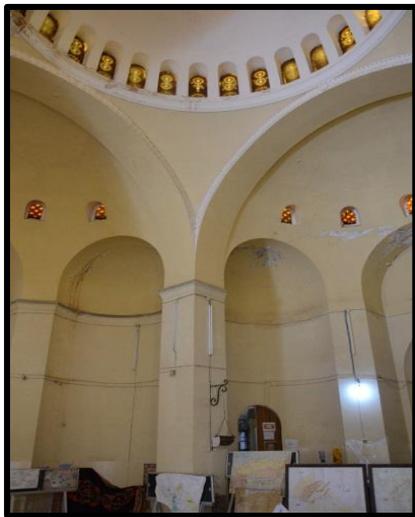
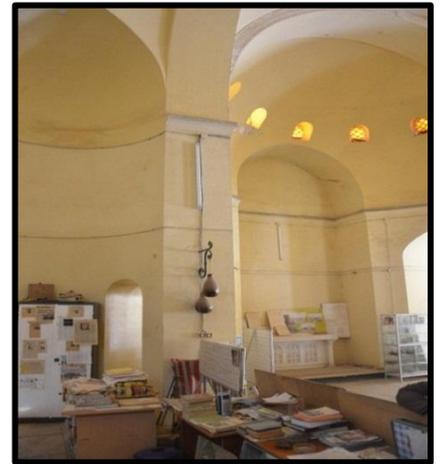
³⁵CHETTIH Azzedine- Mémoire de Magister, « إعادة توظيف المعالم التاريخية بناء الأمس/ وظيفة اليوم », 2011





C. Description

architecturale des espaces :





Le bénitier : est souvent placé de part et d'autre des portes d'entrée et en entrant dans l'église ; les fidèles trompent le bout des doigts de la main droite dans l'eau bénite ; puis ceignent, c'est-à-dire qu'ils ébauchent un signe de croix.

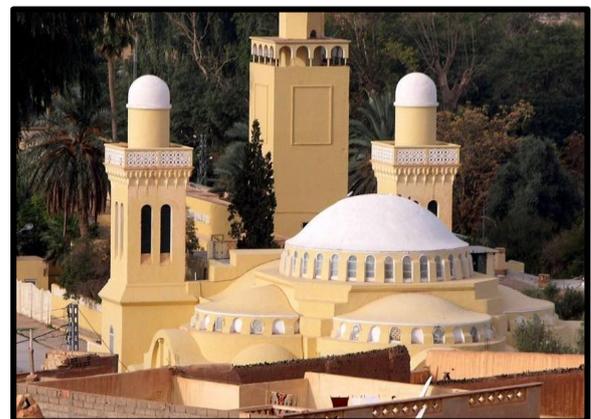
L'autel : structure plane de la forme d'une table au-dessus d'un socle de pierre sur lesquels sont réalisées des offrandes à un dieu, dans les églises chrétiennes, les autels sont souvent décorés de sculptures et autres ornements.

Autel de la prothèse : pièces d'une église byzantine réservée au stockage du pain et du vin utilisée durant la messe.

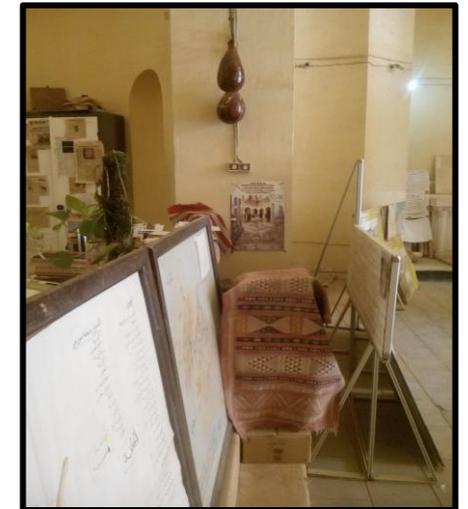
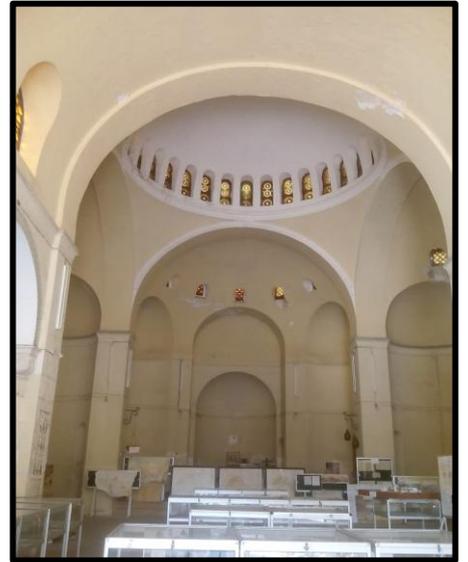


E. Les éléments architectoniques:





2



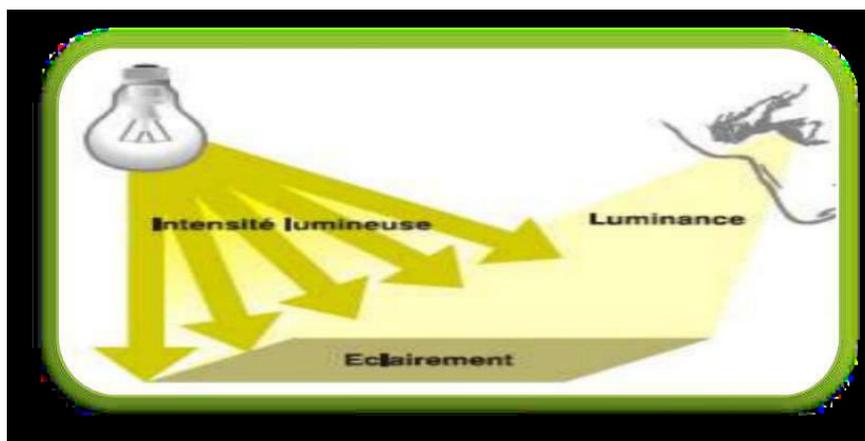
I. Les grandeurs photométriques :

1. Définition: ce sont les phénomènes lumineux objectivement mesurables et quantifiables. (BODART, M., 2002)

2. Le flux lumineux (lm) : Le flux lumineux d'une source est la quantité de lumière rayonnée dans tout l'espace par cette source, il s'exprime en lumen (lm).

3. L'intensité lumineuse (cd) :

L'intensité lumineuse est le flux lumineux émis par unité d'angle solide dans une direction donnée. Elle est mesurée en candela. 1 candela = 1 lumen/stéradian



4 .L'éclairement (lux) :

L'éclairement en un point d'une surface est le rapport du flux Lumineux reçu par unité de surface. L'éclairement est exprimé en lux. 1 lux = 1 lumen /m². L'éclairement caractérise donc la quantité de lumière reçue par une surface. Cependant, cette grandeur est très difficilement perceptible par l'œil humain. L'échelle des niveaux d'éclairement disponibles naturellement est très étendue elle varie entre 0,2 lux et 100 000 lux (Tableau I.1)

Source lumineuse Éclairement (lux)	Source lumineuse Éclairement (lux)
Extérieur par pleine lune	0.2
Extérieur par ciel couvert	5000 et 10 000
Extérieur par ciel clair	Entre 7000 et 24000
Surface perpendiculaire au soleil d'été	100 000

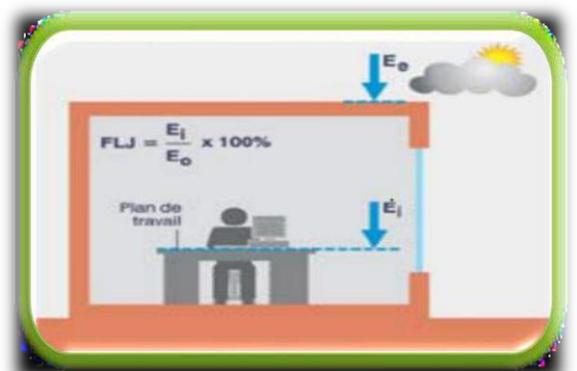


5. La luminance (cd/m²) :

Correspond mieux à la sensation visuelle de luminosité causée par les surfaces des objets éclairés. La luminance d'une source est le rapport entre l'intensité lumineuse émise dans une direction et la surface apparente de la source dans la direction considérée. Elle s'exprime en candela/m². Elle demeure la seule grandeur réellement perçue par l'œil humain.

6. Le Facteur de Lumière de Jour (FLJ):

Le facteur de lumière du jour en un point intérieur est le rapport de l'éclairement naturel reçu en ce point à l'éclairement extérieur simultané sur une surface horizontale en site parfaitement dégagé.



$$\text{FLJ} = \text{E intérieur} / \text{E extérieur} (\%)$$

7. L'indice d'uniformité :

Si le niveau d'éclairement et la luminance varient dans le champ visuel, une adaptation de l'œil est nécessaire lorsque le regard se déplace. Durant ce moment, l'acuité visuelle est diminuée, entraînant des fatigues inutiles.

La répartition lumineuse ou l'uniformité des niveaux d'éclairement caractérise les variations du niveau d'éclairement et est définie comme étant le rapport entre l'éclairement minimum et l'éclairement moyen observé dans la zone de travail.

Une norme européenne d'éclairage définit par exemple que le facteur d'uniformité au travail doit être supérieur ou égal à 0,7.³⁷

³⁷ -Matallah zineb -mémoire magistère en - architecture « étude des effets de l'orientation sur le confort visuel dans les salles de cours avec éclairage naturel lateral. Cas des salles de classe de l'université de Laghouat »- P11; 12.

1. Définitions du «confort visuel» :

« La définition usuelle du confort se limite à la satisfaction des besoins propres à chaque composante du système sensoriel. Dans le cas précis de la lumière, le confort visuel est défini comme étant : « une impression subjective de satisfaction du système visuel principalement procurée par l'absence de gêne induite par l'ensemble de l'environnement visuel» Un individu devrait donc se sentir confortable à l'intérieur d'un espace dans lequel l'éclairage ne provoque pas d'éblouissement et éclaire correctement les plans et espaces nécessaires au déroulement de ses activités. Cette définition du confort visuel est d'ailleurs à la source de plusieurs normes internationales. Ces normes précisent des niveaux d'éclairage moyens minimaux selon l'usage des espaces et les activités devant y avoir lieu.³⁸

D'autre part, Sigrid, R et De HERDE avancent que «Le confort visuel est une impression subjective liée à la quantité, à la distribution et à la qualité de lumière»³⁹

2. Paramètres du confort visuel :

L'environnement visuel nous procure une sensation de confort quand nous pouvons voir les objets nettement et sans fatigue dans une ambiance colorée agréable. L'obtention d'un environnement visuel confortable dans un local favorise le bien-être des occupants. Par contre, un éclairage trop faible ou trop fort, mal réparti dans l'espace ou dont le spectre lumineux est mal adapté à la sensibilité de l'œil ou à la vision des couleurs, provoque à plus ou moins longue échéance une fatigue, voire même des troubles visuels, accompagnés d'une sensation d'inconfort et d'une performance visuelle réduite.

Le confort visuel dépend d'une combinaison de paramètres physiques : **l'éclairage**, la **luminance**, le **contraste**, **l'éblouissement** et le **spectre**

³⁸ (CANTIN, FRANÇOIS., 2008) : ÉVALUATION DE LA QUALITE LUMINEUSE D'UN ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL ECLAIRE NATURELLEMENT.. ARCHITECTURE ET URBANISME. UNIVERSITE LAVAL, QUEBEC.CANADA2008.

³⁹ (A.DE HERDE, A. LIEBARD., 2005).

lumineux, auxquels s'ajoutent des caractéristiques propres à l'environnement et à la tâche visuelle à accomplir, comme la taille des éléments à observer et le temps disponible pour la vision. Le confort visuel relève, en outre, de facteurs physiologiques et psychologiques liés à l'individu tels que son âge, son acuité visuelle ou la possibilité de regarder à l'extérieur.⁴⁰

3. Repères Pour L'éclairage Des Musées :

Quelques repères sur l'éclairage des musées. Depuis la fin des années 1980, l'utilisation de la lumière naturelle dans les musées a été remise en cause. En 1986, dans «Sunlighting as a Forgiver for Architecture 6», William Lam résume l'état de cette question : «Malgré les désirs tant du public que des conservateurs de musée, l'utilisation de la lumière naturelle comme source d'éclairage principale des galeries, a souvent été mise en question voire éliminée ces dernières années.

Thomson préconisait aussi des temps d'exposition à la lumière maximum pour éviter la détérioration des œuvres : 650 000 lux/heure pour les peintures et les objets en bois et cuir: 150 000

Œuvres sur papier	50 lux	Œuvres sur papier avec techniques de coloration, support dégradé, tirages photos ou diapositives.
	100 lux	Œuvres sur papier en noir et blanc seulement, photos en noir et blanc.
Peintures	50 lux	Peintures minces sur toile, aquarelles, gouaches, miniatures.
	150 - 200 lux	Huiles et tempera.
Objets	50 lux	Objets peints, surfaces polychrome, meubles tapissés, verts instables.
	200 lux	Objets en cuir et en bois.
	1000 - 2000 lux	Objets en matière inorganique sans surfaces peintes, comme la pierre, la céramique ou le métal.

Fig. 1. Recommandations de valeurs d'éclairage de Garry Thomson, « The Museum Environment ».

lux/heure pour les textiles, les œuvres colorées sur papier et les photographies. Les caractéristiques spectrales de la lumière ont aussi une influence importante sur la conservation des œuvres. La plupart des dégâts viennent des

⁴⁰ (DE HERDE, A & AL. WWW-ENERGIE.ARCH.UCL.AC.BE)

rayonnements ultraviolets. Les UV peuvent être filtrés directement grâce au choix des vitrages, des fenêtres et des plafonds.⁴¹

CATÉGORIE D'OBJETS	OBJECTIFS DE PRÉSERVATION		
	1000 ans	100 ans	10 ans
de grande sensibilité	50 lux pour 20 h/an	50 lux pour 25 jours/an	50 lux pour 250 jours/an
		500 lux pour 25 h/an	500 lux pour 25 jours/an
de sensibilité moyenne	50 lux pour 25 jours/an	50 lux pour 250 jours/an	340 lux pour 365 jours/an
	500 lux pour 20 h/an	500 lux pour 25 jours/an.	500 lux pour 250 jours/an
de faible sensibilité	100 lux pour 365 jours/an	1000 lux pour 365 jours/an	
	500 lux pour 75 jours/an	(500 lux/an pour un objectif de 200 ans)	

4. Éclairage artificiel :

La distribution électrique se fait à partir d'un poste d'un transformateur et à groupe électrogène à l'extérieur du musée .les câbles d'alimentation seront acheminés dans des coffrets de distribution dans les plafonds et connecté sur des boites de dérivation.

1.Le LED :

Une diode électroluminescente (LED) est composant électronique permettant la transformation de l'électricité en lumière .ses principales applications, les écrans ,les éclairages ...caractérisé par un efficacité énergétique avec un important potentiel de progression.

1.1.BEACON MUSE – Spot multiréglable :

⁴¹ DELUMINE 7 ; EVALUATION DES PERFORMANCES DE LA LUMIERE DU JOUR DANS LES MUSEES ; ENSAS LABO LUMIERE - RAPPORT DE SYNTHESE 2013-2014,P6.



- Un spot totalement réglable qui utilise une technologie LED de pointe et des lentilles réglables
- Ses optiques réglables lui permettent d’offrir un faisceau large de 65°, qui peut être ramené à seulement 10°, sans besoin de lentille ou de réflecteurs supplémentaires
- Source de lumière sans IR/UV ni rayonnement thermique
- Un flux système de 925 lumens et un IRC minimum de 97, idéal pour les musées et les galeries.

1.2.BEACON XL MUSE – Spot multiréglable :

Spot LED à bague « soft touch » réglable permettant d’ajuster manuellement le faisceau de 10° à 70° sans avoir recours à des lentilles additionnelles

- Réglage d’intensité : DALI ou pilotage par CASAMBI (bluetooth)
- RC très élevé (97), garantissant des rouges éclatants.



1.3.BEACON XL – Spot ultra puissant :

Cet impressionnant spot LED repousse les limites de la technologie pour fournir au luminaire jusqu’à 300 lumens à 42 Watts

- Spot LED ultra puissant 38 W (42 W de puissance totale) avec un rendement équivalent à une lampe CMI traditionnelle de 35 W (lampe 39 W + mécanisme 4,5 W, puissance totale 43,5 W)
- Disponible avec lentille 12° (étroite), 25° (moyenne) ou 50° (large)



- Disponible en température de couleur 3 000 K ou 4 000 K

1.4.BEACON PROJECTOR-Iris :

Lentille à réglage manuel

- LED 26 W à rendement élevé
- Faisceau circulaire 10° ou moins pour cibler de petits objets,
- Indice de rendu des couleurs élevé, Ra97
- Intensité totalement réglable de 100 % à 3 %
- Source de lumière sans IR/UV ni rayonnement thermique.



1.5.BEACON PROJECTOR – Framing :

- Technologie LED de pointe, 26 W à rendement élevé
- Indice de rendu des couleurs élevé, Ra97
- Intensité totalement réglable, de 100 % à 3 % à l'aide d'un système de réglage intégré discret
- Source de lumière sans IR/UV ni rayonnement thermique.



1.6.BEACON PROJECTOR – Gobo :

- Idéal pour guider les visiteurs ou cibler les points d'intérêt
- 3 types de matériaux Gobo peuvent être insérés : Acétate / Métal / Verre
- Source de lumière sans IR/UV ni rayonnement thermique.⁴²



⁴² ÉCLAIRAGE POUR MUSEES ET GALERIES FEILOE SYLVANIA ;P39



Ouvrages généraux :

- BOUVIER, François. « Éclairage naturel », Technique de l'ingénieur, Vol. C6, n°C 3 315, Paris (1981), p6.
- Cantin, François., 2008) : Évaluation de la qualité lumineuse d'un environnement de travail éclairé naturellement.. Architecture et urbanisme. Université Laval, Quebec.Canada2008.(A.DE HERDE, A. LIEBARD., 2005).
- C. BROWN et K. RUBERG. «RSB 88 : Facteurs de performance des fenêtres». Canada.1988 [Enligne] <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/bsi/rsb.html>
- CHAUVEL.P & DERIBERE. M. L'éclairage naturel et artificiel dans le bâtiment. Paris: Eyrolles. 1968, p61.
- GARCIA, M in THIRY, Raymond. Eclairage naturel dans le bâtiment. Marseille: Ecole d'Architecture de Marseille- Luminy, p5.
- MUDRI, Ljubica. De l'hygiène au bien-être, du développement sans frein au développement durable: ambiances lumineuses. Paris. École d'architecture de Paris- Belleville. Novembre 2002, p 1-3.
- TERRIER. Christian et VANDEVYVER. Bernard. "L'éclairage naturel", fiche pratique de sécurité, Paris : ED 82, Travail et Sécurité, (Mai 1999), p1 [En ligne] www.inrs.fr (Page consultée le 21 septembre 2004).

Mémoires et Thèses :

- Benharkat Sarah- Memoire De Magister Option : Architecture Bioclimatique Impact De L' Eclairage Naturel Zenithal Sur Le Confort Visuel Dans Les Salles De Classe.
- CHETTIH Azzedine,2011- Mémoire de Magister, « إعادة توظيف المعالم التاريخية بناء « الأمس/ وظيفة اليوم ».
- LACHEHEB SARA MÉMOIRE Magistère en Architecture ETUDE EXPERIMENTALE DE L'IMPACT DE LA BAIE ET DE LA COMPOSANTE REFLECHIE INTERNE SUR L'ENVIRONNEMENT LUMINEUX INTERIEUR – 2013- p10-p18.
- Matallah zineb -mémoire magistère en - architecture « étude des effets de l'orientation sur le confort visuel dans les salles de cours avec éclairage naturel lateral. Cas des salles de classe de l'université de Laghouat »- P11 ; 12.

- Mémoire MUSEE D'ART ET D'HISTOIRE chapitre I , IDM t Moderne d'Alger (MAMA).

- Vincent Tourre -Thèse de DOCTORAT Spécialité : Architecture- Simulation inverse de l'éclairage naturel pour le projet architectural - UNIVERSITÉ DE NANTES -Année 2007.P18

Autre sources :

-A Parametric Model of Byzantine Church Domes Iakovos Potamianos1 and Wassim Jabi- School of Drama, Faculty of Fine Arts, Aristotle University of Thessaloniki.

-De Herde,A & al. www-energie.arch.ucl.ac.be)

-DeLumine 7 ; Évaluation des performances de la lumière du jour dans les musées ; ENSAS □ Labo Lumière - Rapport de synthèse 2013-2014,P6.

- Direction De La Culture Laghouat.

-ÉCLAIRAGE POUR MUSÉES ET GALERIES Feiloe Sylvania ;P39

-Geometry, Light, and Cosmology in the Church of Hagia Sophia- Wassim Jabi and Iakovos Potamianos. Chapter 07;Page 305.

-Les sources primaires et les sources secondaires de la lumière » dans Encyclopédie ENCARTA sur CDROM , Paris: Encyclopédie Ecarta.2004

- Musée communal de Laghouat

Sites Internet:

-<http://www.andi.dz/PDF/monographies/Laghouat.pdf>

- <https://docplayer.fr/3895813-La-basilique-sainte-sophie-de-constantinople.html>

-<https://www.etudier.com/dissertations/Silence-Et-Lumiere-Khan/254206.html>

-http://www.gif-lumiere.com/wp-content/uploads/2018/06/Guide-Eclairage-GIF-Lumiere_WEB.pdf.

-<https://www.khanacademy.org/humanities/ap-art-history/early-europe-and-colonial-americas/medieval-europe-islamic-world/a/hagia-sophia-istanbul>.

-<http://www.lankaart.org/article-33383426.html>

- <http://logiciels.i3er.org/ecotect.html>
- Site weep: <http://www.mama-dz.com/musee/histoire>.
- <https://www.myplanetled.com/fr/blogs/myplanetled/quel-est-le-nombre-de-lumen-necessaire-par-endroit/>
- <http://www.univ-bejaia.dz/dspace/handle/123456789/6418>
- <http://thesis.univ-biskra.dz/1609/8/CHAPITRE%205.pdf>
- <http://www.video-du-net.fr/peinture/sainte-sophie-constantinople.php>.