



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's Democratic Republic of Algeria
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION AND SCIENTIFIC RESEARCH
جامعة العربي التبسي، تبسة
LARBI TEBESSI UNIVERSITY, TEBESSA



كلية العلوم و التكنولوجيا
Faculty of Sciences and Technology

Department of Architecture

قسم الهندسة المعمارية

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté pour l'obtention du *diplôme* de Master *Académique*

En Domaine : Architecture, Urbanisme et Métiers de la ville

Filière : Architecture

Spécialité : Architecture

Par : FARES Sabrina

Thème:

Etude de l'éclairage naturel dans les musées

Cas d'étude : musée national de CIRTA à

Constantine

Présenté et soutenu publiquement, le: **15 /06/2022** , devant le jury composé de :

1- M/ GHERBI Mohamed	MCB	Président
2- M/FEZZAI Soufiane	MCA	Rapporteur
3- M/ LAID Hichem	MAA	Examineur 1
4- M/HAKIMI Mohamed El Amine	MAA	Examineur 2

Année universitaire : 2021/2022

Remerciements

Avant tout, nous remercions sincèrement et profondément le bon Dieu qui nous a donné le courage, la patience et la force pour faire ce modeste travail.

Nous tenons à remercier tous ceux qui nous ont aidés de près et de loin pour réaliser ce travail.

Tout d'abord Nous adressons nos remerciements à tous les membres du département d'architecture de l'université

-Larbi Tebessi- pour le temps précieux qu'ils consacrent aux étudiants durant leur cycle de formation.

*Je suis très reconnaissante à mon encadreur **Dr. Fezzai Soufiane**, pour l'encadrement, et pour mon avoir guidé, encouragé et conseillé pendant toute la formation, ainsi pour l'attention qu'il a apportée à la lecture de ce mémoire.*

*Je remercie sincèrement **Dr. Tartar N** et les membres du jury qui ont accepté de participer au jugement de notre travail A vous tous nous disons*

Dédicace :

Je dédie ce travail à :

*A À mon cher père, la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur
quedieu vos garde.*

*A ma mère, la plus belle créature que Dieu a créée sur terre,
À cette source de tendresse, de patience et de générosité, mon
exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de
bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir.*

*A ma chères sœurs : **Sana, Foufa, Nour, Batoule***

A tous mes chers Amis et toute ma famille.

*A tous mes enseignants qui m'ont éclairé sur ce chemin du
savoir.*

*A ceux qui m'ont soutenu, m'ont encouragé durant toute ma
vie*

*A tous qui ont attendu l'achèvement de ce mémoire et qui ont
prié 'Dieu' pour plus de réussites.*

*Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui
étaient*

*toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnaient durant
mon*

chemin d'études supérieures, mes aimables amis, Dédicace

Résumé :

L'éclairage joue un rôle très important dans les équipements architecturaux. Il nous permet la précision des conceptions architecturales et d'atteindre un confort visuel et psychologique des utilisateurs.

Dans les équipements culturels, l'éclairage joue un rôle primordial dans toutes les étapes de sa conception. Les activités, les études et les présentations qui y exercées ont un rapport direct avec la vision. Donc, ça nécessite un environnement homogène parfait qui mène à un confort visuel. Le but de cette étude est d'atteindre des solutions pratiques en utilisant des programmes de simulation visant à créer un milieu interne qui assure le confort visuel en profitant le maximum de l'éclairage naturel, assurant une distribution régulière d'éclairage naturelle, le respect des normes d'éclairage nécessaires pour chacune de ces compartiments architecturaux avec une distribution régulière des ressources artificielles qui exigent moins de consommation d'énergie. Cela permet la création d'une atmosphère esthétique et procure un confort visuel et psychologique.

Mots clés : Eclairage zénithal, musées, exposition, forme, orientation.

**Abstract:**

Lighting plays a very important role in architectural equipment. It allows the precision of the architectural designs and to achieve a visual and psychological comfort of the users.

In cultural facilities, lighting plays a key role in all stages of its design. The activities, studies and presentations carried in such facilities are directly related to the vision. So, it requires a perfect homogeneous environment that leads to visual comfort. The purpose of this study is to achieve practical solutions using simulation programs aimed at creating an internal environment that ensures visual comfort by taking full advantage of natural lighting, ensuring a regular distribution of natural lighting, respect lighting standards required for each of these architectural compartments with a regular distribution of artificial resources that require less energy consumption. This allows the creation of an aesthetic atmosphere and provides visual and psychological comfort

Key words: daylight, zenithal lighting, exposition, museums, shape, orientation.

ملخص:

تلعب الإضاءة دوراً هاماً في المنشآت المعمارية إذ بإمكانها إضفاء الأهمية على المباني، إذ تمكن من إبراز الأحجام الهندسية من الخارج وتحقيق الراحة البصرية والنفسية لمستخدمي البناية من الداخل في المنشآت الثقافية، تلعب الإضاءة بمختلف مصادرها مكانة مهمة في مختلف مراحل تصميمها، إذ إن النشاطات التي تقام بداخلها من عروض ودراسة لها علاقة مباشرة بحاسة البصر والتي تستدعي بيئة متجانسة مثالية تحقق الرفاهية البصرية.

إن الهدف من هذه الدراسة هو الوصول لحلول عملية باستخدام برامج التشبيه تهدف إلى خلق وسط داخلي يضمن الراحة البصرية والاستفادة القصوى من الإضاءة الطبيعية وضمان توزيعها المنتظم واحترام مقاييس الإضاءة الضرورية لكل جزء من هذه المرافق كما يتوجب التوزيع المنتظم لمصادر الصناعات مع استهلاك أقل قدر من الطاقة مما يمكن من خلق جو فني جمالي ويحقق الراحة البصرية والنفسية. الكلمات المفتاحية: الإضاءة الطبيعية، الإضاءة الراسية، المتاحف، قاعات العرض، الشكل، التوجيه.

Table des matières

1. INTRODUCTION GENERALE :	1
<u>Chapitre 01 : L'éclairage naturel des notions pour la conformation architecturale</u>	
INTRODUCTION	5
1- LUMIERE NATURELLE	5
1.1. DEFINITION DE LA LUMIERE :	5
1.2. SOURCES DE LA LUMIERE :	6
1.2.1. <i>Le ciel</i> :	6
1.2.2. <i>Le soleil</i> :	7
1.3. LUMIERE NATURELLE : NOTIONS FONDAMENTALES (GRANDEURS ET DEFINITIONS)	8
1.3.1- <i>Le flux lumineux</i> :	8
1.3.2- <i>L'exitance M</i> :	8
1.3.3 - <i>L'intensité lumineuse I</i> :	8
1.3.4- <i>La luminance L</i> :	9
1.3.5- <i>L'éclairement E</i> :	9
1.3.6- <i>L'efficacité lumineuse η</i> :	10
1.5. LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DE LA LUMIERE NATURELLE	12
1.6. LES PHENOMENES PHYSIQUES DE LA LUMIERE	13
1.6.1. <i>La diffusion</i>	13
1.6.2. <i>La réfraction</i>	13
1.6.3. <i>Diffraction</i>	13
1.6.4 <i>La réflexion</i>	13
1.7. LES STRATEGIES DE LA LUMIERE NATURELLE	13
1.8. LES COULEURS :	16
1.9. LUMIERE ET ECLAIRAGE :	16
2.L'ECLAIRAGE NATUREL:	16
2.1. <i>Définition de l'éclairage naturel</i> :	16
2.2. <i>Sources de l'éclairage naturel</i>	17
2.3. <i>Sources lumineuses diurnes directes</i>	18
2.4. <i>Types d'éclairage naturel (orientation des sources)</i> :	20
2.5. <i>Éclairage latéral</i> :	20
2.5.1. <i>Type d'éclairage latéral</i>	21
2.5.2. <i>Dimensionnement des ouvertures latérales</i>	23
2.6. <i>Éclairage zénithal</i> :	24
2.6.1. <i>Les différentes techniques d'éclairage zénithal</i> :	25
2.6.2. <i>Systèmes d'éclairage zénithal indirect</i>	26

2.7. L'ECLAIRAGE COMPOSE :	29
2.8. COMMENT CHOISIR LE TYPE D'ECLAIRAGE NATUREL :	29
2.8.1. Orientation des sources :	30
2.8.2. Dispositifs d'ombrage extérieurs :	30
2.9. LES FACTEURS QUI INFLUENCENT L'ECLAIRAGE NATUREL :	31
3.LA NOTION DE L'AMBIANCE :	31
3.1. AMBIANCE LUMINEUSE :	31
3.2. PRINCIPAUX PARAMETRES DE L'AMBIANCE LUMINEUSE :	32
3.3. LA QUALIFICATION D'UNE AMBIANCE LUMINEUSE :	32

Chapitre 02 : Notions fondamentales sur les musées

. INTRODUCTION :	38
1.DEFINITION DE LA CULTURE.....	38
1.1. LES EQUIPEMENTS CULTURELS :	38
1.2. LES TYPES DES EQUIPEMENTS CULTURELS :	39
1.3. LA FONCTION DES EQUIPEMENTS CULTURELS :	39
2. LE MUSEE :	40
2.1. DEFINITION :	40
2.2. LA NAISSANCE DE LA NOTION DE MUSEES	41
LA PERIODE ROMAINE	41
2.3. FONCTION D'UN MUSEE.....	46
2.4. LES DEFERENTS TYPES D'UN MUSEE.....	46
2.5 -LA NOTION D'OUVERTURE ET FERMETURE DES MUSEES.....	50
3. LES PARCOURS MUSEAUX :	51
3.1. DEFINITION DU PARCOURS	51
3.2. LES CATEGORIES DES PARCOURS :	52
3.3. LE PARCOURS ET LEURS EXIGENCES	52
4.1. EXPOSITION PERMANENTE :	55
4.2. EXPOSITION TEMPORAIRE :	56
5. LES TYPES DES ESPACES D'EXPOSITION	57
CONCLUSION	58

Chapitre 03 : L'éclairage naturel dans les musées

INTRODUCTION :	60
1. MUSEE ET LUMIERE :	60

2. IMPLANTATION ET CHOIX DES DISPOSITIFS ET DE LA SOURCE D'ECLAIRAGE.	62
2.1. L'ECLAIRAGE NATUREL	62
2.2. LES DISPOSITIFS D'ECLAIRAGE NATUREL :	65
2.2.1. Dispositifs zénithal :	65
2.2.2- Dispositifs Latéral :	67
3. DIRECTIVES DE CONCEPTION INTERIEURE :	68
4. TECHNIQUES D'ECLAIRAGE ET PROTECTION DES ŒUVRES :	70
4.1. PRESERVATION ET PRESENTATION DES ŒUVRES :	70
4.2. LES MATERIAUX CONSTITUTIFS DES ŒUVRES ET LEUR SENSIBILITE A LA LUMIERE :	72
5. PROTECTION DES ŒUVRES :	73
5.1 MAITRISE DES TECHNIQUES :	73
5.2. LES MOYENS DE PROTECTION :	74
CONCLUSION :	76

Chapitre 04 : Présentation de cas d'étude

INTRODUCTION :	78
1. BIOCLIMAT ET ENSOLEILLEMENT DE LA VILLE DE CONSTANTINE :	78
1.1. SITUATION DE LA VILLE DE CONSTANTINE :	78
1.2. CLASSIFICATION CLIMATIQUE :	79
1.3. ZONES CLIMATIQUES D'ETE :(DIB, MICHEL NADIA. 1993)	79
1.4. ENSOLEILLEMENT :	81
2. PRESENTATION DU MUSEE NATIONAL CIRTA DE CONSTANTINE	82
2.1. HISTORIQUE :	82
2.2. COMPOSITION DU MUSEE :	82
2.3. PRESENTATION PLAN ÉTAGE, ET SES SALLES EXPOSITIONS PERMANENTES :	84
2.4. JARDIN EXTERIEUR :	85
2.5. CONTENU DU MUSEE :	85
2.6. PRESENTATION / EXPOSITION :	86
CONCLUSION :	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
MODES ET DISPOSITIFS D'ECLAIRAGE DU MUSEE NATIONAL CIRTA ..	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
INTRODUCTION :	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
1. MODES ET DISPOSITIFS D'ECLAIRAGE DU MUSEE NATIONAL CIRTA	89
1.1. L'ECLAIRAGE LATERAL :	89
1.2. DIAGNOSTIC DES CONDITIONS D'ECLAIRAGE NATUREL DANS LA GRANDE SALLE.....	92

PRESENTATION DE LA GRANDE SALLE :	92
2- SON ECLAIRAGE NATUREL :	93
.2.1. L'ECLAIRAGE ZENITHAL :	95
: VERRIERE	95
3. FLJ ET METHODES D'EVALUATION DE LA LUMIERE NATURELLE :	96
3.1. METHODE DE PRE- DIMENSIONNEMENT :	96
3.2- METHODE DE CALCUL POINT A POINT :	97
2.3. METHODES D'EVALUATION A L'AIDE DE MAQUETTES :	98
2.4. METHODES DE CALCUL PAR SIMULATION NUMERIQUE :	98
<u>Chapitre 05 : La simulation numérique et l'interprétation des résultats</u>	
1. LA SIMULATION DE L'ECLAIRAGE NATUREL :	100
2. LOGICIEL DE SIMULATION A BASE DE MODELISATION GEOMETRIQUE	101
2.1. LIGHTSCAPE	101
2.2. ADELINÉ	102
2.3. DIA LUX	103
2.4. ECOTECT	103
2.5. GENELUX	104
2.6. RADIANCE :	105
2.7. DS MAX DESIGN	105
2.8. VELUX DAYLIGHT VISUALIZER	105
2.9. DAYSIM	106
2.10. PHANIE	107
2.11 VELUX DAYLIGHT VISUALIZER	107
2.12. LE PLUG-IN DIVA-FOR-RHINO	108
2. OUTILS DE LA SIMULATION :	113
2.1. MODELISATION AVEC RHINOCEROS	113
2.2. SIMULATION DES EFFETS DE L'ECLAIRAGE SOU GRASSHOOPER A L'AIDE DE LADYBUG, HONEYBEE ET DAYSIM.	113
3 .CRITERES DE CHOIX DU LOGICIEL	114
4. PROTOCOLE DE SIMULATION	114
5. ANALYSE DES RESULTATS :	115
5.1. LA FORME PLATE :	115
5.2. LA FORME VOUTE :	117
CONCLUSION GENERALE :	123

Liste des Figures

FIGURE 01: LE RAYONNEMENT SOLAIRE.	6
FIGURE 02 : COMPOSANTES DU RAYONNEMENT SOLAIRE GLOBAL	8
FIGURE03: L'INTENSITE LUMINEUSE.	9
FIGURE 04: L'ECLAIREMENT.	9
FIGURE 05: L'ECLAIREMENT.	10
FIGURE 06: LE FACTEUR DE LUMIERE DU JOUR (FLJ)	12
FIGURE07:REPRESENTE LES QUATRE PHENOMENES PHYSIQUES DE LA LUMIERE.	13
FIGURE 08 : STRATEGIE DE L'ECLAIRAGE NATUREL.	14
FIGURE 09 : LES STRATEGIES DE L'ECLAIRAGE NATUREL.	15
FIGURE 10 : LUMIERE DU JOUR	16
FIGURE 11 : LUMIERE, ECLAIRAGE ET VISION	17
FIGURE 12 : LUMIERE, ECLAIRAGE ET VISION	18
FIGURE 13 : RAYONNEMENT VISIBLE DIRECT.	18
FIGURE 14 : RESUME DE DIFFERENTES PROVENANCES DE LA LUMIERE NATURELLE DANS BATIMENT.	20
FIGURE 15 : LES TYPES D'ECLAIRAGE.	20
FIGURE 16: LES TYPES D'ECLAIRAGE	22
FIGURE 17 : ÉCLAIRAGE BILATERAL	22
FIGURE18: COMPARAISON DE LA REPARTITION DES FACTEURS DE LUMIERE DU JOUR POUR TROIS CONFIGURATIONS DE PRISE DE JOUR EN FAÇADE (PROFONDEUR DU LOCAL = 6 M)	23
FIGURE 19 : OUVERTURE LATÉRALE	24
FIGURE 20 : OUVERTURE ZENITHALE	25
FIGURE 21 : LES DIFFÉRENTES TECHNIQUES D'ECLAIRAGE ZENITHAL.	26
FIGURE 22 : CRITERES D'UNIFORMITE POUR LES SHEDS.	26
FIGURE23 : LES SHEDS ET LANTERNEAUX SOURCE	27
FIGURE 24 : LES SHEDS ET LANTERNEAUX	28
FIGURE25 : COMPORTEMENT DES OUVERTURES VERTICALE ET ZENITHALE.	30

FIGURE 26 : LES FACTEURS QUI INFLUENCENT L'ECLAIRAGE NATUREL.....	31
FIGURE 27 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DE L'AMBIANCE LUMINEUSE	32
FIGURE : 28 INDICATEURS TYPOLOGIQUES D'ÉCLAIRAGE NATUREL.....	33
FIGURE 29 : INDICATEURS TOPOLOGIQUES D'ÉCLAIRAGE NATUREL.....	34
FIGURE 30 : INDICATEURS MORPHOLOGIQUES D'ÉCLAIRAGE NATUREL.....	35
FIGURE 31 : LES TYPES DES EQUIPEMENTS CULTURELS.....	39
FIGURE 32, 33 : LE PORTIQUE ROMAIN, LE FORUM ROMAIN.....	42
FIGURE 34, 35 : GALERIE D'EXPOSITION EN ARCADE, CABINET D'EXPOSITION TRADITIONNELLE.....	42
FIGURE 38, 39, 40 : MUSEE D'ART MODERNE ET MUSEE D'ART CONTEMPORAIN MUSEE D'ART MODERNE ET CONTEMPORAIN AVEC UNE STRUCTURE CONTEMPORAIN (MAMAC)	44
FIGURE 41: MUSEE DES BEAUX-ARTS DE RENNES	47
FIGURE 42: MUSEE D'HISTOIRE NATURELLE DE LILLE	47
FIGURE 43: LE MUSEE DES SCIENCES VALENCE EN ESPAGNE.....	48
FIGURE 44: LE MUSEE DES CULTURES TAURINES DE NIMES.....	48
FIGURE 45: LE MUSEE UNIVERSEL DU LOUVRE, A PARIS	49
FIGURE 47: SEQUENCE VISUELLE ENTRE L'INT/EXT.....	50
FIGURE 48: DES FAÇADES OPAQUES POUR APPELER A VISITER.....	50
FIGURE 49: TYPE A CIEL OUVERT « RUINE ROMAINE DE TIPAZA ».	51
FIGURE 50 : LES CATEGORIES DE PARCOURS.....	52
FIGURE 51 : SCHEMA PRESENTE LES DEFERENTES TYPES DE PARCOURS.....	53
FIGURE 52: PARCOURS DE MUSEE D'ORSAY.....	54
FIGURE 53: BRITISH MUSEUM.....	54
FIGURE 54 : PARCOURS DE MUSÉE GUGGENHEIM NEW YORK.....	54
FIGURE 55: PARCOURS LABYRINTH	55
FIGURE 56 MUSEE DE QUINSON.....	55
FIGURE 57 : L'ANGLE DE VISION.....	56
FIGURE 58 : LE MUSEE D'ART CONTEMPORAIN DE MONTREAL	56
FIGURE 59 : PRESENTE LA REFLEXION DE L'ECLAIRAGE PONCTUEL DANS MUSE E JUIF ...	63
FIGURE 60 : PRESENTE L'ECLAIRAGE ZENITHALE DANS LA SALLE D'EXPOSITION	63

FIGURE 61 : LES LANTERNES DANS LE MUSEE DE JUIF	63
FIGURE 62: COULOIR AVEC ECLAIRAGE EN LUCARNE	64
FIGURE 63: DOME SKYLINE VIEW IN HALL OF MALL	64
FIGURE 64: PYRAMIDE FORME	64
FIGURE 65: REFLEXION DE LA LUMIERE	64
FIGURE 66: PRESENTE L'ECLAIRAGE LATERAL.....	65
FIGURE 67 : <i>VERRIERE DU BRITISH MUSEUM.</i>	65
<i>FIGURES 68, 69. LE DISPOSITIF EN SHED.</i>.....	66
FIGURE 70 : LE DISPOSITIF EN LANTERNEAU.	66
FIGURE 71 : LE Puits de Lumiere du Musee Juif en Allemagne.	66
FIGURE 72 : MUSEE LE QUAI BRANLY, PARIS.	67
(SOURCE : HTTP:// DISPOSITIF.ECLAIRAGE.ARCHI.MUSÉE.FR).....	67
FIGURE 73 : LIGHT SHELF.	67
SOURCE : WIKIPEDIA.....	67
FIGURE 74 : ESPACE LIBRE SANS COLONNE AVEC LA LIBERTE DE DISPOSER LES COLLECTIONS POUR AVOIR UN PARCOURS VOULU	69
<i>SOURCE : WWW.ARCHIDAILY.COM</i>	69
FIGURE 75 : LE DOME EMOUVANT DE L'EGLISE SAN JUAN A MONTERREY, AU MEXIQUE...70	
FIGURE 76 : DIVISION DE LA MASSE PAR LE DECOLLEMENT DE SES PARTIES A L'AIDE DE FENTES LUMINEUSES	70
FIGURE 77 : SITUATION DE LA VILLE DE CONSTANTINE	78
FIGURE 78 : LES ZONES CLIMATIQUES D'HIVER EN ALGERIE	80
FIGURE 79 : LES ZONES CLIMATIQUES D'ETE EN ALGERIE	81
FIGURE 80 : DIAGRAMME SOLAIRE INDIQUANT LA TRAJECTOIRE SOLAIRE	81
FIGURE 81 : PLAN REZ-DE-CHAUSSEE DU	83
FIGURE 82: PLAN DU 1ER ETAGE.....	84
FIGURE 83 : STATUT EN BRONZE MOULURE, STELE DU JARDIN, SCULPTURE.	85
FIGURE 84 : CONTENU DU MUSEE.....	85
FIGURE 85 : VITRINE HORIZONTALE-	86
FIGURE 86 : VITRINE VERTICALE-.....	86
FIGURE 87 : VITRINE MURALE-.....	87

FIGURE 88 : TABLEAUX SUR PANNEAUX EN BOIS	87
FIGURE 89 : MOSAÏQUE D'UNE SCENE DE CHASSE A LA GRANDE SALLE-	88
FIGURE 90 : STATUES (SOURCE : L'AUTEUR) POSEES SUR SOCLES-	88
FIGURE 91 : GRAVURES POSEES AU SOL	89
FIGURE 92 : IMPLANTATION DU MUSEE.....	90
FIGURE 93 : MODELES ET DIMENSIONS DES OUVERTURES –	90
FIGURE 94 : FAÇADE PRINCIPALE DU MUSEE.	91
FIGURE 95 : FAÇADE POSTERIEURE DU MUSEE.....	91
(SOURCE : AUTEUR).....	91
FIGURE 95 : LA GRANDE SALLE, L'ESCALIER -	92
FIGURE 96 : DIMENSIONS DE LA GRANDE SALLE.....	92
FIGURE 97 : PENETRATION DES RAYONS LUMINEUX.....	94
FIGURE 98 : INFILTRATION DES RAYONS DIRECTS.....	94
FIGURE 99 : REPRESENTATION EN PLAN DE LA GRANDE VERRIERE DU MUSEE.	95
FIGURE 100 : COUPE AA SUR DE LA GRANDE VERRIERE DU MUSEE.....	95
FIGURE 101 : AFFICHAGE DES RESULTATS EN PSEUDO-COULEUR OU EN NORMAL AVEC LE MAILLAGE ADAPTATIF DE RADIOSITE	102
FIGURE 102 : PLAN DE TRAVAIL DU LOGICIEL ECOTECT, SOURCE : TRISNAWAN, 2018.	103
FIGURE 103 104: L'IMPORTATION DE FICHIERS DXF. SIMULATION LUMINEUSE DE LA COURSE SOLAIRE.....	104
FIGURE 105 : DISTRIBUTION DE L'ECLAIREMENT A L'INTERIEUR D'UN LOCAL	106
FIGURE 106: LOGICIEL PHANI RENDU EN FAUSSES COULEURS DE L'ECLAIREMENT	107
FIGURE 107 : INTERFACE DE VELUX.....	108
FIGURE 108 : INTERFACE DE RHINOCEROS ET DU PLUG-IN DIVA.....	109
FIGURE 111 : APPLICATION D'UNE COUCHE REFLECHISSANTE SUR LE VITRAGE DE LA VERRIERE	126
FIGURE 112 : PROTECTIONS SOLAIRES POUR LES OUVERTURES SOUS LA VERRIERE	127
FIGURE 113 : DOUBLE PEAU POUR LA VERRIERE AVEC ECLAIRAGE ELECTRIQUE DIRECTIF POUR LES OBJETS D'EXPOSITION	127
FIGURE 114 : CONTROLE DE LA LUMIERE PAR DES REFLECTEURS SOUS LA VERRIERE	128

Liste des Tableaux

TABLEAU 1: QUELQUE NORME D'ECLAIREMENT DANS CERTAINS ESPACES.....	10
TABLEAU 2 :L'EVALUATION DES DEGRES DU FLUX DE LA LUMIERE DU JOUR DANS L'ESPACE INTERIEUR.	11
TABLEAU 03 : LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS DE L'ECLAIRAGE LATERALE.....	24
TABLEAU 04 : LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS DE L'ECLAIRAGE ZENITHALE	27
TABLEAU 05 : LES TYPES DE MUSEE.....	46
TABLEAU 06 : LA NOTION D'OUVERTURE ET FERMETURE DANS LES MUSEES	50
TABLEAU 07 : LES TYPES DE PARCOURS.....	54
TABLEAU 08 : DIRECTIVES SUR L'ECLAIREMENT POUR LES MUSEES.	61
TABLEAU 09 : TYPES D'ECLAIRAGE.....	63
TABLEAU 10 : ÉCLAIRAGE ET PROTECTION DES ŒUVRES SOURCE : LE MILIEU PHYSIQUE ET LE PROJET D'ARCHITECTURE.	72
TABLEAU 11 : LA DOSE D'ECLAIREMENT DE CHAQUE MATERIAU.	74
TABLEAU 12 : COMPARAISON ENTRE LES LOGICIELS DE SIMULATION	111
TABLEAU 13 : PROTOCOLE DE SIMULATION.....	114
TABLEAU 14 : RESULTAT DE SIMULATION.....	115



Introduction générale

1. Introduction générale :

« *L'architecture est le jeu savant, correct et magnifique des volumes assemblés sous la lumière* » (le Corbusier). La lumière est considérée comme l'un des concepts principaux dans l'architecture, c'est une source d'inspiration pour les différentes civilisations et tendances architecturales. La lumière est conçue pour définir l'espace et créer des ambiances, elle relève les volumes, les matériaux, sans elle, les murs, l'ombre et l'identité de l'espace n'existeront pas. L'architecture a la capacité de modeler et moduler les qualités de lumière entrant dans l'espace intérieur, ce qui apporte à chaque fois une ambiance lumineuse différente avec une évaluation subjective. Elle peut être une sensation d'ouverture, de grandeur, de gaieté, de tristesse, etc. Donc, elle est indissociable de l'architecture et de l'art de conception. La lumière est un élément primordial pour créer une ambiance, quels que soit son emplacement, dans l'espace public, elle participe à son attractivité, d'éclairer stratégiquement les espaces pour apporter la sécurité et de mettre en valeur les différents éléments de ses espaces. Dans les équipements publics, la lumière est un élément nécessaire à la vision et fondamentale pour apprécier la forme, la couleur et nous permet d'exercer nos travaux dans des situations de confort visuel. En effet, dans un équipement public à caractère culturel, la lumière est un élément très important dans la présentation des collections, des objets d'arts, de projection et de conservation des espaces. Par ailleurs, un équipement culturel qui contient trop de lumière et mal adaptée, mal placée, mal orientée peut devenir gênante. La maîtrise de la lumière est l'action fondamentale pour préciser le niveau de confort visuel. Indépendamment de son efficacité technique, une lumière qui éblouit, entamant la capacité visuelle et le bien-être. La distribution de lumière doit être étudiée, lorsque l'ambiance lumineuse n'est pas adaptée aux exigences de la tâche et aux aptitudes visuelles du travailleur, elle constitue un facteur supplémentaire de charge, générateur de fatigue visuelle, avec des conséquences sur la santé et la sécurité au travail. Les tâches qui comportent une prise d'information visuelle requièrent donc à la fois une bonne vue et un environnement lumineux adéquat.

Problématique :

L'éclairage est un élément très important dans la présentation des collections et des objets d'art de tout genre dans les musées, mais en même temps il présente un danger réel pour certains objets, car un éclairage intense et continu abîme les couleurs, les tissus, et les peaux.

Le risque d'utilisation de la lumière du jour dans les musées et les expositions du patrimoine culturel est présenté tout au long de cette étude. Bien que la lumière du jour soit une

source d'énergie écologique et durable et parfois aussi une partie intrinsèque de l'œuvre d'art, l'utilisation de l'éclairage naturel peut leur causer des dommages en raison de la difficulté de contrôler sa variabilité.

La problématique qui sera posée dans ce mémoire est de déterminer les caractéristiques des baies adéquates pour une bonne exposition et préservation des objets dans un espace d'exposition d'un musée.

Questions de la recherche :

Comment peut-on optimiser l'éclairage naturel dans les salles d'exposition dans les musées ?

Cette question peut être décortiquée en plusieurs questions secondaires :

- 1- Comment peut-on définir l'orientation favorable pour l'éclairage naturel d'une exposition.
- 2- Quelle forme de baie est adéquate pour une distribution d'éclairage homogène
- 3- Quel est le rapport optimal de la surface de fenêtre / d'espace d'exposition

Hypothèses

Les hypothèses sont les réponses préalables aux questions de la recherche

Alors selon notre lecture de recherche dans ce domaine d'éclairage des travaux déjà faits on peut dire qu'à travers la recherche dans les paramètres des ouvertures on peut optimiser l'éclairage donc :

- Les dimensions de la baie ont un impact sur la quantité de lumière dans l'espace.
- L'orientation influence l'éclairage naturel quantitativement et qualitativement.

Objectifs de la recherche :

Pour confirmer ou infirmer ces hypothèses, une série d'objectifs ont été clairement établis :

- 1- Déterminer un ratio d'ouverture d de l'espace d'exposition pour une bonne présentation d'objet d'art
- 2- Déterminer la bonne orientation de l'espace d'exposition
- 3- Rendre compte de l'efficacité du dispositif zénithal par rapport aux exigences d'une exposition.

- 4- En fonction des résultats obtenus, élaborer des recommandations susceptibles d'améliorer le fonctionnement de l'espace
- 5- - Arriver à des résultats utilisables par les concepteurs pour créer des espaces du même type plus performants et plus efficaces, en matière d'éclairage

Démarche méthodologique :

Afin d'atteindre les objectifs préalablement cités et vérifier les hypothèses proposées dans notre recherche, nous allons préconiser une démarche méthodologique basée sur deux parties :

Dans la première nous présentons le cadre théorique de la recherche qui contient un corpus théorique englobant les notions fondamentales du thème choisi, il est basé sur une recherche bibliographique diversifiée. Cette partie se composera de trois chapitres :

1. Le premier chapitre englobera les différentes connaissances de base sur l'éclairage naturel.
2. Le deuxième chapitre traitera les notions fondamentales de l'architecture des musées.
3. Le troisième chapitre (état de l'art) ciblera l'éclairage naturel des parcours dans l'espace muséal.

La deuxième partie de cette étude portera sur le volet analytique scindé en deux chapitres (le quatrième et le cinquième chapitre).

1. Le quatrième chapitre présentera le cas d'étude « Cas du musée Cirta de Constantine »
2. Le cinquième chapitre donnera les résultats de diagnostic des conditions d'éclairage naturel de l'espace d'exposition dans le cas d'étude avec l'interprétation de ces résultats et leur optimisation.

Dans cette partie, nous avons proposé la simulation numérique à l'aide de logiciel RHINO max design comme une méthode pour analyser le confort visuel dans un musée, en prenant « musée Cirta de Constantine » comme un cas d'étude dans cette recherche, afin de ressortir les recommandations (les stratégies) qui régissent le domaine de l'éclairage naturel dans les musées



Chapitre 01 :
L'éclairage naturel des notions pour
la conformation architecturale

Introduction

Ce chapitre traitera essentiellement deux parties, la première concernera les notions fondamentales de l'éclairage naturel, et caractéristiques des baies, pour chaque mode d'éclairage naturel (zénithal et latéral).

Une deuxième partie sur la source de l'éclairage naturel est essentiellement le soleil. Les constructions qui abritent l'homme sont essentiellement opaques et limitent l'effet de la luminosité du ciel. Il importe donc de connaître les conditions dans lesquelles des baies transparentes ou translucides permettent de répondre aux différents besoins en lumière naturelle à l'intérieur des espaces, qui influent sur les choix architecturaux, et conditionnent donc dans une certaine mesure le parti architectural, à retenir pour la construction, et dans ce cas, il demeure nécessaire d'apprendre les notions fondamentales, grandeurs et les données de base inhérentes à la lumière naturelle.

L'éclairage naturel est essentiellement variable, il l'est dans le temps ; dans l'espace. Puisque la variabilité et l'hétérogénéité de l'éclairage naturel sont nécessaires à l'homme pour se situer dans le temps. Mais à notre aire en éclairage, comme dans d'autres domaines, les techniques artificielles ont pour objet de créer ou d'assurer un milieu constant et homogène ; par commodité, le monde moderne a tendance à se reposer sur cette facilité et à abandonner l'éclairage naturel.

Cependant, cette tendance à l'artificiel n'a pas beaucoup influencé sur l'avancement dans la recherche pour la lumière naturelle de façon à répondre aux besoins spécifiques de chaque espace intérieur. Car les dispositifs et moyens de contrôle de la lumière naturelle ont beaucoup ces dernières décennies, une meilleure compréhension du comportement de la lumière dans le milieu physique, le comportement des différents matériaux face à la lumière, ainsi que la technologie, a permis de concevoir des dispositifs permettant de tirer profit de la lumière naturelle en éliminant ou du moins en réduisant considérablement ses effets indésirables.

1- Lumière naturelle

1.1. Définition de la lumière :

La lumière correspond aux radiations électromagnétiques visibles par l'œil humain, c'est-à-dire aux longueurs d'onde comprises entre 380 et 780 nm. Sans la lumière, nous ne pouvons voir, mais la lumière n'est pas visible en elle-même. Elle ne l'est que grâce aux surfaces qui la réfléchissent (Lipinski & al, 2014)

La lumière naturelle est un concept aussi large. Elle est l'ensemble des rayons solaires capable de rendre notre univers visible. Le soleil comme principale source, nous offre par l'intermédiaire du mouvement de la terre tout autour, une quantité importante de lumière pendant la journée. L'acte d'utiliser cette lumière d'une manière savante renvoie à l'éclairage naturel.

La lumière naturelle est la partie visible du rayonnement énergétique provenant du soleil. Sa disponibilité dépend de nombreux paramètres dont la position du soleil et la couverture nuageuse. La distribution de la lumière naturelle provenant du soleil et de la voûte céleste peut être modélisée par différents types de ciel

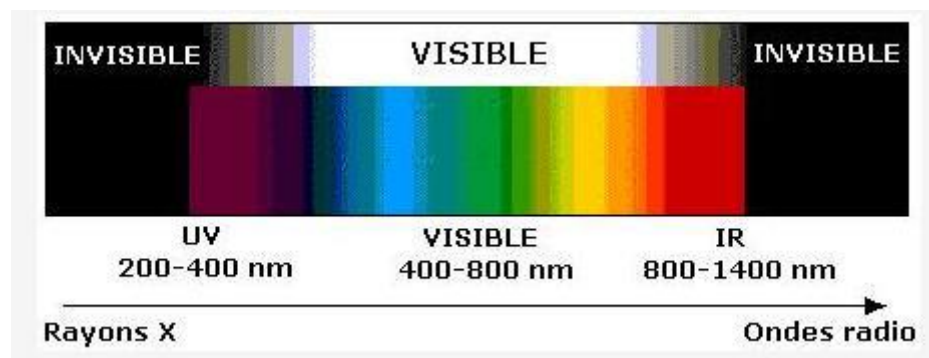


Figure 01: Le rayonnement solaire.

Source <http://outilssolaires.com>

1.2. Sources de la lumière :

En éclairage naturel, on considère deux sources, le soleil (rayonnement direct) et le ciel (rayonnement diffus). Les luminances, les éclairements et la répartition spectrale varient dans la journée en fonction de la position du soleil, mais également de la couverture nuageuse qui est un élément aléatoire (Lipinski & al, 2014).

1.2.1. Le ciel :

Le ciel ne produit pas de la lumière il modifie par réflexion ou par réfraction le rayonnement diffusé d'une source primaire (le soleil). En effet, la lumière reflétée du ciel se propage dans toutes les directions, génère peu d'éblouissement et ne provoque pas de surchauffe, mais elle peut être considérée comme insuffisante dans de nombreux cas. Face à la multitude de conditions météorologiques existantes, quatre types de ciels ont été établis pour les études d'éclairement :



Figure 4:Les types de ciels.

Source : (Reiter & De Herde, 2004) .

1.2.2. Le soleil :

Le soleil est la seule source du rayonnement visible direct, défini 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, il transforme une partie de son énergie nucléaire en énergie lumineuse qui peut éclairer tout l'univers (figure). Cette lumière diffusée peut générer un éblouissement ou provoquer de surchauffe les espaces exposés

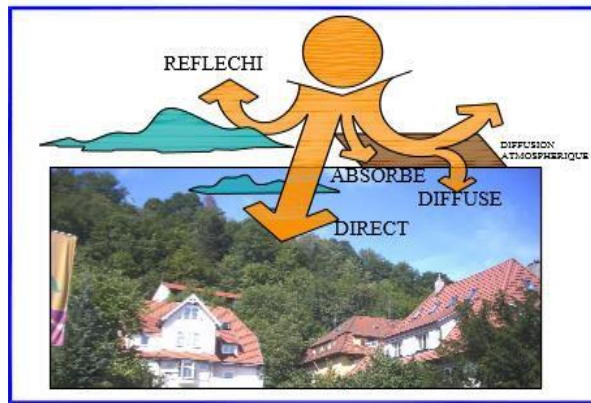


Figure 02 : composantes du rayonnement solaire global

Source : Guide de l'énergie solaire passive

1.3. Lumière naturelle : Notions fondamentales (Grandeurs et définitions)

1.3.1- Le flux lumineux :

Est une grandeur photométrique dérivée du flux énergétique en tenant compte de la sensibilité spectrale de l'œil humain. Celle-ci s'exprime par la notion d'équivalence énergétique de la lumière qui varie avec sa longueur d'onde. Le flux lumineux, noté Φ , s'exprime en *lumen (lm)* ; il caractérise un faisceau lumineux, indépendamment de sa source. Dans un milieu transparent, le flux lumineux est constant tout au long du faisceau lumineux.

1.3.2- L'exitance M :

Appelée autrefois émittance, d'une source lumineuse en un point d'élément de surface (dS), est le quotient du flux lumineux élémentaire $d\Phi$ rayonné par cet élément de surface dans toutes les directions : $M = d\Phi / dS$. L'Exitance s'exprime en *watt par mètre carré (W/m²)*.

Pour une source secondaire, c'est-à-dire une source qui n'éclaire qu'en renvoyant la lumière

1.3.3 - L'intensité lumineuse I :

D'une source lumineuse ou d'un faisceau lumineux est le quotient du flux lumineux émis dans une direction au travers d'un angle solide donné par la mesure de cet angle

$$d : I = d\Phi / d\Omega$$

Elle s'exprime en *candela (cd)* ou *lumen par stéradian (lm/sr)*. (- TAREB , Éclairage naturel. (Énergie Confort et Bâtiments)

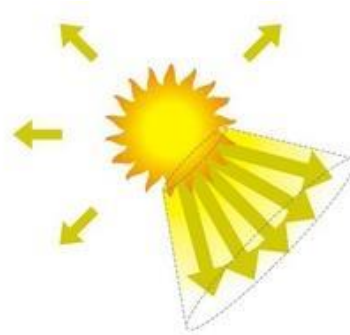


Figure03: L'intensité lumineuse.

Source: Architecture et Climat - Place du Levant, 1-1348 Louvain-la-Neuve

1.3.4- La luminance L :

S'exprime aussi bien pour un élément de surface réel dA de source que pour un élément de surface immatériel traversé par un faisceau lumineux. Elle n'a de sens que pour une direction donnée, définie en direction par l'angle α que fait la direction moyenne du faisceau avec la normale à l'élément de surface, et définie en extension par un élément d'angle solide d :

$L = dI / dA \cos \alpha$. Elle s'exprime en candela par mètre carré (cd/m^2), autrefois appelé nit (nt)

1.3.5- L'éclairement E :

En un point d'aire d d'une surface est le quotient du flux lumineux qu'elle reçoit par son aire l'éclairement s'exprime en lux (lx) ou lumen par mètre carré (lm/m^2). Il résulte de cette définition que l'éclairement d'une surface réceptrice est un phénomène additif : on pourra calculer indépendamment les effets sur une même surface de deux sources et en additionner les résultats. Dans la réalité, c'est bien ce que l'on constate : deux sources voisines additionnent leurs effets. Dans les calculs, on mettra à profit cette propriété en utilisant des valeurs algébriques : une source lumineuse étendue, mais d'aire complexe, pourra toujours être décomposée en une série d'aires élémentaires simples, positives et négatives.



Figure 04: L'éclairement.

Source : Architecture et Climat - Place du Levant, 1-1348 Louvain-la-Neuve

Tableau 1: Quelque norme d'éclairément dans certains espaces

Source : (Campion, 1999-2015)

L'espace	La norme
Paysage sous la pleine Lune	$E = 0,2$
Eclairément pour une lecture confortable	$E = 100 \text{ à } 200 \text{ lux}$
Eclairément pour une vision finie des couleurs (exemple : salle de dessin)	$E = \text{quelques } 102 \text{ lux}$
Eclairément en extérieur sous un ciel gris	$E = 1000 \text{ lux}$
Eclairément sous scialytique (salle d'opération)	$E = 3000 \text{ lux}$
Paysage sous le Soleil d'été au max	$E = 10000 \text{ lux}$
Eclairéments en intérieurs	$E = 100000 \text{ lux}$

1.3.6- L'efficacité lumineuse η :

Ou rendement lumineux d'une source est le quotient de son flux lumineux Φ par sa puissance P. Elle s'exprime **lm/W**. $\eta = \Phi/P$ (**lm/W**) . La puissance P d'une source de lumière naturelle correspond à son flux énergétique (la puissance rayonnée par cette source). La puissance P d'une source de lumière artificielle est la puissance électrique consommée¹

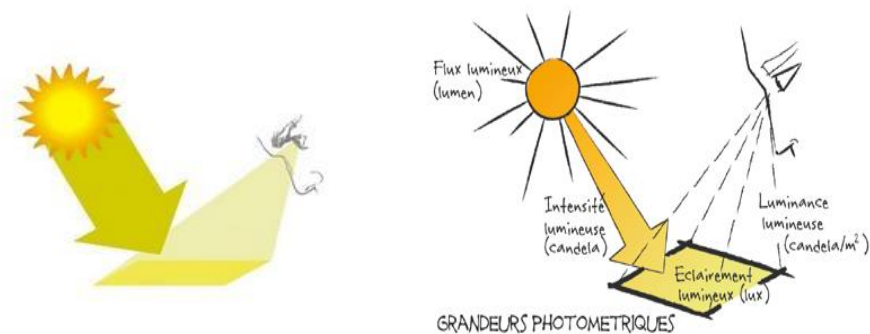


Figure 05: L'éclairément.

Source : Architecture et Climat - Place du Levant, 1-1348 Louvain-la-Neuve

1.4. Le facteur de lumière du jour (FLJ)

le rapport de l'éclairage naturel reçu en ce point à l'éclairage extérieur simultané sur une surface horizontale en site parfaitement dégagé, par ciel couvert. Ces deux valeurs d'éclairage sont dues à la lumière reçue d'un même ciel dont la répartition des luminances est supposée ou connue, la lumière solaire directe en étant exclue. Le FLJ s'exprime en %*(TAREB , Éclairage naturel. Énergie Confort et Bâtiments).

Tableau 2 :L'évaluation des degrés du flux de la lumière du jour dans l'espace intérieur.

Source : (Énergie+, 2004)

Facteur de lumière du jour	Moins de 1%	de 1% à 2%	de 2% à 4%	de 4% à 7%	de 7% à 12%	Plus de 12%
	Très Faible	Faible	Modéré	Moyen	Elevé	Très Elevé
Zone considérée	Zone éloignée des fenêtres (distance supérieure à 3 fois la hauteur de la fenêtre).			Zone à proximité des fenêtres ou sous des lanternaux		
Impression de clarté	Sombre à peu éclairé		Peu éclairé à Clair		Clair à très clair	
Remarques	Convient aux zones de circulation, stockage etc.		Convient aux locaux de travail		Attention aux éblouissements	
Impression visuelle	Cette zone-----semble être séparée-----de cette zone					
Ambiance	Le local semble être refermé sur lui-même			Le local s'ouvre vers l'extérieur		

L'éclairage naturel (et donc le FLJ) est constitué de 3 composantes (Helpendoc, s.d) :

- Composante directe du ciel : éclairage provenant directement de la partie visible du ciel;
- Composante réfléchie extérieure : éclairage parvenant au point par réflexion sur les façades ;
- Composante réfléchie intérieure : éclairage parvenant au point par réflexion sur les faces intérieures

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

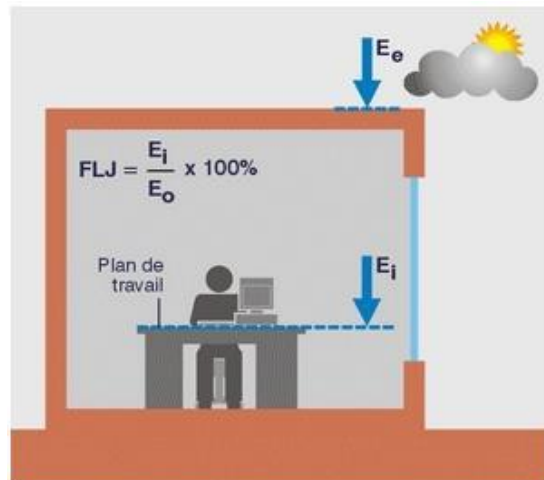


Figure 06: Le Facteur de Lumière du Jour (FLJ)

source : https://sites.uclouvain.be/eclairage-naturel/guide_grandeurs.htm#ancree02. Le 30.4.2020 a 11.00

Sous les conditions de ciel couvert, les valeurs du facteur de lumière du jour sont indépendantes de l'orientation des baies vitrées, de la saison et de l'heure. Elles donnent ainsi une mesure objective et facilement comparable de la qualité de l'éclairage à l'intérieur d'un bâtiment. Les valeurs du FLJ d'un local peuvent alors être comparées aux valeurs de FLJ minimum de référence. Cependant, le FLJ ne permet pas de voir immédiatement si les niveaux d'éclairage recommandés pour une tâche visuelle sont atteints.

Cela étant, une fois qu'on connaît le facteur de lumière du jour en un point d'un local, on peut calculer l'éclairage atteint en ce point, à n'importe quel moment de l'année, sous des conditions de ciel couvert, à partir de l'éclairage horizontal extérieur. (energieplus.2019)

1.5. Les caractéristiques physiques de la lumière naturelle

Dans la notion de caractéristique de lumière on peut dit généralement que :(Freebox. e .m .c.2 , s.d)

- La lumière est une onde. La grandeur qui se propage est un champ électromagnétique ;
- La lumière peut se propager dans le vide et dans la matière ;

Dans le vide et dans les milieux homogènes, la lumière se propage en ligne droite. Les rayons lumineux sont des segments de droite.

1.6. Les phénomènes physiques de la lumière

1.6.1. La diffusion

La surface absorbe la lumière et diffuse une partie des longueurs d'onde dans toutes les directions ; une surface blanche réfléchit l'ensemble des longueurs d'ondes de visibles ; une couleur les longueurs d'onde correspondre aux cette couleur.

Si la surface est un miroir les réfléchit aura les mêmes angles que le rayant incident.

1.6.2. La réfraction

Changement de la direction de propagation d'une onde électromagnétique ou acoustique passante d'un milieu dans un autre.

1.6.3. Diffraction

Désigne le phénomène par lequel les rayons lumineux issus d'une source ponctuelle sont divisés de leur trajectoire rectiligne. La lumière qui passe par l'embrasseur d'une porte une fenêtre dans un mur, ou encore l'interstice entre le toit et le mur subit ainsi une diffraction.

1.6.4 La réflexion

Lorsque la lumière atteint un nouveau milieu, une partie est réfractée tandis que l'autre partie est renvoyée dans le premier milieu: on dit que cette lumière subit une réflexion.

(Franck, 2012).

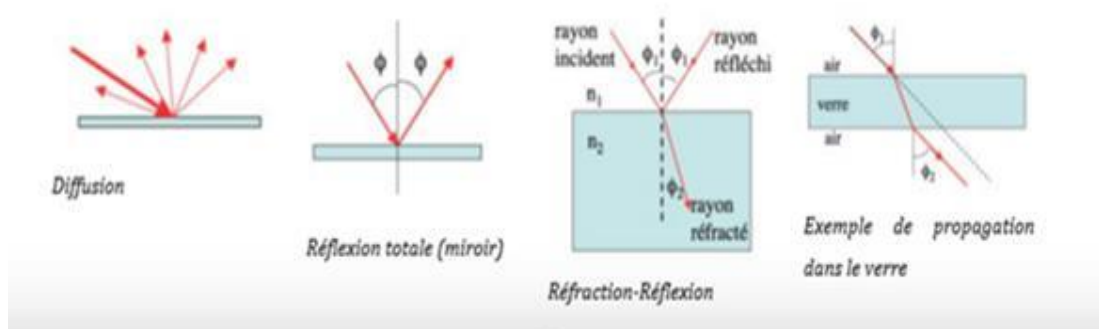


Figure07:Représente les quatre phénomènes physiques de la lumière.

Source :(Demaria, 2012)

1.7. Les stratégies de la lumière naturelle

La stratégie de la lumière naturelle est l'étude de la relation entre la lumière naturelle et le bâtiment selon des concepts destinés à favoriser la meilleure utilisation possible de la lumière (Reiter & De Herde, 2004). Cette stratégie vise à mieux capter et faire pénétrer la lumière

naturelle, puis à mieux la répartir et la focaliser. On veillera aussi à contrôler la lumière pour éviter l'inconfort visuel voir les deux figures ci-dessous (Liébard & De Herde, 2006)



Figure 08 : Stratégie de l'éclairage naturel.

Source : (Liébard & De Herde, 2006).

L'intérêt de la lumière naturelle pour la performance énergétique du bâtiment, la santé et le bien-être de ses occupants s'impose progressivement comme une évidence. Pourtant, la prise en compte de la lumière naturelle dans la conception des bâtiments. (Jean-Pierre, 2012).

Capter :

- Une partie de la lumière du jour est transmise par les vitrages à l'intérieur du bâtiment. La quantité de lumière captée dans un local dépend de la nature et du type de paroi vitrée, de sa rugosité, de son épaisseur et de son état de propreté.

Pénétrer :

- La pénétration de la lumière dans un bâtiment produit des effets de lumière très différents non seulement suivant les conditions extérieures (type de ciel, trouble atmosphérique, saison, heure du jour et dégagement du site) mais aussi en fonction de l'emplacement, l'orientation, l'inclinaison, la taille et le type des vitrages. L'éclairage latéral fournit une lumière dirigée, qui souligne généralement le relief, mais limitée en profondeur, contrairement à l'éclairage zénithal qui est beaucoup plus uniforme, mais possible qu'au dernier niveau des bâtiments.

Répartir :

- La lumière se réfléchit d'autant mieux sur l'ensemble des surfaces intérieures des locaux que le rayonnement ne rencontre pas d'obstacles dus à la géométrie du local ou au mobilier, et que les revêtements des surfaces sont mats et clairs. Elle peut également être diffusée par le type même du vitrage utilisé (translucide) ou par des systèmes de réflecteurs, qui permettent à la lumière de gagner le fond du local .

Protéger et contrôler :

- La pénétration excessive de lumière naturelle peut être une cause de gêne visuelle (éblouissement, fatigue). Elle peut se contrôler par la construction d'éléments architecturaux fixes (surplombs, bandeaux lumineux ou lightshelves, débords de toiture, etc.) associés ou non à des écrans mobiles (marquises, volets, persiennes ou stores) .

Focaliser :

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

Figure 09 : les stratégies de l'éclairage naturel.

Source : (Liébard & De Herde, 2006)

Appelé coefficient de réflexion hémisphérique, se décomposent en facteur de réflexion spéculaire et facteur de réflexion diffuse.

1.8. Les couleurs :

Comme la lumière est composée de plusieurs couleurs, une partie d'entre elles peut-être réfléchi, et l'autre partie absorbée. Si toutes les couleurs sont réfléchies, l'objet est de couleur blanche. Si aucune n'est réfléchi (donc toutes les couleurs sont absorbées), l'objet est noir.

Si un objet absorbe toutes les couleurs sauf par exemple le rouge, votre œil verra la couleur rouge réfléchi et vous direz que l'objet est rouge. La lumière qui est absorbée sera naturellement transformée en chaleur : c'est pourquoi, en été, les objets foncés sont plus chauds que les objets clairs, car ils absorbent toutes les couleurs (figure 10)

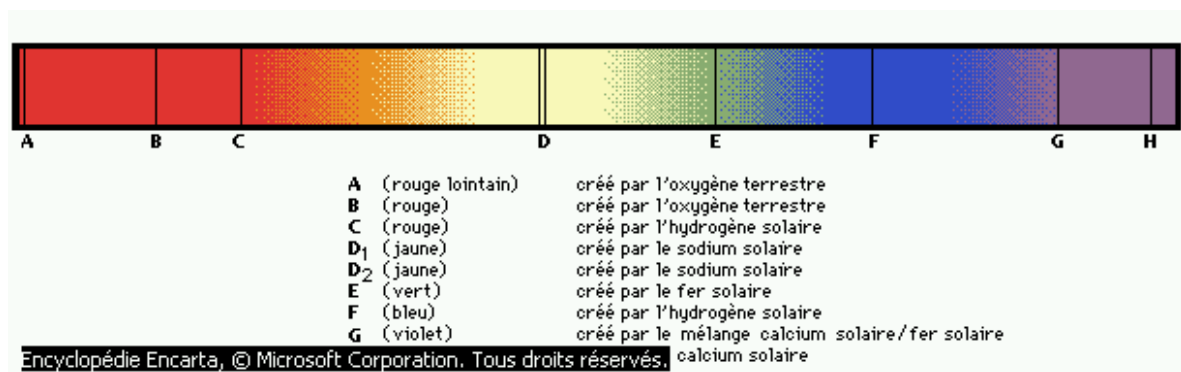


Figure 10 : Lumière du jour

(Source : Encyclopédie Encarta 2009)

1.9. Lumière et éclairage :

Dans beaucoup d'esprits, il y a encore une confusion entre les termes lumière et éclairage ; on assimile trop facilement la lumière a naturel et l'éclairage a artificiel, la réalité est tout autre : la lumière est une source d'énergie qu'il faut maîtriser. L'éclairage représente cette maîtrise de la lumière, qu'elle soit naturelle ou artificielle (Ezrati J.-J. , 2007) .

2.l'éclairage naturel:

2.1. Définition 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»)

Si le soleil est la source mère 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.(MUDRI, 2002)

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 nous citerons

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»

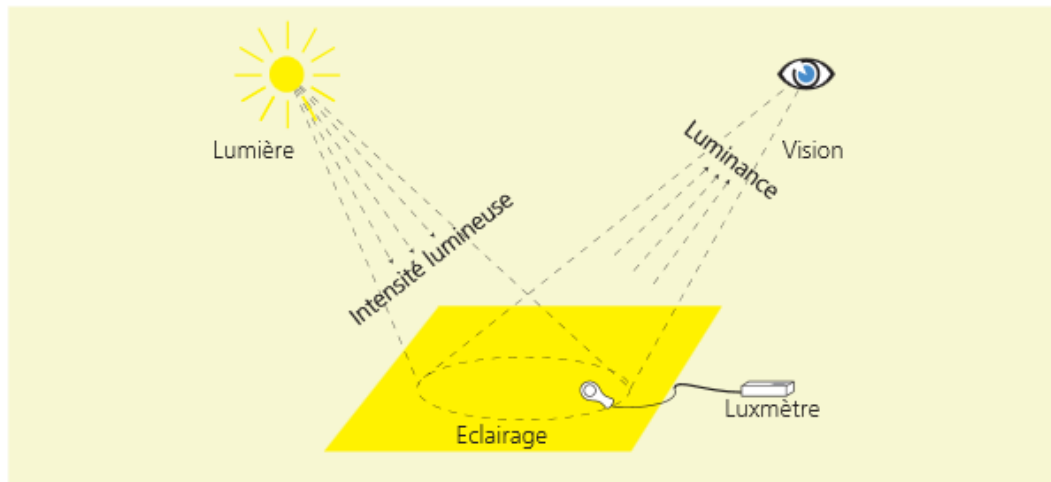


Figure 11 : Lumière, éclairage et vision

Source : Stefán Gasser, Daniel Tschud L'éclairage intérieur – efficacité énergétique

2.2. Sources de l'éclairage naturel

Avant de répertorier les sources de l'éclairage naturel, voyons d'abord la définition du mot «source». Du point de vue de la physique, une source est «un convertisseur qui transforme une énergie en un rayonnement», 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 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.

Ainsi, nous avons classé les sources de la lumière diurne en deux catégories:

Les sources directes et les sources indirectes.

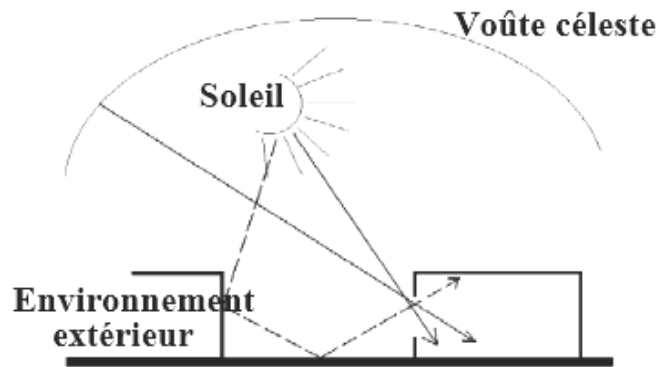


Figure 12 : Lumière, éclairage et vision

Source: A. BELAKHAL et K. Tabet AOUL, 2003

2.3. 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

-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. Le Soleil est une source primaire de la lumière naturelle diurne et il est à l'origine du rayonnement visible direct appelé «lumière solaire».

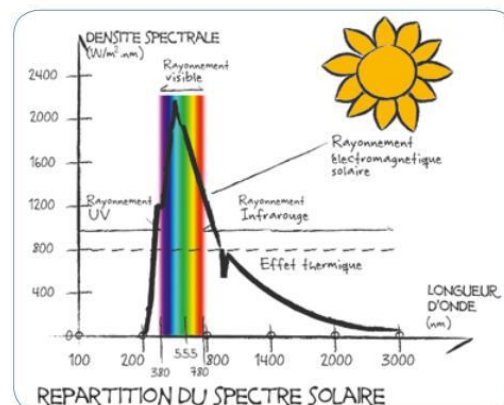


Figure 13 : Rayonnement visible direct.

Source A. DE HERDE & al.[www-energie.arch.ucl.ac.be]

La lumière naturelle est la partie visible du rayonnement électromagnétique provenant du soleil les longueurs d'onde de son spectre s'étendent de 380 à 780 nanomètres pour la vision diurne.

La composition du rayonnement énergétique global est variable sur la planète et au cours de l'année, elle varie également selon les sources. En première approximation, on peut dire que répartition est d'environ la moitié de rayonnement visible et l'autre moitié de non-visible.

Néanmoins, on peut trouver des données chiffrées :

- 51 % de visible et 49 % de non-visible. [Association Française de l'Éclairage, 1983]
- 48 % de visible et 52 % de non-visible

-Sources secondaires

Une «source secondaire» est une source de lumière qui n'est visible que lorsqu'elle est éclairée par une source primaire.

(Microsoft Corporation.2004) 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.

Selon J. BELL et W. BURT: «la lumière du ciel est la partie de l'irradiation solaire qui atteint la surface terrestre et qui résulte de la diffusion par l'atmosphère». (Microsoft Corporation.2004)

L'avantage de la lumière diffuse du ciel est qu'elle est disponible dans toutes les directions, suscite peu d'éblouissement et ne provoque pas de surchauffe. Elle crée peu d'ombres et de très faibles contrastes, mais elle peut être considérée comme insuffisante dans de nombreux cas notamment sous les conditions du ciel couvert en hiver.

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)

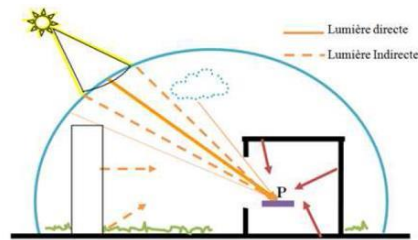


Figure 14 : Résumé de différentes provenances de la lumière naturelle dans bâtiment

Source : www-energie.arch.ucl.ac.be

2.4. Types d'éclairage naturel (orientation des sources) :

Il existe plusieurs types d'éclairage de la lumière naturelle en architecture, cette diversité existe grâce à la diversité des techniques de construction due au progrès technique et technologique. La position et la répartition des sources primaires ou directes déterminent le type d'éclairage d'un local : latéral, zénithal ou composé. Chaque type d'éclairage est à l'origine d'un certain nombre d'effets qu'il convient de connaître pour une bonne anticipation des inconvénients qu'il comporte et une meilleure maîtrise des qualités d'ambiance lumineuse du projet d'architecture. Ces types repartis comme l'illustre la figure suivante :

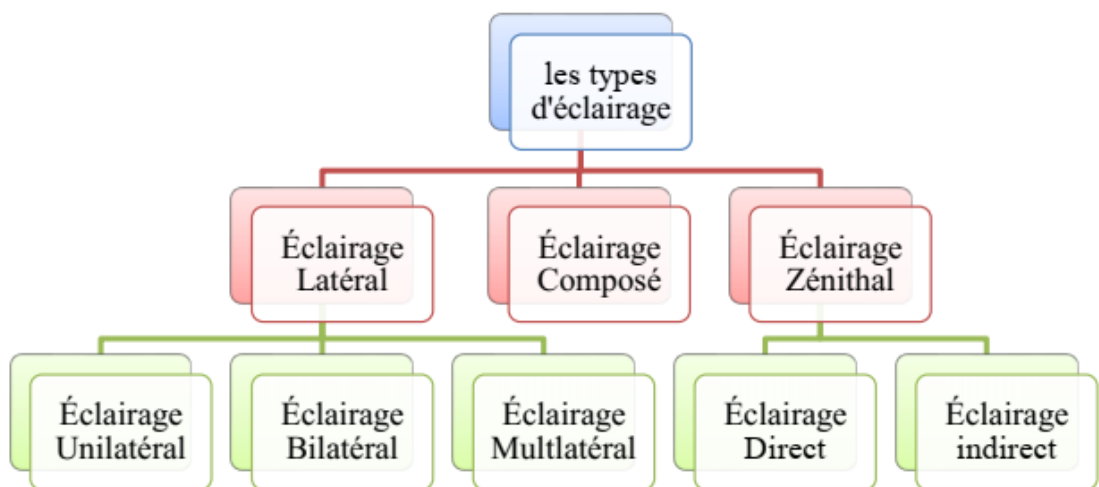


Figure 15 : Les types d'éclairage.

Source : www-energie.arch.ucl.ac.be

2.5. Éclairage latéral :

L'éclairage latéral est le type d'éclairage naturel le plus ancien historiquement et aussi le plus utilisé, car il répond facilement aux exigences et contraintes physiques, voire structurel et

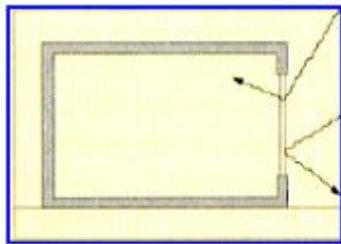
climatique, du bâtiment. Aussi ce type d'éclairage satisfait trois besoins fondamentaux (confort, lumière, vue et ventilation).

Les baies assurant cet éclairage latéral sont souvent intégrées avec des dispositifs de protection solaire et qui permettaient de réduire les risques d'éblouissement, par une transformation du flux lumineux direct en une lumière réfléchiée le plus souvent par le sol.

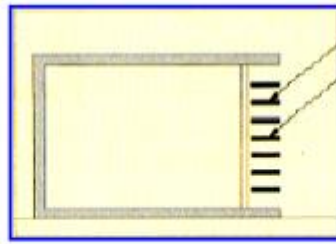
Outre l'éblouissement, l'éclairage latéral est souvent associé à des effets de contraste et de contre-jour, qui sont appelés à être diminués dans la mesure du possible par le choix d'orientation des locaux selon leurs fonctions de l'utilisation, ainsi par la disposition des baies sur les parois de la façade (disposition en coins), assurant un éclairage indirect à l'intérieur des espaces.

Aujourd'hui, l'emploi de l'éclairage latéral dans de grands immeubles de bureaux

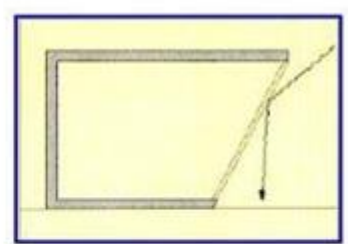
consiste à maximiser le potentiel d'éclairage indirect tout en garantissant une protection solaire suffisante et une diminution des risques d'éblouissement. Pour ce faire, il est toujours possible de jouer sur le coefficient de transmission des vitrages (vitres teintées ou translucides)



Verres et dispositifs spéciaux



Brises soleil



Vitrage incliné

Source : 1, 2, 3 Dr BENZERZOUR Mohammed, 2006, Cours sur les dispositifs architecturaux de régulation de la lumière naturelle (répertoire des dispositifs de modulation de la lumière naturelle

2.5.1. Type d'éclairage latéral

- -Éclairage unilatéral

Il s'agit d'un éclairage fourni par une ou plusieurs ouvertures verticales disposées sur une même façade d'une orientation donnée. Cette disposition permet de réaliser des effets de relief et des harmonies de contrastes. L'inconvénient que présente ce type de système d'éclairage naturel est la possibilité d'ombres gênantes, dû es aux allèges par exemple , surtout si les parois

du local sous ombre. Mais le défaut majeur est que l'éclairage intérieur résultant est très peu uniforme, car il est fortement influencé par la profondeur du local.



Figure 16: Les types d'éclairage

Source Dr BENZERZOUR Mohammed, 2006, Cours sur les dispositifs

- **-Éclairage bilatéral**

L'éclairage bilatéral consiste à avoir des ouvertures verticales sur deux murs, soit parallèles, soit perpendiculaires, d'un même local

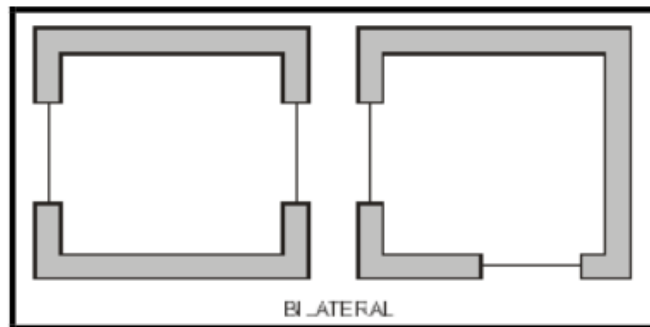


Figure 17 : Éclairage bilatéral

Source : Dr BENZERZOUR Mohammed, 2006, Cours sur les dispositifs

L'éclairage multilatéral présente de nombreux avantages, notamment:

- favoriser la ventilation naturelle transversale des pièces en la doublant ou en la triplant.
- Les ouvertures réduisent les ombres denses et augmentent les contrastes à l'intérieur des pièces.
- Les ouvertures réduisent le risque d'éblouissement du ciel en augmentant l'éclairement des murs de fenestration. Mais il présente certaines contraintes dont la plus importante consiste à augmenter les risques de surchauffe en période estivale ainsi que les déperditions de chaleur en période hivernale.

2.5.2. Dimensionnement des ouvertures latérales

Pour le cas d'un éclairage latéral, la surface du vitrage nécessaire pour procurer un facteur de lumière de jour ciblé dépend principalement de:

- La transmittance lumineuse du vitrage.
- L'étendue des obstacles extérieurs.
- La taille et la forme de l'intérieur du local.
- La réflectance des surfaces internes. La formule suivante, donnée par le B.R.E, permet une

évaluation approximative de la surface vitrée nécessaire pour procurer un facteur de lumière du jour moyen désiré.

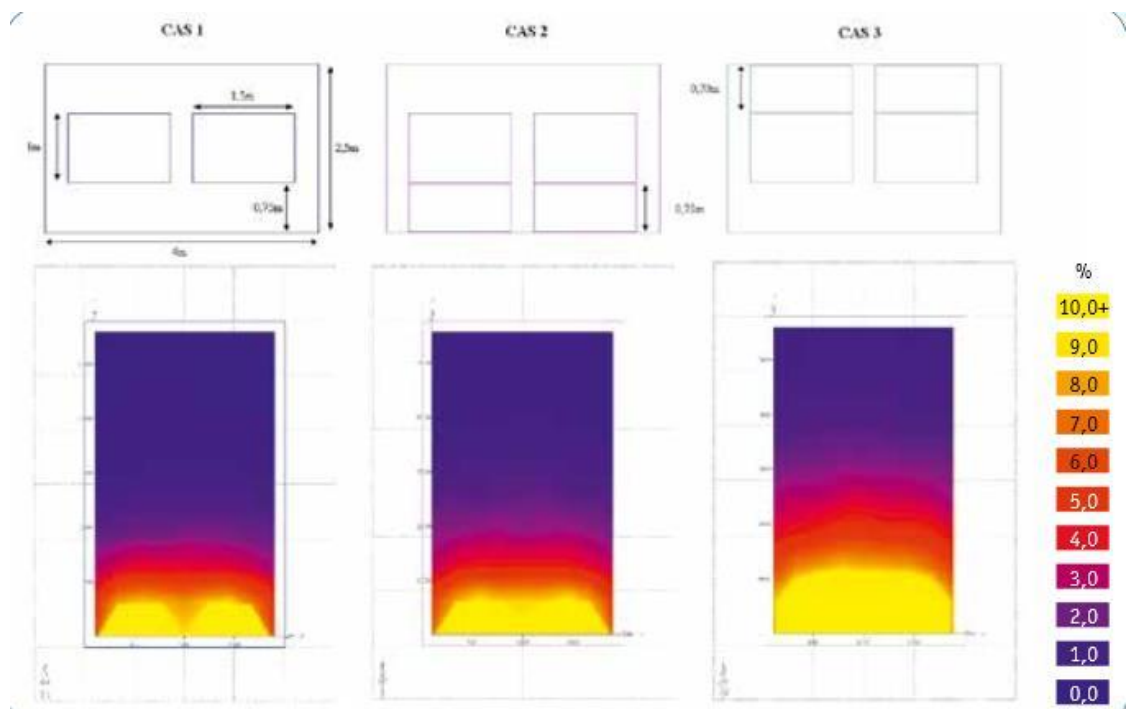


Figure 18: Comparaison de la répartition des facteurs de lumière du jour pour trois configurations de prise de jour en façade (profondeur du local = 6 m)

Source : Dr BENZERZOUR Mohammed, 2006

-paramétrés influençant l'éclairage latéral

Plusieurs paramètres influencent l'éclairage naturel latéral, à savoir: la forme des ouvertures, leur position, la surface vitrée (taille) ainsi que les obstructions extérieures

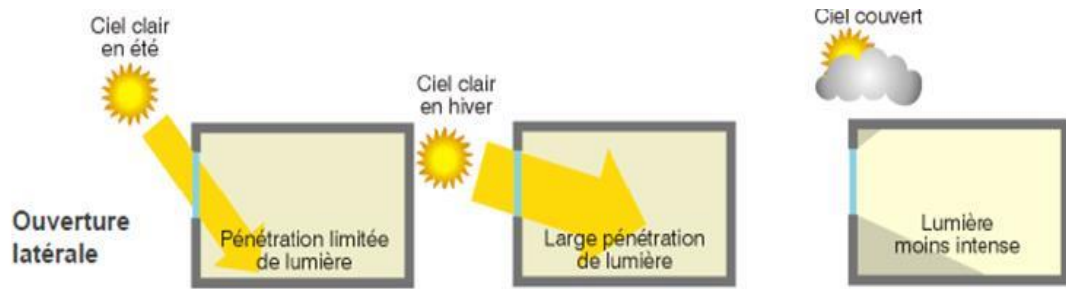


Figure 19 : Ouverture latérale

Tableau 03 : les avantages et les inconvénients de l'éclairage latérale

Principe	Avantages	Inconvénients	Mise en œuvre
Apport de lumière naturelle par une ouverture donnant sur un espace bénéficiant de lumière du jour directement depuis l'extérieur.	Permet de créer une impression de lumière naturelle dans un local privé de premier jour et de le faire bénéficier de la dynamique de la lumière naturelle.	N'offre pas (ou rarement) de vue sur l'extérieur. Ne permet pas d'obtenir des niveaux d'éclairage suffisants pour effectuer une tâche visuelle.	Dispositif adapté aux locaux à occupation passagère par exemple les circulations ou les espaces reprographie. Ou encore locaux avec premier jour éclairé en fond de pièce par une circulation adjacente.

2.6. Éclairage zénithal :

L'éclairage naturel", fiche pratique de sécurité, Paris: ED 82, Travail et Sécurité 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. Si la profondeur du bâtiment par exemple est importante par rapport à la hauteur du local, l'éclairage zénithal sera indispensable afin d'assurer une distribution uniforme des éclairages intérieurs.

Mais que cette technique demande de grandes exigences qui doivent prendre en Compte simultanément quatre impératifs majeurs qui sont les suivants:

1. Il faut assurer un éclairage naturel suffisant dans les locaux de moyenne et de grande hauteur. Pour atteindre cet objectif, la surface des parties transparentes ou translucides est l'élément essentiel.

2. Il faut éviter les effets négatifs de l'éblouissement et du rayonnement solaire direct.

3. Il faut prévoir le nettoyage intérieur et extérieur dans des conditions de sécurité satisfaisante par un choix approprié des matériaux (vieillessement, résistance...) et des accès aux faces intérieures et extérieures.

4. Enfin, il faut assurer l'évacuation des fumées en cas d'incendie. La surface minimale des exutoires de fumée doit être de 1 % de la surface du local et ne doit pas être située exclusivement sur la toiture

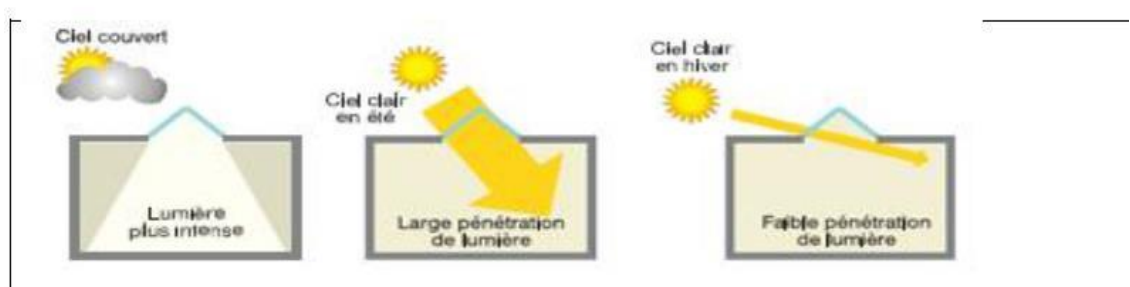


Figure 20 : Ouverture zénithale

Source : (INRS, 2012)

2.6.1. Les différentes techniques d'éclairage zénithal :

Les différentes solutions techniques (sheds, puits de lumière, verrières...) décrites sont classées de la plus satisfaisante à la moins favorable

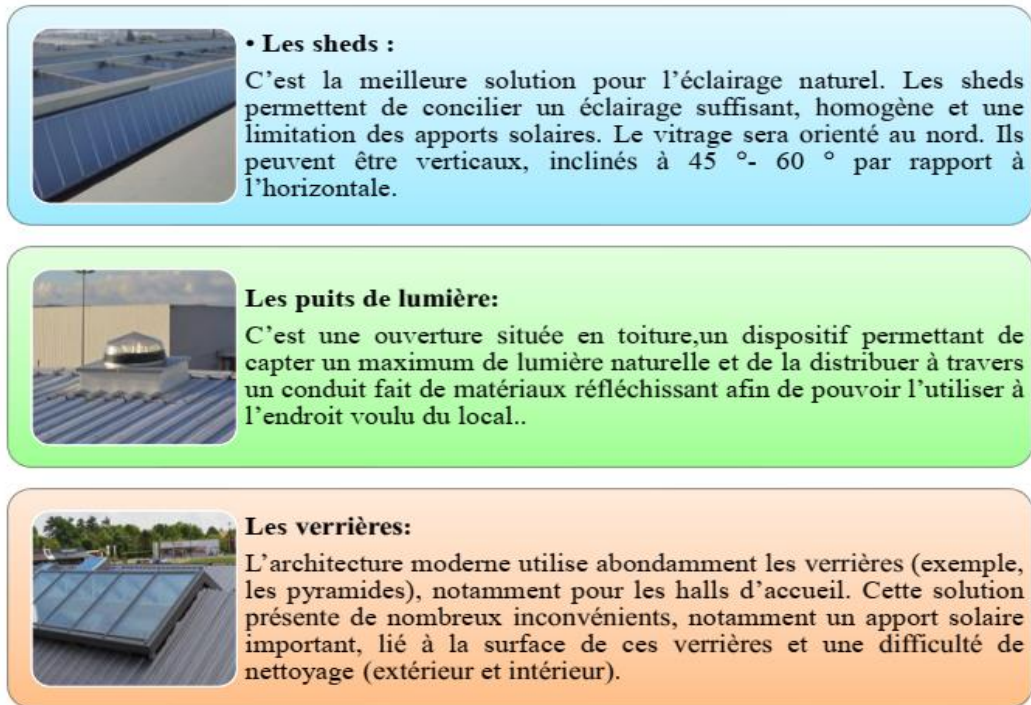


Figure 21 : Les différentes techniques d'éclairage zénithal.

Source : (INRS, 2012)

2.6.2. Systèmes d'éclairage zénithal indirect

Toitures en dents de scie(ou sheds) les sheds sont constitués d'une surface transparente ou translucide appelé «ouverture» qui collecte la lumière naturelle pour la faire pénétrer à l'intérieur d'un local, et d'une, surface opaque inclinée appelée «rampant» faisant face au rayonnement lumineux et qui a pour rôle de distribuer la lumière du jour à l'intérieur du local

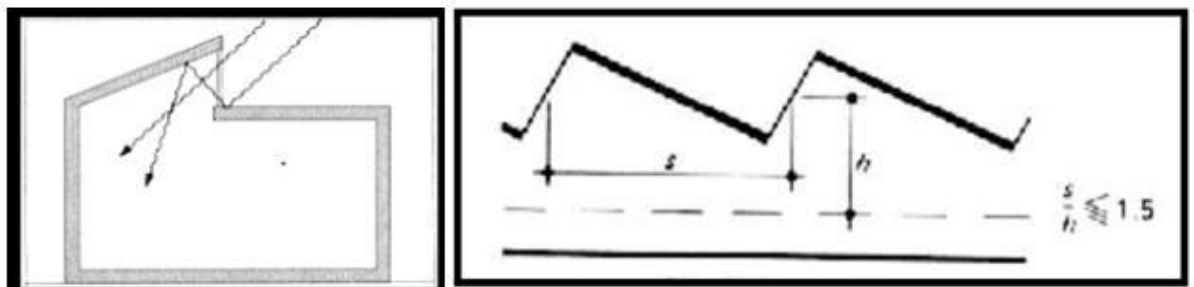


Figure 22 : critères d'uniformité pour les sheds.

Source:S. SZOKOLAY, 1980

Les lanterneaux sont constitués de surélévations de la toiture totalement ou partiellement translucides. Ils peuvent se présenter sous différentes formes tels que: le lanterneau symétrique vertical, le lanterneau asymétrique, le Lanterneau symétrique incliné...etc. L'avantage de ce

type de système d'éclairage naturel indirect c'est qu'il supprime l'effet directionnel de la lumière du jour. Une orientation préférentielle nord-sud et l'usage de matériaux diffusants auront pour avantage de réduire les effets thermiques et des saillies du côté sud peuvent être utilisé pour le contrôle solaire en été

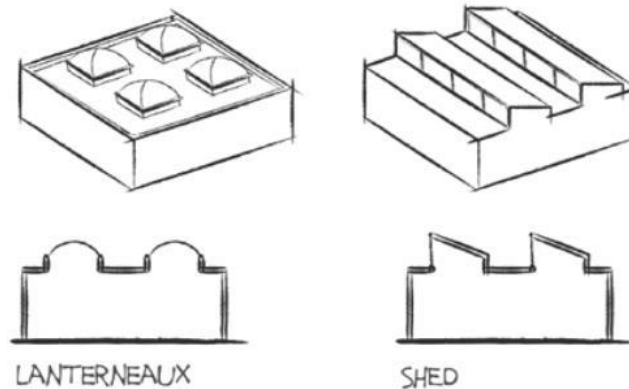


Figure23 : Les sheds et lanterneaux source

Source : la stratégie de la lumière naturelle

Tableau 04 : les avantages et les inconvénients de l'éclairage zénithale

Principe	Avantage	Inconvénients	Mise en œuvre
Apport de lumière naturelle zénithale par une ouverture donnant sur l'extérieur	A surface égale les prises de jour horizontales permettent d'offrir deux fois plus de lumière qu'une fenêtre verticale bon moyen d'améliorer l'uniformité en fond de pièce ou d'apporter de la lumière naturelle dans les circulations du dernier niveau d'un bâtiment	N'offrent pas de vue sur l'extérieure des déperdition et surchauffes peuvent être générées il conviendra de choisir un facteur solaire adapté notamment par une protection solaire extérieure possibilité d'éblouissement par le soleil direct au travers des lanterneaux si le vitrage n'est pas diffusant	Pour les sheds veilles à orienter l'ouverture au Nort pour ne pas laisser pénétrer le rayonnement solaire direct choisir un coefficient de réflexion lumineuse le plus élevé possible pour les costières des lanterneaux

source :GUIDE> la stratégie de la lumière naturelle

-Puits de jour

L'utilisation des puits de jour (patio, cour intérieure et atrium) pour éclairer et pour ventiler les pièces sans ouverture directe sur l'extérieur remonte à très loin dans l'histoire de l'architecture.

C'est une conséquence de la densité du bâti dans la plupart des villes anciennes.

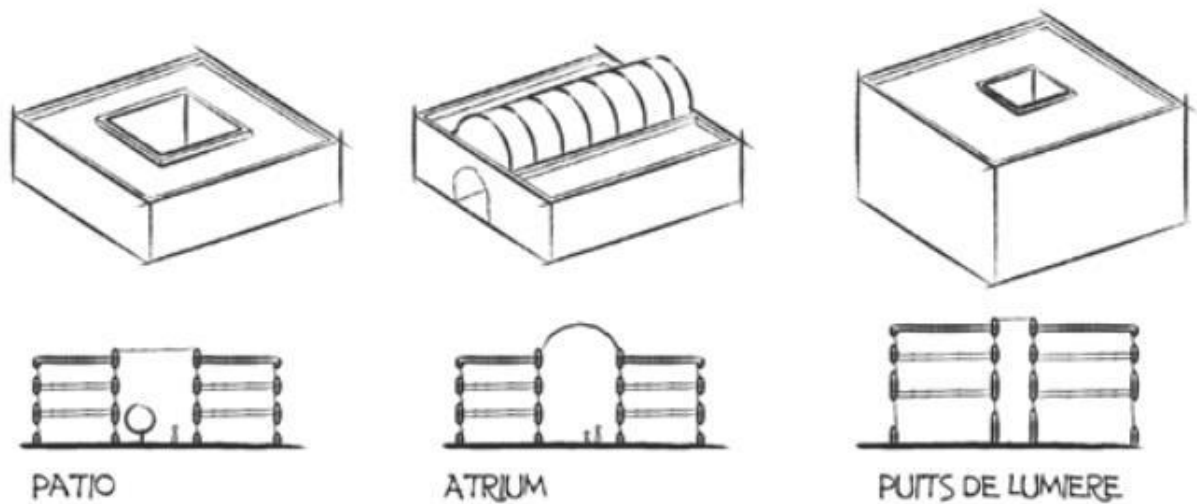


Figure 24 : Les sheds et lanterneaux

source :GUIDE> la stratégie de la lumière naturelle

Principe	Avantage	Inconvénients	Mise en œuvre
Apport de lumière naturelle par un volume extrudé plus ou moins grand au cœur d'un bâtiment	La création d'un atrium/patio au centre d'un bâtiment peut être une solution adaptée dans le cas d'une construction à la géométrie compacte (carré)	N'offrent pas de vue sur l'extérieure l'apport de lumière naturelle chute rapidement d'un étage à l'autre (diminution rapide de la composante directe) peut poser des problèmes de vis-à-vis et d'intimité	Préférer cette solution pour des bâtiment peu élevés ou veiller à ce que la largeur du patio /atrium soit supérieure à la hauteur du bâtiment veiller à choisir un coefficient de réflexion lumineuse élevé pour les parois et le sol préférer un patio ouvert à un atrium ferme qui pourra diminuer jusqu'à 30% la quantité de lumière naturelle

2.7. L'éclairage composé :

D'après son nom, l'éclairage composé est une résultante dans un même local de sources lumineuses latérales et zénithales au même temps.

L'avantage de ce type d'éclairage est la possibilité de la combinaison entre les avantages de l'éclairage zénithal et de l'éclairage latéral.

Ceci permet d'obtenir une distribution équilibrée de l'éclairement horizontal en réduisant l'effet d'éclairage contrasté et donc l'éblouissement, en plus de la satisfaction des besoins psycho biologique de contact avec l'extérieur.

Le principe de l'éclairage composé est d'avoir une source zénithale au fond de l'espace là où l'éclairement obtenu par la source latérale est insuffisant.

Cela ne veut pas dire que l'éclairage composé est la solution universelle pour tous les problèmes d'éclairage, car le projet comprend plusieurs espaces avec des activités différentes avec des spécificités et des besoins hétérogènes et même complexes parfois, pour qu'il soit impératif de choisir entre les deux systèmes d'éclairage latéral ou zénithal.

2.8. Comment choisir le type d'éclairage naturel :

Les caractéristiques géométriques du local conduisent à choisir soit un éclairage latéral, soit un éclairage zénithal, soit un mélange des deux. Trois possibilités s'offrent donc au concepteur : pour des locaux de faible hauteur sous plafond (de 2,50 mètres à 3 mètres), on retiendra un éclairage latéral. Pour ceux dont la hauteur est supérieure à 4,50 mètres, l'éclairage zénithal est indispensable, sauf pour les locaux de faible profondeur, avec éventuellement un complément par un éclairage latéral en partie haut des façades. Pour les locaux de hauteur intermédiaire, de 3 mètres à 4,50 mètres, le choix dépend de leurs autres caractéristiques : la profondeur, la largeur et la forme du bâtiment (INRS, 2012).

La distribution lumineuse obtenue par une ouverture zénithale est beaucoup plus homogène que celle produite par une ouverture latérale. En fournissant une distribution lumineuse très uniforme elle contribue à une meilleure répartition de la lumière dans l'espace (Reiter & De Herde, 2004)

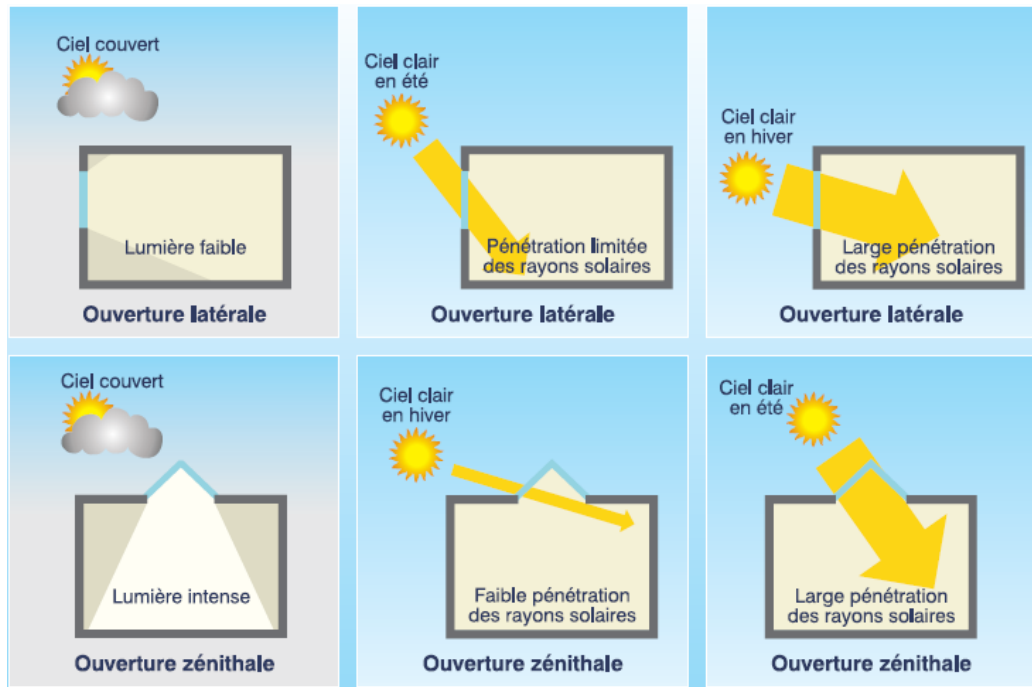


Figure25 : Comportement des ouvertures verticale et zénithale.

Source : (Reiter & De Herde, 2004)

2.8.1. Orientation des sources :

Une bonne stratégie consiste à orienter les fenêtres de manière à admettre ou à exclure l'énergie solaire, selon les besoins du bâtiment. En général, les fenêtres face au sud doivent permettre de bénéficier des gains solaires en hiver, alors que les fenêtres face à l'est et à l'ouest doivent exclure l'éclairage direct du matin et du soir. Des avancées et des déflecteurs peuvent prévenir l'éblouissement et la surchauffe. Les caractéristiques d'ombrage et d'isolation de tous les vitrages doivent être soigneusement choisies. Le choix des fenêtres fait l'objet d'une discussion à la section portant sur les directives de conception intérieure. Une autre stratégie d'orientation consiste à réduire la profondeur des espaces du côté nord et d'accroître celle-ci du côté sud, afin de tenir compte des variations de pénétration de la lumière (Robertson, 2003)

2.8.2. Dispositifs d'ombrage extérieurs :

Les dispositifs d'ombrage extérieurs diminuent efficacement le gain d'énergie solaire.

Par contre, les dispositifs d'ombrage intérieurs laissent entrer la majorité de l'énergie solaire, un hôte souvent inopportun accompagnant la lumière diurne. Les dispositifs d'ombrage

horizontaux qui cachent le soleil en été et le laissent entrer en hiver sont les plus efficaces pour les fenêtres donnant sur le sud. Les dispositifs d'ombrage verticaux sont les plus efficaces

sur les fenêtres est et ouest, mais sont souvent plus difficiles à incorporer à un bâtiment et masquent la fenêtre (Robertson, 2003).

2.9. Les facteurs qui influencent l'éclairage naturel :

Le niveau d'éclairage naturel du bâtiment est influencé par plusieurs facteurs, la nature et la quantité des surfaces vitrées ainsi que de la profondeur des pièces en façades. Il s'exprime suivant deux indices :

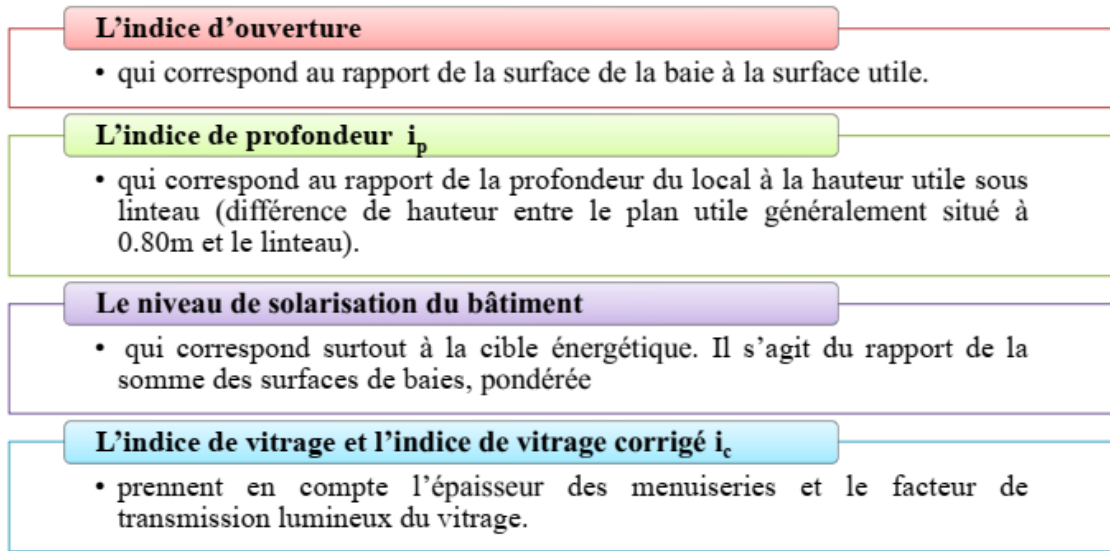


Figure 26 : Les facteurs qui influencent l'éclairage naturel.

Source : (Nadji, 2020)

3. La notion de l'ambiance :

« Le terme ambiance indique une atmosphère matérielle et morale qui environne un lieu, une personne » (Narboni, 2006) L'ambiance est l'interaction des phénomènes physiques avec un environnement spatial vécu par l'occupant de cet espace qui est mis en avant. La relation de l'occupant à l'espace est un élément fondamental de la notion d'ambiance. Dans ce sens, parler de l'ambiance d'un lieu conduit à imaginer un être plongé dans un espace donné, et affecté, en retour, par celui-ci dans le domaine de la recherche architecturale, l'ambiance est abordée en tant que phénomène.

3.1. Ambiance lumineuse :

L'ambiance lumineuse est une des composantes des ambiances architecturales et urbaines. 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 (Tourre, 2007)

Narboni (2006) a développé une définition de l'ambiance lumineuse en la caractérisant comme étant « le résultat d'une interaction entre une ou des lumières, un individu, un espace, et un usage ». Cette interaction influence momentanément ou durablement la perception et le ressenti « sensation » de l'espace illuminé (Bendekkiche, 2017).

Quatre éléments interagissent dans une ambiance lumineuse : l'environnement lumineux constituant le stimulus physique fondamental de l'ambiance, l'espace architectural qui présente le cadre physique et fonctionnel où est vécue cette ambiance, l'utilisateur qui vit cette ambiance lumineuse et le contexte général (climat, culture, société...) où se situe l'ambiance lumineuse (Belakehal A. , 2007)

3.2. Principaux paramètres de l'ambiance lumineuse :

Les deux principaux paramètres de l'environnement lumineux sont la quantité de lumière et la qualité de la lumière :

La quantité de lumière nécessaire pour effectuer une activité dans de bonnes conditions lumineuses est un aspect assez bien défini aujourd'hui. La qualité de l'ambiance lumineuse se caractérise par des notions de confort et d'agrément, paramètres moins bien définis qui demandent une attention particulière. Une ambiance lumineuse est donc fonction de ces trois paramètres (Lipinski & al, 2014) .

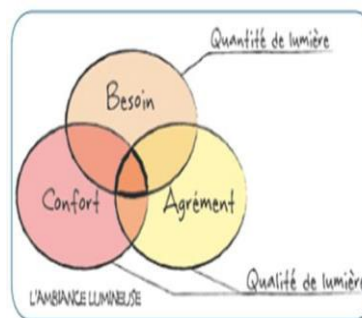


Figure 27 : Représentation schématique de l'ambiance lumineuse

Source : (Lipinski & al, 2014)

3.3. La qualification d'une ambiance lumineuse :

L'ambiance lumineuse dans l'espace architectural fait l'objet de plusieurs recherches qui expriment ses résultats sous trois catégories, comme suit :

1^{er} catégorie : chiffrée se rapporte aux valeurs sous forme d'indices calculés à base d'instruments de mesure et méthodes de calculs. Tels que, le facteur de lumière du jour contraste entre luminances, indice d'éblouissement (Belakehal A. , 2007).

2^{ème} catégorie : conformationnelle d'après Belakehal, cette catégorie regroupe les schémas et les modèles de distribution des rayons lumineux à l'intérieur de l'espace architectural, plus certain indicent en relation avec des éléments de la conformation architecturale influençant l'ambiance lumineuse.

Par exemple le rapport de la surface vitrée/surface du sol. À propos des modèles de propagation, ils se rapportent soit au type du dispositif d'éclairage (latéral, zénithal), soit aux dispositions morphologiques ; position des fenêtres dans les murs, ou l'une par rapport à l'autre ...etc. comme ils se rapportent à la topologie, telles que ; proximité, éloignement ...etc. Les schémas suivants englobent l'ensemble des indicateurs de chaque modèle : Indicateurs typologiques : le type d'éclairage se définit par rapport à la position de l'ouverture sur les différentes parois de la conformation. Le premier type qui est l'éclairage latéral relativement à la position d'ouverture sur les parois verticales. Cependant l'éclairage zénithal qui constitue le deuxième caractérise le flux lumineux issu des ouvertures positionnées sur la couverture ou le toit de l'édifice (Belakehal A. , 2007)

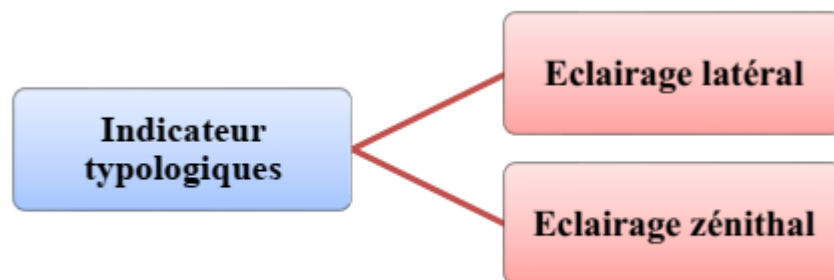


Figure : 28 Indicateurs typologiques d'Éclairage naturel.

Source : (Belakehal A. , 2007)

Indicateurs topologiques : Quant aux indicateurs topologiques, ils sont relatifs au comportement de la lumière à l'intérieur de l'espace, qui peut être sous forme de polarisation géométrique (centre, axe, périphérie) ou polarisation non géométrique (zone, région) pour des raisons symboliques, fonctionnelles ...etc. (Belakehal A. , 2007)

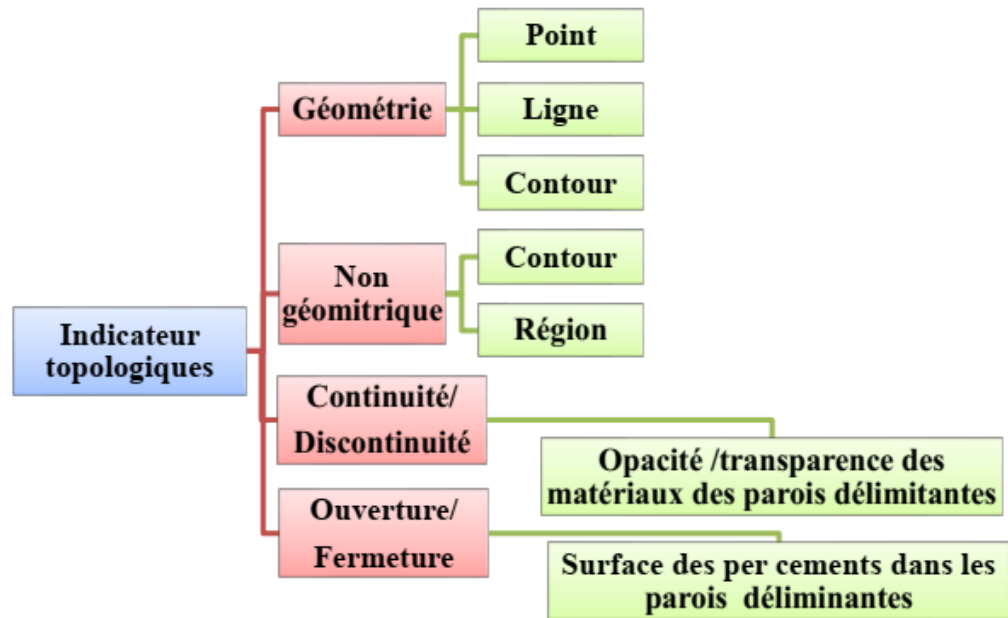


Figure 29 : Indicateurs topologiques d'Éclairage naturel.

Source : (Belakehal A. , 2007)

Indicateurs morphologiques : Les indicateurs morphologiques identifient la manière avec laquelle s'organisent les ouvertures à travers la forme architecturale ; c-à-d leurs syntaxes.

Donc il s'agit de deux rapports, le premier est le rapport des ouvertures à la forme et les ouvertures.

Le deuxième entre les ouvertures

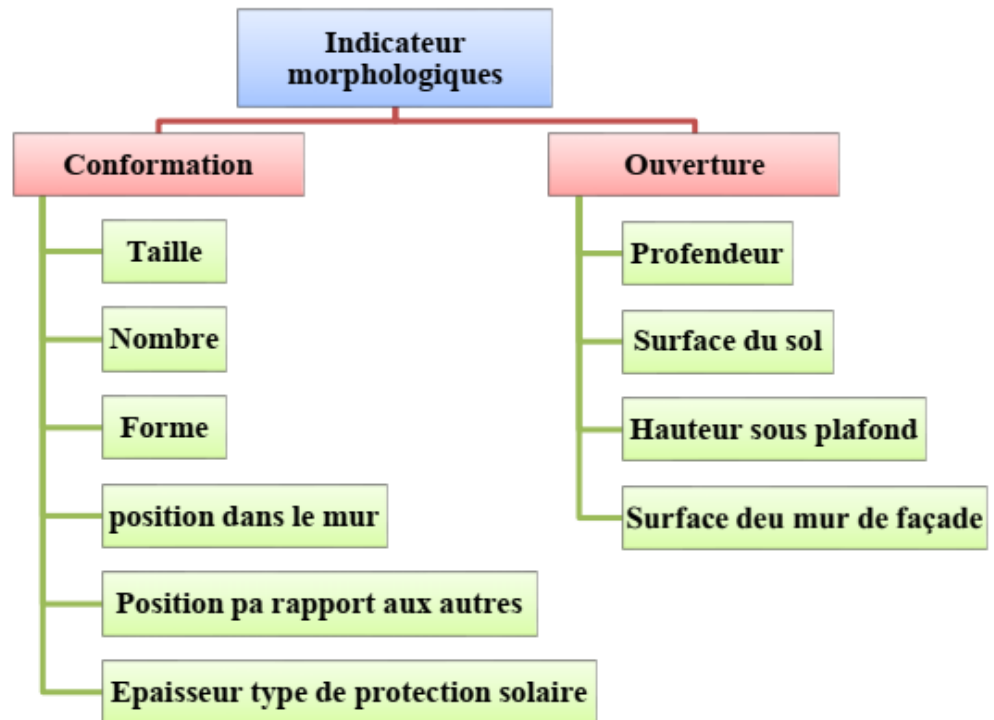


Figure 30 : Indicateurs morphologiques d'Éclairage naturel.

Source : (Belakehal A. , 2007).

3 -ème catégorie : discursive sa base est le discours des architectes. Elle constitue les aspects qualitatifs qui sont d'une nature subjective. Se représentent à travers les aspects plastiques, perceptuels et techniques des représentations ...etc.

3.40. La qualité lumineuse et ses paramètres :

La qualité d'un éclairage peut être appréciée au regard de différents critères liés soit à l'agrément visuel, soit au confort visuel engendré pour un observateur. Parmi les paramètres qui concourent à cet état de confort, la présence de phénomènes d'éblouissement d'inconfort et leur ampleur apparaissent déterminantes (Cantin, 2008).

La qualité lumineuse existe quand le système d'éclairage :

- crée de bonnes conditions de vision ;
- Assiste à la bonne exécution des tâches ;
- Permet une bonne interaction et communication ;
- Apporter de bonnes conditions de santé et de sécurité ;

- Contribue à une bonne appréciation esthétique de l'espace.

Par conséquent, la qualité lumineuse n'est pas mesurable directement dans la mesure où elle est considérée comme étant un état émergent créé par l'interaction de l'individu avec son environnement lumineux. Ainsi, la qualité lumineuse ne peut être évaluée que par la voie de mesures comportementales. La qualité lumineuse est une propriété subjective de la lumière, tout comme le confort visuel (Cantin, 2008).

Conclusion :

A travers ce chapitre nous avons pu insister sur l'essentiel des notions de base qui définissent l'éclairage naturel d'une manière globale, accumulant ainsi plusieurs informations sur la composition de la lumière naturelle, ces grandeurs, ces valeurs ainsi que ces sources. Nous savons à présent que la lumière naturelle est un phénomène indissociable de la vie de l'homme, régulatrice et indispensable à la majorité de ces activités, cette lumière est l'une des composantes d'un large spectre électromagnétique qui va des ondes ultraviolettes aux infrarouges émis par le soleil.

Le soleil est la source primaire de la lumière naturelle, L'ensoleillement est caractérisé par la trajectoire du soleil dans le ciel et durée d'ensoleillement, elles-mêmes définies par les conditions géométriques du système terre soleil et l'emplacement géographique.

Tout comme le soleil, le ciel lui aussi est considéré comme une source de lumière naturelle, c'est pourquoi il a fait l'objet de plusieurs études qui ont fini par aboutir à l'établissement de plusieurs types de ciels normalisés permettant le calcul de la lumière naturelle selon plusieurs cas de figure allant du ciel clair au ciel couvert.

D'autres paramètres tels que la nébulosité, les caractéristiques géographiques du site (reliefs, masse d'eau, masse végétale...etc.) ainsi que la pollution urbaine influencent sur l'ensoleillement, donc influent sur la disponibilité, la quantité et la qualité de la lumière naturelle

Les notions fondamentales relatives à la lumière naturelle acquises, ceci constituera le point de départ de notre approche théorique du sujet au travers des chapitres qui vont suivre.

Chapitre 02 :

Notions fondamentales sur les musées

. Introduction :

L'éclairage intérieur des bâtiments culturels est en pleine mutation depuis quelques années, et sa fonction de base permettant aux utilisateurs de rencontrer, de visiter et de travailler dans de bonnes conditions de confort, sachant que le confort visuel est l'une des principales composantes du confort qui caractérise un bâtiment culturel. Il résulte d'un équilibre entre éclairage naturel et éclairage artificiel.

Le sujet de notre étude dans ce chapitre s'articulera autour de la lumière et le confort visuel dans les équipements culturels, on commence par une généralité sur les équipements culturels, ainsi nous allons définir la relation entre la lumière et le confort visuel (la lumière, critère de confort visuel dans ces équipements), dans cette partie nous intéresserons beaucoup plus à la lumière (naturelle et artificielle) qui est considérée comme une composante principale du confort visuel et de fonctionnement de l'espace architectural.

1. Définition de la culture

La culture est la production spirituelle (principes, idée et idéologie) et matérielle (science et art) d'une société dans un temps déterminé.

« Croyances, comportement langage et mode de vie propre à chaque groupe d'individus à une période donnée, la culture englobe les coutumes, les cérémonies, les œuvres d'art, l'invention et la technologie. » (UNESCO -Paris 1974)

« La culture, c'est ce qui reste dans l'esprit quand on a tout oublié » attribué à Édouard Herriot. (Homme d'État)

« Le mot culture désigne ce tout complexe comprenant à la fois les sciences, les croyances, les arts, la morale, les lois, les coutumes et les autres facultés et habitudes acquises par l'homme en tant que membre de la société. » E. Tylor. (Anthropologue)

1.1. Les équipements culturels :**. Définition :**

Un équipement culturel « Est une institution, également à but non lucratif, qui met en relation les œuvres de création et le public, afin de favoriser la conservation de patrimoine, la création et la formation artistique et plus généralement, la diffusion des œuvres de l'art et de l'esprit, dans un bâtiment ou un ensemble de bâtiments spécialement adaptés à ces missions » selon Claude Mouillard. Marcus Tullius Cicero est un philosophe romain né le 3 janvier 106 av. J.-C. en Italie et assassiné le 7 décembre 43 av. J.C)

1.2. Les types des équipements culturels :

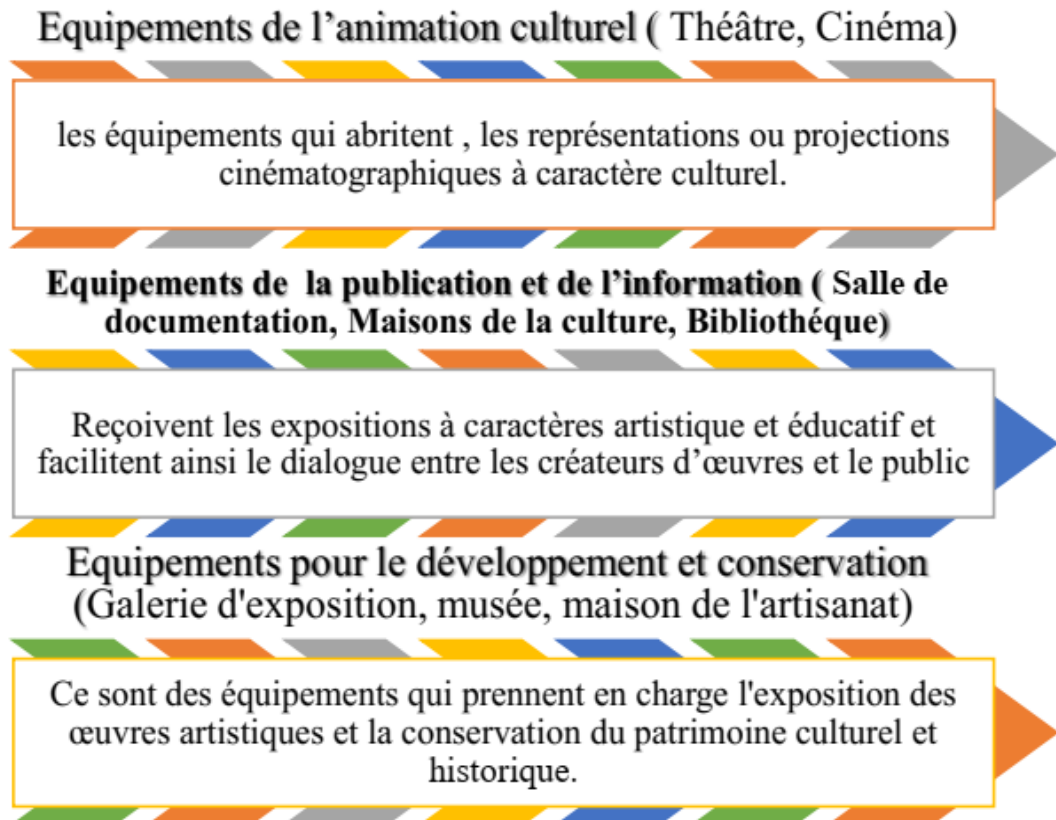


Figure 31 : Les types des équipements culturels

Source : <https://www.cairn.info/revue-de-l-ofce-2003-3-page-143.html>

1.3. La fonction des équipements culturels :

La création : formation d'un public vaste diversifié dans différents domaines.

L'animation : offrir un cadre et des moyens aux activités culturelles.

La diffusion : de l'information et traduction des objectifs sociaux et projets de société sous forme de culture transmise.

La communication : affirmation de l'identité nationale, élévation du niveau de connaissance.

L'information : la distribution de l'information.

2. Le musée :

2.1. Définition :

Le Conseil international des musées (ICOM) a établi une définition plus précise qui fait référence dans la communauté internationale, cette définition stipule que : « le musée est une institution permanente sans but lucratif, au service de la société et de son développement, ouvert au public, qui acquiert, conserve, étudie, expose et transmet le patrimoine matériel et immatériel de l'humanité et de son environnement à des fins d'études, d'éducation et de délectation » (Juliette, 2019)

Il s'agit d'un endroit ou d'un ouvrage architectural où sont collectées des œuvres d'art ou des objets d'intérêt scientifique, technique ou culturel dans le but de les protéger et de les exposer au public (Juliette, 2019)

« Le musée est une institution permanente, sans but lucratif, au service de la société et de son développement, ouvert au public, faisant des recherches concernant les témoins matériels de l'homme et de son environnement acquiert ceux-là, les conserve, les communique et notamment, les expose à des fins d'étude, d'éducation et de délectation »

Le musée est un lieu culturel et social, représentant ainsi un outil privilégié pour raconter la vie à travers les objets du passé tout en participant à l'émergence des traces de la mémoire de demain. Lieu d'éducation populaire, centre de réflexion et d'action du citoyen, il associe de nouvelles fonctions celle d'expressions et de production de la culture

Muséologie :

La muséologie, est une science du musée dont le champ de recherche comprend l'histoire et la fonction sociale de cette institution elle étudie la conception et la réalisation du musée, c'est-à-dire l'émergence du projet. La muséographie a comme rôle l'analyse, la gestion et la politique du musée, à savoir le choix des collections destinées aux présentations permanentes et les thèmes des expositions temporaires ; les méthodes et les techniques mises en œuvre pour la conservation, le classement et la mise en exposition.

Pour Henri RIVIÈRE « C'est une science appliquée, la science du musée. Elle en étudie l'histoire et le rôle dans la société, les formes spécifiques de recherche et de conservation physique, de présentation, d'animation et de diffusion, d'organisation et de fonctionnement, d'architecture neuve ou muséalisée, les sites reçus ou choisis, la typologie ».

Muséographie :

La muséographie est ensemble des méthodes et des techniques pluridisciplinaires appliquées à la conservation, au classement, à la mise en exposition, ou en réserve des collections d'objets naturels (inertes ou vivants) et culturels, généralement conservés dans un musée. Cette conservation et la mise en exposition sont deux domaines, ou chacun a ses techniques et spécialistes.

À notre aire, dans les musées contemporains, où cet équipement est devenu un lieu multimédia, il n'y a plus un muséographe, mais une équipe réunissant un nombre variable de spécialistes. Pour sa part, la Conservation, nécessite elle aussi des restaurateurs, chimistes, physiciens, informaticiens, ingénieurs, architectes, pour mettre en œuvre les objets d'expositions.

2.2. La naissance de la notion de musées

Les hommes des sciences qui se réunissaient dans la bibliothèque s'étaient penchés sur l'organisation et le recensement des valeurs dans les divers domaines de la pensée et avaient donné de nouvelles formes de la transmission du savoir, et de là la notion de musée est apparait. Un des 1er musées fut créé par Ptolémée 1er il était situé dans un palais qui rassemblait et conservaient les objets du passé et du présent dans un but éducatif et pour glorifier la dynastie des rois d'Égypte, le musée n'était pas accessible à tous. Donc on peut désigner 4 grandes phases :

La période romaine

À l'époque romaine, le musée s'est débarrassé de l'idée des lieux sacrés de la noblesse, et l'idée d'exposer à tout le monde était diffusée ou les œuvres d'art étaient exposées dans des lieux publics (Thermes, forum, portiques)./) archiloubna /http://archiloubna.e-monsite.com/2008

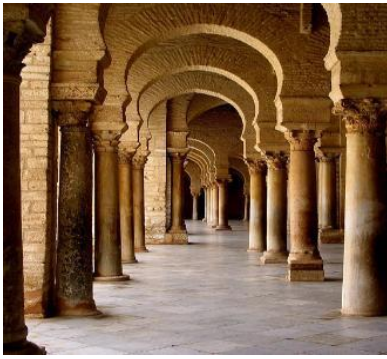


Figure 32, 33 : le portique romain, le forum romain

Source : wikipedia.com

Le moyen âge

Dans cette époque, le concept d'espace d'exposition a été apparu et les œuvres d'art étaient conservés dans 2 sortes de Locaux, la galerie et le cabinet :

- *le cabinet* : est une pièce de dimension plus modeste et de forme carrée. (Voir figure49)
- *la galerie* : est une salle très allongée bordée sur un côté de nombreuses arcades ou fenêtres par lesquelles entre la lumière. (voir figure50) [archiloubna /http://archiloubna.e-monsite.com/2008](http://archiloubna.e-monsite.com/2008)



Figure 34, 35 : galerie d'exposition en arcade, cabinet d'exposition traditionnelle

Source : wikipedia.com

De la renaissance aux temps modernes

C'est à partir de la Renaissance que les musées existaient en tant qu'établissements publics. À partir du 16e, l'Italie recherchait les témoignages de l'art antique créa la notion moderne du musée ou les objets prennent une valeur d'exemple pour les artistes. L'élargissement du champ de connaissance humaine et les découvertes multiples qui s'accomplirent aux 16es allaient stimuler la création de musées de toutes sortes, musée d'histoire, musée d'art, musée d'histoire naturelle et musée des sciences

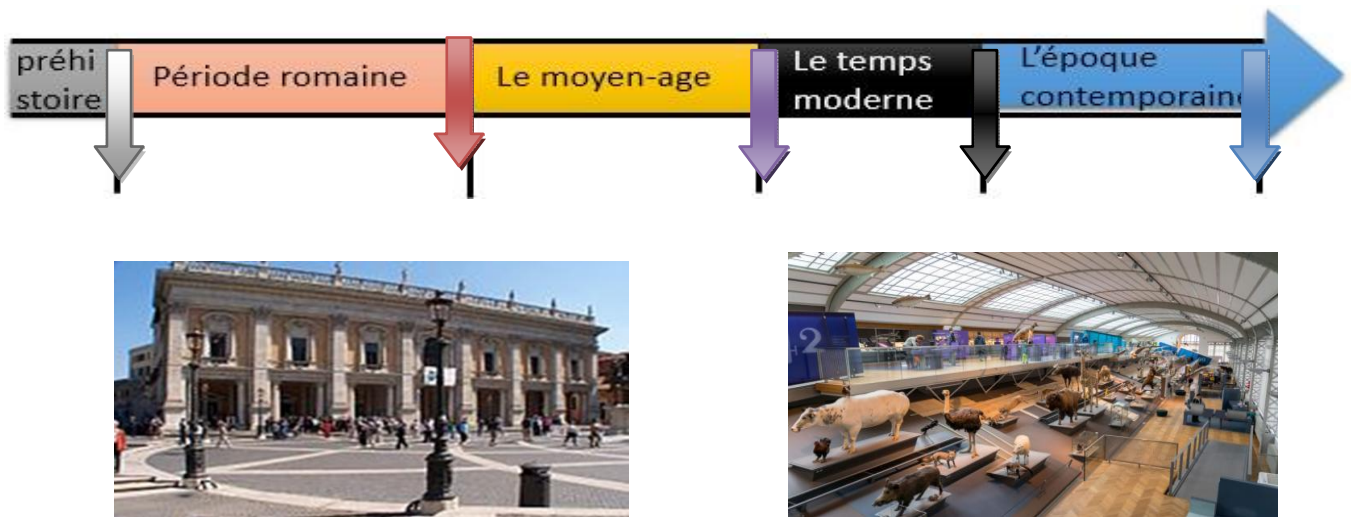


Figure 36, 37 : musée du capitol, Rome, musée moderne d'histoire naturelle

Source : wikipedia.com

L'époque contemporaine

Les musées sont les bienvenus pour exposer les produits de l'industrie française. Ainsi naissent les écoles de dessin, les expositions universelles et les musées d'art appliqué.

En cette seconde moitié du siècle, ce ne sont pas seulement les grands musées qui attirent le public, mais aussi les grandes expositions.

Le début du XXe siècle les musées se moderniser. Dans cette nouvelle organisation de l'espace du musée, sont fréquemment aménagées des salles destinées à des expositions temporaires, dont l'organisation devient peu à peu une composante naturelle de la vie d'un musée.

Au cours des années 1980, a particulièrement touché les musées d'art contemporain. À partir des années 1990, la création, la rénovation ou le développement de musées et, plus généralement, de la filière culturelle accompagnent la reconversion de certaines régions d'industries

anciennes sinistrées par la crise au cours des années 1970 : musée Guggenheim de Bilbao, Valenciennes, Lille, Roubaix, Le Creusot et plus récemment, Metz, Lens



Figure 38, 39, 40 : musée d'art moderne et musée d'art contemporain Musée d'Art moderne et contemporain avec une structure contemporain (MAMAC)

Source: wikipédia.com

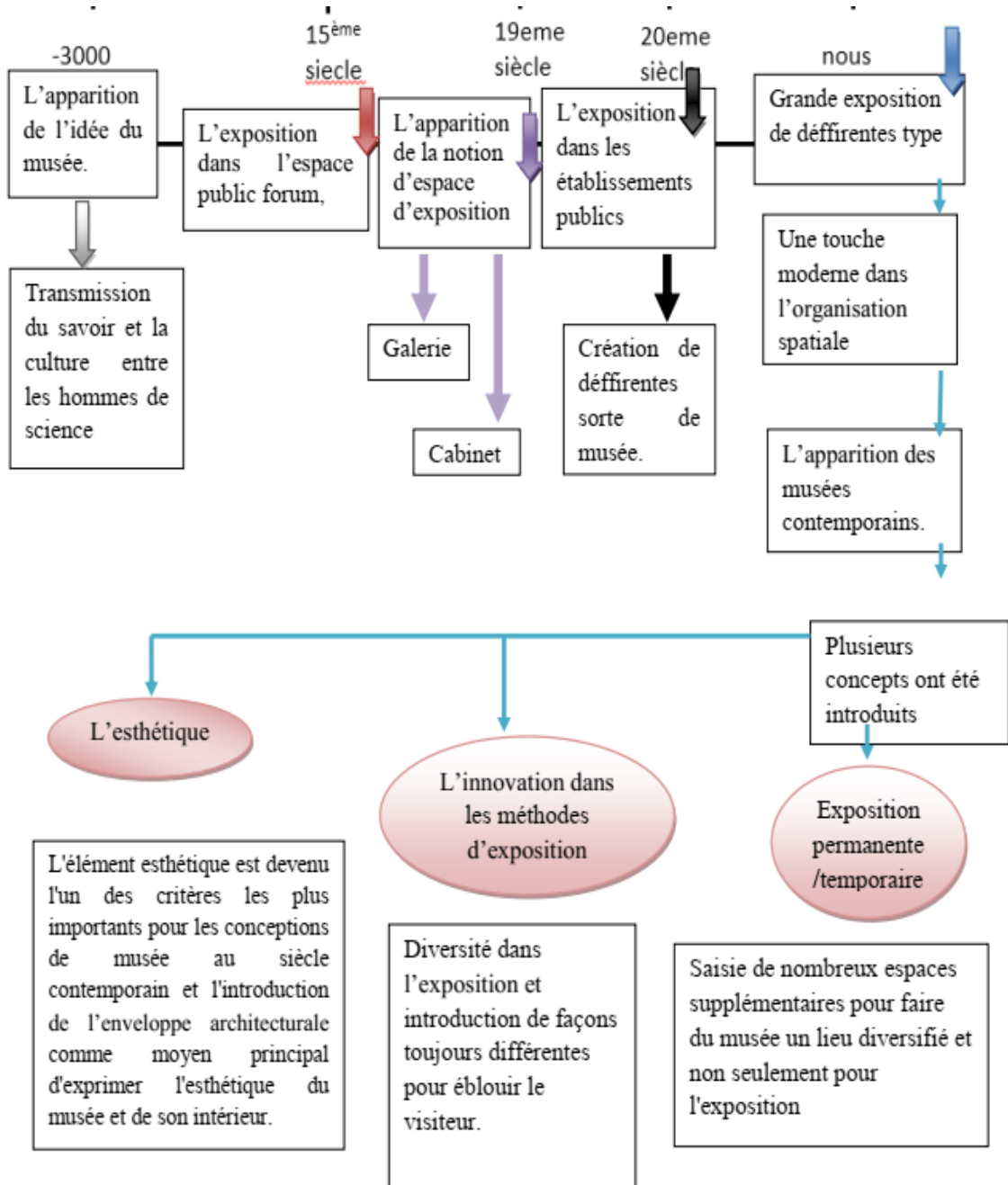
Ces musées, , s'organisent désormais en de véritables centres culturels : outre les espaces d'expositions, permanentes ou temporaires, ils accueillent des équipements divers : centres de recherches, de documentation ou de restauration d'œuvres, parfois des bibliothèques publiques, des auditoriums, salles audiovisuelles, des ateliers pédagogiques, des services commerciaux, librairies, boutiques, cafés, restaurants ainsi que des surfaces importantes pour l'accueil, l'information et l'orientation des visiteurs.

Dans la scène contemporaine, la technologie a été introduite comme principe de base pour concevoir des musées en termes de manières et de présentation toujours afin de suivre le rythme et a attiré l'attention du visiteur, car ils ont donné aux musées une dimension esthétique et artistique en termes d'enveloppe architecturale et sa relation avec l'éclairage intérieur qui est devenu un facteur important pour l'affichage

Schéma

On schématisant les grandes phases

La naissance de la notion de musées



Source : archiloubna /<http://archiloubna.e-monsite.com/2008>

Le développement des musées au cours de rénovation des outils et les techniques de construction et

l'apparition des nouvelles structures dont le but, c'est toujours d'attirer le visiteur

2.3. Fonction d'un musée

Il devient un moyen pour protéger, exposer, éduquer, communiquer, conserver et répondre aux questions posées par les hommes d'aujourd'hui.

- Exposer : c'est mettre sous les yeux des visiteurs, toutes les œuvres d'Art qui attirent leur attention.
- Conserver : Conserver tous types d'objets et autres « traces » et « empreintes » que l'homme ou, même, la Nature nous a légués. Mettre à l'abri cette mémoire.
- Communiquer : Le Musée permet aux visiteurs la communication avec le passé à travers les objets.
- Éduquer : A pour but de donner une idée sur le patrimoine d'un pays par l'organisation de conférences.
- Protéger : le patrimoine culturel et l'intégrer à la vie actuelle pour sauvegarder l'histoire d'une nation.

2.4. Les différents types d'un musée


Il peut exister théoriquement autant de musées que de branches de l'activité artistique. Mais, en fait,


les musées spécialisés sont moins nombreux que les autres.



Les grands musées nationaux comprennent en général des sections où les œuvres d'art sont groupées suivant leur provenance. Avec le développement de la civilisation industrielle, le XIXe et



le XXe siècle ont vu s'ouvrir des musées consacrés à la technique, à la science et aux dernières découvertes.

Tableau 05 : les types de musée

Le type	Caractéristiques	Exemple
<p>Musée d'art</p>	<p>Ils regroupent un ensemble d'œuvres d'art ;(tableaux, sculpture...etc.) Choisies pour leurs intérêts stylistique, artistique, ou encore montrant les différentes phases de la carrière d'un artiste.</p> <p>➤ Particularité :</p> <p>L'utilisation des couleurs vives et des formes audacieuses en rapport avec l'excentricité des artistes qui conçoivent parfois eux même les espaces d'exposition qui vont recevoir leurs œuvres. Cela dit, les musées d'arts (leurs espaces, leurs formes et leurs couleurs) dépendent partiellement des œuvres en elles même (sombres, colorées...etc</p> <p>(PDF. Qu'est ce qu'un musée/page 03/2010)</p>	 <p>Figure 41: Musée des Beaux-Arts de Rennes</p> <p>Source : (http://musée.type.archi.fr)</p>

<p>Musée historique</p>	<p>Il abrite les grandes collections d'éléments réunis autour d'un thème historique représentatif d'une époque, et qui témoignent de l'homme, de son histoire, mais surtout qui cherchent à conserver la mémoire.</p> <p>➤ Particularité:</p> <p>L'utilisation d'une architecture austère, rustique et souvent agressive ; qui s'adapte très bien au contexte (sujets et thèmes traités)</p>	 <p>Figure 42: musée d'histoire naturelle de Lille</p> <p>source: Microsoft Encarta 2009)</p>
--------------------------------	---	---


<p>Musée de science</p>	<p>Sont des musées didactiques, leur but c'est l'instruction. Ils tendent à être des musées interactifs, centrés principalement sur l'expérimentation et la pédagogie, leurs objectifs sont de constituer des centres de cohésion culturelle et sociale.</p> <p>➤ Particularité :</p> <p>Dans les musées de science et de la technologie ; on aide dans la compréhension des phénomènes naturels, des objets exposés par le discours, l'enchaînement logique, suivi dans chaque partie, par le thème de l'exposition et de chacune de ses installations</p> <p>(Les différentes type de musee.pdf /p 11-14-16/2017)</p>	 <p>Figure 43: le Musée des Sciences Valence en Espagne Source: Microsoft Encarta 2009)</p>
<p>Musée culturel</p>	<p>Objet, dont la réunion permet de mettre en avant la particularité d'un pays, d'une région, d'une époque.</p> <p>✓ Particularité :</p> <p>Charger d'encourager et de promouvoir des manifestations culturelles. Vise à développer une culture, à répandre certaines formes de culture, justifier par l'utilisation des nouvelles technologies et du multimédias. Les particularités architecturales s'apparentent généralement aux musées d'arts.</p>	 <p>Figure 44: Le Musée des Cultures taurines de Nîmes Source : (http://musée.type.archi.fr)</p>


<p>Musée général</p>	<p>Musée qui regroupe (englobe) plusieurs départements qui ont chacun un thème différent (science ; art ; culture ; histoire ; ...)</p> <p>➤ Particularité: Englobe les particularités des différents types de musées (architecturales, techniques,) (Les différents type de muse.pdf /p 11-14-16/2017)</p>	 <p>Figure 45: Le musée universel du Louvre, à Paris</p> <p>Source : (http://musée.type.archi.fr)</p>
<p>Musée spécial</p>	<p>Musée où l'on se consacre particulièrement à un domaine / une chose / une branche ...etc. (ex : musée du boulon, musée de la chaise...etc.)</p> <p>✓ Particularité : -Restreindre le domaine d'action en vue de les rendre plus performantes et s'y approfondir. - N'est pas commun ; bizarre, et décalé.</p>	 <p>Figure 46: musée de la musique – paris-</p> <p>Source : wikipedia.com</p>

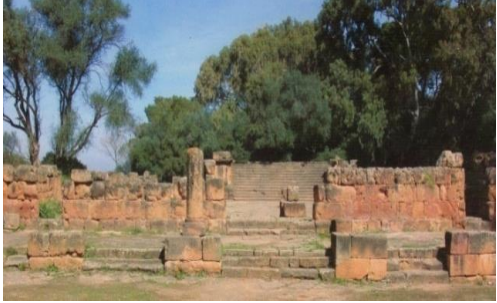
Source : auteur (Les différents type de muse.pdf /p 11-14-16/2017)

2.5 -La notion d'ouverture et fermeture des musées

Tableau 06 : la notion d'ouverture et fermeture dans les musées

Type	Caractéristique	Exemple
Type ouvert	<p>Musée dans lequel les parois vitrées jouent un rôle principal. ex : Musée d'art contemporain aux USA</p> <p>➤ Particularité :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Les grandes parois vitrées servent à mettre en évidence le site et créer une relation entre l'espace intérieur et extérieur, le paysage devient tableau. -Offrir une promenade architecturale au contact de la nature. -Jouer avec le reflet de la lumière par exemple une lame vitrée qui se courbe en arc vers le ciel pour le refléter et se fondre dans le bleu 	 <p>Figure 47: séquence visuelle entre l'int/ext</p> <p>Source : Berouk.com</p>

Type	Caractéristique	Exemple
Type fermé	<p>Il se caractérise par une articulation opaque, ce type de conception focalise l'attention sur l'objet ex : Guggenheim, Bilbao...</p> <p>➤ Particularité :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Un appel aux passants pour venir découvrir l'intérieur. 	 <p>Figure 48: des façades opaques pour appeler à visiter</p> <p>Source: vogue.dz/museum.com</p>

	<p>-Stimuler la curiosité et l'imagination des visiteurs</p> <p>-Comme un aspirateur il attire la visiteur vers lui(Les différentes type de musee.pdf /p 20/2017)</p>	
<p>Type à ciel ouvert</p>	<p>C'est les sites archéologiques. Ce type de musée offre à ses visiteurs une promenade architecturale au contact de la nature</p> <p>(Les différentes type de musee.pdf /p 20/2017)</p>	 <p>Figure 49: type à ciel ouvert « Ruine Romaine de Tipaza ».</p> <p>Source : http://musée.type.archi.fr</p>

Source : auteur

3. Les parcours muséaux :

3.1. Définition du parcours

« Le parcours est à la croisée des chemins entre le visiteur et le concepteur : c'est l'utilisation par l'un de l'espace organisé par l'autre »

(Mariani-Rousset, 2001)

Selon Beaudoin, le parcours serait un élément constitutif d'une exposition au même titre que l'éclairage, les textes, le design graphique.... Le visiteur est celui qui, par son interaction avec l'espace, va affranchir le message et permettre la relation d'échange.

Comprendre cette relation n'est pas chose aisée puisque le parcours d'exposition apparaît comme une notion complexe et composite. (Beaudoin, 2014)

3.2. Les catégories des parcours :

Pour Jean Davallon l'exposition existe à trois niveaux : la conception, la mise en exposition et la visite. Ces trois phases de l'exposition sont couvertes par trois *niveaux de* parcours qui sont :

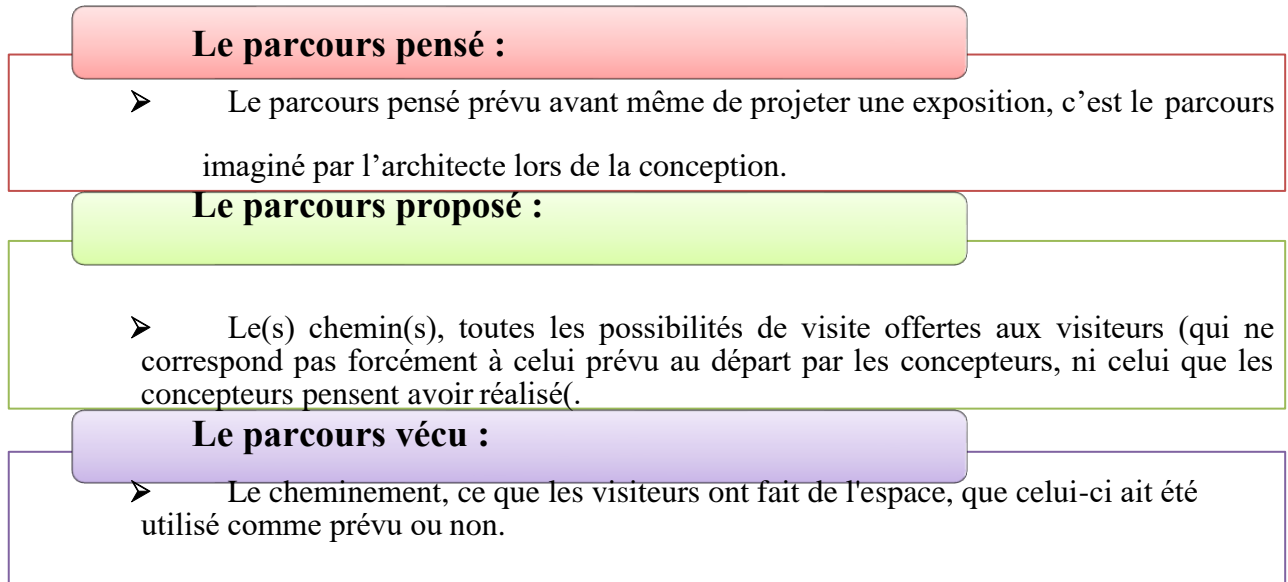


Figure 50 : les catégories de parcours.

Source : (Mariani-Rousset, 2001)

3.3. Le parcours et leurs exigences

C'est Le Corbusier qui a le plus mis en valeur le fait que l'architecture se parcourt, avec son concept de « promenade architecturale ». Ce parcours met en jeu principalement la perception de sens de circulation en offrant au « corps se mouvement » diverses modalités de déplacement : la rampe en est un élément fort, qui procure la possibilité de monter, ou de descendre, sans effort « Si le musée Guggenheim est une œuvre d'art, il l'est beaucoup plus au titre d'une forme à pratiquer dans une programmation méthodique de stimuli visuel égrenée au cours dans descente en hélice qu'au titre d'une œuvre architecturale à voir au sens strict » (*Design de parcours.pdf /2012*)

Les exigences d'un parcours muséale doit assurer :

- ✓ Le bien-être du visiteur facilite sa visite, par un plan clair qui dirige discrètement : assurer un éclairage qui se concentre sur l'objet exposé, éviter au visiteur l'effort qui lasse, et l'effort physique

ex : organiser des espaces de détente et de repos dans le musée.

- ✓ Visite guidée, distribution et circulation facile destinées à la mise en valeur des œuvres.
- ✓ Les galeries multiples juxtaposées qui communiquent entre elles par plusieurs portes, inquiètent

le visiteur qui hésite entre une circulation longitudinale ou transversale (circuit imposé).

- ✓ Donner un arrêt direct aux collections que le visiteur désire voir sans que celui-ci ait à traverser toutes les salles d'expositions.

Il y a quatre types du parcours selon sa forme ; le parcours linéaire, le parcours centré, le parcours labyrinthe et le parcours vertical.

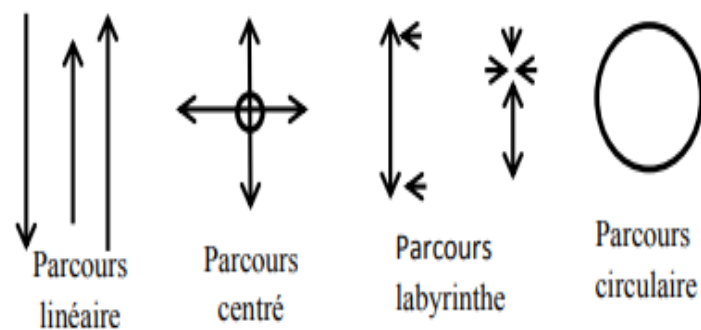
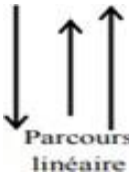


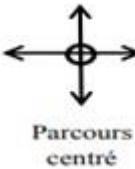



Figure 51 : schéma présente les différentes types de parcours

Source : Les différents types de musée.

Tableau 07 : les types de parcours

e type	Caractéristique	Exemple
<p>Parcours linéaire</p>	<p>Dans ce type de musée les œuvres sont exposées en respectant un schéma de circulation obligée.</p> <div style="text-align: center;">  <p>Parcours linéaire</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Type arborescent <p>Ce type fonctionne suivant l'idée d'un axe de circulation principale avec des secteurs annexes, ex : musée d'Orsay</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Type ruban <p>Cette solution permet de guider le visiteur sans qu'il s'en rende compte, (Les différentes types de musée.pdf / 2017 / p 29)</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <p>Figure 52: parcours de Musée d'Orsay Source : (Microsoft Encarta 2009)</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>Figure 53: British museum Source :(http://audience.cerma.archi)</p>
<p>Parcours centré</p>	<p>C'est un espace central articule les espace d'exposition dans sa périphérie. Sa particularité c'est la superposition du point de départ avec le point de la fin. Le public a la liberté de choisir l'itinéraire de sa visite .ex : musée de la peinture française à Hiroshima.</p> <div style="text-align: center;">  <p>Parcours centré</p> </div>	<div style="text-align: center;">  </div> <p>Figure 54 : parcours de Musée Guggenheim new York Source : (Microsoft Encarta 2009)</p>

<p>Parcours labyrinthe</p>	<p>Un parcours compliqué, l'espace d'exposition est composé d'un grand nombre de pièces de telle manière que l'on retrouve très difficilement les salles des expositions, ex : Centre Pompidou.</p> <div data-bbox="694 577 869 739" style="text-align: center;"> <p>Parcours labyrinthe</p> </div>	<div data-bbox="1054 237 1465 472" style="text-align: center;"> </div> <p>Figure 55: parcours labyrinthe Source: (Neufert, 2000)</p>
<p>Parcours vertical</p>	<p>Ce type de chemin est apparu opposé à d'autres chemins pour donner plus de vitalité à divers domaines tels que le Muséum of Art d'Atlanta. Ce chemin est isolé sur les galeries, ce qui se fait par des pentes qui éliminent la routine et l'animation du centre-ville, ce qui nous permet de communiquer différents points de vue avec l'extérieur.</p>	<div data-bbox="1034 815 1458 1095" style="text-align: center;"> </div> <p>Figure 56 musée de Quinson Source : hominidé.com</p>

4. L'exposition

Une exposition désigne traditionnellement l'espace et le temps où des œuvres et objets d'art rencontrent un public (spectateur), elle est organisée de deux manières :

4.1. Exposition permanente :

Une exposition permanente qui présente des collections sans limite de temps. Elle repose sur trois points principaux :

1. Harmonie
2. Equilibre (organisation de la commande)
3. Unité (la valeur symbolique des objets exposés).

4.2. Exposition temporaire :

Une exposition est souvent temporaire, s'achevant à l'issue d'une période déterminée. À l'époque moderne, les salles d'exposition et les musées sont devenus importants pour l'exposition temporaire afin de créer une dynamique de fréquence sur le hall.

Les œuvres peuvent être exposées de plusieurs méthodes :

Présentation par les murs :

Consacré Pour l'exposition des tableaux.

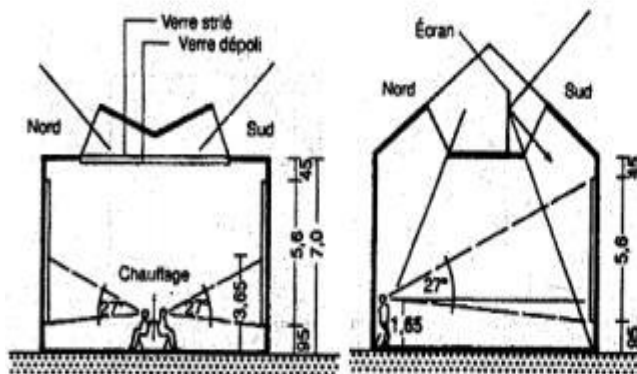


Figure 57 : l'angle de vision.

Source : (Neufert, 2000)

Présentation par des Socles :

C'est un support ou on expose les statuts sa dimension dépend de celle de l'objet exposé

Exposition par terre

Généralement, ce genre d'exposition est réalisé pour les mosaïques, tapis...etc

Au début de l'ère des musées, il était facile d'impressionner et de surprendre le public en voyant les

objets exposés placés dans une boîte en verre. Aujourd'hui, le concepteur doit s'efforcer de parvenir

à une innovation qui attire l'attention du public qui regardait la télévision et le cinéma et qui compte

parmi les principaux éléments qui attirent l'attention des spectateurs



Figure 58 : Le Musée d'art contemporain de Montréal

Source: <https://macm.org>

5. Les types des espaces d'exposition

➤ Exposition dans un grand espace

Il est considéré comme une tendance moderne dans la formation de vides énormes en le divisant par le cutter CLOISON, ce type est caractérisé par :

-Parvenir à la simplicité, à l'efficacité et à la flexibilité avec la possibilité d'une diversité d'utilisation, ainsi que de maintenir la pureté de la forme générale même si elle doit être divisée en différents espaces.

➤ Exposition a l'air libre

La première exposition extérieure date de 1881 et dépend des conditions ambiantes des bâtiments, des arbres, des plans d'eau et parfois du ciel dans la composition de l'arrière-plan des objets exposés.

Dans ce système, l'intérieur se connecte complètement à l'extérieur sans aucune coupure physique ou visuelle, prendre en compte l'Innovation, innovation et simplicité.

➤ Exposition dans un vide organique

C'est la méthode traditionnelle qui consiste à diviser les espaces à parois fixes en salles d'exposition pouvant être séparées ou connectées, ce type est caractérisé par :

- _ Créer une diversité d'atmosphère dans un cadre intégré et cohérent.
- _ Capacité à se concentrer sur certains éléments importants.
- _ Le vide organique est riche en mouvement et direction et facilite le traitement des éléments qu'il contient.

Conclusion

L'évolution du musée a été progressive à chaque étape, que ce soit par la qualité de l'exposition ou par la qualité du spectacle, voire du déroulement de l'exposition et de ses fonctions. En général, on dit que l'exposition a été libérée de sa spécialisation du clergé et des rois, c'est-à-dire de la classe noble, à des expositions pour tous et avec des fonctions diverses comme la conservation, la présentation, le divertissement et même la recherche.

Les expositions sont également devenues un lieu de rencontre et de dialogue avec des chemins libres contenant une sorte de mobilité et de luxe permettant de briser l'ennui qui régnait dans les anciens musées.

Après cela, les expositions sont devenues un chef-d'œuvre dans la ville même et un contour de l'environnement, soutenues par la haute technologie, venues faciliter son développement.

Chapitre 03 :

L'éclairage naturel dans les musés

Introduction :

Le rapport de l'architecture des musées à la lumière du jour marque souvent les moments décisifs de son évolution. Le rôle de la lumière est déterminant dans la conception de l'espace d'exposition, sa perception, sa symbolique. Une brève historiographie sur le paradoxe de l'éclairage dans les musées depuis leur naissance à nos jours, permet de comprendre le sens de cette relation.

Afin d'apprécier l'avance des recherches et des normes sur le paradoxe de l'éclairage naturel dans l'espace muséal, une revue de la littérature vise à explorer l'impact de la lumière naturelle sur l'expérience visiteur afin de comprendre dans quelle mesure l'éclairage naturel peut dicter le parcours des visiteurs dans l'espace muséal.

1. Musée et lumière :

On pourrait considérer que la question de l'éclairage et de sa mise en œuvre accompagne le musée depuis sa naissance. Dans un musée, les œuvres, le parcours de visite, les cartels et les textes doivent être éclairés. La lumière est déterminante quant à l'accessibilité dans l'exposition, le parcours dans les salles, la lisibilité des œuvres et des cartels. En un mot, la lumière est essentielle pour qu'il y ait « expérience de visite » (Gobbato & Schmitt, 2021). Ainsi, la lumière fascine tout autant qu'elle effraie : il faut la maîtriser, la contrôler, la diriger.

a. La lumière comme élément d'expression :

L'éclairage comme élément de la muséographie, comme moyen d'expression, est donneur de sens. C'est un signe, c'est-à-dire une chose construite, visible, qui nous fera penser à une autre chose, un sentiment par exemple. On peut donc considérer un ensemble de variables lumineuses – la chroma, l'intensité lumineuse, la direction, l'étendue, la forme, le mouvement, etc. – qui, combinées entre elles, formeront des unités significatives (Ezrati J.-J. , 2007).

b. La lumière comme élément d'ergonomie :

La lumière et sa mise en œuvre, l'éclairage, doivent nous aider à voir et à bien voir avec le minimum de fatigue. L'éclairage doit s'adapter non seulement à la fonction, mais aussi à celui qui l'accomplit. Niveau d'éclairement, qualité du spectre et réduction des bruits visuels (éblouissement, reflets, luminance parasite...) sont à la base d'un bon éclairage. Ce

sont les mêmes principes qui vont nous guider en éclairage muséographique (Ezrati J.-J. , 2007).

c. La lumière comme élément de détérioration :

La lumière altère et de manière durable les matériaux par les modifications chimiques occasionnées (jaunissement, perte de matière par rupture des chaînes carboniques...). La détérioration sera donc fonction non seulement de la nature des matériaux, mais aussi de la composition spectrale des sources lumineuses. Par exemple, sans précautions la lumière du jour avec une distribution importante de rayonnement de faible longueur d'onde, donc très énergétique, sera beaucoup plus nocive que celle émanant d'une lampe à incandescence, pratiquement sans ultraviolet et une faible quantité de rayonnement de faible longueur d'onde. Encore que ces dernières dégagent une forte chaleur, la détérioration ne sera plus d'ordre photochimique, mais thermique (Ezrati J.-J. , 2007). De plus, l'action de ces rayonnements sur la matière est cumulative, c'est-à-dire que cette action est liée à la durée tout autant qu'au niveau d'éclairement (tableau)

Tableau 08 : Directives sur l'éclairement pour les musées.

Catégorie d'objet	Objectifs de préservation		
	1 000 ans	1 00 ans	1 0 ans
De grande sensibilité (gravures, photos N&B, textiles, papiers)	50 lux pour h/an	5 0 lux pour 25 jours/an 500 lux pour 25 h /an	50lux pour 250 jours /an. 500lux pour 25 jours /an
De sensibilité moyenne (bois,	50lux pour 25 jours/an. 500lux pour 20 h /an	50lux pour 250 jours /an.	340lux pour 365 jours /an. 500lux pour 250 jours /an.

ivoires, peintures vernis)		500lux pour 25 jours /an	
De faible sensibilité (pierres, métaux, céramiques)	100 lux pour 365 jours /an. 500lux pour 75 jours /an	1000 lux pour 365 jours /an. 500lux /an pour un objet de 200 an.	

Source : <https://www.ccq.gouv.qc.ca/index.php?id=170#c4>

Pour conclure, et en se basant sur tout ce que nous venons de dire, on peut définir l'éclairage muséographique comme la mise en œuvre de la lumière, d'une manière expressive, avec la volonté de communiquer tout en conservant au mieux l'intégrité matérielle des objets présentés.

Les jeux d'ombre et de lumière permettent de créer des effets saisissants dans les lieux d'exposition. Une tension dramatique peut jaillir d'un espace assombri, grâce à de fins faisceaux de lumière traversant l'obscurité et attirant le regard du visiteur vers les pièces exposées.

2. Implantation et choix des dispositifs et de la source d'éclairage.

L'éclairage d'exposition doit éviter l'éblouissement direct, les ombres portées sur les objets ou dans l'espace, les reflets sur les surfaces réfléchissantes, et les contrejours dus aux sources d'éclairage mal implantées. Le dégagement de chaleur et le bruit venant soit de la source soit du matériel d'éclairage nécessitent de choisir et d'implanter ces derniers de telle sorte qu'ils n'altèrent pas le confort du visiteur (Bougdah & Sharples, 2010).

2.1. L'éclairage naturel

• L'éclairage direct La lumière du soleil rafraîchit et revigore les champs, mais pose des problèmes sur certains matériaux qui sont souvent inacceptables et contribuent à l'augmentation de la température dans les halls d'exposition qui peut introduire ces inconvénients :


- Introduction de rayons UV (rayonnement ultraviolet) et IR (infrarouge).
- La diffusion de ce type d'éclairage provoque un manque de vision

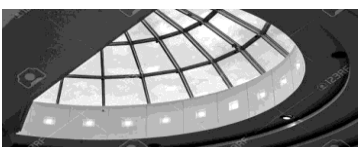


- 'éclairage indirect


Il existe plusieurs types d'éclairage indirect, voire le tableau suivant :

Tableau 09 : types d'éclairage

Type d'éclairage	Caractéristiques	exemple
<p>L'éclairage ponctuel</p>	<p>Ce type d'éclairage est similaire à celui utilisé par les navires et les sous-marins, qui permettent de contrôler la quantité de lumière lors de l'augmentation ou de la diminution du nombre d'ouvertures, exemple : Musée juif</p> <p>(Sarah -Mémoire de Magister option : architecture bioclimatique/2002)</p>	 <p>Figure 59 : présente la réflexion de l'éclairage ponctuel dans musée juif</p> <p>Source: Wikipedia.com</p>
<p>L'éclairage zénithal</p>	<p>Une lumière du toit homogène, Cela nous permet d'obtenir un éclairage complet et homogène qui donne une bonne visibilité avec un potentiel de réflexion et de distorsion réduit.</p> <p>(Sarah -Mémoire de Magister option : architecture bioclimatique/2002)</p>	 <p>Figure 60 : présente l'éclairage zénithal dans la salle d'exposition</p> <p>Source : wikipedia.com</p>
<p>Les lanternes</p>	<p>Ce système d'éclairage est diffusé et évite les éblouissements, il est généralement équipé d'un verre diffuseur pour l'homogénéité qui se reflète de manière positive sur la machine affichée.</p> <p>(Sarah -Mémoire de Magister option : architecture bioclimatique/2002)</p>	 <p>Figure 61 : les lanternes dans le musée de juif</p> <p>Source : http://pirate-photo.fr</p>

<p>Les lucarnes</p>	<p>C'est une petite fenêtre placée au plafond. Les éclairages bien positionnés et les dimensions indiquées sont considérablement positives par rapport à ce qu'offre une fenêtre verticale.</p> <p>(Sarah -Mémoire de Magister option : architecture bioclimatique/2002)</p>	 <p>Figure 62: couloir avec éclairage en lucarne</p> <p>Source: pinterest.com</p>
----------------------------	--	---

<p>Le dôme</p>	<p>Des palais ou des églises, et récemment utilisé par Louis Kahn en 1977 au Yale Center de British Art pour éclairer des galeries et des zones de mouvement et le traitement au fer solaire ferreux utilisait dans tous les cas ce type pour illuminer les zones de mouvement et de distribution.</p>	 <p>Figure 63: dome skyline view in hall of mall</p> <p>Source : pinterest.com</p>
<p>Les pyramides</p>	<p>Le même principe de fonctionnement des dômes, mais ils ont une expression plus puissante.</p> <p>(Sarah -Mémoire de Magister option : architecture bioclimatique/2002)</p>	 <p>Figure 64: pyramide forme</p> <p>Source : Pinterest.com</p>
<p>L'éclairage par réflexion</p>	<p>Malgré sa simplicité, il s'agit du type d'éclairage le plus moderne et le plus positif pour fournir un éclairage diffus et homogène utilisé dans les domaines des types de lecture et d'affichage.</p>	 <p>Figure 65: réflexion de la lumière</p> <p>Source : Pinterest.com</p>

<p>L'éclairage latéral</p>	<p>C'est la seule solution si les autres possibilités ne sont pas disponibles. Ses inconvénients : L'éclairage se concentre sur le sol.</p>	 <p>Figure 66: présente l'éclairage latéral</p> <p>Source: pinterest.com</p>
-----------------------------------	---	---

2.2. Les dispositifs d'éclairage naturel :

2.2.1. Dispositifs zénithal :

C'est des ouvertures sur le toit permettant la pénétration de la lumière de manière verticale:

1-a - La Verrière :

Ce type d'ouverture zénithale, représente une paroi (ou deux) vitrée continue (inclinée, voûtée,...). , exemple la grande verrière du british muséum.

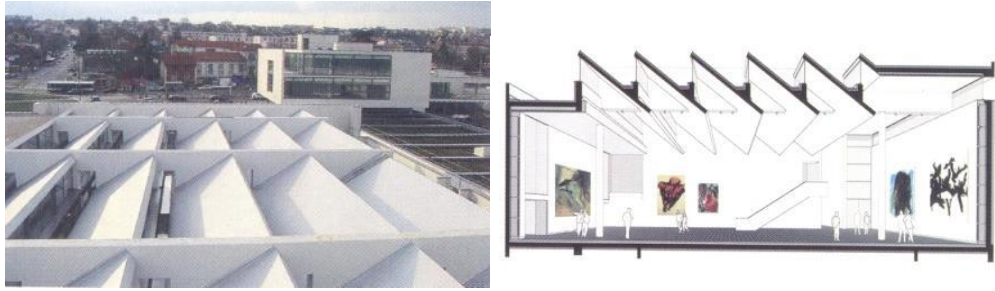


Figure 67 : Verrière du british muséum.

(Source : <http://dispositif.eclairage.archi.musee.fr>)

1-b- le Shed :

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



Figures 68, 69. Le dispositif en shed

(Source : <http://dispositif.eclairage.archi.musee.fr>)

1-c- Le lanterneau :

Ce type d'ouverture, présente deux faces vitrées opposées surmontées par un toit opaque.

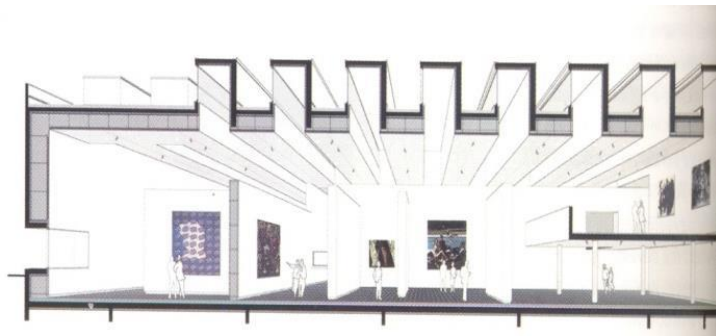


Figure 70 : Le dispositif en Lanterneau.

(Source : <http://dispositif.eclairage.archi.musee.fr>)

1-d- Puits de lumière :

Ce quatrième type d'ouvertures zénithale, est considéré comme une source ponctuelle de Lumière



Figure 71 : Le puits de lumière du musée Juif en Allemagne.

(Source : <http://dispositif.eclairage.archi.musee.fr>)

2.2.2- Dispositifs Latéral :

C'est le procédé le plus ancien .il peut être présenté sous la forme de fenêtres, baie vitrée, ou de simples ouvertures (tout cela est en fonction de l'éclairage désiré) les dimensions de l'ouverture dépendent donc de l'orientation elles peuvent représenter aussi une vue sur l'extérieur au cas ou l'architecte veut montrer un détail extérieur, une vue ou une percée.

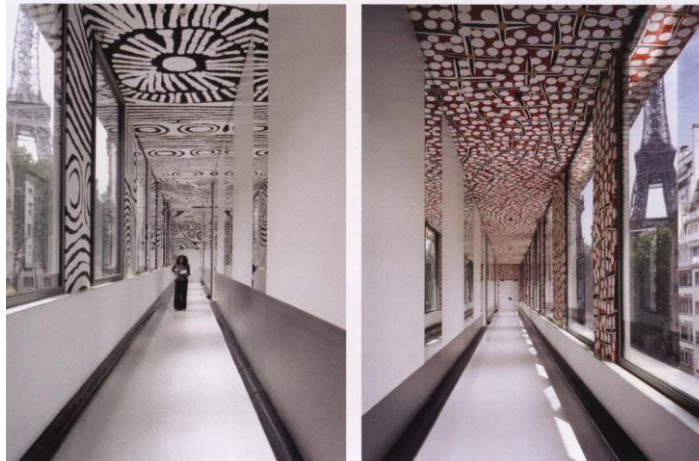


Figure 72 : Musée Le quai Branly, Paris.

(Source : [http:// dispositif.eclairage.archi.musee.fr](http://dispositif.eclairage.archi.musee.fr))

Proportions :

➤ **Profondeur du local :**

Il existe une règle de bonne pratique selon laquelle la profondeur de pénétration de l'éclairage naturel dans un local vaut 1,5 fois la hauteur du linteau de la fenêtre, par rapport au sol, pour une fenêtre classique. Dans le cas d'une fenêtre orientée au sud et équipée d'un light shelf, cette valeur peut atteindre 2 fois la **hauteur du linteau de la fenêtre, par rapport**

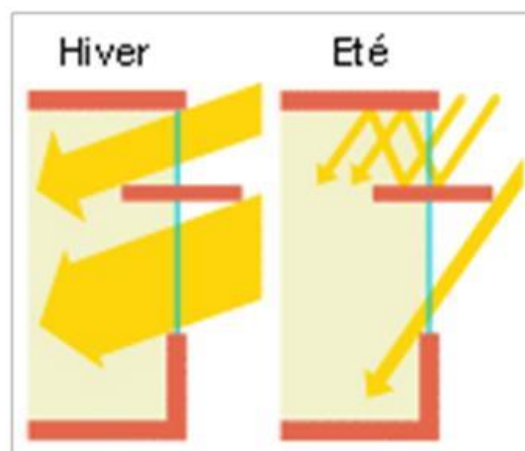


Figure 73 : Light shelf.

Source : Wikipédia

➤ Largeur du local :

Le niveau d'éclairage est d'autant plus élevé dans un local que celui-ci est large, à condition que le rapport de la surface vitrée sur la surface au sol soit constant (pour une profondeur invariable).

➤ **Hauteur sous plafond :**

Une hauteur sous plafond différente pour une même baie vitrée, située à même hauteur du sol, induit de très faibles différences dans la répartition lumineuse de ces locaux. Le niveau d'éclairage est cependant un tout petit peu plus élevé dans les locaux ayant un plafond plus bas.

3. Directives de conception intérieure :

➤ **Réduire l'éblouissement**

Les problèmes d'éblouissement surviennent lorsque les luminaires, les fenêtres ou d'autres sources lumineuses fournissent un éclairage direct ou réfléchi trop intense comparativement à la clarté générale de l'espace intérieur.

- Vision de certains objets sans pour autant créer de l'inconfort.
- L'éblouissement peut nuire à la vision et être désagréable.

Paradoxalement, un éclairage naturel élevé peut nécessiter une grande quantité d'éclairage artificiel afin de réduire le contraste.

L'atténuation de l'ensoleillement direct est nécessaire dans la plupart des immeubles pour éviter l'éblouissement par les fenêtres. Cela peut être réalisé au moment de déterminer la forme et l'orientation de l'immeuble, ou en intégrant des écrans extérieurs (notamment des avancées et des lames verticales), des persiennes, du verre à faible transmission ou des stores et des rideaux intérieurs.

Il est possible de réduire l'éblouissement des surfaces intérieures en augmentant leur luminance au moyen de couleurs pâles.

➤ **b. Les couleurs et l'aménagement intérieur :**

En général, tout système d'éclairage naturel donne de mauvais résultats lorsque les surfaces de la pièce sont sombres. L'utilisation de parois et de meubles de couleur claire influence fortement la luminosité d'un local. (Figure 99) L'importance de la clarté de la finition des surfaces est due à un double effet :

- les facteurs de réflexion plus élevés permettent à la lumière d'être davantage réfléchi ;
- l'œil humain analyse des niveaux de luminance : sous les mêmes conditions d'éclairage, une surface claire est donc subjectivement perçue comme mieux éclairée qu'une surface foncée.

Généralement, les coefficients de réflexion des murs, du plancher et du mobilier situés à proximité de la fenêtre jouent un rôle principal dans le jeu des réflexions intérieures. Dans une moindre mesure, les réflexions sur le plafond et les murs plus éloignés des ouvertures peuvent aussi améliorer la distribution lumineuse. On peut dire que si le facteur de réflexion moyen des murs d'un volume quelconque est inférieur à 50 %, la lumière pénétrera difficilement en profondeur dans cet espace. ((Drif Abd Hamid *naturel* p42-43, 2015)



Figure 74 : espace libre sans colonne avec la liberté de disposer les collections pour avoir un parcours voulu

Source : www.archidaily.com

➤ c. Définition de la structure

La structure influence d'une manière déterminante le caractère d'une ambiance lumineuse. Le choix de la définition structurelle engendre une première définition du traitement de la lumière. Inversement, à une certaine qualité de la lumière recherchée correspond un type de structure offrant une ouverture particulière. Cette structure la laisse pénétrer dans l'espace avec générosité ou parcimonie, selon l'appropriation et le rapport au contexte souhaité.

L'aération des masses par des percements « treillis rempli de trous lumineux » permet à la structure d'être infiltrée par la lumière et donne un effet aérien malgré la lourdeur des masses.

L'ouverture du toit au ciel est une autre stratégie suggérée pour éliminer l'effet de poids.

La structure n'en paraîtrait pas moins lourde extérieurement. Cependant, tout en conservant les parties du volume, mais en les scindant ou les détachant l'une de l'autre par de simples filets lumineux, on peut diminuer l'effet de poids ou de lourdeur.



Figure 75 : le dôme émouvant de l'église San Juan à Monterrey, au Mexique

(source : <http://geometrica.com>)

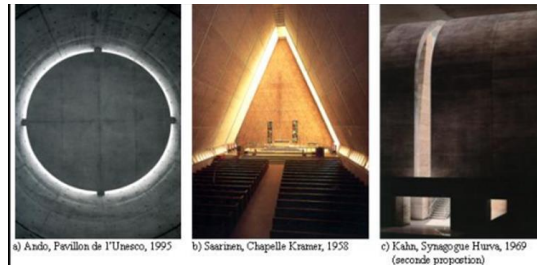


Figure 76 : Division de la masse par le décolllement de ses parties à l'aide de fentes lumineuses

(Source : Biron, 2008)

4. Techniques d'éclairage et protection des œuvres :

En muséographie, la conservation de l'œuvre est primordiale. Ultraviolets et infrarouges présentent un danger permanent pour les objets ainsi que pour les pigments d'origine organique. Concept Light intègre parfaitement cette exigence et dispose d'une gamme de filtres performants et fiables.

4.1. Préservation et présentation des œuvres :

a. Conservation

✓ La conservation préventive :

Elle consiste à agir indirectement sur le bien culturel, afin d'en retarder la détérioration ou d'en prévenir les risques d'altération en créant les conditions optimales de préservation compatibles avec son usage social. La conservation préventive s'exerce aussi lors de la manipulation, l'utilisation, le transport, le conditionnement, le stockage et l'exposition des biens culturels.

✓ La conservation curative :

Elle consiste principalement à intervenir directement sur le bien culturel dans le but d'en retarder l'altération.

✓ La restauration :

Elle consiste à intervenir directement sur des biens culturels endommagés ou détériorés dans le but d'en faciliter la lecture tout en respectant autant que possible leur intégrité esthétique, historique et physique. Donc elle est importante de prendre en compte les deux facteurs d'altérations par rapport à la Lumière sont :

- Les ultraviolets et leurs effets photo chimiques.
- Les infrarouges et leurs effets thermiques. (Jean-Jacques Ezrati ; 2008)

- Les ultraviolets :

Invisibles à l'œil, mais présents en grande quantité dans la lumière solaire ou certaines sources de lumière artificielle, les rayons ultraviolets sont les radiations les plus nocives pour les œuvres d'art, mais, des solutions existent pour les éliminer, telles que :

Placer des filtres anti UV devant les sources d'éclairage, tout particulièrement les tubes fluorescents et certaines lampes halogènes.

Placer des rideaux ou des stores sur les fenêtres.

- *Les infrarouges :*

Tout aussi invisibles et présentes dans la lumière solaire, les radiations infrarouges sont source de chaleur et de dégradation des œuvres d'art, car, elles contribuent à l'échauffement de l'espace d'exposition et donc, ne permet pas une bonne stabilité climatique, surtout en période chaude sachant que, leurs effets sont d'autant plus importants que la durée d'exposition est plus longue.

Mais là aussi des solutions existent, qui sont :

✓ *Limiter l'intensité de l'éclairage :* même sans ultraviolet, la lumière reste nocive et les expositions dans des " obscures clartés " ne répondent pas seulement à des modes muséographiques, mais à une nécessité impérieuse de protection des œuvres. Le niveau généralement préconisé est d'environ 150 lux, mais il doit être limité à 50 lux pour les

✓ *Limiter la durée d'exposition des documents sensibles :* car l'effet de la lumière est cumulatif (une peinture exposée à 50lux pendant 1000 heures subirait les même effets qu'une peinture exposée à 5000lux pendant 10 heures).

✓ *Prendre en considération deux dangers corollaires :* la position des sources d'éclairage afin d'éviter un échauffement dangereux, en particulier avec les lampes halogènes et, d'autre part, l'installation électrique qui peut parfois déclencher des incendies. Mr MEDDOUR SAMIR, 2008. p 30.31)

En règle générale, la solution la plus utilisée pour l'éclairage des salles d'exposition est L'utilisation de la lumière diffuse (éviter la lumière solaire directe).

4.2. Les matériaux constitutifs des œuvres et leur sensibilité à la lumière :

Les éléments à prendre en compte sont :

- Le temps d'exposition,
- La quantité de lux en direction de l'œuvre,
- L'émission des rayons ultraviolets (dégradation photochimique),
- L'émission de rayons infrarouges (élévation de la température de l'œuvre).

Il convient donc de protéger les œuvres contre les effets néfastes des rayonnements. Certains matériaux, comme la pierre, la céramique ou les métaux, sont peu sensibles aux effets de la lumière. D'autres comme les peintures sous verre et les émaux, sensibles aux variations de température, au terme d'une exposition longue et intense peuvent subir des altérations. Enfin les objets contenant des matières organiques comme les papiers, dessins, aquarelles, pastels, photographies, lettres, archives, ouvrages manuscrits et imprimés, cuirs, peaux, textiles, certaines peintures, bois, ivoires, plumes, etc., sont extrêmement fragiles. Il en est de même pour les résines synthétiques. Les œuvres contemporaines sont souvent composites et hétérogènes dans leur constitution. Elles intègrent des matières synthétiques instables dans le temps et beaucoup moins résistantes qu'on ne le croit, surtout quand les techniques d'application n'ont pas été correctement maîtrisées. Attention aux mises en scène lumineuses des œuvres, qui sont de plus en plus fréquentes. Si le rendu esthétique s'en trouve renforcé, les altérations générées ne sont que trop rarement prises en compte. (JEAN-JACQUES EZRATI)

Tableau 10 : Éclairage et protection des œuvres Source : le milieu physique et le projet d'architecture.

Catégorie d'objets exposés	Eclairage acceptable
Objets pratiquement très peu sensibles à la lumière (métaux, céramiques, minéraux, bijoux, verres, émaux, sculptures)	Il est rarement nécessaire de dépasser 300 lux, sauf pour mettre en valeur un point particulier.
La plupart des catégories d'objets et spécimens (peinture à l'huile, détrempe, cuirs naturels, laques, bois, corne, ivoire)	Maximum 150 à ISO lux en service et non pas 300 lux ou plus, comme l'indiquent certains documents.
Objets particulièrement sensibles à la lumière (aquarelles, textiles, tapisseries, costumes, impressions, dessins, timbres, estampes, manuscrits, miniatures, teintures murales, cuirsteints, spécimens d'histoire naturelle)	Pas plus de 50 lux (et moins si possible), avec réduction sévère des horaires d'exposition.

5. Protection des œuvres :

5.1 Maîtrise des techniques :

En peut, selon Jean-Jacques EZRATI de protégé les œuvres contre Effet photochimique par la Dégradations dues à la lumière et évité la Dangersité des UV par la création Filtrés sur vitrages ou absorption parois. Connaissant les caractéristiques spectrales, spatiales et énergétiques d'une source, il est alors possible d'apporter les actions correctives suivantes :

- Suppression du rayonnement ultraviolet.
- Réduction du rayonnement infrarouge.
- Contrôle du rayonnement visible.

C'est sur ces trois points que réside la maîtrise de la lumière et non uniquement sur le choix d'une source. Il faudra également trouver le moyen de résoudre les problèmes liés à la sensibilité à la lumière des objets exposés.

a. Suppression du rayonnement ultraviolet :

Rien de plus simple que d'éliminer le rayonnement ultraviolet d'une source, qu'il s'agisse de la lumière du jour ou d'une source artificielle comme les tubes fluorescents.

-Dans le cas de la lumière naturelle, la première solution consistera à équiper toutes les ouvertures de vitrages feuilletés. Lorsqu'il s'agit d'une rénovation, la pose d'un film sur les vitres d'une fenêtre ou d'une laque pour une verrière reste une solution peu coûteuse, qui pourra également remplir d'autres fonctions. -Avec les tubes fluorescents, une gaine fabriquée à partir d'un filtre anti UV reste le plus simple et le moins cher. Pour les lampes halogènes, on les choisira avec l'option « UV stop », la solution sera par contre beaucoup plus coûteuse, car les filtres ne pourront plus être en matériaux organiques, mais seront obligatoirement, pour des problèmes de dégagement calorifique, en matériaux d'origine minérale.

b. Réduction du rayonnement infrarouge :

On évitera une entrée directe du soleil par la pose de stores extérieurs et la réduction des ouvertures particulièrement au sud et à l'ouest. Pour des bâtiments neufs, on recherchera d'emblée le vitrage le plus adéquat, non seulement pour bloquer le rayonnement ultraviolet, mais aussi pour éliminer un maximum de rayonnement infrarouge, et de fait réduire aussi le flux du visible. En rénovation, la solution « films et laques » est à envisager. Avec les sources artificielles, le plus important est d'éviter l'usage de sources à fort dégagement calorifique dans des lieux confinés comme des salles de petites dimensions et encore plus à l'intérieur des vitrines. L'usage des systèmes à fibres optiques représente une solution, à la seule

condition que le générateur de lumière soit correctement ventilé et hors de l'espace d'exposition de la vitrine. Aujourd'hui les diodes électroluminescentes, sous certaines conditions, peuvent représenter une solution tout à fait pertinente. (JEAN-JACQUES EZRATI p5.6)

c. Contrôle du rayonnement visible :

Le rayonnement visible provoque aussi des dégradations photochimiques, il faut donc le contrôler avec une grande attention. On retiendra que les dégradations dues à la lumière sont cumulatives et que l'important est la dose reçue. Pour des raisons de commodité, on travaillera avec les unités visuelles de niveau et de dose que sont le lux et le lux. Heure (par an).

Le luxmètre : par exemple, l'intensité lumineuse pour un dessin ne doit pas excéder 50 lux, du moins dans l'absolu, car ce qui est déterminant c'est de connaître la durée d'exposition, laquelle permettra de déterminer la valeur pertinente qu'est l'exposition lumineuse exprimée en lux heure/an.

Exemple : pour la présentation d'une œuvre en ivoire, la norme est de 150 000 lux heure/an, soit de 50 lux pour 3000 heures, ou bien de 500 lux pour 300 heures.

La mesure se fera avec un luxmètre. Le tableau ci-dessous donne les grandes lignes à prendre en compte. Ces valeurs peuvent être différentes suivant les auteurs, mais l'important est l'ordre de grandeur. (JEAN-JACQUES EZRATI p5.6)

Tableau 11 : la dose d'éclairage de chaque matériau.

Matériaux	Dose d'éclairage
Matériau insensibles	-
Matériau peu sensible	1200 klux.h/a
Matériau relativement sensible	600 klux.h/a
Matériau sensible	150 klux.h/a
Matériau très sensible	75 klux.h/a
Matériau extrêmement sensible	15 klux.h/a

Source JEAN-JACQUES EZRATI

5.2. Les moyens de protection :

Les moyens de protection sont fonction, pour une large part, de la source lumineuse employée, lumière naturelle ou lumière artificielle. a. Lumière naturelle :

✓ **Matériaux verriers :**

Les verres feuilletés (feuille de butiral de polyvinyle intercalé entre deux feuilles de verre), la majorité des verres composés (feuille de polycarbonate + intercalaires entre deux feuilles de verre). Le taux de transmission du rayonnement ultraviolet de ces produits est de l'ordre de 5% (ce qui correspond à une valeur légèrement supérieure à celle recommandée par l'ICOM), les verres inactiniques (verre soufflé « Antique » contenant des oxydes de fer et de titane).

✓ **Films de protection :**

Ils sont fabriqués à partir d'une résine de polyester, incluant ou non des agents anti-ultraviolets, appliquée sur les vitrages grâce à un adhésif sensible à la pression et contenant des agents anti- ultraviolets.

✓ **Laques de protection solaire :**

Généralement distribuées, voire fabriquées, par les entreprises de pose de films, elles assurent aussi une excellente protection anti UV., principalement pour les vitrages en toiture.

✓ **Peintures anti UV :**

Les peintures contenant du dioxyde de titane ou des pigments d'oxydes de zinc et de plomb agissent par absorption. Elles trouvent leur emploi aussi bien en présence de lumière naturelle qu'artificielle, réfléchié par les parois. Naturellement blanches, elles peuvent être teintées. b. Lumière artificiel :

✓ **Matériaux verriers :**

- Le verre trempé pour les lampes tungstène-halogène suffit en général à réduire le rayonnement ultraviolet émis par ces lampes ;

- Verre trempé à couches minces pour les lampes tungstène-halogène et aux halogénures métalliques ;

- Verre trempé absorbant pour la même utilisation. Légèrement jaunâtre.

- **Matériaux organiques :**

- Plaques de poly méthacrylate de méthyle (P.M.M.A.). Ces plaques sont utilisées essentiellement dans des plafonniers fluorescents ou en faux plafond. (Attention, le classement au feu n'est peut-être pas conforme à la législation actuelle.) ;

- Plaques de polycarbonate (P.C.) ;
- Feuilles polyester de la gamme en usage dans les théâtres et studios T.V., enroulés autour dos tubes fluorescents ;
- Feuilles ou gaines en polychlorure de vinyle, qui assurent une très bonne protection vis-à- vis de la lumière naturelle

et des tubes fluorescents. Le luxmètre : par exemple, l'intensité lumineuse pour un dessin ne doit pas excéder 50 lux, du moins dans l'absolu, car ce qui est déterminant c'est de connaître la durée d'exposition, laquelle permettra de déterminer la valeur pertinente qu'est l'exposition lumineuse exprimée en lux heure/an. Exemple : pour la présentation d'une œuvre en ivoire, la norme est de 150 000 lux heure/an, soit de 50 lux pour 3000 heures, ou bien de 500 lux pour 300 heures. (MEDDOUR Samir, 2008)

Conclusion :

Dans un musée l'éclairage et un moyen d'expression, Il est important de conserver les œuvres transmet aux générations futures dans le meilleur état possible. Et pour prendre en compte l'éclairage dans le cadre de l'exposition, il faut prendre en compte la sensibilité objets exposés à la lumière, les caractéristiques des sources de lumière utilisées et les techniques de l'éclairage dans un musée. L'utilisation de lumière naturelle et artificiel besoins des matériaux spécifiques pour la protection des objets.

La lumière est un matériau qui doit être maîtrisé pour répondre aux exigences d'un espace tel que le musée, elle doit être capable de donner les réponses adéquates aux problèmes posés par une exposition.



Chapitre 04 :

Présentation de cas d'étude

INTRODUCTION :

Chaque chose évolue, se déroule, s'exprime ou se passe selon les conditions offertes par son environnement et selon son contexte. Donc l'étude et la compréhension d'un phénomène quelconque devra nécessairement être précédée par une étude des différents paramètres constituant son environnement et le contexte dans lequel il se déroule. Notre recherche s'articulant entre autres autour de mots clés tel que "éclairage, naturel, musées", il est donc primordial que connaître sous quel type de climat et sous quelles conditions d'ensoleillement se déroule notre étude ainsi que les différentes composantes du musée Cirta qui définissent le contexte "muséal" dans lequel cette même recherche évoluera. Le musée est une institution éducative et d'enseignement outre son aspect culturel.

De ce fait ses buts, à caractère national, permettent de sensibiliser les générations à la valeur de ce patrimoine et renforcent leur fierté. Buts pédagogiques aussi, apprenant aux néophytes le développement de la pensée humaine aux époques successives. Dans ce sens, ce chapitre comportera deux parties, la première visera la présentation du climat et l'ensoleillement de la ville de Constantine, et la deuxième visera la présentation du musée national Cirta.

1. Bioclimat et ensoleillement de la ville de CONSTANTINE :

1.1. Situation de la ville de Constantine :

Constantine, ville du Nord Est algérien, située à $36^{\circ},17$ de latitude Nord, et à $7^{\circ},23$ de longitude Est. (Figure 98). Sa position par rapport aux coordonnées Lambert est de 284 à 289 pour les abscisses et 4024 à 4029 pour les coordonnées.

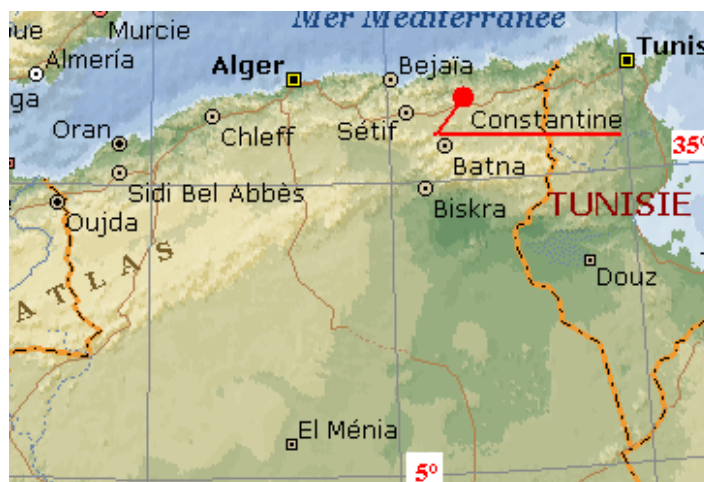


Figure 77 : Situation de la ville de Constantine

Source : Encarta, 2005

1.2. Classification climatique :

Les zones climatiques peuvent être classées en deux grandes catégories (DIB, Michel Nadia. 1993)

1. ZONES CLIMATIQUES D'HIVER : (figure 102)

- La zone H1 subit l'influence de la proximité de la mer ;
- La zone H2 subit l'influence de l'altitude ;
- La zone H3 subit l'influence de la latitude ;

Ces trois zones sont classées en fonction de l'altitude en 07 sous zones comme suit :

▪ Sous zone H1a : littoral mer, altitude $< 500\text{m}$: Caractérisée par des hivers doux avec des amplitudes faibles.

▪ Sous zone H1b : arrière littoral montagne, altitude $> 500\text{m}$: caractérisée par des hivers plus froids et plus longs.

▪ Sous zone H2a : atlas tellien- montagne, $1000 < \text{altitude} < 1500\text{m}$: caractérisée par des hivers froids et un écart de température diurne important.

▪ Sous zone H2b : atlas saharien montagne, altitude $> 1500\text{m}$: caractérisée par des hivers encore plus froids.

▪ Sous zone H3a : présaharien, $500\text{m} < \text{altitude} < 1000\text{m}$: caractérisée par des hivers très froids la nuit par rapport au jour. Les écarts de température entre le jour et la nuit sont importants.

▪ Sous zone H3b : Sahara, $200\text{m} < \text{altitude} < 500\text{m}$: caractérisée par des hivers moins froids que la zone H3a avec des écarts de température diurne.

▪ Sous zone H3c : Hoggar, altitude $> 500\text{m}$: caractérisée par des hivers très froids analogues à la zone H3a, mais qui persiste même durant la journée.

1.3. Zones climatiques d'été : (DIB, Michel Nadia. 1993)

Climatiques d'été :

- La zone E1 subit l'influence de la proximité de la mer ;
- La zone E2 subit l'influence de l'altitude ;
- La zone E3, E4 et E5 subissent l'influence de la latitude ;

Chaque zone a les caractéristiques suivantes :

- La zone E1, littoral : caractérisée par des étés chauds et moins humides. L'écart de température diurne est faible.
- La zone E2, hauts plateaux- montagne : caractérisée par des étés plus chauds et moins humides avec des écarts de température diurne importants.
- La zone E3, pré Sahara – tassili : caractérisée par des étés très chauds et secs, mais moins pénibles qu'en zone E4.
- La zone E4, Sahara : caractérisée par des étés secs, mais plus chauds et plus secs qu'en zone E3.

D'après cette classification zonale, Constantine est située dans la zone climatique d'hiver H2a et la zone climatique d'été E23 possédant :

- Un été plus chaud, moins humide où l'écart de température diurne est important.
- Un hiver froid et sec avec un écart de température diurne important.

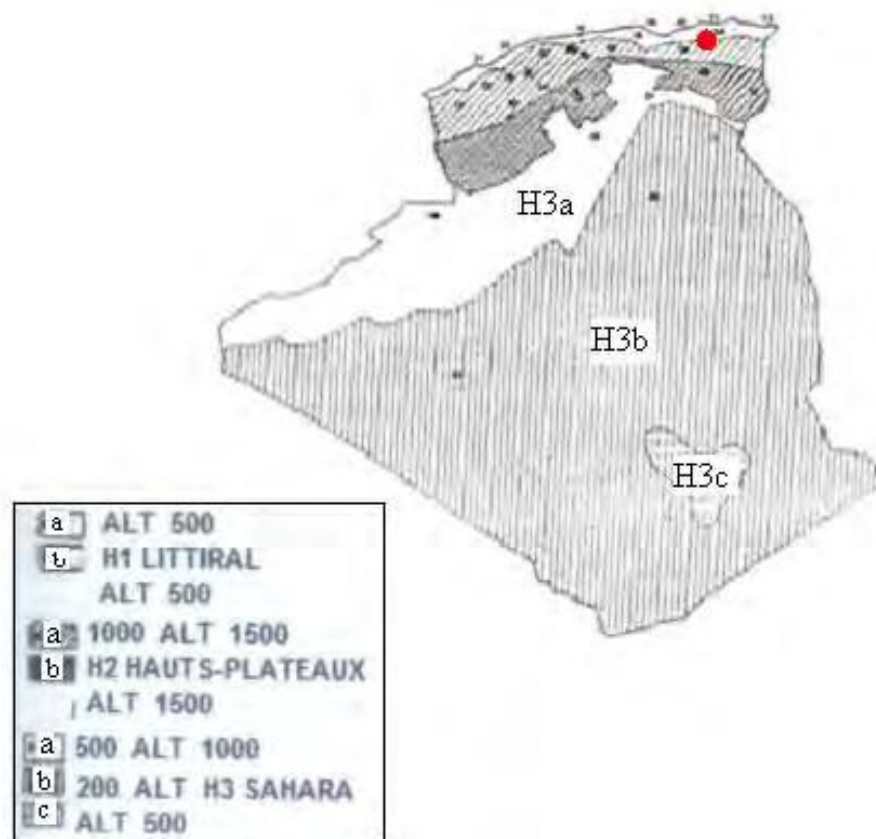


Figure 78 : Les zones climatiques d'hiver en Algérie

Source : ENAG, 1993

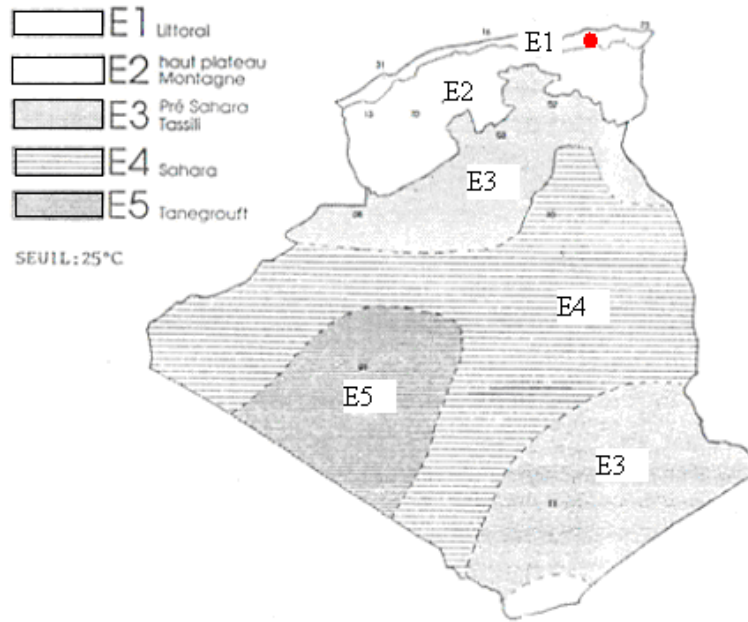
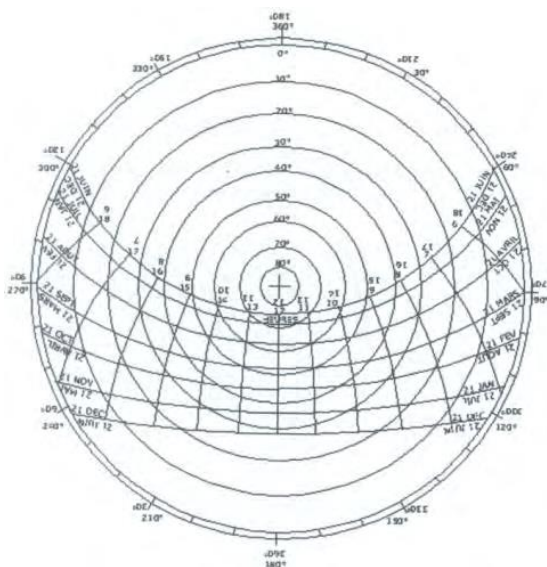


Figure 79 : Les zones climatiques d'été en Algérie

Source : ENAG,1993

1.4. Ensoleillement :

L'ensoleillement est considérable dans la ville de Constantine. Potentiellement, pour une latitude de $36^{\circ}17'$, le nombre d'heures d'ensoleillement dépasse les 14 heures par jour en été, et 09 heures en hiver comme le montre Le diagramme solaire (figure105), ainsi que la trajectoire solaire qui est plus importante en été (21 Juin jour le plus long de l'année) qu'en hiver (21 décembre, jour le plus cours de l'année) ceci permet de considérer également l'énergie incidente sur le sol qui à son tour n'est pas négligeable.



**Figure 80 : Diagramme solaire indiquant la trajectoire solaire
Pour la ville de Constantine – latitude $36^{\circ} 17'$**

A Constantine, la durée d'insolation effective est très importante pendant toute l'année. Elle est comprise entre 151 h pour le mois de janvier et plus de 300 h pour le mois de juillet

Le mois où le ciel est plus clair, le sol reçoit une fraction d'insolation importante de l'ordre de 80%. Le mois où le ciel est couvert, le sol reçoit une fraction d'insolation de l'ordre de 45%.

2. Présentation du musée national CIRTA de Constantine

2.1. Historique :

Le musée de Constantine compte parmi les plus anciens d'Algérie, sa création est due à l'initiative de la société d'archéologie de Constantine fondée en 1852 par M.CREULY, L.RENIER et CHERBONNEAU. Après six ans de recherche d'un lieu abritant cet édifice, en 1860, les autorités on s'est trouvé contraint d'attribuer à la société une autre salle à la nouvelle mairie en attendant l'édification d'un musée pour la ville de Constantine qui s'étendra sur 2100 m² dont 1200 m² de bâti et 900 m² pour le jardin. A cet effet le choix se porta sur le KOUDIAT, comme lieu d'implantation du musée du fait que c'était l'emplacement d'une nécropole Numido-punique et aussi en raison de ce qu'il recelait dans le sol comme vestiges de diverses époques.

Les travaux de construction du musée commencent en 1921, jusqu'à fin d'année de 1930, ou l'édifice était conçu sous la forme d'une villa gréco-romaine, dont le plan avait été conçu par l'architecte CASTELLI. le 15 avril 1931 le musée ouvrit ses portes au public sous le nom de musée GUSTAVE MERCIER, secrétaire général de la société archéologique. Le musée garda cette appellation jusqu'au 5 juillet 1975, date à laquelle il fut rebaptisé « musée Cirta », et en 1986, il devint « musée national Cirta ».

2.2. Composition du musée :

Le musée de Cirta s'élève sur deux niveaux (rez-de-chaussée, et un étage), ou il comprend aussi un grand jardin épigraphique à l'extérieur. Ces deux niveaux se composent de plusieurs salles et galeries d'expositions permanentes et temporaires, ses salles d'expositions et galeries abrite plusieurs objets sous des thèmes différents qui racontent les périodes successives de l'histoire de la région de Constantine

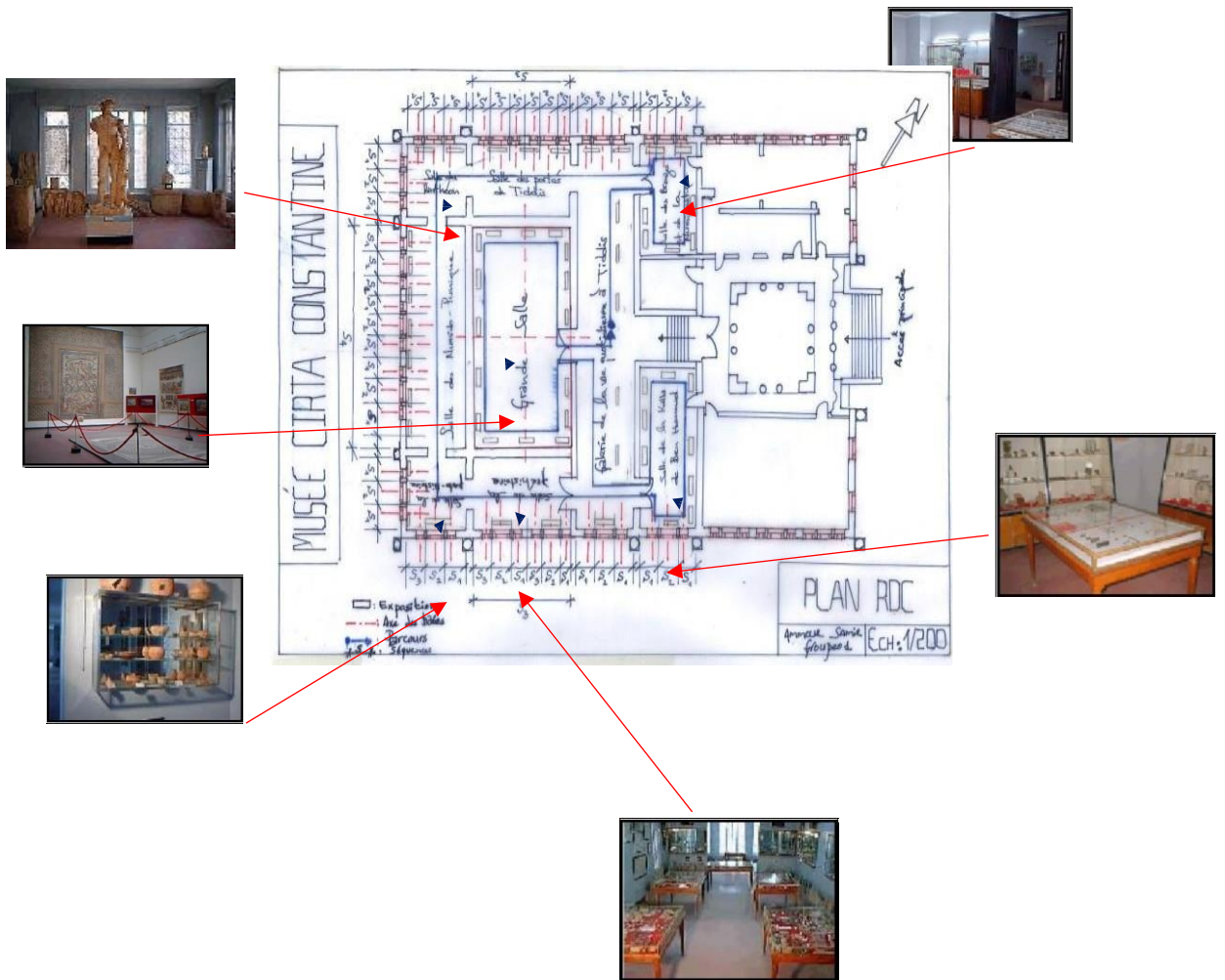


Figure 81 : Plan Rez-De-Chaussée du

Source : Auteur

2.3. Présentation plan Étage, et ses salles expositions permanentes :

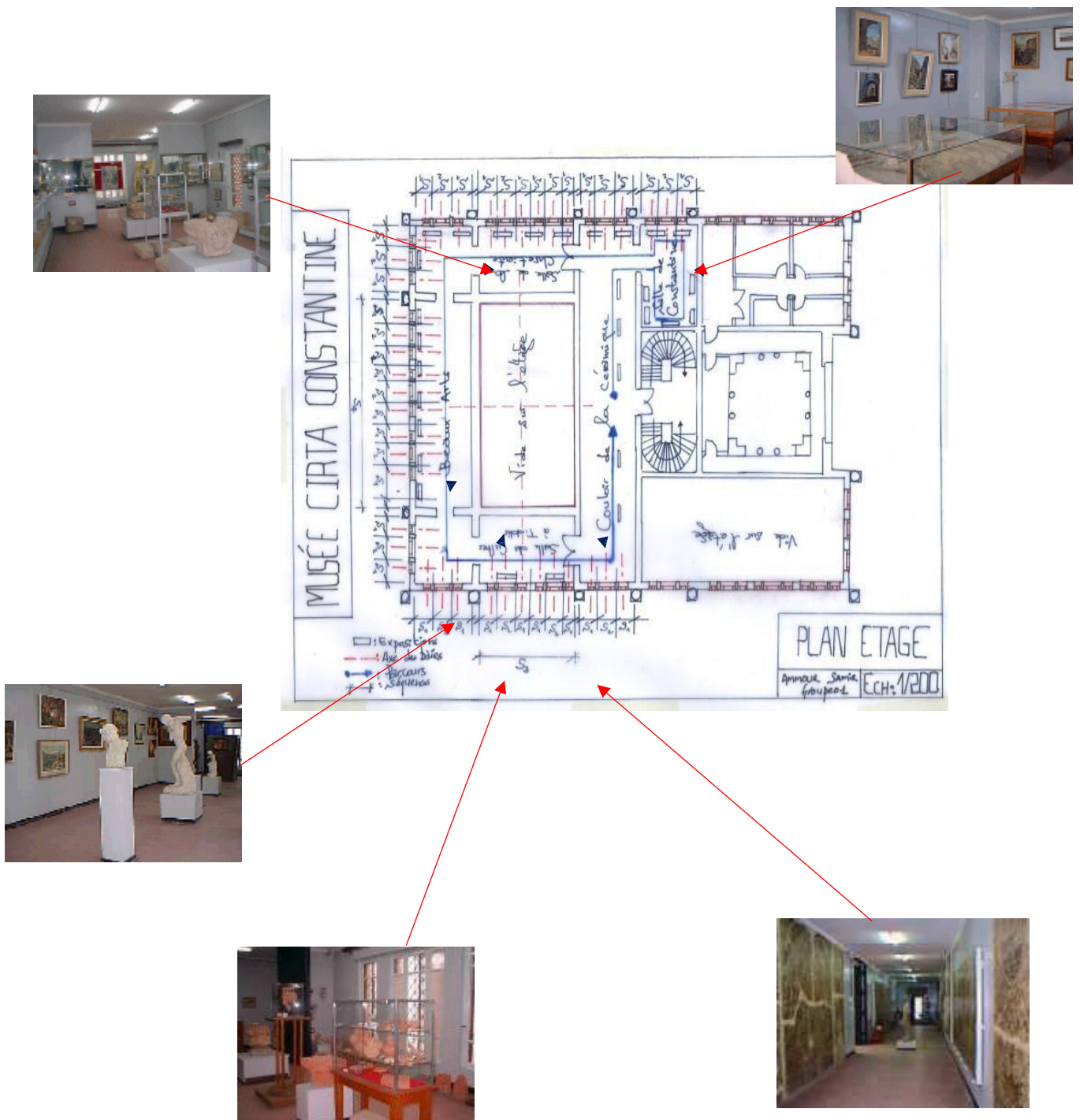


Figure 82: Plan du 1er Etage

Source : Auteur

2.4. Jardin Extérieur :

Le musée Cirta possède également un jardin épigraphique où sont rangées en plein air plusieurs moulures en bronze, des stèles et des sculptures colossales, en voici quelques :



Figure 83 : Statut en bronze Moulure, Stèle du jardin, Sculpture.

(Source : www.cirtamuseum.org.dz)

2.5. Contenu du musée :

Grâce au nombre important de fouilles et de découvertes, le musée Cirta est riche d'une multitude d'œuvres et d'objets archéologiques en provenance de plusieurs sites du pays et même d'Europe. En voici quelques illustrations :

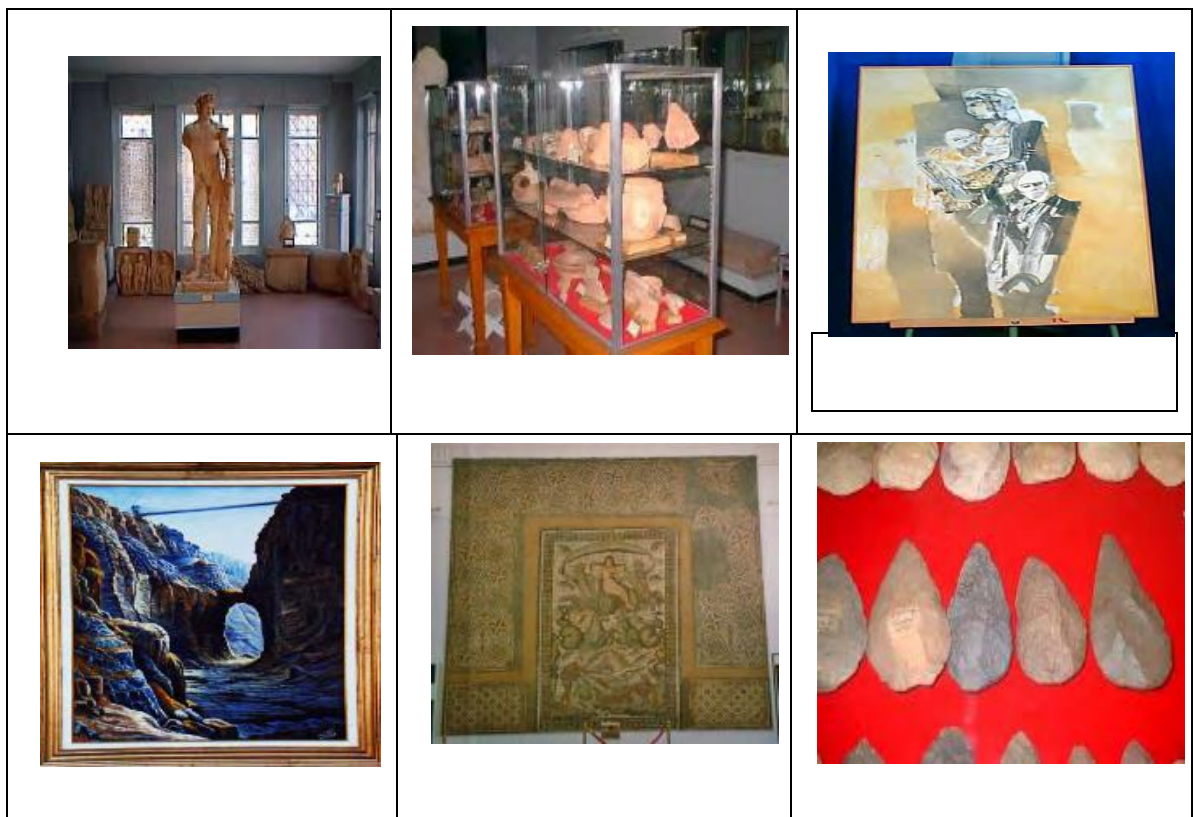


Figure 84 : Contenu du musée.

(Source : www.cirtamuseum.org.dz)

2.6. Présentation / Exposition :

Les objets et œuvres du musée sont exposés de différentes manières, selon leurs types, leurs tailles, leurs valeurs, leurs fragilité...etc. Certains sont protégés par des vitrines et d'autres ne le sont pas, ces vitrines se présentent sous trois formes :

a)- les vitrines horizontals :



Figure 85 : vitrine horizontale-

(Source : www.cirtamuseum.org.dz)

Ces vitrines permettent d'exposer sur un plan large le maximum d'objets de même nature ou s'insérant dans un même thème d'exposition.

b)- les vitrines verticales :



Figure 86 : vitrine verticale-

(Source : www.cirtamuseum.org.dz)

Prenant moins de place, ces vitrines permettent de disposer les objets sur trois niveaux ou plus, l'observation et ainsi possible des quatre cotés

c)- les vitrines murales



Figure 87 : vitrine murale-

(Source : www.cirtamuseum.org.dz)

Très efficace pour dégager les espaces de circulation, elles permettent d'occuper les espaces exigus comme les couloirs et les insérés dans le circuit de la visite. Ces vitrines sont dotées de miroirs pour aider à voir les faces cachées des objets.

Ces supports d'exposition suscités ne sont cependant pas généraliser, puisque d'autres œuvres ne sont pas présentées derrière des vitrines, comme exemples on peut citer

d)- les tableaux et peintures :



Figure 88 : tableaux sur panneaux en bois

Les tableaux du musée sont exposés d'une manière classique, certains sont accrochés aux murs et pour d'autres on utilise des panneaux métalliques ou en bois

e)- les mosaïques :

Plusieurs mosaïques authentiques retrouvées sur différents sites de fouille ont été constituées dans le musée, toutes sont accrochées aux murs, sauf une qui est posée sur le sol de la grande salle.



Figure 89 : mosaïque d'une scène de chasse à la grande salle-

f)- les statues et les sculptures :

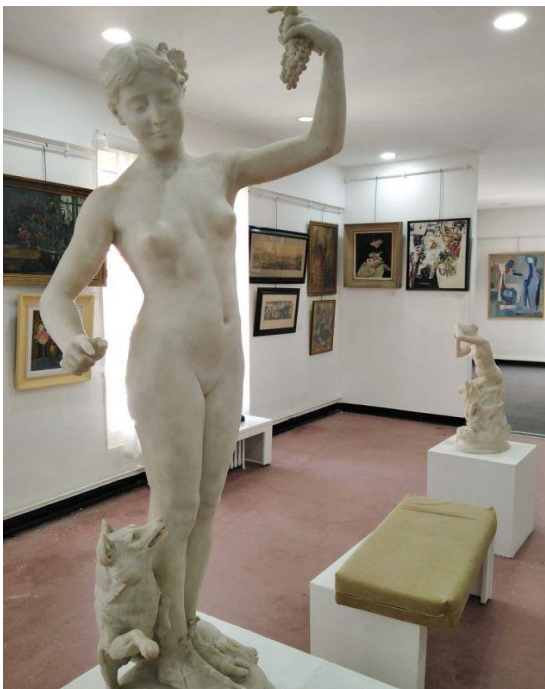


Figure 90 : statues (Source : l'auteur) posées sur socles-



Figure 91 : gravures posées au sol

(Source : www.cirtamuseum.org.dz)

Le musée possède un nombre important de sculptures, de gravures, de statues et autres moulures en bronze, celles-ci sont posées directement sur le sol ou sur des socles de différentes hauteurs.

3. Modes et dispositifs d'éclairage du musée national Cirta

L'éclairage est un facteur majeur dans une exposition dans le musée, puisque le but d'une exposition est la mise en valeur et l'appréciation de l'objet ou l'œuvre exposée, qui dépend en grande partie de la qualité et de la quantité de lumière qui l'éclaire. Deux modes d'éclairage naturel sont utilisés, à savoir le zénithal, et le latéral.

La plupart des musées du monde possèdent ces deux modes d'éclairage naturel, qui parfois sont utilisés simultanément, parfois séparément et d'autres fois par alternance lorsqu'il s'agit de couverture d'un événement. Pour sa part le musée Cirta ne déroge pas à cette règle puisque l'éclairage naturel dans ce musée est assuré par ses deux modes d'éclairages

3.1. L'éclairage latéral :

Délimité par des voies mécaniques, le musée Cirta s'ouvre sur quatre façades sans aucune mitoyenneté avec les constructions qui l'entourent. Ce qui permet de bénéficier des ouvertures latérales vers l'extérieur sur toutes les façades.

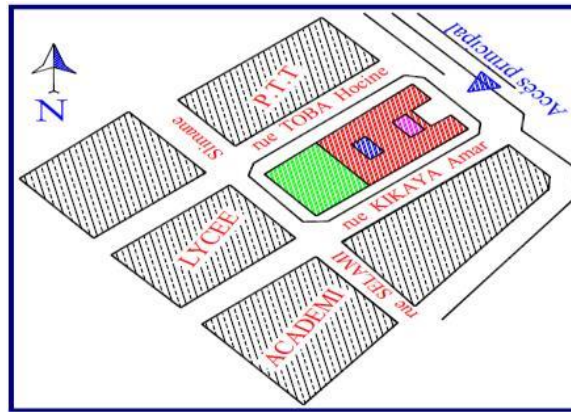


Figure 92 : implantation du musée.

(Source : www.cirtamuseum.org.dz)

a- Les façades :

- Les ouvertures :

D'une architecture gréco-romaine, les façades du musée Cirta offrent des modèles d'ouverture typique à cette architecture.

Le model le plus utilisé consiste en une association de deux formes de fenêtres

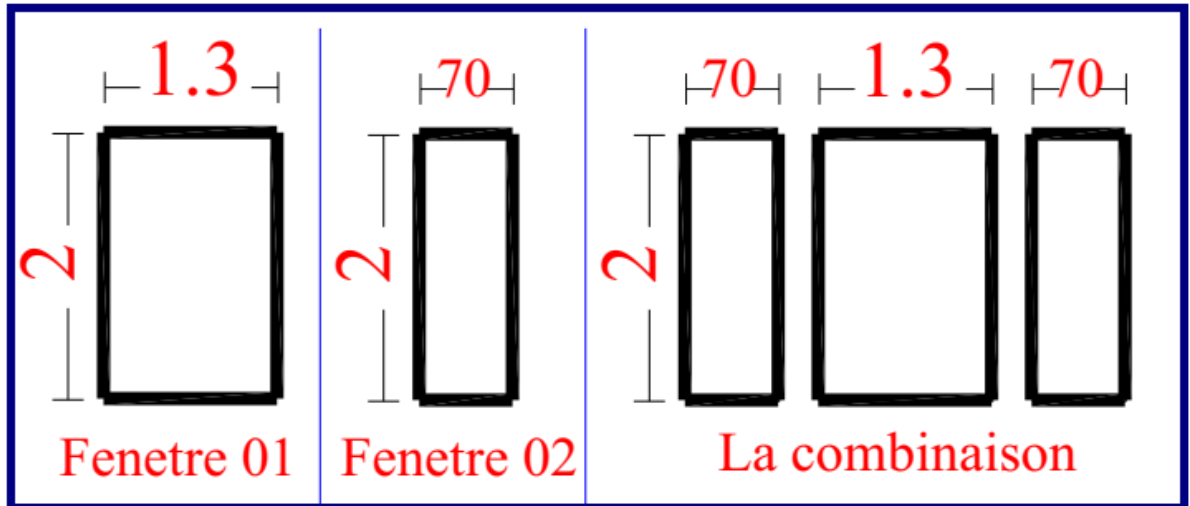


Figure 93 : modeles et dimensions des ouvertures –

(Source : l'auteur)

Utilisée séparément ou en combinaison, ce type d'ouverture est le plus utilisé pour l'éclairage du musée, comme illustré sur les photos qui suivent :

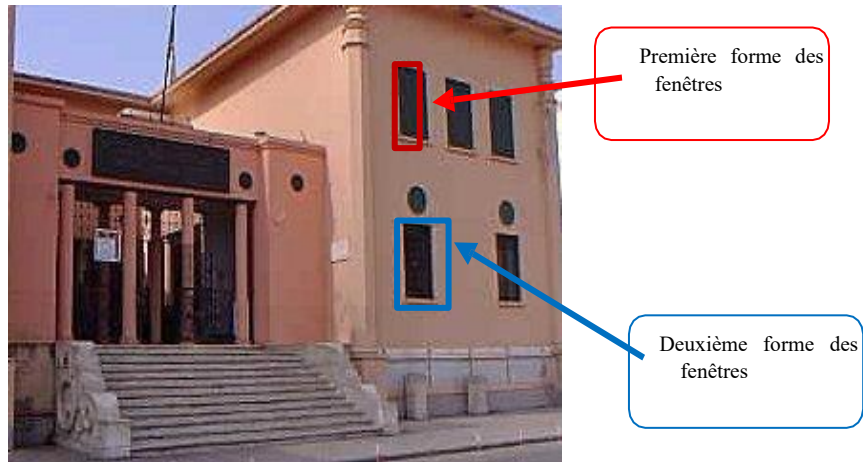


Figure 94 : façade principale du musée.

(Source: Auteur.)



Combinaisons des deux formes

Figure 95 : façade postérieure du musée

(Source : Auteur)

b- La toiture :

La toiture du musée comporte trois ouvertures ; deux verrières et un patio ; qui permettent un éclairage zénithal des espaces intérieurs. Ainsi le patio sert à éclairer un jardin intérieur, la

petite verrière sert à éclairer les escaliers (Photo122) du musée et la grande verrière sert à éclairer la grande salle d'exposition (Photo 123)

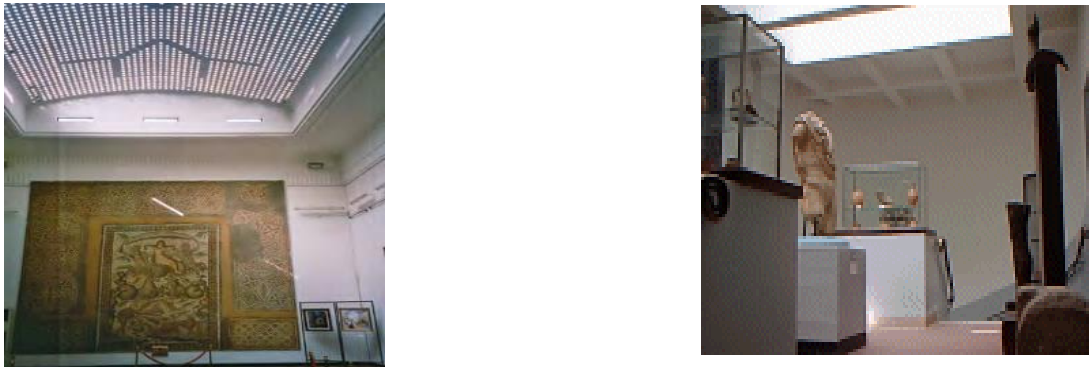


Figure 95 : la grande salle, l'escalier -

(Source : www.cirtamuseum.org.dz)

3.2. Diagnostic des conditions d'éclairage naturel dans la grande salle

Présentation de la grande salle :

De forme rectangulaire, la grande salle mesure 15,80 m de longueur sur 9,35 m de largeur, sa surface et donc de 148 m² pour une hauteur sous plafond qui varie entre 6,60 m et 8,10 m au sommet de la voûte.

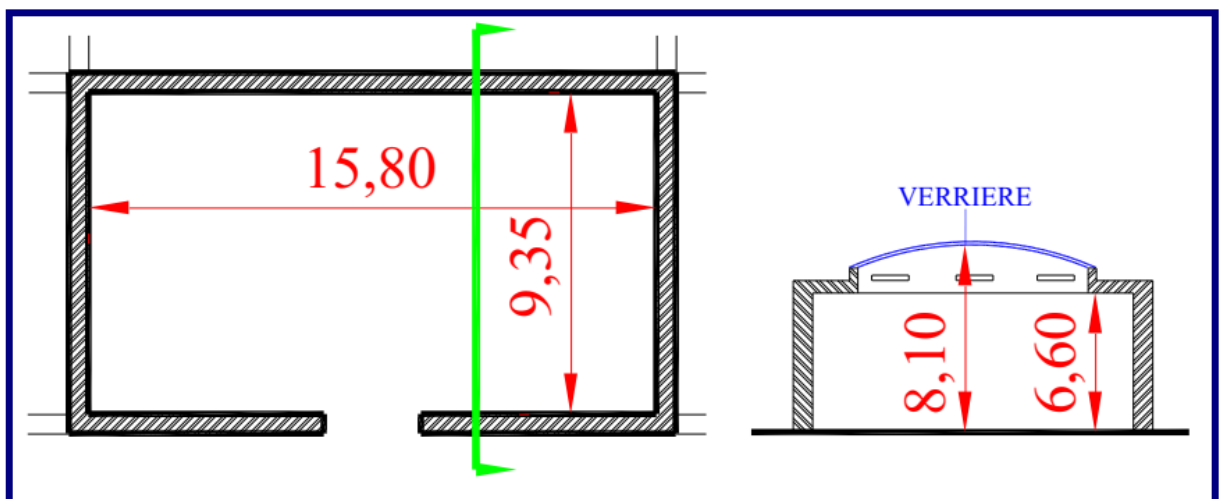


Figure 96 : Dimensions de la grande salle

(Source : MEDDOUR ;2008)

Les parois de la salle sont recouvertes d'une peinture vinylique blanche, ceci induit :

-une réflectivité à 96% due à la couleur blanche.

-une réflexion diffuse due au type de peinture utilisée qui procure une surface mate aux parois.

Le plafond est occupé en majorité par la verrière qui constitue la principale source d'éclairage naturel qui donne directement vers l'extérieur.

Le sol quant à lui, est recouvert de carreaux de monocouche de couleur marron, poli et lisse.

Dotée que d'une seule entrée, cette salle abrite la majeure partie du temps une exposition permanente, mais sert aussi à accueillir des expositions temporaires en tous genres à l'image de celle consacrée à la Numidie et organisée durant le printemps 2008.

La salle abrite deux types d'œuvres, des tableaux et des mosaïques. La collection de tableaux regroupe plusieurs toiles de peintures à l'huile qui appartiennent à deux écoles - l'école française et l'école orientaliste - et représentent, dans leur majorité, des vues de Constantine et sa vie courante durant les XIXe et XXe siècles. Parmi les artistes peintres on trouve

Nasreddine Dinet, Gustave Debat, Gabriel Ferrier, Amine Khodja Sadek, Amar Allalouche et Bachir Bouchriha. Alors que les mosaïques sont au nombre de trois, toutes datant de la période entre le milieu du deuxième siècle avant la naissance et le quatrième siècle dont la plus ancienne étant celle représentant une scène de chasse.

La salle est accessible à toutes les tranches d'âge, allant des enfants les plus jeunes aux personnes les plus âgées.

4- Son éclairage naturel :

Par temps dégagé, la verrière de la grande salle est exposée au rayonnement direct du soleil pendant plusieurs heures de la journée, mais sa composition en pavés de verre transforme ces rayons directs en lumière diffuse à l'intérieur de la salle

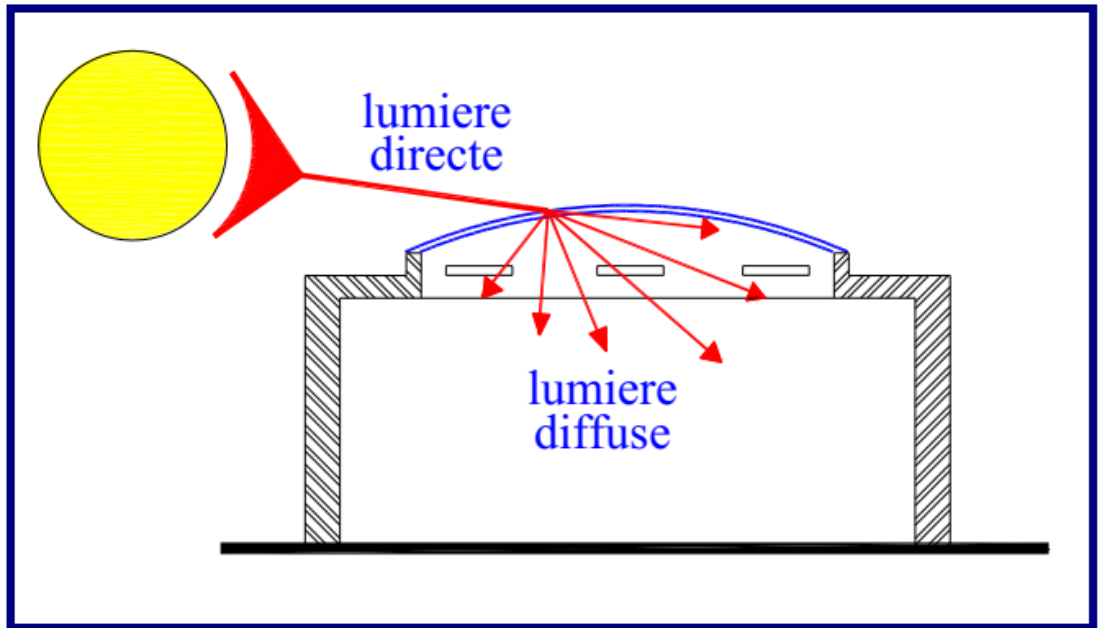


Figure 97 : pénétration des rayons lumineux

(Source : MEDDOUR ;2008)

Cependant, il existe des ouvertures prévues pour l'évacuation de l'air chaud produit par l'effet de serre qui permettent aux rayons directs de pénétrer jusqu'à l'intérieur de la salle et atteindre certaines œuvres exposées sur les murs

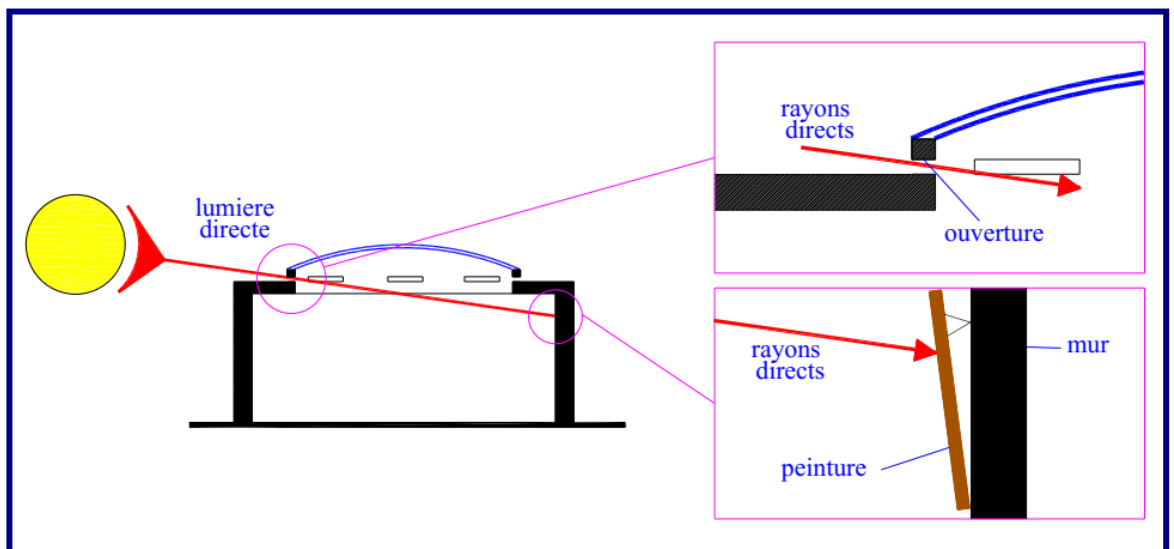


Figure 98 : infiltration des rayons directs

(Source : MEDDOUR ;2008)

4.1. L'éclairage Zénithal :

La toiture du musée comporte deux verrières ; qui permettent un éclairage zénithal des espaces intérieurs. La petite verrière sert à éclairer les escaliers du musée, tandis que la grande verrière (objet d'étude) sert à éclairer la grande salle d'exposition.

Occupant 85% de la surface du toit, la grande verrière qui éclaire la grande salle du musée, s'étale sur une surface en plan de 124 m² (14.80m de longueur, et 8,35 m de largeur). Sur plans, elle prend une forme rectangulaire, mais en réalité la verrière est en forme de voûte.

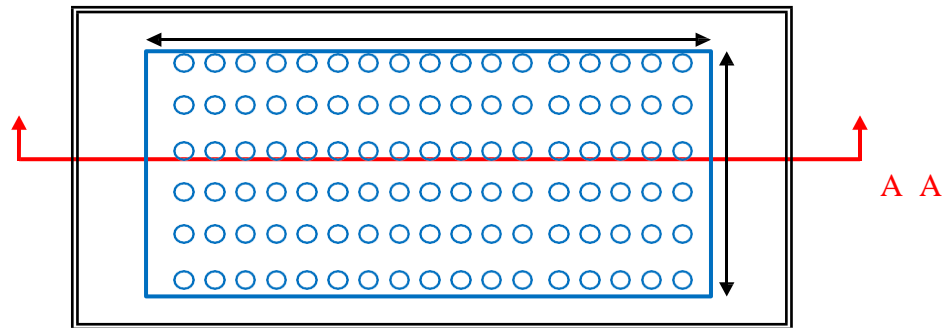


Figure 99 : Représentation en plan de la grande verrière du musée.

(Source : Auteur, 2022)

— : Verrière

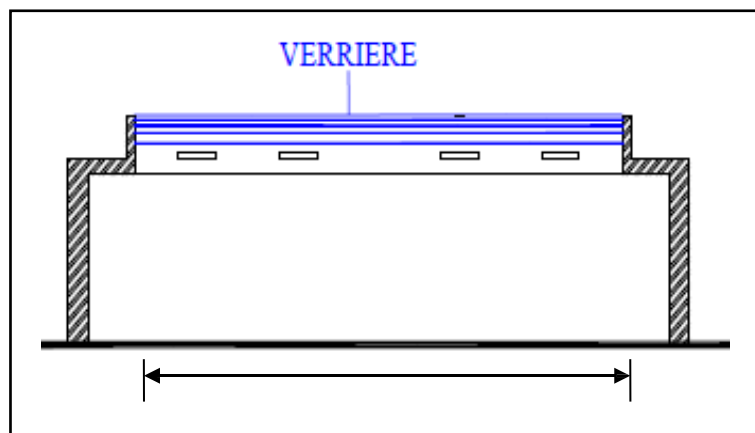


Figure 100 : Coupe AA sur de la grande verrière du musée.

(Source : Auteur,)

5. FLJ et méthodes d'évaluation de la lumière naturelle :

FLJ ou $DF = 100 \times E_i$ (intérieur) / E_e (extérieur) Dans notre cas on prendra figure 125 ci-dessous), ce niveau d'éclairage correspond à un qui est la plus proche géographiquement de la ville de Constantine. Les zones correspondent à des ciels partiellement couverts

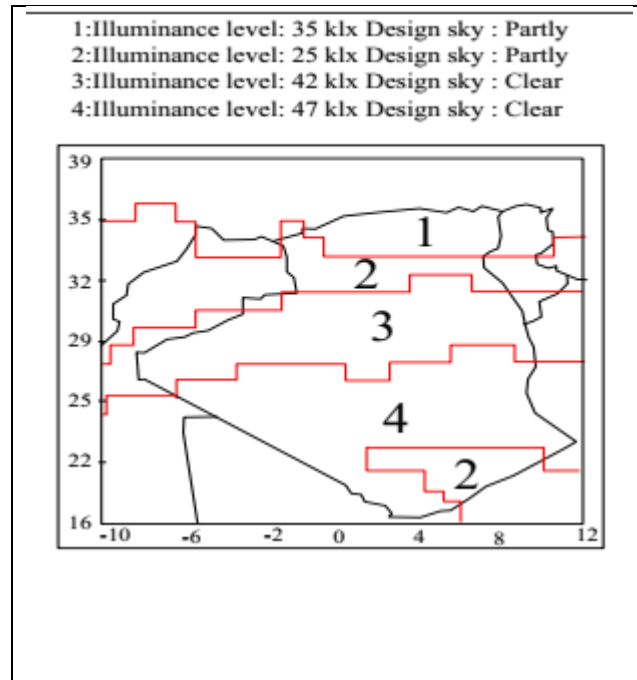


Figure 101: zonage des éclairages en Algérie
 (Source : N.ZEMMOURI)

Les systèmes de représentation de l'éclairage naturel intérieur peuvent résulter d'une détermination manuelle point par point ou d'une simulation numérique. Le système de représentation de la lumière résultante pourrait se faire à partir de n'importe quelle méthode pouvant fournir des valeurs point à point. Si on réalise un maillage superficiel du local, on peut alors tracer des courbes d'égal éclairage (courbes iso lux) ou d'égale luminance. Ces courbes semblables à des courbes de niveau fournissent une information visuelle de bonne qualité sur la répartition de la lumière dans l'espace considéré

On peut classer les méthodes d'évaluation de l'éclairage naturel en méthodes de pré dimensionnement, méthodes point à point et méthodes de simulation numérique en plus des méthodes d'évaluation qui utilisent des maquettes à échelle réduite

5.1. Méthode de pré- dimensionnement :

Le résultat obtenu est la valeur moyenne de l'éclairage sur un plan utile situé généralement à la hauteur d'un plan de travail dans un espace intérieur. La formulation est la suivante :

$$E_i = E_e S \text{ pas } v t u / S_l \text{ avec:}$$

E_i : éclairement du plan utile en lux.

E_e : éclairement moyen extérieur sur un plan horizontal en lux (Normalement, on prend dans ce type de calcul

10.000 lx pour un ciel couvert d'hiver et 100.000 lx pour un jour dégagé d'été).

S_{pas} : surface brute des ouvertures permettant le passage de la lumière en m².

v : facteur d'ouverture ou angle solide sous lequel on voit le ciel depuis l'ouverture divisé par l'angle solide total

de l'hémisphère (2π).

t : transmittivité global de la paroi transparente.

u : facteur d'utilisation (rapport du flux arrivant sur le plan utile au flux total entrant par l'ouverture), valeur

comprise entre 0,2 et 0,65.

S_l : surface du plan utile en m²

5.2- Méthode de calcul point à point :

Cette méthode permet le calcul de l'éclairement résultant pour chaque point choisi dont l'ensemble forme un maillage régulier (en général de l'ordre du mètre) et pour chaque ouverture considérée comme une source d'émission diffuse. Les relations qui s'appliquent ici définissent l'éclairement à partir de l'intensité :

$$E = I \cos^3 \alpha / d^2 \text{ avec:}$$

E : Eclairement résultant en lux.

I : intensité du rayonnement incident en candelas.

α : angle d'incidence mesuré entre la normale à la surface et le rayon incident.

d : distance du centre de l'ouverture au point considéré en m.

où, $I = L S_O$ avec:

L : luminance de la face interne de l'ouverture en cd / m².

S_O : superficie de l'ouverture en m². Et $L = E_O / \pi$ avec:

E_O : éclairement transmis par l'ouverture en lux.

$$E_O = E_e v t \text{ avec:}$$

E_e : éclairage extérieur moyen sur un plan horizontal en lux.

v : facteur d'ouverture ou angle solide sous lequel on voit le ciel depuis l'ouverture divisé par l'angle solide total de l'hémisphère (2π).

t : facteur global de transmission de la paroi transparente.

Il existe des tables et des abaques graphiques qui permettent le calcul du facteur d'ouverture et de l'éclairage moyen extérieur sur un plan horizontal

5.3. Méthodes d'évaluation à l'aide de maquettes :

Pour un projet architectural, une autre façon d'évaluer la qualité des ambiances lumineuses, qui a une longue tradition d'utilisation, est l'utilisation de maquettes à échelle réduite. Les phénomènes de transfert radiatif ayant la particularité essentielle de respecter les facteurs d'échelle géométrique, ces méthodes sont très utilisées.


Les maquettes permettent d'évaluer des configurations réalistes et complexes, ou des formes difficiles à représenter à l'aide d'outils numériques. De plus elles ont l'avantage de visualiser le résultat lumineux obtenu au sein de l'espace projeté. Elles permettent aussi l'utilisation de ciels réels ou artificiels.

Quoi qu'il en soit, il faut être conscient que n'importe quel outil d'évaluation, qu'il soit manuel, informatiques ou à l'aide de maquettes, ne remplacera jamais l'implantation correcte d'un projet qui dépend pour l'essentiel de l'approche faite par le concepteur, de sa compréhension et de son interprétation des phénomènes physiques et physiologiques qui définissent la lumière et la vision.

Pour notre part, on optera pour la méthode de calcul point à point, non pas en utilisant les formules précitées, mais en procédant à une prise de mesure directe sur place en utilisant un luxmètre

5.4. Méthodes de calcul par simulation numérique :

Ces méthodes sont basées sur la modélisation numérique des phénomènes de transfert lumineux. Elles peuvent prendre en compte les caractéristiques radiatives et spatiales des sources et de chaque surface. Elles permettent de calculer de façon précise les champs d'éclairage et de luminance dans un local. Souvent couplées à des méthodes infographiques, elles permettent une visualisation réaliste des scènes lumineuses



Chapitre 05 :

**La simulation numérique et
l'interprétation des résultats**

Introduction :

Les méthodes de simulation informatique ont été développées à partir des équations préexistantes d'un espace. Elles procurent la facilité recherchée dans l'évaluation de l'impact d'une modification de géométrie, d'orientation ou de couleur.

La simulation numérique est devenue un outil fiable et très important dans la conception et la Planification de tout projet d'éclairage.

Les programmes de simulation de l'éclairage naturel ont pris un essor considérable ces 10 dernières Années. Ce développement est lié aux progrès importants réalisés dans le domaine informatique.

Les techniques de "lancer de rayon" et de "radiosité" utilisées au départ pour la réalisation de modèles

Différents semblent assez bien se compléter et il s'avère actuellement que les développeurs s'orientent

vers la combinaison de ces deux méthodes dans un même outil

1. La Simulation de l'éclairage naturel :

La notion de simulation fait partie intégrante de la conception architecturale depuis sa création. Il est donc naturel et même indispensable de l'intégrer dans la CAAO pour poursuivre cette logique de simulation. Cette intégration demande l'interprétation des intentions géométriques du concepteur sous la forme d'une maquette numérique. C'est à partir de cette maquette que l'on effectue les simulations de phénomènes physiques. De plus, elle ouvre la voie à d'autres utilisations comme la communication, la représentation ou l'intégration dans un système d'information géographique. La palette de simulations est très étendue et regroupe l'ensemble des phénomènes physiques (lumineux, acoustique, thermique, aéraulique, etc.) (Tourre, 2007).

Phénomènes. Le modèle peut être simpliste ou sophistiqué ; l'essentiel est que le processus puisse reproduire avec fidélité les interactions formes / phénomènes » (Siret, 1997)

La simulation de l'éclairage naturel se fait par la simulation de la position du soleil et de la luminance du ciel, et l'ajout des dimensions temporelle et géographique (Miguet, 2000).

2. Logiciel de simulation à base de modélisation géométrique

C'est l'ensemble des logiciels permettant une modélisation précise et détaillée du projet et une simulation pouvant prendre en compte toute la complexité de la géométrie et des matériaux du bâtiment à construire (Chaabouni ,2011). Ces outils offrent l'avantage d'une analyse complète de la stratégie de la lumière naturelle modélisée et fournissent ainsi des informations importantes concernant :

- la visualisation de la distribution de la lumière naturelle,
- la visualisation du comportement dynamique de la lumière naturelle,
- la détermination des quantités de lumière
- Le contrôle de la pénétration de la lumière directe,
- Le comportement dynamique des ombres,
- L'identification de la présence d'un éblouissement éventuel et l'évaluation des indices du confort visuel. Les résultats se présentent sous forme de carte de luminances, de tableau de valeurs ou encore sous forme d'images de synthèse qui permettent d'avoir des résultats offrant une meilleure perception de l'espace modélisé avec des impressions visuelles très réalistes.

Ceci permet à un utilisateur de vérifier et d'analyser plus facilement les résultats. Cependant, ces outils demandent un temps de calculs relativement long. Pour avoir une idée sur le fonctionnement des outils appartenant à cette première famille, sur les principes adoptés ainsi que sur la nature des résultats obtenus, nous allons présenter ceux les plus utilisés dans les domaines de la recherche et de l'aide à la conception de l'éclairage naturel.

Pour avoir une idée sur le fonctionnement de ces outils, sur les principes adoptés ainsi que sur la nature des résultats obtenus, nous allons présenter : Lightscape3.2, Phanie, DAYSIM, ECOTECH, RADIANCE, EVALGLARE, Le plug-in Diva-for-Rhino, Le plugin Honeybee-for-Rhino.

2.1. Lightscape

C'est un logiciel qui est destiné à des utilisations graphiques, mais il offre également des fonctionnalités intéressantes pour la simulation physique de la lumière. Il utilise un algorithme de radiativité pour le calcul quantitatif, et un algorithme de lancer de rayons pour l'amélioration qualitative et visuelle des images de synthèses (Maamari, 2002).

En effet, pour la simulation lumineuse, LIGHTSCAPE28 ne considère que les trois types de ciels normalisés : clair, uniforme (partiellement nuageux) et couvert, sans tenir compte des états intermédiaires. Les autres données climatiques prises dans les calculs se limitent aux coordonnées géographiques du lieu, à la date et à l'heure de l'opération (Karoui, 2012). La recherche menée par Fawaz Maamari a montré les limites de LIGHTSCAPE pour simuler la transmission directionnelle des vitrages, faussant ainsi les résultats (Karoui, 2012)

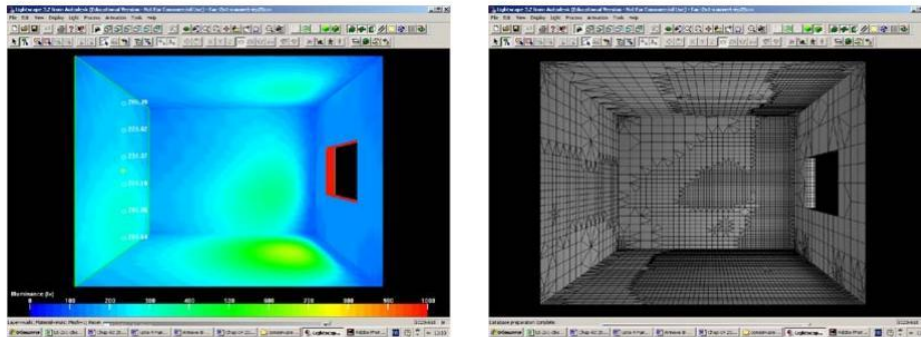


Figure 101 : Affichage des résultats en pseudo-couleur ou en normal avec le maillage adaptatif de radiosité

(source : Maamari, 2002)

2.2. ADELIN

ADELIN est un outil informatique de conception d'éclairage intégré mis au point par une équipe internationale de recherche dans le cadre de l'Agence Internationale de l'énergie (AIE) dans le but de fournir aux architectes et aux ingénieurs des informations précises sur le Comportement et la performance des systèmes d'éclairage. Dans une démarche consistant profiter des développements antérieurs pour l'élaboration de logiciels plus puissants, ADELIN a mis au point d'un côté, les programmes su perlite et Radiance pour les tâches de Simulation d'éclairage et d'un autre côté, les programmes Super Link et Radin pour le calcul de l'interaction entre la lumière du jour, l'éclairage artificiel et le renforcement des performances thermiques. (Compagnon, 1994) Avec la variété de ses sous-programmes constitutifs et dans le but de l'adapter aux premières phases de conception

2.3. DIA Lux

Le logiciel DIA Lux est l'un des produits de "DIAL GMBH" entreprise allemande fondée en 1989 dans le but de mettre à disposition le savoir-faire atteint en matière de techniques d'éclairage pour que ce dernier puisse faire l'objet d'une application ciblée. [www.dial.de]

De son côté, DIA Lux est apparu pour la première fois en 1994 lors de la création d'un Consortium industriel en vue du développement d'un outil de planification de l'éclairage. L'aversion la plus récente est celle nommée "DIA Lux évolué 1" (cette version de DIA Lux Evo est sortie au printemps 2012 ; elle permet de traiter plusieurs volumes de scènes intérieures et extérieures simultanément, mais elle est destinée seulement à l'étude de l'éclairage artificiel). Pour cela, notre choix de version représentative est "DIA Lux 4.11.0.2".

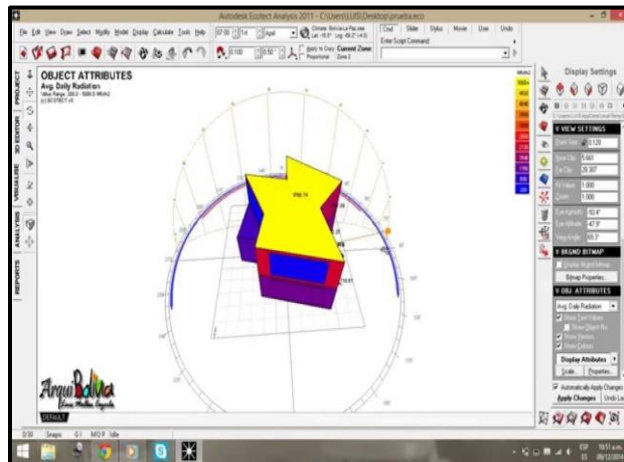


Figure 102 : Plan de travail du logiciel Ecotect, Source : Trisnawan, 2018.

2.4. ECOTECT

Ecotect est un logiciel de simulation développé pour la première fois par Andrew Marsh et récemment approprié par la société américaine Autodesk. (Ibarra, 2010) Ecotect a été conçu avec comme principe que la conception environnementale la plus efficace est à valider pendant les premières étapes conceptuelles du design. (Gallas, 2009) En plus des différentes possibilités de calcul qu'il offre pour les analyses énergétiques, performance thermique, consommation d'eau et évaluation des coûts, Ecotect permet aussi d'avoir une idée précise sur le rayonnement solaire (en visualisant le rayonnement solaire sur les fenêtres et les autres surfaces, à n'importe quelle période de l'année), sur l'éclairage naturel (en calculant les valeurs des facteurs d'éclairage naturels et les

niveaux d'éclairage à n'importe quel point du modèle) et aussi sur les ombres et réflexions (en affichant la position et le parcours du soleil par rapport au modèle à la date, à l'heure et à l'emplacement choisis). [autodesk.fr]

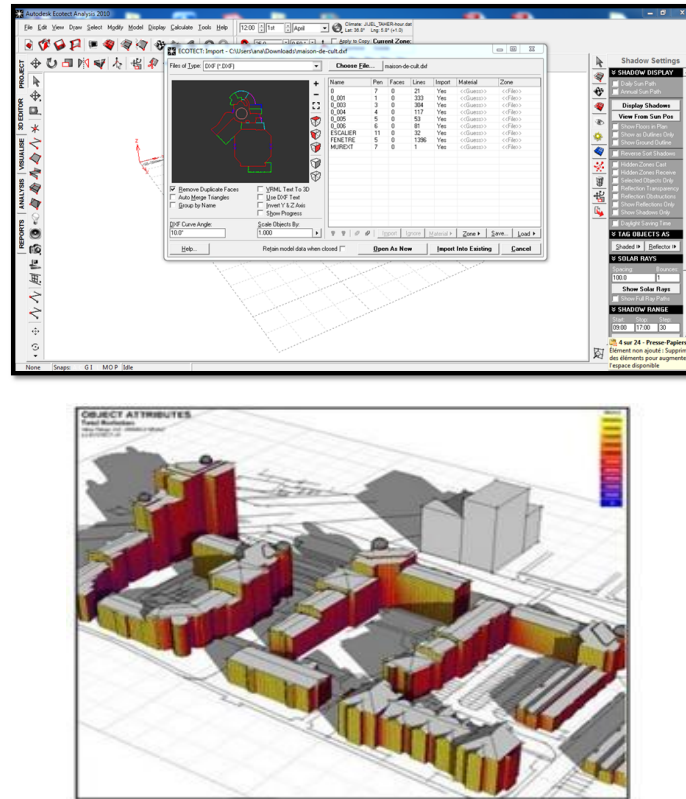


Figure 103 l'importation de fichiers DXF. Simulation lumineuse de la course solaire

Source : (Ecotect Analysis 2010).

2.5. GENELUX

GENELUX est un autre environnement de simulation numérique de la lumière dans un espace urbain ou architectural. Développé principalement au laboratoire des sciences de l'habitat, ce logiciel utilise un algorithme de lancer direct et suivi de rayons lumineux (forward RayTracing) pour le calcul de la lumière provenant du soleil, du ciel et des lampes. Cet outil prend en compte la coloration de la lumière par les matériaux ainsi que la dispersion plus ou moins importante de la lumière occasionnée par un revêtement ou un vitrage. [Adolphe, 1998][Maa mari, 2004] la distribution des rayons réfléchis est effectuée en ayant recours à la technique statistique de Monte-Carlo.

2.6. RADIANCE :

RADIANCE utilise la technique du lancer de rayons munis de plusieurs extensions originales qui le rendent apte à simuler des systèmes d'éclairage naturel complexes. [R.Compagnon, 1994] Le calcul peut être divisé en trois parties principales: la composante directe, la composante spéculaire indirecte et la composante diffuse indirecte. [radsite.lbl.gov]

2.7. ds Max Design

Le logiciel 3ds Max (3D Studio Max), développé par Autodesk, est une référence dans le domaine de l'infographie tant au niveau de la modélisation que de l'animation 3D.

La version 3ds Max Design 2021 intègre de nouvelles fonctionnalités pour la simulation et l'analyse de la lumière naturelle ou de l'éclairage artificiel. Ces outils d'analyse sont adaptés à la certification LEED Indoor Environmental Quality crédit 8.1 (certification que nous avons évoquée plus haut).

Le moteur de rendu utilisé par 3dsMax est mental Ray, qui emploie la méthode du raytracing (lancer de rayons), pour rappel, est une technique de rendue d'image produite par simulation du parcours inverse de la lumière : les éclairages sont calculés depuis le point de vue vers les objets, puis vers la lumière.

La technologie employée dans 3ds Max Design produit non seulement des résultats de simulation comme des images de rendus, mais également des données numériques exportables sous forme de fichier CSV (Comma-Separated Values : fichier informatique de type tableur dont les valeurs sont séparées par des virgules.) et exploitable notamment sur Excel

2.8. VELUX Daylight Visualizer

C'est un outil de simulation professionnel et validé pour l'analyse des conditions de lumière du jour dans les bâtiments. Il est destiné à promouvoir l'utilisation de la lumière du jour dans les bâtiments et à aider les professionnels en prédisant et en documentant les niveaux de lumière du jour et l'apparence d'un espace avant la réalisation de la conception du bâtiment. L'interface utilisateur simple du programme le rend accessible, rapide et facile à utiliser.

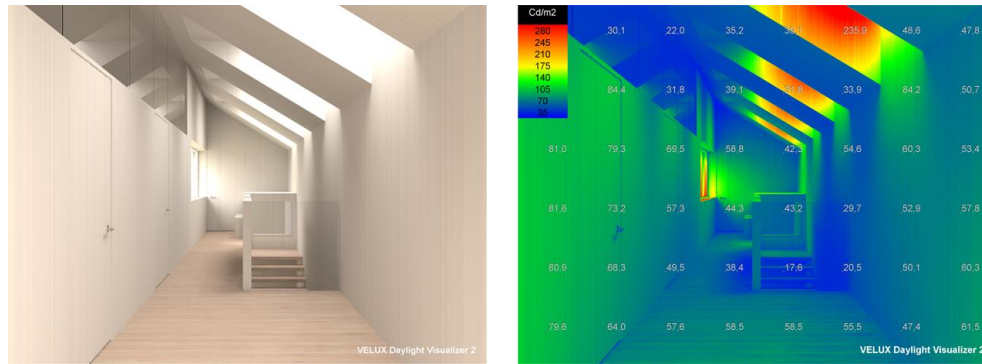


Figure 104 : Simulation de l'éclairage avec VELUX

2.9. DAYSIM

Environnement (Plate-forme) : MS Windows et Linux/Unix. Il a été développé sur le même environnement que RADIANCE et est compatible également avec ECOTECT. Le logiciel sert pour l'analyse et la simulation de la lumière du jour en calculant sa disponibilité annuelle dans les bâtiments en fonction des conditions atmosphériques du site d'intervention (niveaux d'éclairement, niveaux de luminance, distribution de l'éclairement à l'intérieur d'un local)(site internet) (Simulations dynamiques de la lumière du jour - Institut de Recherche de Construction du Canada)

A cette fin, le programme développé prévoit la possibilité de télécharger et de traiter des fichiers Météo fournis par le logiciel de simulation énergétique des bâtiments : EnergyPlus. Ces fichiers contiennent des données climatiques (rayonnement direct et diffus) et géographiques (lieu, latitude, longitude, altitude, facteur de réflexion du sol) pour plus de 680 villes d'Amérique, du Canada et d'Europe. Les résultats obtenus se présentent sous forme de vues en perspectives et d'images « photo-réalistes », permettant d'évaluer le degré d'autonomie en éclairage naturel du local. En outre, il est possible d'exporter les modèles d'Ecotect directement dans DAYSIM à des fins d'analyse approfondie, et de les importer par la suite dans Ecotect à des fins de présentation (Karaoui, 2012).

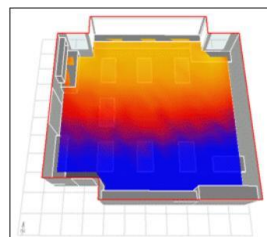


Figure 105 : Distribution de l'éclairement à l'intérieur d'un local

(Source : <http://daysim.ning.com/>)

2.10. PHANIE

C'est un logiciel de simulation physique de l'éclairage (site internet) , capable de traiter des scènes très complexes. Il permet dès la conception d'une salle ou d'un bâtiment de définir et de visualiser des scénarios lumineux en fonction de multiples paramètres :

architecture, sources lumineuses artificielles et naturelles (en liaison avec le climat), nature des matériaux. Il permet également de caractériser quantitativement les ambiances lumineuses, en termes de luminances, d'éclairagements ou encore de risques d'éblouissement.

Une méthode de calcul optimisée : la radiosité hiérarchique

- Visualisation photoréaliste et navigation fluide dans les environnements simulés
- Évaluation quantitative de l'éclairage : éclairement, luminance, température de couleur, éblouissement...
- Prise en compte du caractère spectral des propriétés des matériaux (transmission et réflexion)
- Module d'étude de l'ensoleillement : images d'ombres portées et bilan chiffré de l'ensoleillement de façades

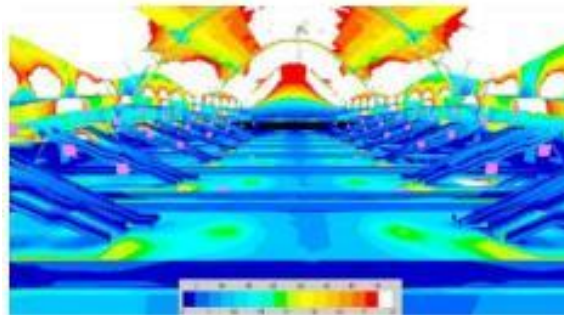


Figure 106: logiciel Phani rendu en fausses couleurs de l'éclairage

(source : http://www.cstb.fr/dae/fileadmin/user_upload/documents/ECE_PHANIE.pdf)

2.11 Velux Daylight Visualizer

Velux Daylight Visualizer est un outil simple à utiliser qui permet de voir l'apparence qu'aura un espace éclairé par la lumière naturelle. Il permet aussi de calculer certaines

valeurs physiques de la lumière naturelle comme les niveaux d'éclairéments, le facteur de lumière du jour et la luminance d'un espace architectural selon l'heure et le jour que le concepteur choisi ou selon une année complète. Velux, qui a conçu cet outil, à essayer de l'adapter au maximum aux connaissances et aux méthodes de travail des architectes. Des animations sont générées pour montrer l'évolution du comportement de la lumière tout au long de l'année (Cervantès, 2012).

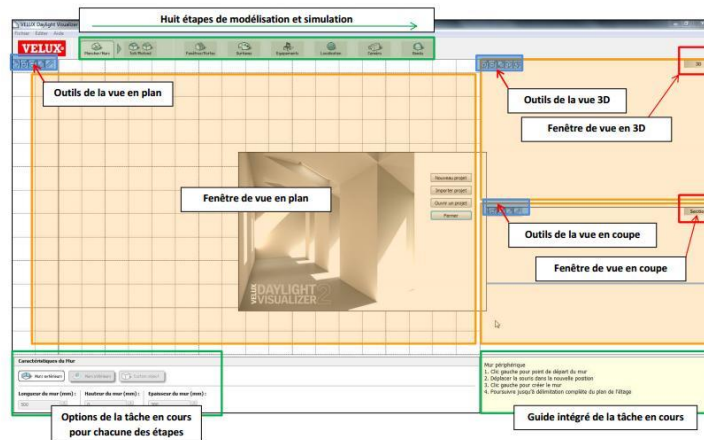


Figure 107 : Interface de VELUX

(source : Haubruge & Bodart, 2012)

2.12. Le plug-in Diva-for-Rhino

DIVA32 est un plug-in pour le logiciel Rhinocéros (modeleur 3D) et Grasshopper. (Éditeur d'algorithmes graphiques). Il permet d'effectuer des simulations de lumière naturelle et d'énergie. Ce logiciel est développé par la Graduate School of Design de l'Université d'Harvard. Il est maintenant exploité par une entreprise créée par des chercheurs, Solemma LLC. Diva pour Rhino permet aux utilisateurs d'évaluer la performance environnementale des bâtiments en réalisant des calculs de facteur de lumière du jour, d'éclairément, d'éblouissement et d'obtenir des rendus photoréalistes. Ces simulations sont réalisées en tenant compte du lieu, du climat ainsi que de la date et de l'heure. DIVA permet aussi d'effectuer des calculs thermiques. Ce plug-in est directement intégré au modeleur Rhino.

Ce dernier est un outil de modélisation pour les concepteurs. Il permet d'exécuter différents types de formes géométriques, de travailler avec des maillages, des nuages de points... Il permet à la fois le dessin 2D et 3D. Les fenêtres des vues sont modulables au niveau de leur taille et de leur nombre (en A). Cela permet à l'utilisateur de travailler en plan, en coupe et en 3D de manière quasi simultanée. Il est possible de ne faire apparaître qu'une vue, en perspective par exemple

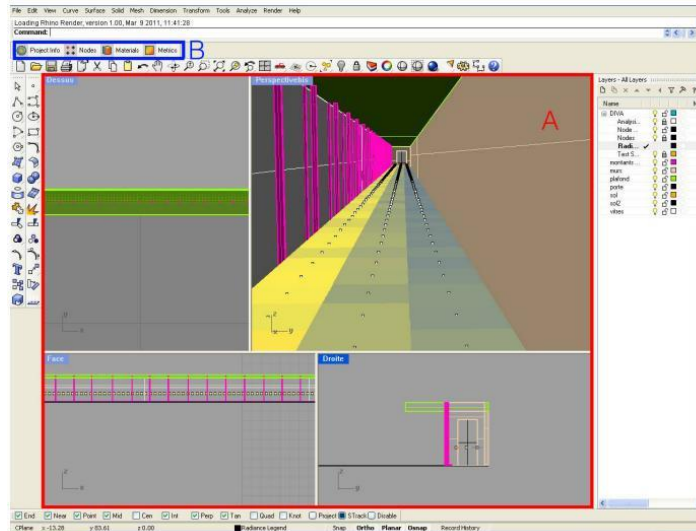


Figure 108 : Interface de Rhinocéros et du plug-in DIVA

Ces icônes permettent de prendre en compte les données climatiques du lieu du projet (icône « Project Info »), de positionner les nœuds de calculs sur un plan à la hauteur de notre choix et avec des espacements plus ou moins grands (icône « Nodes »). Une icône « matériaux » (icône « Materials ») donne la possibilité à l'utilisateur d'affilier un matériau à chaque calque créé dans Rhino. La liste de matériaux étant assez restreinte, il est possible de modifier les matériaux et d'en créer de nouveau grâce à un éditeur de texte la quatrième icône « Metrics » est celle permettant d'effectuer les différents rendus.

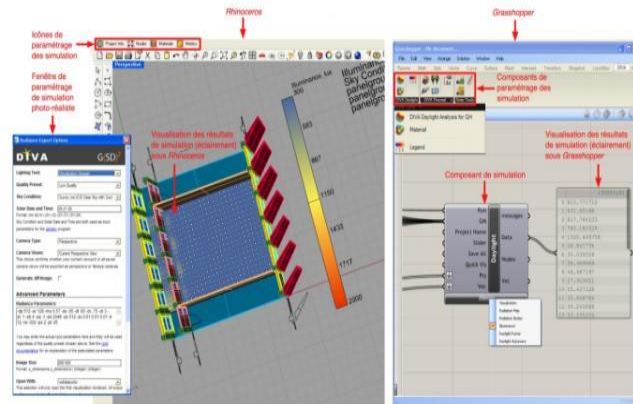


Figure 109 : Processus de fonctionnement, interface et résultats de Diva-For-Rhino® (plugin de connexion entre Rhinoceros® / GrassHopper® et Radiance)

Tableau 12 : comparaison entre les logiciels de simulation

Logiciels	Méthode de calcul	Modélisation	Coût	Modèle 3D	Importation Modèle 3D	Eclairage	Luminance	FLJ	DA	UDA	Visualisation graphiques des résultats
1-Logiciel de simulation à base de modélisation géométrique											
1-1Les outils avancés à environnement intégré											
Lightscape3.2	La radiosité Lancer de	Des scènes très Complexes	€	✓	AutoCAD ® MAX ®	✓	✓	✓			✓
ECOTECT	Split flux formula	Géom : simple Sfce : diffus Maillage : param	€	✓	.dxf, .3ds, .obj	✓		✓			✓
DAYSIM		Géom : complx Sfce : tout Maillage : param	Free		< Ecotect <sketchup	✓	✓	✓	✓	✓	> ECOTECT
RADIANCE	Raytracing extension photon mapping disponible	Géom : complx Sfce : tout Maillage : param	Free		< Ecotect <sketchup	✓	✓	✓			> ECOTECT
PHANIE	La radiosité hiérarchique	Géom : complx Sfce : tout Maillage : param	€	✓		✓	✓	✓			✓
VELUX	Photon mapping	Géom : complx Sfce : diff, spec, Maillage : fixe	Free	✓	.dxf, .dwg, .obj, .skp	✓	✓	✓			✓
Le plug-in Diva-for- Rhino®		Géom : complx Sfce : diff, spec, Maillage : fixe	€		Sketchup Revit Rhino	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1-2 Les outils simples											
DAYLIGHT 1.2.3	Radiosité	Géométries simples	Free	✓				✓			
DIAL/Leso- Dial	d'algorithmes de logique floue (fuzzy-logic) split-flux	Géométries simples Surface diffuses Maillage fixe	€	✓				✓			
DIAL-Europe	Split flux formula	Géométries simples Surface diffuses Maillage fixe	€	✓				✓			

2-Logiciel de simulation à base des images											
EVALGLARE		Photos HDR-	Free			✓	✓				Génération des cartes des luminances
Méthode de DEMERS (Photoshop)		Photos LDR-	Free								IM, ISD

2. Outils de la simulation :

Pour comparer l'autonomie de la lumière jour dans les différentes variantes

2.1. Modélisation avec Rhinoceros

2.2. Simulation des effets de l'éclairage sous Grasshopper à l'aide de Ladybug, Honeybee et Daysim.

Qu'est-ce que Grasshopper?

Grasshopper est une application logicielle d'algorithme graphique* ou programmation visuelle conçue pour être utilisée avec Rhino. Grasshopper n'est pas un langage de programmation. La maîtrise de Rhino n'est pas indispensable mais cela constitue un plus, il en est de même concernant la connaissance ou maîtrise d'un langage de programmation.

Ladybug et Honeybee sont des plug-ins environnementaux pour Grasshopper afin d'aider les concepteurs à créer une conception architecturale respectueuse de l'environnement. Ils ont été initialement développés par Mostapha Sadeghipour Roudasri mais sont open-source et maintenus par plusieurs personnes, dont Chris Mackey. Comme beaucoup d'autres plug-ins Grasshopper, ils portent tous deux le nom d'animaux.

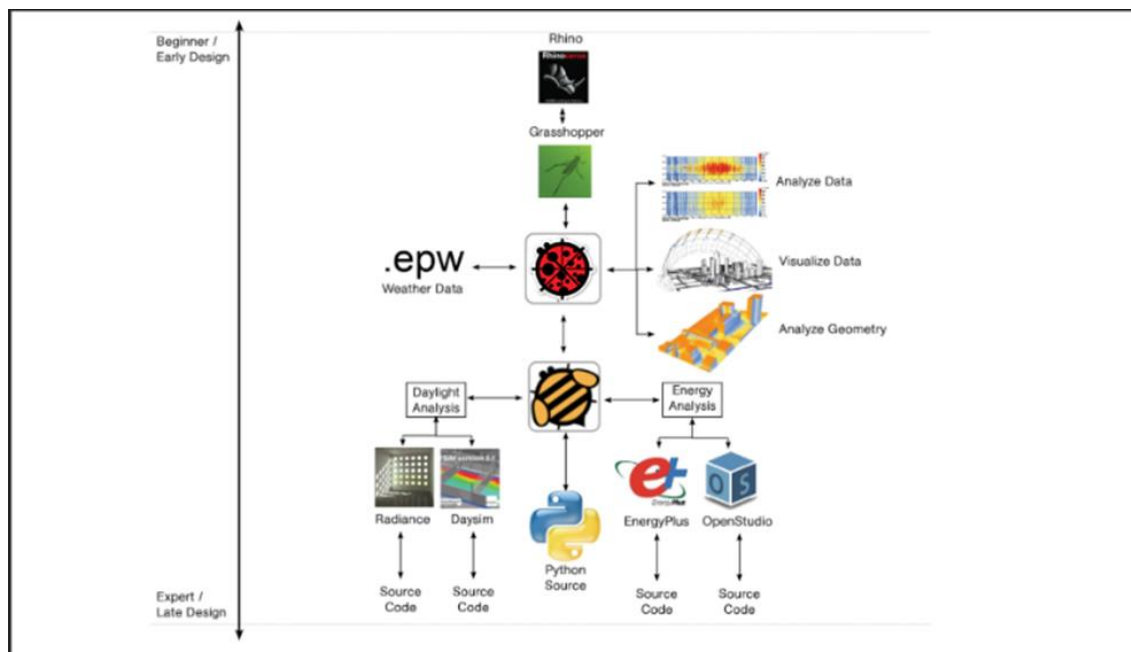


Figure 110 : Les paramètres de la simulation (Grasshopper à l'aide de Ladybug, Honeybee et Daysim)

3. Critères de choix du logiciel

D'après la recherche sur les études précédentes et la comparaison des logiciels utilisés pour la simulation on a choisi de travailler avec la plateforme Grassehopper pour les raisons suivantes :

- La disponibilité des versions éducatives de ce logiciel.
- Orientation et conseil de nos encadreurs.
- Ce logiciel permet de tester les différents scénarios pour arriver aux résultats souhaités.
- La disponibilité de la documentation sous forme de : vidéos, lien, livre...etc.

4. Protocole de simulation

Tableau 13 : protocole de simulation

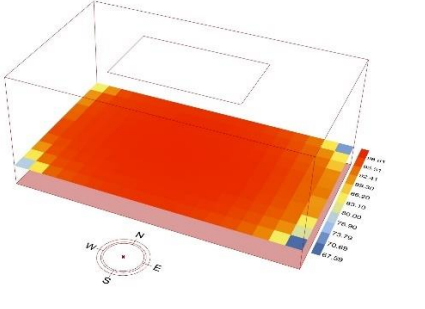
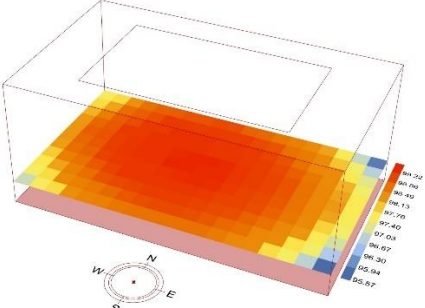
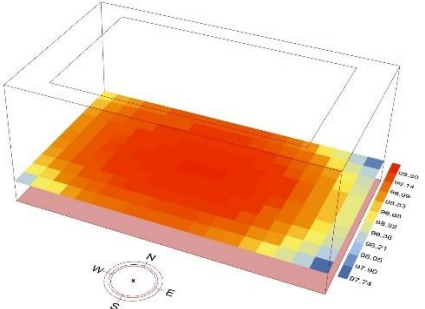
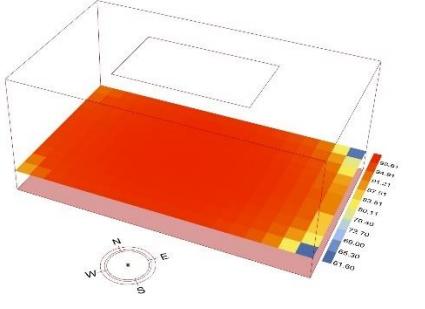
	Voute			Plat		
	60%	40%	20%	60%	40%	20%
0°E	V1	V2	V3	D1	D2	D3
45°E	V4	V5	V6	D4	D5	D6
90°E	V7	V8	V9	D7	D8	D9

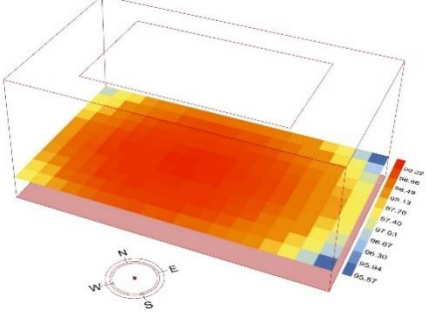
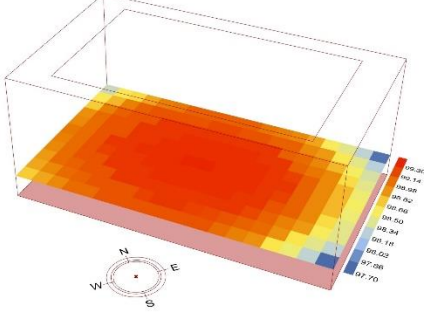
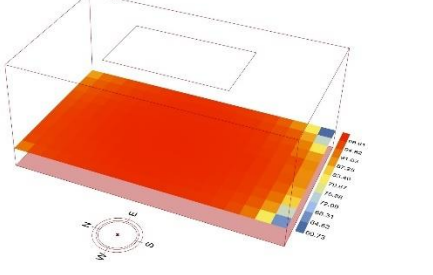
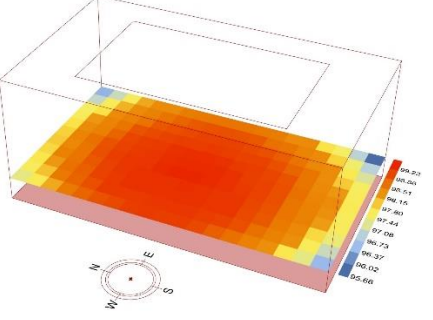
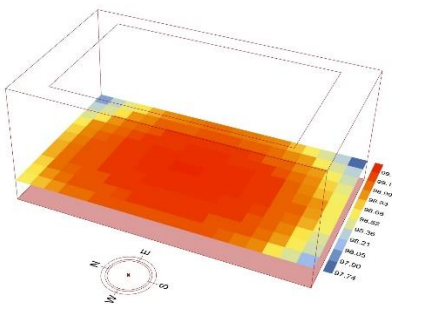
5. Analyse des résultats :

Analyse de l'autonomie de la lumière jour pour les différentes orientations et différents ratios

5.1. La forme plate :

Tableau 14 : résultat de simulation

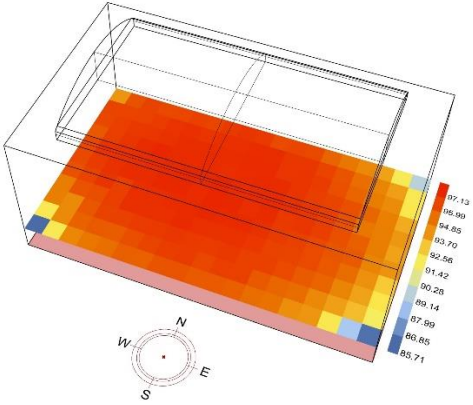
O	Ratio	Vue	Commentaire
0°E	20%		La quantité de lumière est la plus petite Et reste la valeur la plus acceptable
	40%		Malgré l'ouverture est moins 50 % mais c'est une lumière excessive
	60%		Un excès de lumière qui détériore surement les objet et même on assiste a un éblouissement a au confort visuelle
45°E	20%		Une variation entre les valeurs de la lumière naturelle mais est moins importante par rapport a la dimension de la baie

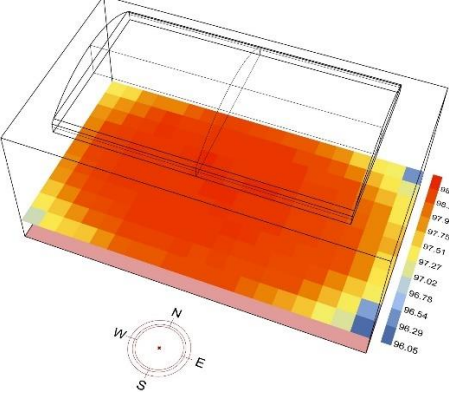
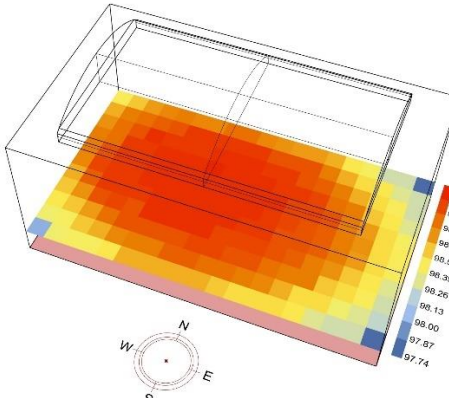
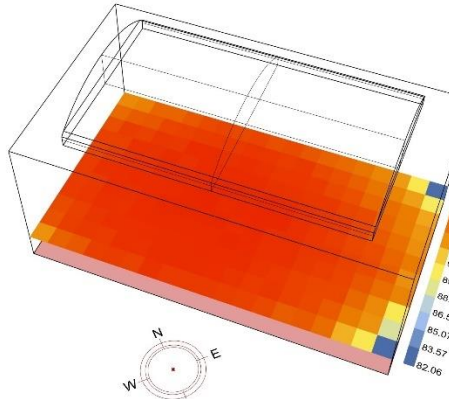
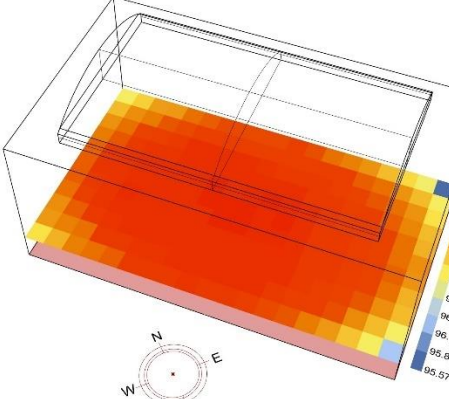
	40%		l'orientation 45°E n'as pas pu changer la quantité de la lumière dans l'espace d'exposition malgré que l'orientation est importante dans domaine d'éclairage et le confort visuel
	60%		Toujours des valeurs excessive
90°E	20%		Une variation dans cette orientation par rapport la distribution de la lumière
	40%		Une légère variation sur la présence d'une faible quantité de lumière dans les coins de l'espace
	60%		Toujours un tel pourcentage on exclut l'appréciation de la lumière qui aboutit à un éblouissement

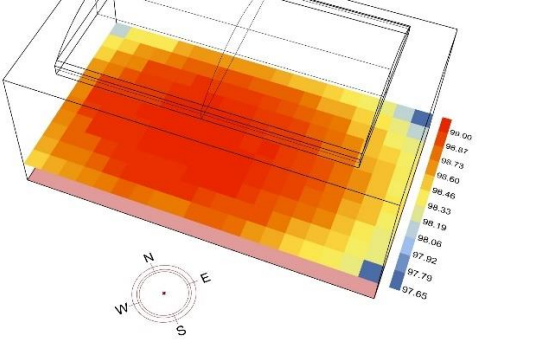
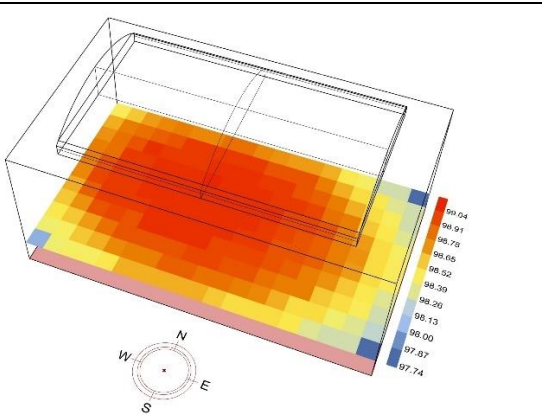
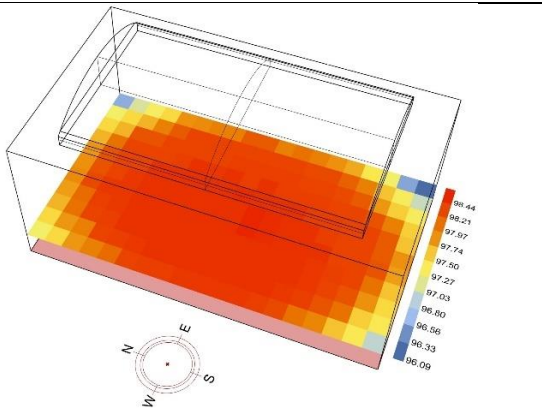
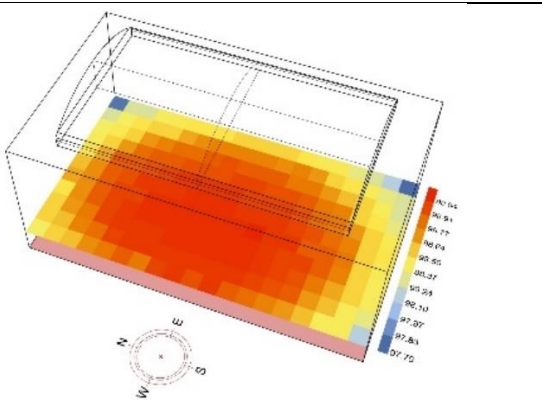
. Synthèse du tableau :

- Effets de variation des ratios
- Effets des variations de l'orientation
- la grande salle d'exposition orientées Nord-Est, Sud-Ouest et Nord- Ouest reçoivent une quantité de lumière faible d'une répartition uniforme, ce qui confirme la vis des occupants par un pourcentage de 86.66% à 60% qui ont déclarés que l'éclairage durant est insuffisant voir peu suffisante, et un environnement lumineux sombre caractérisé par l'absence d'éblouissement qui n'assure pas l'exécution facile des taches visuelles.
- Par contre la salle orientée Sud-Est reçoit une quantité excessive d'une répartition différente, d'occupants d'un pourcentage de 80% qui ont déclarés que l'éclairage est suffisant avoir très suffisant. Elle est caractérisée par l'existence des taches solaires qui a crée un environnement lumineux éblouissant et un contraste trop important dans le champ visuel qui indique un état d'éclairage très suffisant avec des conditions inconfortables.

5.2. La forme voute :

O	Ratio	Vues	Analyse
0°E	20%		Reste excessive

	40%		Reste excessive
	60%		Toujours un tel pourcentage on exclut l'appréciation de la lumière qui aboutit à un éblouissement
45°E	20%		Des valeur acceptable
	40%		Exgagere comme valeur de lumiere

	60%		Quantité de lumière très exagérée
90°E	20%		Le ratio est favorable mais l'espace d'exposition pour les objets très sensibles est très minime
	40%		Malgré le ratio de 40 %, l'orientation n'a pas pu minimiser la quantité de lumière dans l'espace d'exposition
	60%		Toujours un tel pourcentage on exclut l'appréciation de la lumière qui aboutit à un éblouissement

Synthèse du tableau :

- Effets de variation des ratios
 - Effets des variations de l'orientation
 - l'éclairage naturel est très suffisant voir excessif avec un pourcentage de 73.33% à 86.66%,:
- La salle orientée **Nord- Ouest** durant est devenue plus éclairé
- des occupants avec un pourcentage de 60% dis que l'éclairage est suffisant, orientées **Sud-Ouest et Nord- Ouest** reçoivent une quantité de lumière suffisante d'une répartition uniforme, avec un environnement lumineux bien éclairé et stimulante caractérisé par l'absence des sources d'éblouissement et une répartition homogène et uniforme de la lumière qui assure les paramètres d'un éclairage confortable. - Pour une orientation **Nord-Est, Sud-Est** et Nord-Ouest la diminution de la pénétration des taches solaires qui engendrée une diminution d'effet de contraste. - l'existence des taches solaires le soir dans la classe orientée **Nord- Ouest** qui a augmenté l'effet de contraste et engendre d'éblouissement

Conclusion :

Selon les résultats acquis dès la simulation informatiques a l'outil informatique et leurs Interprétation et la comparaison on peut résulter que

1- Selon dimension forme. Les 2 formes voutent et le résultat de la voute et le parallélépipède sont similaire point de vue répartition dans l'espace et reste la distinction sur la forme de l'étendu d'éclairage qui reffet la forme de la baie n

2- Pour notre pays le taux 20 % de degré d'ouverture est déjà important et engendre une Quantité de lumière importante pour préserver l'objet à exposer.

3- Le taux d'ouverture 60 % est à déconseiller comme indice d'ouverture de la baie Zénithale.

4- Le dispositif zénithal permet la pénétration au temps d'exposition de la lumière dans l'espace est Le maximum

5- Pour le taux d'ouverture de 20 % reste un pourcentage favorable pour les objets a faible Sensibilité. Pour les 2 autres cas c'est moins favorable.

6- Pour l'orientation favorable pour la voute et le parallélépipède c'est Est oust.

Dans ce domaine d'éclairage dans les musées est très important pour un espace bien éclairé

Pour permettre au visiteur d'apprécier les objets avec une bonne vision et mise en valeur des objets

Et d'autre part de l'objet de valeur s avec une sensibilité important pour la préservation de Ces objet

Dans mon travail de ce domaine sur les musées et l'éclairage vaste j'ai bien pris conscience que l'architecture est un domaine important et utile et la recherche dans les thèmes qui sont liés a architecture sont primordiale.

Le ratio ou degré d'ouverture dans le domaine de l'éclairage reste le premier élément a tenir en compte par rapport ou autre indice telle que l'orientation.

Le ratio est placé en grande importance dans le domaine de l'éclairage alors .le ratio choisi dans l'éclairage des espace en architecture doit être bien pris en considération

Aussi l'orientation a une importance pour le choix de postions des espaces ainsi l'orientation générale du projet.



Conclusion générale

Conclusion générale :

Cette étude s'intéresse au thème de l'éclairage naturel dans les musées. Notre objectif est de déterminer l'efficacité de ce mode d'éclairage à répondre aux besoins d'un musée en lumière naturelle mais à travers des dispositifs zénithaux en prenant comme cas d'étude la grande salle d'exposition du musée Cirta à Constantine.

La baie représente une ouverture dans le mur qui assure une relation entre espace intérieur et l'extérieure.

La baie peut être une fenêtre ; une porte un orifice ou une fente.

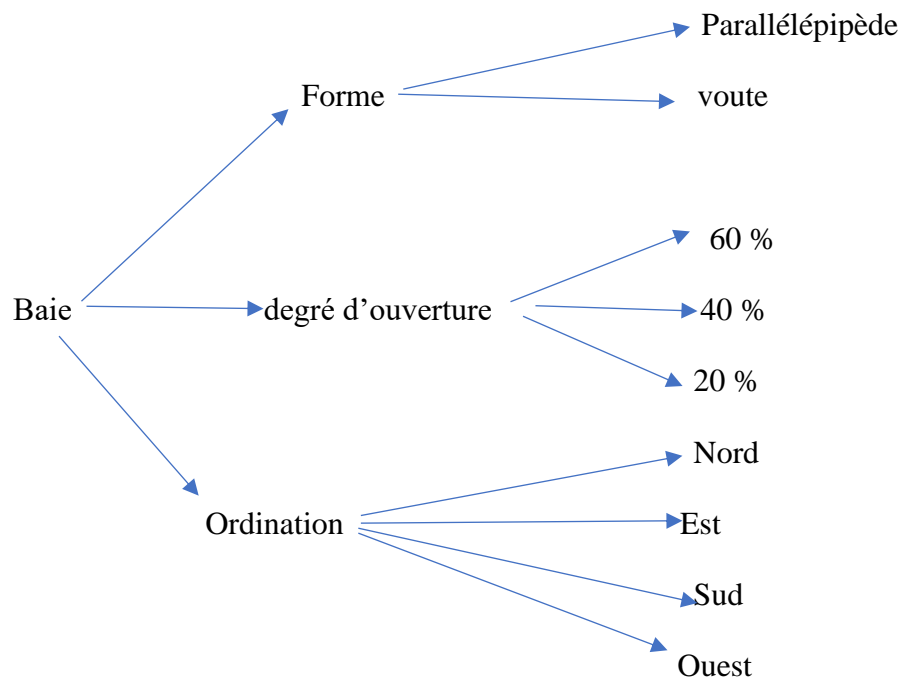
Pour la fenêtre est un élément essentiel pour la valorisation de l'espace intérieure.

Cette fenêtre peut être située dans la paroi de l'espace qui nous donne un éclairage latéral ; comme peut être au plafond qui devient un éclairage zénithal.

Notre baie sera située sur le plafond comme éclairage. et selon des différentes considérations d'après les recherches dans le domaine, on peut choisir pour nos recherches trois considérations qui sont

- 1 La forme de la baie. Pour cela on a choisi la forme a - voûte b - parallélépipède
- 2 Degré d'ouverture selon un rapport surface d'ouverture / surface de la toiture choisi 60 % - 40 % - 20 %
- 3 Orientation. nord - sud - est - ouest.

Cette situation des trois indicateurs ou considérations nous engendre 24 cas d'études



Mais pour notre cas d'étude on va prendre 10 cas.

- 1- 3 cas sur la variation des formes
- 2- 3 cas pour la variation de degré d'ouverture
- 3- 4 cas pour l'ordination

Alors 24 cas d'études.

Notre vérification sera sur les objets à exposer selon leur sensibilité

Pour l'objet à exposer on a trois types d'objets

- 1- Très sensible ou la quantité de lumière varie entre 50 lux et 340 lux
- 2- Moyenne sensibilité 340 lux – 500 lux
- 3- Sensible 500 lux – 1000 lux.

Selon les résultats acquis dès la simulation informatique à l'outil informatique et leurs interprétation et la comparaison on peut résulter que

- 1- Selon dimension forme. les trois formes voutent et parallélépipède et la coupole ont des résultats différents. mais le résultat de la voute et le parallélépipède sont similaire par contre la coupole est très différente.
- 2- Pour la coupole l'orientation n'as pas d'effet sur la quantité de lumière pénétrante.
- 3- Pour les résultats du parallélépipède sont similaires que la voutes mais cette est importante par rapport au deux
- 4- Pour notre pays le taux 20 % de degré d'ouverture est déjà important et engendre une quantité de lumière importante pour préserver l'objet à exposer.
- 5- Le taux d'ouverture 60 % est a déconseiller comme indice d'ouverture de la baie zénithale.
- 6- Le dispositif zénithal permet la pénétration au temps d'exposition.
- 7- Pour le taux d'ouverture de 20 % reste un pourcentage favorable pour les objets a faible sensibilité . pour les 2 autres cas c'est moins favorable.
- 8- Pour l'orientation favorable pour la voute et le parallélépipède c'est Est oust .

Dans ce domaine d'éclairage dans les musée est très important pour un espace bien éclairé pour périmètre au visiteur d'apprécier les objets avec une bonne vision et mise en valeur des objets

Et d'autre part de l'objet de valeur s avec une sensibilité important pour la préservation de ces objets

Dans mon travail de ce domaine sur les musées et l'éclairage vaste j'ai bien pris conscience que l'architecture est un domaine important et utile et la recherche dans les thèmes qui sont liés a architecture sont primordiale.

Recommandations :

La verrière de la grande salle semble idéale pour produire le maximum de lumière naturelle diffuse, seulement cette lumière est exploitée à l'état brut et d'une manière crue. Cependant il ne faut pas oublier que le musée Cirta à été inauguré en 1931, et que l'intérêt porté a la préservation des différentes œuvres d'art contre les effets de lumière est plus récent, néanmoins

il est possible d'améliorer le rendement la verrière et la rendre plus adéquate à ce genre d'espace à travers ces quelques recommandations :

Recommandation d'ordre général :

- Lors de la conception d'un dispositif quelconque, dont le but est d'assurer un éclairage naturel pour des salles de musées, il est important d'avoir à l'esprit que la qualité et la quantité de lumière nécessaire n'est pas seulement fonction de la taches visuelle mais aussi des objets à exposer.

Recommandations concernant le cas d'étude :

- Revoir les dimensions de la verrière, une verrière moins grande laisserait passer moins de lumière.

- Le vitrage existant peut être recouvert d'un film ou d'une couche réfléchissante réduisant ainsi la quantité de rayons pénétrants à l'intérieur.

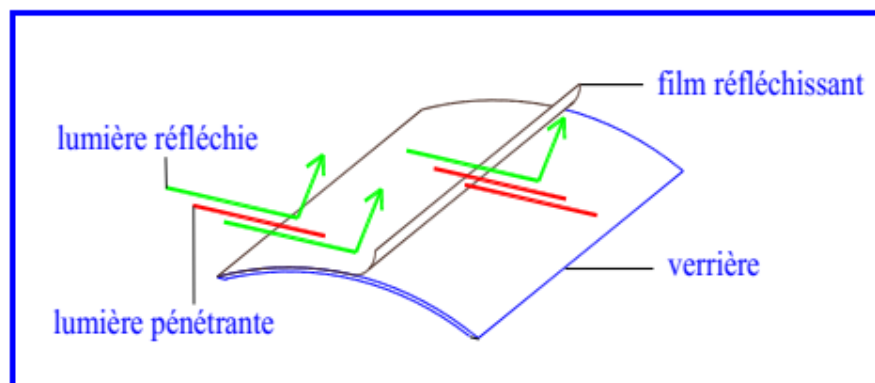


Figure 111 : application d'une couche réfléchissante sur le vitrage de la verrière

(Source : l'auteur)

Prévoir des occultations pour les petites ouvertures se situant sous la verrière pour empêcher la pénétration des rayons directs

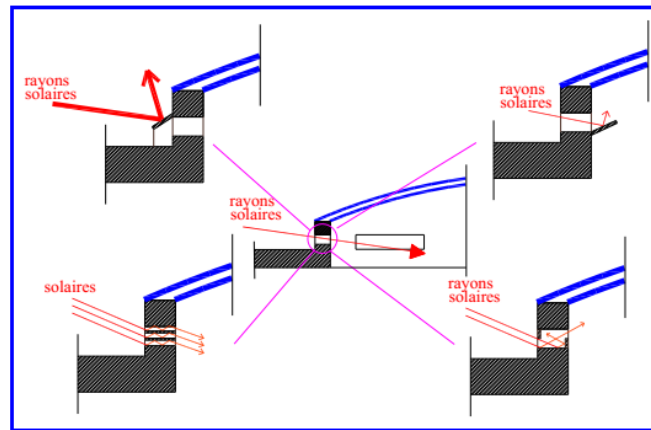


Figure 112 : protections solaires pour les ouvertures sous la verrière

(Source : l'auteur)

Associer un éclairage électrique conforme aux normes qui soit bien reparti de manière à rétablir l'équilibre entre les endroits les plus éclairés et ceux qui le sont le moins, notamment les coins de la salle.

- L'installation d'une deuxième peau en verre opaque ou en plexiglas pour la verrière, ceci permettrait d'avoir un éclairage moins intense avec une ambiance plus tamisée et douce pour l'œil humain en associant si besoin un éclairage électrique directif pour mettre en valeur les différentes pièces exposées avec des effets de contraste et une intensité de lumière contrôlable.

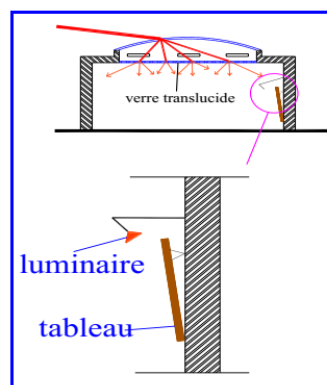


Figure 113 : double peau pour la verrière avec éclairage électrique directif pour les objets d'exposition

(Source : l'auteur)

- L'installation de réflecteurs en dessous de la verrière de manière à réfléchir plus lumière vers l'extérieur.

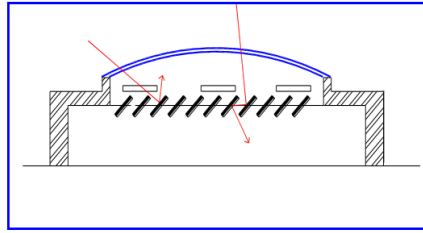


Figure 114 : contrôle de la lumière par des réflecteurs sous la verrière

(Source : l'auteur)

- Le choix des luminaires utilisés doit se faire en fonction de leurs températures de couleurs ainsi que leurs indices de rendu des couleurs, biens qu'il est pour l'instant

difficile de reproduire une lumière aussi parfaite que la lumière naturelle, mais il est quand même possible d'arriver à de bon résultats avec des lampes dont la température de couleur avoisine les 8000 k par exemple.

- Tous les luminaires utilisés doivent être dotés de filtres en fonction des objets qu'ils éclairent.

Bibliographie

- Abdelatia, B. (2013).** Contribution à l'étude du confort visuel en lumière naturelle dans les établissements scolaires en Libye : évaluation qualitative et préconisations. Thèse de doctorat. École Nationale Supérieure d'Architecture et de Paysage de Bordeaux.
- Andriamarozakaniaina, T-Z-F. (2012).** Du texte à la génération d'environnements
- ARENE & ICEB. (2014).** Guide Bio-tech : l'éclairage naturel, CSTB Editions, 2014.
- Arsenault, H. (2012).** Effets du verre teinté sur la qualité de la lumière naturelle des Occupants et l'utilisation d'un Éclairage d'appoint. Mémoire de master. d'aménagement, d'architecture et des arts visuels, Université de Laval. Québec.
- Augoyard, J-F. (2008).** Faire une ambiance, Ecoles Nationales Supérieures d'Architecture de Grenoble et de Nantes
- Beudoin, j.-m. (2014).** Évaluation de parcours d'exposition : une approche par indicateurs spatiaux et temporels. La lettre de l'ocim, 24-31, consulté le 13/03/2021 ,disponible sur: <https://journals.openedition.org/ocim/1658>.
- Belakehal, a. (2007).** Etude des aspects qualitatifs de l'éclairage naturel dans les espaces architecturaux. Cas des milieux arides à climat chaud et sec. Thèse de doctorat. Biskra: université khider mohamed
- Belakehal, A. (2007).** Etude des aspects qualitatifs de l'éclairage naturel dans les espaces architecturaux. Cas des milieux arides à climat chaud et sec. Thèse de doctorat. Université Khider Mohamed, Biskra.
- Ben cheikh, A. (2007).** Impact de la conception des salles de classe sur l'ensoleillement, le confort visuel et le comportement des écoliers : Cas des écoles primaires du Sud-est algérien. Mémoire de magister. Université Khider Mohamed,
- Bendekkiche, s. (2017).** Optimisation de l'éclairage naturel dans les salles de classe par simulation inverse, magister en : architecture, [en ligne], disponible sur : <http://thesis.univ-biskra.dz/id/eprint/2963> .Biskra: université mohamed khider , faculté des sciences et de la technologie.
- BENEDICTE COLLARD, F. (2011).** Architecture et Climat (UCL) - fascicule technique : L'éclairage dans les écoles
- Benharkat, S. (2006).** Impact de l'éclairage naturel zénithal sur le confort visuel dans les salles de classe. Mémoire de magister. Université de Constantine.

- Biron, K. (2008).** Dynamique forme/lumière : Exploration du processus de création de l'espace architectural par modèles maquettes/images. Maîtrise en sciences de l'architecture, Université Laval.
Biskra.
- Bodart & deneyer, .. (1999).** Guide d'aide à l'interprétation et à l'amélioration des résultats des mesures sous ciel et soleil artificiel . Louvain: du cstc, centre scientifique et technique de la construction, université catholique de louvain .
- Bonnefoi, P. (1999).** Techniques de satisfaction de contraintes pour la modélisation déclarative : Application à la génération concurrente de scènes. Thèse de doctorat. Université de Limoges.
- Bonte, M. (2014).** Influence du comportement de l'occupant sur la performance énergétique du bâtiment Modélisation par intelligence artificielle et mesures in situ. Thèse de l'Université Toulouse 3.
- Boubekri, M. (2008).** Daylighting, Architecture and Health - Building Design Strategies (1 ed.). Oxford : Elsevier
- Bougdah, h & sharples, s. (2010).** Environment, technology and sustainability. New york, united states of america.: new york city
- Cantin, f. (2008).** Évaluation de la qualité lumineuse d'un environnement de travail éclair naturellement. Mémoire de master. Faculté d'aménagement, d'architecture et des arts visuels ,[en ligne], disponible sur: Confort
- Cervantès, I. (2012).** *Identification et caractérisation des ambiances lumineuses en milieu architectural : Comment passer de l'idée d'ambiance lumineuse à une solution architecturale ?* Mémoire de Master recherche. Nancy. Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie (UMR MAP/CRAI)- Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy
- CIBSE. (1987).** The chartered institution of building services engineers. Applications manuel. London: CIBSE
- DAICH SAFA** Simulation et optimisation du système light shelf sous des conditions climatiques spécifiques, Cas de la ville de Biskra. Présenté par : p62.63.64.65.66
- DAICH, S. (2011).** Simulation et optimisation du système light shelf sous les conditions climatiques spécifique, mémoire de magister. Université de Biskra. Biskra. (Moore, 1985)
- MOORE, F. (1985).** Concepts and Practice of Architectural Daylighting. Van Nostrand Reinhold Company. New York

- DIB, Michel Nadia.** 19¹⁹³ Recommandations architecturales. Alger. ENAG-Editi Deroisy (Centre scientifique et technique de la construction) B. Roisin, M. Bodart et J. Deltour (Université catholique de Louvain) p5.6
- Drif Abd Hamid** (optimisation de l'éclairage naturel p42-43, 2015
- Dubois, c. (2006).** Confort et diversité des ambiances lumineuses en architecture, l'influence de l'éclairage naturel sur les occupants. Mémoire de master.[en ligne],disponible sur :<https://corpus.ulaval.ca/jspui/bitstream/20.500.pdf>.Québec: faculté d'aménagement, d'architecture et des arts visuels. Université de laval
- Ezrati, j.-j. (2007).** L'exposition des œuvres fragiles à la lumière-lumière et éclairage. Support tracé , revue de l'association pour la recherche scientifique sur les arts graphique, n°7[en ligne],consulté le 05/02/2021,disponible sur : <https://ezrati-eclairage.weebly.com.pdf>, 83-85
- Ezrati, j.-j. (2010).** L'éclairage comme élément de la scénographie. Culture et musées n° 16[en ligne] consulté le 03/03/2021 ,disponible sur : https://ezrati_eclairage.weebly.com/culture__muses_n16.pdf, 252-256
- FRANCK, D. (2012).** La lumière du matériel au spirituel.
- Gallas, M-A. (2009).** *La lumière naturelle en phase de conception : quels méthodes et outils pour l'architecture ?* Mémoire de Master recherche. Nancy. Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie (UMR MAP/CRAI)-Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy
- Gobbato, v & schmitt, d. (2021).** Éclairer pour illuminer. L'éclairage, un dispositif muséal de médiation. La lettre de l'ocim , [en ligne], mis en ligne le 01 mars 2021, consulté le 13mars 2021. disponible sur:
<http://journals.openedition.org/ocim/4259>
- Guide de l'éclairage. (2017).** Photométrie : notions de base. Récupéré sur [en ligne]: consulté le 23/04/2021, disponible sur/
<http://leclairage.fr/th-photometrie>.
- HETZEL, J. (2003).** Haute qualité environnementale du cadre bâti. Paris: AFNOR.
http://odel.irevues.inist.fr/oeiletphysiologiedelavisionsite_site_1
- Ibara, D. (2010),** *Using ECOTECH for Exterior Qualitative Solar Analysis: Direct Shading Analysis. Harvard Design School*
- Inrs, i. n. (2012).** L'éclairage naturel ,[en ligne],disponible sur : <https://sst.nicecotedazur.org/wp-content/uploads/2012/08/ed82.pdf>

Jean-Jacques Ezrati ; Passé, présent et futur des diodes électroluminescentes en éclairage muséographique ; Comité de conservation de l'ICOM, 2008

JEAN-PIERRE, T. (2012). La lumière, ensemble valorisant la lumière naturel . La lettre d'informatique de GIF.

Juliette, r.-d. (2019). Vif débat sur la « définition des musées » à l'icom ? . La lettre de l'ocim [en ligne], 186 | 2019, mis en ligne le 01 novembre 2020, consulté le 26 fév 2021. Disponible sur : <http://journals.openedition.org/ocim/3370>

Karoui, H. (2012). *Sensibilité aux ambiances lumineuses dans l'architecture des grandes demeures husseinites du XVIIIe - début XIXe siècles*. Thèse de Doctorat en « Sciences de l'Architecture ». Ecole Nationale D'Architecture et D'Urbanisme de TUNIS

Le petit Larousse. (2007). Dictionnaire le petit Larousse. Paris: Larousse, 2007, p.595

Liébard, a., & de herde, a. (2006). *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable*. Paris: le moniteur

Lipinski, m., & al. (2014). Guide bio-tech : éclairage naturel. Récupéré sur [en ligne]: consulté le 23/04/2021, disponible sur :

<https://www.arenedf.org/publication-arene/guide-bio-tech-léclairage-naturel>

Lipinski, m., & al. (2014). Guide bio-tech : éclairage naturel. Récupéré sur [en ligne]: consulté le 23/04/2021, disponible sur :

<https://www.arenedf.org/publication-arene/guide-bio-tech-léclairage-naturel>.

LOUIS, J. (2013). Eclairage et habitat- santé- confort visuel. [En ligne]. Consulté le 17/03/2018, sur <http://louiséclairage.weebly.com>.

Maamari, F. (2005). *La simulation numérique de l'éclairage : limites et potentialités*. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon

Maamari, F. (2005). *La simulation numérique de l'éclairage : limites et potentialités*. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon

Marcus Tullius Cicero est un philosophe romain né le 3 janvier 106 av. J.-C. en Italie et assassiné le 7 décembre 43 av. J.

MEDDOUR Samir impact de l'éclairage zénithal sur la présentation et la préservation des œuvres d'art dans les musées, thèse magistère, Université Mentouri Constantine, 2008. p 40.41; guide sur l'éclairage naturel des bâtiments Par Keith Robertson, M. SC. Arch., NSAA, Sol terre Design P 9-14

- Microsoft Corporation.2004** Paris: ED 82,Travail et Sécurité,(Mai 1999), p1[En ligne] www.inrs.fr (Page consultée le 21 septembre2004)
- Mr MEDDOUR SAMIR** impact de l'éclairage zénithal sur la présentation et la préservation des œuvres d'art dans les musées, thèse magistère, Université Mentouri Constantine, 2008. p 30.31
- 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.)
- Narboni, r. (2006).** Lumière et ambiances : concevoir des éclairages pour l'architecture et la ville. Le moniteur editions.**Reiter, s & de herde, a. (2004).** L'éclairage naturel des bâtiments. Louvain: UCL, université catholique de louvain ,presses universitaires.
- Nicolas vandenbroucke :** cours de vision industrielle –p3
- Robertson, k. (2003).** Guide sur l'éclairage naturel des bâtiments. Ontario: schlcmh
- SIGRID, R. (2001).** L'éclairage naturel des bâtiments. Ministère de la région de WALONNE.Université catholique de Louvain. Belgique.
- TAREB ,** Eclairage naturel. (Energie Confort et Bâtiments)
- TEACHNUCLEAR.** (2018). Le rayonnement et le spectre électromagnétique. [En ligne]. Consulté le 25/03/2018, sur <http://teachnuclear.ca/fr/tout-sur-le-nucleaire/lerayonnement/spectre-electromagnetique>.
- TERRIER. Christian** et VANDEVYVER.Bernard."L'éclairage naturel", fiche pratique de sécurité, Paris:ED82
- virtuels 3D : Application à la scénographie théâtrale. Thèse de doctorat, Université Toulouse 2 Le Mirail (UT2 Le Mirail)

Listes des ouvrages en ligne

PDF /<http://> Qu_est-ce_qu_un_musee_1

PDF /Les déffirentes type de muse/2007

PDF/Design Determinants of Building Envelope for Sustainable

PDF /Design de parcours /2012.

PDF/Espace et lumière: Le projet d'éclairage Bernard PAULE / EPFL-ENAC 2004).

PDF /Eclairage zénithal, dôme et coupole.

PDF/ the-louvre-abu-dhabi-museum.

PDF/ Archi20/.musée d'art /2016

PDF/ Qu'est ce qu'un musée/page 03/2010

PDF / Document pdf /consulté le 20 mai 200

PDF / Les déffirentes type de muse.pdf /p 11-14-16/2017

Les liens:

1. http://www.bourgogne-batiment-durable.fr/fileadmin/user_upload/mediatheque/DOL-CAD-BBD.pdf
2. http://www.buildup.eu/sites/default/files/content/wbkICD.tmp_.pdf
3. <http://www.cstb.fr/dae/fr/nos-produits-et-formations/outils-de-calcul/phanie.html>
4. <https://www.kazoart.com/blog/art-et-numerique-5-innovations>
5. <http://archiloubna.e-monsite.com/2008>
6. www.syndicat-éclairage.com
7. <http://www.daysim.com>
<https://github.com/mostaphaRoudsari/honeybee>

UNESCO -paris 1974 Dictionnaire encyclopédique Larousse. Paris: Larousse, 1979

[Association Française de l'Éclairage, 1983 « Confort » dans Dictionnaire Encyclopédique Larousse. Paris : Librairie LAROUSSE, 1979, p351.