

République algérienne démocratique et populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
Université Abderrahmane Mira – Bejaia



Faculté de Technologie  
Département d'Architecture



Thème :

Étude de l'apport de la lumière naturelle dans les espaces  
d'exposition. (cas des musées)

**Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master II en Architecture  
« Spécialité Architecture »**

Préparé par :

**Boulzazene Ferroudja**

Nom et Prénom	Grade	Département architecture de Bejaia	Président de jury
KHADRAOUI Mohamed Amine	MCB	Département architecture de Bejaia	Rapporteur
ALLOUACHE Samir		Département architecture de Bejaia	Rapporteur
RABHI Khireddine	MAA	Département architecture de Bejaia	Jury
BOUFASSA Sami		Département architecture de Bejaia	Jury
BADIS Abderrahmane	MAA	Département architecture de Bejaia	Jury

## Dédicace

*Je dédie ce modeste travail :*

- ❖ *A la plus belle perle du monde, ma chère maman pour son amour infini, son dévouement qui n'a pas d'équivalent, ses précieux conseils et toute la bienveillance qu'elle a consentie à mon égard.*
- ❖ *A mon très cher père, à qui je dois tant et tout, symbole du courage et sacrifice, pour son encouragement permanent, et soutien moral tout au long de mes études.*
  - ❖ *A ma très chère et adorable sœur Djegdjiga.*
  - ❖ *A mes chers frères Nacer, Ferhat et Massinissa.*
    - ❖ *A mon cher fiancé Ilyes.*
    - ❖ *A ma belle-sœur Mona.*
    - ❖ *A mon beau-frère Mahmoud.*
  - ❖ *A mes chères cousines Melissa, Sara, Lili et Samia.*
  - ❖ *A mes chères amies Celia, Lidia, Lamia, Siva et Dina.*
    - ❖ *A mon neveu et nièces Mehdi, Serine et Maria.*
- ❖ *A toute ma famille pour l'amour et le respect qu'ils m'ont toujours accordé.*

# Remerciement

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu qui m'a donné la force et le courage pour accomplir ce mémoire.

J'exprime toute ma gratitude à mes encadreurs, Mr KHEDRAOUI. M et Mr ALLOUACH. S pour leur patience, leur disponibilité et surtout leurs judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je remercie, également les membres de jury qui ont bien voulu évaluer mon travail.

Un grand merci à ma famille pour leur amour, leurs conseils ainsi que leur soutien inconditionnel, à la fois moral et économique, qui m'a permis de réaliser les études que je voulais et par conséquent ce mémoire.

Je voudrais exprimer ma reconnaissance envers mes amis et collègues qui m'ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de ma démarche.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

## Résumé

Les musées sont des lieux publics de plaisir ; d'inspiration, d'instruction et de passion. La lumière naturelle prend un rôle essentiel dans l'interprétation des œuvres exposées dans ces espaces, ainsi dans le confort visuel et le bien-être des visiteurs, mais sans oublier son effet de dégradation sur plusieurs matériaux.

Ce mémoire de recherche traite l'importance de la pénétration de la lumière et son apport dans les espaces d'exposition, cherche ainsi à adopter les meilleures stratégies à fin d'assurer le confort visuel, de créer des ambiances lumineuses agréables.

Pour cela, nous avons opté pour trois méthodes : une étude empirique qualitative sous forme de mesure in situ, quantitative sous forme de questionnaire, ainsi une simulation numérique qui nous permet d'évaluer les conditions du confort visuel et de la qualité de la lumière naturelle dans la salle d'exposition du musée el moudjahid de Bejaia.

Finalement, nos études, ont fait preuve de la mauvaise qualité de la lumière naturelle dans l'espace d'exposition de notre cas d'étude qui représente un éclairage non-uniforme avec une tache solaire qui peut être source d'éblouissement tout au long des fenêtres, avec une zone sombre au fond de la pièce ce qui crée un fort contraste. Ces paramètres résultent l'inconfort pour les visiteurs du musée.

**Mots-clés :** musée, lumière naturelle, confort visuel, ambiance lumineuse, espace d'exposition.

## **Abstract**

Museums are public places of pleasure; inspiration, education and passion. Natural light plays an essential role in the interpretation of the works exhibited in these spaces, as well as in the visual comfort and well-being of visitors, but without forgetting its degradation effect on several materials.

This research thesis deals with the importance of the penetration of light and its contribution to exhibition spaces, thus seeks to adopt the best strategies to ensure visual comfort, to create pleasant light atmospheres.

For this, we opted for three methods: a qualitative empirical study in the form of in situ measurement, quantitative in the form of a questionnaire, as well as a numerical simulation which allowed us to assess the conditions of visual comfort and the quality of light. natural in the exhibition hall of the el moudjahid museum in Bejaia.

Finally, our studies show the poor quality of natural light in the exhibition space of our case study, which represents non-uniform illumination with a sunspot that can be a source of glare throughout. windows, with a dark area at the back of the room which creates a strong contrast. These settings result in discomfort for visitors to the museum.

**Keywords:** museum, natural light, visual comfort, light ambience, exhibition space.

## ملخص

المتاحف هي أماكن عامة ممتعة. الإلهام والتعليم والعاطفة. يلعب الضوء الطبيعي دورًا أساسيًا في تفسير الأعمال المعروضة في هذه المساحات ، وكذلك في الراحة البصرية ورفاهية الزوار ، ولكن دون أن ننسى تأثيره التدريجي على العديد من المواد. تتناول هذه الرسالة البحثية أهمية تغلغل الضوء ومساهمته في مساحات العرض ، وبالتالي تسعى إلى تبني أفضل الاستراتيجيات لضمان الراحة البصرية ، لخلق أجواء ضوئية ممتعة.

لهذا ، اخترنا ثلاث طرق: دراسة نوعية تجريبية في شكل قياس في الموقع ، وكمية في شكل استبيان ، وكذلك محاكاة عددية سمحت لنا بتقييم ظروف الراحة البصرية وجودة الضوء - طبيعي بقاعة المعارض بمتحف المجاهد ببجاية.

أخيرًا ، تُظهر دراساتنا الجودة الرديئة للضوء الطبيعي في مساحة العرض في دراسة الحالة الخاصة بنا ، والتي تمثل إضاءة غير موحدة مع بقعة شمسية يمكن أن تكون مصدرًا للوهج في جميع أنحاء النوافذ ، مع وجود منطقة مظلمة في الجزء الخلفي من الغرفة مما يخلق تباينًا قويًا. تؤدي هذه الإعدادات إلى إزعاج زوار المتحف.

**الكلمات المفتاحية:** متحف ، ضوء طبيعي ، راحة بصرية ، جو مضيء ، مساحة عرض

# Table des matières

Dédicace .....	i
Remerciement.....	ii
Résumé .....	iii
Table des matières .....	vi
Liste des figures.....	x
Liste des tableaux .....	xivv
Nomenclature .....	xv

## Partie introductif

Introduction .....	1
Problématique.....	2
Hypothèses .....	2
Contexte et objectifs de recherche.....	2
Analyse conceptuelle.....	3
Méthodologie.....	3
Structure du mémoire .....	3

## Partie théorique

<b>Chapitre 1</b> Notions de base de l'éclairage naturel .....	5
Introduction .....	5
1.1 Définition de la lumière naturelle .....	5
1.1.1 La lumière comme entité physique .....	5
1.1.2 La lumière en architecture .....	6
1.2 Source de la lumière naturelle.....	6
1.2.1 Le soleil.....	6
1.2.2 Le ciel.....	6
1.3 Les grandeurs photométriques .....	7
1.3.1 Flux lumineux ( $\Phi$ ) .....	7
1.3.2 Intensité lumineuse (I) .....	8
1.3.3 Éclairement (E) .....	8
1.3.4 Luminance (L) .....	9
1.3.5 Le facteur de lumière du jour (FLJ) .....	9
1.4 La propagation de la lumière naturelle .....	9
1.4.1 L'absorption.....	9
1.4.2 La réflexion.....	9

1.4.3	La transmission .....	9
1.5	La stratégie de la lumière naturelle .....	11
1.5.1	Capter .....	11
1.5.2	Transmettre .....	11
1.5.3	Distribuer .....	11
1.5.4	Protéger .....	11
1.5.5	Contrôler .....	12
1.6	Les paramètres influant sur la lumière naturelle .....	12
1.6.1	Les paramètres relatifs à l'environnement naturel .....	12
1.6.2	Les paramètres relatifs aux bâtiments .....	14
1.6.3	Les paramètres relatifs à l'environnement extérieur .....	18
1.7	Les types d'éclairage naturel .....	18
1.7.1	Éclairage latérale .....	18
1.7.2	L'éclairage zénithal .....	20
	Conclusion .....	22
<b>Chapitre 2</b>	<b>Le confort visuel et les ambiances lumineuses dans les musées .....</b>	<b>23</b>
	Introduction .....	23
2.1	Définition du confort visuel .....	23
2.2	Le système visuel et la lumière .....	23
2.2.1	Le spectre électromagnétique .....	23
2.2.2	L'effet visuel de la lumière .....	24
2.2.3	La sensibilité spectrale de l'œil .....	24
2.2.4	Le champ de la vision .....	25
2.3	Les paramètres du confort visuel .....	25
2.3.1	Le niveau d'éclairement .....	25
2.3.2	Rendu des couleurs .....	26
2.3.3	Le tien de la lumière .....	26
2.3.4	L'uniformité de la lumière .....	27
2.3.5	L'éblouissement .....	27
2.3.6	L'ombre gênant .....	28
2.4	Les protections solaires .....	28
2.4.1	Protection solaire fixe .....	28
2.4.2	Protection solaire mobile .....	29
2.4.3	Protection solaire selon l'orientation .....	29
2.5	Définition de l'ambiance lumineuse .....	30
2.6	Les paramètres de l'ambiance lumineuse .....	30
2.6.1	La quantité .....	31
2.6.2	La qualité .....	31
2.7	Les types d'ambiances lumineuses .....	31
2.8	Définition du musée .....	32



2.9	Évolution historique des musées.....	33
2.10	La fonction du musée.....	33
2.10.1	Acquérir .....	33
2.10.2	Conserver et restaurer .....	34
2.10.3	Étudier.....	34
2.10.4	Exposer .....	35
2.11	Les types du musée .....	35
2.11.1	Suivant la discipline.....	35
2.11.2	Suivant la notion d'ouverture.....	36
2.11.3	Suivant la localité.....	36
2.11.4	Suivant les parcours .....	37
2.12	La lumière dans les musées.....	38
2.12.1	La lumière naturelle en architecture .....	38
2.12.2	Intégration de la lumière naturelle dans les espaces d'expositions.....	39
2.12.3	Les systèmes de diffusion d'éclairage naturel .....	39
2.12.4	Les exigences de l'éclairage dans l'espace d'exposition .....	41
2.12.5	Types d'éclairage d'exposition .....	41
	Conclusion.....	43

## **Partie pratique**

<b>Chapitre 3</b>	Étude empirique .....	44
	Introduction .....	44
3.1	Évaluation quantitative .....	44
3.1.1	Présentation du musée.....	44
3.1.2	Présentation de la salle d'exposition.....	47
3.1.3	Protocole de mesure .....	49
3.1.4	Résultats et interprétation .....	50
3.1.5	Synthèse .....	54
3.2	Évaluation qualitative .....	55
3.2.1	La méthode.....	55
3.2.2	Le questionnaire développé .....	55
3.2.3	Les participants .....	55
3.2.4	Résultats et interprétation .....	55
3.2.5	Synthèse .....	57
	Conclusion.....	58
<b>Chapitre 4</b>	Simulation numérique.....	59
	Introduction .....	59
4.1	Présentation du logiciel radiance .....	59
4.2	Domaine d'utilisation du logiciel radiance .....	60

4.3	La simulation .....	60
4.3.1	Étape I.....	60
4.3.2	Étape II.....	61
4.3.3	Étape III .....	61
4.4	Les résultats et interprétation.....	62
4.4.1	Le cas du 21 septembre.....	62
4.4.2	Le cas du 21 décembre.....	66
4.4.3	Le cas du 21 juin .....	69
4.5	Comparaison des résultats.....	73
4.6	Proposition des solutions .....	74
	Conclusion.....	75
	<b>Conclusion générale.....</b>	<b>77</b>
	Recommandation.....	78
	Limite de recherche .....	78
	Perspective de recherche .....	78
	<b>Bibliographie.....</b>	<b>79</b>
	<b>Annexes</b>	
	<b>Chapitre 5</b> Annexes.....	<b>82</b>
	Annexe 1 Questionnaire .....	82
	Annexe 2 Les étapes de travail par le logiciel radiance .....	85
	Annexe 3 synthèse d'analyse du terrain .....	88
	Annexe 4 Synthèse d'analyse des exemples .....	91
	Annexe 5 PFE.....	93

# Liste des figures

Figure 1 : Analyse conceptuelle. (Source : Auteur, 2021).....	3
Figure 2 : Structure du mémoire. (Source : Auteur, 2021) .....	4

## Chapitre 1 : Notions de base de l'éclairage naturel

Figure 1-1 : le rayonnement électromagnétique. (Source : <a href="https://www.bega.com/fr/">https://www.bega.com/fr/</a> , Sd).....	5
Figure 1-2 : source primaire de la lumière naturelle. (Source : <a href="http://www.Guideéclairagenaturel.htm">www.Guideéclairagenaturel.htm</a> , Sd) ....	6
Figure 1-3 : Les différents types des ciels. (Source : L'éclairage naturelle des bâtiments, 2003) .....	7
Figure 1-4 : Flux lumineux. (Source : Gregoire, 2017) .....	7
Figure 1-5 : Intensité lumineuse et l'angle solide. (Source : Gregoire, 2017 ; Gallas, 2013) .....	8
Figure 1-6 : Éclairement. (Source : Gregoire, 2017) .....	8
Figure 1-7 : Luminance. (Source : Gregoire. 2017).....	9
Figure 1-8 : Schéma représentatif de la propagation de la lumière naturelle. (Source : <a href="https://www.glastroesch.ch/fr">https://www.glastroesch.ch/fr</a> , Sd).....	10
Figure 1-9 : Les types de transmission et de réflexion. (Source : L'éclairage naturel des bâtiments, 2004) .....	11
Figure 1-10 : Les stratégies de la lumière naturelle. (Source : <a href="http://archipositive.blogspot.com/">http://archipositive.blogspot.com/</a> , 2016) .....	12
Figure 1-11 : Les différents niveaux d'éclairement en fonction des heures. (Source : <a href="https://energieplus-lesite.be/">https://energieplus-lesite.be/</a> , Sd) .....	13
Figure 1-12 : Les différents niveaux d'éclairement en fonction de la saison. (Source : <a href="https://energieplus-lesite.be/">https://energieplus-lesite.be/</a> , Sd).....	13
Figure 1-13 : Les différents niveaux d'éclairement en fonction des types de ciel. (Source : <a href="https://energieplus-lesite.be/">https://energieplus-lesite.be/</a> Sd).....	14
Figure 1-14 : Ouverture latérale. (Source : <a href="https://energieplus-lesite.be/">https://energieplus-lesite.be/</a> , Sd).....	15
Figure 1-15 : Ouverture zénithale. (Source : <a href="https://energieplus-lesite.be/">https://energieplus-lesite.be/</a> , Sd) .....	15
Figure 1-16 : Les niveaux d'éclairement selon les tailles d'ouvertures. (Source : Magali, Sd) .....	16
Figure 1-17 : le niveau d'éclairement selon la forme de l'ouverture. (Source : Magali, Sd).....	16
Figure 1-18 : les différents niveaux d'éclairement selon l'emplacement de l'ouverture. (Source : Magali, Sd).....	17
Figure 1-19 : exemple d'éclairement en profondeur. (Source : Arnaud, Sd).....	18
Figure 1-20 : Exemple d'éclairage unilatérale. (Source : Google image, 2021). .....	19
Figure 1-21 : Exemple d'éclairage bilatérale. (Source : Google image, 2021) .....	19
Figure 1-22 : Exemple d'éclairage multilatérale. (Source : Google image, 2021) .....	19
Figure 1-23 : shed. (Source: Google image, 2021) .....	20
Figure 1-24 : shed. (Source: Google image, 2021).....	20
Figure 1-25 : Dôme et verrière. (Source : Terrier & Vandevyver, 2012) .....	20
Figure 1-26 : lanterneaux. (Source : Google image, 2021).....	21
Figure 1-27 : Puits de jour. (Source : GUIDE> la stratégie de la lumière naturelle, Sd).....	21
Figure 1-28 : Puits de jour. (Source : GUIDE> la stratégie de la lumière naturelle, Sd).....	21

## Chapitre 2 : Le confort visuel et les ambiances lumineuses dans les musées

Figure 2-1 : Le spectre électromagnétique. (Source : Guide CEATI, 2014) .....	24
Figure 2-2 : Courbe d'efficacité lumineuse spectrale. (Source : Guide CEATI, 2014).....	25
Figure 2-3 : Les champs visuel. (Source : Arnaud, Sd) .....	25
Figure 2-4 le diagramme de Kruithof. (Source : GREGOIRE, 2017).....	27
Figure 2-5 : Source lumineuse de haute luminance. (Source : CONCEIÇÃO NUNES, Sd).....	28

Figure 2-6 : Les types de protections solaires fixe. (Source : Google image, 2021).....	28
Figure 2-7 : Les types de protections solaire mobile. (Source : Google image, 2021) .....	29
Figure 2-8 : Protections solaires verticale et horizontale. (Source : <a href="http://archipositive.blogspot.com/">http://archipositive.blogspot.com/</a> , 2016) .....	30
Figure 2-9 : Représentation schématique de l’ambiance lumineuse. (Source : Pascale et al., 2014).....	31
Figure 2-10 : La pénombre du cloître de l'Abbaye Saint-Pierre de Moissac. (Source : Google image, 2021) .....	32
Figure 2-11 : Ambiance luminescente. (Source : Google image, 2021) .....	32
Figure 2-12 : Ambiance inondée. (Source : Google image, 2021) .....	32
Figure 2-13 : Conservation et restauration d'un tableau. (Source : Google image, 2021) .....	34
Figure 2-14 : Exemple d'inventaire d'une œuvre dans le musée Flora. (Source : Google image, 2021)	34
Figure 2-15 : Exemple d'exposition. (Source : Google image, 2021).....	35
Figure 2-16 : Les types de musées selon la discipline. (Source : Google image, 2021).....	36
Figure 2-17 : Les types de musées suivant la notion d'ouverture. (Source : Google image, 2021) .....	36
Figure 2-18 : Types de parcours linéaire. (Source : Google image, 2021) .....	37
Figure 2-19 : Parcours circulaire et labyrinthe. (Source : Google image, 2021) .....	38
Figure 2-20 : Light shelf incliné vers l'intérieure et extérieure. (Source : <a href="https://energieplus-lesite.be/">https://energieplus-lesite.be/</a> , 2021) .....	39
Figure 2-21 : Light shelf selon la position. (Source : <a href="http://energieplus-lesite.be">energieplus-lesite.be</a> , 2007).....	40
Figure 2-22 : Réflecteur. (Source : <a href="http://www.maisontravaux.fr">www.maisontravaux.fr</a> , 2017).....	40
Figure 2-23 : éclairage générale dans la salle d'exposition de KELVINGROVE – GLASGOW, ROYAUME-UNI. (Source : Sylvania, Sd) .....	42
Figure 2-24 : éclairage localisé dirigé dans la salle d'exposition d'ÉLÉPHANT PANAME – PARIS, FRANCE. (Source : Sylvania, Sd).....	42
Figure 2-25 : éclairage localisé focalisé dans la salle d'exposition de L’Ashmolean Museum. (Source : Sylvania, Sd).....	42
Figure 2-26 : éclairage localisé cadré dans la salle d'exposition de L’Ashmolean Museum. (Source : Sylvania, Sd).....	43

### Chapitre 3 : Étude empirique

Figure 3-1 : Vue sur le musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021) .....	44
Figure 3-2 : carte de la ville de Bejaïa. (Source : Google maps + Auteur, 2021) .....	45
Figure 3-3 : Plan de masse du musée el moudjahid Bejaïa. (Source : Auteur, 2021) .....	45
Figure 3-4 : La forme et volumétrie du musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021).....	46
Figure 3-5 : La façade principale du musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021) .....	46
Figure 3-6 : Plan de la salle d'exposition du musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021).....	46
Figure 3-7 : La façade principale du musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021).....	46
Figure 3-8 : Plan de la salle d'exposition du musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021).....	47
Figure 3-9 : Salle d'exposition el moudjahid. (Source : Auteur, 2021).....	47
Figure 3-10 : Plan de la salle d'exposition du musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021).....	47
Figure 3-11 : Salle d'exposition el moudjahid. (Source : Auteur, 2021).....	48
Figure 3-12 : Eclairages artificiel dans le musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021).....	48
Figure 3-13 : Eclairage naturel dans le musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021) .....	49
Figure 3-14 : La grille des mesures sur le plan de la salle d'exposition. (Source : Auteur, 2021) .....	49
Figure 3-15 : Application Luxmètre « Korona ». (Source : Auteur, 2021).....	50
Figure 3-16 : Le niveau d'éclairément à 09h dans la salle d'exposition du musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021) .....	51
Figure 3-17 : Le niveau d'éclairément à 12h dans la salle d'exposition du musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021) .....	52

Figure 3-18 : Le niveau d'éclairage à 15h dans la salle d'exposition du musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021).Tableau 3-4 : résultats de la prise des mesures à 15h dans la salle d'exposition du musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021).....	53
Figure 3-19 : Le niveau d'éclairage à 15h dans la salle d'exposition. (Source : Auteur, 2021).	54
Figure 3-20 : les réponses concernant la satisfaction vis-à-vis le confort visuel en pourcentage. (Source : Auteur, 2021) .....	55
Figure 3-21 : les réponses concernant la satisfaction vis-à-vis le confort visuel en pourcentage. (Source : Auteur, 2021). .....	56
Figure 3-22 : les réponses concernant l'ambiance lumineuse en pourcentage. (Source : Auteur, 2021)	56
Figure 3-23 : les réponses concernant le choix de la lumière en pourcentage. (Source : Auteur, 2021)	57
Figure 3-24 : les réponses concernant la réflexion en pourcentage. (Source : Auteur, 2021) .....	57

## Chapitre 4 : Simulation numérique

Figure 4-1 : Radiance. (Source : Google image, 2021).....	59
Figure 4-2 : Conception de l'éclairage naturel. (Source : Google image, 2021).....	60
Figure 4-3 : La 3D du musée el moudjahid de Bejaia sur Archicad. (Source : Auteur, 2021) .....	61
Figure 4-4 : Les étapes d'importer le fichier Archicad sur Ecotect et de remplir les données du musée el moudjahid de Bejaia. (Source : Auteur, 2021).....	61
Figure 4-5 : Positionnement des caméras dans la 3D du musée el moudjahid de Bejaia. (Source : Auteur, 2021) .....	62
Figure 4-6 : Le niveau d'éclairage par la caméra 1 le 21 septembre à 9h. (Source : auteur, 2021)....	63
Figure 4-7 : Le niveau d'éclairage par la caméra 2 le 21 septembre à 9h. (Source : auteur, 2021)....	63
Figure 4-8 : Le niveau d'éclairage par la caméra 1 le 21 septembre à 12h. (Source : auteur, 2021)	64
Figure 4-9 : Le niveau d'éclairage par la caméra 2 le 21 septembre à 12h. (Source : auteur, 2021)	64
Figure 4-10 : Le niveau d'éclairage par la caméra 1 le 21 septembre à 16h. (Source : auteur, 2021)	65
Figure 4-11 : Le niveau d'éclairage par la caméra 2 le 21 septembre à 16h. (Source : auteur, 2021)	65
Figure 4-12 : Le niveau d'éclairage par la caméra 1 le 21 décembre à 9h. (Source : auteur, 2021)	66
Figure 4-13 : Le niveau d'éclairage par la caméra 2 le 21 décembre à 9h. (Source : auteur, 2021)	67
Figure 4-14 : Le niveau d'éclairage par la caméra 1 le 21 décembre à 12h. (Source : auteur, 2021)	67
Figure 4-15 : Le niveau d'éclairage par la caméra 2 le 21 décembre à 12h. (Source : auteur, 2021)	68
Figure 4-16 : Le niveau d'éclairage par la caméra 1 le 21 décembre à 16h. (Source : auteur, 2021)	68
Figure 4-17 : Le niveau d'éclairage par la caméra 2 le 21 décembre à 16h. (Source : auteur, 2021)	69
Figure 4-18 : Le niveau d'éclairage par la caméra 1 le 21 juin à 9h. (Source : auteur, 2021) .....	70
Figure 4-19 : Le niveau d'éclairage par la caméra 2 le 21 juin à 9h. (Source : auteur, 2021) .....	70
Figure 4-20 : Le niveau d'éclairage par la caméra 1 le 21 juin à 12h. (Source : auteur, 2021) .....	71
Figure 4-21 : Le niveau d'éclairage par la caméra 2 le 21 juin à 12h. (Source : auteur, 2021) .....	71
Figure 4-22 : Le niveau d'éclairage par la caméra 1 le 21 juin à 16h. (Source : auteur, 2021) .....	72
Figure 4-23 : Le niveau d'éclairage par la caméra 2 le 21 juin à 16h. (Source : auteur, 2021) .....	72
Figure 4-24 : Comparaison de mesures d'éclairage entre mesure in situ et simulation 21 Sept 16h (Source : Auteur, 2021).....	73
Figure 4-25 : Le cas du 21 juin à 12h sans light shelves. (Source : Auteur, 2021).....	74
Figure 4-26 : Le cas du 21 juin à 12h avec light shelves. (Source : Auteur, 2021) .....	75

## Chapitre 5 : Annexes

Figure 5-1 : Rattacher Radiance a Ecotect. (Source : //www.youtube.com/watch?v=_MkZRHGSZYQ+ Auteur, 2021) .....	85
---	----

Figure 5-2 : Point d'accès au logiciel Radiance. (Source : <a href="https://www.youtube.com/watch?v=_MkZRHGSZYQ">https://www.youtube.com/watch?v=_MkZRHGSZYQ</a> + Auteur, 2021) .....	85
Figure 5-3 : Choix du type d'analyse et type de ciel. (Source : <a href="https://www.youtube.com/watch?v=_MkZRHGSZYQ">https://www.youtube.com/watch?v=_MkZRHGSZYQ</a> + Auteur, 2021) .....	86
Figure 5-4 : Choix de la date et heure et l'espace vue. (Source : <a href="https://www.youtube.com/watch?v=_MkZRHGSZYQ">https://www.youtube.com/watch?v=_MkZRHGSZYQ</a> + Auteur, 2021) .....	86
Figure 5-5 : Choix de la qualité et vérification des données. (Source : <a href="https://www.youtube.com/watch?v=_MkZRHGSZYQ">https://www.youtube.com/watch?v=_MkZRHGSZYQ</a> + Auteur, 2021) .....	87
Figure 5-6 : vérification et lancement d'analyse. (Source : <a href="https://www.youtube.com/watch?v=_MkZRHGSZYQ">https://www.youtube.com/watch?v=_MkZRHGSZYQ</a> + Auteur, 2021) .....	87
Figure 5-7 : Types de résultats de la simulation. (Source : <a href="https://www.youtube.com/watch?v=_MkZRHGSZYQ">https://www.youtube.com/watch?v=_MkZRHGSZYQ</a> , 2021).....	88
Figure 5-8 : La carte de la ville de Bejaia. (Source : Google maps et Auteur, 2021) .....	89
Figure 5-9 : La carte du terrain. (Source : Google maps et Auteur, 2021) .....	89
Figure 5-10 : La carte de délimitation du terrain. (Source : <a href="https://satellites.pro/plan/carte_du_Monde">https://satellites.pro/plan/carte_du_Monde</a> et Auteur, 2021) .....	89
Figure 5-11 : La carte d'accessibilité au terrain. (Source : <a href="https://satellites.pro/plan/carte_du_Monde">https://satellites.pro/plan/carte_du_Monde</a> et Auteur, 2021) .....	90
Figure 5-12 : La carte du terrain. (Source : Carte du POS B18 et Auteur, 2021) .....	90
Figure 5-13 : La carte de climatologie. (Source : <a href="https://satellites.pro/plan/carte_du_Monde">https://satellites.pro/plan/carte_du_Monde</a> et Auteur, 2021) .....	90
Figure 5-14 : synthèse d'analyse du terrain. (Source : Auteur, 2021) .....	90
Figure 5-15 : Vue sur le musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021) .....	91
Figure 5-16 : Musée de Solomon R. Guggenheim New York. (Source : Google image, 2021).....	91
Figure 5-17 : La volumétrie du musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021) .....	91
Figure 5-18 : la composition volumétrique du musée d'art Solomon R. Guggenheim. (Source : Google image, 2021).....	91
Figure 5-19 : La façade principale du musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021) .....	92
Figure 5-20 : La façade du musée d'art Solomon R. Guggenheim. (Source : Google image, 2021).....	92
Figure 5-21 : les escaliers du musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021).....	92
Figure 5-22 : la circulation dans le musée Guggenheim du musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021) .....	92
Figure 5-23 Le parcours du musée el moudjahid de Bejaia. (Source : Auteur, 2021).....	93
Figure 5-24 : Le parcours du musée Guggenheim New York. (Source : Google image et auteur, 2021). .....	93
Figure 5-25 : Eclairages artificiel dans le musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021).....	93
Figure 5-26 : L'éclairage artificiel du musée Guggenheim New York. (Source : Google image, 2021).....	93
Figure 5-27 : Eclairages naturelle dans le musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021) .....	93
Figure 5-28 : L'éclairage naturelle du musée Guggenheim New York. (Source : Google image, 2021) .....	93
Figure 5-29 : synthèse d'analyse du terrain. (Source : Auteur, 2021) .....	95
Figure 5-30 : Idée conceptuelle du projet. (Source : Auteur, 2021).....	95
Figure 5-31 : Positionnement des blocks. (Source : Auteur, 2021) .....	95
Figure 5-32 : Emplacement des blocks. (Source : Auteur, 2021) .....	95
Figure 5-33 : Genèse du projet. (Source : Auteur, 2021).....	95

# Liste des tableaux

## Chapitre 1 : Notions de base de l'éclairage naturel

Tableau 1-1 : les types de vitrage et leurs coefficients de transmission lumineuse ; (Source : Arnaud, Sd)	17
--	----

## Chapitre 2 : Le confort visuel et les ambiances lumineuses dans les musées

Tableau 2-1 : ordres de grandeur du niveau d'éclairage de différents espaces en fonction de l'usage (Source : CONCEIÇÃO NUNES, Sd)	26
Tableau 2-2 : Niveau d'éclairage selon les activités. (Source : Zumtobel, 2017)	41
Tableau 3-1 : résultats de la prise des mesures à 09h dans la salle d'exposition du musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021)	50

## Chapitre 3 : Étude empirique

Tableau 3-2 : résultats de la prise des mesures à 12h dans la salle d'exposition du musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021)	52
Tableau 3-3 : résultats de la prise des mesures à 15h dans la salle d'exposition du musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021)	53
Figure 3-18 : Le niveau d'éclairage à 15h dans la salle d'exposition du musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021). Tableau 3-4 : résultats de la prise des mesures à 15h dans la salle d'exposition du musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021)	53

## Chapitre 5 : Simulation numérique

Tableau 5-1 : Synthèse d'analyse du terrain. (Source : Auteur, 2021)	88
Tableau 5-2 : Synthèse d'analyse des exemples. (Source : Auteur, 2021)	91
Tableau 5-3 : Le programme. (Source : Auteur, 2021)	94

# Nomenclature

## Abréviation

CIE	La Commission Internationale de l'Éclairage.
IRC	L'indice de rendu de couleurs

## Symboles mathématique

$\Phi$	Flux lumineux
I	Intensité lumineuse
$\Omega$	L'angle solide dans lequel le flux lumineux est émis
S	Surface découpé sur une surface sphérique
r	Rayon de la sphère
E	Éclairement
A	Surface sur laquelle le flux lumineux tombe
L	Luminance
$\rho$	Facteur de réflexion de la surface
$\pi$	3.14
*	Facteur de réflexion de la surface pour des surfaces diffuses
FLJ	Facteur de lumière du jour
Tc	La température de la couleur
TV	Taux de variation
Rr	Résultats réel
Rs	Résultats de la simulation



# **PARTIE INTRODUCTIF**

*« More and more, it seems to me, light is the beautifier of the building »*

(Wright, 1941)

## **Introduction**

La lumière est l'élément qui nous fait voir les objets et les choses et ce qui les caractérisent tel que : leurs couleurs, leurs matières, leurs formes et leurs ambiances. Elle peut influencer le bien-être de l'individu, ainsi que la manière dont il voit les choses. La lumière naturelle, appelée aussi lumière du jour ou visuelle, est un éclairage qui peut être direct ou indirect provenant du soleil. Elle reste la source d'éclairage la plus puissante, la plus économique et la mieux adaptée pour nos besoins principaux durant la journée (Brunot, 2019).

La lumière est considérée comme une constante de l'architecture. Elle a reçu une attention accrue de la part des architectes. Elle est représentée comme un facteur majeur depuis la conception du projet, surtout dans les équipements qui peuvent accueillir différentes activités, tel que les bibliothèques, les mosquées et les musées. Elle permet de valoriser et de mettre en évidence certains aspects ou qualités d'un projet à l'extérieur tout comme à l'intérieur, exemple du confort visuel qu'elle peut offrir pour les utilisateurs, les ambiances qu'elle peut mettre en place, et son potentiel de conserver l'énergie (Gallas, 2013 ; Reiter & De Herde, 2003).

Les musées et les galeries sont des lieux publics où nous sauvegardons le passé, définissons le présent et éduquons pour l'avenir. Les œuvres qu'abritent ces espaces présentent la preuve matérielle de la créativité humaine et les richesses du monde naturel ; et elles sont considérées comme source d'inspiration, d'instruction et de passion. C'est pourquoi la lumière est l'élément qui joue le rôle essentiel et fondamental pour valoriser ces œuvres artistiques, puisqu'elle leur donne vie, du même elle influence la perception du spectateur par son interaction avec la matière exposée (Mairesse, 2017).

Notre étude est basée sur l'apport de la lumière naturelle dans les espaces d'exposition, car ces dernières restent le parfait exemple pour traiter la lumière, et son impact incroyable sur le bâtiment et ses occupants. La pénétration de la lumière naturelle dans les espaces d'expositions permet la valorisation de plusieurs œuvres d'art par l'amélioration du rendu de couleur qu'elle peut effectuer sur ces expositions, mais tout en les protégeant, car cet art doit être soigneusement protégé avec une régulation précise de l'exposition à la lumière (Douglas, 2020).

## Problématique

Nous passons plus de la moitié de notre vie à l'intérieur. Or, le confort visuel, qui pour beaucoup provient d'une ambiance lumineuse, est l'une des principales composantes du confort d'un bâtiment.

Pour cela, la lumière naturelle en architecture est considérée comme l'un des éléments les plus importants et surtout dans les espaces d'exposition, car elle est considérée comme un facteur d'interprétation et comme moyen d'expression, mais aussi comme facteur de dégradation et influe négativement sur les œuvres exposés, tout cela nous mène à poser les questions suivantes :

Quel est l'apport de la lumière naturelle dans les espaces d'exposition ?

Quelle est la meilleure stratégie à adopter afin d'assurer le confort visuel et des ambiances lumineuses agréables dans les espaces d'exposition ?

## Hypothèses

Afin de répondre à la problématique mise en perspective, les hypothèses suivantes ont été proposées :

- Il semble que la pénétration de lumière naturelle dans les espaces d'exposition assure un certain confort visuel aux visiteurs.
- L'association entre l'éclairage zénithale et latérale peuvent être positifs afin d'optimiser le confort visuel et les ambiances lumineuses dans les espaces d'exposition.

## Contexte et objectifs de recherche

L'objectif principal de la recherche se base sur les points suivants :

- Étude de l'apport de la lumière naturelle (Zénithale, latéral, puits de lumière, ...) dans les espaces d'exposition afin d'assurer le confort visuel des usagers.
- Optimiser la qualité de la lumière naturelle dans les espaces d'exposition.
- Diversifier les ambiances lumineuses et améliorer leurs qualités dans les espaces d'exposition.
- Minimiser la consommation énergétique.

## Analyse conceptuelle

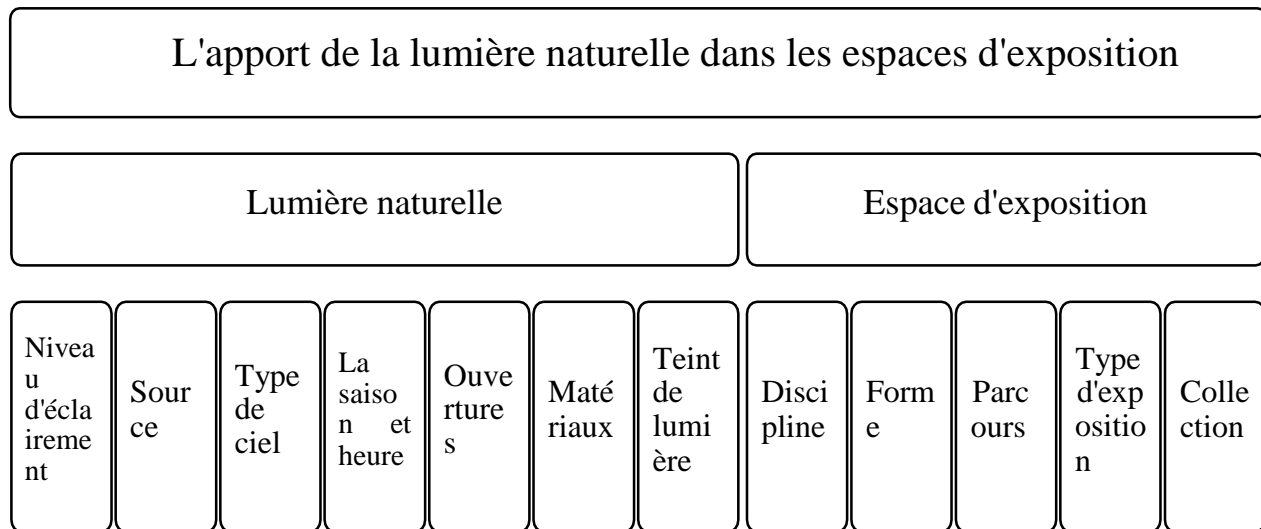


Figure 1 : Analyse conceptuelle. (Source : Auteur, 2021)

## Méthodologie

Afin de répondre à la problématique précédente et de vérifier les hypothèses proposées, cette recherche s'appuie sur différentes méthodes d'investigation :

**Étude bibliographique :** Elle s'avère un outil de base pour l'état de l'art qui traite l'aspect théorique de la lumière naturelle, le confort visuel et les musées. Cette partie a pour but de connaître les exigences, les normes, et les recommandations relatives à l'éclairage naturel dans les musées.

**Étude empirique :** La deuxième partie sera consacrée à l'étude quantitative et qualitative d'un exemple existant (mesures prises in situ avec un questionnaire) ainsi que des simulations numériques pour l'évaluation et l'optimisation des conditions de confort visuel dans les salles d'exposition.

## Structure du mémoire

Notre mémoire est structuré suivant deux parties, une partie théorique et une partie pratique :

**Partie théorique :** la partie théorique s'articule autour d'un chapitre introductif qui se compose d'une introduction générale, un problématique, des hypothèses, Contexte et objectifs de recherche, la méthodologie et fin la structure du mémoire. Et deux autres chapitres, **le premier chapitre :** ou nous allons définir la notion de la lumière naturelle, et de faire ressortir ses

déférentes composantes tel que : son origine, ces différentes grandeurs photométriques, sa propagation, étudier ses stratégies, ressortir les paramètres qui influent sur la lumière naturelle et enfin en termine par ses différents types. Dans le **deuxième chapitre** : Dans ce chapitre, nous allons traiter trois axes, le premier axe présente les notions fondamentale lié au confort visuel et ses paramètres, ainsi que le système visuel et les différents types des protections solaires. Dans le deuxième, nous étudions les ambiances lumineuses et ses types et paramètres, et enfin en terminera par une généralité sur les musées et l'intégration et les exigences de la lumière dans les musées.

**Partie pratique** : cette partie elle regroupe deux chapitre pratique, le **troisième chapitre** : il sera consacré à l'étude empirique, où on va traiter deux axes : la première partie de l'étude empirique elle sera consacrée à la présentation de notre cas d'étude, et la description de la méthode d'évaluation quantitative (prise de mesure in situ), enfin la présentation des résultats et l'interprétation de ces résultats. La deuxième partie de cette étude, elle sera consacrée à l'évaluation qualitative qui va collecter des informations subjectives sur la lumière naturelle et les ambiances lumineuses de notre cas d'étude. Le **quatrième chapitre** : il sera destiné à la simulation numérique, ou nous allons présenter le logiciel de simulation ainsi le domaine de son utilisation et le processus de travail par ce logiciel, ensuite nous allons présenter le résultat de la simulation, les interprétations des résultats obtenue et une comparaison par rapport aux résultats de l'étude empirique.

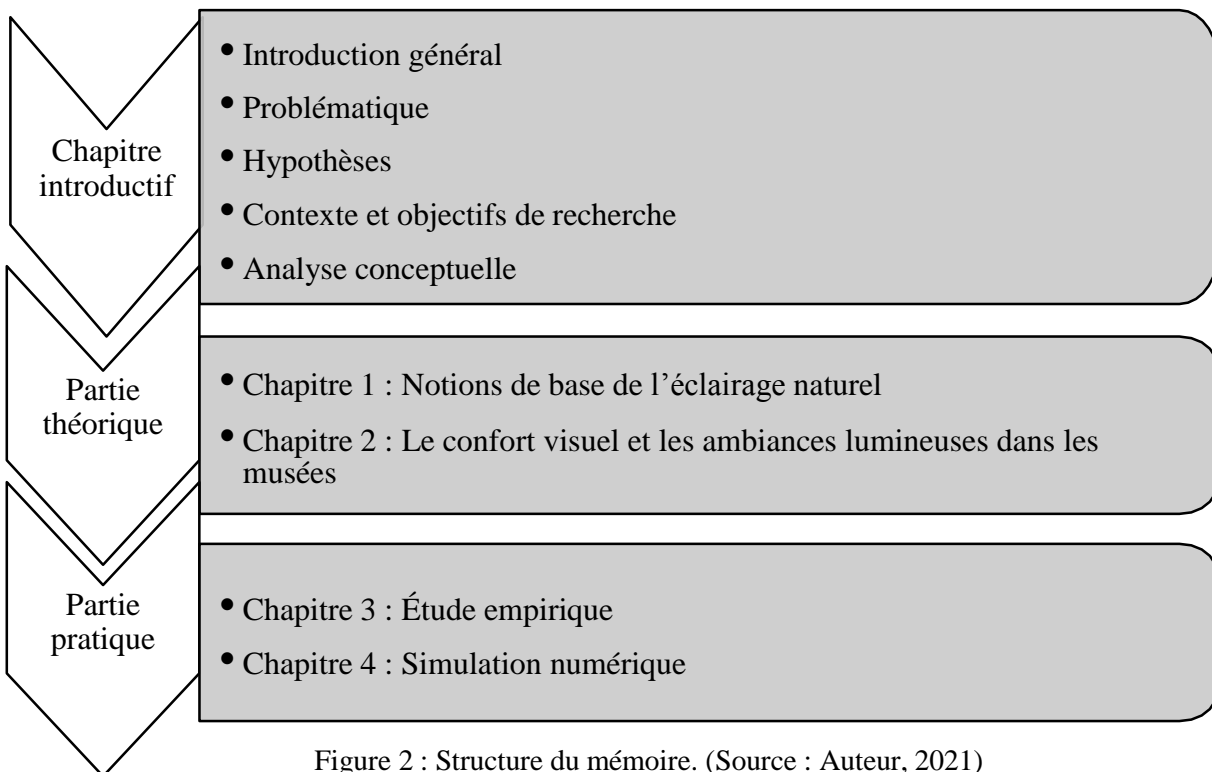


Figure 2 : Structure du mémoire. (Source : Auteur, 2021)

# **PARTIE THÉRIQUE**

# Chapitre 1 Notions de base de l'éclairage naturel

## Introduction

L'éclairage naturel est considéré depuis toujours comme une source d'énergie inépuisable pour l'homme, ont lui assurant un confort visuel et thermique. Malgré que la lumière naturelle ne soit pas totalement intégrée dans un locale, avec le développement de la technologie et de la réglementation, elle est devenue un facteur majeur dans la conception architecturale.

Dans ce chapitre, nous allons définir la notion de la lumière naturelle, et de faire ressortir ses différentes composantes telles que : son origine, ces différentes grandeurs photométriques, sa propagation, étudier ses stratégies, ressortir les paramètres qui influent sur elle et enfin en termine par ses différents types.

## 1.1 Définition de la lumière naturelle

Selon le dictionnaire français, la lumière naturelle est un : « *Ensemble des différentes formes de lumière émises par le soleil, directe ou indirecte. À savoir que la lumière diffusée par le soleil, mais qui est réfléchi par un objet n'entre pas dans cet ensemble* ». Elle correspond à toutes les formes de lumières provenant du soleil, qu'elles soient des rayonnement direct ou diffus du ciel.

### 1.1.1 La lumière comme entité physique

Selon le dictionnaire Hachette (2010), la lumière : « *Ensemble de particules élémentaires (photons) se déplacent à très grande vitesse (299792,458 Km/s dans le vide) et présentant les caractères d'une onde* ».

Selon BEGA (s. d.), la lumière naturelle est la partie visible des rayonnements électromagnétiques, qui se déplacent dans le vide sous forme ondes en ligne droite, à une grande vitesse provenant du soleil. Et ils se caractérisent par leur vitesse, et leur longueur d'onde (voir figure 1.1).

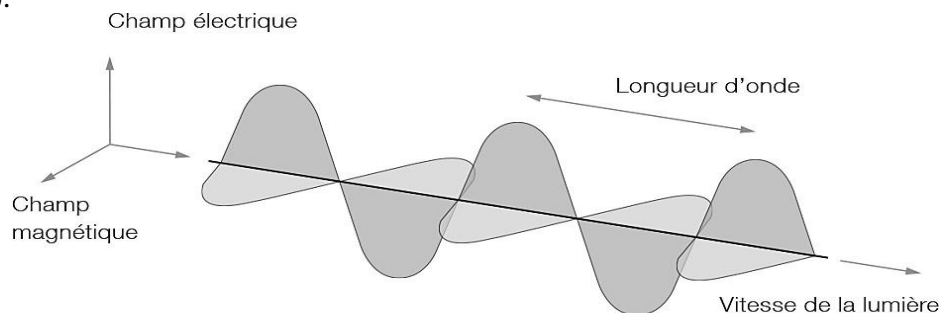


Figure 1-1 : le rayonnement électromagnétique. (Source : <https://www.bega.com/fr/>, Sd)

### 1.1.2 La lumière en architecture

En architecture, la lumière naturelle est considérée comme un élément d'expression architecturale qui participe à la création et la mise en valeur de l'espace physique en lui attribuant une dimension sensible (Gallas, 2013).

« *La lumière confère une existence aux objets en reliant l'espace et la forme* » (Tadao Ando, 1990).

## 1.2 Source de la lumière naturelle

Parmi les sources de lumière naturelle, on distingue deux sources : la source lumineuse primaire tel que le soleil qui produit la lumière qu'il émet, et secondaires tel le ciel, la lune, ... qui diffusent les rayons reçus par la source primaire.

### 1.2.1 Le soleil

Le rayonnement solaire qu'on reçoit correspond qu'à une petite partie que le soleil émit. Il dégage une énergie de 66 millions de  $W/m^2$  autour de lui, seule une partie de cette énergie qui vaut  $1\,353\, W/m^2$  atteint les limites de notre atmosphère. Le sol ne reçoit qu'environ 15 % de cette énergie absorbée par l'atmosphère sous forme de rayonnement direct et diffus. Le reste du rayonnement (environ 6 %) sera réfléchi vers l'espace (Magali, s. d.) (voir figure 1.2).

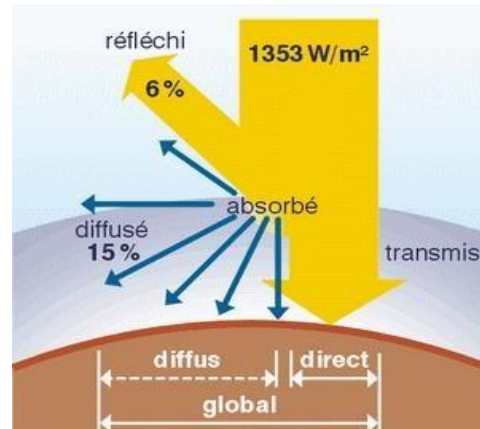


Figure 1-2 : source primaire de la lumière naturelle. (Source : [www.Guideclairagenaturel.htm](http://www.Guideclairagenaturel.htm), Sd)

### 1.2.2 Le ciel

Selon Reiter et De Herde (2004), la partie du rayonnement diffus convient à l'éclairage provenant du ciel.

Et vu la variation des conditions climatique existantes, en distingue quatre types de ciels standards :



### 1.2.2.1 Type I

Le ciel uniforme correspond à un ciel couvert d'une couche de nuages ou le soleil n'est pas visible.

### 1.2.2.2 Type II

Ciel couvert établi par la Commission Internationale de l'éclairage (CIE), dans lequel l'éclairement d'un point varie selon la position du soleil sur la voûte céleste.

### 1.2.2.3 Type III

C'est un ciel clair qui émet des rayons diffus du ciel sans intégrer les rayons solaires directs. Ici, la luminance d'un point dépend de la variation de la position du soleil.

### 1.2.2.4 Type IV

Le ciel clair avec soleil correspond à un rayonnement global. C'est la somme des rayons solaires.

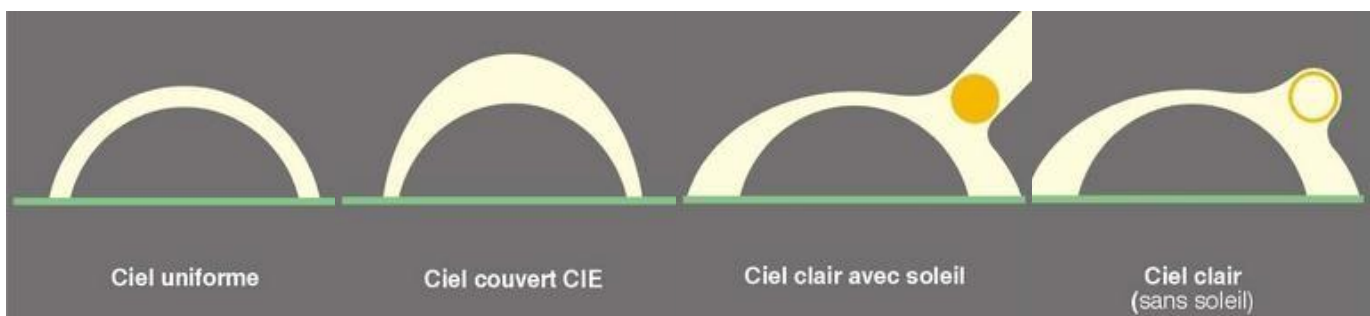


Figure 1-3 : Les différents types des ciels. (Source : L'éclairage naturelle des bâtiments, 2003)

## 1.3 Les grandeurs photométriques

D'après Gregoire (2017), les grandeurs photométriques permettent de quantifier la lumière naturelle reçue dans une surface. Il existe quatre grandeurs fondamentales :

### 1.3.1 Flux lumineux ( $\Phi$ )

C'est la quantité de lumière émise par une source lumineuse dans toutes les directions de l'espace, (lm).

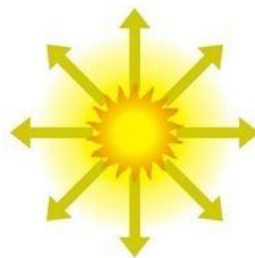
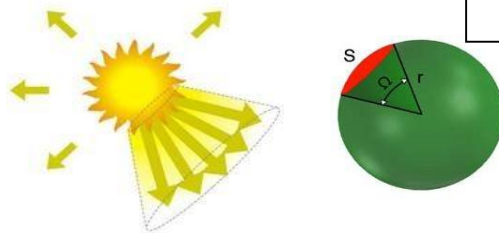


Figure 1-4 : Flux lumineux. (Source : Gregoire, 2017)

### 1.3.2 Intensité lumineuse (I)

C'est la quantité de lumière émise par unité d'angle solide dans une direction donnée. En candéla, équivalent à [cd] = [lm/sr].

$$I = \frac{\Phi}{\Omega}$$



$\Omega$  = l'angle solide dans lequel le flux lumineux est émis  
 $\Phi$  = Flux lumineux

Figure 1-5 : Intensité lumineuse et l'angle solide. (Source : Gregoire, 2017 ; Gallas, 2013)

#### 1.3.2.1 L'angle solide ( $\Omega$ )

L'angle solide d'un cône est le rapport de la surface (S) découpée sur une surface sphérique, au carré du rayon de la sphère ( $r^2$ ). Son unité est le stéradian (Sr). (Reiter & De Herde, 2003)

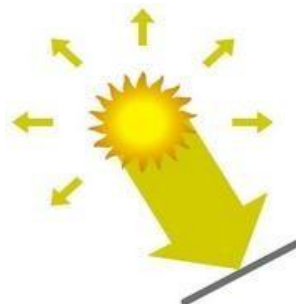
$$\Omega = S / r^2$$

S = surface découpé sur une surface sphérique.  
 r = rayon de la sphère.

### 1.3.3 Éclairement (E)

Rapport du flux lumineux reçu à l'aire d'une surface. Son unité est le lux, équivalent à Lx [lm/m<sup>2</sup>].

$$E = \frac{\Phi}{A}$$



A = surface sur laquelle le flux lumineux tombe  
 $\Phi$  = Flux lumineux

Figure 1-6 : Éclairement. (Source : Gregoire, 2017)

### 1.3.4 Luminance (L)

Rapport entre l'intensité lumineuse émise dans une direction et la surface apparente de la source lumineuse dans la direction considérée. La luminance s'exprime en candélas par mètre carré (cd/m<sup>2</sup>).

$$L = \frac{E \rho *}{\pi}$$



$\rho$  = facteur de réflexion de la surface  
 $\pi$  = 3.14  
 \* = pour des surfaces diffuses

Figure 1-7 : Luminance. (Source : Gregoire. 2017)

### 1.3.5 Le facteur de lumière du jour (FLJ)

C'est le rapport entre l'éclairement reçu à l'intérieur d'un local sur un plan de travail, et l'éclairement extérieur reçu sur un plan horizontal. Il s'exprime en pourcentage (Guémené, 2016).

## 1.4 La propagation de la lumière naturelle

Selon Gallas (2013) la lumière naturelle se comporte de trois manières différentes au contact des surfaces d'objets physiques :

### 1.4.1 L'absorption

C'est une baisse d'intensité lumineuse quand elle traverse une surface, qu'elles soient transparentes ou bien opaques.

### 1.4.2 La réflexion

C'est le changement de la direction du rayonnement solaire quand il atteint une surface opaque.

### 1.4.3 La transmission

C'est dans le cas où une partie du rayonnement incident passe à travers une surface transparente.

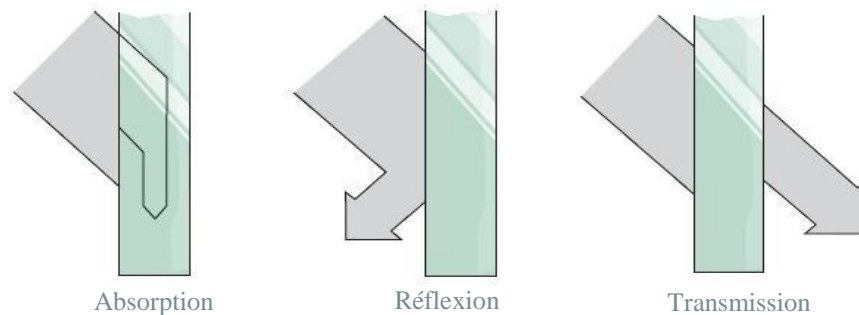


Figure 1-8 : Schéma représentatif de la propagation de la lumière naturelle. (Source : <https://www.glastroesch.ch/fr>, Sd)

La direction des rayonnements de réflexion et transmission se varie, en fonction de la nature de la surface et l'angle incident. On distingue quatre types de réflexion et de transmission :

#### 1.4.3.1 Spéculaire

La lumière est réfléchié ou transmise dans une seule direction avec un angle de (réflexion ou transmission) égal à l'angle d'incidence.

#### 1.4.3.2 Diffuse parfaite

Dans ce cas, elle est (réfléchié ou transmise) dans plusieurs directions de manière homogène.

#### 1.4.3.3 Diffuse quelconque

Dans ce cas, la diffusion se fait de manière aléatoire.

#### 1.4.3.4 Mixte

C'est la somme de (la réflexion ou transmission) spéculaire et diffus.

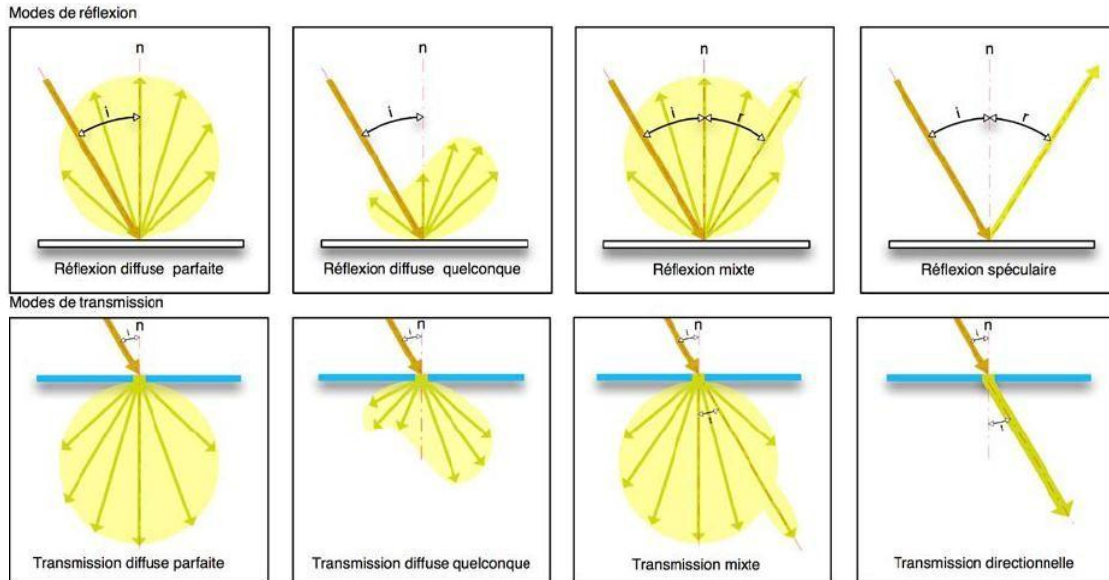


Figure 1-9 : Les types de transmission et de réflexion. (Source : L'éclairage naturel des bâtiments, 2004)

## 1.5 La stratégie de la lumière naturelle

Selon Magali (2007), la stratégie de la lumière naturelle c'est de favoriser une bonne utilisation de la lumière naturelle dans un bâtiment selon cinq concepts. Qui s'agit de :

### 1.5.1 Capter

C'est la collecte des rayons solaire pour éclairer naturellement un bâtiment, la quantité de cette lumière disponible est en fonction des paramètres relatif à l'environnement et au bâtiment.

### 1.5.2 Transmettre

C'est de favoriser la pénétration de la lumière à l'intérieur d'un local. Cette pénétration est influencée par les caractéristiques des ouvertures.

### 1.5.3 Distribuer

Consiste à transporter le rayonnement solaire dans un local de manière à créer une répartition harmonieuse de la lumière naturelle. Pour favorisée cette distribution, il faut prendre en compte les paramètres relatifs au bâtiment est ses ouvertures.

### 1.5.4 Protéger

S'agit d'arrêter partiellement ou totalement la pénétration du rayonnement solaire lorsqu'il présente des effets nocifs lors de son utilisation dans un local.

## 1.5.5 Contrôler

C'est de gérer la quantité et la distribution de la lumière naturelle dans un espace en fonction de la variation des conditions météorologiques et les besoins des occupants.

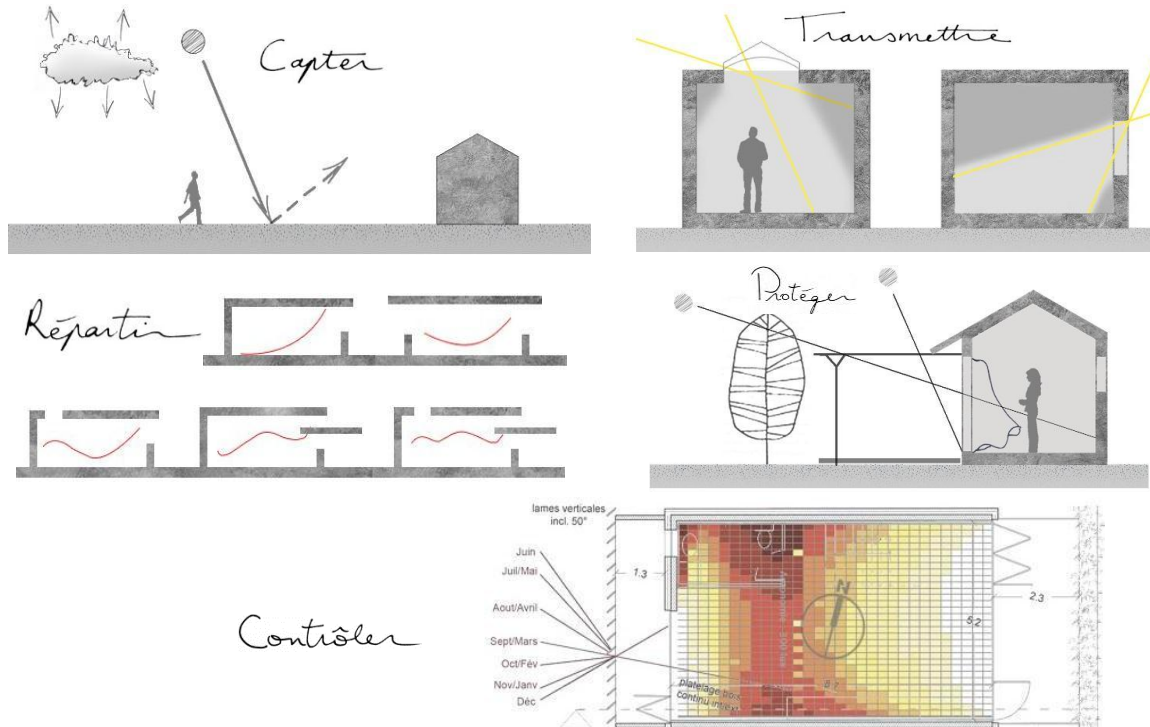


Figure 1-10 : Les stratégies de la lumière naturelle. (Source : <http://archipositive.blogspot.com/>, 2016)

## 1.6 Les paramètres influant sur la lumière naturelle

La lumière naturelle n'est pas la même ni dans sa qualité ou son intensité. Elle varie en fonction de plusieurs paramètres qu'on peut classer en trois catégories :

### 1.6.1 Les paramètres relatifs à l'environnement naturel

Corresponds ceux qui sont relatifs à la relation entre la terre et le soleil.

#### 1.6.1.1 L'heure

La répartition lumineuse varie en fonction d'une heure à une autre et d'un point à un autre. Cette lumière augmente jusqu'à la mi-journée, puis elle diminue.

Le schéma ci-dessous présente les résultats de la simulation d'un exemple la journée du 15 décembre : on a les valeurs d'éclairage obtenues (De Baets et Al., 2007).

- À 9 h : 2 600 lx près de la fenêtre et 400 lx au fond du local.
- À 13 h : 11 000 lx sur plus de la moitié du local et 1 600 lx au fond.

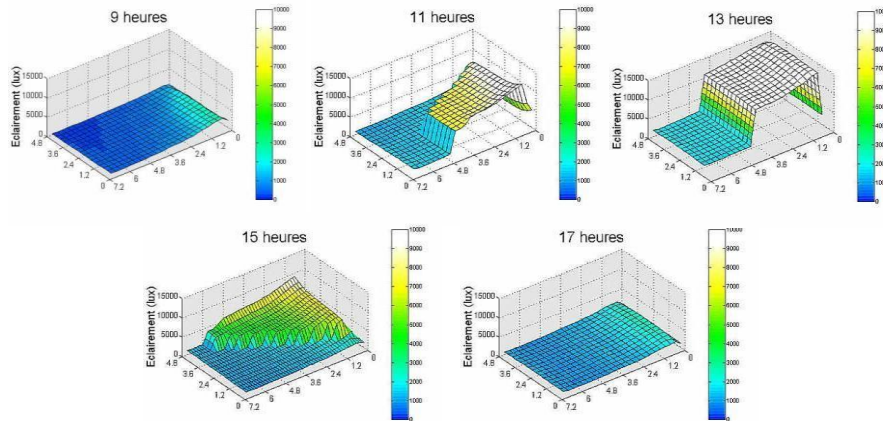


Figure 1-11 : Les différents niveaux d'éclairement en fonction des heures. (Source : <https://energieplus-lesite.be/>, Sd)

### 1.6.1.2 La saison

La lumière pénétrante dans un local n'est pas la même selon la saison. À cause de la variation des hauteurs du soleil tout au long de l'année. Le rayonnement solaire est moins imposant dans un local en été qu'en hiver, car le soleil en hiver est plus bas qu'en été.

Le schéma ci-dessous présente les résultats de la simulation d'un exemple dans le cas d'un ciel clair avec soleil :

- Le 15 juin : 55 000 lx à proximité de la fenêtre. Au fond 750 lx.
- Le 15 décembre : 14 000 et 11 000 lx sur plus de la moitié du local. Au fond 1 600 lx (De Baets et Al., 2007).

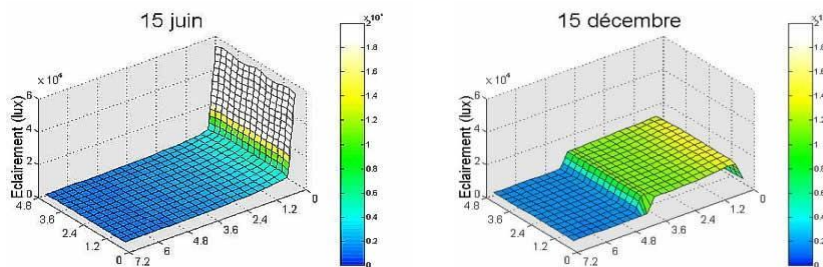


Figure 1-12 : Les différents niveaux d'éclairement en fonction de la saison. (Source : <https://energieplus-lesite.be/>, Sd)

### 1.6.1.3 Types de ciel

La lumière naturelle traduit les variations de l'état du ciel. Ses variations sont en fonction de la couverture nuageuse du ciel.

Le schéma ci-dessous présente les résultats de la simulations d'un exemple par rapport à l'influence du type de ciel sur la quantité de lumière pénétrante dans un local.

- Par ciel couvert : 1 300 lx, à 50 cm de la fenêtre, au fond 70 lx.
- Par ciel clair : 4 300 lx près de la fenêtre, au fond 300 à 400 lx.
- Ciel clair avec soleil : 20 000 lx près de la fenêtre avec une zone extrêmement lumineuse du rayonnement solaire direct, 500 lx au fond du local.

La lumière solaire disponible dans un local diminue donc fortement lorsque le ciel se couvre (De Baets et Al., 2007 ; Savard. 2017).

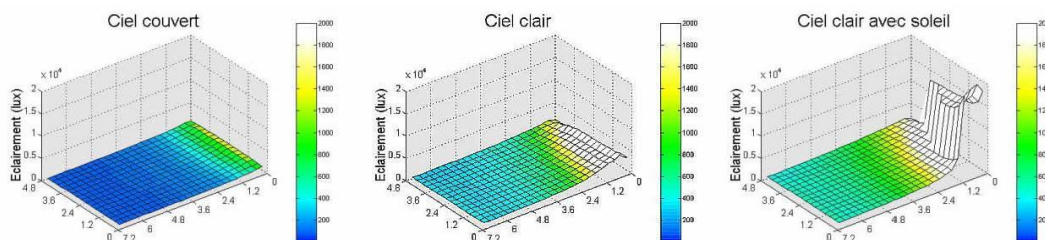


Figure 1-13 : Les différents niveaux d'éclairage en fonction des types de ciel. (Source : <https://energieplus-lesite.be/Sd>)

## 1.6.2 Les paramètres relatifs aux bâtiments

Consiste ceux qui sont relatifs au choix architecturaux.

### 1.6.2.1 Ouverture

Selon De Baets et Al. (2007)

#### 1.6.2.1.1 L'orientation de l'ouverture

Les ouvertures d'un local doivent être placées en fonction du moment d'utilisation d'un espace, d'une manière que le soleil puisse entrer à l'intérieur d'un espace au moment où il est le plus utilisé.

- **Une orientation sud** capte un maximum de rayons solaires en hiver, et permet une protection facile en été car le soleil en été est plus haut dans le ciel.
- **L'orientation nord** reçoit un rayonnement solaire diffus et égale pendant toute l'année. En revanche en été, elle peut être une source d'éblouissement, car le soleil est plus bas.
- **L'orientation est** reçoit un rayonnement solaire le matin. En hiver l'exposition solaire est faible.



- **Une orientation ouest** bénéficie d'un rayonnement solaire direct la soirée. Et un éclairage doux et chaleureux.

### 1.6.2.1.2 Inclinaison de l'ouverture

Quel que soit le type de l'ouverture, latéral ou zénithal, ils influent directement sur la quantité et la qualité de la lumière naturelle pénétrante dans un local.

- **Les ouvertures latérales** : dans le cas ciel couvert, elle permet une pénétration de lumière latérale dans les locaux d'une intensité faible. En hiver, elles transmettent un maximum de rayons solaires. Par contre en été la pénétration des rayons solaire est limitée.

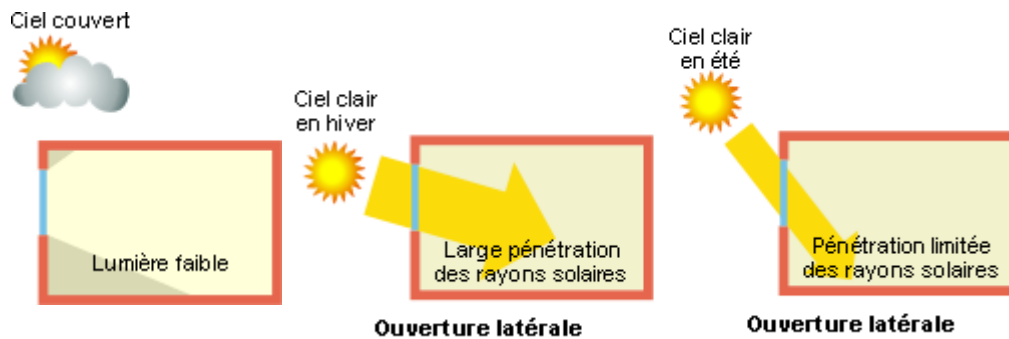


Figure 1-14 : Ouverture latérale. (Source : <https://energieplus-lesite.be/>, Sd)

- **Les ouvertures zénithales** : elles permettent la pénétration de la lumière par le plafond. Dans le cas d'un ciel couvert ces dispositifs diffuse une lumière intense, avec une large pénétration des rayons solaires même en été. Par contre en hiver, elle capte mal les rayons solaires.

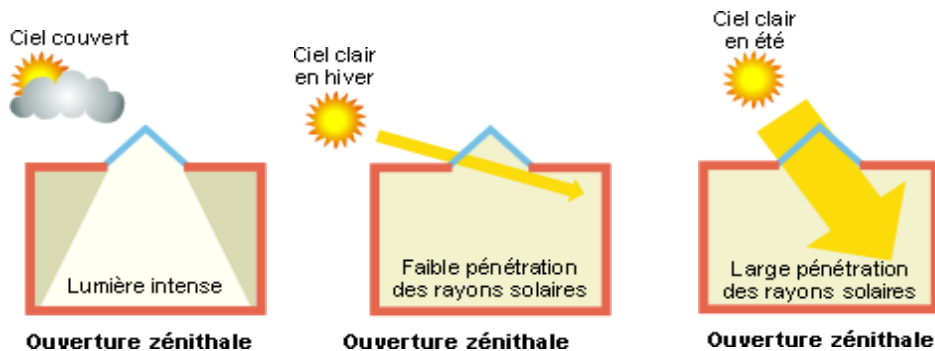


Figure 1-15 : Ouverture zénithale. (Source : <https://energieplus-lesite.be/>, Sd)

### 1.6.2.1.3 Taille, forme et position de l'ouverture

Selon Magali (s. d.), la taille et la forme et la position de l'ouverture peuvent influencer sur la lumière naturelle pénétrante dans un local.

- **La taille** : parmi les éléments déterminant de la quantité de la lumière pénétrante à l'intérieur d'un local est la taille des ouvertures. La détermination de ses tailles est faite par des formules.

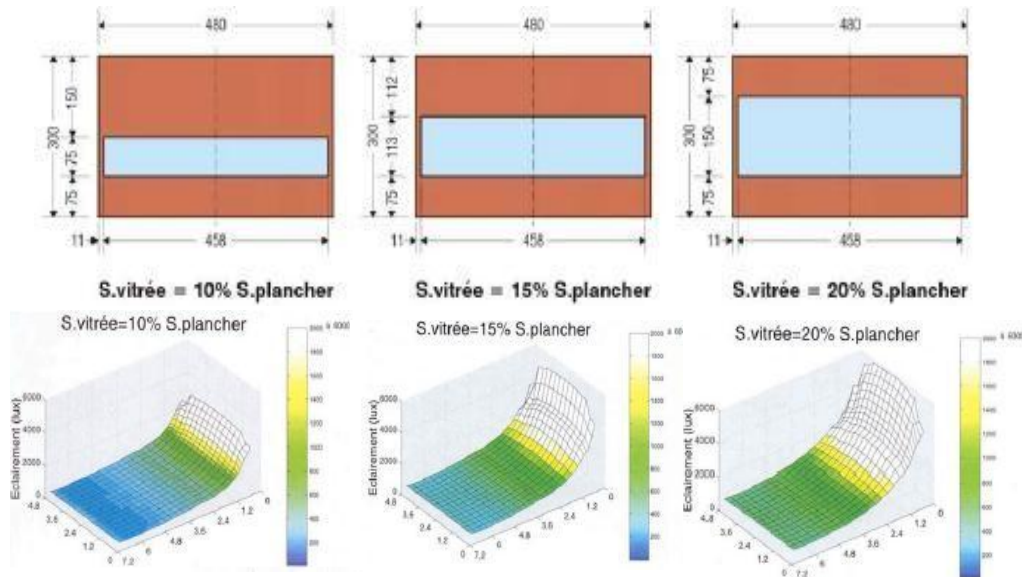


Figure 1-16 : Le niveaux d'éclairé selon les tailles d'ouvertures. (Source : Magali, Sd)

- **La forme** : La répartition de la lumière uniforme est en fonction de la largeur de la fenêtre. Par contre, l'augmentation de l'éclairé au fond du local se fait avec l'augmentation de la hauteur de la fenêtre.

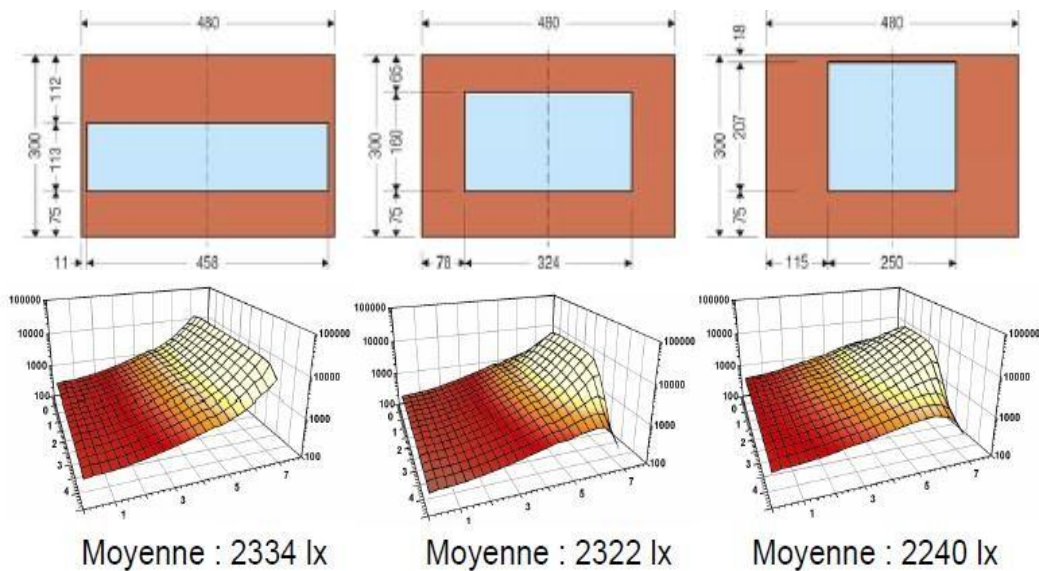


Figure 1-17 : le niveau d'éclairé selon la forme de l'ouverture. (Source : Magali, Sd)

- **Position ou emplacement** : L'emplacement d'ouverture jeu un rôle très important pour l'éclairé d'un local. Plus l'allège de la fenêtre est haut, le fond du local est plus éclairé.

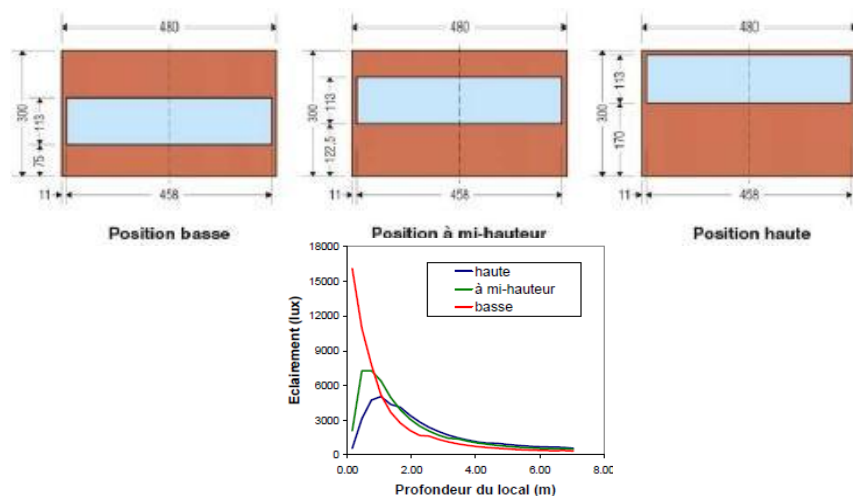


Figure 1-18 : le différents niveaux d'éclairage selon l'emplacement de l'ouverture.  
(Source : Magali, Sd)

#### 1.6.2.1.4 Matériaux de transmission

Le type du matériau de transmission utilisé dans un local (Vitrage : simple, double, absorbant, réfléchissant, ...) influe directement sur la lumière transmise dans un local. À chaque fois, le coefficient de transmission lumineuse du vitrage est élevé, la quantité de lumière entrante est plus grande (Guide bâtiment durable, 2019).

Le tableau suivant donne les types de vitrage et leurs coefficients de transmission lumineuse :

Tableau 1-1 : les types de vitrage et leurs coefficients de transmission lumineuse ; (Source : Arnaud, Sd)

Type de vitrage		Coefficient de transmission lumineuse
Simple vitrage	claire	89%
	Bronze	49%
	gris	41%
	vert	73%
Double vitrage	claire	79%
	Basse émissivité neutre	67%
	réfléchissant	30%
	Fortement réfléchissant	7%

### 1.6.2.2 Local :

#### 1.6.2.2.1 Dimension du local

La lumière diffuse pénétrante dans un locale, n'entre qu'à une distance de une fois et demi la hauteur du linteau de la fenêtre par rapport au sol. Après une certaine profondeur, le niveau d'éclairement diminue (Arnaud & Magali, s. d.).



Figure 1-19 : exemple d'éclairement en profondeur. (Source : Arnaud, Sd)

#### 1.6.2.2.2 Couleur du local

La texture et la couleur des surfaces intérieures influent directement sur le niveau d'éclairement à l'intérieur d'un local. Une bonne distribution de la lumière nécessite des parois et du mobilier de couleurs claires (De Baets et Al., 2007).

### 1.6.3 Les paramètres relatifs à l'environnement extérieur

Selon Savard (2017), parmi les paramètres qui influent sur la lumière disponible dans un locale, on a l'environnement qui entoure le bâtiment, et cela est fait par le jeu de différents paramètres tel que : les constructions voisines, le relief du terrain, le coefficient de réflexion du sol et la végétation.

## 1.7 Les types d'éclairage naturel

Le choix de types d'éclairage naturel est défini par les caractéristiques géométriques du local, soit des ouvertures latérales en façades, ou zénithal dans le toit, soit un mélange des deux. Ici, la fonction reste la même.

### 1.7.1 Éclairage latérale

L'éclairage latéral consiste les ouvertures placées au niveau de la façade, ce type d'éclairage est associé aux espaces de faible hauteur sous plafond (de 2,50 mètres à 3 mètres) (Terrier & Vandevyver, 2012).

#### 1.7.1.1 Type d'éclairage latéral

Selon Arnaud (Sd), il existe trois types d'éclairage latéraux

- **Éclairage unilatérale** : Il s'agit d'un éclairage donné par une ou plusieurs ouvertures verticales qui se trouvent sur la même façade. Ce type de dispositif permet une pénétration lumineuse limitée en profondeur.

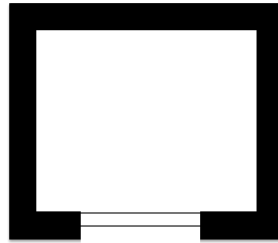


Figure 1-20 : Exemple d'éclairage unilatérale. (Source : Google image, 2021).

- **Éclairage bilatérale** : consiste à avoir dans la même pièce des ouvertures verticales sur deux murs, soit parallèles ou perpendiculaires. Dans ce cas, l'éclairage est plus uniforme, et offre une meilleure pénétration lumineuse lorsque les ouvertures sont de côté opposé.

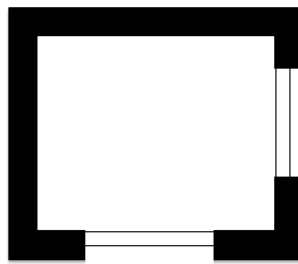


Figure 1-21 : Exemple d'éclairage bilatérale.  
(Source : Google image, 2021)

- **Éclairage multilatérale** : consiste à avoir plus de deux ouvertures verticales dans la même pièce. Offre un éclairage très uniforme, il est indiqué dans les bâtiments assez profond.

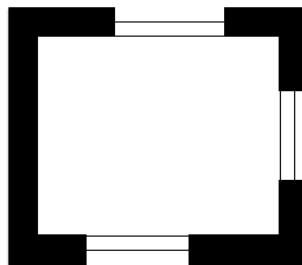


Figure 1-22 : Exemple d'éclairage multilatérale. (Source : Google image, 2021)

## 1.7.2 L'éclairage zénithal

L'éclairage zénithal correspond aux ouvertures placées au niveau de la toiture, ce type d'éclairage est conseillé beaucoup plus pour les constructions dont la hauteur sous plafond est supérieure à 4,50 mètres (Terrier, Vandevyver. 2012).

### 1.7.2.1 Type d'éclairage zénithal

- **Les sheds ou toitures en dents de Cie** : selon le GIF lumière (2018) ces dispositifs permettent une répartition harmonieuse de l'éclairage tout en évitant l'ensoleillement direct, les sheds sont constitués des ouvertures qui sont orienté au nord et d'une surface opaque qui collecte et diffuse la lumière naturelle à l'intérieur du local.

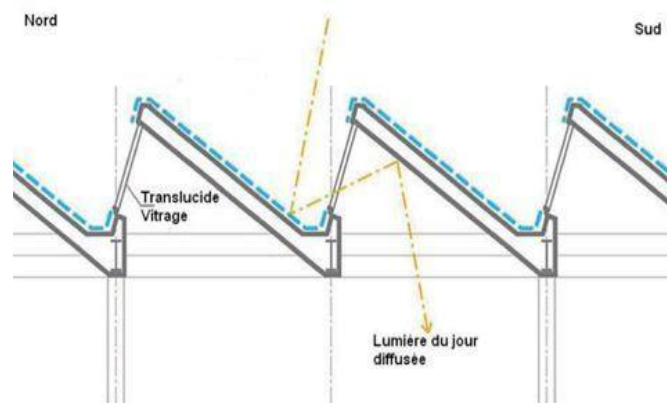


Figure 1-23 : shed. (Source: Google image, 2021)

- **Les dômes et les verrières** : sont utilisés généralement dans l'architecture moderne, pour les halls d'accueil et les grandes surfaces. Ses dispositifs ne nécessitent pas une structure lourde. Leur avantage, c'est qu'ils répondent aux besoins d'éclairage, de 10 % en terme de facteur de lumière du jour. Mais leur inconvénient est l'éblouissement. Et pour éviter ce phénomène, l'abaissement de ses dispositifs ne doit pas être inférieur à un angle de  $30^\circ$  par rapport à la hauteur de l'utilisateur (Terrier, Vandevyver. 2012).

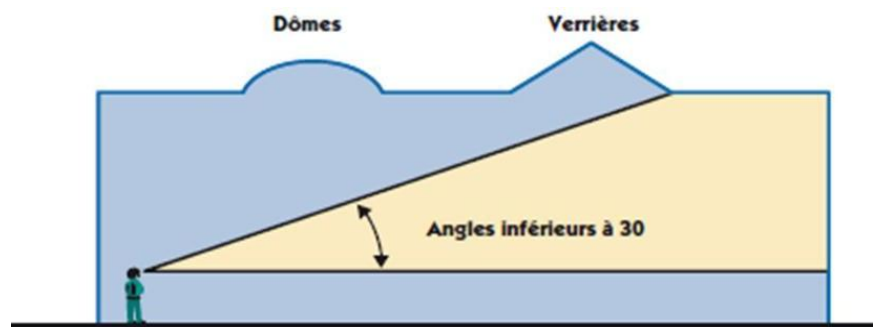


Figure 1-25 : Dôme et verrière. (Source : Terrier & Vandevyver, 2012)

- **Lanterneaux** : c'est des percements surélevés qui surmontent une toiture d'un local pour assurer un éclairage zénithal. Selon le GIF lumière (2018), on trouve deux types : des lanterneaux ponctuels éclairent uniquement des bâtiments à un seul niveau, on les trouve généralement dans les usines et les bâtiments tertiaires, commerciaux ou industriels. Ou lanterneaux filants qui forment de vastes sources d'éclairage naturel zénithal, utilisé dans des grandes superficies comme les lignes de montage et les entrepôts.



Figure 1-26 : lanterneaux. (Source : Google image, 2021)

- **Puits de jour** : Les puits de lumière permettent de conduire la lumière de l'extérieur aux pièces sombre sans fenêtres, en la captent et redistribuent à l'intérieur par des systèmes de diffusion. Ils peuvent être des patios, cours intérieure, atrium ou puits de lumière. L'inconvénient de ce type d'éclairage se trouve dans le fait que la quantité de lumière naturelle pénétrante aux différents niveaux d'étages, diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'ouverture du ciel.

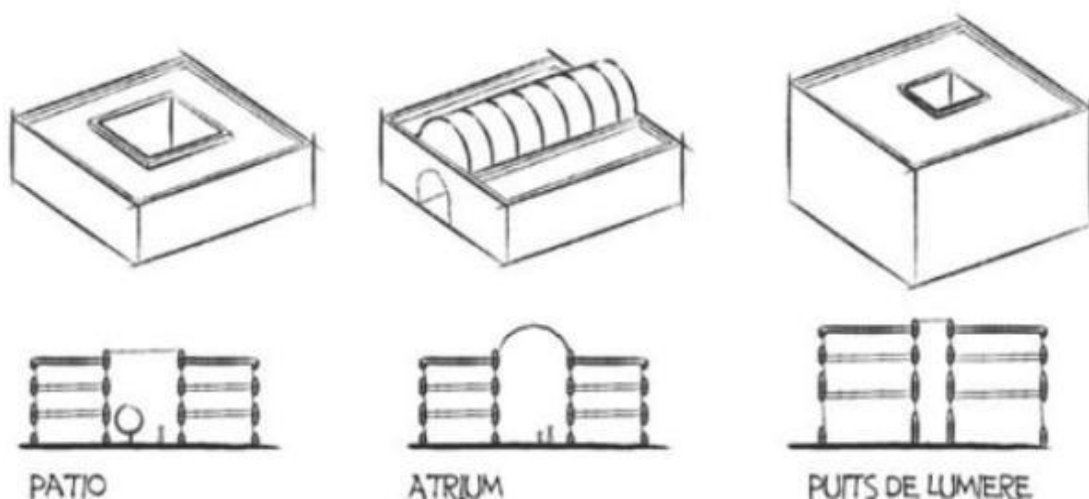


Figure 1-27 : Puits de jour. (Source : GUIDE> la stratégie de la lumière naturelle, Sd)

## **Conclusion**

D'après ce chapitre on arrive à conclure l'essentiel des notions de base qui définissent la lumière naturelle, et les différentes informations sur sa composition, ces grandeurs, ces valeurs ainsi que ces sources inépuisables qui peuvent être sous forme directe (rayonnement solaire direct) ou indirecte (rayonnement diffus de ciel). Avec sa propagation qui traite la question de la réflexion et de transmission de la lumière dans les bâtiments, (en fonction de leurs natures, leurs textures et leurs couleurs), ainsi l'impact de chaque type d'ouvertures (leurs formes, leurs dimensions et leurs orientations), et les dispositifs (zénithale ou latérale) sur la quantité et la qualité de lumière pénétrant un espace intérieur. Offrant aux concepteurs une multiplicité et variabilités de champs d'action pour répondre aux besoins des usagers en terme de lumière naturelle.



# Chapitre 2 Le confort visuel et les ambiances lumineuses dans les musées

## Introduction

Parmi tous nos sens, la vue est l'un des sens le plus attentif et confiant pour l'être humain. La bonne prise en compte du confort visuel de l'utilisateur au sein d'un bâtiment est une préoccupation qui doit être appréhendée conjointement avec le confort thermique et la performance énergétique. L'ambiance lumineuse réussie d'un lieu est dite lorsque nous pouvons voir les objets nettement et sans gêne. Et elle est caractérisée par la qualité et la quantité de la lumière.

Dans ce chapitre, nous allons traiter trois axes, le premier axe présente les notions fondamentales liées au confort visuel et ses paramètres, ainsi que le système visuel et les différents types de protections solaires. Dans le deuxième, nous étudions les ambiances lumineuses et ses types et paramètres, et enfin en terminera par une généralité sur les musées et l'intégration et les exigences de la lumière dans les musées.

## I. Le confort visuel

### 2.1 Définition du confort visuel

Selon Floru (1996) : « *Le terme confort visuel se réfère à l'appréciation subjective d'un environnement qui permet de travailler aisément tout au long de la période de travail* ». Le confort visuel dépend de la qualité de la lumière et de la manière dont elle est distribuée sur toutes les surfaces présentes dans un champ visuel.

Le confort visuel est lié à l'absence d'éblouissement et se définit comme l'absence de gêne provoquée par les écarts de luminance dans un champ visuel (Paule, 2007).

### 2.2 Le système visuel et la lumière

#### 2.2.1 Le spectre électromagnétique

C'est la partie visible du spectre ou la plage des longueurs d'onde se situées entre 380 et 770 nm. Les autres ondes qui ont une longueur différente que celles situées dans cette bande ne stimulent pas les récepteurs de l'œil humain (Guide CEATI, 2014).

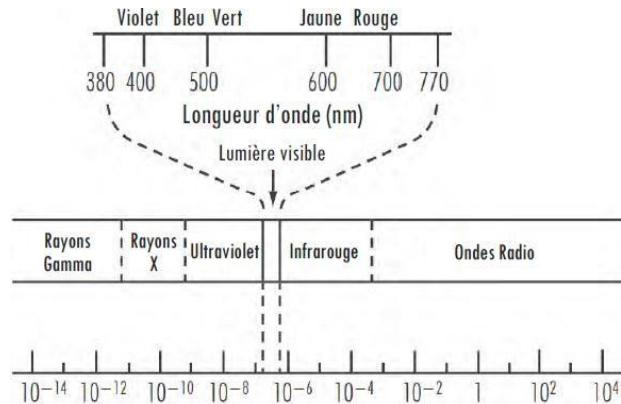


Figure 2-1 : Le spectre électromagnétique. (Source : Guide CEATI, 2014)

### 2.2.2 L'effet visuel de la lumière :

La lumière elle se définit comme une énergie rayonnante évaluée visuellement. La partie visible du rayonnement qui atteint l'œil est absorbée par deux récepteurs qui sont : les cônes (leur rôle est d'assurer la vision photopique celle de jour. Et on distingue 3 types de cônes selon leur sensibilité aux différentes plages de longueurs d'ondes du rayonnement visible : rouge, vert et bleu). Et les bâtonnets (ils assurent la vision scotopique ou la faible luminosité, et ne permettent pas de distinguer les couleurs.) qui se trouvent dans la rétine au fond de l'œil (Guide CEATI, 2014 ; Paule, 2007).

Une fois dans la rétine, les cônes et les bâtonnets transforment cette énergie rayonnante en impulsions électriques. Ensuite, les nerfs transmettent ces impulsions au cerveau ou la sensation de la lumière est créée.

### 2.2.3 La sensibilité spectrale de l'œil :

Selon le guide CEATI (2014) : La sensibilité de l'œil varie largement dans la gamme de longueurs d'onde comprise entre 380 et 800nm. Cette différence de longueur d'onde donne des impressions de couleurs et d'intensités lumineuses différentes.

La figure ci-dessous montre des courbes d'efficacité lumineuse spectrale.

- **La courbe de vision photopique** (ou diurne) correspond au cas d'une rétine excitée par une lumière intense. Dans ce cas, la réponse visuelle est plus importante dans la région jaune-vert du spectre ou la longueur d'onde égale à 555 nm.
- **La courbe de vision scotopique** (ou nocturne) correspond à une rétine adaptée à l'obscurité. Ici la réponse visuelle est maximale dans la région bleu vert du spectre, ou la longueur d'onde est égale à 507 nm.

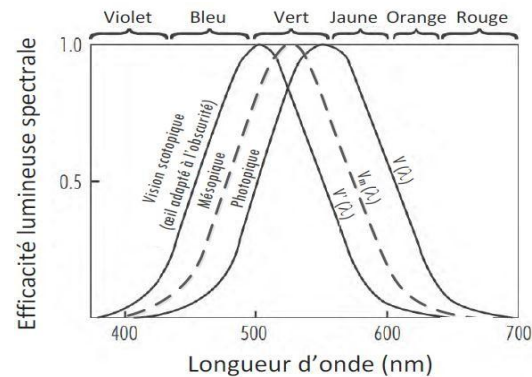


Figure 2-2 : Courbe d'efficacité lumineuse spectrale. (Source : Guide CEATI, 2014)

### 2.2.4 Le champ de la vision :

Le champ visuel d'un œil est l'espace perçu lorsque on fixe un point précis. Il mesure la zone visuelle d'un individu placé en un point donné. De plus, ce point ne sera pas perçu de la même manière selon sa position relative dans le champ visuel.

Le champ visuel est différent d'un individu à un autre, le champ vertical des yeux couvre un angle de  $130^\circ$  ; limitée de bas par les joues et vers le haut par les arcades sourcilières. Et la portée horizontale des yeux est de  $180^\circ$  lorsqu'ils sont dirigés vers un point fixe (Faure, 2006).

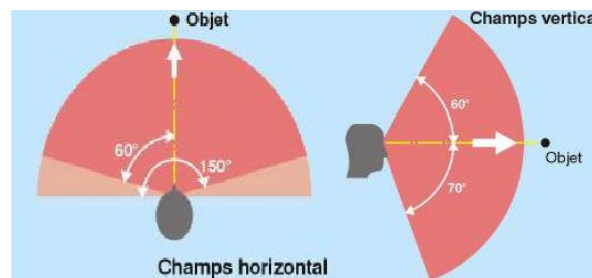


Figure 2-3 : Les champs visuel. (Source : Arnaud, Sd)

## 2.3 Les paramètres du confort visuel :

Les principaux paramètres du confort visuel qui faut prendre en compte, sont les suivants:

### 2.3.1 Le niveau d'éclairément

Le niveau d'éclairément minimum est essentiel pour une vision claire et sans fatigue. Cependant, un éclairément excessif peut-être une source d'inconfort.

L'éclairément optimal d'une pièce dépend principalement de sa fonction. Cela dépend également du coefficient de réflexion des surfaces présentes (Faure, 2006).

Les tableaux suivants montrent les exemples d'ordres de grandeur du niveau d'éclairément de différents espaces en fonction de l'usage et l'exigence d'éclairément :

Tableau 2-1 : ordres de grandeur du niveau d'éclairage de différents espaces en fonction de l'usage  
(Source : CONCEIÇÃO NUNES, Sd)

<b>Les types d'espaces</b>	<b>Niveau d'éclairage</b>
Circulation, escaliers, couloirs	100 lx
Escaliers des bâtiments scolaires	150 lx
Restaurant libre-service	200 lx
Salles de classe primaire et secondaire	300 lx
Autres salles de classe	500 lx
Bureau – écriture, lecture,...	500 lx
Soins de santé – salles d'examen	1000 lx

### 2.3.2 Rendu des couleurs

Le rendu des couleurs de la source lumineuse est optimal tant que le rayonnement émis est le plus proche de la sensibilité maximale de l'œil à la couleur. (Le bleu 450 nm, le vert 540 nm et le rouge 610 nm). Un rendu des couleurs correct des objets s'exprime par l'indice de rendu de couleurs (IRC).

Cet indice (IRC) dépend directement du spectre. Et repose sur une échelle conventionnelle de 0 à 100 (100 : lumière solaire). De 60 à 80, il est considéré comme médiocre, de 80 à 85, comme moyen et au-delà de 85, comme bon (Cadiergues, Sd ; Faure, 2006).

### 2.3.3 Le tien de la lumière

Selon le guide CEATI (2014), La température de couleur est l'émission chromatique de la lumière qui s'exprime en degrés Kelvin (°K). Cette température permet de déduire le tien dominant de la lumière. Plus la température est élevée plus la couleur tend vers le bleu. On dit ainsi d'une lumière, selon sa température : teinte « chaude » :  $T_c < 3300$  [K] présente une couleur rougeâtre ou jaunâtre, teinte neutre :  $T_c = 3300$  à  $5500$  [K], teinte « froide » :  $T_c > 5500$  [K] présente une couleur bleuâtre.

Le tien de la lumière doit être adapté à l'éclairage souhaité comme on le voit sur le diagramme de Kruithof ci-dessous qui donne la température de couleur recommandées en fonction du niveau d'éclairage.

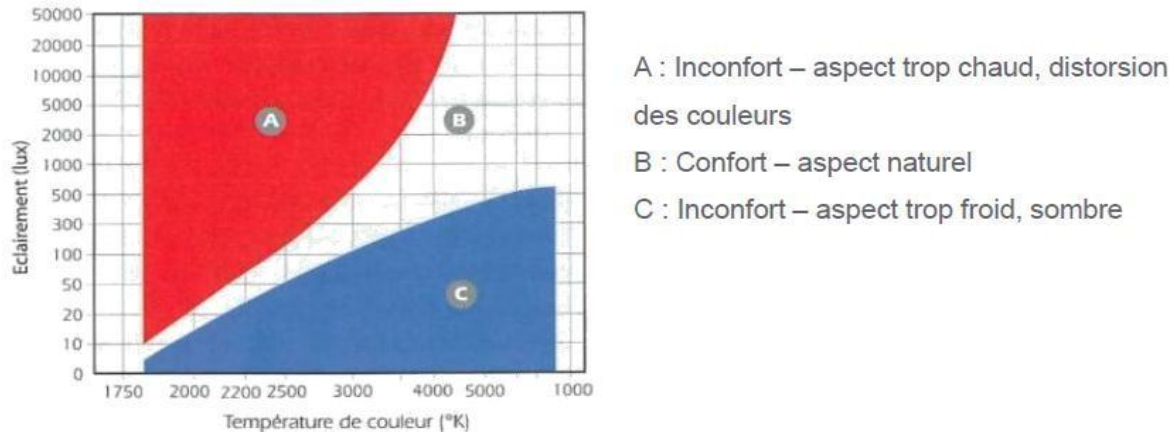


Figure 2-4 le diagramme de Kruithof. (Source : GREGOIRE, 2017)

### 2.3.4 L'uniformité de la lumière

La distribution de la lumière naturelle peut se faire de manière uniforme, localisée ou mixte. Dans le cas d'un éclairage localisé, qui amène de manière contiguë des zones de lumière et des zones d'ombre, elle peut être une source d'inconfort. Car l'œil doit perpétuellement se réadapter qui peut causer une fatigue.

Pour éviter cette fatigue, il convient d'éviter un écart trop important de contrastes entre les différentes zones d'un même champ visuel. On parle alors du facteur d'uniformité de l'éclairage d'un espace (rapport de l'éclairage minimal à l'éclairage moyen de la surface considérée dans des conditions d'observation données) (Faure, 2006).

### 2.3.5 L'éblouissement

Selon Mehdaoui (s. d.), L'éblouissement est causé par la présence d'un rayonnement lumineux trop intense dans un champ de vision. C'est un paramètre qui peut placer l'individu dans des situations d'inconfort visuel extrême. On peut distinguer deux types d'éblouissement :

- **L'éblouissement direct** est provoqué par la présence d'un rayonnement solaire direct dans un champ de vision. Plus la source est proche du centre du cône de vision, plus l'éblouissement est intense.
- **L'éblouissement indirect** correspond à des réflexions perturbatrices des sources lumineuses sur des surfaces réfléchissantes ou brillantes telles qu'un écran d'ordinateur, le papier, mémoire, une table, etc.

La luminance maximale acceptée est fonction de l'angle de vision.

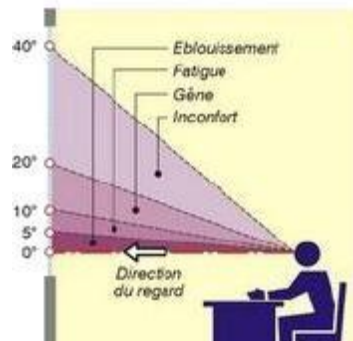


Figure 2-5 : Source lumineuse de haute luminance. (Source : CONCEIÇÃO NUNES, Sd)

### 2.3.6 L'ombre gênant

Selon Magali (Sd), l'ombre est créée par la présence d'un élément entre l'espace perçu et la source lumineuse. Considéré comme un élément d'inconfort visuel, car il réduit fortement les contrastes.

Pour éviter la perturbation causée par des ombres parasites pour la lecture et l'écriture. Il faut éviter les positions suivantes :

- Pour les droitiers, il faut éviter l'éclairage venant de l'adroite.
- Pour les gauchers, il faut éviter l'éclairage venant de gauche.
- Éviter l'éclairage provenant du dos.

## 2.4 Les protections solaires

Selon Pascale et al. (2014), les protections solaires sont tous objets ou éléments empêchant le rayonnement solaire d'éclairer une surface. Il existe deux familles de protections solaires : les protections fixes et mobiles

### 2.4.1 Protection solaire fixe

Les protections fixes sont des protections intégrées au bâtiment. Ces éléments doivent être dimensionnés judicieusement afin d'offrir une protection efficace contre les rayons chauds d'été, sans arrêter les apports solaires hivernaux. Il peut s'agir d'un débord de toiture, d'une terrasse couverte, d'un auvent, d'un balcon, de lames horizontales ou verticales, brise-soleil, la végétation, etc (Spitz et al., 2008 ; le Guide les protections solaires, Sd).



Figure 2-6 : Les types de protections solaires fixe. (Source : Google image, 2021)

## 2.4.2 Protection solaire mobile

Les possibilités de réglage sont l'atout majeur des protections mobiles, en comparaison aux protections fixes, les protections mobiles sont plus légères, A commande manuelle ou automatique, ces protections permettent aux occupants d'adapter la protection en fonction des conditions météorologique.

Les protections solaires mobiles couvrent une large variété de dispositifs : volet roulant, les stores vénitiens, à lamelle, à toile, les brise-soleil à lames orientables, montés sur câbles ou sur coulisses, etc. (cover metal, Sd ; Le Guide les protections solaires, Sd).



Figure 2-7 : Les types de protections solaire mobile. (Source : Google image, 2021)

## 2.4.3 Protection solaire selon l'orientation

Selon le Guide les protections solaires, (Sd) : La trajectoire du soleil varie en fonction de la saison. Elle évolue entre deux extrêmes aux solstices d'été et d'hiver. En été, est très haut dans le ciel tandis qu'en hiver très bas dans l'horizon. Donc, pour chaque orientation, un type de protection est recommandé.

### ➤ Les protections horizontales

Les protections horizontales projettent un ombre vertical sur les parois devant lesquelles elles se propagent. Plus le soleil est haut dans le ciel, plus l'ombre couvre une surface importante de la façade. Donc les protections horizontales sont idéalement pour l'orientation sud.

### ➤ Les protections verticales

Les protections verticales sont l'idéale à l'est et à l'ouest, elles permettent d'arrêter le rayonnement bas de soleil dans l'horizon. Et de protéger notamment les façades l'après-midi, du sud-ouest au nord-ouest. Ces diapositives sont généralement mobiles, car elles sont très difficiles à dimensionner de manière à éviter les rayons d'été toutes en laissent ceux d'hiver.

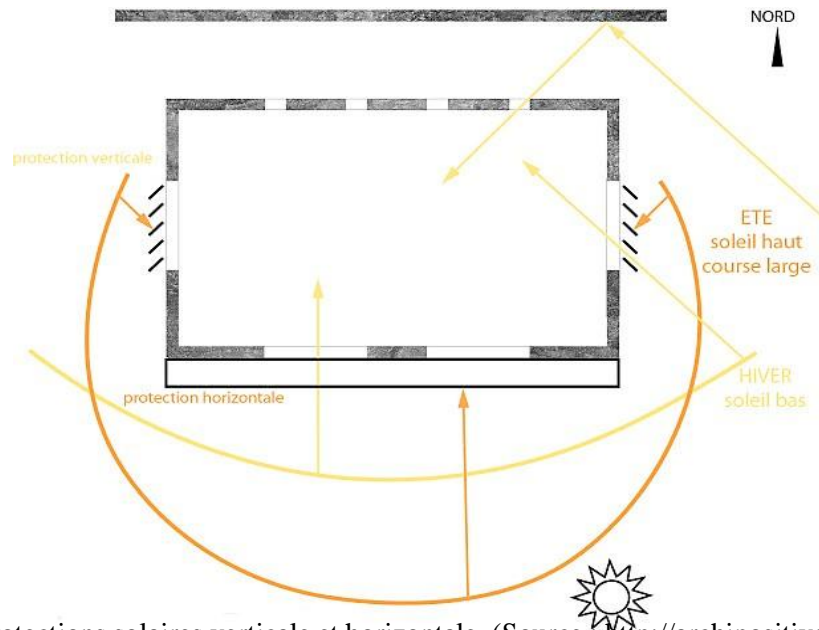


Figure 2-8 : Protections solaires verticale et horizontale. (Source : <http://archipositive.blogspot.com/>, 2016)

## II. Les ambiances lumineuses

### 2.5 Définition de l'ambiance lumineuse

D'après l'association française de l'éclairage : « *l'ambiance lumineuse se définit comme un éclairage considéré sous l'aspect de ses effets physiologique et psychologique* ».

Selon Narboni (2006), l'ambiance lumineuse se définit comme un résultat d'une interaction entre la lumière, un individu et un espace. Cette interaction influence temporairement ou durablement la perception de l'espace éclairé.

Dans un espace donné, la lumière et l'obscurité interagissent avec l'individu :

- **Physiologiquement** : la perception varie d'un individu à un autre et au cours de leurs vies (la dégradation de la vision, la distance de vision, l'âge).
- **Psychologiquement** : par la lecture mentale du cerveau après l'analyse de la lumière et l'espace.
- **Culturellement** : elle varie en fonction de l'origine géographique de l'individu, son vécu, ses connaissances, etc.

### 2.6 Les paramètres de l'ambiance lumineuse

D'après Pascale et al. (2014) et Boscher (2017), l'ambiance lumineuse d'un espace est liée à la manière dont l'individu est affecté par l'ensemble des aspects de son environnement lumineux. On peut dire que cette ambiance est réussie lorsque nous pouvons voir les objets nettement et sans gêne visuelle dans une ambiance agréable. Toute en suivant les paramètres suivants : quantitatifs (besoins) et qualitatifs (confort et agrément).



### 2.6.1 La quantité

Est un aspect assez bien défini aujourd'hui.

- **Les besoins** : sont liés à la quantité de lumière nécessaire pour effectuer une activité dans de bonnes conditions lumineuses. Donc ces besoins sont directement liés à la nature de l'activité et de l'utilisateur.

### 2.6.2 La qualité

La qualité de l'ambiance lumineuse prend en compte les notions de confort et d'agrément, qui sont des paramètres moins bien définis qui nécessitent une attention particulière.

- **Le confort** : se définit par l'absence d'inconfort, lui-même caractérisé par l'éblouissement. Cet éblouissement apparaît lorsqu'une personne se sent mal à l'aise ou à une capacité réduite à distinguer les détails ou les objets.
- **L'agrément** : ce qui est généralement confortable n'est pas désagréable, mais n'est pas forcément agréable. On peut distinguer des espaces confortables, mais l'ambiance lumineuse peut être triste et ennuyeuse. Donc elle n'est pas agréable. Ici, l'agrément dépend de la sensibilité de l'individu et la fonction de l'espace.

Donc l'ambiance lumineuse est en fonction de ces trois paramètres, et l'absence de l'un de ses paramètres peut influencer sur l'ambiance lumineuse d'un espace, et ne sera plus et peu satisfaisante.

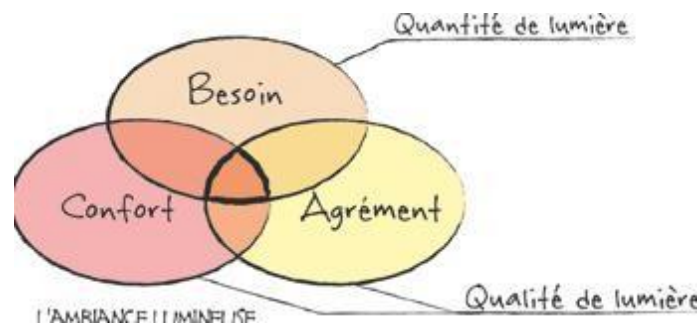


Figure 2-9 : Représentation schématique de l'ambiance lumineuse. (Source : Pascale et al., 2014)

## 2.7 Les types d'ambiances lumineuses

Selon Reiter et De Herde (2004), on peut distinguer trois types d'ambiances lumineuses, en se basant sur l'éclairage d'un espace et le rapport entre la lumière et l'ombre :

- **Type I** : La pénombre, représente un rapport entre la lumière et l'ombre. On y trouve un certain équilibre entre la lumière et l'ombre.



Figure 2-10 : La pénombre du cloître de l'Abbaye Saint-Pierre de Moissac. (Source : Google image, 2021)

- **Type II** : L'ambiance lumineuse, présente une lumière qui éclaire presque tout l'espace.



Figure 2-11 : Ambiance lumineuse. (Source : Google image, 2021)

- **Type III** : L'ambiance inondée, cette ambiance présente une lumière excessive qui atteint tout l'espace.



Figure 2-12 : Ambiance inondée. (Source : Google image, 2021)

### III. Étude de la lumière naturelle dans les musées

#### 2.8 Définition du musée

D'après les statuts de l'ICOM (2007) : « *Le musée est une institution permanente sans but lucratif, au service de la société et de son développement, ouverte au public, qui acquiert, conserve, étudie, expose et transmet le patrimoine matériel et immatériel de l'humanité et de son environnement* ».

Selon la rousse, le musée est un endroit, où sont réunies des collections d'œuvres d'art, culturels, scientifiques ou techniques. Dans le but de les sauvegarder et présenter au public.

## 2.9 Évolution historique des musées

Le mot « musée » vient du grec mouseion, c'était le nom d'un sanctuaire consacré aux musées. Un temple bâti sur la colline de l'hélicon à Athènes. Ce nom renvoie aussi au première « musée » construit au 3<sup>ème</sup> siècle avant J.-C., par Ptolémée 1<sup>er</sup> Store en Égypte, le palais d'Alexandrie (Schaer, 1993).

- **Dans l'Antiquité** : dans cette période, les musées ont été considérés comme des lieux réservés aux savants et aux scientifiques dans un but éducatif, sous forme de centre de collections, salle de lecture, amphithéâtre, jardin botanique. Et des lieux de conservation des collections (L'histoire des musées, s. d.).
- **Au moyen Age** : c'est l'église qui sauvegarde les 'objets culturels durant la période du moyen âge. Les collections sont le privilège des rois qui commandent des œuvres aux artistes. Cependant, elles serrant montrées qu'à un petit ensemble de personnes privilégiées. C'est à la Renaissance que le terme de musée apparaît dans le sens moderne est appliqué aux collections des Médicis (Vermeiren, s. d. ; Les musées historique et évolution, 2018).
- **Du 16<sup>em</sup> siècle au 18<sup>em</sup>** : L'apparition des cabinets de curiosité, des lieux qui présente des objets de toutes sortes, de nature différente et de différentes époques. C'est au 18<sup>em</sup> siècle que le musée est né avec pure mission : acquérir les œuvres, les classer, les étudier, les conserver (restaurer si nécessaire) et les exposer au grand public (Vermeiren, s. d. ; Les musées historique et évolution, 2018).
- **Au 19<sup>o</sup> siècle** : à cette époque, les musées s'organisent autour des collections des chercheurs locaux et les sociétés savantes, archéologiques ou historiques (Vermeiren, s. d.).
- **Aujourd'hui** : le monde, aujourd'hui, abrite plus de 20 000 musées, et leurs fonctions ne s'arrête plus dans la conservation et la présentation. Avec le développement de ses espaces, de nombreuses activités ont apparu tel que : la restauration, animation, vente, conférences, spectacles, etc (Les musées historique et évolution, 2018).

## 2.10 La fonction du musée :

Les musées ont pour les fonctions suivantes :

### 2.10.1 Acquérir

C'est une fonction qui reste un objectif permanent des musées, qu'ils soient petits ou grands, afin de sauvegarder et étudier les témoins matériels des activités de l'être humain et son

environnement. Ses acquisitions sont faites sous plusieurs formes : par achat, par dépôt, par don ou legs, par dation (Ezrati & Merleau-Ponty, 2006).

### 2.10.2 Conserver et restaurer

La bonne conservation des objets s'effectue par les conditions de présentations ou de stockage qui ne soumettent pas l'objet a des dangers. D'autre part, la restauration est pour but de comprendre l'objet et d'améliorer sa conservation, sa fonction ne s'agit pas de remettre l'œuvre à neuf, mais de stabiliser son état et de faciliter sa lecture. (Schaer, 1993).



### 2.10.3 Étudier

Figure 2-13 : Conservation et restauration d'un tableau.  
(Source : Google image, 2021)

Consiste à la classification des collections d'un musée, chaque œuvre entrante un musée doit porter un numéro d'inventaire. Cette fonction permet de lister, nommer, classer, photographier chaque objet entrant dans un musée. Par des cahiers d'inventaire. Ses cahiers sont des documents juridique, administratifs et obligatoires qui témoigne l'existence et l'appartenance d'un objet à la collectivité dont il dépend. (Vermeiren, Sd).

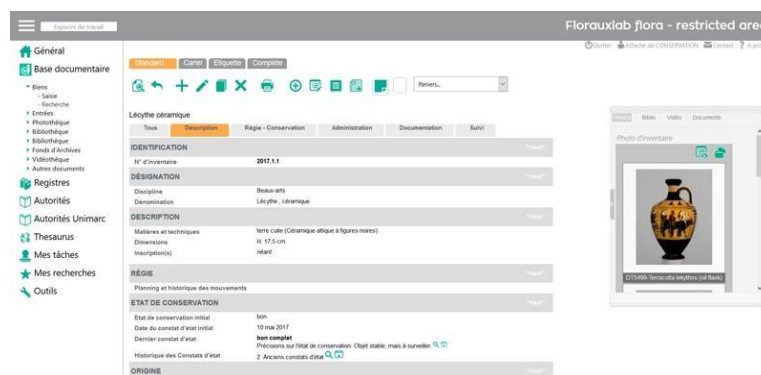


Figure 2-14 : Exemple d'inventaire d'une œuvre dans le musée Flora. (Source : Google image, 2021)

### 2.10.4 Exposer

Exposer c'est présenter, organiser et confronter les œuvres. Et donner accès au public pour connaître, comprendre, s'enrichir et découvrir de nouveaux artistes, styles, époques. Cette fonction permet l'interprétation, l'éducation et la médiation. Il existe deux catégories d'exposition : permanente et temporaire. (Mairesse, 2012 ; Vermeiren, Sd).



Figure 2-15 : Exemple d'exposition. (Source : Google image, 2021)

## 2.11 Les types du musée

Selon Rahal (2017), il existe plusieurs types de musées :

### 2.11.1 Suivant la discipline

Ici, les musées sont classés selon les activités et les expositions qu'ils regroupent, ou on peut trouver plusieurs types :

- **Musées d'art** : ils regroupent un ensemble d'œuvres d'art.
- **Musées historiques** : leurs objectifs sont de conserver un mémoire, et de réunir des collections historiques.
- **Musées de science** : Ce sont des musées éducatifs et leur objectif est l'éducation. Et ils se basent principalement sur l'expérimentation.
- **Musées culturels** : leurs objectifs sont de réunir des collections relatives à une région, un pays, une époque.
- **Musées générales** : ils englobent plusieurs départements ou thèmes dans un même musée.
- **Musées spécialisés** : consacre particulièrement à un domaine ou une branche, etc.



Figure 2-16 : Les types de musées selon la discipline. (Source : Google image, 2021)

### 2.11.2 Suivant la notion d'ouverture

En distingue trois types :

- **Musées ouverts** : ce type du musée assure une forte relation visuelle entre l'intérieur et l'extérieur, dans ces musées les parois vitrées joue un rôle important.
- **Musées fermés** : contrairement au musée ouvert, les parois de ce musée sont opaques, ce type de musée est considéré comme un appel aux passants pour venir découvrir l'intérieur.
- **Musées à ciel ouvert** : c'est le cas des sites archéologiques, ce type offre une promenade architecturale en pleine nature.



Figure 2-17 : Les types de musées suivant la notion d'ouverture. (Source : Google image, 2021)

### 2.11.3 Suivant la localité

C'est par rapport à la grandeur du musée, on peut distinguer trois types selon la localité, musée nationale, régionale, locale.

## 2.11.4 Suivant les parcours

En fonction du thème du musée, en distinguant trois types de musée selon les parcours :

### 2.11.4.1 Types linéaire

Les œuvres sont exposées de manière respectant un schéma de circulation obligée ici le visiteur est obligée de parcourir toute l'exposition. En trouve deux types de parcours linéaire :

- **Type linéaire arborescent** : suivant un axe de circulation droit qui donne vers plusieurs sections ou secteurs.
- **Type linéaire en ruban** : ce type de parcours guide le passager avec une certaine fluidité et sans qu'il s'en rende compte.

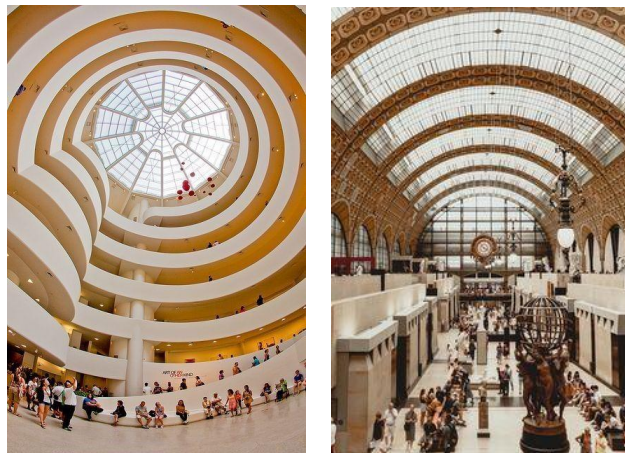


Figure 2-18 : Types de parcours linéaire. (Source : Google image, 2021)

### 2.11.4.2 Type circulaire

Dans ce type, l'espace central est réservé à l'éclairage zénithal, pour éclairer les expositions qui entourent cet espace.

### 2.11.4.3 Type labyrinthe

Ce musée contient plusieurs pièces qui sont placées d'une manière très difficile à trouver les salles d'expositions.



Figure 2-19 : Parcours circulaire et labyrinthe. (Source : Google image, 2021)

## 2.12 La lumière dans les musées

### 2.12.1 La lumière naturelle en architecture :

« La lumière confère une existence aux objets en reliant l'espace et la forme. Un rayon de lumière, isolé au sein du bâtiment, s'attarde sur la surface des objets et fait naître l'ombre en arrière-plan. Avec le passage du temps et la succession des saisons, l'intensité de la lumière varie, et dans son sillage les caractéristiques des objets. Simultanément, la lumière, isolée et happée par les objets, est ainsi objectivée et prend forme. La position de tous les objets est définie par leur relation les uns par rapport aux autres. Au moment où l'on fixe une relation mouvante de ce type, l'ensemble des relations est ainsi déterminé. À la frontière entre la lumière, fulgurante dans son rayonnement comme dans son extinction, et l'obscurité, un objet s'articule et prend forme. Chaque élément articulé est d'ores et déjà intégré dans une relation de réciprocité et crée une chaîne. Bien que cette tendance à la globalisation soit en permanence contenue séparément dans chaque objet, cette chaîne est la réalisation d'un ensemble. Ce qui est à l'œuvre ici, c'est la conscience esthétique de l'individu » (Tadao Ando, 1990).

D'après Ando la lumière naturelle donne vie à l'objet par l'interaction de la surface et la lumière qui varie en fonction de la trajectoire solaire. Le positionnement d'un objet dans un espace est défini selon ses relations, soit avec l'objets ou l'espaces, ces rapports sont caractérisés par le rayonnement solaire qui éclaire ses surfaces et les différentes échelles de son environnement. Le contact de cette lumière avec ses objets permet de leurs donner forme par la présence de l'ombre qui leur donne vie.



## 2.12.2 Intégration de la lumière naturelle dans les espaces d'expositions :

Selon SYLVANIAL (s. d.), laisser pénétrer une lumière naturelle de jour dans un espace d'exposition permet de se connecter au monde extérieur. Cette dynamique contribue à l'interprétation de l'architecture de l'espace et la sensation d'un bien être à l'intérieur.

Cette lumière est considérée comme excellente en terme de qualité, mais il ne faut pas négliger son effet nocif sur les œuvres exposés. Donc la lumière naturelle peut être utilisée dans les espaces d'exposition, tant qu'elle reste bien maîtrisée et diffusée de manière à éviter tout contact direct avec les objets exposés.

En terme de la température de couleur de la lumière naturelle, y a une multitude de teintes et elles varient en fonction de l'heure et des saisons. Pour contrôler ces changements permanents, les concepteurs doivent séparer l'éclairage en deux parties, la lumière naturelle générale diffus lorsqu'elle est suffisante, et l'éclairage artificiel vient prendre le relais lorsque la lumière naturelle est insuffisante (cas d'un ciel couvert, nuit, etc).

## 2.12.3 Les systèmes de diffusion d'éclairage naturel

### 2.12.3.1 Le light shelf

Selon De Baets et Al (2007), est un auvent qui divise la fenêtre en deux parties, avec une surface supérieure réfléchissante, son objectif est d'éclairer une pièce en profondeur et de limité les rayonnements solaires directs. Ces dispositifs se situent à deux mètres de la hauteur de la fenêtre, et sont appliqués généralement dans les façades sud dont l'angle d'incidence du rayonnement solaire est grand. On peut distinguer plusieurs types de light shelf selon l'inclinaison et la position :

#### 2.12.3.1.1 Selon l'inclinaison

- **Type incliné vers l'intérieur** : permet un bon éclairage au fond de la pièce.
- **Type incliné vers l'extérieur** : crée une grande surface d'ombrage près de l'ouverture.

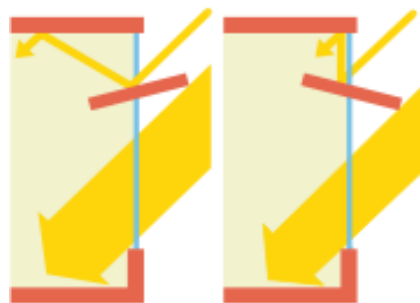


Figure 2-20 : Light shelf incliné vers l'intérieure et extérieure. (Source : <https://energieplus-lesite.be/>, 2021)

### 2.12.3.1.2 Selon la position

- **Type positionné à l'intérieur** : il diminue le niveau d'éclairage de la pièce, tout en offrant un ombrage à la partie supérieure de l'ouverture.
- **Type positionné à l'extérieur** : en terme de l'éclairage du fond de locale offre un très bon éclairage, tout en ambrant toute la surface de l'ouverture.
- **Type combiné** : c'est le type qui offre la luminosité la plus uniforme tout en diffusant tous les rayons solaires directs.



Figure 2-21 : Light shelf selon la position. (Source : energieplus-lesite.be, 2007)

### 2.12.3.2 Les réflecteurs

Ce sont des panneaux réfléchissant, avec un coefficient de réflexion supérieure à 30 %. Ces panneaux réflecteurs fonctionnent en captant le rayonnement solaire extérieur et en le diffusant à l'intérieur d'un local. Sont conçus avec un système de réglage d'inclinaison afin de faciliter la diffusion du rayonnement à l'intérieur. Ils peuvent être placés à l'intérieur horizontalement ou verticalement sur les rebords des fenêtres, ou fixé à l'ébrasement extérieur des fenêtres (Maison en Travaux, 2017).



Figure 2-22 : Réflecteur. (Source : www.maisonentravaux.fr, 2017)

### 2.12.4 Les exigences de l'éclairage dans l'espace d'exposition

Le tableau suivant montre l'éclairage moyen dans les espaces d'exposition

Tableau 2-2 : Niveau d'éclairage selon les activités. (Source : Zumtobel, 2017)

Activités	Espaces	Éclairage moyen (Lux)
Exposition	Espace générale	300
Musée	Pièces d'exposition insensibles à la lumière	Déterminé par les exigences de l'exposition
	Pièces d'exposition sensibles à la lumière	

La source lumineuse qu'elle soit naturelle ou artificielle dans les espaces d'exposition doit répondre à des recommandations précises (300 lux pour les objets qui ont une faible sensibilité tels que Pierre, céramique, verre et métal) ; (100 lux pour la sensibilité moyenne comme Peinture à l'huile et à la détrempe, laques, plastiques, bois, meubles, corne, os, cuir non teinté, minéraux et photographies modernes en noir et blanc) ; (pour les objets très sensible tel que costumes et autres textiles, fourrures et plumes, cuir teinté, impressions, dessins, aquarelles, timbres, manuscrits, photographies anciennes en couleur, miniatures, transparents et peintures sur toile légèrement colorées et sans apprêt, l'éclairage recommander est 50 lux) (Sylvania, s. d.).

Selon Daiche (s. d.) les plages d'éclairage sont classées comme suite :

- <100 lux : sont considérés généralement comme Insuffisants, soit pour être la seule source d'éclairage, soit pour contribuer de manière significative à l'éclairage artificiel
- Entre 100 lux et 500 lux : considéré comme efficace soit en tant que source d'éclairage unique, soit en conjonction avec un éclairage artificiel.
- Entre lux 500 lux à 2000 lux : souvent considérés comme souhaitable ou au moins acceptable.
- >2000 lux : peuvent provoquer un gêne visuel ou thermique, ou les deux en même temps.

### 2.12.5 Types d'éclairage d'exposition :

D'après ezrati-eclairage.com, il existe quatre types d'éclairages :

- **L'éclairage général** : correspond à l'éclairage diffus qui enveloppe l'ensemble des contenantes d'une pièce, cet éclairage est réalisé généralement à l'aide des verrières qui diffusent une lumière naturelle, ou par réflexion de la lumière avec des sources artificielles.

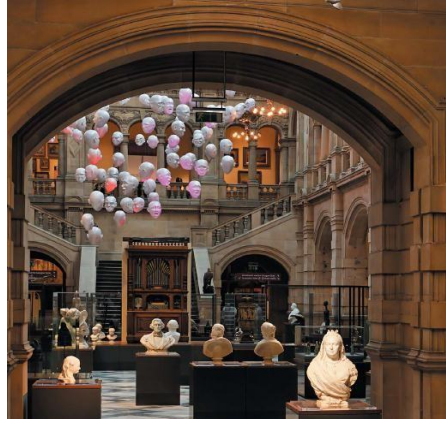


Figure 2-23 : éclairage générale dans la salle d'exposition de KELVINGROVE – GLASGOW, ROYAUME-UNI. (Source : Sylvania, Sd)

- **L'éclairage localisé dirigé** : conviens à un éclairage qui englobe les œuvres dans une même surface.



Figure 2-24 : éclairage localisé dirigé dans la salle d'exposition d'ÉLÉPHANT PANAME – PARIS, FRANCE. (Source : Sylvania, Sd)

- **L'éclairage localisé focalisé** : C'est un éclairage qui met en valeur un objet sans le séparer de son environnement.

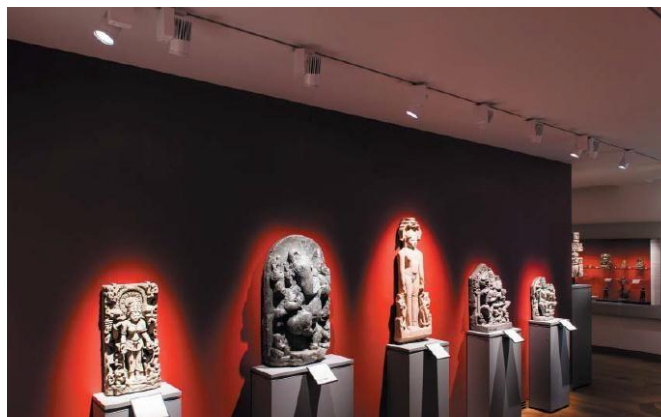


Figure 2-25 : éclairage localisé focalisé dans la salle d'exposition de L'Ashmolean Museum. (Source : Sylvania, Sd)

- **L'éclairage localisé cadré :** C'est un éclairage qui met en valeur un objet en le séparant de son voisinage.



Figure 2-26 : éclairage localisé cadré dans la salle d'exposition de L'Ashmolean Museum. (Source : Sylvania, Sd)

## Conclusion

D'après ce chapitre on arrive à conclure qu'un bon éclairage naturel des espaces a une grande importance pour le confort visuel. Où l'individu devrait se sentir confortable dans un espace dans lequel l'éclairage ne provoque pas d'éblouissement et éclaire correctement les objets et les espaces, avec un niveau d'éclairement suffisant pour le déroulement des activités.

Les musées sont les lieux qui sauvegardent la preuve matérielle de la créativité humaine et les richesses du monde naturel, par leurs missions de préserver, sauvegarder et présenter. Mais avec l'évolution de ces espaces aujourd'hui ne sont plus que des espaces de sauvegarde, des nombreuses activités culturelles sont apparues dans le but d'animation, éducation...etc. Et parmi les éléments les plus importants dans ces espaces on trouve la lumière, car elle est considérée comme un outil de valorisation et d'interprétation des œuvres exposées.

# **PARTIE PRATIQUE**

## Chapitre 3 Étude empirique

### Introduction

Dans ce chapitre, nous allons effectuer une étude empirique, où on va traiter deux axes : la première partie de l'étude empirique elle sera consacrée à la présentation du cas d'étude le musée el moudjahid de Bejaia, et la description de la méthode d'évaluation quantitative (prise de mesure in situ), enfin la présentation des résultats sous forme des tableaux et schémas et l'interprétation de ces résultats.

La deuxième partie de l'étude empirique, elle sera consacrée à l'évaluation qualitative qui va collecter des informations subjectives sur la lumière naturelle et les ambiances lumineuses dans la salle d'exposition de notre cas d'étude, ainsi que leur satisfaction des usages vis-à-vis du confort visuel dans cette dernière.

### 3.1 Évaluation quantitative

Cette étude est pour but d'évaluer les conditions du confort visuel et de lumière naturelle dans la salle d'exposition du notre cas d'étude, afin de ressortir avec des valeurs numériques.

#### 3.1.1 Présentation du musée

Le musée el moudjahid de Bejaia est un musée historique, construit en 2006, et se compose de six niveaux où on trouve : une salle de conférence, une bibliothèque, une salle d'exposition, une cafétéria, administration.



Figure 3-1 : Vue sur le musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021)

### 3.1.1.1 Situation du musée

Le musée el Moudjahid se trouve à Bejaia dans un site forestier le mont de Gouraya, dans le parc Djebel Khalifa dans le quartier dite sisi Ouali.

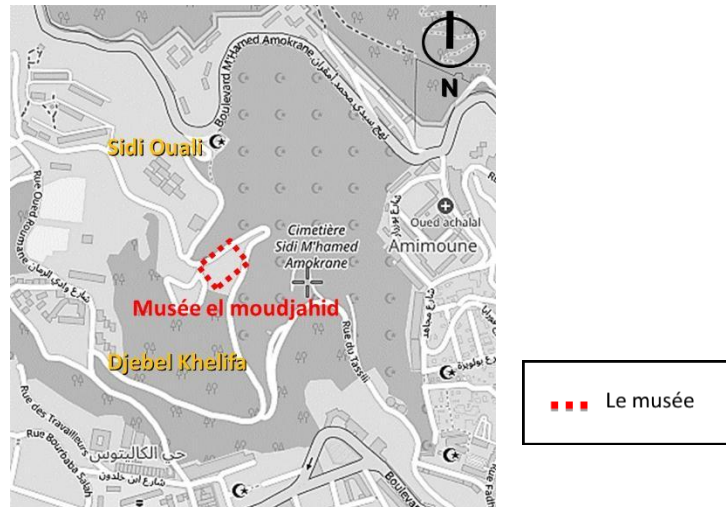


Figure 3-2 : carte de la ville de Bejaia. (Source : Google maps + Auteur, 2021)

### 3.1.1.2 Plan de masse

L'ensemble du projet présente le musée lui-même en tant qu'espace bâti et des espaces extérieurs aménager (jardine, esplanade et terrasse). Implanté un terrain de forme irrégulière, dans une zone dense en végétation et accidenté. Par rapport à son orientation, le musée est orienté au Nord-est.

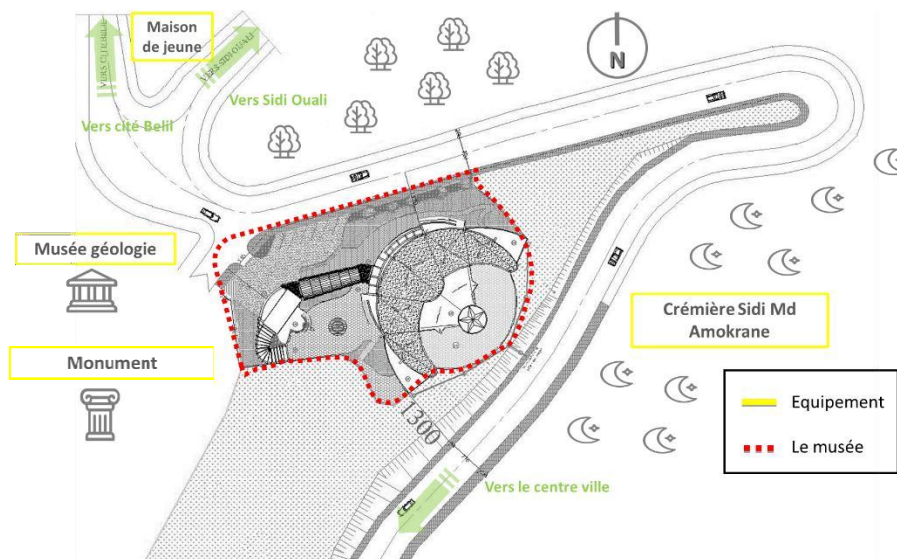


Figure 3-3 : Plan de masse du musée el moudjahid Bejaia. (Source : Auteur, 2021)



Le musée est entouré par des équipements culturels (la maison de jeunes, musée de géologie, le monument) du côté nord-est et est, une placette du côté nord, le cimetière de Sidi Md Amokrane du côté ouest et une forêt du côté sud.

### 3.1.1.3 La forme et volumétrie

Le musée est composé d'une combinaison de trois volumes : un croissant avec étoile qui représente le drapeau algérien (le bloc principal du musée), et un pistolet qui reflète au thème du musée qu'est la guerre d'Algérie (l'entrée principale).



Figure 3-4 : La forme et volumétrie du musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021)

### 3.1.1.4 Façade

La façade principale du musée el moudjahid est orientée vers le sud-est, elle présente un axe verticale centrale de symétrie ou les deux cotés son parfaitement symétrique.

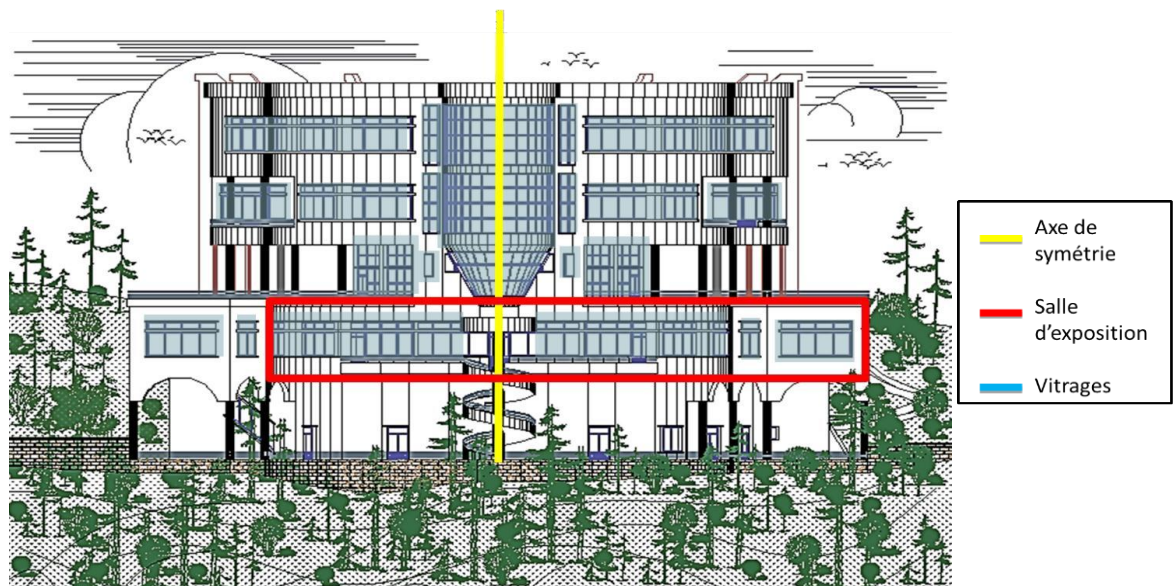


Figure 3-5 : La façade principale du musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021)

L'utilisation des grandes baies vitrés et fenêtres de forme régulière carrée ou rectangulaire de différentes dimensions pour l'éclairage naturelle du musée.

La domination du vide par rapport au plein et l'absence totale des protections solaire.

La façade de la salle d'exposition présente une surface vitrée vraiment importante ce qui peut influencer sur les objets exposés.

L'utilisation de la peinture blanche pour le revêtement de la surface pleine de la façade, et l'utilisation d'un simple vitrage réfléchissant de couleur bleu pour la surface vitrée et un cadrage en aluminium de couleur noir.

### 3.1.2 Présentation de la salle d'exposition

#### 3.1.2.1 Emplacement, forme et orientation

Dans la figure suivante on trouve le plan et la forme de la salle d'exposition, ainsi son orientation.

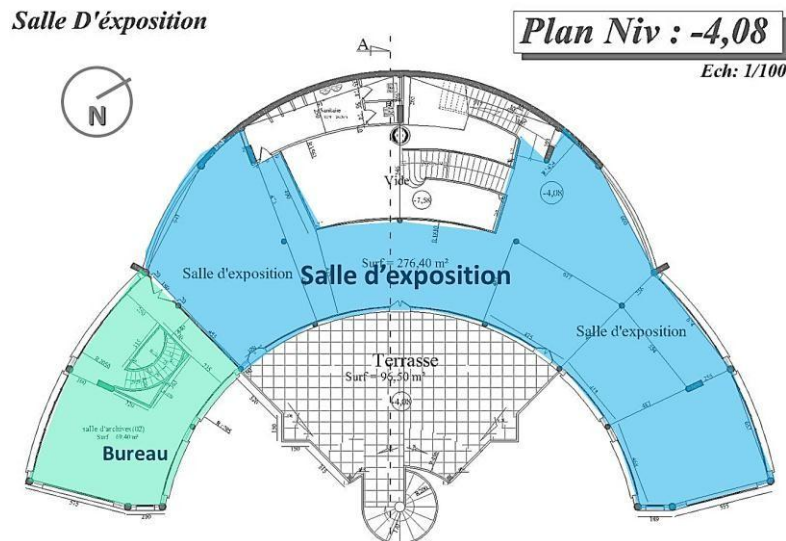


Figure 3-8: Plan de la salle d'exposition du musée el moudjahid. (Source :

La salle d'exposition se trouve dans le premier entre sol d'une surface de 276,40 m<sup>2</sup> orienté vers le sud-est, elle est accessible directement par un escalier qui la relie à la salle de renseignement. La forme de la salle d'exposition suit la forme du bloc sous forme d'un croissant fragmenté du côté sud par un espace bureau.

### 3.1.2.2 Couleurs et expositions

La figure suivante nous montre l'espace intérieur de la salle d'exposition, ainsi que les différentes pièces exposées.



Figure 3-11 : Salle d'exposition el moudjahid. (Source : Auteur, 2021)

La salle d'exposition est aménagée par des tableaux et des vitrines qui abritent des armes et des outils de moudjahidines durant la guerre algérienne.

Utilisation d'une couleur blanche pour le revêtement des murs, l'utilisation d'un revêtement de sol noir et blanc.

### 3.1.2.3 Éclairage

Dans les deux figures suivantes (Fig. 3-9, Fig. 3-10) nous allons voir les différents types s'éclairage utiliser dans le musée el moudjahid soit : artificiel ou naturel.



Figure 3-12 : Eclairages artificiel dans le musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021)

Pour l'éclairage artificiel, on a l'utilisation des plafonniers fluorescent et des spots.

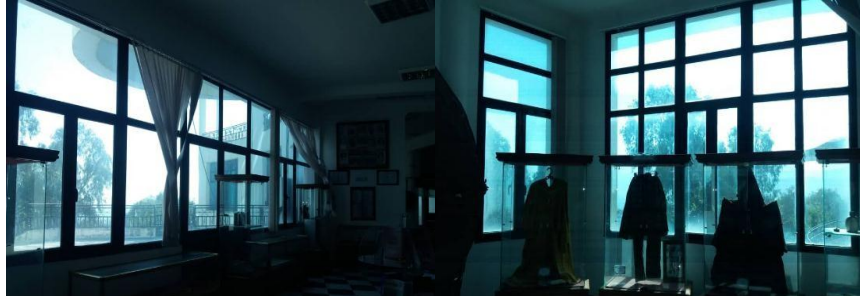


Figure 3-13: Eclairage naturel dans le musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021)

Le musée est éclairé naturellement par des ouvertures latérales : qui sont 10 grandes fenêtres de différents dimensionnements, dont la hauteur de toutes les fenêtres est de 2m20 et la largeur varie de (1m – 5m60). La protection des rayons direct de soleil ce fait par des stores intérieurs.

### 3.1.3 Protocole de mesure

Il Consiste à effectuer une grille au niveau du plan de la salle d'exposition, puis prendre des mesures dans les différents points de la grille, à l'aide d'une application luxmètre.

La prise des mesures a été effectuée le 23 mai 2021, dans le cas d'un ciel clair avec soleil, pendant trois heures différentes de 09h à 15h. Avec un intervalle de trois heures entre chaque deux heures : 9h, 12h, 15h. En Utilisant une grille horizontale qui se développe en deux catégories d'axes : axes alphabétiques (A-Q) et axes en chiffre (1-10), la totalité des axes s'accroisse sur 80 points de mesure qui couvre la surface totale de la salle d'exposition. L'intervalle entre chaque point de tous les sens est de 1 m (Voir figure 3-11).

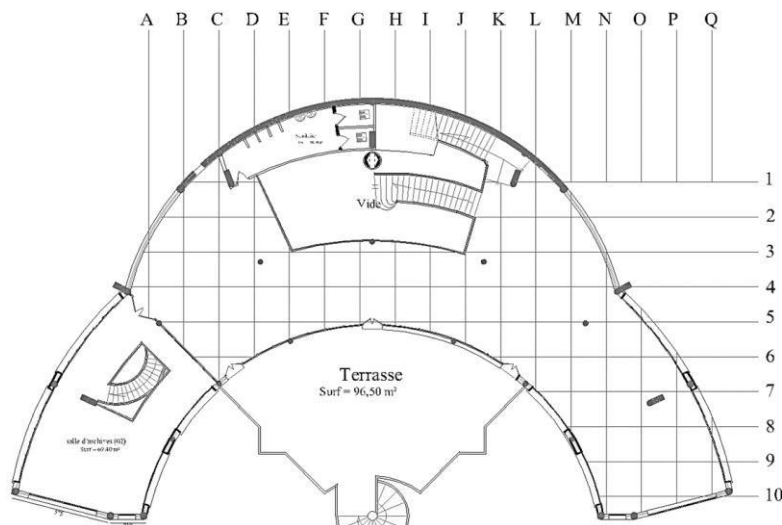


Figure 3-14 : La grille des mesures sur le plan de la salle d'exposition. (Source : Auteur, 2021)

Cette prise de mesure est dans le but de vérifier les conditions du confort visuel et de lumière naturelle dans la salle d'exposition pendant trois périodes : le matin, midi, le soir.

### 3.1.3.1 L'outil

Le choix de l'outil est effectué après l'essayage de plusieurs applications luxmètre, en suite nous avons eu recours à l'instrument le plus efficace : une application luxmètre « Korona » sur un appareil téléphonique.

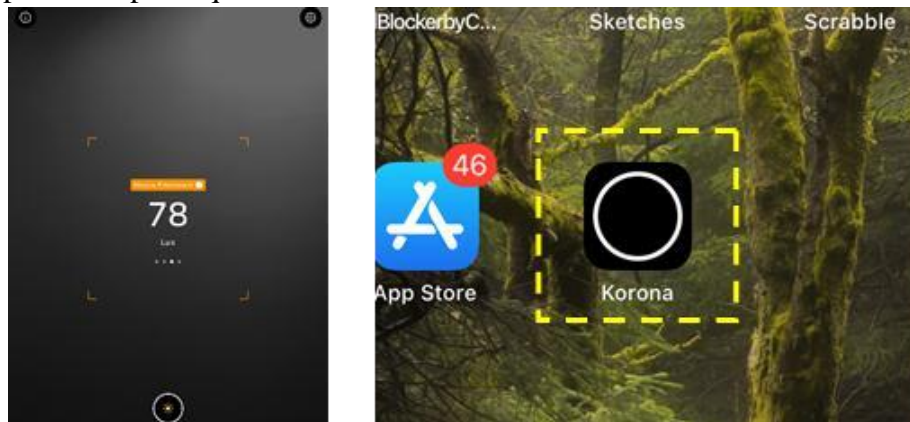


Figure 3-15 : Application Luxmètre « Korona ». (Source : Auteur, 2021)

## 3.1.4 Résultats et interprétation

### 3.1.4.1 Le cas du 09h

Le tableau ci-dessous présente les résultats obtenus à 09h

Tableau 3-1 : résultats de la prise des mesures à 09h dans la salle d'exposition du musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	/	70	65	190	/	/	/	/	/	/	75	78	/	/	/	/	/
2	/	100	130	200	/	/	/	/	/	/	130	170	71	/	/	/	/
3	80	130	190	220	460	750	1100	1000	990	360	140	200	320	/	/	/	/
4	100	140	300	500	550	770	1400	1300	1200	820	450	220	450	150	/	/	/
5	110	300	440	740	800	1400	1900	1800	1400	900	640	400	460	350	260	/	/
6	/	410	540	1300	/	/	/	/	/	/	1500	650	550	480	380	350	/
7	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	990	640	500	490	420	/
8	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	800	530	640	500	470
9	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	920	920	1000	900
10	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	820	1300	770

D'après le tableau en remarque une concentration d'éclairément dans toute la partie à proximité des fenêtres est, qui varie entre 1900 Lux à 800 Lux, puis il diminue en rapprochant au fond a 200 Lux et au côté ouest vers 100 Lux.

Le graphe suivant montre le niveau d'éclairément à 09h dans la salle d'exposition du musée el moudjahid.

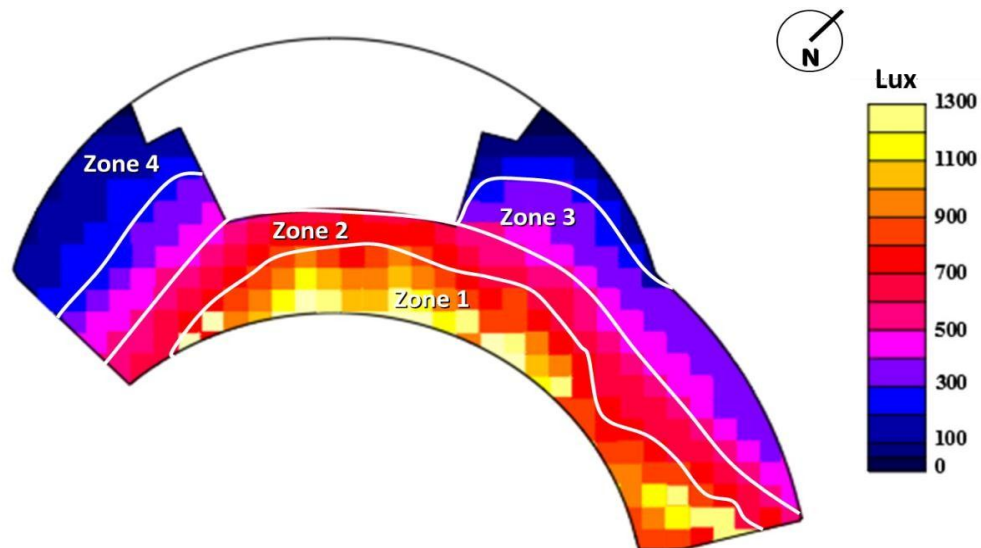


Figure 3-16 : Le niveau d'éclairage à 09h dans la salle d'exposition du musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021)

A l'aide du tableau 2-2 qui représente les recommandations par rapport au niveau d'éclairage dans les espaces d'exposition, et les exigences du niveau d'éclairage on est arrivé à faire les interprétations suivantes :

- La zone 1 : une zone qui occupe toute la partie proximité des ouvertures du côté est, l'éclairage reçu dans cette zone est entre 1900 lux et 1300 lux, le niveau d'éclairage est très élevé.
- La zone 2 : une zone intermédiaire, l'éclairage reçu dans cette zone est entre 800 lux et 500 lux, le niveau d'éclairage est élevé.
- La zone 3 : L'éclairage reçu dans cette zone est entre 500 lux et 300 lux, le niveau d'éclairage est moyen.
- La zone 4 : cette zone loin des ouvertures, la zone du fond de la salle et du côté ouest, l'éclairage reçu dans cette zone est moins de 200 lux ; ici, le niveau d'éclairage est faible.

Dans ce cas, la zone 3 est la seule zone qui reçoit un bon niveau d'éclairage, les deux zones 1 et 2 peuvent causer l'éblouissement à cause de la tache solaire, tandis que la zone 4 est mal éclairée à cause de son faible niveau d'éclairage.

Donc l'éclairage reçu dans cette salle à 09h présente une répartition non-uniforme qui peut causer une fatigue visuelle, un risque d'éblouissement dû au rayonnement directe excessif, un faible niveau d'éclairage au fond de la salle, et donc c'est l'inconfort visuel.

On constate que parmi les éléments qui influent sur la lumière naturelle pénétrante dans la salle d'exposition : la profondeur, l'emplacement de la salle d'exposition au premier entre sol (absence des ouvertures du côté opposé) et la présence d'une végétation dense autour du bâtiment qui empêchent d'éclairer le fond de la salle, l'absence des protections solaires pour la protéger contre l'éblouissement et les rayons solaires directs.

### 3.1.4.2 Le cas du 12 h

Le tableau ci-dessous présente les résultats obtenus à 12h

Tableau 3-2 : résultats de la prise des mesures à 12h dans la salle d'exposition du musée el moudjahid.  
(Source : Auteur, 2021)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	/	30	30	79	/	/	/	/	/	/	95	60	/	/	/	/	/
2	/	90	100	100	/	/	/	/	/	/	130	80	70	/	/	/	/
3	50	90	120	110	170	260	360	310	320	140	130	100	140	/	/	/	/
4	60	100	240	260	200	400	440	400	460	250	340	100	200	150	/	/	/
5	70	200	300	450	260	440	760	420	530	270	370	330	350	240	150	/	/
6	/	340	360	480	/	/	/	/	/	320	1000	400	440	320	180	110	/
7	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1100	1000	840	380	170	/
8	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	600	920	540	360	240
9	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	450	990	400	500
10	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	450	430	380

Dans ce tableau d'éclairément de la salle d'exposition présente une concentration d'éclairément dans la partie extrême est à proximité des fenêtres, qui varie entre 1100 Lux à 700 Lux avec une tache solaire, puis il diminue en rapprochant au fond de la salle à 95 Lux et au côté ouest vers 30 Lux.

Le graphe suivant montre le niveau d'éclairément à 12h dans la salle d'exposition du musée el moudjahid.

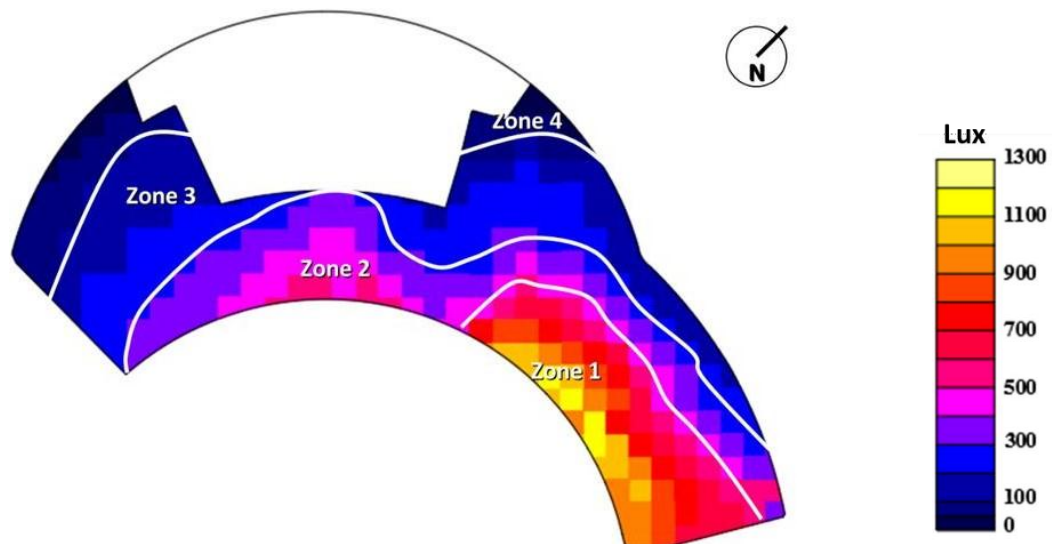


Figure 3-17 : Le niveau d'éclairément à 12h dans la salle d'exposition du musée el moudjahid.  
(Source : Auteur, 2021)

- La zone 1 : une zone qui occupe la partie proximité des ouvertures du côté extrême est, L'éclairage reçu dans cette zone est entre 1100 lux et 700 lux, le niveau d'éclairage est élevé.
- La zone 2 : l'éclairage reçu dans cette zone est entre 500 lux et 300 lux, le niveau d'éclairage est moyen.
- La zone 3 : l'éclairage reçu dans cette zone est entre 200 lux et 100 lux, le niveau d'éclairage est faible.
- La zone 4 : la zone du fond de la salle, l'éclairage reçu dans cette zone est moins de 100 lux ; ici, le niveau d'éclairage est très faible.

Dans ce cas, la zone 2 est la seule zone qui reçoit un bon niveau d'éclairage, les deux zones 1 peut causer l'éblouissement à cause de la tache solaire, la zone 3 et 4 sont mal éclairée à cause de leurs faibles niveaux d'éclairage.

Donc l'éclairage reçu dans cette salle à 12h présente une répartition non-uniforme de l'éclairage qui peut causer une fatigue visuelle, un risque d'éblouissement dû au rayonnement direct, un faible niveau d'éclairage au fond de la salle, et donc c'est l'inconfort visuel.

Parmi les éléments qui influent sur la lumière naturelle pénétrante dans la salle d'exposition à midi : la forme, l'orientation sud-est, la végétation dense environnante et la cloison intérieure de la salle d'exposition qui empêchent d'éclairer la moitié de la salle, l'absence des protections solaires pour protéger contre l'éblouissement et les rayons solaires directs.

### 3.1.4.3 Le cas du 15h

Le tableau ci-dessous présente les résultats obtenus à 15h.

Tableau 3-3 : résultats de la prise des mesures à 15h dans la salle d'exposition du musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	/	21	19	19	/	/	/	/	/	/	38	31	/	/	/	/	/
2	/	22	22	30	/	/	/	/	/	/	48	33	28	/	/	/	/
3	24	22	35	52	40	94	130	120	85	60	60	44	31	/	/	/	/
4	40	45	30	130	70	160	160	180	110	110	100	62	44	47	/	/	/
5	30	57	57	140	120	250	230	250	250	120	160	120	54	130	93	/	/
6	/	62	110	240	/	/	/	/	/	130	230	140	150	140	140	170	/
7	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	150	160	200	170	200	/
8	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	190	240	230	270	200
9	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	250	250	290	400
10	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	180	200	230

Dans ce tableau d'éclairage de la salle d'exposition présente un niveau d'éclairage très faible dans la totalité de l'espace, qui varie entre 250 Lux à 19 Lux, une petite partie de côté nord-est reçoit un éclairage moyen qui arrive à 400 Lux.



Le graphe suivant montre le niveau d'éclairage à 15h dans la salle d'exposition du musée el moudjahid.

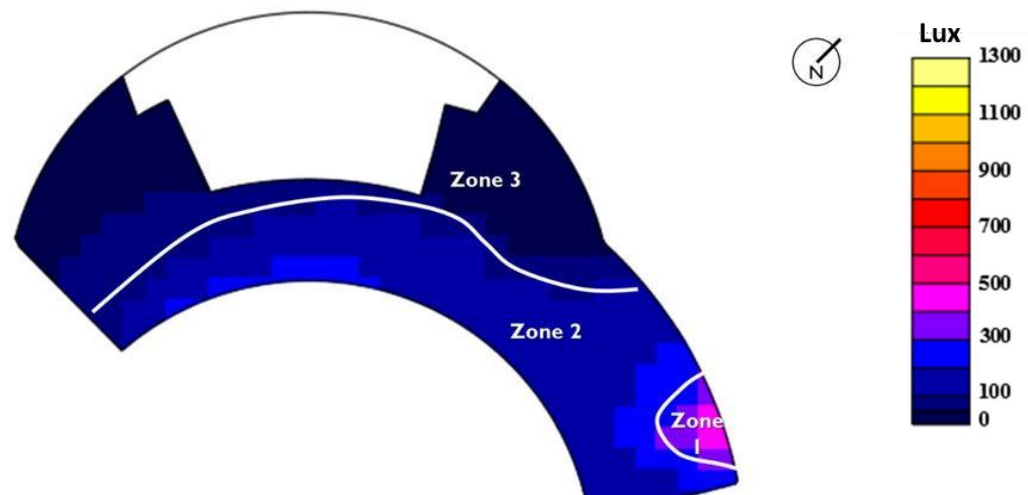


Figure 3-19 : Le niveau d'éclairage à 15h dans la salle d'exposition. (Source : Auteur, 2021).

- La zone 1 : une zone qui occupe une petite partie près de l'ouverture Nord-est, l'éclairage reçu dans cette zone est entre 400 lux et 270 lux, le niveau d'éclairage est moyen.
- La zone 2 : une zone intermédiaire, l'éclairage reçu dans cette zone est entre 200 lux et 100 lux, le niveau d'éclairage est faible.
- La zone 3 : le fond de la salle d'exposition, l'éclairage reçu dans cette zone est inférieur à 50 lux ; le niveau d'éclairage est très faible presque obscure.

Dans ce cas, seul la zone 1 qui reçoit un bon niveau d'éclairage, le reste des zones, zone 2 et 3 sont mal éclairées même peut être obscure due au faible niveau d'éclairage.

Donc l'éclairage reçu dans cette salle à 15h présente une répartition non-uniforme et un faible niveau d'éclairage et donc c'est l'inconfort visuel. Et parmi les éléments qui influent sur la lumière naturelle pénétrante dans la salle d'exposition le soir : l'orientation, la position semi enterrée de la salle d'exposition et la végétation dense environnante qui empêchent d'éclairer la totalité de la salle.

### 3.1.5 Synthèse

D'après cette évaluation quantitative on arrive à conclure que la lumière que reçoit cette salle d'exposition, éclaire la surface des ouvertures est avec une tache solaire qui peut causer l'éblouissement, puis la quantité de lumière diminue en rapprochant au fond de la salle et surtout de côté ouest en créant un zone sombre. Ce qui crée le problème de l'inconfort visuel.

## 3.2 Évaluation qualitative

Le but de cette étude est d'évaluer la qualité de la lumière dans la salle d'exposition du musée el moudjahid, afin de ressortir avec des réponses subjective et de validé les résultats obtenus par l'étude quantitative.

### 3.2.1 La méthode

Consiste à rédiger un questionnaire, en suite le distribuer sur les visiteurs et le personnel afin d'évaluer la qualité de l'environnement lumineux dans la salle d'exposition, enfin l'interprétation des résultats.

### 3.2.2 Le questionnaire développé

Le questionnaire distribué contient seize questions au total, dont trois questions sur les informations personnelles, neuf questions sur la qualité de la lumière et la satisfaction des usagers vis-à-vis le confort visuel, et les quatre dernières questions sur les rayons solaires directes et l'éblouissement. La majorité des questions sont à choix multiple a une échelle de cinq degré (voir annexe 01).

### 3.2.3 Les participants

Parmi les participants, on a les visiteurs et le personnel, l'âge de plupart des questionner se situe entre 20 et 35 ans qui présente un pourcentage de 61 % et le reste entre 35 et plus de 50 ans.

### 3.2.4 Résultats et interprétation

La figure suivant montre le taux de satisfaction des participants vis-à-vis du confort visuel sous la lumière naturelle.

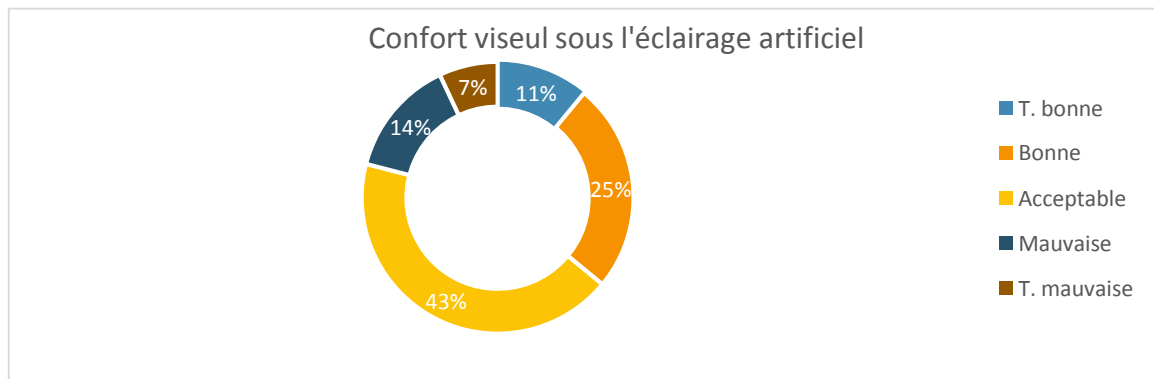


Figure 3-20 : les réponses concernant la satisfaction vis-à-vis le confort visuel en pourcentage. (Source : Auteur, 2021)

D'après ses résultats on arrive conclure que la satisfaction des participants est acceptable vis à vis du confort visuel sous la lumière naturelle. Dont 43 % des participantes ont répondu

comme acceptable, 25 % comme bonne satisfaction, 11 % ont une très bonne satisfaction, 14 % sont peu satisfait et 7 % ne sont pas de tous satisfait.

La figure suivante montre le taux de satisfaction des questionnés vis-à-vis du confort visuel sous l'éclairage artificiel.

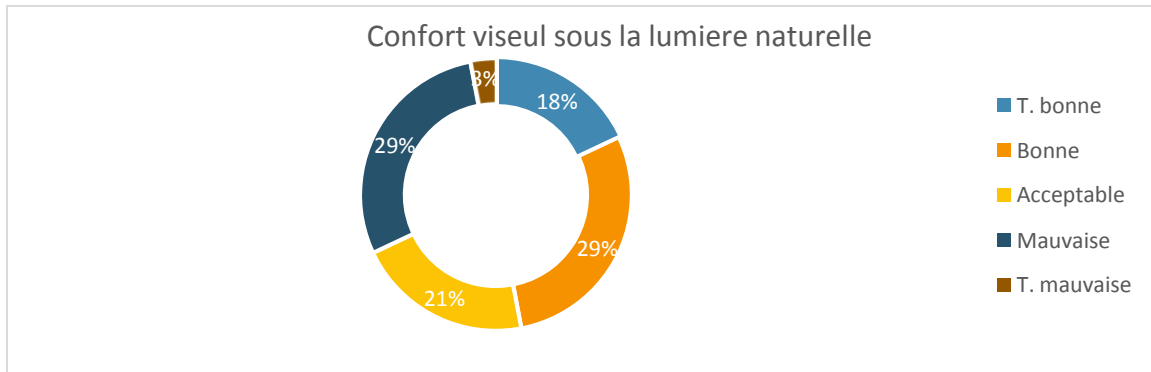


Figure 3-21 : les réponses concernant la satisfaction vis-à-vis le confort visuel en pourcentage. (Source : Auteur, 2021).

Ses résultats nous montrent que parmi les questionner y auna se qui sont peu satisfait, et ce qui ils ont une bonne satisfaction par apport au confort visuel sous l'éclairage artificiel, dont 21 % des questionner l'estime acceptable, 29 % ont une bonne satisfaction et 29 % sont peu satisfait, 18 % ont une très bonne satisfaction et 3 % sont pas de tous satisfait.

La figure suivante montre l'avis des participantes vis-à-vis ambiance lumineuse dans la salle d'exposition.

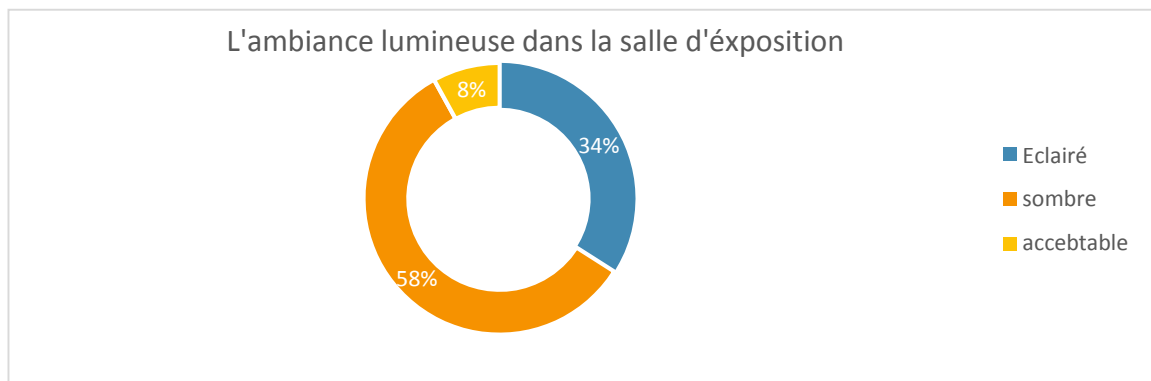


Figure 3-22 : les réponses concernant l'ambiance lumineuse en pourcentage. (Source : Auteur, 2021)

La figure montre que la majorité des participants trouve que l'ambiance lumineuse dans la salle d'exposition est sombre. Ou 58 % des participants design que l'ambiance et sombre, 34 % la trouve éclairer et 8 % la trouve acceptable.

La figure suivant montre le choix des participant par apport au mode d'éclairage

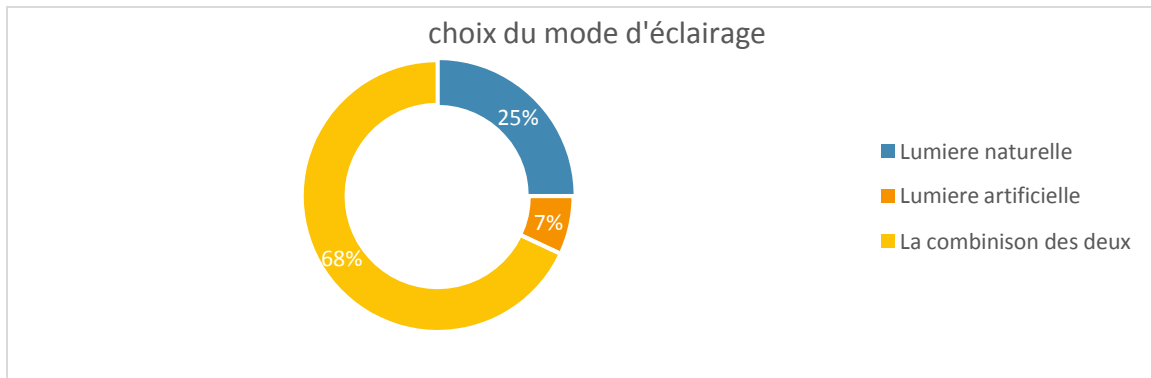


Figure 3-23 : les réponses concernant le choix de la lumière en pourcentage. (Source : Auteur, 2021)

La plupart des participants préfèrent la visite sous la combinaison de l'éclairage artificiel et la lumière naturelle, dont 25 % des participantes préfèrent la visite sous la lumière naturelle, 7 % sous éclairage artificiel et 68 % préfère la visite sous la combinaison les deux types d'éclairage.

La figure suivant montre la source d'éblouissement dans la salle d'exposition.

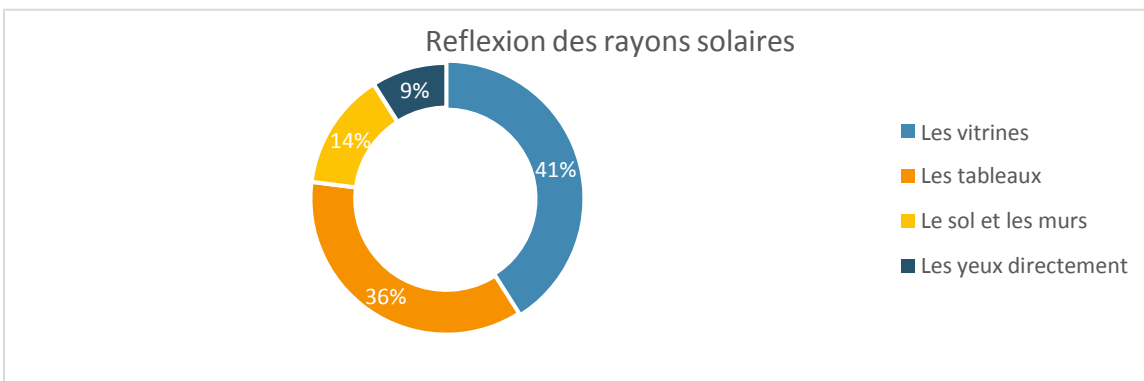


Figure 3-24 : les réponses concernant la réflexion en pourcentage. (Source : Auteur, 2021)

La plupart des visiteurs ou personnel ont reçu de l'éblouissement dans la salle d'exposition, et cela surtout par réflexion sur les vitrines. 56 % des participants ont reçu des rayons solaires, et 44 % n'ont pas reçu. Dont 41 % de ceux qui ils ont reçu par réflexion sur les vitrines, 36 % sur les tableaux, 14 % sur le sol et les murs, 9 % sur le champ visuel directement.

### 3.2.5 Synthèse

Cette étude qualitative nous mène à conférer les interprétations précédentes de l'évaluation quantitative, à savoir que les participants sont pu satisfait du confort visuel présenter dans la salle d'exposition, soit sous lumière naturelle ou éclairage artificiel. Ils

désignent que la salle en tant que sombre avec sources d'éblouissement. Et ils préfèrent la visite sous la combinaison des deux types d'éclairages.

## **Conclusion**

D'après ce chapitre, on arrive à conclure que la lumière que reçoit cette salle d'exposition, éclaire la surface qui se trouve près des ouvertures est, puis la quantité de lumière diminue en rapprochant au fond de la salle et surtout de côté ouest ce qui peut être inconfortable pour les visiteurs. Parmi les paramètres qui influent sur la lumière naturelle dans ce musée, on a : la profondeur de la salle d'exposition, sa forme, son orientation sud-est, sa position semi enterrée, les cloisons intérieures, présence d'une végétation dense autour du bâtiment et des vitrines et tableau qui empêchent la pénétration de la lumière naturelle.

L'enquête effectuée lors de ce chapitre nous a permis de confirmer les résultats quantitatifs obtenus précédemment, de ressortir avec des constats tel que : les deux types d'éclairage utilisés dans ce cas d'étude sont complémentaires, la lumière naturelle a un impact positif sur le confort visuel des visiteurs et leur permet une vision sans fatigue, et met en valeur les expositions.

# Chapitre 4 Simulation numérique

## Introduction

Les méthodes informatiques sont souvent utilisées dans les phases de conception et de construction, afin d'optimiser la lumière naturelle dans les bâtiments soit neufs ou existants. En terme de logiciel, et avec le développement du monde informatique, plusieurs types de logiciel de simulation ont été apparus qui permettent de déterminer et calculer l'éclairement, la consommation électrique de l'éclairage et les économies. En terme d'outils, on trouve les trois programmes : Ecotect, Radiance et velux sont les logiciels de simulation de la lumière naturelle les plus recommandés (Daich, s. d.).

Dans ce chapitre, nous allons définir le logiciel de simulation Radiance ainsi le domaine de son utilisation et le processus de travail par ce logiciel, ensuite nous allons effectuer une analyse de la lumière naturelle dans la salle d'exposition du musée el moudjahid de Bejaia par le logiciel Radiance, pour vérifier les conditions de la lumière naturelle et celle du confort visuel dans cette dernière. Et en termine par une interprétation et une petite comparaison entre les résultats obtenus lors de l'étude empirique et les résultats de la simulation.

### 4.1 Présentation du logiciel radiance :

Radiance est un logiciel d'analyse et de visualisation de la lumière naturelle ou artificielle, créée par Greg Ward. Cet outil est généralement utilisé durant les différentes phases de conception d'un bâtiment, soit par les architectes, les concepteurs ou les ingénieurs. Pour prévoir le niveau d'éclairement d'un espace et sa luminance et d'évaluer les conditions d'éclairage. Les résultats obtenus par ce logiciel sont donnés avec une grande précision et à très haute qualité ce qui en fait de lui une référence dans le monde.



Figure 4-1 : Radiance. (Source : Google image, 2021)

À l'aide d'un modèle géométrique, trois dimensions, ce logiciel de simulation peut nous donner des résultats : en luminance, éclairement ou en FLJ, etc. Sous forme : iso-ligne, iso-bandes, fausses-couleurs, sensibilité humaine, etc. Pour mieux comprendre les résultats ([www.radiance-online.org](http://www.radiance-online.org))

## 4.2 Domaine d'utilisation du logiciel radiance :

D'après MAAMARI (2004) : Radiance est un logiciel utilisé généralement dans les bureaux d'étude du bâtiment et des architectes, et moins que dans la programmation des jeux vidéo. Il peut être utilisé dans :

- **La conception de l'éclairage artificiel** : Pour l'éclairage intérieur ou extérieur des locaux, éclairage des monuments, des routes, des trottoirs, ou l'éclairage des tunnels, etc
- **La conception de l'éclairage naturel** : Pour le dimensionnement des fenêtres et les protections solaires, l'orientation du bâtiment, analyse de la lumière du jour entrant dans un bâtiment et le facteur de lumière de jour, etc.



Figure 4-2 : Conception de l'éclairage naturel. (Source : Google image, 2021)

- **Le rendu** : C'est par la présentation décorative intérieure ou extérieure d'un projet architectural.
- **La création de scènes de réalité virtuelle** : Utilisé dans le monde du cinéma, de la publicité ou des jeux vidéo, etc.

## 4.3 La simulation

Consiste à faire une simulation sur la lumière naturelle dans le musée el moudjahid de Bejaia. Son but est de savoir la quantité de lumière entrante dans cette salle d'exposition, et es ce qu'elle offre des bonne condition d'éclairément en terme de confort visuel (voir annexe 02 pour les étapes de travail par radiance).

### 4.3.1 Étape I

S'agit de remonter la 3D de notre cas d'étude dans un logiciel du modélisation (Dans notre cas c'est Archicad).

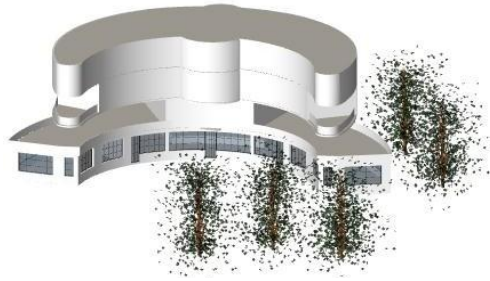


Figure 4-3 : La 3D du musée el moudjahid de Bejaia sur Archicad. (Source : Auteur, 2021)

### 4.3.2 Étape II

Importé le fichier Archicad (sous forme DXF) sur le logiciel Ecotect ensuite complété les données suivantes : les données climatiques de la région, le nom du projet, le type du bâtiment étudié, l'environnement du bâtiment et l'orientation du projet, date et heure.

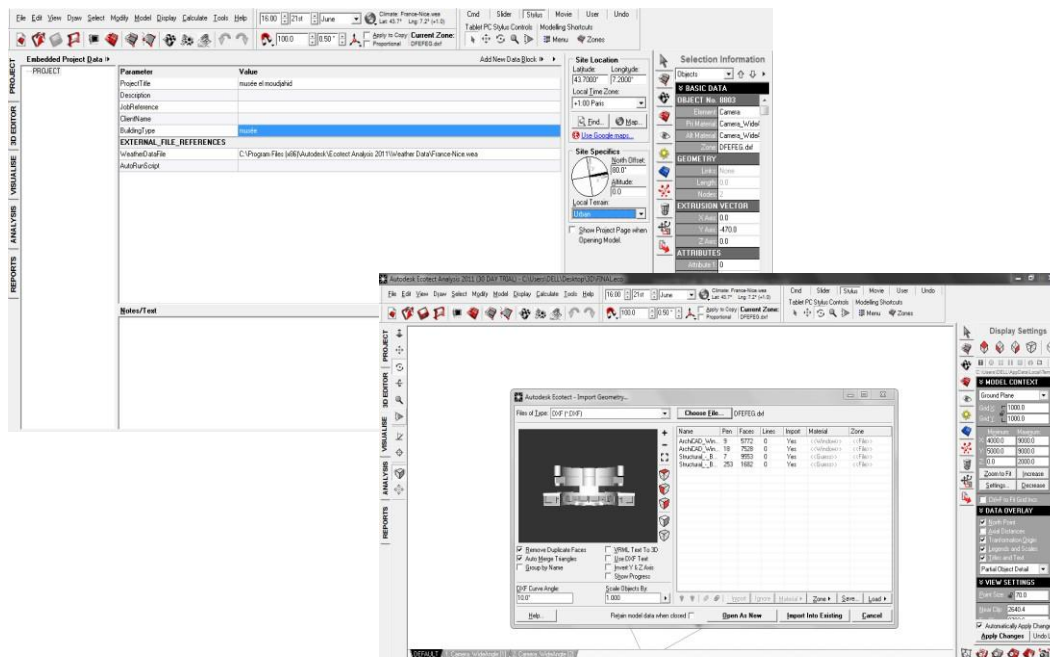


Figure 4-4 : Les étapes d'importer le fichier Archicad sur Ecotect et de remplir les données du musée el moudjahid de Bejaia. (Source : Auteur, 2021)

### 4.3.3 Étape III

La dernière étape consiste à pousser des caméras vers les ouvertures au niveau de la salle d'exposition. Puis lancer l'analyse de la lumière par le logiciel radiance (Suivant les étapes de travail par le logiciel radiance).



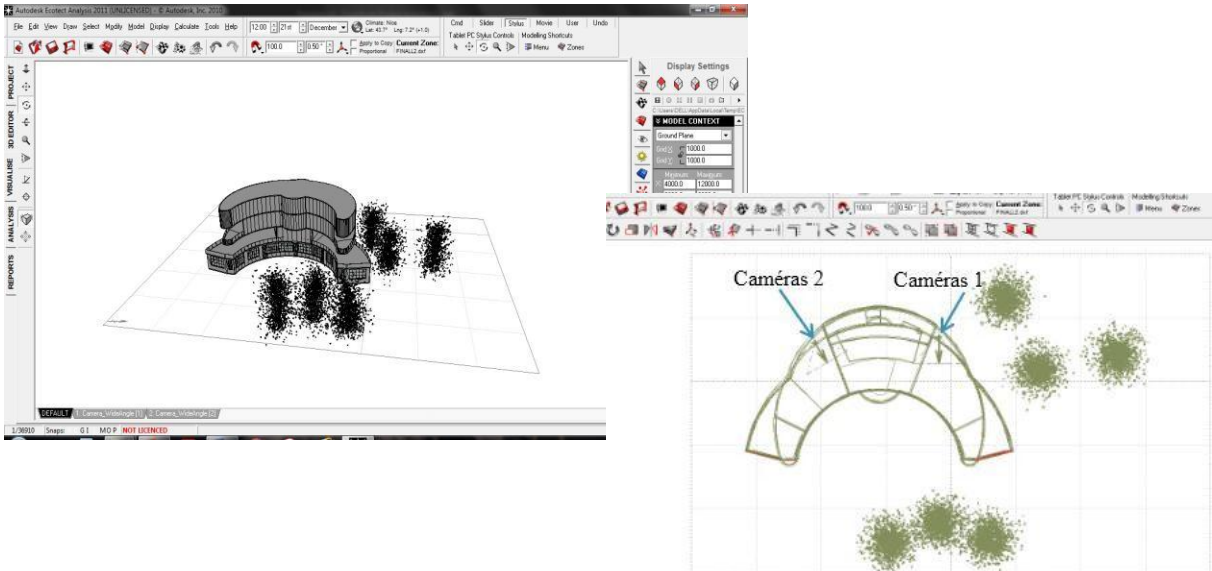


Figure 4-5 : Positionnement des caméras dans la 3D du musée el moudjahid de Bejaia. (Source : Auteur, 2021)

- Les caméras sont posées de manière à voir un champ sur les ouvertures et les expositions.

## 4.4 Les résultats et interprétation

Les résultats sont obtenus à l'aide d'un logiciel de simulation radiance pendant trois jours, une journée pour chaque saison (en hiver, en été et en entre-saison), et pour chaque jour en trois heures différentes (le matin, mi-journée, le soir).

Pour effectuer les interprétations des résultats, en a eu référence aux exigences de la lumière naturelle dans les espaces d'exposition (voir chapitre 2)

### 4.4.1 Le cas du 21 septembre

Les résultats donnent la tache solaire et le niveau d'éclairement dans la salle d'exposition le 21 septembre à 9h, 12h, 16h.

#### 4.4.1.1 Cas du 09 :00h

Le niveau d'éclairement by Radiance :

➤ **Caméra 1 :**

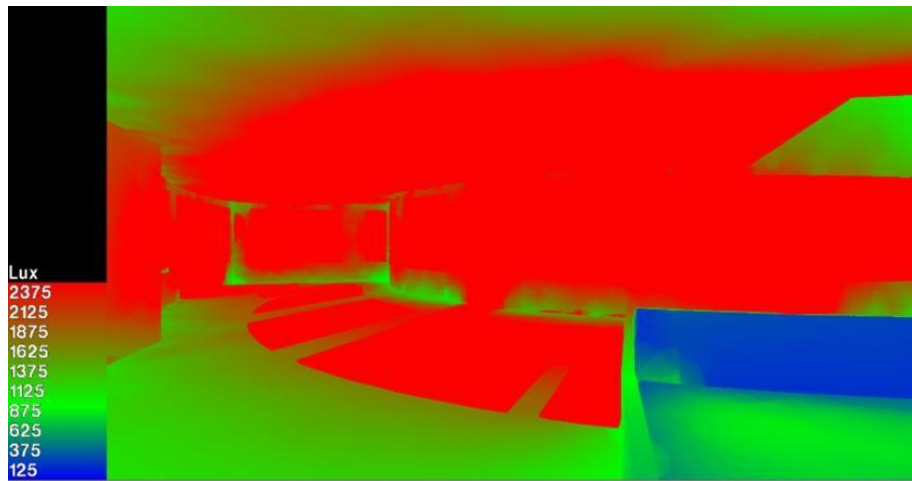


Figure 4-6 : Le niveau d'éclairage par la caméra 1 le 21 septembre à 9h. (Source : auteur, 2021)

Le côté est de la salle d'exposition reçoit un niveau d'éclairage de 2200 Lux près des ouvertures, la zone intermédiaire de la salle arrive à 1300 Lux, avec une grande tache solaire tout au long des fenêtres, puis il diminue en rapprochant au fond de la salle à 600 Lux.

➤ **Caméra 2 :**

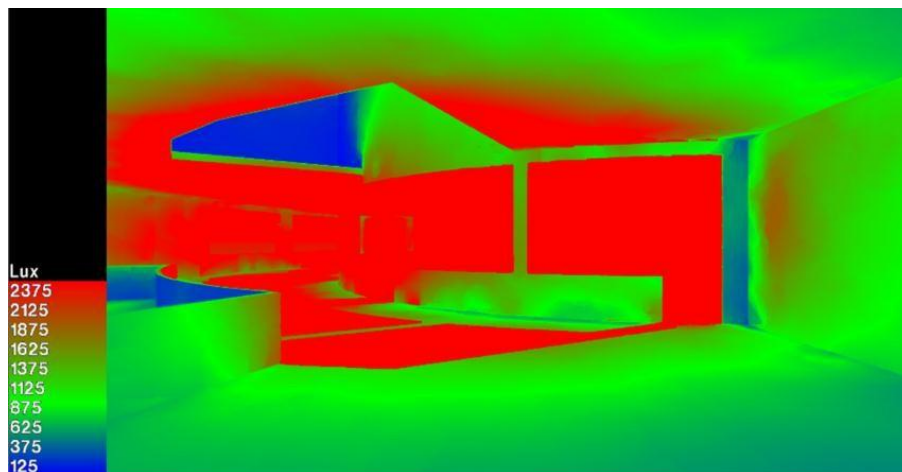


Figure 4-7 : Le niveau d'éclairage par la caméra 2 le 21 septembre à 9h. (Source : auteur, 2021)

Le côté ouest de la salle d'exposition reçoit un niveau d'éclairage 1300 Lux près des ouvertures, avec une tache solaire oblique vers l'est. La zone intermédiaire arrive à 600 Lux, puis il diminue en rapprochant au fond de la salle à moins 300 Lux.

La salle reçoit un éclairage fort près des ouvertures de l'est, puis il diminue en rapprochant du fond de la salle et de côté ouest. Avec une tache solaire toute au long des fenêtres

oblique vers l'est. Seule la partie près des ouvertures du côté ouest qui présente un niveau d'éclairage moyen.

#### 4.4.1.2 Cas du 12 :00h

Le niveau d'éclairage by Radiance :

##### ➤ Caméra 1 :

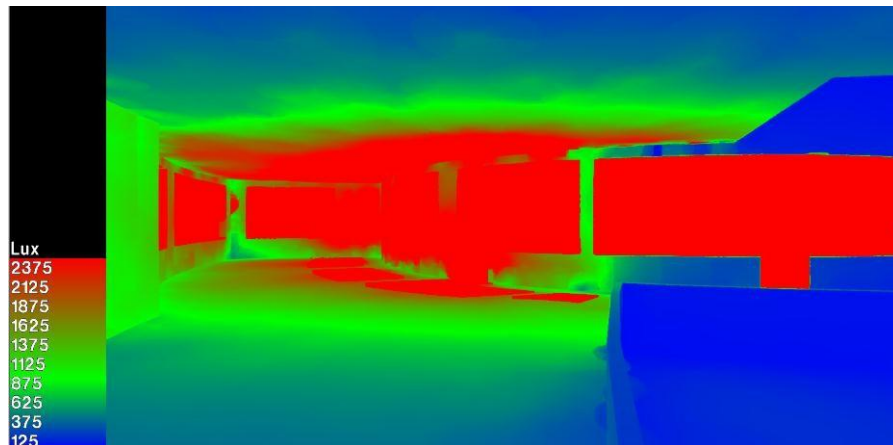


Figure 4-8 : Le niveau d'éclairage par la caméra 1 le 21 septembre à 12h. (Source : auteur, 2021)

Le côté est de la salle d'exposition reçoit un niveau d'éclairage de 2100 Lux près des ouvertures, la zone intermédiaire de la salle arrive à 800 Lux, avec une tache solaire à fluer des fenêtres, puis il diminue en rapprochant au fond de la salle de Lux à 200 Lux.

##### ➤ Caméra 2 :

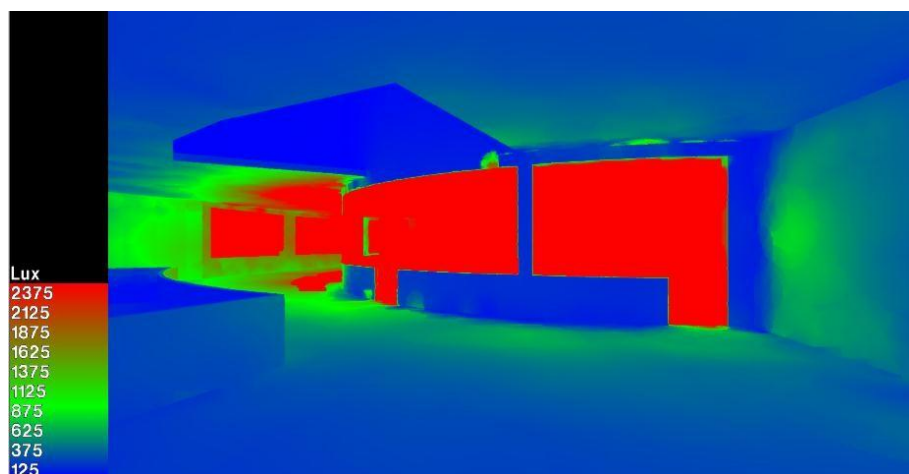


Figure 4-9 : Le niveau d'éclairage par la caméra 2 le 21 septembre à 12h. (Source : auteur, 2021)

Le côté ouest de la salle d'exposition reçoit un niveau d'éclairage de 300 Lux près des ouvertures, puis il diminue en rapprochant au fond de la salle a moins de 100 Lux.

La salle reçoit un éclairage fort près des ouvertures de l'est avec une petite tache solaire à fluer des fenêtres, puis il diminue en rapprochant du fond de la salle et de côté ouest (le niveau d'éclairage du fond du côté ouest est très faible). Seule la zone intermédiaire du côté est présente un niveau d'éclairage moyen.

#### 4.4.1.3 Cas du 16 :00h

Le niveau d'éclairage by Radiance :

##### ➤ Caméra 1 :

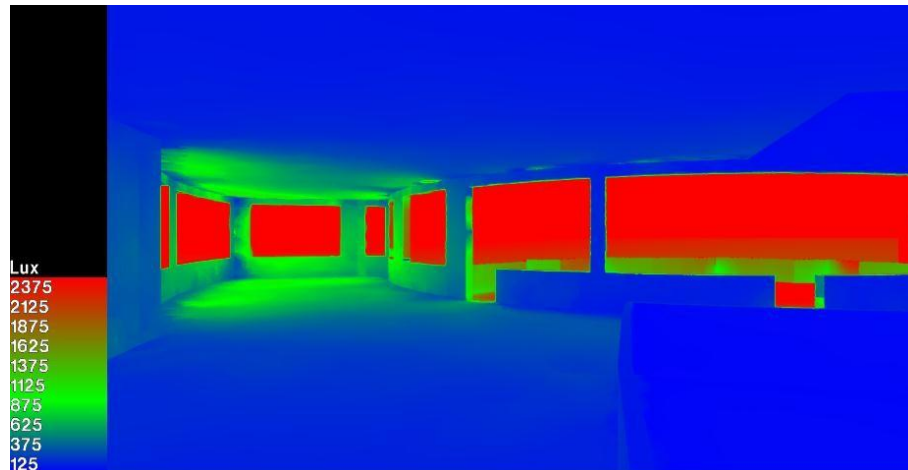


Figure 4-10 : Le niveau d'éclairage par la caméra 1 le 21 septembre à 16h. (Source : auteur, 2021)

Le côté est de la salle d'exposition reçoit un niveau d'éclairage de 600 Lux près de la fenêtre d'extrémité, puis l'éclairage diminue de 225 Lux à 100 Lux en rapprochant au fond de la salle.

##### ➤ Caméra 2 :

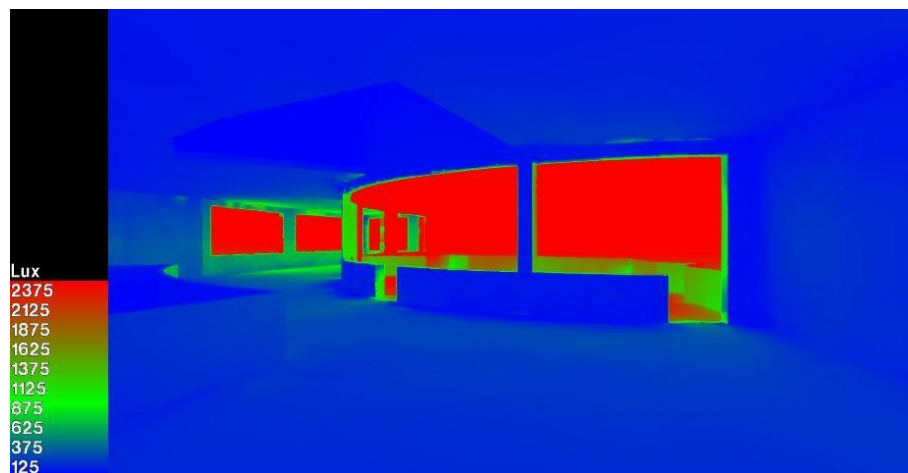


Figure 4-11 : Le niveau d'éclairage par la caméra 2 le 21 septembre à 16h. (Source : auteur, 2021)

La globalité du côté ouest de la salle d'exposition reçoit un niveau d'éclairage inférieure à 100 Lux.

La salle reçoit un éclairage faible surtout le fond du côté ouest (le niveau d'éclairage du fond du côté ouest est très faible). Seule la zone extrême du côté est reçoit un niveau d'éclairage moyen.

Le 21 septembre la salle reçoit un éclairage fort près des ouvertures le matin et à midi avec un fond mal éclairé ce qui est non uniforme et peut créer un fort contraste. Avec une tache solaire qui peut être une source d'éblouissement pour les visiteurs et comme source de dégradation pour les œuvres exposés. Et le soir, la salle est mal éclairée. D'après ces paramètres, on arrive à conclure que c'est l'inconfort visuel.

#### 4.4.2 Le cas du 21 décembre :

Les résultats donnent la tache solaire et le niveau d'éclairage dans la salle d'exposition le 21 décembre à 9h, 12h, 16h.

##### 4.4.2.1 Cas du 09 :00h

Le niveau d'éclairage by Radiance :

##### ➤ Caméra 1 :

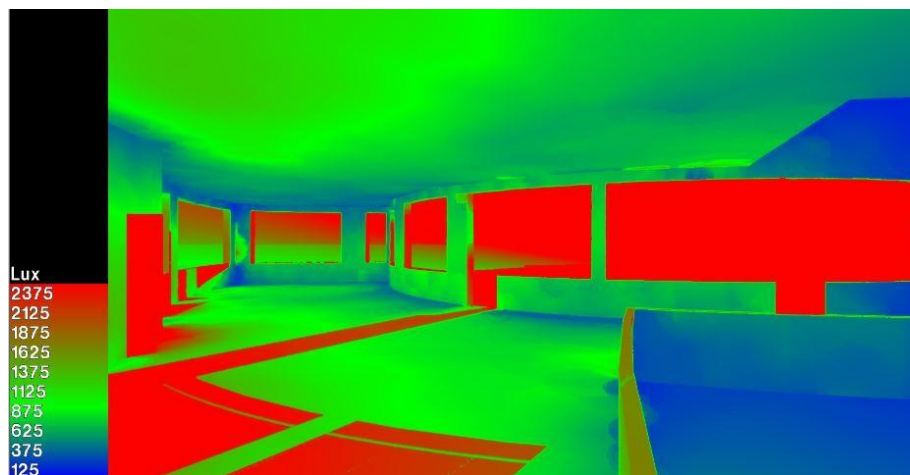


Figure 4-12 : Le niveau d'éclairage par la caméra 1 le 21 décembre à 9h. (Source : auteur, 2021)

Le côté est de la salle d'exposition reçoit un niveau d'éclairage de 1300 Lux au fond de la salle avec une tache solaire tout au fond de la pièce, puis le niveau d'éclairage diminue en rapprochant des fenêtres à 300 Lux.

➤ **Caméra 2 :**

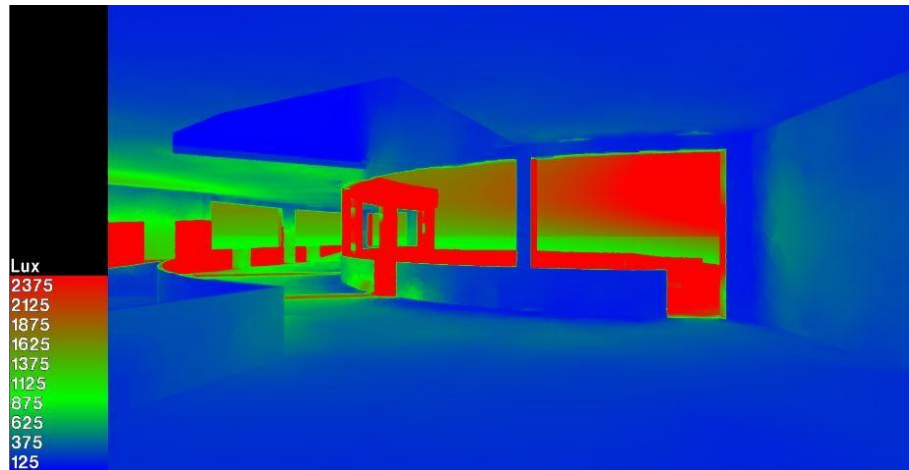


Figure 4-13 : Le niveau d'éclairage par la caméra 2 le 21 décembre à 9h. (Source : auteur, 2021)

Le côté ouest de la salle d'exposition reçoit un niveau d'éclairage de 125 Lux près des ouvertures, puis il diminue en rapprochant au fond de la salle a moins 100 Lux.

La salle reçoit un éclairage moyen à la zone intermédiaire du côté est, mais avec une tache solaire au fond. Puis il diminue en rapprochant du côté ouest de la salle à 100 Lux.

#### 4.4.2.2 Cas du 12 :00h

Le niveau d'éclairage by Radiance :

➤ **Caméra 1 :**

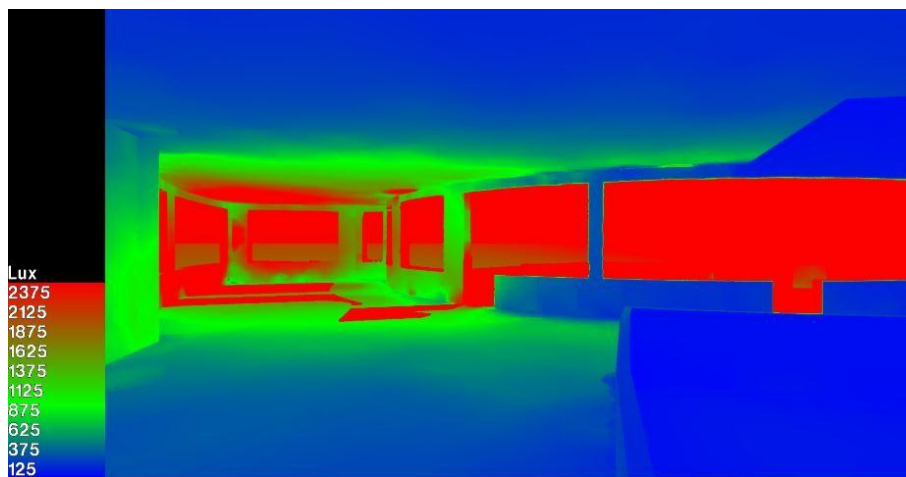


Figure 4-14 : Le niveau d'éclairage par la caméra 1 le 21 décembre à 12h. (Source : auteur, 2021)

Le côté est de la salle d'exposition reçoit un niveau d'éclairage de 1300 Lux près des fenêtres extrêmes est avec une tache solaire, puis le niveau d'éclairage diminue en rapprochant du fond a 300 Lux.

➤ **Caméra 2 :**

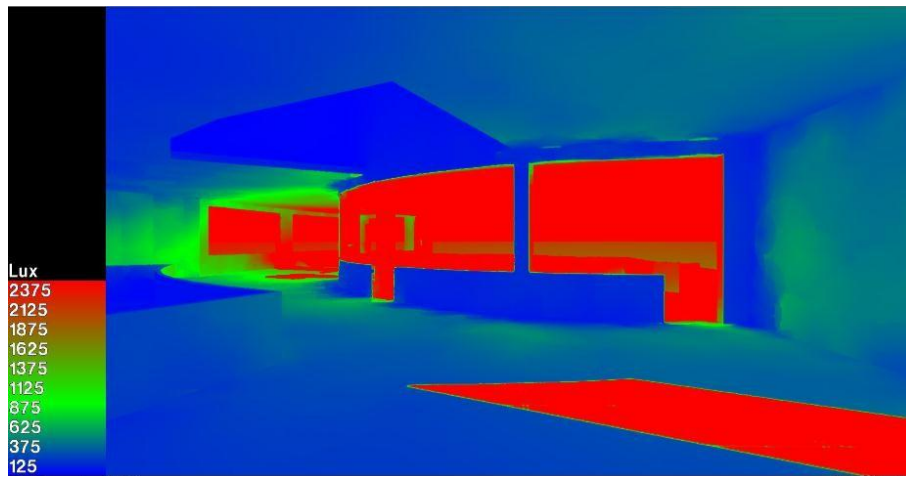


Figure 4-15 : Le niveau d'éclairage par la caméra 2 le 21 décembre à 12h. (Source : auteur, 2021)

Le côté ouest de la salle d'exposition présente un niveau d'éclairage de 125 Lux près des ouvertures, puis il diminue en rapprochant au fond de la salle à moins 100 Lux. Avec une tache solaire.

La salle reçoit un éclairage moyen a la partie extrême du côté est, mais avec une tache solaire. Puis il diminue en rapprochant du font et du côté ouest de la salle à 100 Lux avec la présence de la tache solaire.

#### 4.4.2.3 Cas du 16 :00h

Le niveau d'éclairage by Radiance :

➤ **Caméra 1 :**

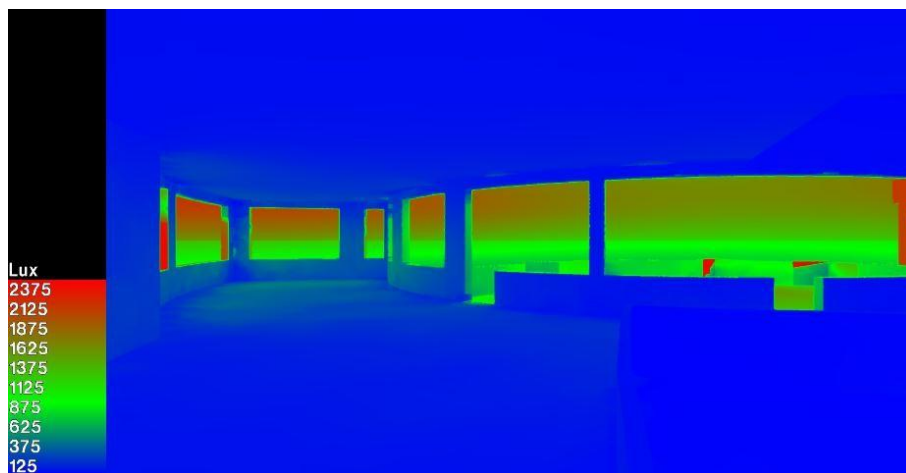


Figure 4-16 : Le niveau d'éclairage par la caméra 1 le 21 décembre à 16h. (Source : auteur, 2021)

Le côté est de la salle d'exposition reçoit un niveau d'éclairage de 125 Lux près de la fenêtre d'extrémité, puis l'éclairage diminue à moins de 100 Lux en rapprochant au fond de la salle.

➤ **Caméra 2 :**

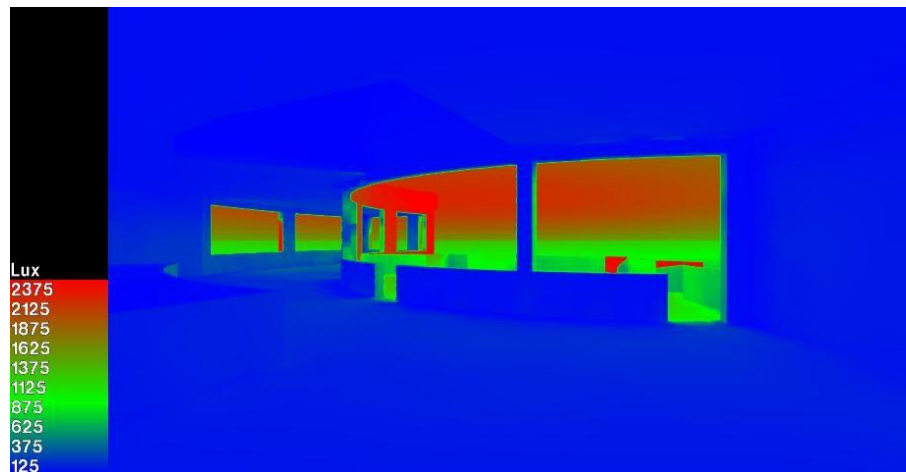


Figure 4-17 : Le niveau d'éclairage par la caméra 2 le 21 décembre à 16h. (Source : auteur, 2021)

La globalité du côté ouest de la salle d'exposition reçoit un niveau d'éclairage inférieure à 100 Lux.

La globalité de la salle reçoit un éclairage très faible.

Le 21decembre, seul le coté est qui reçoit un éclairage le reste de la salle est non éclairer pendant toute la journée ce qui non-uniforme, avec des taches solaires qui peuvent être une source d'éblouissement pour les visiteurs et comme source de dégradation pour les œuvres exposés. Le soir, la salle peut être obscure.

D'après ces paramètres, on conclut que c'est l'inconfort visuel.

### 4.4.3 Le cas du 21 juin

Les résultats donnent la tache solaire et le niveau d'éclairage dans la salle d'exposition le 21 juin à 9h, 12h, 16h.

#### 4.4.3.1 Cas du 09 :00h

Le niveau d'éclairage by Radiance :



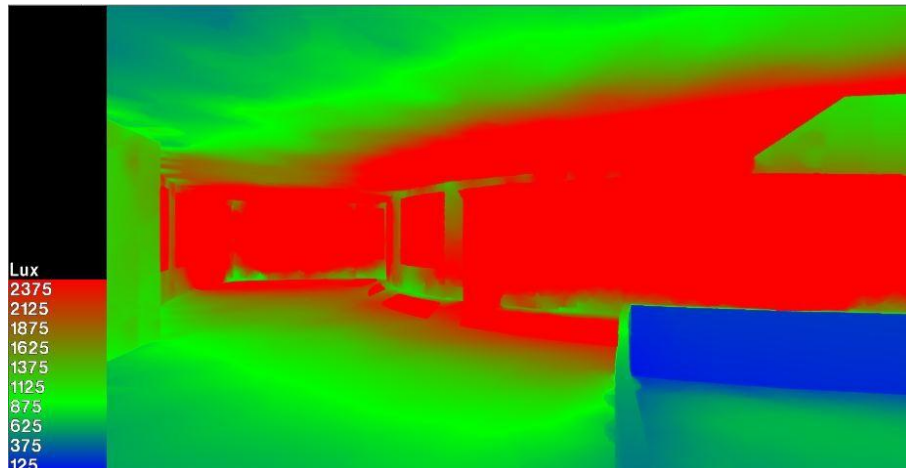
➤ **Caméra 1 :**

Figure 4-18 : Le niveau d'éclairage par la caméra 1 le 21 juin à 9h. (Source : auteur, 2021)

Le côté est de la salle d'exposition reçoit un niveau d'éclairage de 2200 Lux tout au long des fenêtres avec une tache solaire sous forme d'une bande étroite près des fenêtres. La zone intermédiaire arrive à 1200 Lux, puis le niveau d'éclairage diminue en rapprochant au fond a 400 Lux.

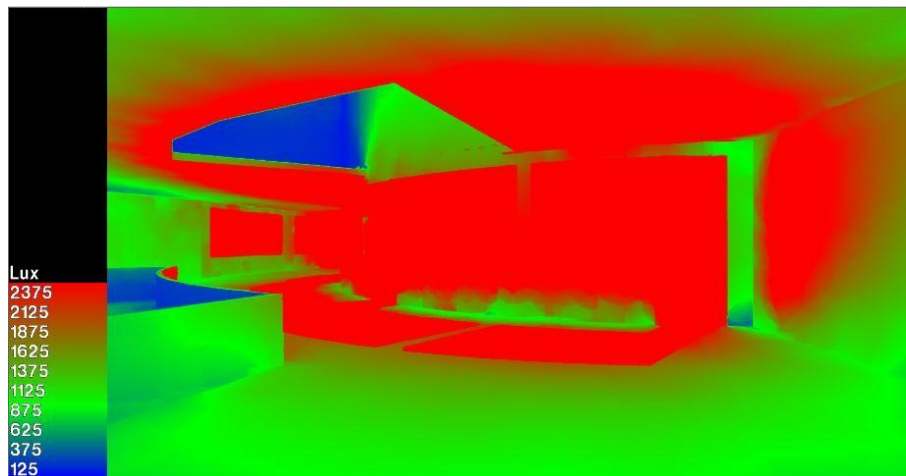
➤ **Caméra 2 :**

Figure 4-19 : Le niveau d'éclairage par la caméra 2 le 21 juin à 9h. (Source : auteur, 2021)

Le côté ouest de la salle d'exposition reçoit un niveau d'éclairage de 2100 Lux près des ouvertures avec une tache solaire oblique, puis il arrive à 800 Lux en rapprochant au fond.

La salle reçoit un éclairage très fort tout au long des fenêtres du côté est au côté ouest avec une tache solaire, puis le reste de la salle présente un niveau d'éclairage moyen.

#### 4.4.3.2 Cas du 12 :00h

Le niveau d'éclairage by Radiance :

##### ➤ Caméra 1 :

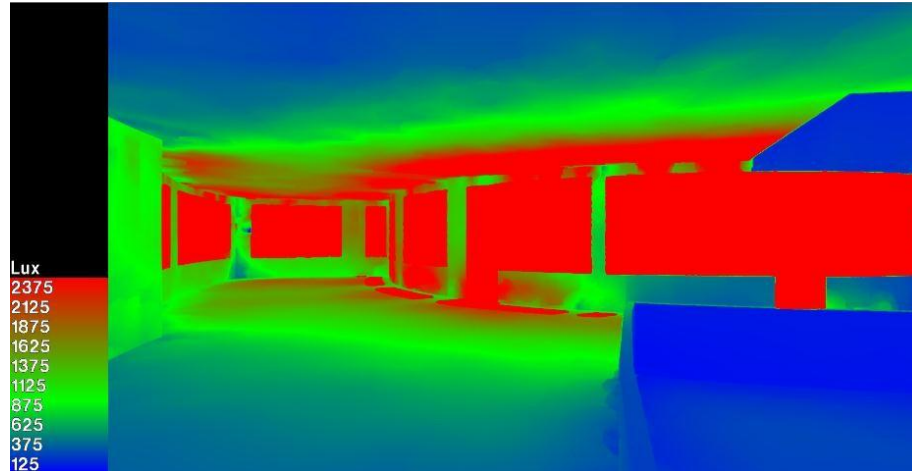


Figure 4-20 : Le niveau d'éclairage par la caméra 1 le 21 juin à 12h. (Source : auteur, 2021)

Le côté est de la salle d'exposition reçoit un niveau d'éclairage de 2100 Lux près des fenêtres extrêmes est avec une tache solaire étroite, la zone intermédiaire extrême arrive à 1100 Lux, puis le niveau d'éclairage diminue en rapprochant du fond à 600 Lux.

##### ➤ Caméra 2 :

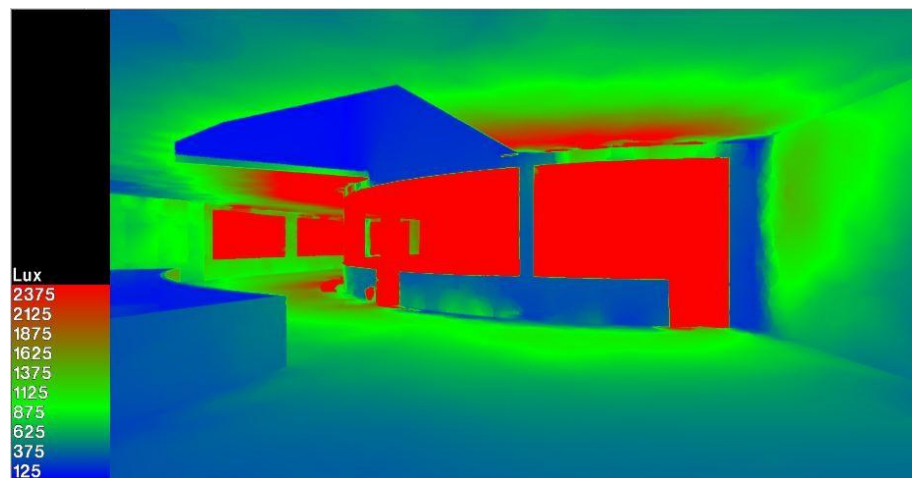


Figure 4-21 : Le niveau d'éclairage par la caméra 2 le 21 juin à 12h. (Source : auteur, 2021)

Le côté ouest de la salle d'exposition présente un niveau d'éclairage de 1100 Lux près des ouvertures, puis il diminue en rapprochant au fond de la salle 300 Lux. Avec une tache solaire.

La salle reçoit un éclairage très fort dans la partie extrême du côté est, avec une tache solaire. Puis il diminue en rapprochant du front et du côté ouest de la salle. Le niveau d'éclairage moyen est présenté dans la zone intermédiaire est, et la partie près des ouvertures ouest.

#### 4.4.3.3 Cas du 16 :00h

Le niveau d'éclairage by Radiance :

##### ➤ Caméra 1 :

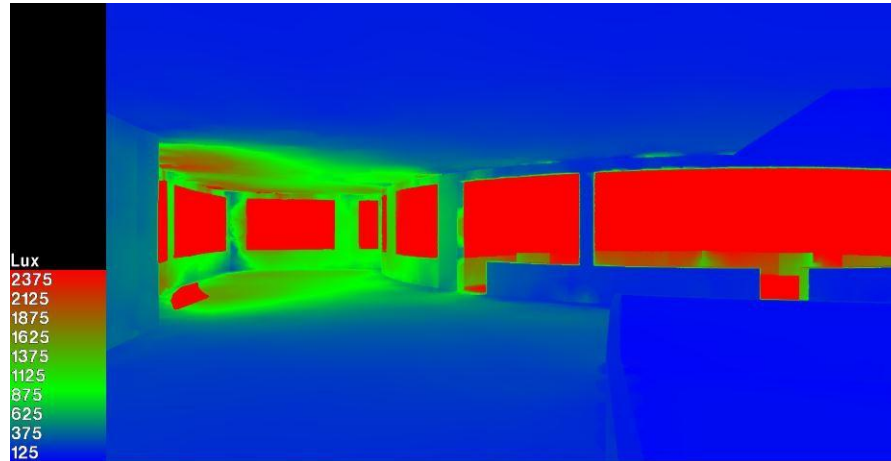


Figure 4-22 : Le niveau d'éclairage par la caméra 1 le 21 juin à 16h. (Source : auteur, 2021)

Le côté est de la salle d'exposition reçoit un niveau d'éclairage de 1800 Lux au fond du côté extrême est avec une petite tache solaire, l'éclairage arrive à 800 Lux du côté extrême est. Puis l'éclairage diminue à moins de 100 Lux en rapprochant au fond de la salle.

##### ➤ Caméra 2 :

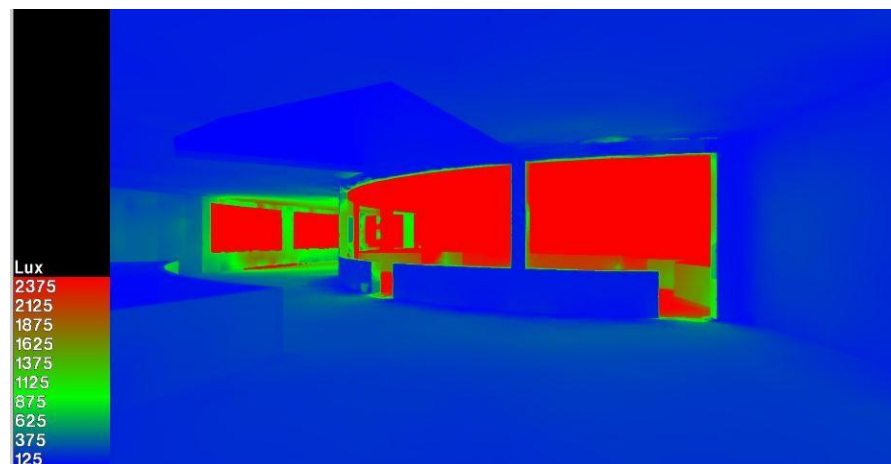


Figure 4-23 : Le niveau d'éclairage par la caméra 2 le 21 juin à 16h. (Source : auteur, 2021)

La globalité du côté ouest de la salle d'exposition reçoit un niveau d'éclairage inférieur à 100 Lux. Donc la salle reçoit un éclairage fort dans le fond du côté extrême est avec un tache solaire, seule la partie extrême est reçoit un éclairage moyen. Le reste de la salle présente un niveau d'éclairage faible.

Le 21 juin, le matin, la salle est bien éclairée, mais à midi juste la zone près des ouvertures qui reçoit un bon éclairage, sinon le fond est mal éclairé ce qui est non-uniforme. Avec des taches solaires qui peuvent être des sources d'éblouissement pour les visiteurs et comme source de dégradation pour les œuvres exposés. Et le soir, la salle est mal éclairée. D'après ces paramètres, on conclut que c'est l'inconfort visuel.

## 4.5 Comparaison des résultats

Le but de cette comparaison, est de valider le modèle et les résultats obtenues par la simulation. La comparaison se fera par des zones (zone 1, zone2, zone 3, zone 4), et par apport à la journée simuler du 21septembre (même saison avec celle de mesure in situ), dans les trois heures : 9h, 12h, 16h. Le taux de variation est donné par l'équation suivante :

$$TV = \frac{(R_s - R_r)}{R_r} \times 100\%$$

Équation 4-1 : Taux de variation. (Source : <https://www.super-bac.com/articles/methodologie/calculer-taux-de-variation/>, 2020)

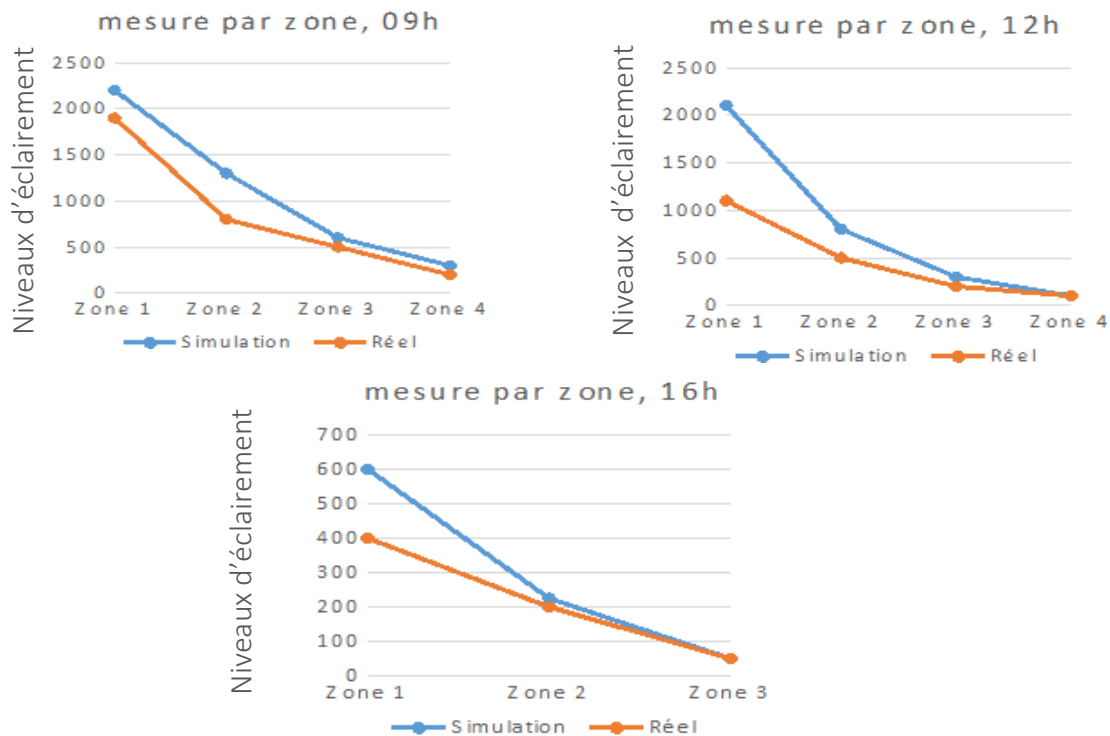


Figure 4-24 : Comparaison de mesures d'éclairage entre mesure in situ et simulation 21 Sept 16h (Source : Auteur, 2021)

Le taux de variation est calculé à partir des résultats obtenus lors de la prise de mesure in situ et la simulation. Il nous donne des résultats acceptables pour la zone 3, le taux de variation atteint 20% à 9h, à 12h et 16h le taux de variation est nul, ici y'a une certaine correspondance entre les résultats. Le TV arrive à 12% pour la zone 2 à 16h.

D'après ses résultats on peut dire qu'il y'a une certaine concordance entre les résultats de l'étude empirique et la simulation. Les courbes précédentes (réelles et simulées) présentent presque un même profil ; la petite marge de différence elle peut être justifiée par :

- Le mode de la prise de mesure manuel
- Les matériaux utilisée dans la simulation (c'est difficile de garantir une correspondance parfaite entre les matériaux de la simulation et les matériaux réels).
- Simulations effectuées sur salle d'exposition vide tandis que les mesures in situ sont prise dans le cas d'une salle d'exposition meublée.

D'après ces paramètres en peut dire que les résultats obtenus sont satisfaisants, ce qui nous permet de valider les résultats obtenus lors de la simulation.

## 4.6 Proposition des solutions

Afin de résoudre le problème rencontré dans la prise de mesure in situ et la simulation (problème du confort visuel et éblouissement), et d'améliorer les conditions du confort visuel, nous proposons des solutions passive adéquate à notre cas d'étude tel que : aménagement des light shelves au niveau de toutes les fenêtres afin d'éclairer le fond du local et de protéger contre les rayons solaires directs près des ouvertures. Pour cela nous avons créé des light shelves au niveau de 2 m de toutes les fenêtres.

Les figures suivantes montrent les résultats de simulation avec et sans light shelves et la différence entre ses résultats, dans le cas du 21 juin à midi.

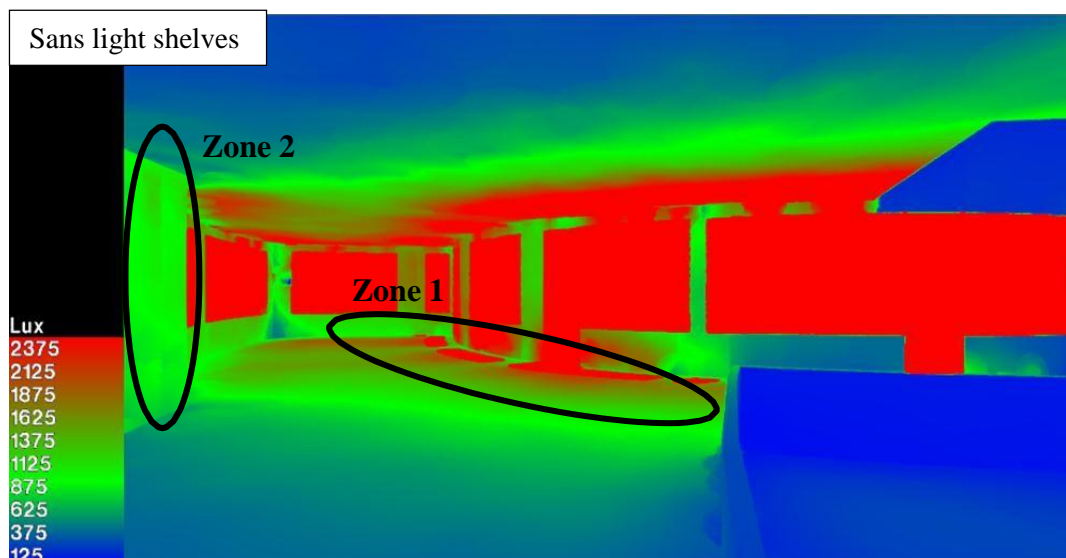


Figure 4-25 : Le cas du 21 juin à 12h sans light shelves. (Source : Auteur, 2021)

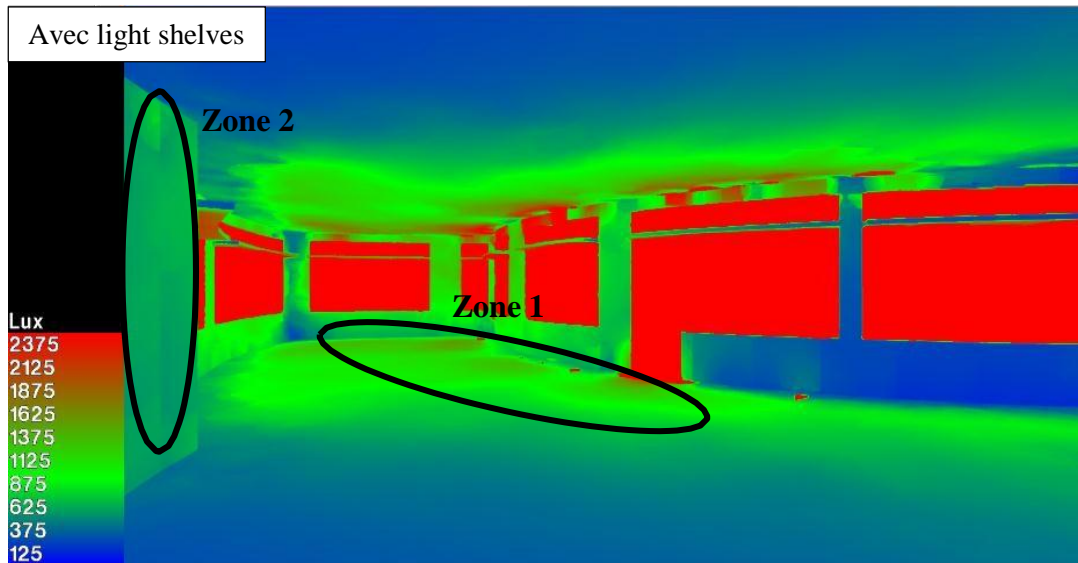


Figure 4-26 : Le cas du 21 juin à 12h avec light shelves. (Source : Auteur, 2021)

La différence se trouve dans les deux points suivants :

- Zone 1 : après l'aménagement des light shelves on remarque la disparition de la tache solaire complètement dans la partie près des ouvertures, avec la diminution du niveau d'éclairement de 2100 lux jusqu'à 800 lux, même au niveau du plafond.
- Zone 2 : on observe que le niveau d'éclairement dans cette zone diminue de 800 lux jusqu'à 300 lux.

D'après ces résultats on peut dire qu'il y a une certaine amélioration dans la qualité de la lumière naturelle présente dans la salle d'exposition.

Les problèmes rencontrés qui empêchent l'amélioration du faible niveau d'éclairement du fond de la salle reviennent à :

- Son emplacement dans l'entresol : qui empêche de créer des ouvertures dans la façade opposée.
- Sa position dans le bloc : sous trois niveaux qui empêche de créer des puits de lumière et l'éclairage zénithal.

## Conclusion

La simulation effectuée lors de ce chapitre nous a permis d'évaluer la qualité de la lumière naturelle présente dans la salle d'exposition el moudjahid. À travers cette simulation on a remarqué une certaine concordance entre les résultats de l'étude empirique et celle de la simulation.

Le travail a été effectué avec deux logiciels de simulation Ecotect et Radiance. Ces derniers nous ont permis d'obtenir des résultats qui confirment la mauvaise qualité de la lumière naturelle. On arrive à conclure que la salle d'exposition du musée el moudjahid, reçoit un éclairage non-uniforme et un rayonnement solaire direct qui peut influencer sur la vision des visiteurs (source d'éblouissement), et sur leurs confort visuels. Cela est dû à son orientation sud-est, sa forme, sa position semi enterrée, la présence d'une végétation dense autour du bâtiment et l'absence des ouvertures dans la façade opposée. Pour cela un concepteur doit prendre en considération l'éclairage naturel et les paramètres du confort visuel dès la phase conceptuelle d'un projet.

D'après les comparaisons effectuées lors de ce chapitre on peut conclure qu'il y'a une corrélation entre les résultats, ce qui nous permet de valider les résultats obtenus lors de cette simulation. A travers l'intégration des light shelves des améliorations ont été observées sur la qualité de la lumière naturelle de la salle d'exposition.

## **CONCLUSION GENERALE**



## Conclusion générale

La lumière est l'une des énergies naturelles indispensable pour la vision de tout le monde, elle est propice pour l'appréciation des ambiances, couleurs et les aspects environnants. Une lumière intérieure procure une sensation agréable et lumineuse qui peut avoir un impact significatif sur l'individu. La mise en valeur de la lumière en architecture offre multiples avantages aux occupants. Le premier avantage de cette approche réside dans la recherche du confort visuel et du bien-être humain, et dans la recherche d'efficacité énergétique et la maîtrise des consommations énergétiques.

La mise en valeur de la lumière en architecture offre de multiples avantages aux occupants. Une partie théorique qui s'appuie sur des recherches bibliographiques, qui nous a permis d'aboutir l'essentiel des notions de base qui définissent la lumière naturelle, et les différentes informations sur sa composition, sa propagation et l'impact de chaque type d'ouvertures sur sa quantité et qualité, offrant aux concepteurs une variabilité de champs d'action pour répondre aux besoins des usagers en terme de la lumière naturelle. Ainsi, cette partie nous a révélé l'importance d'un bon éclairage (qui ne provoque pas d'éblouissement et éclaire correctement les objets, avec un niveau d'éclairement suffisant pour le déroulement des activités) sur le confort visuel de l'individu et la qualité de perception des œuvres dans les espaces d'exposition. La deuxième partie de ce travail était consacrée à l'approche empirique et à la simulation numérique, ce qui nous a permis d'étudier les différentes configurations de la salle d'exposition du musée el moudjahid de Bejaïa sous un ciel clair. En premier lieu, nous avons évalué les conditions du confort visuel dans la salle d'exposition par des mesures in situ, dans laquelle la salle reçoit un éclairage sur la surface qui se trouve près des ouvertures est, puis la quantité de lumière diminue en rapprochant au fond de la salle et surtout de côté ouest ce qui peut être inconfortable pour les visiteurs.

L'enquête effectuée lors de ce cette partie, nous a permis d'évaluer la satisfaction des visiteurs vis-à-vis la lumière naturelle dans cette salle, et de confirmer les résultats quantitatifs obtenus précédemment que montre l'insatisfaction des visiteurs et de confirmer l'hypothèse de départ à savoir que la lumière a un impact positif sur le confort visuel, pensent qu'elle leur permet une vision sans fatigue et mis en valeur les expositions.

Quant à la simulation, nous avons ressorti avec les mêmes résultats, ou la salle reçoit un éclairage non-uniforme et un rayonnement solaire directs qui peut influencer sur la vision des visiteurs (source d'éblouissement), et sur leurs confort visuels. Et cela est dû aux paramètres qui influent la quantité de lumière naturelle pénétrante dans cette salle. Tel que la profondeur de la salle d'exposition, sa forme de croissant, son orientation sud-est, sa position semi enterrée, ses cloisons intérieures, la présence d'une végétation dense autour du bâtiment et des vitrines et tableau qui empêche la pénétration de la lumière naturelle à l'intérieur.

Pour cela, un concepteur doit prendre en considération l'éclairage naturel et les paramètres du confort visuel dès la phase conceptuelle d'un projet architectural.

## **Recommandation**

Il est recommandé de prendre en compte les paramètres suivants afin d'améliorer la qualité de la lumière naturelle et du confort visuel dans les espaces d'exposition :

- Utilisation des protections solaires pour éviter le problème des rayons solaires directs.
- Utilisation des surfaces extérieure spéculaire afin d'optimiser la réflexion de la lumière naturelle à l'intérieur.
- Aménagement des light shelves afin d'éviter le problème d'éblouissement et d'éclairer le fond de la salle.
- Opté pour un espace sans cloisons intérieur pour profiter de la lumière naturelle pénétrante des autres fenêtres.

## **Limite de recherche**

Parmi ses limites en trouve :

- Le manque des instruments de mesure est considéré un limité qui nous n'a pas permetd'obtenir des résultats plus fiables.
- L'absence des moyens ne nous a empêcher d'accéder aux logiciels payants pour réaliser des simulations plus précises afin de d'évaluer les conditions du confort visuel dans la salle d'exposition de notre cas d'étude.

## **Perspective de recherche**

Notre recherche a été basée sur l'apport de la lumière naturelle dans les espaces d'exposition. Pour cela, nous avons proposé des évaluations quantitatives et qualitatives qui nous ont permis de répondre à nos problématiques et à nos besoins en terme de lumière naturelle. Des recherches complémentaires seront très utiles et pourront compléter les résultats obtenus, il s'agit de l'étude de :

- L'impact des baies vérités sur le confort thermique dans la salle d'exposition.
- L'influence de l'orientation sur la lumière naturelle.
- L'étude de l'impact de la forme sur la lumière naturelle.

## **BIBLIOGRAPHIE**

## Bibliographie

- Aan, T. (Réalisateur). (2019). Autodesk Ecotect Analysis Tutorial - Export to Desktop Radiance. [Vidéo]. [https://www.youtube.com/watch?v=\\_MkZRHGSZYQ](https://www.youtube.com/watch?v=_MkZRHGSZYQ).
- Ando, T. (1990). Lumière, ombre et forme. La maison Koshino, 1990. <http://www.articule.net/>.
- Aurnaud, D. Magali, B. (s. d.). Guide d'aide à l'interprétation des résultats des mesures sous les, ciels et soleil artificiel du CSTC. <https://sites.uclouvain.be/eclairage-naturel/documents%20pdf/Guide-evaluation-resultats.PDF>.
- BEGA. (S. d.). Lumière et éclairage. <https://www.bega.com/fr/>.
- Boscher, R. (2017). Ambiance lumineuse : quels enjeux dans les bâtiments performants. Construction21. <https://www.construction21.org/france/articles/h/ambiance-lumineuse-quels-enjeux-dans-les-batiments-performants.html>.
- Brunot, A. (2019). La lumière naturelle en architecture. Behance. <https://www.behance.net/agnsbrunot>.
- Cadiergues, R. (s. d.). LES BASES DE L'ÉCLAIRAGE. [http://media.xpair.com/auxidev/mD01a\\_Eclair.PDF](http://media.xpair.com/auxidev/mD01a_Eclair.PDF).
- CEATI. (2014). L'éclairage guide de référence en efficacité énergétique. [http://www.ceati.com/freepublications/7061-Fr\\_Guide\\_Web.PDF](http://www.ceati.com/freepublications/7061-Fr_Guide_Web.PDF).
- Covermetal. (s. d.). Protections solaires mobiles. Cover metal. <https://covermetal.fr/savoir-faire/protections-solaires-mobiles>.
- Daich, S. (s. d.). Modélisation du système anidolique pour un environnement lumineux intérieur intégré [Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider-Biskra].
- De Baets, B. (2007). Energie plus. Eclairage naturel et ses variations. <https://energieplus-lesite.be/theories/eclairage12/physique-lumiere/eclairage-naturel-et-ses-variations/>.
- Douglas, G. (2020). ESPACE D'EXPOSITION A LA LUMIÈRE NATURELLE DANS LES MUSÉES ET GALERIES. Guthrie Douglas. <https://www.guthriedouglas.com/fr/>.
- Elec, P. (2017). Prix et pose d'un réflecteur de lumière. Maison en Travaux. <https://www.maisonentravaux.fr/fenêtres/fenetre-pvc-alu-bois/reflecteur-lumiere/>.
- Ezrati, J. Merleau-Ponty, C. (2006). L'exposition, théorie et pratique. France : L'Harmattan.
- FAURE, D. (2006). Cours : CONFORT VISUEL. [http://www.enviroboite.net/spip/IMG/pdf/0606\\_confort\\_visuel\\_Faure\\_V1.PDF](http://www.enviroboite.net/spip/IMG/pdf/0606_confort_visuel_Faure_V1.PDF).

- FLORU, R. (1996). Eclairage et vision. 119. <https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-01420151/document>.
- Gallas, M. (2013). Proposition d'une méthode d'assistance à la prise en compte de la lumière naturelle durant les passes amont de conception [Thèse de doctorat, université de Lorraine]. [ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr](mailto:ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr). PDF.
- GIF lumière. (2018). Le guide de l'éclairage naturel zénithal. [https://www.gif-lumiere.com/wp-content/uploads/2018/06/Guide-Eclairage-GIF-Lumiere\\_WEB.PDF](https://www.gif-lumiere.com/wp-content/uploads/2018/06/Guide-Eclairage-GIF-Lumiere_WEB.PDF).
- GREGOIRE, F. (2017). Eclairage : conception et régulation. <https://environnement.brussels/sites/default/files/pres-171120-ecla-1-3-theo-fr.PDF>.
- Guémené, S. (2016). Archi positive. STRATÉGIES PASSIVES #1 LUMIÈRE NATURELLE. <http://archipositive.blogspot.com/>.
- Guide bâtiment durable, (2019). Guide bâtiment durable. Assurer le confort visuel au moyen de la lumière naturelle. <https://www.guidebatimentdurable.brussels/>.
- Guide les protections solaires. (s. d.). Les protections solaires. [https://www.les-caue-occitanie.fr/sites/default/files/fichiers/ressource/field\\_fichiers/protectionsolaire2.PDF](https://www.les-caue-occitanie.fr/sites/default/files/fichiers/ressource/field_fichiers/protectionsolaire2.PDF).
- ICOM. (2007). Définition du musée. Conseil international des musées. <https://icom.museum/fr/>.
- L'association française de l'éclairage. (2018). L'éclairage dans les collectivités. [afe@afe-eclairage.fr](mailto:afe@afe-eclairage.fr). PDF.
- L'histoire des musées. (s. d.). L'histoire des musées. Art plastiques 1. [https://arts-plastiques1.webnode.fr/\\_files/200001798-1423716939/repere\\_1\\_histoire\\_des\\_musees.PDF](https://arts-plastiques1.webnode.fr/_files/200001798-1423716939/repere_1_histoire_des_musees.PDF).
- Les musées historique et évolution. (2018). <https://www.pedagogie.ac-nice.fr/dsden06/eac/wp-content/uploads/sites/5/2018/02/les-muses-historique-et-evolution.PDF>.
- Linternaute. (2000). La lumière naturelle. Dans le dictionnaire français.
- Maamri, F. (2004). La simulation numérique de l'éclairage, limites et potentialités [Thèse de doctorat, L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon].
- Magali, B. (2007). L'éclairage naturel des bâtiments. Dans Dachelet, M. (Édit.), Les Cahiers de l'Urbanisme, N° 66 (p.48-51). Louvain, Belgique : Université catholique de Louvain.
- Magali, B. (s. d.). Présentation du guide d'éclairage naturel <https://sites.uclouvain.be/eclairage-naturel/documents%20pdf/presentation-guide.PDF>.
- Magali, B. (s. d.). Sources de lumière diurne. L'éclairage naturel des bâtiments [https://sites.uclouvain.be/eclairage-naturel/guide\\_sources.htm#ancre02](https://sites.uclouvain.be/eclairage-naturel/guide_sources.htm#ancre02).

- Mairesse, F. (2012). Etude sur l'opportunité, l'étendue, les raisons et la valeur ajoutée d'un instrument normatif sur la protection et la promotion des musées et des collections (aspects muséaux). 52p.
- Mairesse, F. (2017). Définir le musée du XXIe siècle. France : ICOFOM.
- Mehdaoui, A. (s. d.). Cours : Confort Visuel Et Eclairage naturel. Université Science et Technologie de SAAD DAHLAB DE Blida. 46p.
- Mével. (2010). Lumière. Dans le dictionnaire Hachette.
- Narboni, R. (2006). Lumière et ambiances : Concevoir des éclairages pour l'architecture et la ville. Le Moniteur.
- Pascale, G et al. (2014). L'éclairage naturel. Les guides BIO-TECH. [https://www.ared-idf.fr/fileadmin/DataStorageKit/AREC/Etudes/pdf/guide\\_bio\\_tech\\_eclairage\\_naturel.PDF](https://www.ared-idf.fr/fileadmin/DataStorageKit/AREC/Etudes/pdf/guide_bio_tech_eclairage_naturel.PDF).
- Radsite. (2019). The RADIANCE simulation software in the architecture teaching context. RADSITE. [www.radiance-online.org](http://www.radiance-online.org).
- Rahal, L. (2017). Les différents types de musées. Fichier PDF. <https://www.fichier-pdf.fr/2017/04/14/les-differents-types-de-musees/>.
- Reiter, S ; De Herde. (2004). L'éclairage naturel des bâtiments. Louvain-la-Neuve, Belgique : Presses universitaires de Louvain.
- Savard, S. (2017). Interdisciplinaire design. L'importance de la lumière naturelle en architecture. <https://idinterdesign.ca/>.
- Schaer, R. (1993). L'Invention des musées (144). Gallimard.
- Spitz, C. RENZI, V. (2008). Protections Solaires. INES. <https://fr.scribd.com/document/132593700/Protections-Solaires-INES>.
- Sylvania, F. (s. d.). ÉCLAIRAGE POUR MUSÉES ET GALERIES. Concord luminance Sylvania. <http://www.andresudrie.com/dossiers-de-presse/feilo-brochure-eclairage-musees-galleries/>. PDF.
- Terrier, C & Vandevyver, B. (2012). "L'éclairage naturel". [https://www.frareg.com/cms/wp-content/uploads/illuminazione\\_naturale\\_inrs.PDF](https://www.frareg.com/cms/wp-content/uploads/illuminazione_naturale_inrs.PDF).
- Vermeiren, S. (s. d.). QU'EST CE QU'UN MUSÉE. MUDO musée de l'Oise. PDF
- Zumtobel. (2017). Manuel pratique de l'éclairage. 3e édition.

# **ANNEXES**

## Chapitre 5 Annexes

### Annexe 1 Questionnaire

*Questionnaire*

Université de Bejaia  
Département d'architecture  
Master II

Dans le cadre de la préparation d'un mémoire en Architecture consacré à « l'étude de l'apport de la lumière naturelle dans les espaces d'exposition », nous avons l'honneur de vous remettre ce questionnaire qui a pour but d'évaluer votre satisfaction concernant les conditions de la lumière et du confort visuel dans la salle d'exposition du musée el moudjahid de Bejaia.

#### Information personnel

1. Sexe :  Femme  Homme
2. Age :  < de 20  20-35  
 35-50  > de 50
3. Avez-vous une bonne acuité visuel ?  
 Oui  Non

#### La lumiere et sa qualité

4. Appréciez vous la présence de la lumière naturelle dans la salle d'exposition du musée el moudjahid Bejaia ?  
 Oui  Non
5. Comment jugez vous la lumière naturelle présente dans la salle d'exposition de ce musée ?  
 T.bonne  Bonne  Acceptable  
 Mauvaise  T. mauvaise
6. Y'a-t-il assez de lumière du jour dans cette salle d'exposition ?
- En été  Oui  Non
- En hiver  Oui  Non
- Mi saison  Oui  Non
7. Préférez vous la visite sous :
- La lumiere naturelle  La lumiere artificielle  La combinison des deux



8. Comment jugez vous votre satisfaction vis a vis du confort viseul dans la salle d'exposition :

- T.bonne                       Bonne                       Acceptable  
 Mauvaise                       T. mauvaise

9. Comment jugez vous votre satisfaction vis a vis du confort visuel sous l'éclairage artificiel :

- T.bonne                       Bonne                       Acceptable  
 Mauvaise                       T. mauvaise

10. Selon vous, la lumiere a un impact ..... sur le confort visuel.

- Positif                                       Nigatif

11. Pourquoi ?

.....  
 .....  
 .....

12. Comment désignerez-vous l'ambiance lumineuse dans cette salle d'exposition ?

- Eclairé                                       Sombre

Autre :

.....  
 .....

### Les rayons solaire direct

13. Appréciez vous la présence des rayons solaire direct dans votre champ de vision ?                       Oui                                       Non

14. Lors de votre visite au musée, avez-vous ressenti l'éblouissement ?

- Oui     Non

15. Si oui, par reflexion sur :

- Les vitrines
- Le sol et les murs

- Les tableaux
- Les yeux directement

16. Comment protégez vous de ces rayons solaires?

.....

Merci pour votre collaboration et le temps que vous avez consacré à ce questionnaire.

## Annexe 2 Les étapes de travail par le logiciel radiance

### Étape 1 :

S'agit d'exporter le modèle vers Radiance, en cliquant sur « calculate » en suite en doit choisir « Lighting analysis » pour analyser la lumière. Et enfin un point d'accès au logiciel Radiance sera affiché et en clique sur « Exporte to Radiance for more detailed analysis » pour l'exporter le modèle.

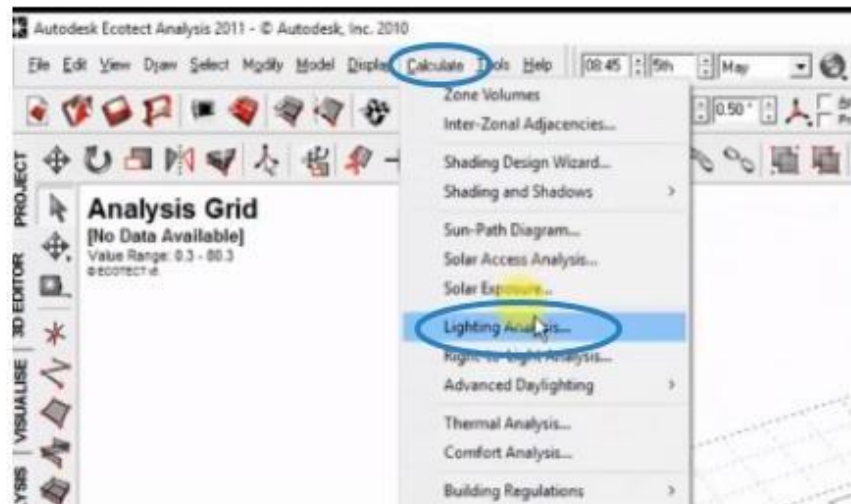


Figure 5-1 : Rattacher Radiance a Ecotect. (Source : [https://www.youtube.com/watch?v=\\_MkZRHGSZYQ+](https://www.youtube.com/watch?v=_MkZRHGSZYQ+) Auteur, 2021)

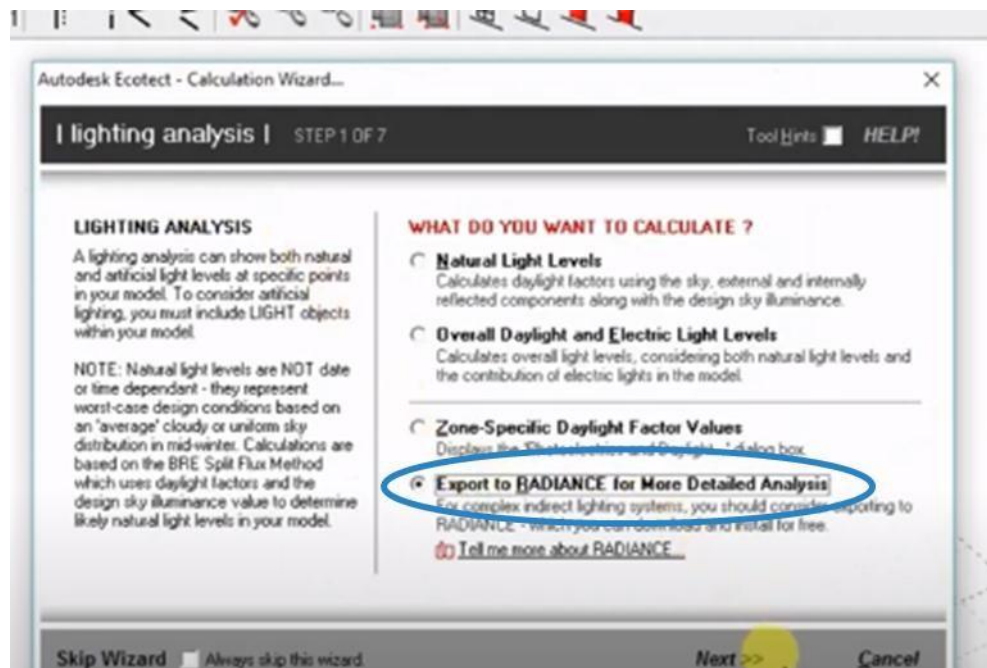


Figure 5-2 : Point d'accès au logiciel Radiance. (Source : [https://www.youtube.com/watch?v=\\_MkZRHGSZYQ+](https://www.youtube.com/watch?v=_MkZRHGSZYQ+) Auteur, 2021)

## Étape 2 :

Consiste à choisir le type d'analyse (en luminance ou éclairement ou FLJ, etc.), en suite choisir le type de ciel (couvert, claire, etc).

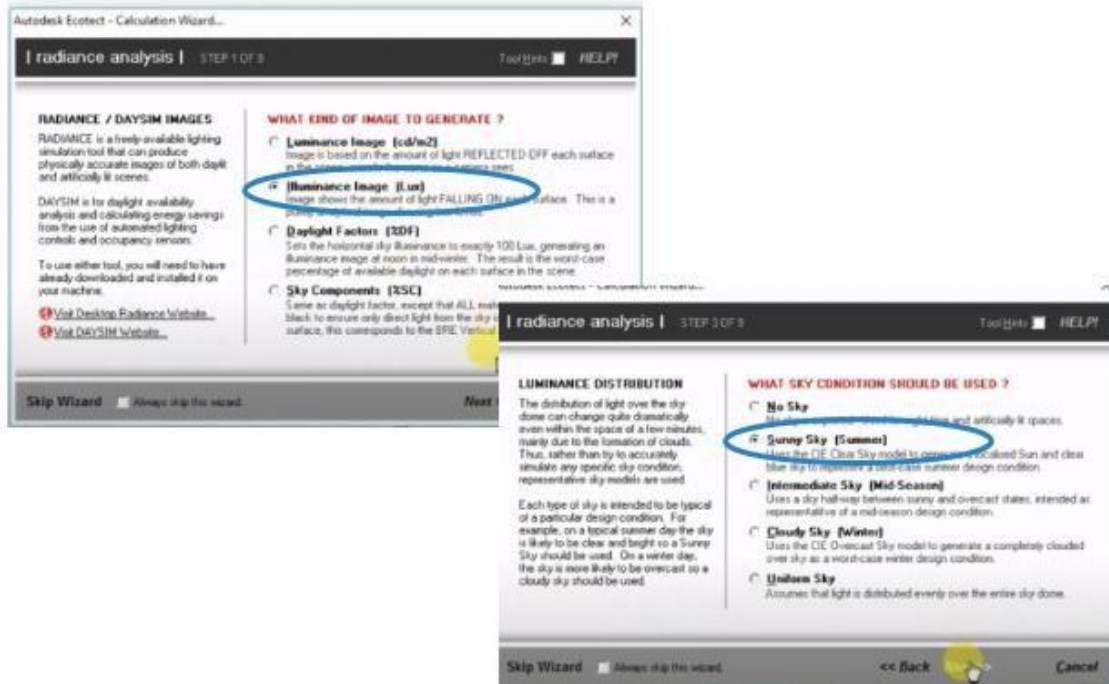


Figure 5-3 : Choix du type d'analyse et type de ciel. (Source : [https://www.youtube.com/watch?v=\\_MkZRHGSZYQ+](https://www.youtube.com/watch?v=_MkZRHGSZYQ+) Auteur, 2021)

## Étape 3 :

Consiste à choisir la date et l'heure de simulation ainsi l'espace de simulation soit intérieur ou extérieur.

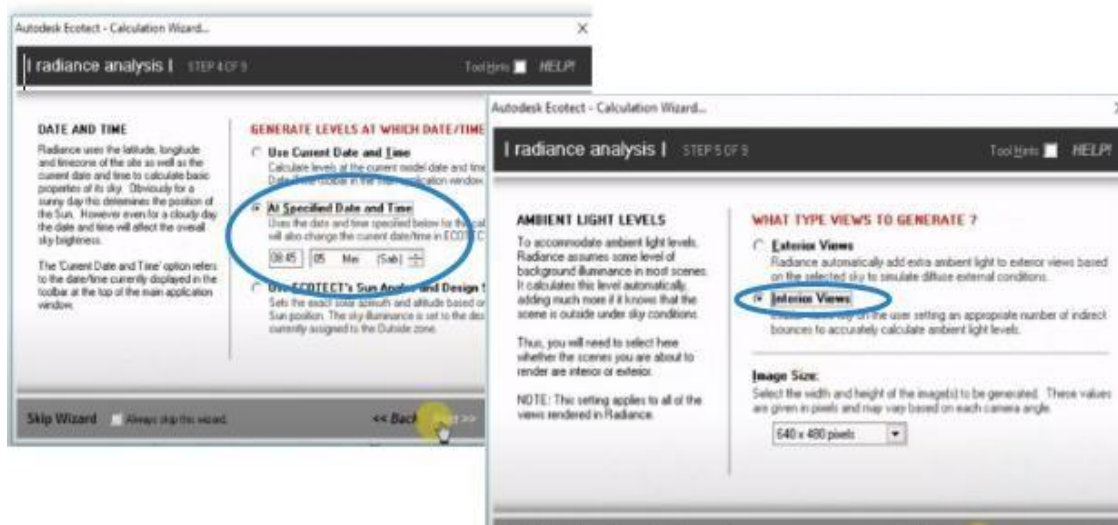


Figure 5-4 : Choix de la date et heure et l'espace vue. (Source : [https://www.youtube.com/watch?v=\\_MkZRHGSZYQ+](https://www.youtube.com/watch?v=_MkZRHGSZYQ+) Auteur, 2021)

### Étape 4 :

Consiste à choisir la qualité du rendu (haute, moyenne, basse). Et de vérifier les données reçues.

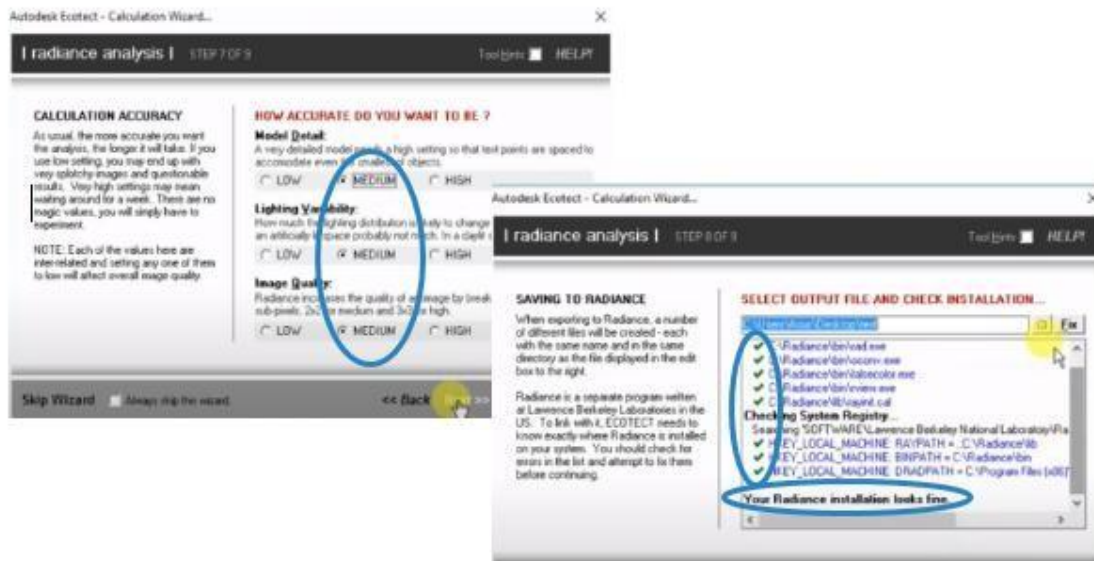


Figure 5-5 : Choix de la qualité et vérification des données. (Source : [https://www.youtube.com/watch?v=\\_MkZRHGSZYQ+](https://www.youtube.com/watch?v=_MkZRHGSZYQ+) Auteur, 2021)

### Étape 5 :

La dernière étape consiste à commencer l'analyse en vérifiant une dernière fois les données sur le tableau « Radiance analysis » puis « Ok ».

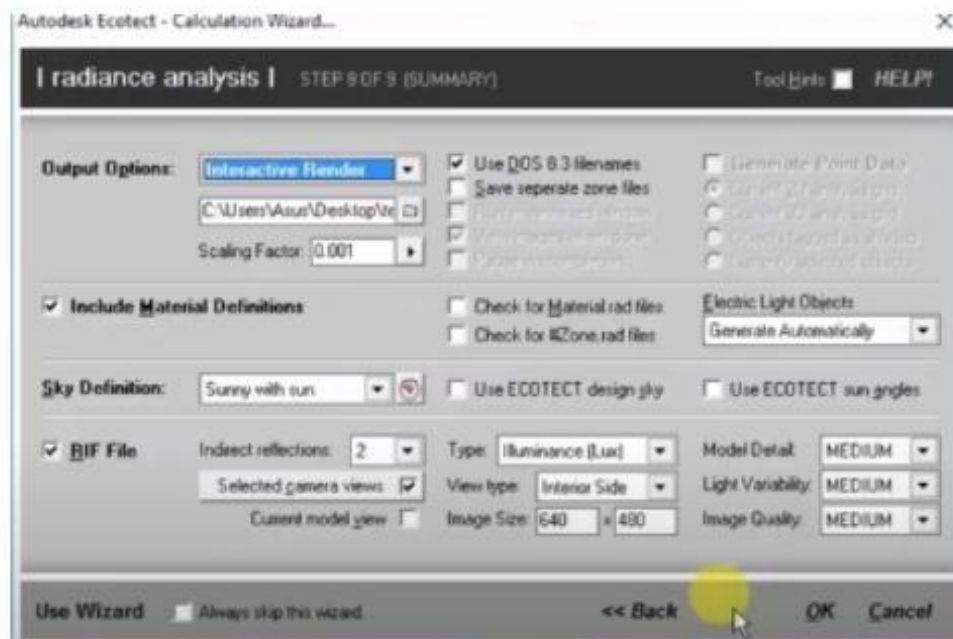
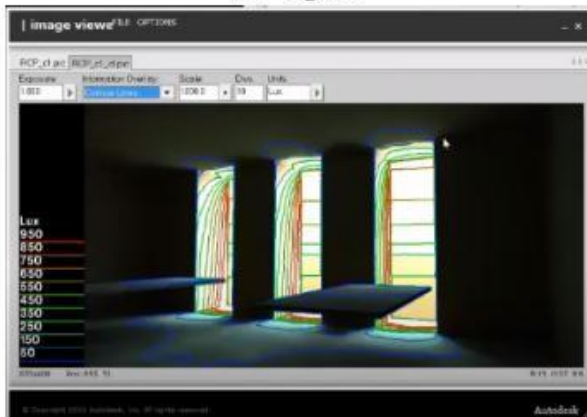


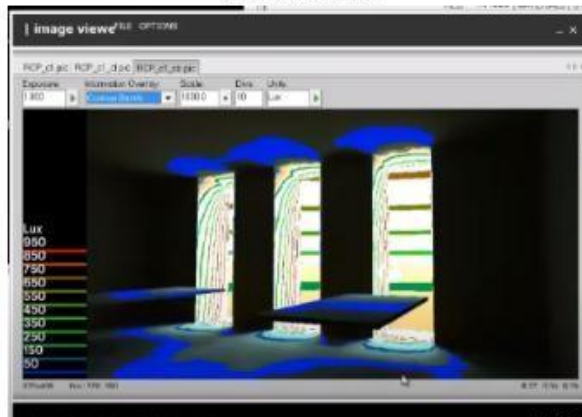
Figure 5-6 : vérification et lancement d'analyse. (Source : [https://www.youtube.com/watch?v=\\_MkZRHGSZYQ+](https://www.youtube.com/watch?v=_MkZRHGSZYQ+) Auteur, 2021)

**Présentation des résultats :**

**Iso-lignes**



**Iso-bandes**



**Fausses-couleurs**

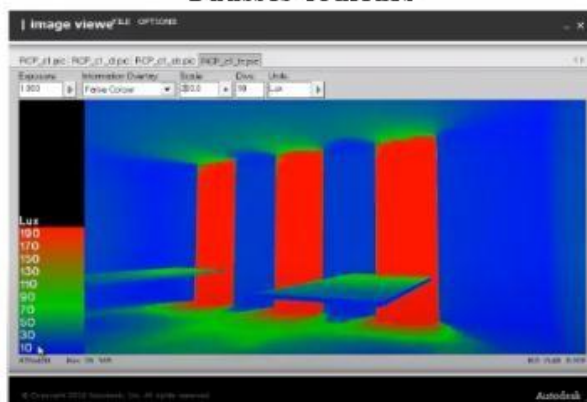


Figure 5-7 : Types de résultats de la simulation. (Source : [https://www.youtube.com/watch?v=\\_MkZRHGSZYQ](https://www.youtube.com/watch?v=_MkZRHGSZYQ), 2021)

**Annexe 3 synthèse d'analyse du terrain**

Tableau 5-1 : Synthèse d'analyse du terrain. (Source : Auteur, 2021)

<b>Présentation du site</b>	<b>Choix du site</b>
-----------------------------	----------------------

Le site est localisé au centre de la ville de Bejaia sur la plaine au Sud-ouest du noyau historique et du port de Bejaia, et au nord de l'aéroport ABANE RAMDANE de Bejaia.



Figure 5-8 : La carte de la ville de Bejaia. (Source : Google maps et Auteur, 2021)

- L'proximité du terrain à la pépinière qui pourrait être un bénéfice pour le musée.
- Sa situation stratégique au cœur de la ville.
- Sa situation entre deux boulevard principaux (B Krim Belkacem et B des Aurès). Et près d'un carrefour intéressant.
- La desserte facile au terrain.
- Absence des équipements culturels dans cette zone.
- Comme le site est à vocation industriel (le manque des espaces verts et de détente, ...etc) donc un tel équipement va contribuer à l'animation du site.

**Situation**

Le terrain se trouve dans la zone industrielle de Bejaia, au centre de la ville de Bejaia, et au centre de la partie extrême nord du POS B18.

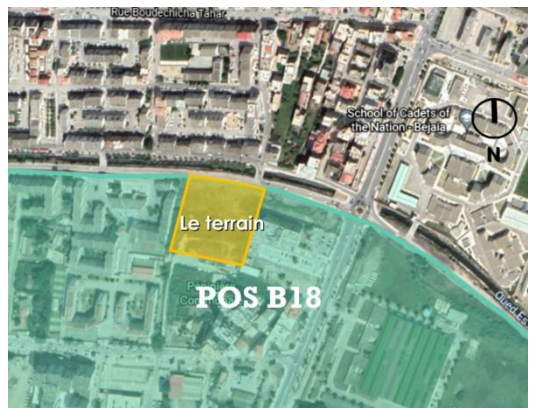


Figure 5-9 : La carte du terrain. (Source : Google maps et Auteur, 2021)

**Limite du terrain**

Le terrain est délimité par : la polyclinique Rameau d'olivier du côté est, les résidences universitaires du côté ouest, la pépinière du côté sud, la route des résidences universitaires et oued Sghir du côté nord.

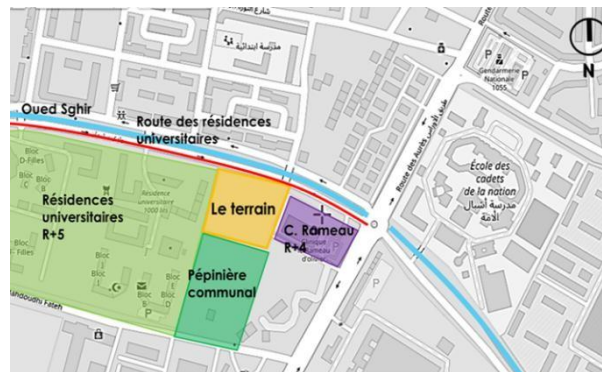


Figure 5-10 : La carté de délimitation du terrain. (Source : [https://satellites.pro/plan/carte\\_du\\_Monde](https://satellites.pro/plan/carte_du_Monde) et Auteur, 2021)

**Accessibilité**

**Morphologie et topographie**

Le terrain est accessible directement et seulement par la route des résidences universitaire qui articule entre le boulevard Krim Belkacem et la route des Aurès.



Figure 5-11 : La carte d'accessibilité au terrain. (Source : [https://satellites.pro/plan/carte\\_du\\_Monde et Auteur, 2021](https://satellites.pro/plan/carte_du_Monde_et_Auteur, 2021))

Le terrain est sous forme d'un rectangle déformé, occupe une surface de 6000 m<sup>2</sup>. Orienté vers le nord, une morphologie plane, et d'un coefficient d'occupation du sol  $\cos = 1,5$ .

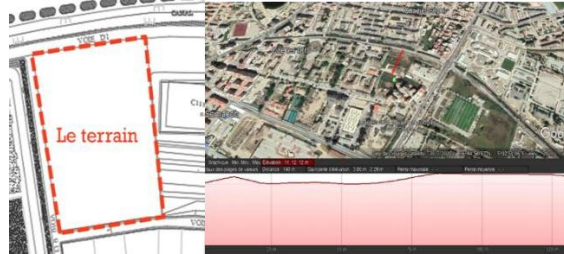


Figure 5-12 : La carte du terrain. (Source : Carte du POS B18 et Auteur, 2021)

### Climatologie

Le terrain se caractérise avec des vents froids dominant venant du nord-ouest, et les vents venant de l'est.

Par rapport à l'ensoleillement le terrain profite d'un bon ensoleillement toute la journée. Sauf le soir la hauteur de la résidence du côté ouest peut influencer sur l'ensoleillement du terrain.

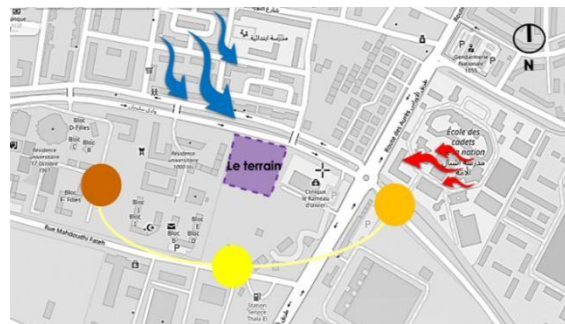


Figure 5-13 : La carte de climatologie. (Source : <https://satellites.pro/plan/carte du Mond et Auteur, 2021>)

### Synthèse

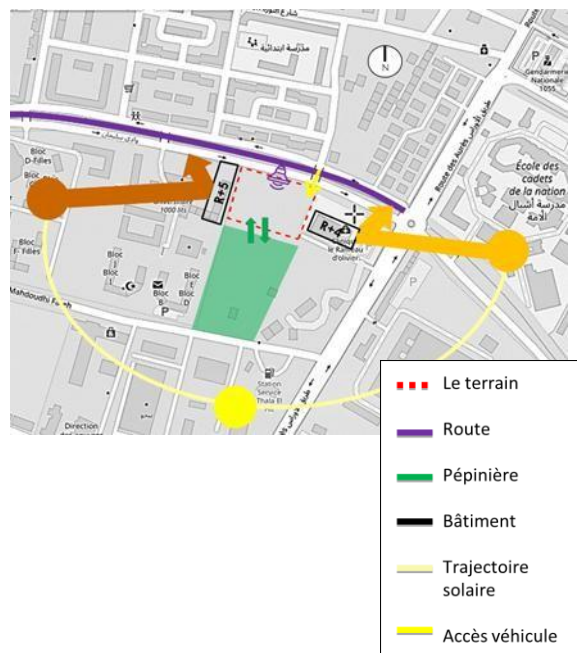



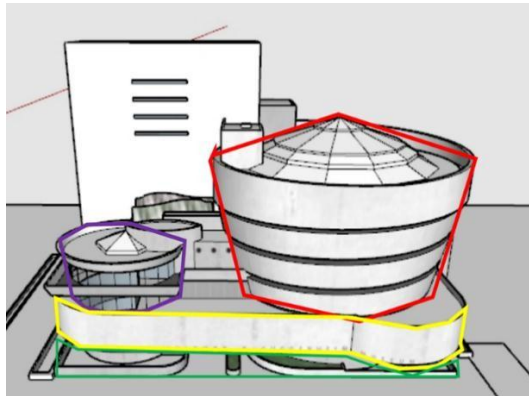


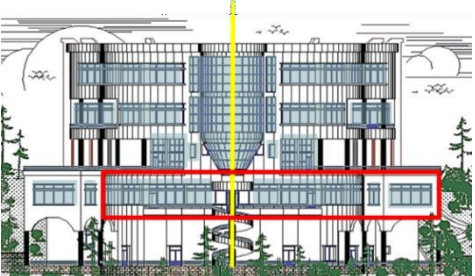
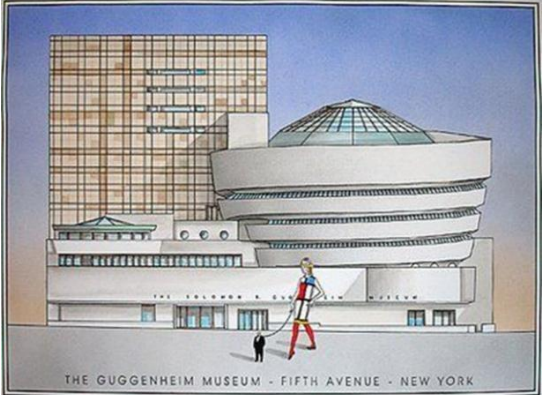

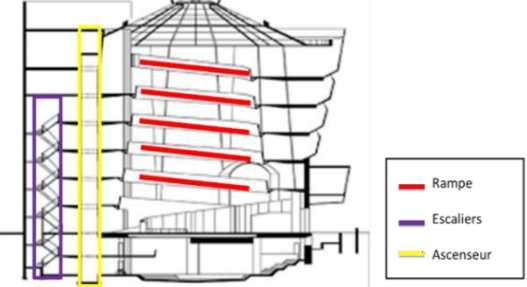
Figure 5-14 : synthèse d'analyse du terrain. (Source : Auteur, 2021)

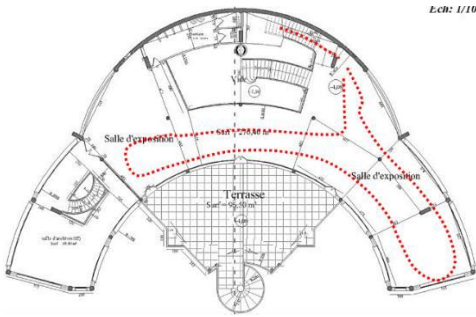
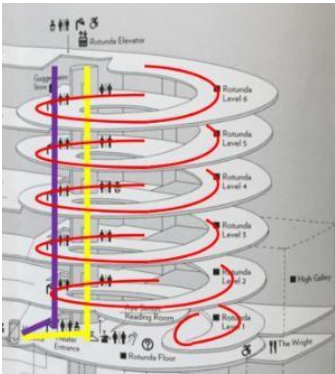

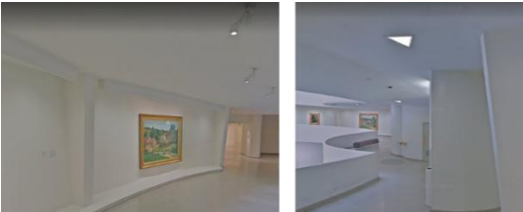




## Annexe 4 Synthèse d'analyse des exemples

Tableau 5-2 : Synthèse d'analyse des exemples. (Source : Auteur, 2021)

<b>Caractéristiques</b>	Le musée El moudjahid de Bejaia	Le musée de Guggenheim NYC
<b>Catégorie</b>	Musée historique  <p>Figure 5-15 : Vue sur le musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021)</p>	Musée d'art contemporain  <p>Figure 5-16 : Musée de Solomon R. Guggenheim New York. (Source : Google image, 2021)</p>
<b>Situation</b>	Sidi Ouali, Bejaia, Algérie	Manhattan, New York, Etats Unis d'Amérique.
<b>Date de c</b>	2006-2009	1959
<b>Contexte</b>	Rural	Urbain
<b>Forme et volumétrie</b>	Utilisation des formes inspirer de la guerre (un pistolet) et l'indépendance algérienne (un croissant et une étoile) qui représente le drapeau algérien.  <p>Figure 5-17 : La volumétrie du musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021)</p>	Utilisation d'une forme inspirée d'une ziggurat inversée. Afin de crée une grande rampe accessible à tout le monde où se déroulera l'exposition.  <p>Figure 5-18 : la composition volumétrique du musée d'art Solomon R. Guggenheim. (Source : Google image, 2021).</p>

<p><b>Façades</b></p>	<p>Présente une façade symétrique parfaitement. L'utilisation des grandes baies vitrées et fenêtres de forme régulière carré et rectangulaire de différents dimension, La domination du vide par rapport au plein et l'absence totale des protections solaire. L'utilisation de la peinture blanche pour le revêtement de la surface pleine.</p>  <p>Figure 5-19 : La façade principale du musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021)</p>	<p>La façade du musée Guggenheim est asymétrique, surmonté par une grande verrière. Peint avec un peinture blanche d'une texture lisse, avec une surface pleine dominante.</p>  <p>Figure 5-20 : La façade du musée d'art Solomon R. Guggenheim. (Source : Google image, 2021)</p>
<p><b>Circulation</b></p>	<p>Escaliers</p>  <p>Figure 5-21 : les escaliers du musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021)</p>	<p>Escaliers, ascenseurs et rampes</p>  <p>Figure 5-22 : la circulation dans le musée Guggenheim du musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021)</p>

<p><b>Parcours</b></p>	<p><b>Linière libre</b></p>  <p>Figure 5-23 Le parcours du musée el moudjahid de Bejaia. (Source : Auteur, 2021)</p>	<p><b>Circulaire</b></p>  <p>Figure 5-24 : Le parcours du musée Guggenheim New York. (Source : Google image et auteur, 2021).</p>
<p><b>Eclairage artificiel</b></p>	<p><b>Spots et plafonniers</b></p>  <p>Figure 5-25 : Eclairages artificiel dans le musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021)</p>	<p><b>Spots et plafonniers</b></p>  <p>Figure 5-26 : L'éclairage artificiel du musée Guggenheim New York. (Source : Google image, 2021)</p>
<p><b>Lumière naturelle</b></p>	<p><b>Latérale</b></p>  <p>Figure 5-27 : Eclairages naturelle dans le musée el moudjahid. (Source : Auteur, 2021)</p>	<p><b>Zénithale et latérale</b></p>  <p>Figure 5-28 : L'éclairage naturelle du musée Guggenheim New York. (Source : Google image, 2021)</p>

## Annexe 5 PFE

### Programme

Tableau 5-3 : Le programme. (Source : Auteur, 2021)

<b>SECTEUR</b>	<b>SURFACE</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>SURFACE TOTALE M<sup>2</sup></b>
<b>RECEPTION</b>			
Hall d'entrée	100	1	120
Boutique	30	1	30
Cafétéria	60	1	60
Sanitaires	15	2	30
Vestiaires	20	1	20
Totale			260
<b>EXPOSITION</b>			
Exposition permanente - Galerie des plantes sensible - Galerie des œuvres artistique - Galerie d'un relief - Galerie extérieur des plantes	500	1	500
Exposition temporaire	120	1	120
Exposition enfant	120	1	120
Totale			740
<b>BIBLIOTHEQUE</b>			
Salle de lecture	100	1	130
Banque de prêt	20	1	20
Salle informatique	70	1	70
Archives	90	1	90
Totale			310
<b>AUDITORIUM</b>			
Auditorium	200	1	200
Salon d'attente	30	1	30
Sanitaires	10	1	10
Totale			240
<b>ANIMATION ET LOISIR</b>			
Atelier d'animation	70	1	65
Coins d'organisation de sortie pour plantation et traitement des plantes	50	1	50
Vestiaires	10	1	20
Espace détente	200	1	200
Totale			340
<b>CONSERVATION</b>			
Espace dépôt	20	1	20
Espace réception des œuvres	30	1	30
Espace classification	50	1	50
Espace restauration	50	1	50

Laboratoire végétale	80	1	80
Mini pépinière	100	1	100
Stockage œuvres artistique	50	1	50
Stockage œuvres temporaires	40	1	40
Totale			420
<b>ADMINISTRATION</b>			
Bureau collectif	20	1	20
Salle du réunion	30	1	30
Bureau directeur	30	1	30
Salon directeur	30	1	30
Bureau secrétaire	10	1	10
Sanitaires	15	2	30
Totale			150
<b>LOCAUX TECHNIQUE</b>			
Chaufferie	10	1	10
Electricité	10	1	10
Bâche a eau	10	1	10
Climatisation	10	1	10
Maintenance	10	1	10
Totale			50
Parking	100	3	300
Circulation			190
<b>TOTALE GENERAL</b>			<b>3000m<sup>2</sup></b>

### Choix du projet

Nous avons opté pour un musée des plantes qui porte le nom « musée FLORA » qui signifie la flore en espagnol. Cette nomination était choisie parce que le nom Flora convient à la spécificité de notre projet, qui est un musée consacrer aux expositions des plantes (la flore en général).

Le choix de ce type du projet est basé sur les raisons suivantes :

- La protection et la mise en valeur du patrimoine naturelle de la ville de Bejaia. (Aujourd'hui environ 27000 espèces végétales disparaissent chaque année dû aux effets nocif de l'industrie, le feu et la déforestation. Ce qui influe sur la biodiversité, notre santé, et l'environnement).
- Exploitation et la découverte de la biodiversité du Parc de Gouraya et du lac mizaya. (La biodiversité du Parc National du Gouraya présente plus de 950 espèces floristiques).

### Idée conceptuelle

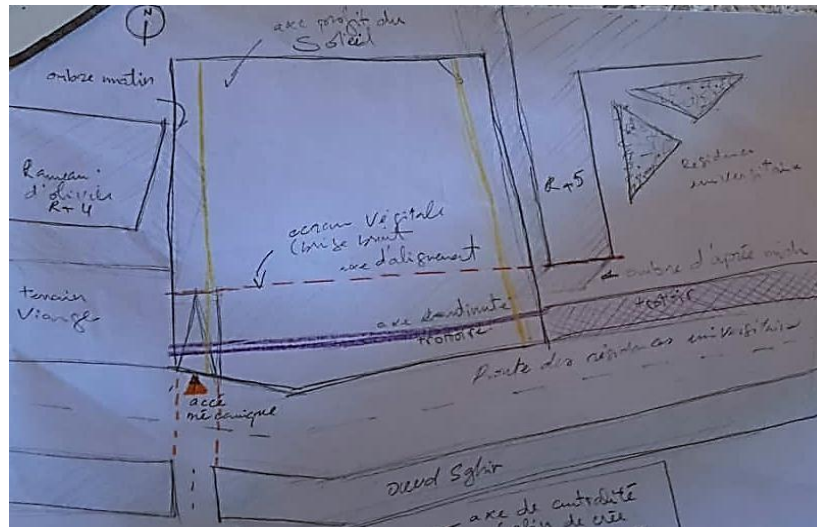


Figure 5-29 : synthèse d'analyse du terrain. (Source : Auteur, 2021)

1. Crée des blocks séparés afin d'optimiser la lumière naturelle (profit des ouvertures de plusieurs façades, à chaque fois le block est petite en profit plus de la lumière naturelle)
  - Chaque block sera consacré à une unité du programme.
  - La forme des blocks suivra la fonction du musée (les premières fonctions de mon musée sont le sauvegarde et l'exposition, donc on a opté pour une forme carrée qui symbolise la protection et la sécurité (protection des œuvres), une telle forme basique va contribuer à la mise en valeur des expositions).

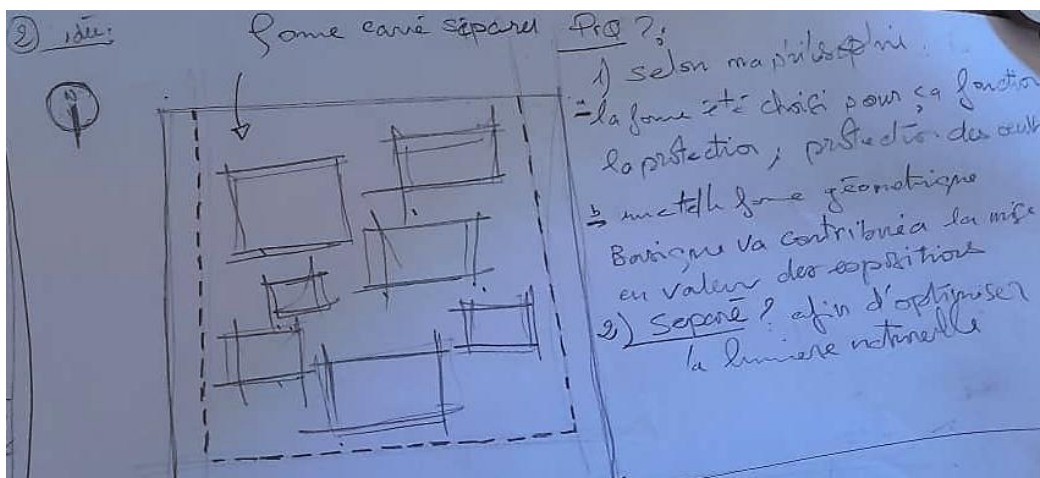


Figure 5-30 : Idée conceptuelle du projet. (Source : Auteur, 2021)

2. Création d'un axe central afin de créer un espace central qui relie les blocks où ils seront convergés.
  - Assemblage du projet par un bassin d'eau de forme circulaire. (Utilisation de l'eau comme elle réfléchissant (+élément indispensable pour les plantes), choix de la forme circulaire comme rappelle la forme organique de la nature).

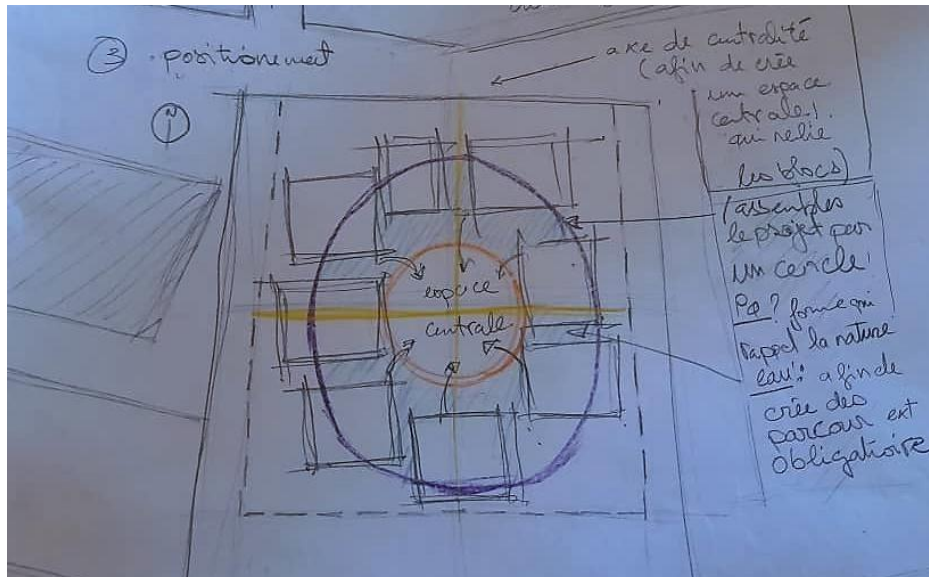


Figure 5-31 : Positionnement des blocks. (Source : Auteur, 2021)

3. Emplacement des unités suivantes : réception, administration et loisir dans la partie nord (pour la desserte facile du projet (le projet est accessible seulement par le nord)).
  - Espace bibliothèque et auditorium positionner dans la zone intermédiaire (près de l'accueil).
  - Espaces d'exposition et de détente se trouvent dans la partie postérieure de projet (zone plus calme afin de favoriser la méditation, loin de la route (protection contre les impuretés atmosphériques)).

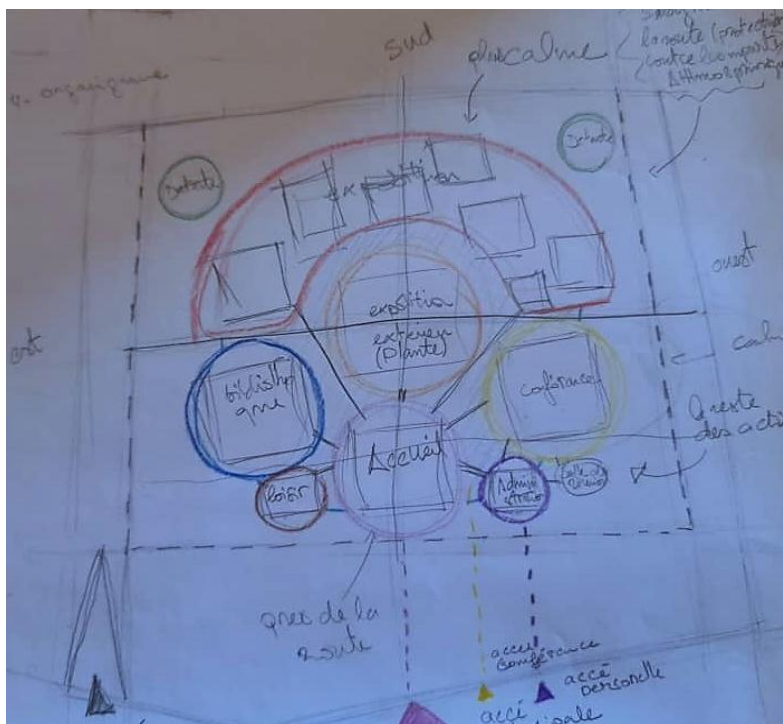


Figure 5-32 : Emplacement des blocks. (Source : Auteur, 2021)

Genèse du projet

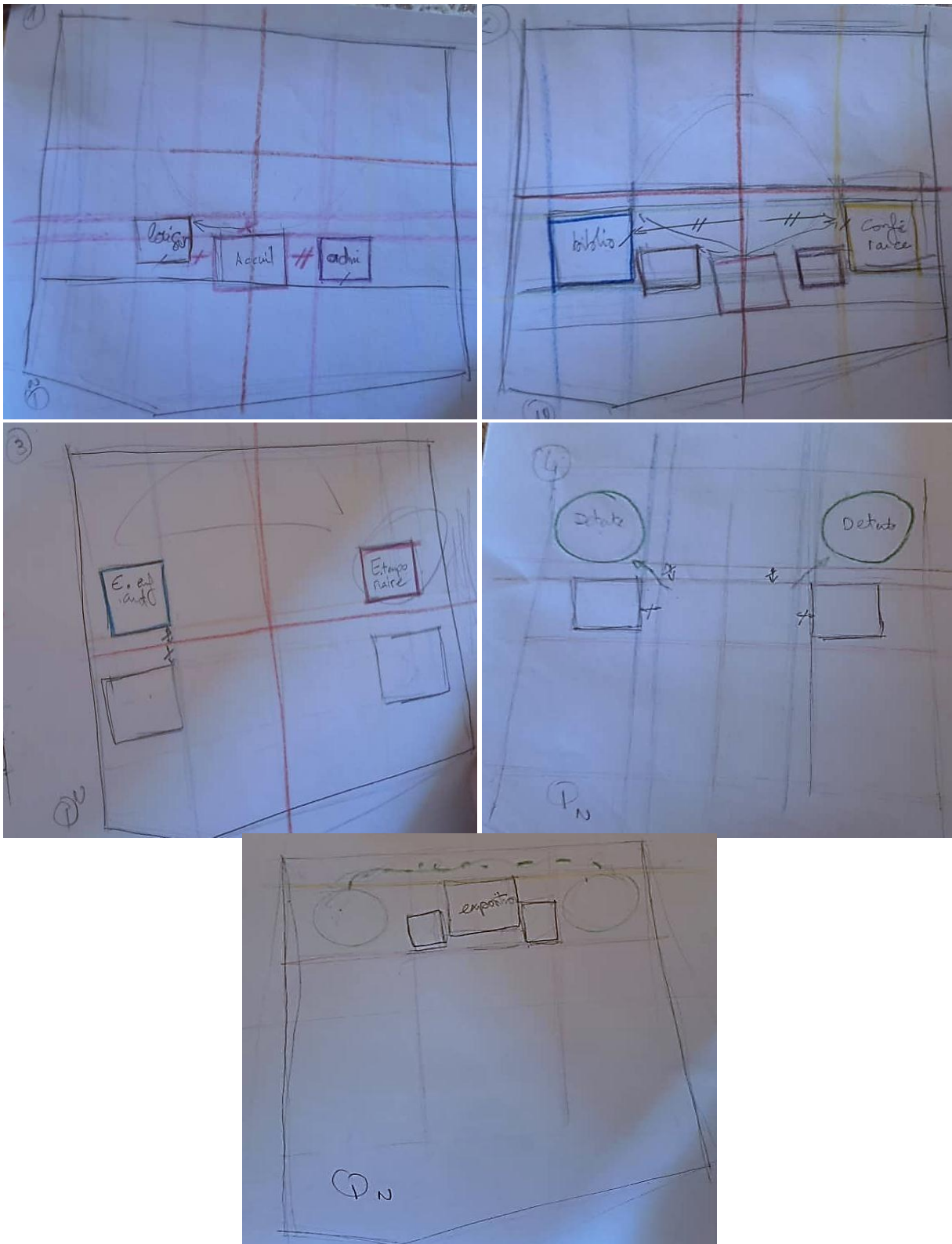


Figure 5-33 : Genèse du projet. (Source : Auteur, 2021).