

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université 08 Mai 1945 de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département d'Architecture

Spécialité : Architecture

Option : Architecture, environnement et technologie

Présenté par : SAIB Roumaïssa

Thème : Optimisation de l'éclairage naturel dans les équipements artistiques

Projet : Ecole des arts et d'artisanats à Guelma

Sous la direction de : DECHAICHA Assoule

MEDOUR Larbi

Septembre 2020

Remerciement

Je remercie

Allah qu'il m'a donné la force, la volonté et la patience pour arriver à ce jour...

Mes chers parents,

Mes encadreur,

Tous ceux qui m'ont appris même un mot dans ma carrière d'étude,

Et tous ceux qui par un mot m'ont donné la force de continuer...

Merci à tous

Dédicace

J'ai le plaisir de dédié ce travail

*A mes chers parents, qu'ils m'ont donné la vie, qu'ils sont sacrifiés pour nous,
qu'ils me puissent pour réussir, qu'ils sont toujours à mes côtés... aucun
dédicace peut exprimer mon amour, mon respect et ma fierté en vous. J'espère
être comme vous avez souhaité*

A ma sœur et frères

A tous ceux qui me sont chers ...

Roumaissa

Table des matières :

Remerciement, dédicace

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale

Problématique.....	16
Les hypothèses.....	17
Objectifs de recherches.....	17
Structure du mémoire.....	18

Partie 01 : partie théorique

Chapitre I : architecture bioclimatique, lumière et confort visuel. Définitions et concepts.

Introduction

I.1- L'architecture bioclimatique	
I.1.1- Objectif de l'architecture bioclimatique.....	21
I.1.2- La construction bioclimatique.....	22
I.1.3- Les principes de base d'une conception bioclimatique.....	22
I.1.3.1- méthodologie de conception.....	23
I.1.4- Favoriser l'éclairage naturel.....	25
I.2- Historique.....	25
I.3- Lumière et éclairage	
I.3.1- La lumière.....	29
I.3.1.1- Les sources de la lumière.....	30
I.3.1.2- La distribution lumineuse.....	31
I.3.1.3- La répartition de la lumière.....	31
I.3.1.4- Les rapports de luminance.....	31
I.3.1.5- Les ombres gênantes.....	32
I.3.1.6- La perception physiologique de la lumière.....	32
I.3.2- L'éclairage :	

I.3.2.1- Les types de l'éclairage.....	34
I.3.2.1.1- L'éclairage artificiel.....	34
I.3.2.1.2- L'éclairage naturel.....	35
I.3.2.2- Les aspects de l'éclairage naturel.....	35
I.3.2.2.1- L'ensoleillement.....	36
I.3.2.2.2- L'éclairage diffus.....	36
I.3.2.2.3- Types de ciel.....	36
I.3.2.2.4- Le facteur de lumière de jour.....	37
I.3.2.3- Paramètres influant l'éclairage naturel.....	37
I.3.2.4- La relation au monde extérieur.....	38
I.3.3- le confort	
I.3.3.1- Les types de confort.....	39
I.3.3.2- Multiples dimensions du confort.....	39
I.4- Le confort visuel	
I.4.1- Les critères du confort visuel	40
I.4.2- Les paramètre du confort visuel	41
I.4.2.1- Les paramètres physiques du confort visuel.....	42
I.4.3- Les facteurs physiologiques et psychologiques.....	42
I.4.4- Les caractéristiques de base du confort visuel.....	43
I.4.4.1- Eclairage.....	43
I.4.4.2- Le facteur de lumière du jour.....	43
I.4.4.3- Luminance.....	43
I.4.4.4- Autonomie de lumière du jour.....	43
I.4.4.5- Répartition lumineuse uniforme.....	44
I.4.4.6- Rendement des couleurs.....	44
I.4.4.7- Température de couleur.....	45
I.4.4.8- Eblouissement.....	45
I.4.4.9- Ombre gênant.....	46
I.4.4.10- Transmission lumineuse.....	46

Conclusion

Chapitre II : l'éclairage naturel dans l'espace architectural.

Introduction

II.1- Le confort visuel et l'ambiance lumineuse dans l'espace architectural	
II.1.1- L'ambiance lumineuse.....	49
II.1.1.1- Définition.....	49
II.1.1.2- Les types d'ambiance lumineuse.....	49
II.1.1.3- La sensation d'une ambiance lumineuse.....	52
II.1.1.4- L'ambiance lumineuse et l'espace architectural.....	52
II.1.1.4.1- A l'intérieur de l'espace architectural.....	52
II.1.1.4.2- L'espace architectural lui-même.....	53
II.1.2- L'influence du type d'ouverture sur le confort visuel dans un bâtiment.....	54
II.1.2.1- Une répartition harmonieuse de la lumière dans l'espace.....	54
II.1.2.2- Les rapports de luminance présents dans le local.....	55
II.1.2.3- La relation au monde extérieur.....	55
II.2- l'éclairage naturel	
II.2.1- Type d'éclairage naturel.....	57
II.2.1.1- L'éclairage latéral.....	57
II.2.1.1.1- Types d'éclairage latéral.....	57
II.2.1.2- L'éclairage Zénithal.....	59
II.2.1.2.1- Type d'éclairage zénithal.....	60
II.2.1.2.1- Les toitures en dents de scie ou sheds.....	60
II.2.1.2.2- Les tabatières (skylights).....	61
II.2.1.2.3- Les Lanterneaux.....	61
II.2.1.2.4- Les verrières et les dômes.....	62
II.2.1.3- L'éclairage composé.....	62
II.2.2- Les outils de renforcement de l'éclairage naturel à l'intérieur du bâtiment.....	63
II.2.2.1- Le puits de lumière.....	63
II.2.2.2- Le conduit solaire.....	64

II.2.2.3- Le « light shelf ».....	64
II.2.3- Les stratégies de l'éclairage naturel.....	66
II.2.3.1- Capter.....	66
II.2.3.1.1- Capter directe à travers les ouvertures.....	67
II.2.3.2- Transmettre.....	74
II.2.3.3- Distribuer.....	74
II.2.3.4- Protéger.....	74
II.2.3.5- Contrôler.....	77
II.2.4- Les paramètres qui influent l'éclairage naturel.....	78
II.2.4.1- L'influence de l'environnement.....	78
II.2.4.2- Des éléments liés au bâtiment lui-même.....	79
II.2.4.3- La végétation.....	79

Conclusion

Partie 2 : la partie analytique

Chapitre III : méthodes d'évaluation et application, la simulation des ambiances lumineuses.

Introduction

III.1- La simulation des ambiances lumineuses

III.1.1- Définition.....	82
III.1.2- Les outils de simulation et de modélisation.....	83
III.1.2.1- Mesures sur site.....	83
III.1.2.2- Les logiciels informatiques.....	83
III.1.2.2.1- Logiciel d'éclairage DIALux.....	83
III.1.2.2.2- VELUX Daylight Visualizer.....	83
III.1.2.2.3- Ecotect.....	84
III.1.3- Le choix du logiciel de simulation.....	84
III.1.3.1- Présentation.....	84
III.1.3.2- Qu'est-ce que ECOTECT ?.....	85
III.1.3.3- Comment fonctionne ECOTECT ?.....	85
III.1.3.4- Les caractéristiques.....	85

III.1.3.5- Les avantages d'ECOTECT by Autodesk.....	86
III.1.3.6- La démarche ECOTECT.....	86
III.2- Protocole de simulation.....	87
III.2.1- Réalisation du model a simulé et intégration des donnée météorologiques.....	88
III.2.2- Intégration des données météorologiques.....	88
III.3- Simulation et interprétations des résultats.....	88
III.3.1- Etude quantitative de modèle.....	93
III.3.2- Effet del'orientation.....	94
III.4- Conclusion et recommandations	
Chapitre IV : analyses et propositions.	
IV.1- Analyse des exemples.....	98
IV.1.1- exemple 1 : Faculté des Beaux-Arts, de Musique et de Design à Bergen.....	98
IV.1.1.1- Situation du projet.....	98
IV.1.1.2- Plan de masse, limites et accessibilité.....	98
IV.1.1.2- La forme.....	99
IV.1.1.3- La façade : "Une façade robuste".....	99
IV.1.1.4- L'intérieur.....	100
IV.1.1.5- Analyse écologique.....	102
IV.1.1.6- Synthèse.....	102
IV.1.2- Exemple 2 : Ecole supérieure des beaux-arts d'Alger.....	103
IV.1.2.1- Situation.....	103
IV.1.2.2- Plan de masse, limites, accessibilité et volumétrie.....	103
IV.1.2.3- L'intérieur.....	104
IV.1.2.4- L'extérieur.....	106
IV.1.2.5- Le programme qualitatif et quantitatif.....	107
IV.1.2.6- Synthèse.....	108
IV.1.3- Exemple 3 : Chambre des Métiers et de l'Artisanat à Lille.....	108
IV.1.3.1- Situation du projet.....	108
IV.1.3.2- Plan de masse, limites et accessibilité.....	108

IV.1.3.3- La forme et le volume.....	109
IV.1.3.4- La façade et l'entrée.....	110
IV.1.3.5- L'intérieur.....	111
IV.1.3.6- Analyse écologique.....	111
IV.1.3.7- Synthèse.....	111
IV.2- Analyse de site	
IV.2.1- Contexte géographique : situation et les limites de la ville de Guelma.....	111
IV.2.2 Historique de la ville de Guelma.....	115
IV.2.3- Analyse climatique.....	116
IV.2.4- Présentation du site.....	120
IV.2.5- Synthèse et critères de choix.....	121
IV.2.6- Programme retenu.....	122
IV.3- Etude architecturale	
IV.3.1- Schéma de principe.....	123
IV.3.2- les différents plans.....	124
Conclusion générale	
Bibliographie	
Résumé	

Table des illustrations :

Liste des figures :

Figure 1 : Illustration du spectre électromagnétique.....	26
Figure 2 : l'œil humain	32
Figure 3 : Les composants du facteur de la lumière de jours.....	34
Figure 4 : Présentation d'une large pénétration des rayons solaires dans un local	34
Figure 5 : les critères du confort visuel.....	40
Figure 6 : L'effet de l'éblouissement par réflexion sur l'utilisateur.....	45
Figure 7 : La pénombre en architecture.....	49
Figure 8 : Ambiance lumineuse.....	50
Figure 9 : Ambiance inondé.....	50
Figure 10 : Eglise de la lumière, Osaka, Japan.....	51
Figure 11 : Espace éclairé à 300 lux avec une lumière.....	51
Figure 12 : Espace éclairé à 300 lux avec une lumière froide.....	51
Figure 13 : Vue intérieure sur le cône lumineux du dôme Reichstag.....	52
Figure 14 : Vue extérieure sur le cône lumineux du dôme Reichstag.....	52
Figure 15 : Vue extérieure du dôme Reichstag pendant le jour et pendant la nuit.....	53
Figure 16 : Exemple de l'éclairage latéral.....	56
Figure 17 : Exemple d'un éclairage unilatéral.....	57
Figure 18 : Exemple d'un éclairage bilatéral.....	57
Figure 19 : Exemple d'un éclairage multilatéral.....	58
Figure 20 : Exemple de l'éclairage zénithal.....	59
Figure 21 : Principe du Sheds.....	59
Figure 22 : Exemple d'éclairage zénithal de type tabatière.....	60
Figure 23 : exemple de lanterneau.....	61
Figure 24 : diagramme des types d'éclairage.	62

Figure 25 : Utilisation du verre dans des éléments de sol ou d'escalier.....	63
Figure 26 : Puits de lumière.....	63
Figure 27 : le light shelf.....	64
Figure 28 : les types de light shelves.....	65
Figure 29 : Stratégie de l'éclairage naturel.....	66
Figure 30 : Capter l'éclairage naturel.....	66
Figure 31 : L'éclairage latéral.....	66
Figure 32 : Principes des fenêtres en toit.....	67
Figure 33 : Ouverture en toit.....	67
Figure 34 : Angle d'exposition au ciel.....	69
Figure 35 : Influence de forme d'ouverture.....	70
Figure 36 : types des fenêtres.....	70
Figure 37 : Position d'ouverture.....	71
Figure 38 : Indique la relation entre la fenêtre, forme lanterneau et la position, la distribution et de la lumière.....	71
Figure 39 : Type de vitrage.....	72
Figure 40 : Se protéger au sud.....	74
Figure 41 : Se protéger à l'ouest.....	74
Figure 42 : Brise-soleil horizontaux.....	75
Figure 43 : La distribution de la lumière en été en et hiver.....	77
Figure 44 : la rue comme masque solaire.....	77
Figure 45 : bâtiment voisin vitrée.....	78
Figure 46 : la végétation comme masque solaire.....	78
Figure 47 : Résultats de simulation sous Ecotect, ombrage (a), lumière du jour (b) et performances thermique (c).....	87
Figure 48 : les principaux espaces dans l'école.....	89
Figure 49 : 3D avec l'ombre dans la période hivernale A 10 h.....	89

Figure 50 : 3D avec l'ombre dans la période hivernale A 12h.....	90
Figure 51 : 3D avec l'ombre dans la période hivernale A 12.15h.....	90
Figure 52 : 3D avec l'ombre dans la période hivernale A 13h.....	91
Figure 53 : 3D avec l'ombre dans la période hivernale A 16.00h.....	91
Figure 54 : Diagramme 01 par rapport à une surface (plan).....	92
Figure 55 : Diagramme 02 par rapport à une surface (fenêtre).....	92
Figure 56 : Diagramme 03 par rapport à une surface (mur).....	93
Figure 57 : Classe avec fenêtre (à 10h) : orientation Nord.....	93
Figure 58 : les orientations de la classe.....	94
Figure 59 : situation du projet.....	98
Figure 60 : plan de masse.....	98
Figure 61 : la forme du projet.....	99
Figure 62 : l'extérieure de la faculté.....	99
Figure 63 : les ouvertures.....	100
Figure 64 : l'entrée du bâtiment.....	100
Figure 65 : situation de l'école des beaux-arts d'Alger.....	103
Figure 66 : plan de masse.....	103
Figure 67 : l'école des beaux-arts d'Alger.....	106
Figure 68 : situation du projet.....	108
Figure 69 : plan de masse du projet.....	108
Figure 70 : plan de masse du projet.....	108
Figure 71 : plan de masse du projet.....	109
Figure 72 : maquette du projet.....	109
Figure 73 : la volumétrie du projet.....	110
Figures 74 : les façades du projet.....	110
Figure 75 : plan de masse.....	111

Figure 76 : situation géographique de la ville de Guelma.....	113
Figure 77 : situation de la ville et la wilaya de Guelma.....	114
Figure 78 : théâtre romain de Guelma.....	115
Figure 79 : Classification du climat en Algérie.....	116
Figure 80 : précipitation annuelle à Guelma.....	118
Figure 81 : température en 2015 à Guelma.....	118
Figure 82 : diagramme ombro-thermique de Guelma période 1980-1990.....	118
Figure 83 : situation du terrain.....	120
Figure 84 : accessibilité de terrain.....	120
Figure 85 : coupe topographique du terrain.....	121
Figure 86 : Environnement immédiat du terrain.....	186
Liste des tableaux :	
Tableau 1 : les sources de la lumière.....	29
Tableau 2 : Classification de la perception des couleurs selon la plage d'IRC.....	44
Tableau 3 : Principe et avantages et inconvénients de Fenêtre verticale.....	67
Tableau 4 : Principe et avantages et inconvénients de Fenêtre en toiture.....	P54
Tableau 5 : Avantages et inconvénients de végétation.....	75
Tableau 6 : Avantages et inconvénients de Brise-soleil horizontaux extérieurs.....	75
Tableau 7 : Avantages et inconvénients de Brise-soleil verticaux extérieurs.....	76
Tableau 8 : les valeurs d'éclairements reçues dans les 04 orientations.....	95
Tableau 9 : les avantages et les inconvénients de la conception du projet « le 1 ^{er} exemple a analysé »	102
Tableau 10 : les avantages et les inconvénients de la conception de l'école.....	108
Tableau 11 : les avantages et les inconvénients de la conception du projet.....	113
Tableau 12 : Précipitation annuelle totale en (mm).....	117
Tableau 13 : humidité moyenne de Guelma.....	119

Introduction générale

Minimiser l'empreinte écologique et assurer la qualité environnementale de la production architecturale sont devenues aujourd'hui des soucis majeurs des concepteurs et constituent la problématique contemporaine à laquelle doit répondre tout architecte. Pour cela, la maîtrise de l'éclairage naturel semble de plus en plus évidente pour contribuer à des systèmes d'éclairage dit optimaux en termes de confort et de dépenses énergétiques.

Dans ce domaine, de nouveaux concepts sont apparus au fil des dernières décennies comme la démarche américaine LEED1, la démarche française HQE2 avec ses 14 cibles...etc. Ceux-ci peuvent être considérés comme réponse aux nouveaux enjeux comme la lutte à la fois contre le gaspillage des ressources d'énergie rares et contre la brutale accélération des changements climatiques touchant notre planète.

Depuis l'origine des temps, la lumière naturelle était un élément présent avec une forte valeur symbolique, permettant de percevoir les objets avant de les toucher, elle s'associe, dans toutes les cultures humaines, à la connaissance et au progrès. La lumière est la condition du visible. Elle est ce qui autorise la perception des formes et des limites tant des objets que des espaces. Savoir jouer avec la lumière est un art que les architectes pratiquent depuis l'origine des temps. C'est l'un des matériaux de base de toute conception architecturale et un élément clé qui caractérise l'espace architectural, elle l'éclaire en créant les conditions nécessaires pour accueillir des activités humaines. La fonction d'éclairage de la lumière est associée à une fonction plus sensible attribuant une identité et une singularité à l'espace conçu. La lumière permet de voir ou de montrer certes, mais elle permet également de raconter, d'émerveiller et de renforcer la vocation de certains édifices architecturaux et devient un élément d'aménagement des espaces au-delà de sa fonction d'éclairage. Faire de l'architecture c'est ainsi créer des ambiances, établir des atmosphères en fonction de l'utilisation de l'espace. Ainsi la lumière est un élément fondamental dans la conception architecturale, sans lumière la construction ne serait qu'un objet perdu dans l'espace et n'ayant ni âme, ni sens. Elle doit donc être adaptée au lieu, à sa fonction, son histoire, son environnement...etc. Lors d'une réflexion architecturale, la notion de lumière naturelle ou son absence fait partie des thèmes à considérer, c'est avec ces deux éléments que la dimension éclairage naturel est traitée en architecture, cet éclairage est le résultat d'un certain nombre de paramètres reliés aux types de baies employées,

l'orientation...etc. Elle permet d'assurer le confort visuel et de réaliser une ambiance lumineuse agréable, dans le cas où cette lumière n'est pas maîtrisée ou n'est pas prise en considération dès la phase de conception dans l'espace architectural cela peut engendrer certains problèmes en matière d'éclairage ou de confort ou même des problèmes d'insalubrité, ce qui fait que l'espace ne pourra pas répondre aux besoins et assurer le bon déroulement de ses activités. La lumière naturelle est le mode d'éclairage le plus agréable, le plus performant et le plus économique pour qu'on puisse s'en préserver lorsque c'est nécessaire. Son utilisation judicieuse est un atout majeur pour développer les qualités architecturales, énergétiques et environnementales d'un bâtiment et pour créer des ambiances. Pour cela notre travail de recherche sera porté essentiellement sur la lumière naturelle et sa relation avec l'espace architectural.

Problématique :

« It's my feeling that living and not living things are dichotomous.....but I feel that if all living plants and creatures were to disappear, the sun would still shine and the rain still fall. We need nature but nature don't need us” L.I.Kahn

Avant des siècles et des années, l'homme n'utilise que la lumière naturelle et la considère comme sa seule source d'éclairage dans sa vie pour effectuer ses activités quotidiennes.

Aujourd'hui, la lumière est innovée par la découverte de l'électricité et la lampe, ce qui favorise un développement associé aux nouvelles technologies afin de répondre aux besoins de la vie moderne.

Chez nous en Algérie ; comme dans le monde entier, l'homme consomme beaucoup de ces sources naturelles surtout dans les régions relatives à l'exploitation des énergies lumineuses, ce qui pose le problème d'humiliation totale de ces capacités.

Le milieu architectural n'a jamais été à l'abri de ces enjeux ; d'autant plus que dans le domaine artistique qui réclame des études délicates envers les ressources lumineuses.

La ville de Guelma a un grand manque en matière des équipements destinés aux activités artistiques, ce qui mal affecte l'activité des artistes et par conséquent la production artistique dans cette région. Tant qu'on parle de l'activité artistique, le sujet nous interpelle comme étant architectes, concepteurs et producteurs de l'espace architecturale ; en matière de confort visuel et de bien être dans les ambiances lumineuses.

La conception des projets artistiques a besoin d'un traitement spécial en matière de lumière et d'éclairage parce qu'ils visent à assurer le confort visuel des utilisateurs. Les problèmes posés concernant ce confort engendrent à plus ou moins à moyen et à long terme des répercussions physiques et psychiques, des malaises et d'inconfort.

« Certains architectes parlent de lumière en termes spatiaux, c'est-à-dire qu'ils associent directement la lumière naturelle à des propriétés et qualités spatiales. Ces dernières mettent à la disposition des architectes des alternatives d'éclairage naturel fondées essentiellement sur des caractéristiques spatiales indépendantes des courantes spécifications et recommandations chiffrées » (Belkehl ,A).

A savoir, les aspects quantitatifs et les aspects qualitatifs de l'exploitation de la lumière.

On trouve ces problèmes dans les espaces principales qui sont les ateliers de travail ou les espaces d'exposition, ils sont de différents ordres dont le niveau d'éclairage, la présence et le dégagement de chaleur.

La sensation d'inconfort pour un artiste affecte négativement sur son rendement, il faut prendre en compte toutes les conditions (les conditions climatiques jouent un rôle important car l'éclairage naturel dépend sur l'orientation du projet) pour un meilleur confort visuel.

Questions de recherche :

- Comment assurer le confort visuel à travers l'exploitation de la lumière naturelle dans les espaces de travail artistique ?
- Comment mettre en exergue une approche architecturale permettant la prise en compte des nécessités lumineuses distinguant les espaces de formation artistique particulièrement à Guelma ?

Hypothèses :

Le confort visuel a une forte influence sur l'individu tant au niveau physiologique que Psychologique.

- A travers une conception écologique le confort visuel peut être assuré en mieux exploitant la lumière naturelle
- Une démarche d'optimisation lumineuse est une méthode appropriée permettant la prise en compte des exigences particulières distinguant les projets de formation artistique et artisanale.

Objectifs de recherche :

- L'objectif principal de cette étude est d'évaluer qualitativement, les performances lumineuses des systèmes d'éclairage afin de déceler les différents points positifs et les points négatifs.
- Mettre en évidence le rôle de la lumière naturelle dans les espaces de travail artistique.
- Classifier les différentes techniques et méthodes de l'optimisation de la lumière naturelle.
- La conception d'une école des arts et d'artisanat qui répond aux besoins en matière d'ambiances lumineuses

Structure du mémoire :

Ce travail est structuré sur :

- Introduction générale
- Chapitre 1 : la lumière et le confort visuel
- Chapitre 2 : l'éclairage naturel dans l'espace architectural
- Chapitre 3 : méthode d'évaluation et application, la simulation des ambiances lumineuses (état de l'art)
- Chapitre 4 : analyses et propositions
- Conclusion générale.

Chaque chapitre contient une introduction, des définitions des concepts et des synthèses sur les recherches.

Le travail consiste à présenter quelques concepts théoriques et pratiques sur le sujet de la lumière et la recherche vise à préparer un projet qui répond aux besoins des usagers en fonction du confort visuel, s'appuyant sur l'éclairage naturel et la minimisation de l'électricité dans les bâtiments.

PARTIE 01 :

PARTIE THÉORIQUE

Chapitre I : architecture bioclimatique, lumière et confort visuel Définitions et concepts

Introduction :

La lumière est omniprésente dans notre vie. C'est grâce à elle que la vie est possible sur notre planète. La vie n'aurait pu se développer sans la lumière du soleil. Par rapport à l'architecture, la lumière se positionne comme un outil de composition, d'aménagement et un facteur technique autrement dit la fonction d'éclairer (technique) de la lumière est aussi associée à une fonction plus sensible.

Dans ce chapitre on parle du thème général de la recherche qui est l'architecture bioclimatique, cette architecture est développée pour but d'assurer le confort des usagers. Dans ce travail on cherche d'assurer le confort visuel, donc on parle de tout qui concerne la lumière et l'éclairage.

I.1- L'architecture bioclimatique :

Le terme bioclimatique est associé à un type d'architecture, fait référence à la fois à la vie et à l'environnement par le préfixe bio et aux conditions climatiques du lieu de construction. L'architecture bioclimatique pourrait donc être définie comme l'art de bâtir des édifices en adaptant la construction aux conditions climatiques de l'endroit et à son environnement.¹

L'architecture bioclimatique est l'art de bâtir en respectant de l'environnement et confort de l'utilisateur. Elle a pour objectif d'obtenir des conditions de vie agréables de la manière la plus naturelle possible, en utilisant par exemple les énergies renouvelables (comme les éoliennes ou l'énergie solaire) disponibles sur le site.²

I.1.1- Objectif de l'architecture bioclimatique

Ce type d'architecture permet d'assurer le confort des utilisateurs de l'édifice, tout en mettant au point un bâtiment qui respecte son environnement et en tire le meilleur parti.

Pour se faire, la construction devra utiliser les énergies renouvelables du site telles que l'énergie solaire, éolienne ou géothermique. L'édification respectera les mêmes règles en utilisant les énergies extérieures au site de manière très limitée. Les énergies fossiles et l'électricité seront donc utilisées de manière raisonnée.

L'architecte bioclimatique cherche durant tout le processus de conception à voir l'environnement comme une source de confort et cherche à entrer en symbiose avec celui-ci dans un souci de préservation. La conception bioclimatique est la phase stratégique où l'architecte définira les objectifs du projet, les différentes contraintes environnementales à

¹ azenco.fr/larchitecture-bioclimatique

² www.futura-sciences.com

respecter et les solutions architecturales qui y seront apportées. Ainsi, il s'assure que son édifice ait peu d'impact sur l'environnement tout comme l'environnement aura peu d'impact sur son édifice.³

I.1.2- La construction bioclimatique :

L'architecture bioclimatique n'inclut ni panneaux solaires, ni éoliennes. Les économies d'énergie sont faites gratuitement, grâce à une conception intelligente qui s'adapte à la géographie du lieu, à son climat, et emploie des matériaux adaptés.

La construction bioclimatique ne répond pas à un cahier des charges précis, les règles de construction varient en effet selon le climat de la zone de construction, selon la géographie du lieu (en plaine, en montagne, près d'un plan d'eau, dans une région venteuse...). Ainsi, une construction répondant aux règles du bioclimatisme ne sera pas conçue ni orientée de la même manière dans des différentes villes.

En revanche, quelques grandes règles orientent la conception bioclimatique :

- Les sites situés à l'ombre ou au cœur d'une forêt sont délaissés, car peu lumineux et humides les maisons sont la plupart du temps orientées plein sud pour capter la chaleur et la lumière du soleil à l'aide de fenêtres et de baies vitrées ;
- Les fenêtres sont à double ou triple vitrage pour optimiser l'isolation ;
- Les pièces ne craignant pas le froid (garage, buanderie) sont placées côté nord ;
- Les végétaux qui entourent la construction peuvent servir à créer de l'ombre et apporter de la fraîcheur en été ;
- Les constructions sont compactes : pour une surface égale, une maison sur deux étages subit moins de déperditions thermiques qu'un logement de plain-pied ;
- Les matériaux utilisés sont dits « à forte inertie » : ils accumulent facilement les calories la journée et les diffusent progressivement la nuit. En été, ils absorbent la chaleur et conservent mieux la fraîcheur dans le logement.⁴

I.1.3- Les principes de base d'une conception bioclimatique :

On parle de conception bioclimatique lorsque l'architecture du projet est adaptée en fonction des caractéristiques et particularités du lieu d'implantation, afin d'en tirer le bénéfice des avantages et de se prémunir des désavantages et contraintes. L'objectif principal est d'obtenir

³ azenco.fr/larchitecture-bioclimatique

⁴ www.lenergiesoutcompris.fr

le confort d'ambiance recherché de manière la plus naturelle possible en utilisant les moyens architecturaux, les énergies renouvelables disponibles et en utilisant le moins possible les moyens techniques mécanisés et les énergies extérieures au site. Ces stratégies et techniques architecturales cherchent à profiter au maximum du soleil en hiver et de s'en protéger durant l'été. C'est pour cela que l'on parle également d'architecture passive.

Le choix d'une démarche de conception bioclimatique favorise les économies d'énergies et permet de réduire les dépenses de chauffage et de climatisation, tout en bénéficiant d'un cadre de vie très agréable.

Afin d'optimiser le confort des occupants tout en préservant le cadre naturel de la construction, de nombreux paramètres sont à prendre en compte. Une attention tout particulière sera portée à l'orientation du bâtiment (afin d'exploiter l'énergie et la lumière du soleil), au choix du terrain (climat, topographie, zones de bruit, ressources naturelles, ...) et à la construction (surfaces vitrées, protections solaires, compacité, matériaux, ...).

I.1.3.1- méthodologie de conception :

La conception bioclimatique s'articule autour des 3 axes suivants :

➤ **Capter / se protéger de la chaleur**

Dans l'hémisphère nord, en hiver, le soleil se lève au Sud Est et se couche au Sud-Ouest, restant très bas (22° au solstice d'hiver). Seule la façade Sud reçoit un rayonnement non négligeable durant la période d'hiver. Ainsi, en maximisant la surface vitrée au sud, la lumière du soleil est convertie en chaleur (effet de serre), ce qui chauffe le bâtiment de manière passive et gratuite.

Dans l'hémisphère nord, en été, le soleil se lève au Nord Est et se couche au Sud-Ouest, montant très haut (78° au solstice d'été). Cette fois ci, ce sont la toiture, les façades Est (le matin) et Ouest (le soir) qui sont le plus irradiées. Quant à la façade Sud, elle reste fortement irradiée mais l'angle d'incidence des rayons lumineux est élevé. Il convient donc de protéger les surfaces vitrées orientées Sud via des protections solaires horizontales dimensionnées pour bloquer le rayonnement solaire en été. Sur les façades Est et Ouest, les protections solaires horizontales sont d'une efficacité limitée car les rayons solaires ont une incidence moins élevée. Il conviendra d'installer des protections solaires verticales, d'augmenter l'opacité des vitrages (volets, vitrage opaque) ou encore de mettre en place une végétation caduque.

En règle générale, dans l'hémisphère nord, on propose :

- Une maximisation des surfaces vitrées orientées au Sud, protégées du soleil estival par des casquettes horizontales,
- Une minimisation des surfaces vitrées orientées au Nord. En effet, les apports solaires sont très faibles et un vitrage sera forcément plus déprédatif qu'une paroi isolée,
- Des surfaces vitrées raisonnées et réfléchies pour les orientations Est et Ouest afin de se protéger des surchauffes estivales. Par exemple, les chambres orientées à l'ouest devront impérativement être protégées du soleil du soir.

➤ **Transformer, diffuser la chaleur :**

Une fois le rayonnement solaire capté et transformé en chaleur, celle-ci doit être diffusée et/ou captée. Le bâtiment bioclimatique est conçu pour maintenir un équilibre thermique entre les pièces, diffuser ou évacuer la chaleur via le système de ventilation.

La conversion de la lumière en chaleur se fait principalement au niveau du sol. Naturellement, la chaleur a souvent tendance à s'accumuler vers le haut des locaux par convection et stratification thermique, provoquant un déséquilibre thermique. Afin d'éviter le phénomène de stratification, il conviendra de favoriser les sols foncés, d'utiliser des teintes variables sur les murs selon la priorité entre la diffusion de lumière et la captation de l'énergie solaire (selon le besoin) et de mettre des teintes claires au plafond.

Les teintes les plus aptes à convertir la lumière en chaleur et l'absorber sont sombres (idéalement noires) et celles plus aptes à réfléchir la lumière en chaleur sont claires (idéalement blanches).

Il est également à noter que les matériaux mats de surface granuleuse sont plus aptes à capter la lumière et la convertir en chaleur que les surfaces lisses et brillantes (effet miroir).

Une réflexion pourra également être faite sur les matériaux utilisés, pouvant donner une impression de chaud ou de froid selon leur effusivité.

➤ **Conserver la chaleur ou la fraîcheur :**

En hiver, une fois captée et transformée, l'énergie solaire doit être conservée à l'intérieur de la construction et valorisée au moment opportun.

En été, c'est la fraîcheur nocturne, captée via une sur-ventilation par exemple, qui doit être stockée dans le bâti afin de limiter les surchauffes pendant le jour.

De manière générale, cette énergie est stockée dans les matériaux lourds de la construction. Afin de maximiser cette inertie, on privilégiera l'isolation par l'extérieur.

I.1.4- Favoriser l'éclairage naturel :

L'optimisation des apports d'éclairage naturel, réduisant la consommation électrique d'éclairage est également un point essentiel de la conception bioclimatique.

La réduction de la consommation d'éclairage des bâtiments est l'un des points essentiels de la conception bioclimatique. Afin de favoriser l'éclairage naturel, la surface et l'emplacement des fenêtres devront être intelligemment choisis, la forme des pièces devra favoriser la pénétration de la lumière, etc. Il faudra cependant ne pas en abuser. Si une pièce est trop exposée à l'éclairage naturel, l'occupant sera ébloui et fermera les volets, pour allumer l'éclairage artificiel.⁵

I.2- Historique :

- **L'antiquité**

C'est au 3^e siècle avant notre ère que les grecs s'intéressent véritablement aux questions liées à la lumière et à la vision. La science de l'optique va voir le jour avec le *Traité d'optique* d'Euclide.

Cependant, avant l'ère hellénistique à proprement parler, on trouve chez les Présocratiques, Platon et Aristote des tentatives de théorisation des phénomènes lumineux.

Jusqu'à Aristote, la nature de la lumière est conforme à la représentation poétique d'Homère. Elle apparaît comme un type de feu particulier dont la spécificité est, pour Héraclite et Empédocle, d'être continu.

Chez les atomistes, il est conçu comme un amas de corpuscules en mouvement. Platon reprend cette description dans le *Timée* où la lumière est un feu constitué par des traînées de tétraèdres imperceptibles pour les yeux et se déplaçant à grande vitesse.

Pour Empédocle, Démocrite ou Platon, la lumière émerge des sources incandescentes mais également des yeux.

Contrairement à cette conception de la lumière matérielle qui se propage avec une vitesse finie, la lumière chez Aristote est instantanée. Il n'est plus question ici d'ensembles de corpuscules projetés par les sources lumineuses.

⁵ www.e-rt2012.fr

Elle se définit comme l'expression d'une modification du milieu qui abrite la source émettrice et le sujet observant. Aristote a une vision dynamique de la lumière.

A l'ère hellénistique et au début de l'époque alexandrine, les deux grands textes de références sur la lumière et la vision sont : le Traité d'optique d'Euclide et l'Optique de Claude Ptolémée.

Pour ces auteurs, la lumière ne peut avoir d'existence propre et indépendante. Elle est liée à la vision de l'observateur et se définit géométriquement comme des rayons rectilignes émis par l'œil. Cette représentation est dans la continuité des thèses de Platon et va perdurer pendant à peu près toute l'époque médiévale.

Vers l'an mille, Alhazen, savant perse, rédige le Traité d'optique qui sera traduit en latin deux siècles plus tard. Ses travaux précèdent certaines découvertes des scientifiques européens de la Renaissance. Il a, notamment, prouvé que tous les objets reflètent la lumière et que les rayons lumineux frappent l'œil de l'observateur.

- **La Renaissance et l'époque moderne**

A la fin du 16^e siècle, le développement de l'optique dans les domaines pratiques bat son plein avec la mise en évidence des propriétés des lentilles et par extension la découverte du télescope. Les interrogations autour de la nature de la lumière réapparaissent et les savants se demandent si la lumière est un corps ou la manifestation du mouvement d'un corps.

C'est Descartes qui relance le sujet autour de la nature de la lumière et s'interroge sur le rôle du milieu qu'elle traverse. Les lois de Snell-Descartes marquent en 1625 une avancée considérable dans le développement de l'optique. Descartes, contrairement à Galilée considère que la propagation de la lumière est instantanée. Il faudra attendre les travaux de Rømer en 1676 pour parvenir à une première approche de la vitesse de la lumière.

En 1676, Christian Huygens, dans son Traité de la Lumière, montre que les lois de Snell-Descartes ne peuvent être validées que si l'on considère la lumière comme une onde qui se propage de manière rectiligne. Il s'oppose à la théorie de Newton qui, lui, préfère la conception corpusculaire et détermine la nature de la lumière comme un ensemble de grains en mouvement.

Fort de ces succès de l'époque, Isaac Newton emporte la victoire de cette bataille scientifique en publiant *Opticks* en 1704.

A l'aide du prisme, Newton parvient à décomposer la lumière et fait apparaître le spectre de la lumière blanche. Les sept couleurs qu'il met ainsi en évidence sont, selon lui, liées à la taille des grains de lumière qui les constituent.

Chapitre I : architecture bioclimatique, lumière et confort visuel

Définitions et concepts

Sa théorie corpusculaire vient éclipser la conception ondulatoire de Huygens qui sera abandonnée jusqu'au début du 19^e.

- **Les 19^e et 20^e siècles**

A partir des années 1800, les physiciens Thomas Young et Augustin Fresnel reprennent et expérimentent la théorie ondulatoire de Huygens.

Le développement de la spectroscopie permet d'étendre les recherches sur la relation entre rayonnement et matière sur un plus large champ que celui du visible. On conclut, ainsi, par une série d'expériences sur les effets thermiques des corps et sur les actions chimiques des sels d'argent, à l'existence d'ondes invisibles : l'infrarouge et l'ultraviolet.

En 1864, James Clerk Maxwell établit à travers ses équations – les équations de Maxwell- la relation entre champ électrique et champ magnétique. La vitesse des ondes qu'il mesure alors est étonnamment proche de celle de la lumière...

La conclusion de Maxwell sera donc que la lumière est une onde électromagnétique qui appartient au spectre électromagnétique et n'en est qu'une partie, la partie visible. Elle se déplace à une vitesse finie d'environ 300 000 km/s.

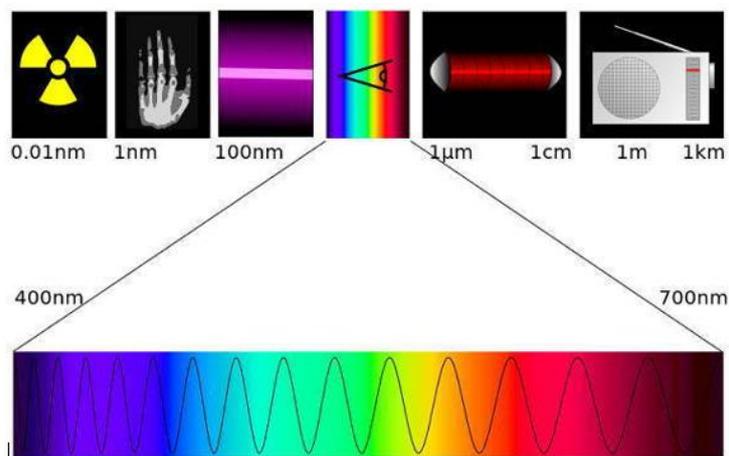


Figure 1 : Illustration du spectre électromagnétique [CC BY-SA 3.0] via Wikimedia Commons, 2006

Source : balises.bpi.fr

Cependant, pour l'époque, il est absolument nécessaire de considérer la propagation d'une onde dans un milieu. Pour la lumière, c'est l'éther qui apporte cette solution.

L'éther devient alors un référentiel absolu pour mesurer la vitesse des objets en mouvement.

De 1881 à 1887, Michelson et Morley tentent une série d'expériences pour mesurer la vitesse de la terre par rapport à l'éther. Tous les résultats viennent contredire les effets attendus. Devant

Chapitre I : architecture bioclimatique, lumière et confort visuel

Définitions et concepts

les résultats contradictoires avec les théories de l'époque, les physiciens commencent à douter de l'existence véritable de l'éther.

A la fin du 19e, Lorentz et Poincaré vont établir les formules mathématiques permettant de retrouver les résultats expérimentaux de Michelson et Morley. La vitesse de la lumière est alors définie comme identique dans toutes les directions et ne pouvant être dépassée.

La communauté scientifique commence à avoir l'intuition d'une nouvelle mécanique.

En 1905, année miraculeuse de la physique, Einstein dans son article « Sur l'électrodynamique des corps en mouvement » remet en question l'existence de l'éther. Il réfute cette notion de référentiel absolu qui s'oppose aux théories mécaniques classiques de Newton où tous les référentiels se valent.

Einstein pose l'idée que la lumière se propage dans le vide de manière constante et ce quelque soit le référentiel. Pour le démontrer, il doit instaurer une nouvelle théorie qui vient répondre à toutes les questions laissées en suspens.

C'est ainsi qu'il formalise une nouvelle théorie de l'espace et du temps : la théorie de la relativité restreinte où seule la vitesse de la lumière devient le référentiel absolu.

La même année, Einstein va reprendre la conception corpusculaire de la lumière en s'intéressant à l'effet photoélectrique.

Il reprend les études conduites par Max Planck en 1900 sur le rayonnement du corps noir. Il part du constat que selon les fréquences du rayonnement de la lumière projetée sur un métal, il n'y a pas toujours de champs électrique émis.

Cette observation est inexplicable si l'on se fie à la conception de Maxwell qui veut que la lumière soit seulement une onde électromagnétique de densité d'énergie proportionnelle à son intensité lumineuse. Théoriquement, il est donc possible d'accumuler autant d'énergie que l'on souhaite en exposant simplement le métal le temps nécessaire.

Pour expliquer cette contradiction entre théorie et observation, Einstein va reprendre l'idée du seuil d'énergie proposée par Planck pour résoudre l'énigme du corps noir et posée mathématiquement par la constante de Planck ou quantum d'action. Ces découvertes en thermodynamique seront à l'origine de la mécanique quantique.

Einstein explique alors simplement que cet effet photoélectrique est dû à la nature de la lumière faite de quanta – plus tard appelés photons. L'énergie du photon est liée à la fréquence du

rayonnement et non à son intensité. Il faut une fréquence suffisante -seuil- pour qu'un photon renferme assez d'énergie.

Cette découverte sur l'effet photoélectrique lui vaudra le prix Nobel de Physique en 1921.

La lumière redevient corpusculaire. Mais l'ancienne querelle conceptuelle qui anima Newton et Huygens ne revient pas pour autant sur le devant de la scène car l'aspect ondulatoire de la lumière demeure.

En 1923, Louis de Broglie pose clairement l'hypothèse de la dualité onde-corpuscule de la lumière. C'est l'interaction avec la matière qui la fait apparaître tantôt sous la forme ondulatoire, tantôt sous la forme corpusculaire. Elle apparaît comme une onde constituée de photons eux-mêmes définis par la densité d'énergie qu'ils renferment. Schrödinger met en équation cette hypothèse en 1925 et pose ainsi les bases du formalisme théorique de la mécanique quantique.⁶

I.3- Lumière et éclairage :

« La lumière naturelle à l'intérieur du bâtiment⁵⁰«La lumière ce qui embellit le bâtiment, elle est le grand illuminateur de toute la vie, une partie du bâtiment lui-même»
(Wright, 1945)

I.3.1- La lumière :

« L'expérience plastique que devait représenter l'accès au Panthéon mérite qu'on s'y arrête. (...). L'entrée plongeait le visiteur - comme elle le fait encore de nos jours dans une sorte de stupeur extatique : l'explosion spatiale, dans le clair-obscur mystique, la stabilité paisible de l'immense coupole suspendue sans effort et tournant lentement autour de l'observateur et enfin l'extraordinaire lumière zénithale baignant l'édifice, comme aspiré vers l'ouverture béante de l'oculus central, ... » (Stierlin, 2040).

La lumière, est ce qui nous permet de voir et cela en éclairant l'espace, la lumière n'est pas visible en elle-même, elle ne l'est que grâce aux surfaces qui la réfléchissent. Elle peut être naturelle ou artificielle

Le dictionnaire «Larousse» définit la lumière comme étant un rayonnement électromagnétique dont la longueur d'onde, comprise entre 400 et 780 nm, correspond à la zone de sensibilité de l'œil humain, entre l'ultraviolet et l'infrarouge.

⁶ <https://balises.bpi.fr/sciences-et-techniques/la-lumiere-toute-une-histoire>

Et le dictionnaire «cnrtl.fr» la définit comme suivant : Énergie émanant d'un corps agissant sur la rétine de manière à rendre les choses visibles.

I.3.1.1- Les sources de la lumière :

La lumière est omniprésente dans notre vie. C'est grâce à elle que la vie est possible sur notre planète.

Type de source		Exemples
Source naturelle	Primaire	Soleil, feu, luciole
	Secondaire	Lune, neige, mer, sable
Source artificielle	Primaire	Lampes, tubes, module <u>LED</u> , <u>OLED</u>
	Secondaire	<u>Système optique</u> d'un luminaire (réflecteur, grille, diffuseur...) Surface avec fort coefficient de réflexion et/ou spéculaire

Tableau 1 : les sources de la lumière (Source : auteur)

La lumière naturelle joue sur le confort, la santé et l'humeur de l'homme, mais elle varie selon l'endroit où nous sommes. En architecture, celle-ci fait partie intégrante de la conception d'un bâtiment, elle apporte une plus-value.

Il y a différents types de lumière naturelle qui entrent dans un bâtiment, en voici quelques-uns:

- Lumière diffuse et uniforme (provenant d'ouvertures plus grandes et régulières, exemple : fenêtres en bandeau au pourtour d'un local) ;
- Lumière directe (provenant du rayon de soleil direct à l'endroit voulu au plancher ou sur une autre surface) ;
- Lumière zénithale (provenant du plafond tel un puits de lumière) ;
- Lumière réfléchi (provenant d'une surface quelconque et redirigée dans l'espace).

I.3.1.2- La distribution lumineuse :

L'étude de la distribution de la lumière naturelle du point de vue du confort visuel consiste à trouver un éclairage ni excessif ni trop faible, qui permette une bonne perception des objets et des couleurs dans une ambiance agréable.

Une étude de la distribution lumineuse doit tenir compte des quatre critères suivants :

- La qualité de la répartition de la lumière dans l'espace, impliquant l'étude de l'équilibre harmonieux des luminances et des couleurs,

- Les rapports de luminance présents dans le local,
- L'absence d'ombres gênantes,
- La mise en valeur du relief et du modelé des objets.
- La distribution de la lumière naturelle peut être uniforme, localisée ou mixte : dans ce dernier cas, un niveau d'éclairage général existe pour tout l'espace et un éclairage localisé complémentaire est prévu en fonction des besoins spécifiques de la tâche visuelle.

I.3.1.3- La répartition de la lumière

Pour permettre à la lumière naturelle de se distribuer le mieux possible dans le local, il est essentiel de placer le mobilier de telle sorte qu'il ne fasse pas écran et de disposer les zones d'activité judicieusement. Les plans de travail seront situés préférentiellement près des ouvertures où la lumière naturelle est bien reçue.

I.3.1.4- Les rapports de luminance

La distribution lumineuse d'un espace doit être telle que les différences excessives de luminance soient évitées pour permettre aux occupants de voir correctement. Des zones extrêmement sombres ou brillantes donnent naissance à l'inconfort visuel et doivent être évitées.

Lorsqu'il y a de grandes différences de luminance dans le champ visuel, l'œil doit s'adapter lorsque la direction du regard change. Pendant son adaptation, l'acuité visuelle est diminuée. Pour éviter de telles fatigues inutiles, il convient de ne pas dépasser certaines valeurs de contraste entre les différentes zones du champ visuel. Cependant, si les différences entre les niveaux de luminance sont trop faibles, on crée dans le local une impression de monotonie très désagréable.

La perception des détails d'une tâche visuelle est facilitée par les contrastes de luminance et de couleur entre ces détails et l'arrière-fond. De plus, un contraste suffisant devrait être appliqué pour favoriser la perception du relief des objets. Il s'agit donc de trouver un compromis entre ces exigences.

I.3.1.5- Les ombres gênantes

Les ombres qui sont créées par la présence d'un élément entre la tâche visuelle et la source lumineuse sont mauvaises pour la vision puisqu'elles diminuent fortement les contrastes.

Le travail de lecture ou d'écriture ne peut être perturbé par des ombres parasites. Il faut donc éviter les situations suivantes :

- Un éclairage latéral venant de droite pour les droitiers (figure ci-contre) ;
- Un éclairage latéral venant de gauche pour les gauchers ;
- Un éclairage provenant du dos des occupants.

I.3.1.6- La perception physiologique de la lumière :

La vision humaine est un processus très complexe qui n'est pas encore totalement compris aujourd'hui, malgré des centaines d'années d'études et de modélisation. Le processus de vision implique l'interaction quasi-simultanée des deux yeux et du cerveau au travers d'un réseau de neurones, de récepteurs et d'autres cellules spécialisées. La première étape de ce processus est la stimulation de récepteurs de lumière situés dans les yeux, la conversion du stimulus lumineux ou des images en signaux et la transmission de ces signaux électriques contenant l'information de la vision depuis chaque œil vers le nerf optique. Cette information est traitée en plusieurs étapes pour atteindre finalement le cortex visuel du cerveau.

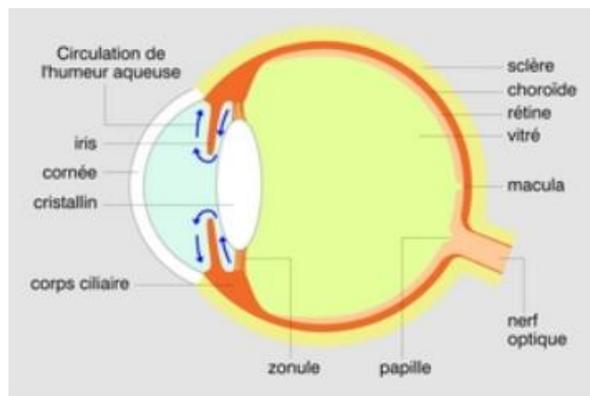


Figure 2 : l'œil humain (Source : sites.uclouvain.be/eclairage-naturel/guide_confort.htm)

L'œil humain est composé d'un ensemble de composants optiques comprenant la cornée, l'iris, la pupille, les humeurs aqueuses et vitreuses, le cristallin, et la rétine (comme illustré à la ci-dessus). Ensemble, ces éléments travaillent pour former les images des objets qui se situent dans le champ visuel de la personne. Quand on observe un objet, son image est d'abord concentrée par les éléments convexes de la cornée et du cristallin, formant ainsi une image inversée sur la surface de la rétine, membrane multicouche qui contient des millions de cellules sensibles à la lumière, appelées cônes et bâtonnets. Ces cellules photosensibles sont concentrées au centre de la rétine (fovéa). Ce sont elles qui détectent l'image et la traduisent en série de

signaux électriques qui seront transmis au cerveau. Plus précisément, ce sont les cônes (cellules qui permettent la vision des détails, des couleurs et des contrastes) qui sont rassemblées au centre de la fovéa alors que les bâtonnets, sont eux, situés en périphérie.

Les bâtonnets, qui ne contiennent qu'une seule photo pigment, présentent une sensibilité spectrale maximale dans la région des bleu-vert (environ 500 nanomètres). Ils ne permettent donc qu'une vision monochromatique. Ce sont les cellules visuelles les plus communes : chaque œil en contient 125 à 130 millions. La sensibilité à la lumière des bâtonnets est environ 1000 fois plus importante que celle des cônes ; ils permettent donc la vision nocturne (aussi appelée scotopique). Comme ils sont situés en périphérie de la fovéa, les bâtonnets ne permettent qu'une vision des formes et des mouvements, relativement floue.

Il existe trois types de cônes, présentant respectivement une sensibilité spectrale maximale à 430 (région des bleus), 535 (région des verts) et 590 (région des rouges) nanomètres. Chaque œil contient 5 à 7 millions de cônes, ce qui est nettement moins que le nombre de bâtonnets.

C'est la combinaison de la réponse de chaque type de cône au stimulus lumineux qui permet la vision des couleurs.⁷

I.3.2- L'éclairage :

Est l'application de la lumière aux objets ou à leur entourage pour qu'ils puissent être vus ; action, manière d'éclairer, de s'éclairer ; ensemble des appareils qui distribuent une lumière artificielle, ou l'ensemble des lumières destinées à mettre en valeur un spectacle, une représentation théâtrale, télévisée, etc. Selon le dictionnaire **Larousse**.

Lumière naturelle ou artificielle qui éclaire, selon **cnrtl.fr**.

I.3.2.1- Les types de l'éclairage :

I.3.2.1.1- L'éclairage artificiel

Est un dispositif permettant d'émettre de la lumière grâce à la conversion d'électricité en lumière, permettant de s'éclairer sans avoir recours à la lumière naturelle.

L'éclairage artificiel est émis artificiellement à l'aide des lampes et de projecteurs. La source de lumière artificielle n'est produite que lorsqu'on allume. Avec la lumière du jour, elle constitue une référence dans la perception de notre environnement et pour notre vie quotidienne. C'est

⁷sites.uclouvain.be/eclairage-naturel/guide_confort.htm

un éclairage chaud qui se rapproche de celle du soleil. De nombreuses sources artificielles sont désormais utilisées pour l'éclairage des espaces architecturaux et urbains, qui offrent une large palette d'intensités, de teintes et de couleurs et dont on améliore constamment les qualités et les performances. Pour autant, aucune des sources de lumière artificielle, pour la grande majorité électriques, ne possède en elle-même la richesse de la lumière naturelle.

I.3.2.1.2- L'éclairage naturel

Est l'apport lumineux fourni par le soleil, directement ou indirectement. La distribution contrôlée de la lumière du jour dans le bâtiment pour maximiser les espaces éclairés naturellement. La source de lumière dynamique qui se varie selon : la journée à la saison. L'éclairage naturel se caractérise par FLJ (Facteur de Lumière du Jour).

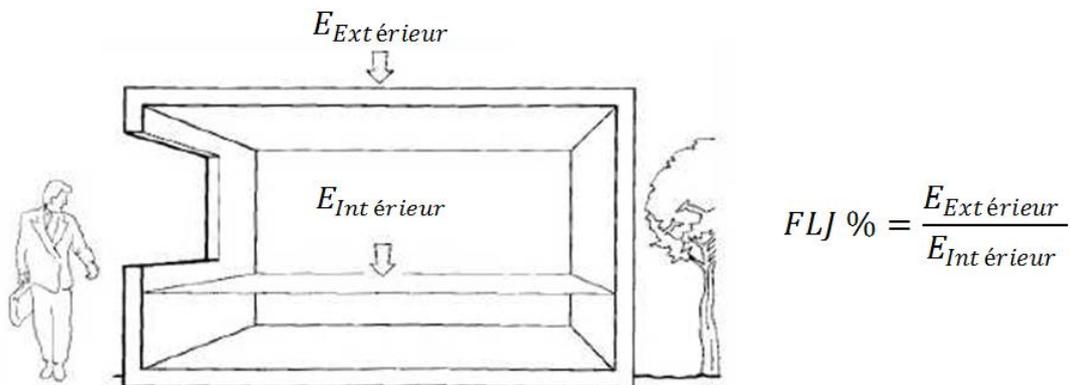


Figure 3 : Les composants du facteur de la lumière de jours.
(Source : cour d'équipement (BENHARA 2019))

I.3.2.2- Les aspects de l'éclairage naturel :

I.3.2.2.1- L'ensoleillement :

L'ensoleillement est l'étude de la course du soleil, de la pénétration de la lumière naturelle dans un bâtiment (ou sur un espace public), du temps d'exposition dont bénéficie un local des rayons solaires. Aussi bien que, il étudie les protections solaires éventuelles.



Figure 4 : Présentation d'une large pénétration des rayons solaires dans un local.
(Source : cour d'équipement (BENHARA 2019))

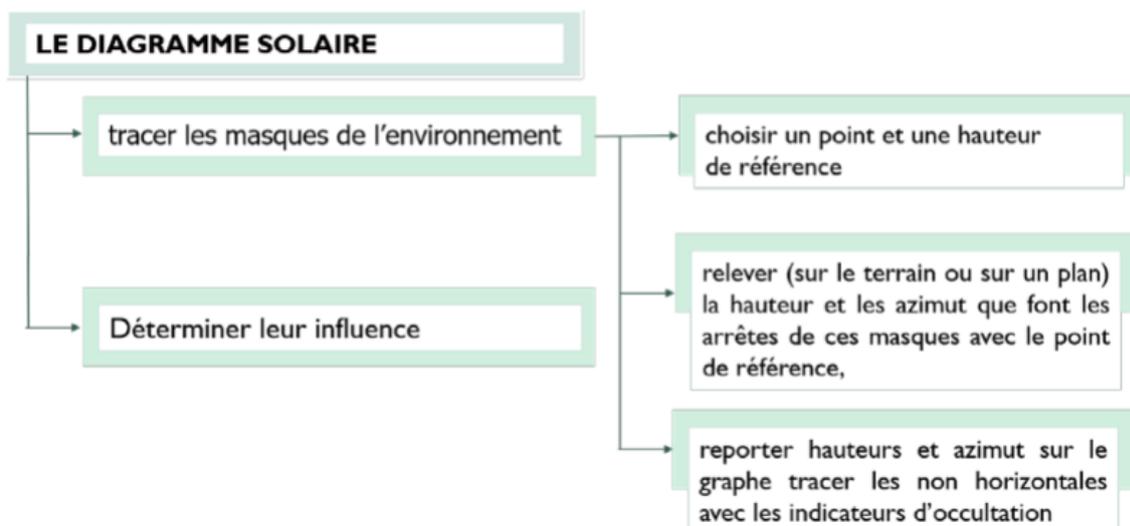
Les Coordonnées angulaires du soleil

La hauteur et l'azimut servent à définir la position d'un objet par rapport à un point de référence (point d'observation).

Hauteur : angle formé par le rayon solaire et le plan horizontal (entre 0° et 90°)

Azimut : angle formé par la trace du soleil sur le plan horizontal et la direction Nord (dans le sens des aiguilles d'une montre). Par commodité, on utilise l'azimut par rapport au sud (< 0 côté Est, > 0 côté Ouest)⁸

Le diagramme solaire



⁸ DEKAY M., BROWN G. Z. (2014), "Sun, wind & light architectural design strategies". Canada.

I.3.2.2.2- L'éclairage diffus

Un éclairage fourni Par la voûte céleste sans les rayons solaires directs. La quantité d'éclairage naturel est directement dépendante de :

- Conditions spatio-temporelles (latitude, jour, heure).
- Conditions météo.
- Dimension et position des prises de jour.
- Nature des matériaux de vitrage.
- Orientation des ouvertures.
- Existence de masques extérieurs.
- Facteurs de réflexion des parois intérieures

I.3.2.2.3- Types de ciel

La position du soleil dans le ciel définit la disponibilité de la lumière naturelle par des indicateurs :

- L'heure,
- La position géographique,
- Les conditions météorologiques,
- Reliefs,
- La pollution,
- L'orientation de la façade

I.3.2.2.4- Le facteur de lumière de jour

Le facteur de lumière du jour est un rapport de proportionnalité entre l'éclairement extérieur et celui disponible à l'intérieur du local.⁹

I.3.2.3- Paramètres influant l'éclairage naturel :

La lumière naturelle n'est pas fixe, sa qualité et son intensité varie en fonction de beaucoup de paramètres qu'on peut les classer en deux catégories :

- **Paramètres liés à l'environnement**

Réunies ceux relatifs à la relation entre le soleil et la terre (La latitude, La saison, L'heure), et les différents types de ciel et de l'environnement extérieur du bâti.

- **Paramètres liés au bâtiment**

⁹ GIVONI B. (1978), "L'homme, l'architecture et le climat", Moniteur.

Réunie ceux relatifs au choix architecturaux tel que nature des ouvertures, leurs composantes, l'orientation ou aussi les surfaces :

- **Ouvertures (dimension/orientations)**

La baie est un facteur très puissant qui influe directement sur le niveau d'éclairage obtenu dans un espace. La dimension des ouvertures détermine la quantité de lumière pénétrant un local, donc Il est préférable de placer les fenêtres de telle façon que le soleil puisse pénétrer à l'intérieur d'un local au moment où il est le plus utilisé, L'orientation des ouvertures influe directement sur la quantité de lumière captée et les gros écarts existants de rayonnement solaire sur les façades surtout lorsque le ciel est clair.

I.3.2.4- La relation au monde extérieur :

L'éclairage naturel est préféré à l'éclairage artificiel pour sa variabilité et ses nuances. La variabilité de la lumière naturelle permet d'établir une harmonie avec le monde extérieur et crée une ambiance intérieure plus chaleureuse. Son caractère cyclique est un facteur important pour notre équilibre psychique. La lumière naturelle est un élément indispensable pour une bonne perception de l'instant et du lieu où nous évoluons.

De plus, la qualité spectrale de la lumière naturelle assure la meilleure vision possible des objets et des couleurs. Si on compare la répartition spectrale de la lumière naturelle à la courbe de sensibilité de l'œil, il apparaît que l'œil humain est naturellement adapté à la lumière naturelle. La lumière diurne constitue donc l'éclairage d'ambiance par excellence.

L'éclairage naturel est le plus approprié tant au niveau physiologique que psychologique mais sa variabilité nécessite un apport complémentaire d'éclairage artificiel ou, à d'autres moments, l'utilisation d'occultations temporaires. L'éclairage artificiel doit donc être considéré comme le complément de la lumière naturelle et s'accorder autant que possible à son spectre lumineux et à ses variations grâce à un système de contrôle adéquat. Pour le confort des occupants, la source lumineuse principale doit être le soleil.

Les baies vitrées, par lesquelles la lumière naturelle pénètre, offrent le double avantage d'une communication visuelle vers l'extérieur et d'une vue au loin nécessaire au repos de l'œil après une vision rapprochée.

La vue à travers une fenêtre, même si elle n'est pas spécialement attrayante, permet de se situer par rapport au monde extérieur. La possibilité de regarder à travers une fenêtre est reposante et d'autant plus fondamentale que la tâche visuelle nécessite une vision détaillée et proche (figures ci-contre).

Enfin, les baies vitrées jouent un rôle esthétique indéniable puisqu'elles font participer les paysages extérieurs à l'ambiance visuelle d'un espace déterminé.

I.3.3- le confort :

- Le confort est la tranquillité psychologique, intellectuelle, morale obtenue par le rejet de toute préoccupation, d'après le dictionnaire Larousse.
- Selon le Petit Robert : le confort est tout ce qui contribue au bien-être, à la commodité de la vie matérielle. Le confort d'un appartement.

I.3.3.1- Les types de confort :

Confort Physiologique

- ➔ Thermique
- ➔ Acoustique
- ➔ Olfactif

Confort Psychosociologique

- ➔ Visuel : Perception de l'espace, contacte avec l'extérieur, visibilité
- ➔ Non visuel : Déroulement des activités, intimité, privatisé ...

I.3.3.2- Multiples dimensions du confort :

La satisfaction vis-à-vis de l'environnement fait appel à toutes les dimensions physiques des ambiances, mais également à des aspects comportementaux et psychologiques.

Au niveau physique, ou physiologique, on distingue les confort respiratoires, thermiques, acoustiques et visuels. Ces aspects sont généralement assez bien connus et de nombreuses normes définissent des seuils minimums et/ou maximums pour les grandeurs physiques concernées (éclairage, température, puissance acoustique, etc.). à noter que ces grandeurs ne sont pas nécessairement absolues : elles peuvent varier dans le temps. Ainsi, les plages de confort thermiques ne sont pas les mêmes en été et en hiver, du fait notamment d'adaptation physiologique (modification du rythme cardiaque et de la capacité de sudation).

Au niveau comportemental, c'est la capacité d'action de l'occupant dans le bâtiment qui est mise en évidence. Car les conditions intérieures et les attentes sont variables dans le temps : on accueillera plus favorablement un courant d'air en été qu'en mi-saison. Il est donc important que l'occupant ait une capacité d'action sur les organes de contrôle des systèmes du bâtiment, sur son activité et sur son habillement.

I.4- Le confort visuel

Le confort visuel est une impression subjective liée à la quantité, à la distribution et à la qualité de la lumière. [Mysti2d.net]

La définition d'un confort lumineux optimal dépend de facteurs tout aussi variés que le type d'activité pratiqué, la configuration des lieux, l'âge et les particularités de la personne... La notion de confort est personnelle et multicritère. Cela étant, on peut cependant définir un certain nombre de points particuliers sur lesquels influencer au niveau du bâtiment.

Le niveau d'éclairement la luminance les contrastes et couleurs l'éblouissement le spectre lumineux les vues vers l'extérieur la mise en évidence des formes et reliefs des objets ou éléments d'architecture.

Comme le décrit aussi MUDRI, 2002 « le terme de confort visuel est pris pour indiquer l'absence de gêne qui pourrait provoquer une difficulté, une peine et une tension psychologique, quel que soit le degré de cette tension »

Selon l'association Haute Qualité Environnementale (HQE), le « confort visuel » est défini comme la dixième cible du projet de bâtiment. Ses exigences primaires en matière d'éclairage sont les suivantes :

- relation visuelle satisfaisante avec l'extérieur ;
- éclairage naturel optimal en termes de confort et de dépenses énergétiques ;
- l'éclairage artificiel doit d'une part être satisfaisant en l'absence d'éclairage naturel et d'autre part n'être qu'un appoint à l'éclairage naturel tant que celui-ci est disponible.
- Le confort visuel dépend à la fois :
 - De paramètres physiques comme l'éclairement, la luminance, ...
 - De caractéristiques liées à un environnement interne, externe, ...
 - De facteurs physiologiques tels que l'âge, ...
 - De facteurs psychologiques et sociologiques comme la culture, l'éducation, ...

- Les caractéristiques propres liées à la tâche à réaliser comme : la lecture, le travail du bureau
- Trois conditions doivent être simultanément observées afin d'assurer le confort visuel:
 - un niveau d'éclairage adéquat ;
 - des contrastes modérés ;
 - un bon rendu des couleurs.

I.4.1- Les critères du confort visuel :

Le confort visuel est une sensation totalement subjective. Les facteurs significatifs sont, entre autres, l'âge et l'acuité visuelle. Cette sensation de confort dépend également de l'objet à percevoir, de sa taille, de son aspect, de sa couleur. Le confort visuel assure la perception des objets, la bonne exécution des tâches sans fatigue visuelle et une ambiance lumineuse agréable. Il est inséparable de la quantité, de la distribution et de la qualité de lumière disponible dans un espace. Le confort visuel peut néanmoins se mesurer à travers des critères objectifs qui doivent être bien étudiés pour atteindre le seuil du confort.

- Le site : avec toutes ses contraintes dont l'ensoleillement, les masques, les reliefs, la nature des surfaces, l'éclairage artificiel extérieur, et la relation visuel avec l'intérieur,
- Les ouvertures : Leur nombre, taille, et orientation,
- La lumière naturelle : sa quantité, sa qualité mesurée par le facteur de lumière du jour,
- La qualité de l'éclairage électrique en termes de confort, caractérisée par l'indice de rendu des couleurs et la température des couleurs.

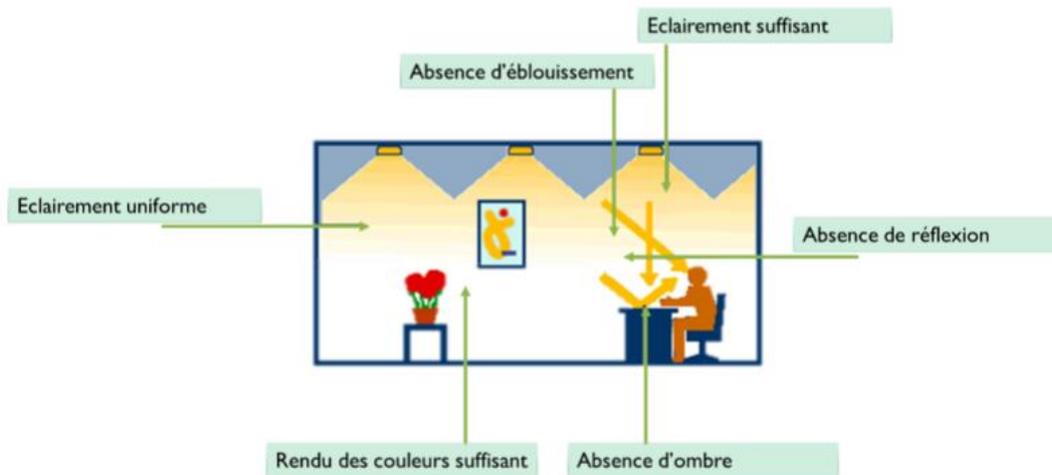


Figure 5 : les critères du confort visuel. (Source : cour d'équipement BENHARA 2019)

I.4.2- Les paramètres du confort visuel :

Chapitre I : architecture bioclimatique, lumière et confort visuel

Définitions et concepts

La notion du confort dépend d'une combinaison de paramètres physiques : l'éclairage, la luminance, le contraste, l'éblouissement et le spectre lumineux auxquels s'ajoutent des caractéristiques propres à l'environnement et à la tâche visuelle à accomplir, comme la taille des éléments à observer et le temps disponible pour la vision. Le confort visuel relève, en outre, de facteurs physiologiques et psychologiques liés à l'individu.

- Un niveau suffisant d'éclairage optimal pour une vision claire et sans fatigue,
- Un rendu des couleurs correct et une lumière agréable,
- L'absence d'ombres gênantes,
- Les rapports de luminance présents dans le local (bonnes conditions de contraste),
- Une répartition harmonieuse de la lumière à l'intérieur,
- Pas de risque d'éblouissement,
- La relation au monde extérieur.

I.4.2.1- Les paramètres physiques du confort visuel :

- La luminance (candela.m² ou cd/m²) : Plus représentative de la perception réelle de l'œil, mais demande du matériel sophistiqué (luminancemètre).
- L'éclairage (en lux) : C'est une valeur relativement facile à mesurer (luxmètre).
- L'éblouissement : Qui constitue le paramètre le plus gênant dans la réalisation d'une tâche. Il se mesure avec un luminancemètre visant une direction bien spécifique. Il reste à préciser que l'éblouissement peut être direct ou indirect.
- Les contrastes : Quant à eux, sont responsables d'un manque de distinction de deux zones ou éléments différents.

L'architecte joue un rôle prépondérant dans ces paramètres :

- Le niveau d'éclairage de la tâche visuelle
- Une répartition harmonieuse de la lumière dans l'espace
- Les rapports de la luminance présents dans le local
- L'absence d'ombres gênantes
- La mise en valeur du relief
- Une vue vers l'extérieur
- Un rendu des couleurs correct
- Une teinte de lumière agréable
- L'absence de l'éblouissement

I.4.3- Les facteurs physiologiques et psychologiques :

- Les facteurs physiologiques :

Les couleurs ne sont pas perçues de la même manière d'un individu à l'autre. Les capacités visuelles sont en fonction de l'âge des personnes : dans une maison de retraite, par exemple, une lumière plus blanche (rendu de couleur élevé) permettra plus facilement d'assurer le confort visuel des personnes âgées.

- Les facteurs psychologiques

Le besoin de lumière se fait souvent ressentir dans les pays scandinaves par exemple. Consciemment ou inconsciemment, les peuplades du nord compensent souvent le manque de lumière et l'uniformité de l'environnement (neige uniforme partout) par des couleurs vives au niveau des maisons.¹⁰

I.4.4- Les caractéristiques de base du confort visuel :

I.4.4.1- Eclairage :

La commodité d'interprétation visuelle dépend logiquement de la facilité de perception des détails de l'objet sous notre regard. Dans ce cas la quantité de la lumière éclairant une surface, exprimé en lux (lx) doit être supérieure à 20 lx pour que l'objet soit perçu. Donc la première condition est d'avoir un éclairage suffisant pour que notre acuité visuelle nous permette de percevoir sans effort les éléments intéressants.

L'œil humain peut fonctionner correctement dans un intervalle d'éclairage qui varie de quelques lux à l'intérieur et 100 000 lux en plein air. Ainsi, le premier paramètre permettant de qualifier une ambiance lumineuse est le niveau d'éclairage, qui devra correspondre à la tâche visuelle à effectuer.

I.4.4.2- Le facteur de lumière du jour :

Sous les conditions de ciel couvert les valeurs du facteur de lumière du jour sont indépendantes de l'orientation des baies vitrées, de la saison et même de l'heure. Elles donnent aussi une mesure objective et facilement comparable de la qualité de l'éclairage à l'intérieur d'un bâtiment.

I.4.4.3- Luminance :

La luminance est la quantité qui décrit la clarté d'une surface (murs, bureau, fenêtre translucide,...) mesuré par un luminance-mètre. Afin de caractériser l'homogénéité ou la non-homogénéité de l'environnement lumineux, il est intéressant parfois de mesurer la luminance de surface dans différentes directions du champ visuel de l'occupant.

¹⁰ BAKER N. STEEMERS K. "Energy and environment in architecture. A technical design guide".

Les luminances typiques pour les surfaces intérieures d'un bâtiment varient entre 1 et 100 cd/m² et entre 1.000 et 10.000 cd/m² pour les sources lumineuses qui sont éblouissantes généralement si elles se situent dans le champ visuel de l'observateur. A titre indicatif, le Soleil peut atteindre des luminances supérieures à 100.000 cd/m².

I.4.4.4- Autonomie de lumière du jour :

L'autonomie de lumière du jour est définie comme étant le pourcentage des heures de la journée pendant lesquelles l'éclairage naturel suffit à lui seul pour apporter l'éclairage nécessaire à la pièce considérée. Plus le facteur de lumière du jour et l'autonomie en lumière du jour sont élevés, plus le temps d'utilisation des locaux avec la lumière naturelle est élevé, limitant ainsi la consommation d'éclairage artificiel.

I.4.4.5- Répartition lumineuse uniforme :

La bonne répartition lumineuse est la règle pour tout projet d'éclairage. Si le niveau d'éclairage et la luminance varient dans le champ visuel, une adaptation de l'oeil est nécessaire lorsque le regard se déplace. Durant ce moment, l'acuité visuelle diminue, entraînant des fatigues inutiles. La répartition lumineuse ou l'uniformité des niveaux d'éclairage caractérise les variations du niveau d'éclairage. Cette répartition lumineuse est définie comme étant le rapport entre l'éclairage minimum et l'éclairage moyen observé dans la zone de travail. L'uniformité d'éclairage des zones de travail et des zones environnantes immédiates est définie, dans la zone considérée, comme étant le rapport suivant [Reiter S. et De Herde, 2004] :

L'uniformité d'éclairage = Eclairage minimum / Eclairage moyen

L'uniformité de la luminance dépend de la répartition des sources lumineuses et de la réflexion des parois. Elle est d'autant meilleure que les réflexions de chaque paroi sont élevées et uniformément réparties (couleurs uniformes). En plus, il faut qu'il y ait une certaine uniformité de luminance d'une part entre le champ visuel en position de travail (le plan de travail) et au repos (les murs), et d'autre part entre les différentes surfaces de référence (éclairage de la zone de travail et de la zone voisine)

En générale l'éclairage des murs varie de 50% à 80%, celui du plafond de 30% à 90% si l'on considère que l'éclairage dans la zone où s'effectue la tâche est égale à 100%. On note que le facteur de réflexion est supérieur à 0,7 pour le plafond, et varie entre 0,3 et 0,7 pour les murs, et entre 0,2 et 0,4 pour le sol. [FLORU, 1996].

I.4.4.6- Rendement des couleurs :

La lumière naturelle, provenant du rayonnement du soleil et du ciel, présente un spectre visible de forme continue. Le mélange des diverses radiations qui constituent ce spectre forme, par

Chapitre I : architecture bioclimatique, lumière et confort visuel

Définitions et concepts

définition, la lumière dite blanche : c'est la seule qui permet à l'œil d'apprécier avec la plus grande exactitude la couleur des objets et leurs nuances. Les différentes radiations colorées composant la lumière naturelle apparaissent aisément lors de leur réfraction et réflexion par des gouttes d'eau, comme dans l'arc-en-ciel.

Il est connu que la couleur de l'environnement influe sur le comportement humain puisqu'elle est un élément important composant l'ambiance lumineuse.

Médicalement la couleur affecte de nombreux paramètres physiologiques humains, tels que la tension artérielle, le rythme cardiaque, la respiration...etc. [DE HERDE et LIEBARD, 2005].

Les couleurs claires jouent un rôle important pour l'éclairage direct comme le cas de la peinture extérieure des bâtis. En effet, la peinture sert à protéger le bâti des rayons solaires et augmente la composante réfléchie dans le cas des plafonds qu'on peut éclairer au fond du local.

L'indice de rendu des couleurs (IRC ou Ra) est compris entre 0 et 100. 100 étant l'IRC de la lumière naturelle qui restitue toutes les nuances de couleur et 0 étant l'absence de couleur reconnaissable. Une différence de 5 points sera perceptible pour l'œil humain.

La perception des couleurs est classée en quatre catégories (faible à élevée) selon la valeur de l'IRC.

Classe d'IRC	Plage d'IRC	Perception des couleurs
1A	25 > Ra	Faible
1B	65 > Ra > 25	Moyenne
2	90 > Ra > 65	Bonne
3	Ra > 90	Elevée

Tableau 2 : Classification de la perception des couleurs selon la plage d'IRC. (Source : auteur)

I.4.4.7- Température de couleur :

La couleur de la lumière artificielle a une action directe sur la sensation de confort de l'ambiance lumineuse d'un espace. Elle n'influence cependant pas les performances visuelles. Pour la qualifier, on définit la température de couleur, exprimée en Kelvins (K). On parlera généralement de teinte chaude (température de couleur < 3000 K) ou froide (température de couleur > 3000 K). Plus une couleur est chaude visuellement, plus sa température thermique est donc faible. Une lumière de couleur "chaude" est composée majoritairement des radiations rouge et orange. De plus, les couleurs chaudes des objets sont plus agréables lorsqu'elles sont éclairées par une lumière chaude plutôt que par une lumière froide, mais par contre la lumière chaude tend à noircir les couleurs froides [bleu, violet].

I.4.4.8- Eblouissement :

L'éblouissement est dû à la présence, dans le champ de vision, de luminances excessives (sources lumineuses intenses) ou de contrastes de luminance excessifs dans l'espace ou dans le temps.

Suivant l'origine de l'éblouissement, on peut distinguer :

L'éblouissement direct produit par un objet lumineux (lampe, fenêtre, ...) situé dans la même direction que l'objet regardé ou dans une direction voisine ;

L'éblouissement par réflexion produit par des réflexions d'objets lumineux sur des surfaces brillantes (anciens écrans d'ordinateur, plan de travail, tableau ...).

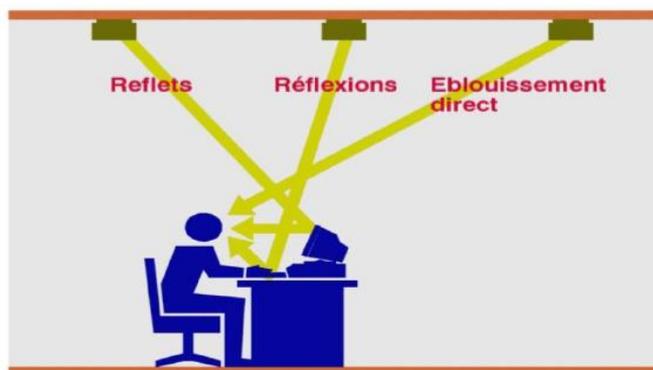


Figure 6 : L'effet de l'éblouissement par réflexion sur l'utilisateur. (Source : sites.uclouvain.be/eclairage-naturel/guide_confort.htm)

L'éblouissement direct se divise en deux (2) types d'éblouissement :

L'éblouissement d'inconfort : qui résulte de la vue en permanence de sources lumineuses de luminances relativement élevées. Cet éblouissement peut créer de l'inconfort sans pour autant empêcher la vue de certains objets ou détails si elle est située dans un angle compris entre 20° et 40° ;

L'éblouissement invalidant : qui est provoqué par la vue d'une luminance très élevée pendant un temps très court. Celui-ci peut, juste après l'éblouissement, empêcher la vision de certains objets sans pour autant créer de l'inconfort.

I.4.4.9- Ombre gênant :

En fonction de sa direction, la lumière peut provoquer l'apparition des ombres marquées qui risquent de perturber le travail effectué puisqu'elle diminue le contraste.

Donc il est impératif d'éviter par exemple l'éclairage à droite de l'écrivain qui est droitier et à gauche pour celui qui écrit avec la main gauche. Une insertion d'une ouverture qui soit parallèle à celle déjà existante est une stratégie aussi efficace pour diminuer l'effet de l'ombre gênant pour les gauchers.

Une pénétration latérale de la lumière naturelle satisfait généralement à la perception tridimensionnelle du relief des objets et de leur couleur, grâce à sa direction et à sa composition spectrale. Le cas est idéal mais le niveau d'éclairement diminue dès que l'on s'éloigne des fenêtres.

I.4.4.10- Transmission lumineuse :

Lorsque la lumière visible du soleil est interceptée par une paroi, une partie de la lumière est réfléchi (RL) vers l'extérieur, une partie est absorbée (AL) par les matériaux, une partie est transmise à l'intérieur. Le pourcentage de lumière transmis est appelé transmission lumineuse de la paroi, TL. L'éventuel air chaud emprisonné entre la protection solaire et le vitrage n'a pas d'impact sur la quantité de la lumière transmise à l'intérieur d'une pièce.¹¹

Conclusion :

Dans ce chapitre on essaye en premier lieu de définir l'architecture bioclimatique qu'elle tente de répondre aux exigences de confort des habitants en tirant passivement le meilleur parti des éléments du "climat" : ensoleillement, vents, relief, végétation, En seconde lieu, on essaye de parcourir une brève historiographie de la lumière et insister sur l'essentiel des notions de base qui définissent l'éclairage naturel d'une manière globale, accumulant ainsi plusieurs informations sur la composition de la lumière naturelle, ces grandeurs, ces valeurs ainsi que ces sources. En dernier lieu, on trouve que chaque espace a des conditions de lumière (La combinaison de l'éclairage, le contraste de luminance, la couleur de la lumière...) ces éléments déterminent le confort visuel.

¹¹ VANDEPLANQUE P. « L'éclairage : notions de base, projet et installation ». Université de Lille.

Chapitre II : l'éclairage naturel dans l'espace architectural

Introduction :

Le bon éclairage dans un bâtiment doit garantir à l'utilisateur d'exercer ses activités et d'assurer son bien-être. L'environnement visuel doit permettre de voir tous les objets nettement et sans fatigue dans une ambiance colorée agréable.

Cette étude s'intéresse au thème de l'éclairage naturel en architecture. Notre objectif est de déterminer l'efficacité de ce mode d'éclairage à répondre aux besoins d'un bâtiment en lumière naturelle à travers différents dispositifs.

II.1- Le confort visuel et l'ambiance lumineuse dans l'espace architectural :

II.1.1- L'ambiance lumineuse :

II.1.1.1- Définition :

L'ambiance lumineuse est le résultat d'une interaction entre un individu, un usage, une lumière naturelle et un espace. Lorsque ses éléments sont réunis, on parle d'une ambiance lumineuse représentée. Cette ambiance est le résultat de trois interactions : la première se fait entre la lumière naturelle et un usage quelconque et concerne la qualité et la quantité de la lumière. La deuxième concerne les effets de la lumière qui résulte d'une interaction entre la lumière naturelle et un espace. La troisième concerne les dispositifs lumineux : les configurations formelles et spatiales qui sont une interaction entre un espace et un usage. Comme toute ambiance physique, il faut considérer l'ambiance lumineuse sous deux approches. L'approche spatiale tout d'abord qui peut établir des variations lors des déplacements. Ensuite, une approche temporelle en s'assurant de la reproductibilité des mesures. Ainsi, l'ambiance lumineuse peut être influencée par les cycles journaliers ou saisonniers. L'ambiance d'un lieu et l'atmosphère qui s'en dégage renvoient à des sensations subjectives et immédiates. La perception de cette atmosphère nous donne la sensation de cet espace ; par exemple, si nous comparons deux pièces ayant les mêmes caractéristiques géométriques mais se différenciant par le niveau d'éclairage, nous allons remarquer que la pièce la plus éclairée semble être plus large que l'autre. Ces perceptions et ces représentations s'appuient sur l'expérience ordinaire des lieux où nous avons habité. C'est la lumière qui donne le sens de l'ambiance lumineuse dans le projet architectural, ce dernier peut avoir plusieurs lectures qui diffèrent selon la configuration de l'espace et la quantité de lumière reçue.

II.1.1.2- Les types d'ambiance lumineuse :

La lumière est un facteur prépondérant qui permet à l'être humain de sentir le confort visuel et son bien-être et génère des impressions psychologiques et des sensations qui nous permettent

de qualifier l'espace ou nous vivons et que nous traversons chaque jour. L'ambiance lumineuse d'un espace ne se produit pas par la présence de la lumière seulement car elle engendre toujours l'un ou l'autre type d'ambiance thermique, sonore, olfactive...etc, même lorsqu'elle n'est pas volontaire, elle n'est jamais neutre. Et donc, il est indispensable de tenir compte des implications sensorielles, symboliques et psychologiques de la lumière.

On peut distinguer trois catégories fondamentales d'ambiance lumineuse. Cette classification est faite selon le degré de la luminosité d'un espace :

Catégorie 1 : La pénombre, qui représente le dialogue entre l'ombre et une lumière "solide" qui la transperce par endroits. Depuis quelques décennies, la pénombre en architecture semble être devenue un langage de séduction que de prestation technologique et environnementale. Les variantes imposées au contenant produisent ainsi une éducation à des paysages lumineux intermédiaires capables de moduler de nouveaux gradients d'ombre et de lumière.

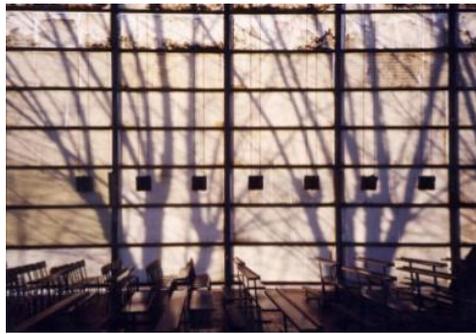


Figure 7 : La pénombre en architecture (Source : Anna Barbara)

Catégorie 2 : L'ambiance luminescente ou la clarté ambiante, omniprésence d'une lumière qui tend à disparaître parce qu'elle est partout.

Catégorie 3 : L'ambiance inondée qui est l'exaltation de la lumière qui embrase tout l'espace, trop plein d'une lumière envahissante et parfois écrasante, toutefois, chacun de ces types d'ambiances recouvre une grande variété de manière d'admettre la lumière et une multitude de qualités de lumière.



Figure 8 : Ambiance lumineuse



Figure 9 : Ambiance inondé

Source : Sigrid Reiter et al

II.1.1.3- La sensation d'une ambiance lumineuse :

L'ambiance lumineuse est une sensation subjective qui résulte de l'interaction de quatre paramètres qui sont : un espace, une lumière, un usage et un individu. La sensation d'espace n'est ni liée aux dimensions du lieu, au rapport de ses proportions (longueur, largeur, hauteur) ni au traitement de son enveloppe (matériaux, textures, couleurs...etc.). L'absence ou l'abondance de lumière, le choix et la position des sources lumineuses, jouent un rôle dans la perception d'un lieu. Après la sensation de l'espace, nous recherchons la sensation de confort avec un éclairage qui doit permettre de réaliser une tâche déterminée sans entraîner de gêne pour les yeux. Les paramètres suivants : un bon niveau d'éclairement nécessaire à une vision claire et sans fatigue, un bon rendu des couleurs, une répartition harmonieuse de la lumière, l'absence d'ombres gênantes et d'éblouissement dû à une luminosité trop intense ou à un contraste lumineux trop important participent à l'assurance du confort visuel. La vue à travers une fenêtre permet de se situer par rapport à l'extérieur. Le cadrage des vues consiste à orienter les ouvertures vers l'environnement extérieur présentant un certain intérêt visuel. La possibilité de regarder à travers une fenêtre évite le sentiment d'enfermement et de confinement et apporte une sensation de clarté. La perception de la lumière n'est pas seulement liée à l'importance de l'intensité de sa source, ni à la quantité de lumière diffusée. On peut en effet obtenir une sensation de clarté tout aussi importante en jouant sur le contraste clarté-obscurité : dans un volume où règne la pénombre, la forme, la répartition et l'emplacement des ouvertures, ou le choix de vitres teintées, auront une influence sur la perception de l'espace, sur l'esthétique du lieu.

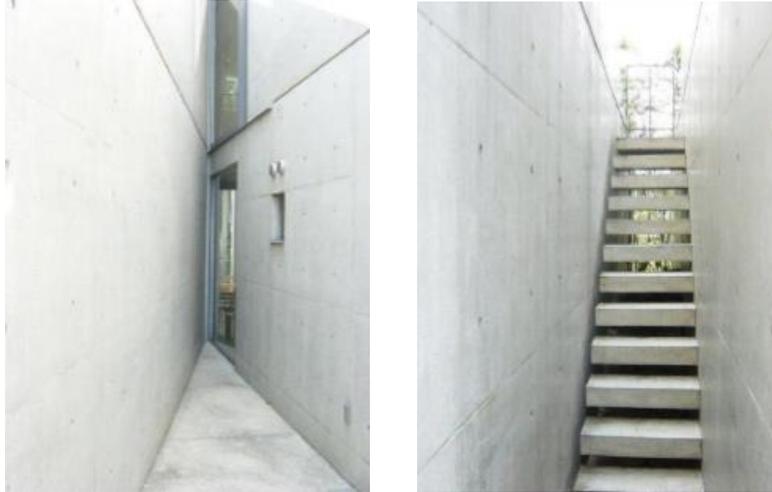


Figure 10 : Eglise de la lumière, Osaka, Japan (Source : <http://www.andotadao.org/aka1.htm>)

II.1.1.4- L'ambiance lumineuse et l'espace architectural :

II.1.1.4.1- A l'intérieur de l'espace architectural :

L'évaluation de l'ambiance lumineuse ressentie à l'intérieur d'un espace architectural reste toujours subjective car elle dépend de plusieurs paramètres comme la géométrie et la dimension du local, la couleur des parois ainsi que le plafond et le sol, la quantité et la qualité de lumière reçue à l'intérieur, l'aménagement intérieur, les matériaux utilisés...etc. Par exemple, si nous comparons deux pièces ayant les mêmes caractéristiques (la géométrie, le niveau d'éclairage,...etc) mais en changeant la couleur des parois, on met dans la première une couleur chaude et dans la deuxième une couleur froide. L'œil ne voit pas la même chose et donc, chaque espace apporte une ambiance lumineuse particulière



Figure 11 : Espace éclairé à 300 lux

avec une lumière chaude



Figure 12 : Espace éclairé à 300 lux

avec une lumière froide

Source : <http://www.energieplus-lesite.be/>

II.1.1.4.2- L'espace architectural lui-même :

La lumière permet de donner à un bâtiment une image nocturne particulière. L'éclairage artificiel offre la possibilité d'illuminer des bâtiments la nuit. Cet éclairage se fait en contreplongée, du bas vers le haut. La lumière artificielle est l'éclairage qui est produit artificiellement à l'aide de lampes et de projecteurs. Un objet architectural peut être éclairé de l'intérieur comme la tour Eiffel dont l'éclairage est positionné à l'intérieur de la structure métallique, ou, au contraire, de l'extérieur, ou le bâtiment est illuminée depuis les façades alentours. Des ambiances peuvent être créées artificiellement on utilisant des techniques simples ou complexes ; citons par exemple : les tubes fluorescents de couleur à l'intérieur des baies vitrées ou entre les peaux de la façade de verre ; écrans lumineux géants...etc, ou par l'utilisation des images lumineuses projetées sur les façades d'un bâtiment. Les édifices deviennent alors lumineux ou porteurs de signes lumineux. Ainsi, La prédominance des surfaces vitrées dans le bâtiment offre de nombreuses possibilités de composer avec l'éclairage intérieur et sa perception depuis l'extérieur. L'éclairage artificiel a pour avantage de pouvoir être créé, maîtrisé, contrôlé.

Il existe plusieurs projets ou les architectes ont composés avec l'éclairage naturel et artificiel pour donner une lecture nocturne à leurs projets.



Figure 13 : Vue intérieure sur le cône lumineux du dôme Reichstag

(Source : <http://www.galinsky.com>)

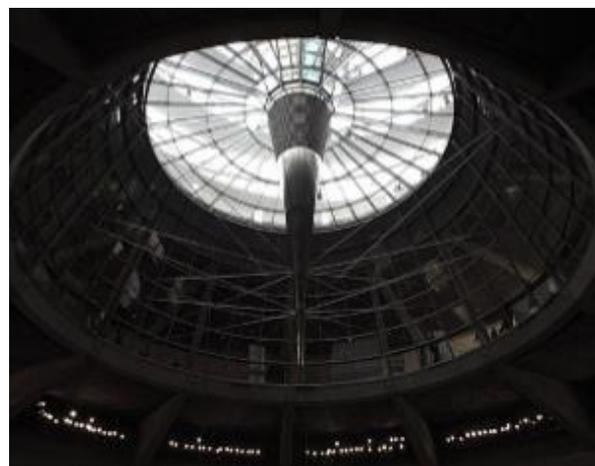


figure 14 : Vue extérieure sur le cône lumineux du dôme Reichstag

(Source : <http://www.albert-videt.eu/photographie>)



Figure 15 : Vue extérieure du dôme Reichstag pendant le jour et pendant la nuit

(Source : http://en.wikipedia.org/wiki/Reichstag_dome)

II.1.2- L'influence du type d'ouverture sur le confort visuel dans un bâtiment :

Le facteur de la lumière du jour (FLJ) décroît avec l'éloignement de l'ouverture comme le montre la figure III.16 où il a été représenté le FLJ sur un plan de travail d'une salle de classe. Le choix et la localisation précise des baies, leur équipement éventuel, claustras, brise soleil, améliorent l'homogénéité du FLJ et donc le bien être de l'utilisateur.

Ainsi dans les grands espaces les bandes de toiture translucides peuvent être considérées comme gênants pour l'utilisateur lorsqu'ils se trouvent dans le champ

visuel. Ceci crée un état de l'inconfort par leur forte luminance pendant la journée quand ils seront éclairés par le soleil. BOUVIERS ; (1981) montre que parmi les recours pour éviter ce genre de problème est l'appelle à l'utilisation des tabatières du type sky-dome qui éloigne la surface translucide du plan de toiture. Fig. III.17. Donc les claustras et les brises soleil augmentent la part du facteur de réflexion interne. Autrement dit, l'architecte a pour mission de multiplier les réflexions diffuses et de diminuer la directivité de la lumière, c'est-à-dire adoucir l'éclairage naturel

II.1.2.1- Une répartition harmonieuse de la lumière dans l'espace :

Pour permettre à la lumière naturelle de se distribuer le mieux possible dans le local, il est essentiel de placer le mobilier de telle sorte qu'il ne fasse pas écran et de disposer les zones d'activité judicieusement. Les plans de travail seront situés préférentiellement près des ouvertures où la lumière naturelle est bien reçue. Si le niveau d'éclairage et la luminance varient dans le champ visuel, une adaptation de l'œil est nécessaire lorsque le regard se déplace. Durant ce moment, l'acuité visuelle est diminuée, entraînant des fatigues inutiles. Selon la norme EN 12464-1 [CEN/TC169/WG2, 2002], la répartition lumineuse ou l'uniformité des

niveaux d'éclairage caractérise les variations du niveau d'éclairage et est définie comme étant le rapport entre l'éclairage minimum et l'éclairage moyen observé dans la zone de travail.

En ce qui concerne l'uniformité de la luminance, la distribution de la lumière dans un espace dépend de la répartition des sources lumineuses et de la réflexion des parois. Elle est d'autant meilleure que les réflexions de chaque paroi sont élevées et uniformément réparties. De plus, il faut une certaine uniformité de luminance, d'une part, entre le champ visuel en position de travail (le plan de travail) et au repos (les murs) et d'autre part, entre les différentes surfaces de référence (éclairage de la zone de travail et de la zone voisine). Une bonne répartition de la lumière dans un espace permet l'affectation des tâches de manière confortable et sans fatigue visuelle.

II.1.2.2- Les rapports de luminance présents dans le local :

La distribution lumineuse d'un espace doit être étudiée de telle façon que les différences excessives de luminance soient évitées pour permettre aux occupants de voir correctement. Des zones extrêmement sombres ou brillantes doivent être exclues car elles donnent naissance à l'inconfort visuel et surtout le contraste. Le contraste est la différence de luminosité entre un objet et son environnement ou entre les différentes parties d'un objet, faisant ressortir l'un et l'autre. L'équilibre des contrastes est un élément déterminant du confort et de la perception des détails. Lorsqu'il y a de grandes différences de luminance dans le champ visuel, l'œil doit s'adapter au changement de la direction du regard. Pendant son adaptation, l'acuité visuelle est diminuée. Pour éviter cette sensation d'inconfort, il convient de ne pas dépasser certaines valeurs de contraste entre les différentes zones du champ visuel. Cependant, si les différences entre les niveaux de luminance sont trop faibles, on crée dans le local une impression de monotonie très désagréable. La perception des détails d'une tâche visuelle est facilitée par les contrastes de luminance et de couleur entre ces détails et l'arrière-fond. De plus, un contraste suffisant devrait être appliqué pour favoriser la perception du relief des objets. Il s'agit donc de trouver un compromis entre ces exigences.

II.1.2.3- La relation au monde extérieur :

La lumière naturelle est l'un des éléments dont l'homme a toujours besoin et qui a un grand impact sur ses activités. Elle influence le bien-être des occupants d'un local. Dans un espace architectural, la fenêtre est un moyen de communication, un lien visuel qui permet à l'homme de rester en relation permanente avec le monde extérieur. La variabilité de la lumière naturelle permet d'établir une harmonie avec le monde extérieur et crée une ambiance intérieure plus chaleureuse. Les baies vitrées, par lesquelles la lumière pénètre, offrent le double avantage

d'une communication visuelle vers l'extérieur et d'une vue au loin nécessaire au repos de l'œil après une vision rapprochée. Elles jouent aussi un rôle esthétique indéniable car elles font participer les paysages extérieurs à l'ambiance visuelle d'un espace déterminé.

La relation de l'espace avec le monde extérieur augmente la productivité de travail dans cet espace. La mesure de la productivité constitue encore une donnée difficilement quantifiable car elle est grandement affectée par des aspects hautement subjectifs. De manière générale, les efforts déployés dans la conception des bâtiments verts favorisent l'atteinte de certains objectifs sur le plan du confort physiologique des employés. Toutefois, la plupart des critères d'un projet LEED ne correspondent que partiellement aux critères de confort psychologique permettant d'optimiser le bien-être des individus.

Cette réalité est étroitement liée aux stratégies durables de la conception architecturale. Selon McLennan, les six principaux critères de design d'une architecture adoptant les principes de la biophilie (le terme biophilie, proposé par le biologiste EDWARD O. WILSON [HARVARD UNIVERSITY PRESS, 1984.], désigne l'affinité innée de l'homme pour le vivant et les systèmes naturels), sont les suivants :

- Permettre la perception des variations cycliques saisonnières et journalières des conditions lumineuses et thermiques,
- Relier les individus aux conditions extérieures en offrant un accès aux vues et à l'éclairage naturel,
- Redonner à l'occupant le contrôle de la gestion de son confort thermique, de la ventilation et de la lumière naturelle,
- Utiliser la lumière naturelle comme principale source d'éclairage
- Employer des matériaux sains et durables qui ne requièrent que peu d'entretien,
- Adopter des stratégies passives de ventilation naturelle et de chauffage.

II.2- l'éclairage naturel :

« Cette fenêtre est un élément fondamental de l'architectureŒil, bouche, nez et oreille la fois, la fenêtre est pour l'édifice non seulement un élément déterminant de sa physionomie, mais aussi l'intermédiaire qui permet aux habitants de voir, d'entendre et de sentir un lieu ».

PIERRE VON MIES.

II.2.1- Type d'éclairage naturel :

II.2.1.1- L'éclairage latéral :

C'est le type d'éclairage le plus utilisé et le plus ancien et qui répond à trois besoins fondamentaux : la lumière, la vue et la ventilation. Une intégration des dispositifs de protection solaire est souvent mise en place à fin de réduire l'éblouissement grâce à la pénétration du flux lumineux indirecte. Il est impératif de noter aussi que l'éclairage naturel latéral est accompagné de l'effet du contraste qu'on peut diminuer à l'aide de l'éclairage bilatéral ou à l'aide d'autres moyens tel que la taille des ouvertures, leurs dispositions ; etc.¹²

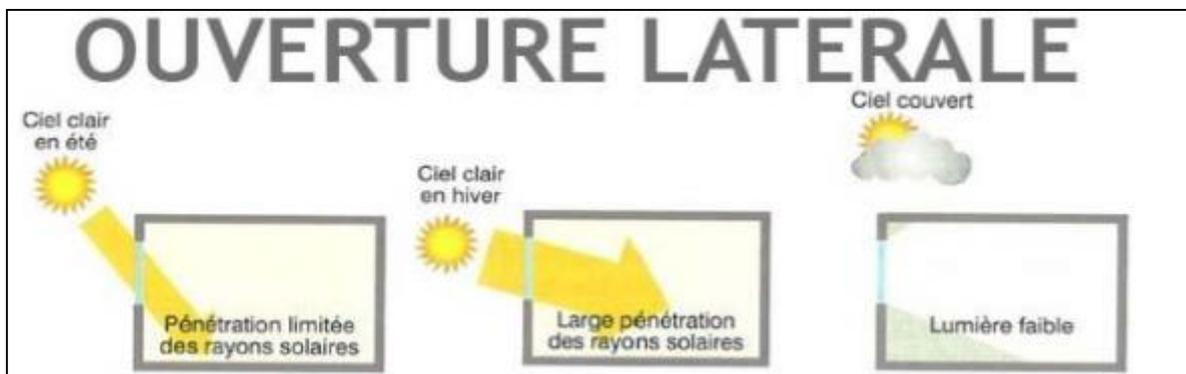


Figure 16 : Exemple de l'éclairage latéral. (Source : UCL Architecture et climat)

II.2.1.1.1- Types d'éclairage latéral :

Eclairage unilatéral :

C'est le type où les ouvertures verticales se trouvent sur une seule façade. Cet emplacement est la cause des effets de reliefs et des contrastes et dans la plus part du temps et quand la pièce est très profonde par rapport à la hauteur de l'ouverture, on n'arrive pas à satisfaire les besoins et les exigences. Pour cela la profondeur de la pièce à éclairer unilatéralement doit être égale à deux fois sa hauteur. En plus, il faut augmenter la réflectivité des surfaces intérieures pour avoir une bonne quantité de lumière naturelle dans l'arrière de la pièce afin d'augmenter le niveau d'éclairage et adapter son uniformité.

Pour résoudre ce problème, on peut utiliser ce qu'on appelle le light-self qui sont des bandeaux lumineux qui dirigent la lumière naturelle vers le plafond et ce dernier la diffuse vers la zone la plus éloignée du local.¹³

¹² TERRIER. Christian et VANDEVYVER. Bernard. "L'éclairage naturel", fiche pratique de sécurité, Paris : ED 82, Travail et Sécurité, (Mai 1999), p1 [En ligne] www.inrs.fr (Page consultée le 21 septembre

¹³ ROBERTSON, K. Guide sur l'éclairage naturel des bâtiments. Ontario : SCHL-CMHC. 2003.

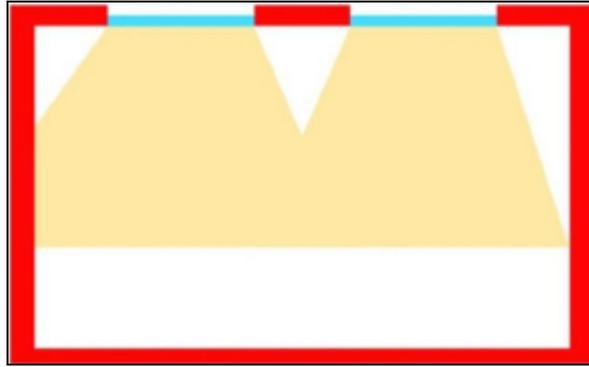


Figure 17 : Exemple d'un éclairage unilatéral. (Source : <http://www.logismarket.fr>)

Eclairage bilatéral :

Pour l'éclairage bilatéral, les ouvertures se situent dans deux parois qu'elles soient parallèles ou perpendiculaires mais qui se trouvent dans la même pièce. Ce type d'éclairage est plus connu dans les établissements scolaires spécialement dans les salles de classe où il est nécessaire de fournir au niveau du plan de travail un bon niveau d'éclairage avec une bonne uniformité et moins de contraste et donc moins d'éblouissement.¹⁴

Selon A.VANDENPLAS, « la profondeur des pièces éclairées par un dispositif bilatéral peut atteindre facilement quatre fois la distance entre le plafond et le plan utile. Ceci permet d'éclairer efficacement un local de dimensions plus importantes que celles permises par un éclairage unilatéral »

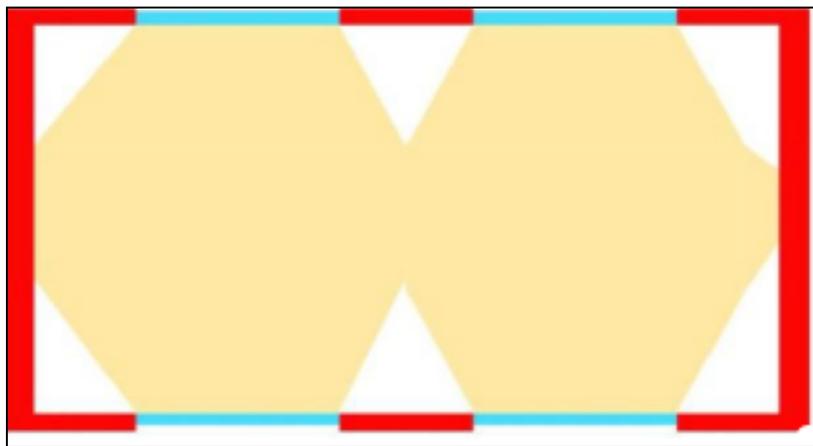


Figure 18 : Exemple d'un éclairage bilatéral. (Source : <http://www.logismarket.fr>)

¹⁴ BENHARKAT, S. Impact de l'éclairage naturel zénithal sur le confort visuel dans les salles de classe, cas d'étude : bloc des lettres. Thèse : architecture bioclimatique. Université Mentouri Constantine. 2012. p 165. Tiré à partir de : VANDENPLAS, A. Comité National Belge de l'Eclairage- Commission de l'Eclairage Naturel, l'éclairage naturel et ses applications. Bruxelles. 1964. p123.

Eclairage multilatéral :

L'éclairage multilatéral consiste à avoir des ouvertures verticales sur plus de deux murs, mais qui se trouvent dans la même pièce.

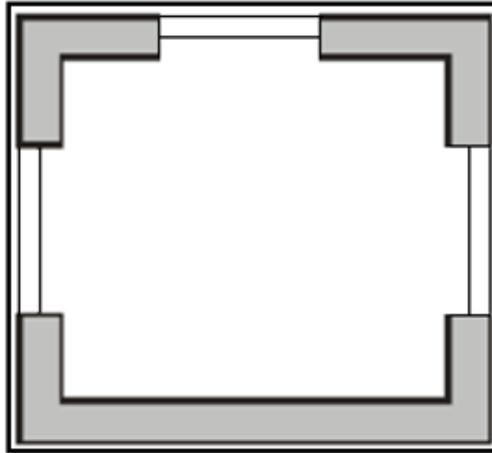


Figure 19 : Exemple d'un éclairage multilatéral (Source : <http://www.logismarket.fr>)

II.2.1.2- L'éclairage Zénithal :

Le recours à l'éclairage zénithal est indispensable pour les constructions dont la hauteur sous plafond est supérieure à 4,50 mètres. Quant aux locaux de hauteur intermédiaire, de 3 mètres à 4,50 mètres, le choix dépend d'autres caractéristiques à l'image de la profondeur, la largeur et la forme du bâtiment. Si la profondeur du bâtiment par exemple est importante par rapport à la hauteur du local, l'éclairage zénithal sera indispensable afin d'assurer une distribution uniforme des éclairagements intérieurs

Ce type d'éclairage s'avère le plus efficace pour des espaces à faible et moyenne hauteur (deux ou trois niveaux) étant donné qu'il est facile d'avoir un éclairage pas très homogène mais plus confortable c'est-à-dire suffisamment intense et uniforme.¹⁵

¹⁵ BOUDOUKHA, M. Analyse de la Symbiose environnement lumineux et qualité architecturale dans le secteur résidentiel Cas de la cité des 426 lots El Eulma, Sétif. Thèse : Architecture, Formes, Ambiances et développement durable. Université Mohamed Khider de Biskra.. 2015. 127p.

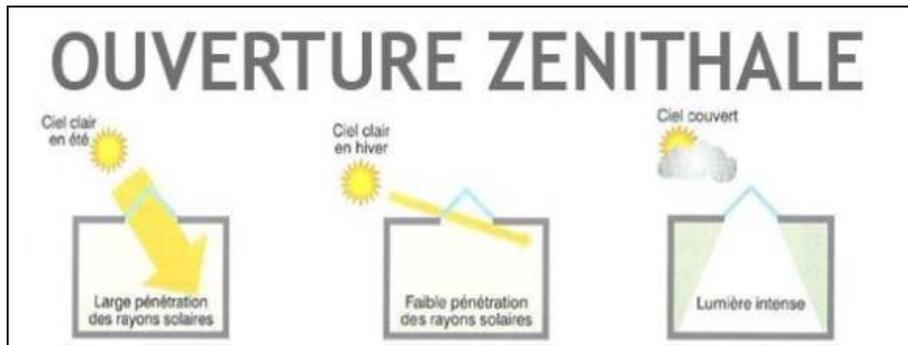


Figure 20 : Exemple de l'éclairage zénithal. (Source : UCL Architecture et climat)

II.2.1.2.1- Type d'éclairage zénithal :

II.2.1.2.1- Les toitures en dents de scie ou sheds :

Les sheds qui ont fait leur apparition au tournant du siècle précédent en Europe dans les bâtiments industriels puis en Amérique en 1930, sont aujourd'hui largement utilisés dans les constructions scolaires. [SCHILER, 1992].

Les sheds sont composés d'une surface translucide qui collecte la lumière naturelle pour la transmettre à l'intérieur du local, et d'une surface opaque inclinée appelée « rampant » qui distribue la lumière du jour à l'intérieur de la pièce.¹⁶

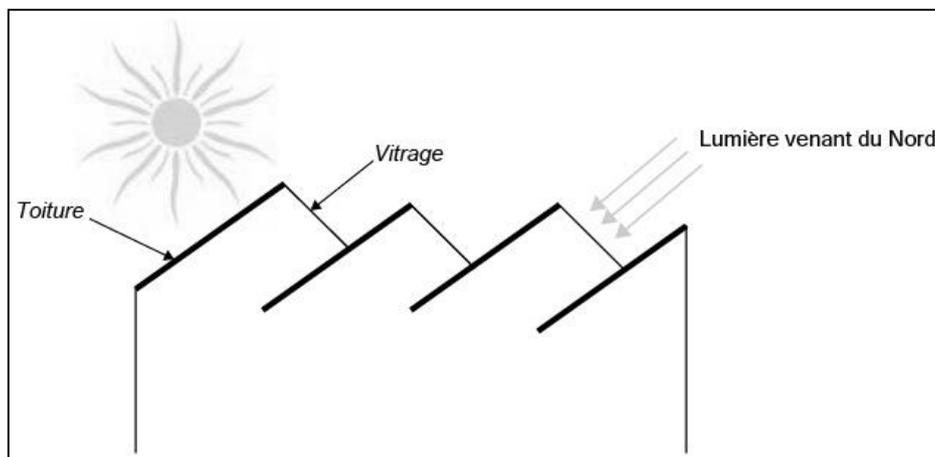


Figure 21 : Principe du Sheds. (Source : Cairn.Info)

Ce système constitue la meilleure solution pour l'éclairage naturel en procurant de la lumière indirectement car il permet de concilier un éclairage suffisant, homogène et une limitation des apports solaires en jouant sur l'orientation et l'inclinaison du vitrage. (TERRIER ET VANDEVYVER, 1999).

Cette disposition permet de couvrir des grandes espaces en gardant les bénéfices de l'éclairage latéral.

¹⁶ TERRIER., C et VANDEVYVER., B, L'éclairage naturel, fiche pratique de sécurité. Ed 82 tiré à partir de l'article publié dans la revue mensuelle : Travail et Sécurité. mai 1999. Réimpression aout 2012. p03.

Des simulations ont été effectuées par TERRIER et VANDEVYVER, (1999) qui ont montré qu'une inclinaison de 60° pour une latitude de 53° permet d'éviter le rayonnement solaire direct sur le plan de travail même pour l'été, alors qu'une inclinaison de 45° est moins favorable pour l'été.

La peinture des rampants en couleurs claires peut diminuer l'effet des ombres portées sur le plan de travail.

II.2.1.2.2- Les tabatières (skylights) :

C'est le système le plus performant [DELETRE, 2003] car il donne un éclairage suffisant et plus uniforme. Cette surface horizontale et donc sera plus exposée au ciel à partir de l'intérieur sans obstructions ce qui donne une forte luminance des baies. Donc les valeurs du facteur de lumière du jour (FLJ) seront élevées surtout sur la zone qui se situe directement sous la baie et qui diminue chaque fois que l'on s'éloigne de cette zone.

En revanche mais du point de vue thermique, ce type d'éclairage est le plus déconseillé surtout pendant l'été, car dans cette période, une paroi horizontale reçoit une quantité d'énergie double qu'une paroi verticale orientée vers le Sud. On cite même qu'il présente une difficulté de nettoyage, d'entretien, d'étanchéité qui pourrait réduire son efficacité, sans oublier bien-sûr le problème d'éblouissement.¹⁷



Figure 22 : Exemple d'éclairage zénithal de type tabatière. (Source : www.lebloglaurielumiere.com)

II.2.1.2.3- Les Lanterneaux :

Les lanterneaux constituent le type d'éclairage zénithal où l'on trouve une partie de la toiture qui est surélevé sur un matériau translucide. Cette disposition supprime l'effet directionnel des

¹⁷ SCHILER, M. Simplified design of building lighting, New York-Chichester- Weinheim- Brisbane- Toronto- Singapore : John Wiley & Sons .INC. 1992. p89.

rayons solaires qu'on trouve dans les sheds grâce à la pénétration de la lumière dans deux sens juxtaposés. Ceci rend les valeurs de FLJ symétriques par rapport à l'axe entre les deux baies. Afin d'éviter le problème d'éblouissement des occupants, il est recommandé autant que possible de ne pas ensoleiller les vitres ou les surfaces translucides en évitant de les orienter vers le Sud.

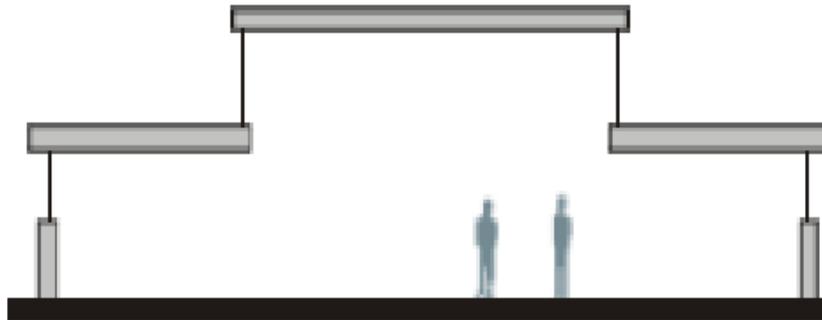


Figure 23 : exemple de lanterneau (Source : www.regionsetcompagnies.fr)

II.2.1.2.4- Les verrières et les dômes :

Les verrières et les dômes sont économiques par rapport aux autres types, et sont les plus utilisés dans l'architecture moderne. Leurs emplois ne nécessitent pas une structure lourde et répondent aux besoins pour un indice de vitrage égale à 10%.

L'inconvénient le plus important dans les verrières et les dômes est l'abaissement, qui ne doit pas être dans un angle inférieur à 30° par rapport à la hauteur de l'utilisateur de l'espace afin d'éviter l'éblouissement. (TERRIER et VANDEVYVER, 1999).

II.2.1.3- L'éclairage composé :

D'après son nom, l'éclairage composé est une résultante dans un même local de sources lumineuses latérales et zénithales au même temps. L'avantage de ce type d'éclairage, est la possibilité de la combinaison entre les avantages de l'éclairage zénithal et de l'éclairage latéral. Ceci permet d'obtenir une distribution équilibrée de l'éclairage horizontal en réduisant l'effet d'éclairage contrasté et donc l'éblouissement, en plus de la satisfaction des besoins psychobiologiques de contact avec l'extérieur. Le principe de l'éclairage composé est d'avoir une source zénithale au fond de l'espace là où l'éclairage obtenu par la source latérale est insuffisant. Cela ne veut pas dire que l'éclairage composé est la solution universelle pour tous les problèmes d'éclairage, car le projet comprend plusieurs espaces avec des activités

différentes avec des spécificités et des besoins hétérogènes et même complexes parfois, pour qu'il sera impératif de choisir entre les deux systèmes d'éclairage latéral ou zénithal.

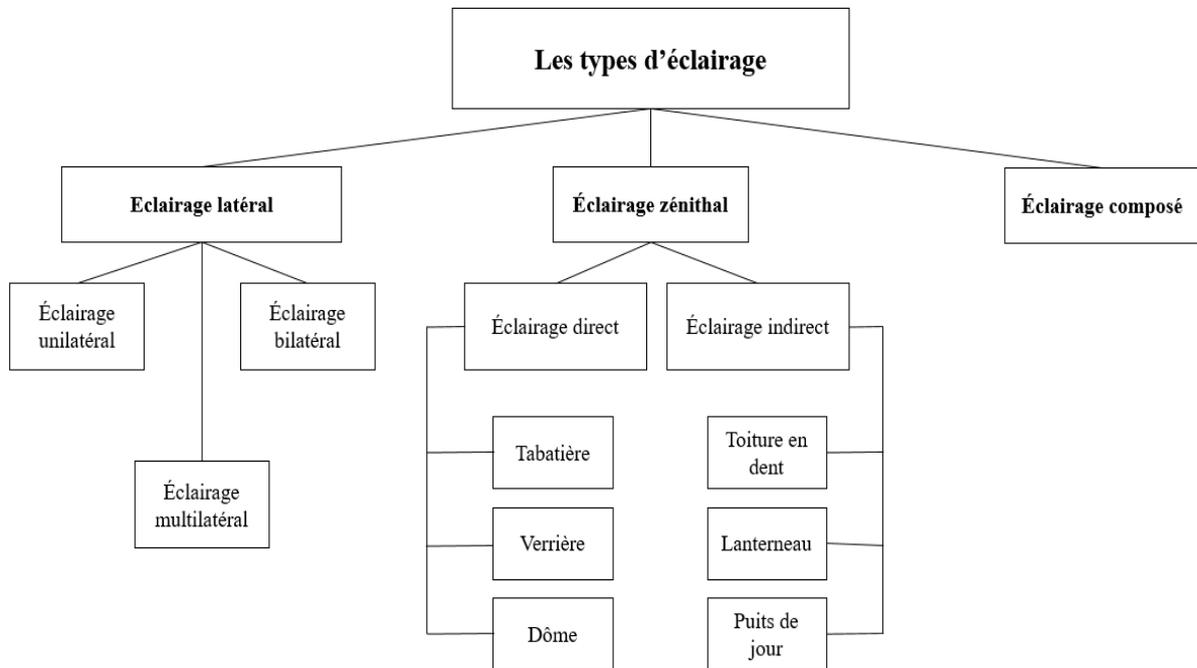


Figure 24 : diagramme des types d'éclairage (Source : auteur)

II.2.2- Les outils de renforcement de l'éclairage naturel à l'intérieur du bâtiment :

II.2.2.1- Le puits de lumière :

Certaines zones centrales dans un bâtiment n'ont pas d'accès direct à la lumière du jour. Dès lors, un conduit de lumière, passant à travers différentes pièces, permet de répandre la lumière naturelle captée en toiture ou en façade dans ces locaux aveugles.

Signalons toutefois que les puits de lumière risquent d'occuper un assez grand volume dans le bâtiment. Leur surface interne doit être d'autant plus réfléchissante que la lumière naturelle doit être amenée profondément dans le bâtiment. Pour limiter au maximum les pertes par absorption, il faut utiliser des matériaux très performants au niveau photométrique.



Figure 25 : Utilisation du verre dans des éléments de sol ou d'escalier. (Source : Architecte : M. Botta)

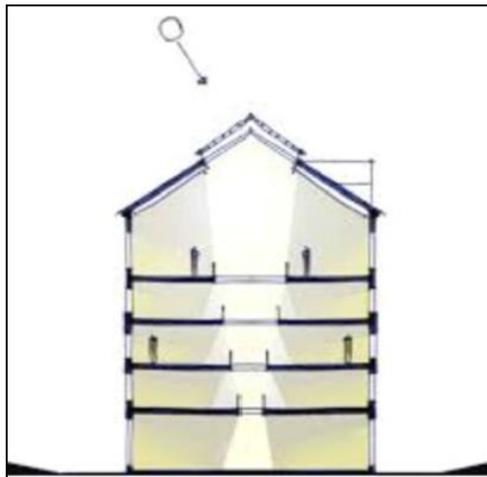


Figure 26 : Puits de lumière. (Source : arpc167.epfl.ch)

II.2.2.2- Le conduit solaire :

Un conduit solaire transmet la lumière solaire directe au cœur même du bâtiment. Le rayonnement solaire est capté au moyen d'un système de miroirs et de lentilles ou de capteurs paraboliques, éléments qui se meuvent en fonction de la trajectoire du soleil. La transmission du rayonnement solaire se fait par des systèmes de miroirs, de lentilles, de prismes réflecteurs, de fibres optiques, de baguettes acryliques, de fluides de cristaux liquides ou des conduits creux, dont les faces intérieures sont recouvertes de métaux polis. Les faisceaux lumineux ainsi obtenus peuvent alors être dirigés sur une surface précise ou diffusés dans l'espace.

II.2.2.3- Le « light shelf » :

Un light shelf est un auvent, dont la surface supérieure est réfléchissante.

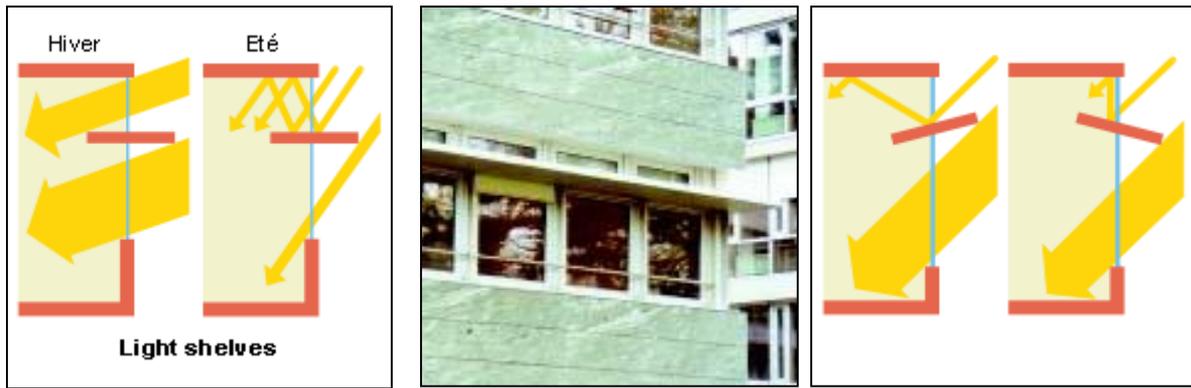


Figure 27 : le light shelf (Source : energieplus-lesite.be)

L'objectif est double

- 1- Rediriger la lumière naturelle vers le plafond, ce qui permet de faire pénétrer la lumière profondément dans la pièce.
- 2- Protéger l'occupant des pénétrations directes du soleil (éblouissement et rayonnement direct).

La surface du light-shelf doit être aussi réfléchissante que possible, mais peut-être mate, brillante ou spéculaire. Une surface spéculaire renvoie théoriquement plus de lumière, mais il faut pour cela qu'elle soit nettoyée très régulièrement, ce qui n'est pas toujours aisé. En pratique, un light shelf brillant (semi-spéculaire) est sans doute le meilleur choix.

La couleur du plafond doit être aussi claire que possible, car il joue le rôle de distributeur de la lumière naturelle réfléchiée par le light shelf. Sa pente a également de l'importance : un plafond incliné vers le fond du local ou de forme arrondie incurvée vers l'intérieur de l'espace augmentera fortement la profondeur de pénétration de la lumière dans le local.

Un light shelf est habituellement situé à environ deux mètres de hauteur, divisant la fenêtre de façade en deux parties. Sa position dépend de la configuration de la pièce, du niveau des yeux et de la hauteur sous plafond pour permettre une vue vers l'extérieur et ne pas causer d'éblouissement. Une position basse augmente la quantité de lumière réfléchiée vers le plafond ... mais accroît les risques d'éblouissement.

L'augmentation de la profondeur du light shelf limite l'éblouissement, mais diminue aussi la pénétration de la lumière et la vue vers l'extérieur. Le light shelf, affectant la conception

architecturale et structurelle d'un édifice, est de préférence introduit au début de la phase de conception puisqu'il nécessite un plafond relativement haut pour être efficace.

Les light shelves horizontaux sont un bon compromis entre une inclinaison du système vers le centre de la pièce ou vers l'extérieur. Tournée vers l'extérieur, le light shelf crée un plus grand ombrage, mais tournée vers l'intérieur il éclaire mieux le fond de la pièce.¹⁸

On peut classer un light shelf selon sa position : intérieur, extérieur ou combiné.

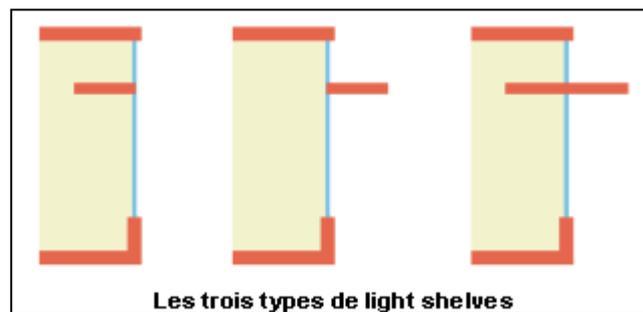


Figure 28 : les types de light shelves (Source : energieplus-lesite.be)

II.2.3- Les stratégies de l'éclairage naturel¹⁹:

- Capter.
- Transmettre
- Distribuer.
- Protéger
- Contrôler.

II.2.3.1- Capter :

Capter la lumière du jour consiste à la recueillir et à la faire pénétrer au travers d'éléments transparents pour éclairer naturellement un bâtiment. La quantité de lumière naturelle disponible à l'intérieur d'un local dépend à la fois des données climatiques et météorologiques, des obstructions extérieures, de la géométrie des ouvertures de l'enveloppe, du type de vitrage et des revêtements de surface du local. La lumière du jour reçue à l'intérieur d'un bâtiment est la résultante de trois composantes : La composante directe due à la lumière du ciel (et

¹⁸ <https://energieplus-lesite.be/techniques/enveloppe7/composants-de-l-enveloppe/composants-divers/light-shelf/>

¹⁹ DAICH, SAFA (2011) Simulation et optimisation du système light shelf sous des conditions climatiques spécifiques, Cas de la ville de Biskra.

éventuellement du soleil) déterminée par la partie de ciel visible à travers les ouvertures, la composante due aux réflexions de la lumière sur les surfaces extérieures et enfin celle des réflexions à l'intérieur du local.



Figure 29 : Stratégie de l'éclairage naturel



figure 30 : Capter l'éclairage naturel

Source : Bernard PAUL, lumière et espace

II.2.3.1.1- Capter directe à travers les ouvertures :

a/ Définition des ouvertures :

Action de déplacer, d'ôter ce qui rendait un espace clos ou inaccessible ; fait pour quelque chose qui fermait cet espace de se déplacer ou d'être déplacé de manière à le mettre en communication avec l'extérieur. b. Caractéristiques de la fenêtre : Fenêtre verticale :

- Système le moins performant en termes d'éclairage par la lumière du jour
- Le plus utilisé car facile à mettre en œuvre (et permet une vue sur l'extérieur)
- Bien orientée, présente beaucoup d'avantages thermiques



Figure 31 : L'éclairage latéral. (Source : Baker, 1993)

Principe	Avantage	Inconvénient
Apport de lumière naturelle par une ouverture donnant sur un espace bénéficiant de lumière du jour directement depuis l'extérieur.	Permet de créer une impression de lumière naturelle dans un local privé de premier jour et de le faire bénéficier de la dynamique de la Lumière naturelle.	N'offre pas (ou rarement) de vue sur l'extérieur. Ne permet pas d'obtenir des niveaux d'éclairements suffisants pour effectuer une tâche visuelle.

Tableau 3 : Principe et avantages et inconvénients de Fenêtre verticale (Source : Guide éclairage naturel 2014)

Fenêtre en toiture :

C'est le système le plus performant : de 3 à 5 fois plus de lumière, à surface équivalente, qu'un vitrage vertical.

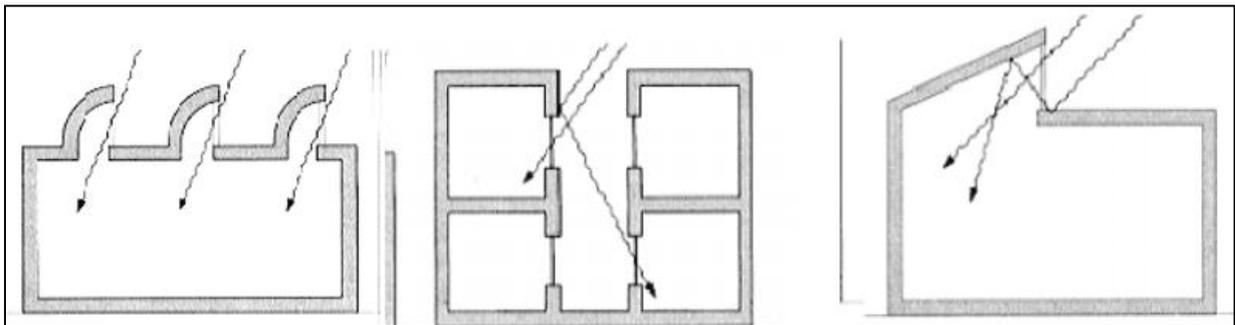


Figure 32 : Principes des fenêtres en toit (Source : <http://www.grenoble.archi.fr> 2007)

- S'ouvre sur la totalité de la voûte céleste => forte pénétration de la lumière diffuse
- Lumière entre par les plafonds => limite éblouissements dans les locaux

PS : si elle est mal conçue, elle va aussi créer plus de surchauffe l'été les prises de jour sont couramment inclinées (non horizontales) et orientées au Nord



Figure 33 : Ouverture en toit. (Source : www.toulouzanmichel.fr)

Principe	Avantage	Inconvénient
Apport de lumière naturelle Zénithale par une ouverture Donnant sur l'extérieur.	À surface égale, les prises de jour horizontales permettent d'offrir deux fois plus de lumière qu'une fenêtre verticale. Bon moyen d'améliorer l'uniformité en fond de pièce ou d'apporter de la lumière naturelle dans les circulations du dernier niveau d'un bâtiment.	N'offrent pas de vue sur l'extérieur. Des déperditions et surchauffes peuvent être générées. Il conviendra de choisir un facteur solaire adapté, notamment par une protection solaire extérieure. Possibilité d'éblouissement par le soleil direct au travers des lanterneaux si le vitrage n'est pas diffusant.

Tableau 4 : Principe et avantages et inconvénients de Fenêtre en toiture (Source : Guide éclairage naturel 2014)

b/ Orientation de l'ouverture :

Pour nos latitudes tempérées, on peut distinguer 5 orientations principales qui tiennent compte des déséquilibres de température entre matin et après-midi.

Nord : jamais de soleil direct ; importance des réflexions extérieures

Sud : soleil haut quand les apports énergétiques sont importants

Est : même caractéristiques qu'Ouest mais sans surchauffe de la journée

Ouest : apport énergétique le plus élevé, (après-midi) ; soleil bas

c/ Dimensionnement des ouvertures latérales :

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

- La transmittance lumineuse du vitrage.
- L'étendue des obstacles extérieurs.
- La taille et la forme de l'intérieur du local.
- La réflectance des surfaces internes.

La formule suivante, permet une évaluation approximative de la surface vitrée nécessaire pour procurer un facteur de lumière du jour moyen désiré :

$$W = DF \cdot A \cdot (1 - R^2) / T \cdot \square$$

Ou :

W : surface nette du vitrage des ouvertures (la menuiserie en métal représente 20% de la surface totale et la menuiserie en bois ou en plastic représente 30% de la surface totale)

DF : facteur de lumière du jour moyen désiré.

A : aire totale de toutes les surfaces intérieures du local, y compris celle des ouvertures. R : facteur de réflexion moyen des surfaces intérieures du local (plafond, plancher et murs avec les ouvertures).

T : facteur de transmission lumineuse du vitrage, dont on déduit 10 % pour saleté.

\square : Angle du ciel visible depuis l'ouverture, exprimé en degrés

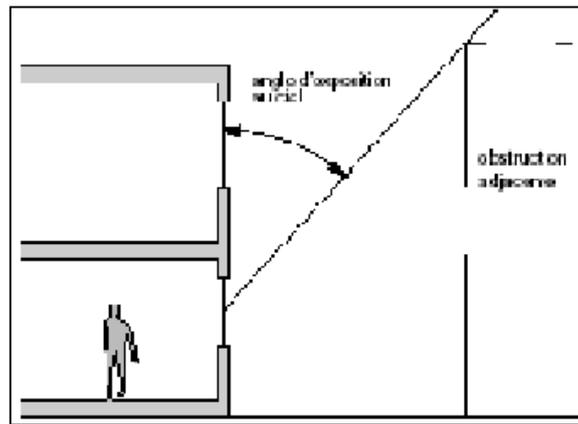


Figure 34 : Angle d'exposition au ciel. (Source : K. ROBERTSON, 2003.)

d/ Forme de l'ouverture :

Une forme d'ouverture optimisée peut augmenter la qualité de l'éclairage naturel en limitant les effets de contrastes et les zones d'ombres. On préférera :

- une fenêtre large à la place de plusieurs petites fenêtres étroites afin de limiter une succession de contrastes forts,
- à surface vitrée égale, on choisira une forme de baie et une position sur le mur qui offre, dans la mesure du possible, une vue sur le sol extérieur, le paysage et le ciel.

De plus, les baies de grande dimension auront une proportion de cadre moins importante, ce qui limite les déperditions thermiques et augmente l'apport de lumière naturelle, la menuiserie pouvant représenter jusqu'à 25 % de la surface de l'ouverture en cas de baies étroites.

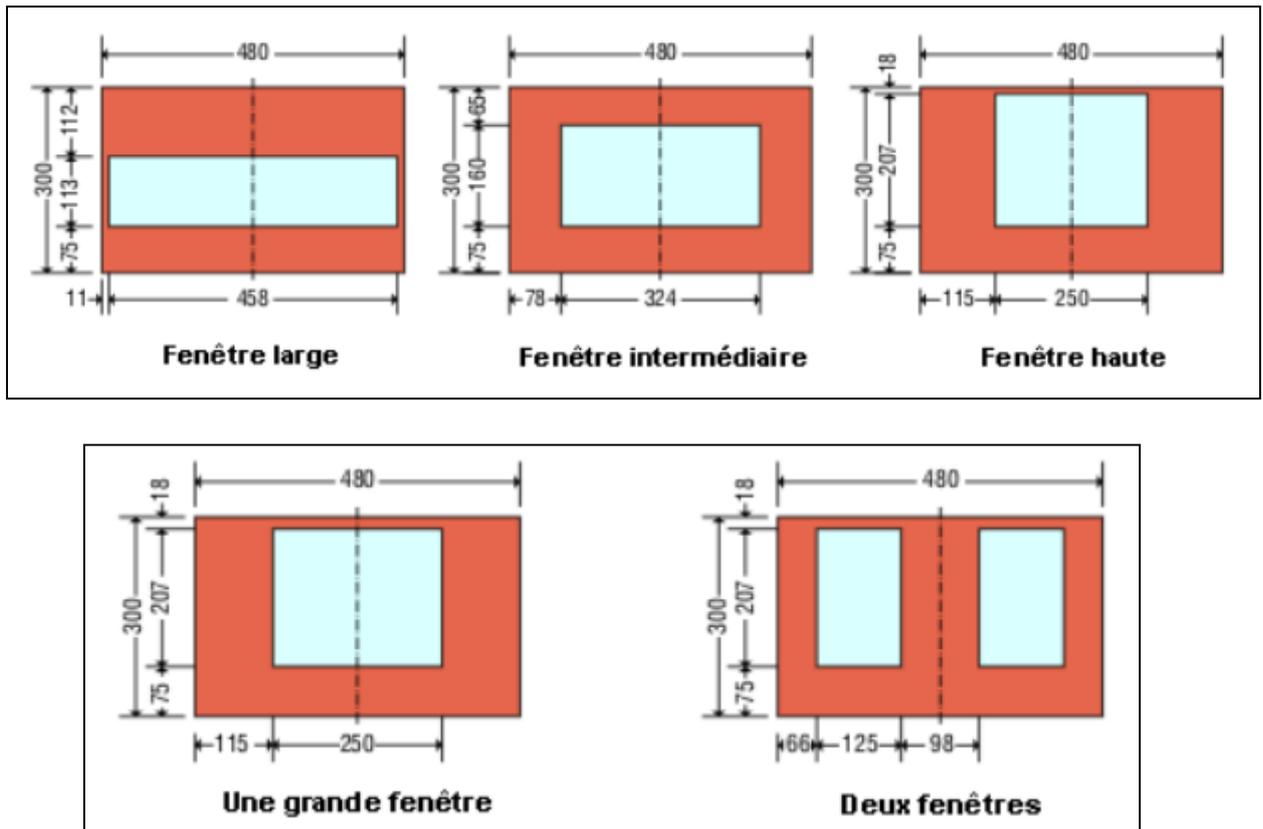


Figure 35 : Influence de forme d'ouverture (Source : <https://energieplus-lesite.be>)

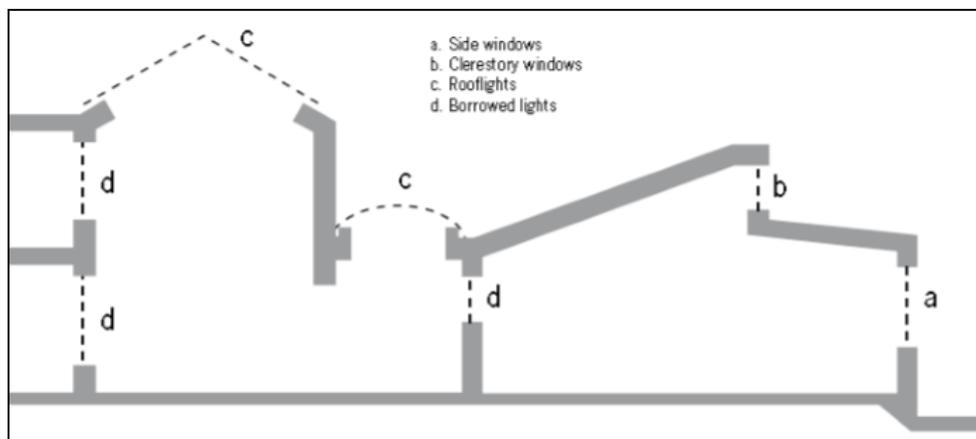


Figure 36 :types des fenestres (Source : <https://energieplus-lesite.be>)

e/ Position des ouvertures

La position des ouvertures sur la façade aura un impact sur la répartition de la lumière naturelle dans le local qu'elles éclairent.

Les impostes permettent à la lumière naturelle d'entrer plus en profondeur dans un local. En revanche, les ouvertures situées en dessous de la hauteur du plan utile auront peu d'impact sur

la quantité de lumière qu'il recevra. On observe également qu'une zone d'ombre est créée sous l'allège dans le cas d'ouvertures trop hautes.

Ces simulations nous montrent qu'une allège vitrée est peu efficace sur l'éclairage naturel. En revanche, la combinaison d'une fenêtre en imposte et une à hauteur d'œil est la configuration optimale pour l'éclairage naturel.

Plus la fenêtre est élevée, mieux le fond du local est éclairé

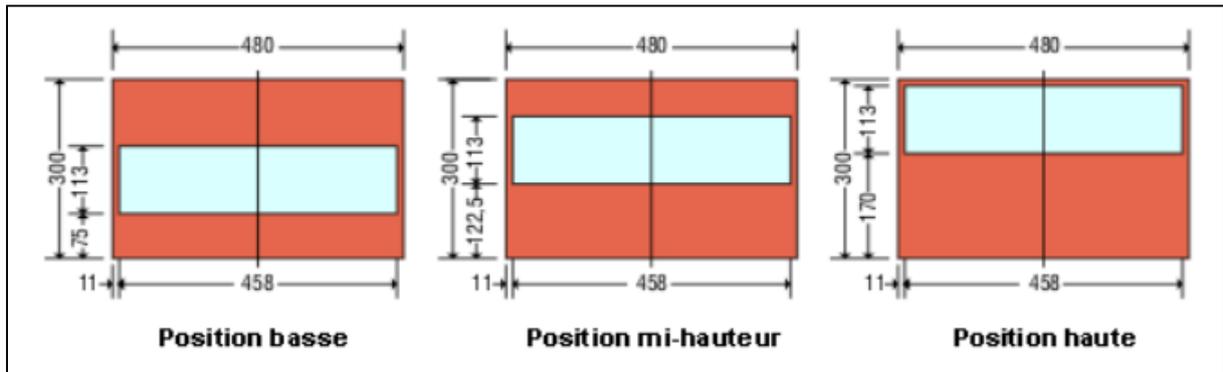


Figure 37 : Position d'ouverture (Source : <https://energieplus-lesite.be>)

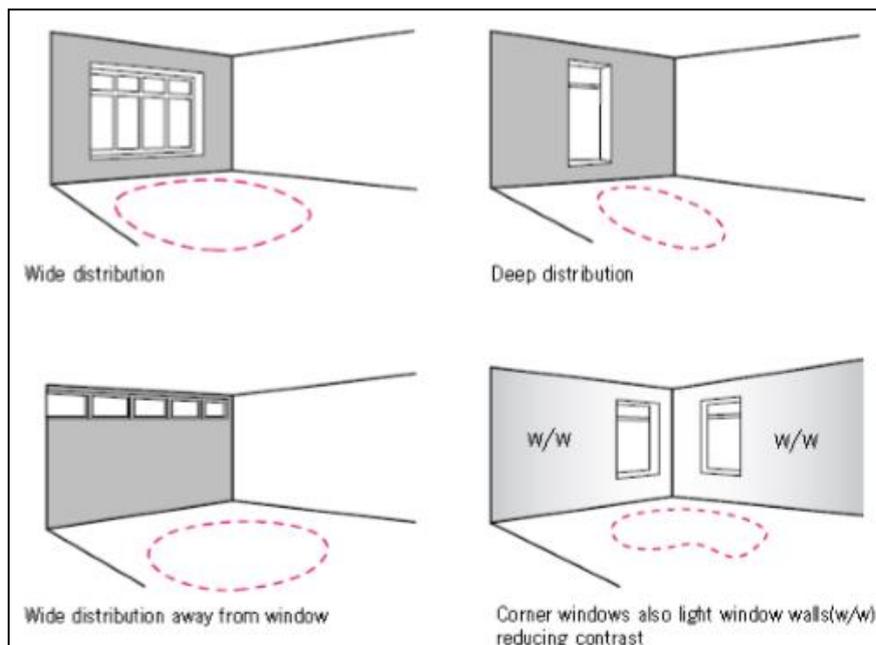


Figure 38 : Indique la relation entre la fenêtre, forme lanterneau et la position, la distribution et de la lumière.
(Source : <https://energieplus-lesite.be>)

f/ Les types de vitrage :(transmission du vitrage)

Facteur de transmission :

- vitrage simple (3mm) : 0,9
- vitrage double : 0,81
- vitrage double normalement sale : 0,6

PS : Les vitrages plastiques vieillissent vite (poussières, intempéries...). Leur facteur de transmission varie au cours du temps.

vitrages spéciaux :

Vitrages passifs :

- extra clairs (facteur de transmission amélioré)
- Autonettoyants

Vitrages super-isolants (MIT) :

- Aérogels : composés de mousses de silice entre 2 plaques de verre.

Exceptionnel qualités thermiques (identiques à des parois pleines) mais transmission plus faible

Vitrages dynamiques :

- électro chromes (obscurcissement)
- à cristaux liquides (opacification)
- à émission lumineuse
- à lamelles internes

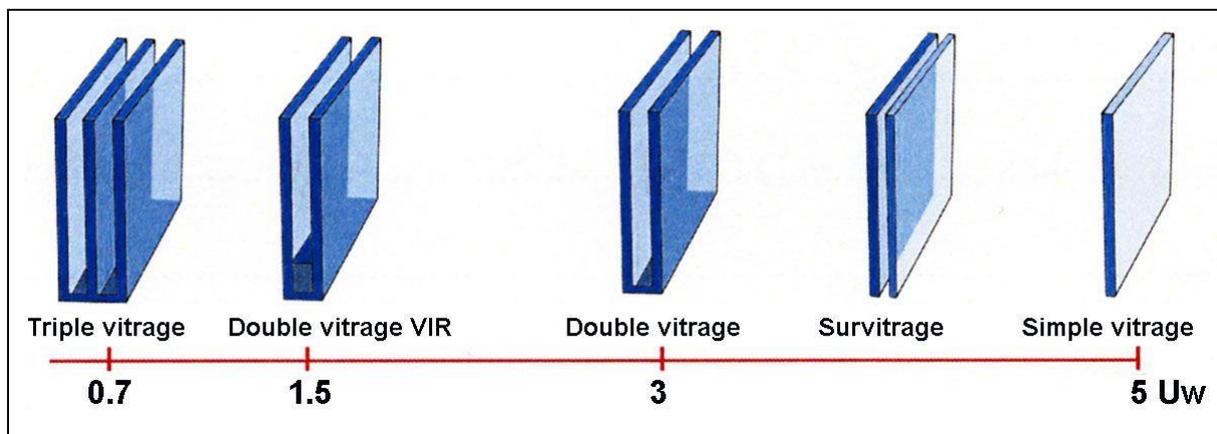


Figure 39 : Type de vitrage. (Source : www.picbleu.fr)

II.2.3.2- Transmettre :

Transmettre la lumière naturelle consiste à favoriser sa pénétration à l'intérieur d'un local

La pénétration de la lumière dans un espace est influencée par les caractéristiques de l'ouverture telle que ses dimensions, sa forme, sa position et le matériau de transmission utilisé.

Le matériau de transmission utilisé peut être transparent ou translucide

Une répartition harmonieuse de la lumière naturelle dans un bâtiment peut être favorisée par différentes approches basées sur :

- Le type de distribution lumineuse (direct, indirecte),
- La répartition des ouvertures,
- L'agencement des parois intérieures,
- Le matériau des surfaces du local,
- Les zones de distribution lumineuse,
- Les systèmes de distribution lumineuse

II.2.3.3- Distribuer :

Distribuer la lumière naturelle consiste à diriger et à transporter les rayons lumineux de manière à créer une bonne répartition de la lumière naturelle dans le bâtiment. La difficulté d'utilisation de la lumière naturelle par rapport à la lumière artificielle réside dans la grande inhomogénéité des éclatements qu'elle induit en général. La répartition de la lumière représente un facteur clé pour assurer un éclairage de qualité. Une répartition harmonieuse de la lumière naturelle dans un bâtiment peut être favorisée par différentes approches basées sur :

- Le type de distribution lumineuse (direct, indirecte),
- La répartition des ouvertures,
- L'agencement des parois intérieures,
- Le matériau des surfaces du local,
- Les zones de distribution lumineuse.
- Les systèmes de distribution lumineuse.

II.2.3.4- Protéger :

Consiste à arrêter partiellement ou totalement le rayonnement lumineux lorsqu'il présente des caractéristiques néfastes à l'utilisation d'un local. Pour atteindre le confort visuel ; il est

essentiel de se protéger de l'éblouissement. On appelle protection solaire tout corps empêchant le rayonnement solaire d'atteindre une surface qu'on souhaite ne pas voir ensoleillé

- Masques proches et lointains :

Les masques environnants – Bloquent les rayons de soleil directs – Masquent des portions de ciel

- Se protégé au sud :

L'orientation sud est la plus facile à traiter. Sous nos latitudes, la hauteur du soleil entre avril et août est supérieure à 60°. C'est généralement cette hauteur qu'on prend comme référence.

– $H = 90^\circ - \text{Latitude} + 23,5^\circ$

– Ex à Grenoble, $H = 90^\circ - 45 + 23,5 = 68,5$

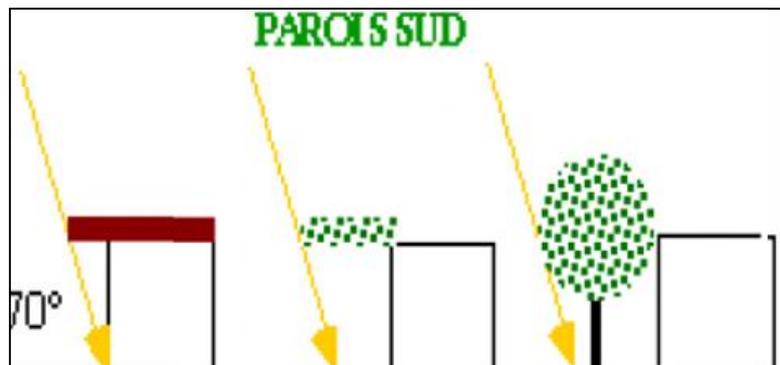


Figure 40 : Se protéger au sud (Source : <http://www.grenoble.archi.fr> 2007)

La dimension de l'avancée est fonction de la hauteur entre l'avancée et le bas de la prise de jour. $\tan H = H / P c$.

- Se protégé à l'ouest :

La hauteur de référence des rayons solaires est 30°. L'avancée doit devenir très importante

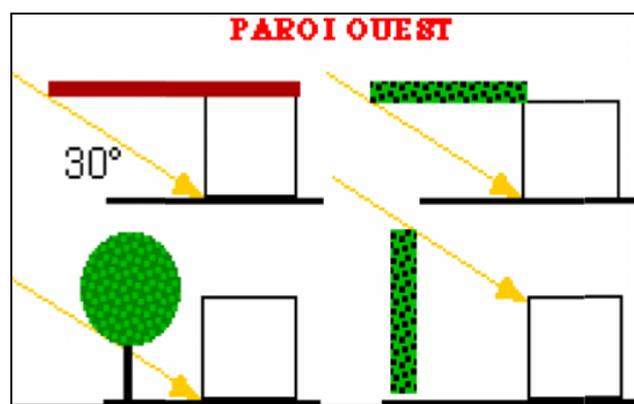


Figure 41 : Se protéger à l'ouest (Source : <http://www.grenoble.archi.fr> 2007)

Chapitre II : l'éclairage naturel dans l'espace architectural

L'utilisation d'écrans fractionnés sont les plus courantes. Incliner les lames permet de les espacer et maintenir une vue sur l'extérieur. On peut aussi utiliser des lames verticales, avec un angle horizontal de position de ces lames de 15° à 30°.

- Les protections solaires fixes :

- La végétation :

Avantage	Inconvénient
Pour les niveaux bas d'un bâtiment, une végétation à feuilles caduques peut bloquer le rayonnement solaire direct au printemps et en été et le laisser passer en hiver de manière à bénéficier des apports solaires. Faible coût de mise en œuvre.	Des végétaux trop denses peuvent diminuer l'éclairage naturel de manière drastique en été, incitant les usagers à utiliser l'éclairage électrique. Les étages hauts sont moins bien protégés.

Tableau 5 : Avantages et inconvénients de végétation. (Source : Guide éclairage naturel 2014)

- Brise-soleil horizontaux extérieurs :

Avantage	Inconvénient
Si l'orientation est franche (plein sud) et que le système est bien dimensionné, il permet de bloquer la pénétration du rayonnement solaire direct au printemps et en été pour éviter les surchauffes. Permet également de bénéficier des apports solaires en période d'automne et d'hiver.	Diminue-la composante diffuse de la lumière naturelle. Éclairements médiocres sous des conditions de ciel couvert. Parti architectural fort.

Tableau 6 : Avantages et inconvénients de Brise-soleil horizontaux extérieurs.

(Source : Guide éclairage naturel 2014)

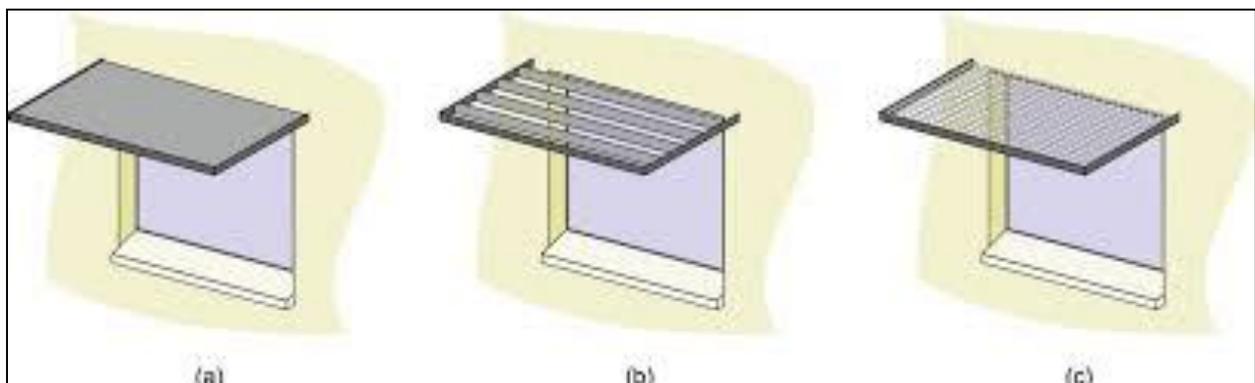


Figure 42 : Brise-soleil horizontaux. (Source : www.programmepacte.fr)

- Brise-soleil verticaux extérieurs :

Avantage	Inconvénient
Permet de réduire considérablement la pénétration du rayonnement solaire direct.	Fort impact sur l'éclairage naturel et la vue sur l'extérieur. Éclairements médiocres sous des conditions de ciel couvert. Selon la position des usagers à l'intérieur, la vue sur l'extérieur peut être très réduite, à moins d'utiliser des panneaux perforés. Parti architectural fort.

Tableau 7 : Avantages et inconvénients de Brise-soleil verticaux extérieurs

(Source : Guide éclairage naturel 2014)

II.2.3.5- Contrôler :

Contrôler la lumière naturelle consiste à gérer la quantité et la distribution de la lumière dans un espace en fonction de la variation des conditions climatiques et des besoins des occupants.

La gestion de l'éclairage permet, d'une part, de répondre à la variation continue de la lumière naturelle et, d'autre part, d'adapter l'ambiance lumineuse d'un local pour correspondre au mieux aux besoins de ses utilisateurs. On peut diviser les solutions de contrôle de l'éclairage naturel en trois catégories :

- L'utilisation de systèmes d'éclairage naturel adaptables, tels que des éléments de contrôle amovibles.
- Le zonage de l'installation d'éclairage artificiel en fonction de la lumière naturelle disponible.
- La régulation du flux des lampes en fonction de la présence de lumière naturelle.

Contrôler l'éclairage naturel d'un bâtiment participe également à la création d'un environnement qui répond de manière optimale aux besoins de ses utilisateurs. Le confort visuel est non seulement lié à l'éclairage d'un local mais aussi à son utilisation. C'est pourquoi, l'ambiance lumineuse d'un local doit pouvoir être adaptée aux différentes activités de ses occupants. Par exemple, un bureau est avant tout un lieu de lecture et de travail sur ordinateur mais il peut aussi servir de salle de réunions. L'adaptabilité de l'éclairage naturel d'un bâtiment est une qualité essentielle qui offre l'opportunité d'optimiser le confort visuel et de diminuer les productions de chaud et de froid à l'intérieur de ses locaux.

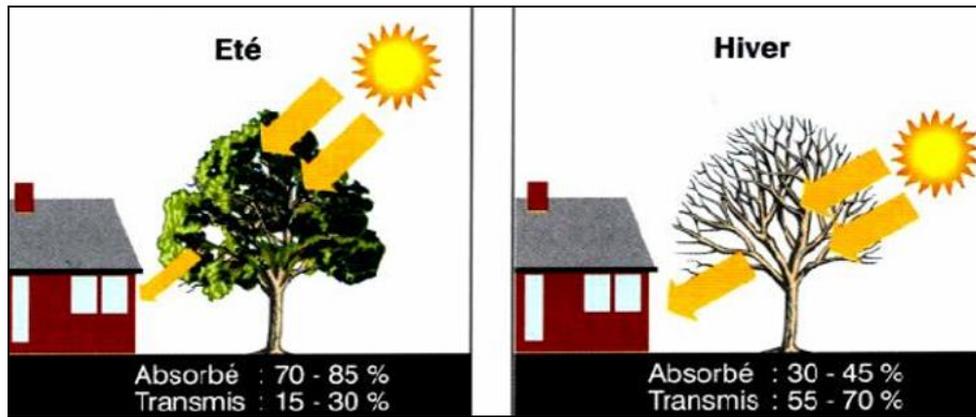


Figure 43 : La distribution de la lumière en été en et hiver. (Source : <http://www.grenoble.archi.fr> 2007)

II.2.4- Les paramètres qui influent l'éclairage naturel :

II.2.4.1- L'influence de l'environnement :

Lors de la conception d'un bâtiment, il est donc important de mesurer l'impact de l'environnement existant sur le nouvel édifice afin de profiter au mieux des possibilités offertes par le terrain pour capter la lumière.

Le relief du terrain, les constructions voisines peuvent modifier fortement l'apport.

L'effet de rue est caractérisé par le masque solaire que créent les bâtiments situés de l'autre côté de la rue. Il dépend de la hauteur de ces constructions et de la distance qui sépare les deux côtés de la rue.

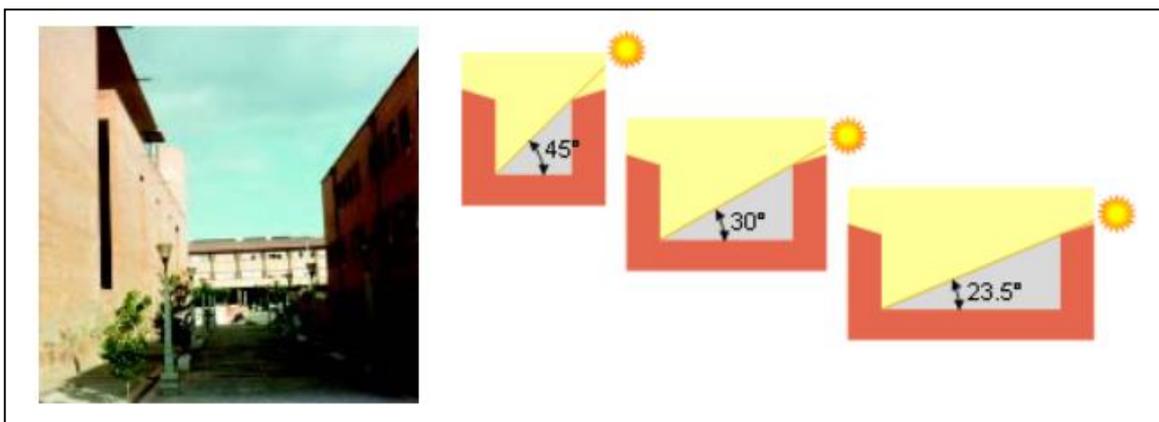


Figure 44 : la rue comme masque solaire. (Source : energieplus-lesite.be)

Des surfaces réfléchissantes placées au sol telles qu'un dallage brillant ou un plan d'eau peuvent contribuer à capter davantage de lumière. Ainsi, l'eau, en réfléchissant le ciel et l'environnement, intensifie l'impression lumineuse d'un lieu.

Mais la présence d'un bâtiment voisin équipé de vitrages réfléchissants, précisément pour se protéger de l'ensoleillement, risque de provoquer un éblouissement excessif des occupants.



Figure 45 : bâtiment voisin vitrée. (Source : energieplus-lesite.be)

II.2.4.2- Des éléments liés au bâtiment lui-même :

Tel que des murs de refends, des surplombs, des light shelves, ... peuvent aussi provoquer un ombrage en fonction de leur taille, de leur réflectivité et de leur orientation.

II.2.4.3- La végétation :

Se distingue des autres écrans parce qu'elle peut être saisonnière, ce qui est le cas des arbres à feuilles caduques, et que par ailleurs elle ne possède qu'une opacité partielle. Elle se contente de filtrer la radiation lumineuse plutôt que de l'arrêter.

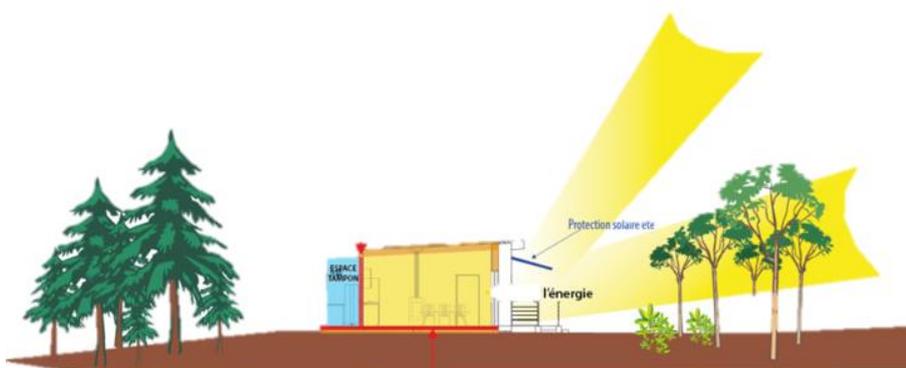


Figure 46 : la végétation comme masque solaire. (Source : db-bureau-etudes.fr)

Conclusion :

Pour synthétiser ce chapitre, il existe plusieurs types d'éclairage de la lumière naturelle en architecture, cette diversité existe grâce à la diversité des techniques de constructions due au progrès technique et technologique, l'architecte a le libre choix de choisir le type d'éclairage qu'il veut accorder à son projet en fonction du sens qu'il veut donner à cette lumière naturelle qui pénètre, de la vocation de l'espace éclairé, de l'intention de l'architecte, de l'expression qu'il veut donner à cet espace...etc.

PARTIE 02 :
PARTIE
ANALYTIQUE

Chapitre III : méthodes d'évaluation et application, la simulation des ambiances lumineuses

Introduction :

Après l'apparition des outils informatiques qui sont spécialisés en éclairage, l'étude de la lumière naturelle et même artificielle en architecture est devenue un phénomène facile à étudier. Ces outils permettent d'étudier le comportement de la lumière dans l'espace architectural, de faire une étude quantitative, qui permet de connaître le niveau d'éclairage et de luminance dans chaque point du local comme ils permettent aussi de faire une étude qualitative. Ces logiciels sont faciles à manipuler et donnent des résultats qui sont proches de la réalité.

III.1- La simulation des ambiances lumineuses :

III.1.1- Définition :

La simulation est la représentation du comportement d'un processus physique, industriel, biologique, économique ou militaire au moyen d'un modèle matériel dont les paramètres et les variables sont les images de ceux du processus étudié. (Les modèles de simulation prennent le plus souvent la forme de programmes d'ordinateurs auxquels sont parfois associés des éléments de calcul analogique.). [Dictionnaire français LAROUSSE]

Les méthodes et outils pour la rénovation de l'éclairage des bâtiments devraient rencontrer les besoins des architectes et des concepteurs d'éclairage, qui sont focalisés sur des « solutions d'éclairage » ; ils devraient également satisfaire ceux des ingénieurs en service des bâtiments, qui sont centrés sur « la résolution de problèmes ». Les deux approches devraient contribuer de manière efficace à :

- Donner du support aux utilisateurs concernant la description du projet de rénovation de l'éclairage ;
- Permettre des évaluations de performance de solutions alternatives de rénovation ;
- Promouvoir le choix des solutions de rénovation optimales ;
- Utiliser les métriques appropriées à l'évaluation des performances énergétiques et d'éclairage, et de confort visuel.

Les méthodes et les outils de simulation avancés permettant l'évaluation de métriques d'évaluation de l'éclairage et du confort visuel est actuellement élevée. Certaines d'entre elles peuvent être appliquées à la fois à l'éclairage naturel et électrique, permettant une approche intégrée pour les procédures de rénovation en matière d'éclairage. Certaines méthodes

permettent l'évaluation de performances énergétiques annuelles et en éclairage de projets de rénovation de grands bâtiments, sur un simple PC.

III.1.2- Les outils de simulation et de modélisation :

III.1.2.1- Mesures sur site :

Les mesures sur site sont un outil facile et simple à exécuter et permet d'étudier qualitativement et quantitativement la lumière dans un espace. Elles permettent de caractériser l'ambiance intérieure et d'obtenir les vraies valeurs d'éclairement, de luminance, etc... Pour effectuer des mesures sur site, il faut qu'on soit équipés du matériel adéquat. Cet outil offre la possibilité de combiner des études d'éclairage naturel et des études d'éclairage artificiel. Le choix de cet outil peut être compris entre deux limites. La première, c'est que ces mesures ne peuvent être réalisées qu'après la construction du bâtiment, la deuxième, qu'elles dépendent des conditions climatiques.

III.1.2.2- Les logiciels informatiques :

III.1.2.2.1- Logiciel d'éclairage DIALux :

DIALux est un logiciel gratuit de DIAL qui vous permet de créer des projets d'éclairage professionnels. Ce logiciel est utilisé par des milliers de concepteurs d'éclairage dans le monde entier et facilite la conception de systèmes d'éclairage pour l'intérieur et l'extérieur.

Avec DIALux, vous pouvez facilement et intuitivement créer des projets d'éclairage. Le logiciel DIALux permet une analyse quantitative simple d'un projet et dispose également d'une fonctionnalité de rendu 3D simple, très utile pour les calculs d'éclairage intérieur, extérieur et public.

En parallèle, DIALux détermine la consommation d'énergie de votre projet d'éclairage afin de se conformer aux directives nationales et internationales.

III.1.2.2.2- VELUX Daylight Visualizer :

Il permet d'évaluer un large éventail de types de construction, de petite à grande échelle, et n'a aucune restriction en ce qui concerne la complexité de la géométrie utilisée dans les modèles importés.

Une bonne planification de la lumière naturelle dans les immeubles de bureaux peut entraîner d'importantes économies énergie sur l'éclairage électrique, jusqu'à 40 % de la consommation. Avec VELUX Daylight Visualizer, vous pouvez vous assurer de la disponibilité optimale de la lumière naturelle dans tous les domaines clés de vos projets.

VELUX Daylight Visualizer peut servir à effectuer des comparaisons « avant et après » des conditions de lumière naturelle à l'intérieur des immeubles, ce qui contribue à orienter le processus de conception vers les bonnes solutions

III.3.2.2.3- Ecotect :

Logiciel de simulation complet qui associe un modéleur 3D avec des analyses solaire, thermique, acoustique et de coût. ECOTECT est un outils d'analyse simple et qui donne des résultats très visuels. ECOTECT a été conçu avec comme principe que la conception environnementale la plus efficace est à valider pendant les étapes conceptuelles du design. Le logiciel répond à ceci en fournissant la rétroaction visuelle et analytique, guidant progressivement le processus de conception en attendant que les informations plus détaillées soient disponible. Ses sorties étendus rendent également la validation finale de conception beaucoup plus simple en se connectant par interface à Radiance, EnergyPlus et à beaucoup d'autres outils plus spécialisés. ECOTECT est bon pour enseigner au débutant les concepts importants nécessaires pour la conception efficace de bâtiment.

III.1.3- Le choix du logiciel de simulation :

III.1.3.1- Présentation :

Ecotect est un logiciel de conception Haute Qualité Environnementale(HQE) destiné aux architectes, qui allie une vaste gamme de simulations et d'analyses pour bien comprendre les performances du bâtiment. C'est un logiciel de simulation simple et complet qui associe un modéleur 3D avec des analyses solaire, thermique, acoustique et de coût. Ecotect permet aux concepteurs de travailler facilement en 3D et d'utiliser tous les outils nécessaires à la gestion efficace de l'énergie."Ecotect" offre plusieurs avantages, c'est un outil facile dans sa manipulation et sa compréhension, il permet de guider le processus de conception et aide les concepteurs à prendre les bonnes décisions dès la première phase d'esquisse, en ce qui concerne la localisation de la construction, sa forme globale, son orientation, les matériaux utilisés pour l'extérieur ainsi que la taille des fenêtres et leur emplacement...etc. Un autre avantage

important est qu'il est possible d'analyser la situation d'éclairage durant toute l'année tout simplement en attribuant les paramètres de simulation (comme l'emplacement, la date, l'heure, l'état du ciel...etc.). Il donne des résultats très visuels comme il peut être connecté avec d'autres logiciels (Radiance, EnergyPlus et d'autres logiciels performants).

III.1.3.2- Qu'est-ce que ECOTECT ?

- Programme par Autodesk.
- Développé par la thèse de doctorat d'Andrew Marsh à Université de Western Australie.
- Créé il y a plusieurs années.
- ECOTECT est un outil d'analyse simple et qui donne des résultats très visuels
- ECOTECT a été conçu avec comme principe que la conception environnementale la plus efficace est à valider pendant les étapes conceptuelles du design.

III.1.3.3- Comment fonctionne ECOTECT ?

Le modèle ECOTECT est relativement simple et non raffiné, il peut être utilisé pour fournir informations précieuses pendant la phase de conception schématique des projets Il a la capacité d'importer des fichiers de données climatiques, de confirmer la longitude et la latitude, les fuseaux horaires.

- Le logiciel peut effectuer des calculs thermiques, de ventilation et de vent.
- Le logiciel peut être utilisé pour localiser géographiquement et orienter le site du projet, et l'impact de la météo sur le bâtiment.
- Le logiciel convertit les données météorologiques, le solstice d'été et d'hiver, l'équinoxe de printemps, les données de conception d'ombrage, le lever du soleil, le midi solaire et les données du coucher du soleil en modèle.
- Fournit un diagramme de trajets solaires stéréographiques 3D sur le modèle.
- Contient des fonctions de gestion permettant l'orientation et la réorientation de la date et de l'heure comme si vous étiez au soleil.
- Fournit ombrage des propriétés adjacentes.
- Gestion de zone pour regarder en dehors de l'ombre et ombrage des points de test.

III.1.3.4- Les caractéristiques :

- ECOTECT permet l'entrée de la simulation thermique.
- Permet l'impact de la température de l'air, de l'humidité relative et de la vitesse du vent.
- Autoriser l'analyse directionnelle du vent d'ECOTECT.

- ECOTECT permet l'utilisation de bases de données dont l'irradiation de diffusion est observée.
- ECOTECT permet l'irradiation directe, la couverture nuageuse et les précipitations.

III.1.3.5- Les avantages d'ECOTECT by Autodesk :

- Les architectes sont mieux habilités à prendre des décisions concernant les questions.
- Fournit une approche holistique de la conception des bâtiments.
- Bâtiments plus économes en énergie et approche écologique.
- Crée une approche plus durable du développement Changement climatique et ressources dimensionnelles abordées.
- Impact significatif sur la conception et la construction de l'environnement bâti.
- Les professionnels de la conception de bâtiments ne s'appuient plus sur des applications génériques.
- Les « règles empiriques » pour la conception de bâtiments éco énergétiques appartiennent au passé.
- Les mises à jour et les transferts de données peuvent s'effectuer de manière transparente dans les applications.
- Les consultants qui travaillent à la fin de la phase de conception peuvent modéliser la 3D.
- L'attitude « juste pour que ça marche » est remplacée par un outil de modélisation 3D de pointe.
- Gain de temps, d'argent et de ressources pour les concepteurs, ingénieurs, entrepreneurs, propriétaires.

III.1.3.6- La démarche ECOTECT :

➤ **Préparation :**

- Télécharger les données climatiques de la région.
- Donner un nom au dessin.
- Fixer le type du bâtiment étudié.
- Fixer l'environnement du bâtiment (urbain, rural, etc.).

➤ **modélisation :**

- Fixer le Nord.
- Fixer la hauteur des espaces.
- Choisir les matériaux de construction de chaque élément.

Chapitre III : méthodes d'évaluation et application, la simulation des ambiances lumineuses

- Définir les différentes propriétés de chaque zone (données générales, propriétés thermiques).
- Nous pouvons, aussi, désactiver le calcul des données thermiques pour les zones non concernées par l'étude.

➤ **Analyse :**

- Définir le paramètre à mesurer (température, gains thermique, etc.).
- Définir la période et l'heure d'étude.
- Lancer l'analyse.

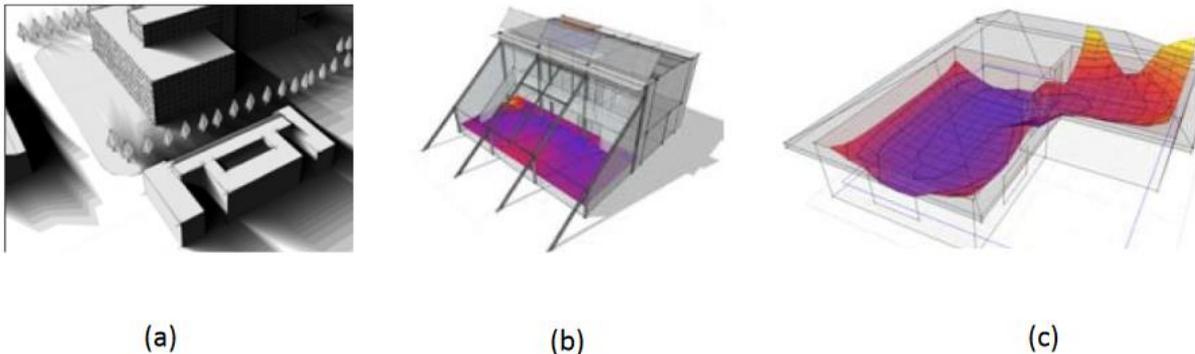


Figure 47 : Résultats de simulation sous Ecotect, ombrage (a), lumière du jour (b) et performances thermique (c).

(Source : www.autodesk.com/ecotect-analysis)

III.2- Protocole de simulation :

Une évaluation idéale tient compte de l'aspect variable de la lumière naturelle, que ce soit sur une journée ou sur l'année. Cependant, simuler toutes les possibilités lumineuses sur une année serait une tâche irréaliste. Une approche plus réaliste est de choisir quelques jours dans l'année pour simuler l'éclairage naturel, ces jours représentent les valeurs extrêmes et moyennes relevées sur une année, et ce, à travers une simulation de quelques heures selon une journée de travail typique pour chaque jour.

Cette approche est recommandée dans quelques récents protocoles internationaux sur l'éclairage (Atif, Love & Littlefair, 1997 ; Velds & Christoffersen, 2000. Cité par Dubois MC, 2001b).

Les journées simulées sont donc les 21 juin et 21 décembre pour les solstices d'été et d'hiver, et le 21 septembre pour l'équinoxe d'automne. L'état du ciel sera réglé comme ensoleillé pour l'été, couvert pour l'hiver et intermédiaire pour l'automne. Les heures simulées sur Ecotect seront 9 h, 12h et 15h, qui correspondent une journée de travail typique en atelier.

III.2.1- Réalisation du model a simulé et intégration des donnée météorologiques :

La réalisation des modèles à simulées a été effectué l'aide du logiciel Ecotect. Une première étape consiste à concevoir le volume avec ces dimensions géométriques.

III.2.2- Intégration des données météorologiques :

Après la réalisation des modèles à simulées il a été nécessaire d'intégrer les données météorologiques de la ville de Biskra dans le logiciel Ecotect après avoir converti le fichier a un fichier (Weather data).Les étapes d'intégration des données sont comme suite:

Étape1 : cliquer sur projet et chercher (Weather Data File)

Etape 2 : sélectionné le fichier (Weather Data) de la ville choisie sur le tableau (load Climate Data File) et cliquer sur ouvrir.

Etape 3 : sauvegarder le nouveau changement des données climatiques en cliquant sur «oui»

Etape 4 : les données climatiques de la ville de Biskra vont être affichées sur le logiciel Ecotect.

III.3- Simulation et interprétations de résultats :

(Cas d'étude : l'école d'architecture de Constantine, travail de mémoire de Djaariri Boutheina-Djermane Houda sous le thème : Optimiser l'éclairage naturel pour le confort visuel Dans une école d'architecture).

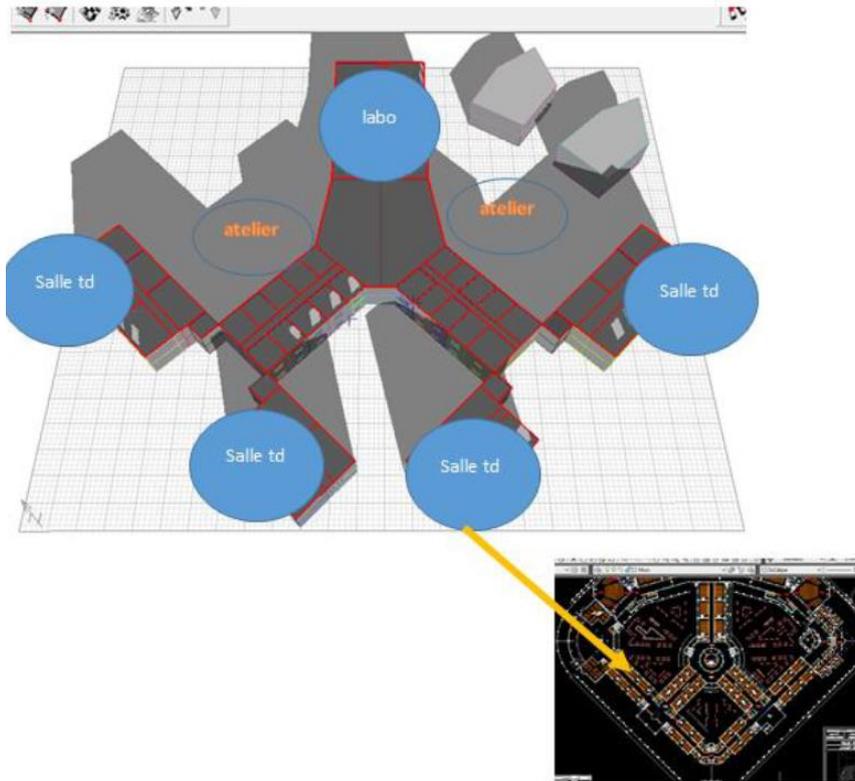


Figure 48 : les principaux espaces dans l'école

Analyse en hiver Janvier :

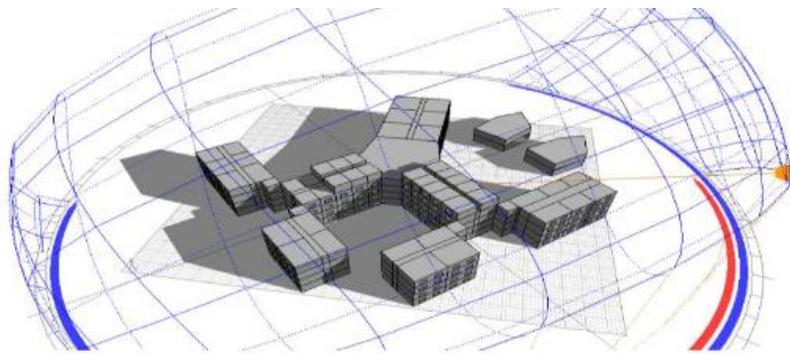


Figure 49 : 3D avec l'ombre dans la période hivernale A 10 h

Chapitre III : méthodes d'évaluation et application, la simulation des ambiances lumineuses

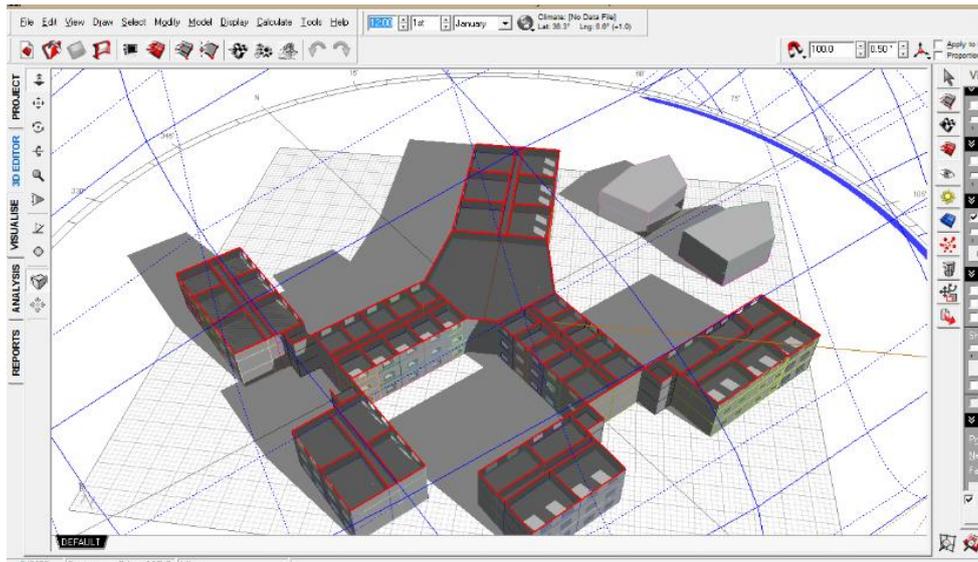


Figure 50 : 3D avec l'ombre dans la période hivernale A 12h

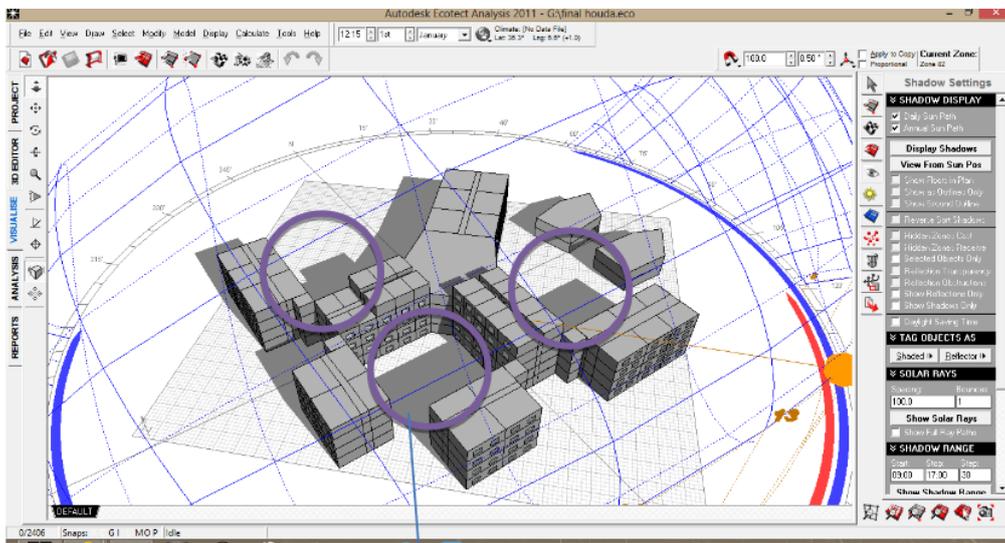


Figure 51 : 3D avec l'ombre dans la période hivernale A 12.15h

Remarque : Le problème c'est que les patios deviennent une source d'inconfort visuel à cause de la grande hauteur de bâti.

Chapitre III : méthodes d'évaluation et application, la simulation des ambiances lumineuses

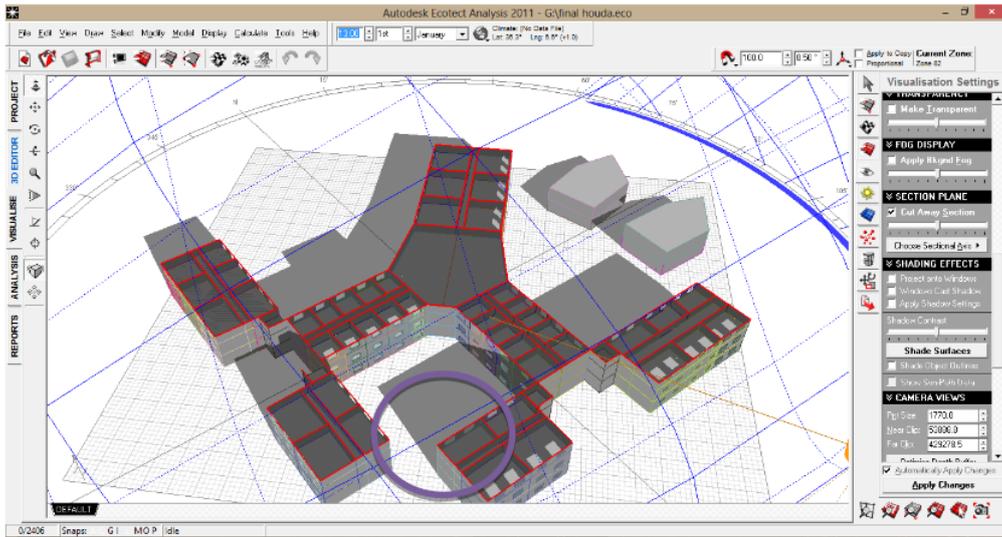


Figure 52 : 3D avec l'ombre dans la période hivernale A 13h

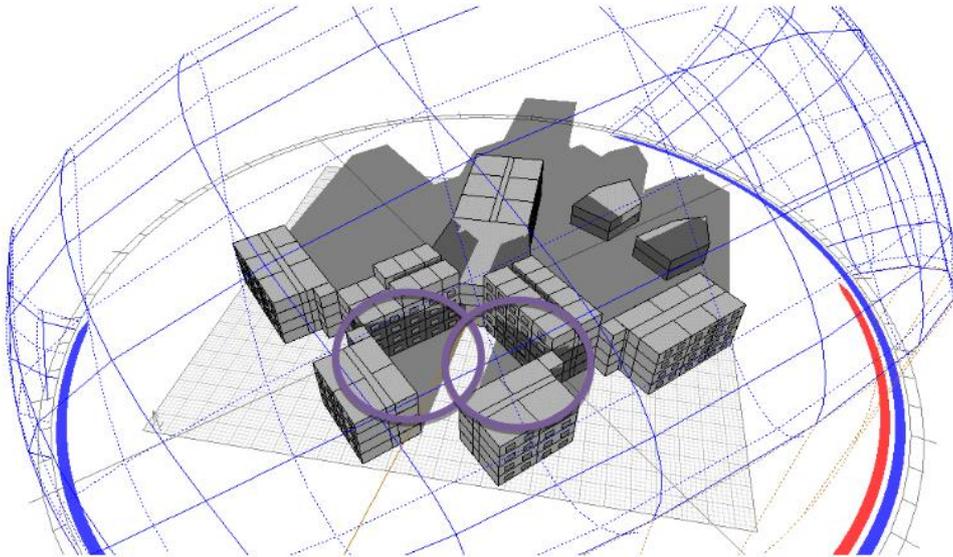


Figure 53 : 3D avec l'ombre dans la période hivernale A 16.00h

Calcule du diagramme solaire, le calcule de ce diagramme ce faire par rapport à une surface «plan, fenêtre ou mur». Ces 3 diagrammes sont par rapport au 3 points.

Chapitre III : méthodes d'évaluation et application, la simulation des ambiances lumineuses

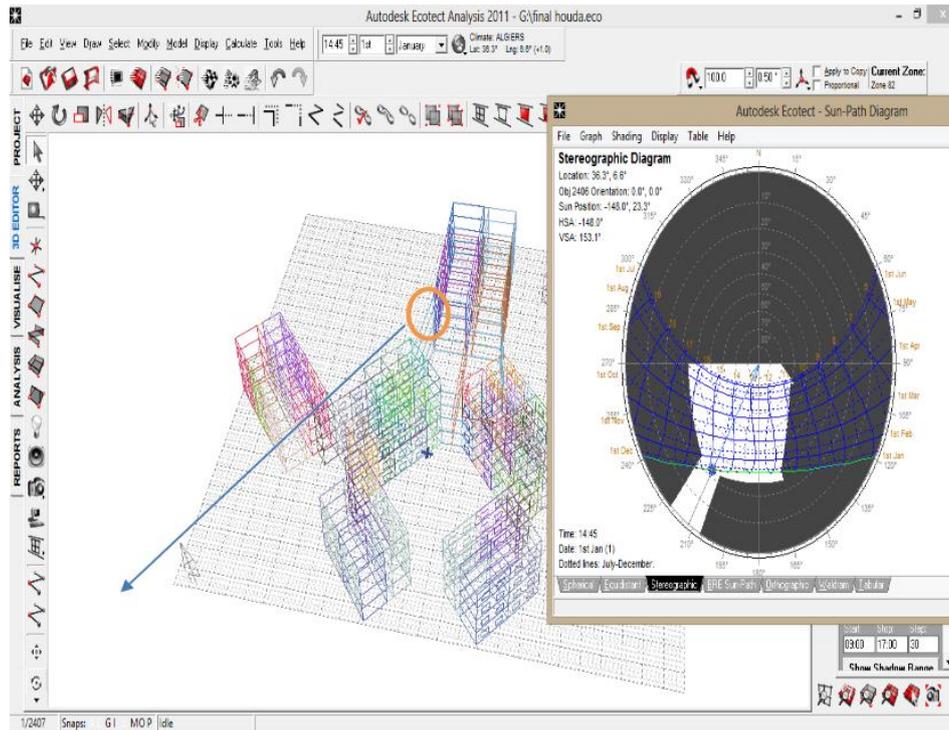


Figure 54 : Diagramme 01 par rapport à une surface (plan)

Positionnement du point de calcul Tout ce qui en gris c'est l'ombre .et tout ce qui en blanc c'est les parties ensoleillé pendant la journée ou les heures de 11 jusqu'à 15h.

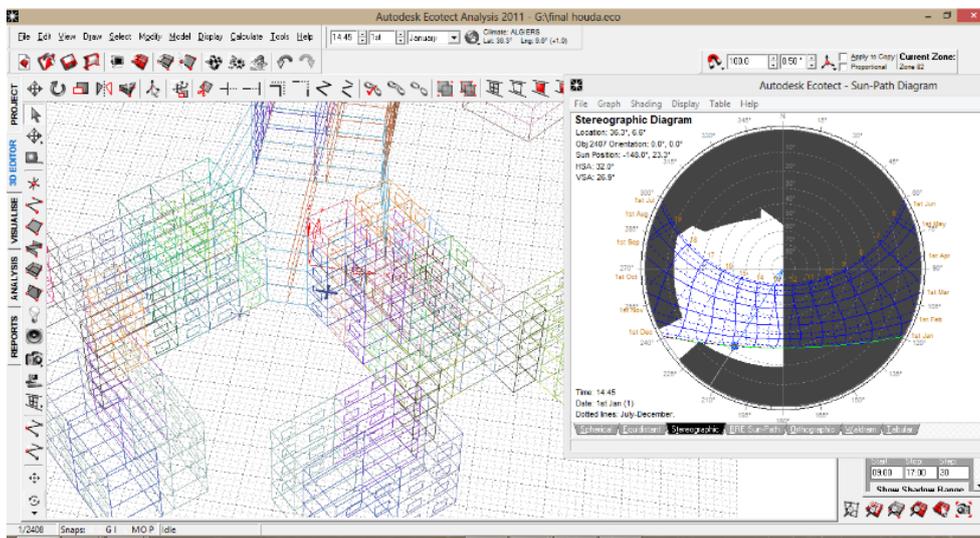


Figure 55 : Diagramme 02 par rapport à une surface (fenêtre)

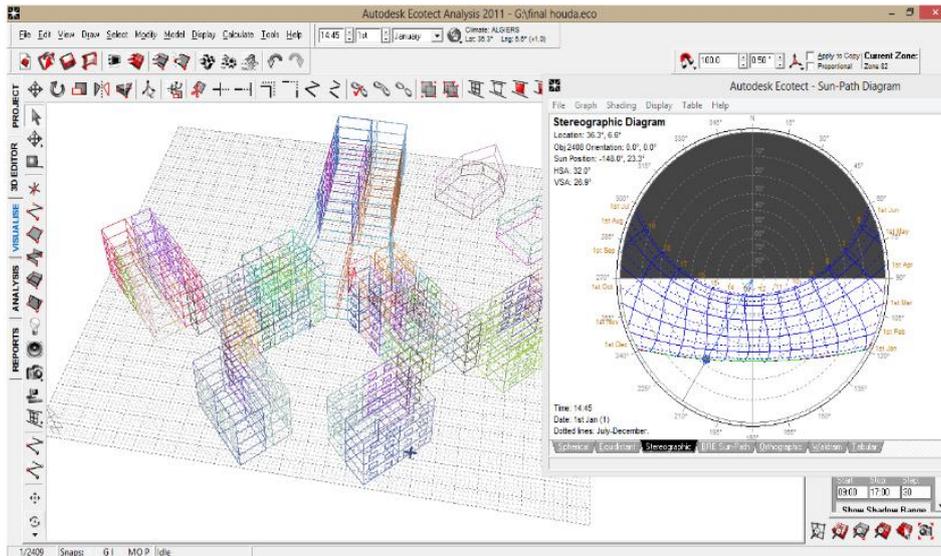


Figure 56 : Diagramme 03 par rapport à une surface (mur)

III.3.1- Etude quantitative du modèle :

L'objectif de cette simulation est de connaître la quantité d'éclairage qui rentre dans la classe par la fenêtre uniquement et jusqu'à quelle profondeur l'espace est bien éclairé. La figure suivante montre que le local est partagé en quatre zones d'éclairagements différents :

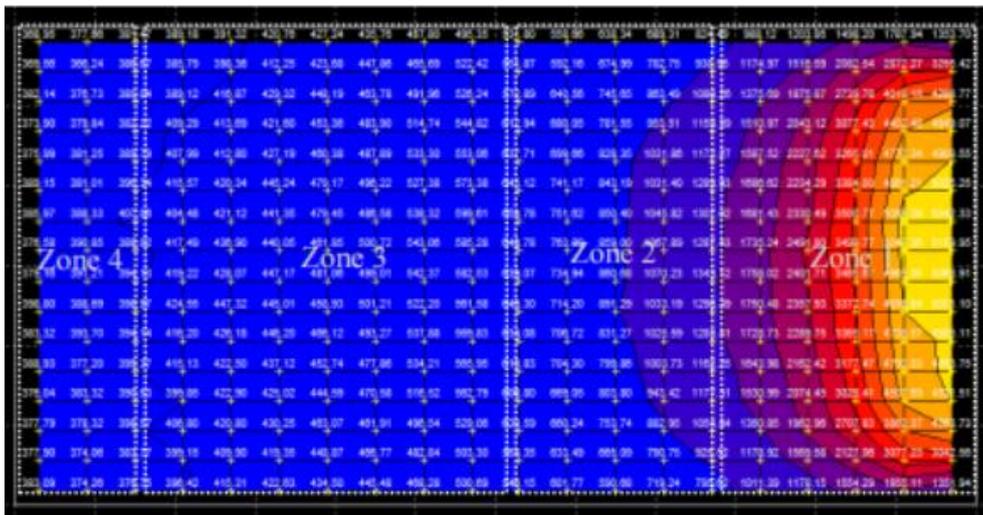


Figure 57 : Classe avec fenêtre (à 10h) : orientation Nord.

- La zone1 (près de la fenêtre) : L'éclairement reçu dans cette zone est situé entre 5159.95lux et 1400 lux, et s'étend sur une profondeur de 3.3m (niveau très élevé).
- La zone2 (zone intermédiaire1) : La profondeur de cette zone est petite (occupe seulement 2.4m) et l'éclairement est compris entre 1400 et 700lux (niveau élevé).
- La zone3 (zone intermédiaire2) : La profondeur de cette zone reste réduite (4.8m) et l'éclairement se trouve entre 700 et 500lux (niveau moyen).

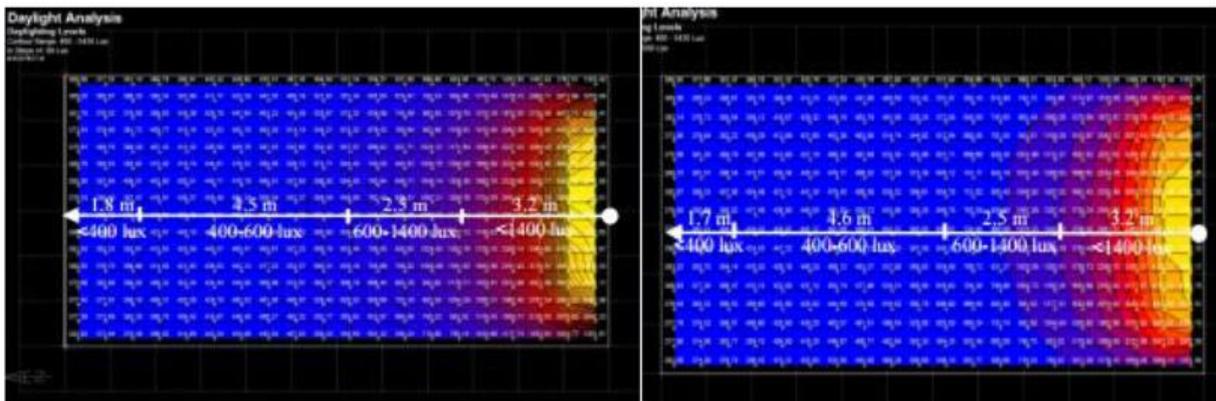
Chapitre III : méthodes d'évaluation et application, la simulation des ambiances lumineuses

- La zone4 (loin de la fenêtre) : Cette zone est située au fond du classe et s'étend sur une profondeur de 1.5m et l'éclairage est moins de 400lux (niveau faible).

Interprétation :

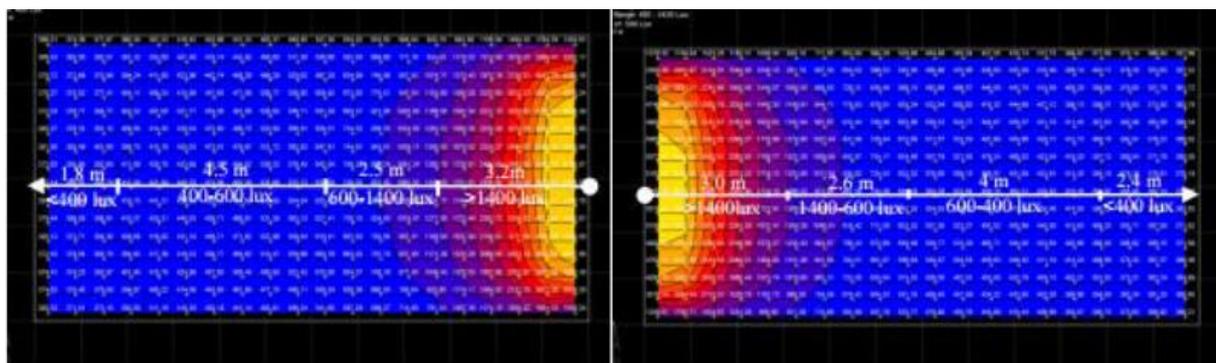
La fenêtre divise la classe en quatre zones d'éclairage différent. La zone 2 est la seule zone qui reçoit un bon niveau d'éclairage (1400-600lux), mais sur une petite profondeur (3.1m), les trois autres zones sont mal éclairées : la zone 1 peut causer l'éblouissement à cause de son fort éclairage et la zone 3 et 4 peuvent constituer un fort contraste par leur faible niveau d'éclairage qui est 16 fois moins que celui reçu par la zone 1. On en conclut que, dans une classe équipée d'une fenêtre seulement, l'éclairage est mal réparti. La lumière que reçoit la classe va éclairer la surface qui se trouve près de la fenêtre, puis cette quantité d'éclairage va diminuer vers le fond de la classe ce qui permet une mauvaise répartition de la lumière.

III.3.2- Effet de l'orientation :



Orientation Sud

Orientation Nord



Orientation Est

Orientation Ouest

Figure 58 : les orientations de la classe

Orientation	Eclairement reçu par la fenêtre (lux)	Eclairement reçu à 10.5m de la fenêtre (lux)
Nord	5159.95	394.13
Sud	5159.51	393.69
Est	5155.57	388.79
Ouest	5163.39	385.88

Tableau 08 : les valeurs d'éclairéments reçus dans les 04 orientations

Interprétation :

L'orientation Nord donne les meilleurs résultats du point de vu uniformité. Elle transmet le mieux la lumière au fond de l'espace. Cette quantité atteint 394.13lux à 10.50m de la fenêtre. L'orientation la plus défavorable est celle face à l'ouest ; elle capte plus de lumière mais elle éclaire moins le fond de la classe. Cette première conclusion confirme que le côté nord est le côté le plus éclairé de la voute céleste avec une lumière plus stable. Donc, au cours des simulations suivantes, nous allons travailler sur l'orientation Nord à cause de son rendement d'un côté et de son adaptation au climat de la ville de Constantine, d'un autre côté.

III.4- Conclusion et recommandations :

Ce chapitre nous a permis de mettre au claire les différents outils de simulation pour tester les indicateurs lié à l'éclairage naturel. Nous avons proposé une méthode de simulation objective et fiable pour un minimum d'erreurs.

En ce qui concerne les performances en éclairage naturelle Nous avons utilisé le logiciel ECOTECH pour sa large utilisation dans le domaine de l'éclairage à cause de ses résultats proches à la réalité.

Afin de mieux optimiser les ambiances lumineuses dans les espaces de lecture et dans une démarche éco-conception, il est utile d'opter avec les recommandations suivantes :

1- Rechercher une meilleure adaptation avec les conditions microclimatiques caractéristiques du site d'intervention :

- Ensoleillement
- Vents dominants

Chapitre III : méthodes d'évaluation et application, la simulation des ambiances lumineuses

Pour ces deux paramètres, il est recommandé d'analyser le site de point de vue exposition/protection aux rayons solaires et aux vents dominants ;

2- Analyse environnementale du site d'intervention notamment les aspects suivants :

- Géomorphologique
- Topographique
- L'environnement immédiat

Cette analyse nous permettra de rechercher une implantation mieux intégrée et d'optimiser de meilleures orientations du projet d'intervention ;

3- optimiser l'enveloppe architecturale convenablement avec les spécificités fonctionnelles du projet en tenant comptes des conditions climatiques et de la qualité environnementale :

- Choix des matériaux
- Techniques et procédés de réalisation
- Dispositifs architecturaux de protection

Chapitre IV : analyses et propositions

IV.1- Analyse des exemples :

IV.1.1- exemple 1 : Faculté des Beaux-Arts, de Musique et de Design à Bergen :

Bergen est une ville située sur la côte sud-ouest de la Norvège. Elle est entourée de montagnes et fjords, dont le Sognefjord, qui est le plus long et le plus large du pays.

Université de Bergen, Norvège

- Architectes : Snøhetta
- Surface : 14800.0 m2
- Année : 2017

IV.1.1.1- Situation du projet :

Le bâtiment se trouve au centre de la ville de Bergen.



Figure 59 : situation du projet (source : google earth)

IV.1.1.2- Plan de masse, limites et accessibilité :

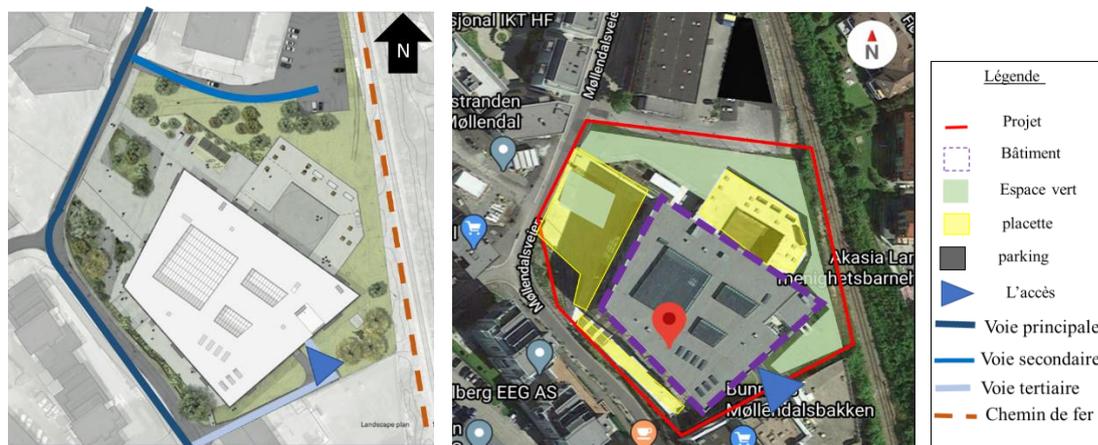


Figure 60 : plan de masse (source : google earth et archdaily)

- Le bâtiment entouré par des espaces verts et placettes, une place pour le travail collectif extérieur et il y a un seul parking et un seul accès.
- Aussi entouré par des équipements, la plupart de ces équipements sont du secteur de l'enseignement

IV.1.1.2- La forme :



Figure 61 : la forme du projet (source : archdaily)

- Le projet construit dans un seul bloc donne une forme simple d'un cube, avec des petites portes à faux dispersés dans les façades d'une manière aléatoire et un toit incliné.
- Les espaces extérieurs sont accessibles au public, et la terrasse du café comme points de rencontre naturels.
- Les postes de travail en terrasse mènent sur le terrain environnant avec sa végétation éparse et accidentée.
- Derrière le bâtiment, on trouve des cours pour les travaux extérieurs.

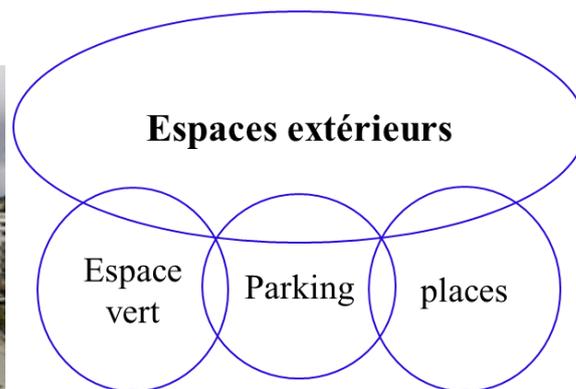


Figure 62 : l'extérieure de la faculté (source : archdaily)

IV.1.1.3- La façade : "Une façade robuste"

- La façade recouverte par des éléments en aluminium brut préfabriqués. Ces éléments résistant à l'eau de mer, de tailles diverses,

- Les fenêtres du bâtiment sont réglées à différentes hauteurs pour permettre un maximum d'espace utilisable et un excellent éclairage naturel. Ils sont des grandes fenêtres en forme de boîte en porte-à-faux
- Le toit en verre véhicule exploite la lumière du ciel qui se fond avec la lumière traversant le mur de verre.
- L'entrée du bâtiment est reliée à la grande place publique extérieure. Marquée par une grande paroi de verre, font un bâtiment accueillant et ouvert



Figure 63 : les ouvertures



figure 64 : l'entrée du bâtiment

(Source : archdaily)

IV.1.1.4- L'intérieur :

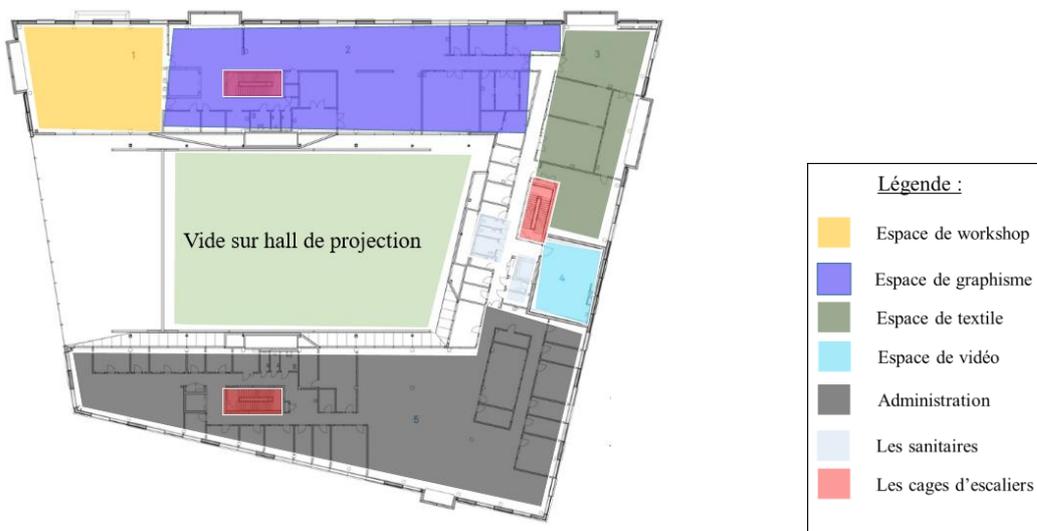
Les espaces sociaux et administratifs ont été conçus pour que les personnes puissent travailler et se détendre ensemble et les ateliers sont équipées d'infrastructures spécialisées et de machinerie lourde pour le travail



Plan RDC



Plan du 1^{er} étage



Plan du 2^{ème} étage



Plan du 3^{ème} étage

IV.1.1.5- Analyse écologique :

- Sous la terrasse, on trouve un immense réservoir stocke les excès d'eau provenant du toit. L'eau est ensuite acheminée vers un bassin d'infiltration situé sur la place.
- Les grandes baies vitrées permet de bien exploité de l'éclairage naturel.
- Les matériaux extérieurs résistent au climat côtier pluvieux et parfois orageux
- Les ombres dans la salle de projet sont quelque peu effacées, laissant les couleurs de la pièce authentiques et naturelles.
- une variété de plantes.

Les avantages	Les inconvénients
-Les matériaux écologiques, -La végétation et les placettes, -L'éclairage naturel zénithal et latéral, -Le bon traitement de la façade.	-Le manque des salle de cour et les remplacé par les espaces ouverts de workshop

Tableau 09 : les avantages et les inconvénients de la conception du projet (source : auteur)

IV.1.1.6- Synthèse :

La faculté est un bâtiment net, respectueux de l'environnement et durable, orienté vers des matériaux qui résisteront au climat pluvieux de la côte ouest norvégienne et à un degré élevé

d'utilisation, d'usure et de déchirure. La palette de matériaux fait clairement référence à la côte norvégienne.

IV.1.2- Exemple 2 : Ecole supérieure des beaux-arts d'Alger :

IV.1.2.1- Situation :

L'école située au centre de la wilaya d'Alger, elle a été conçue par les architectes Léon Claroet Jaques Derida, l'école a été érigée dans les jardins du parc Gatliff (parc Zyriab actuellement).

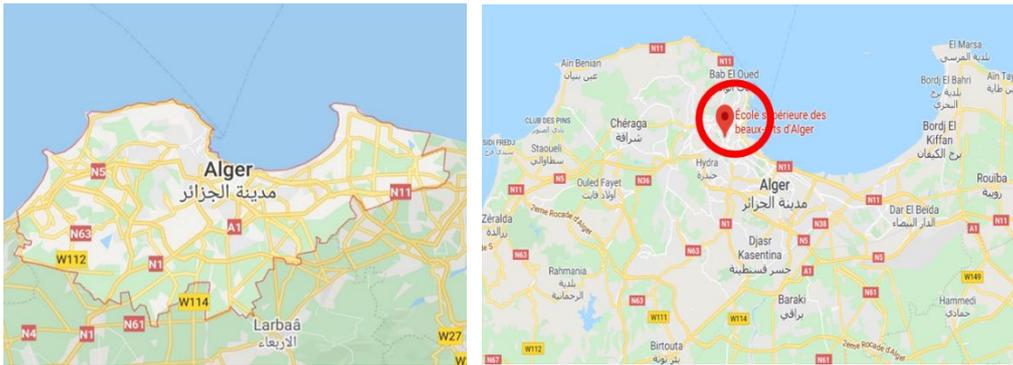


Figure 65 : situation de l'école des beaux arts d'Alger (source : google maps)

IV.1.2.2- Plan de masse, limites, accessibilité et volumétrie :

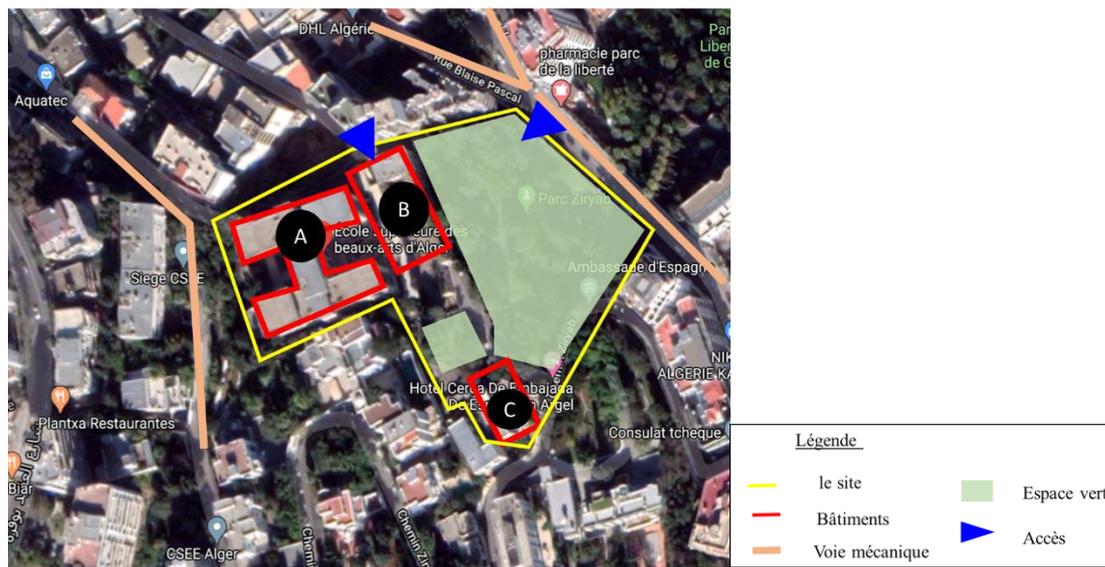


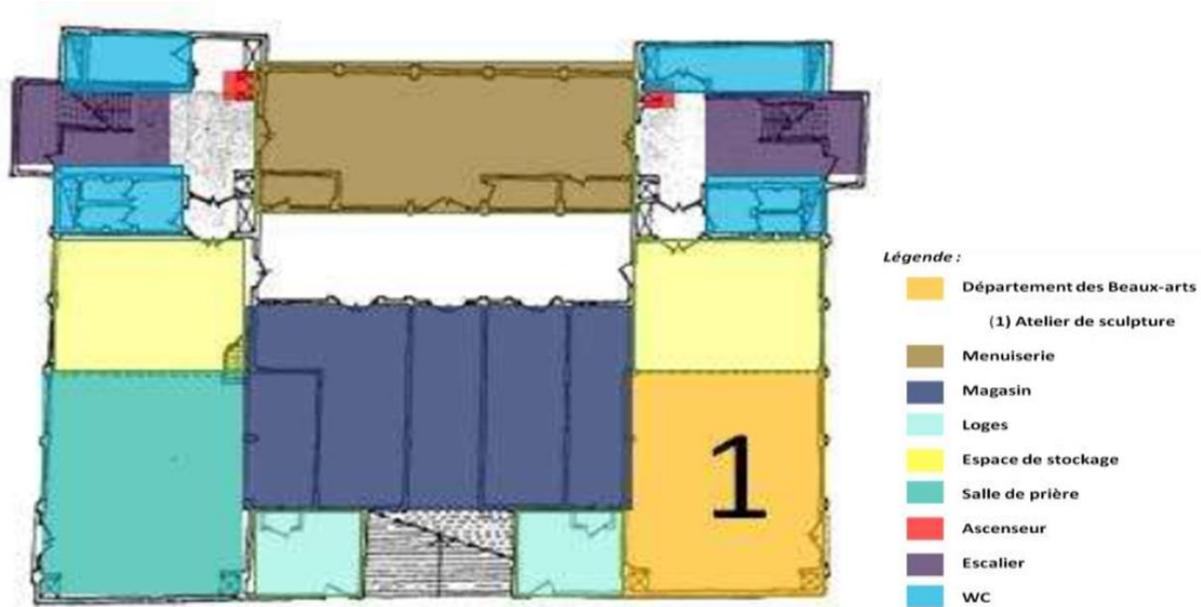
Figure 66 : plan de masse. (Source : archdaily)

A : constituée de 3 ailes de forme parallépipédique, deux transversales et une longitudinale, le volume s'élève en R+3 et dispose d'un sous sol, regroupe les ateliers.

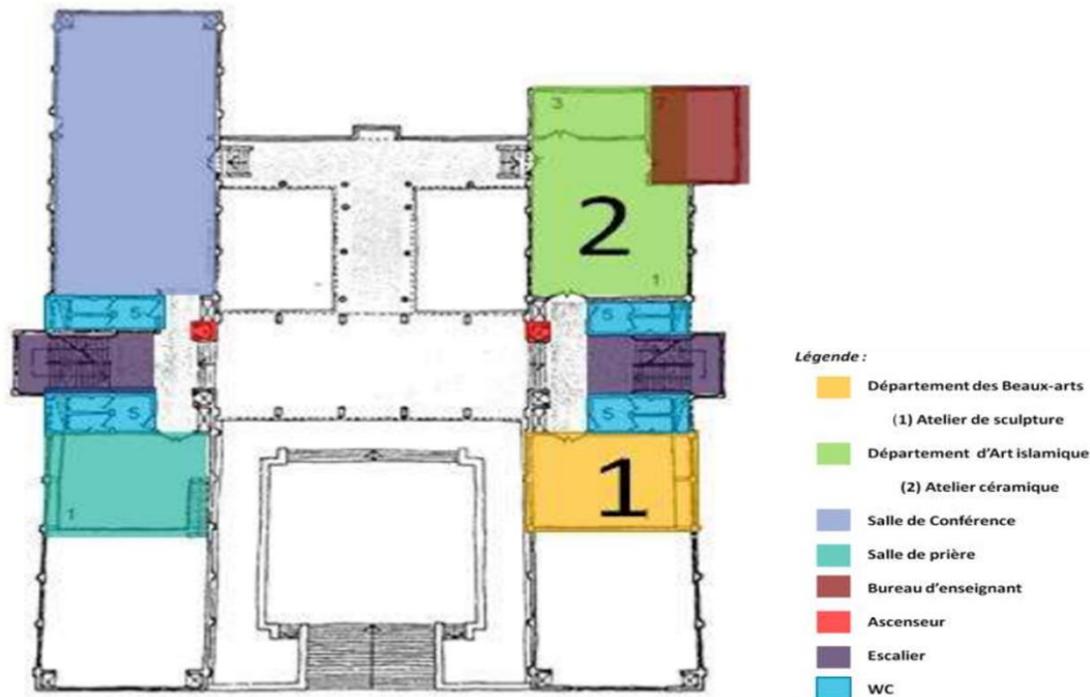
B : Forme de barre en Rez-de-chaussée, dotée d'un toit jardin qui constitue la cour de l'entité A, regroupe la bibliothèque et l'administration.

C : Le nouveau bloc préfabriqués de forme parallélépipède regroupe la cafétéria et le restaurant.

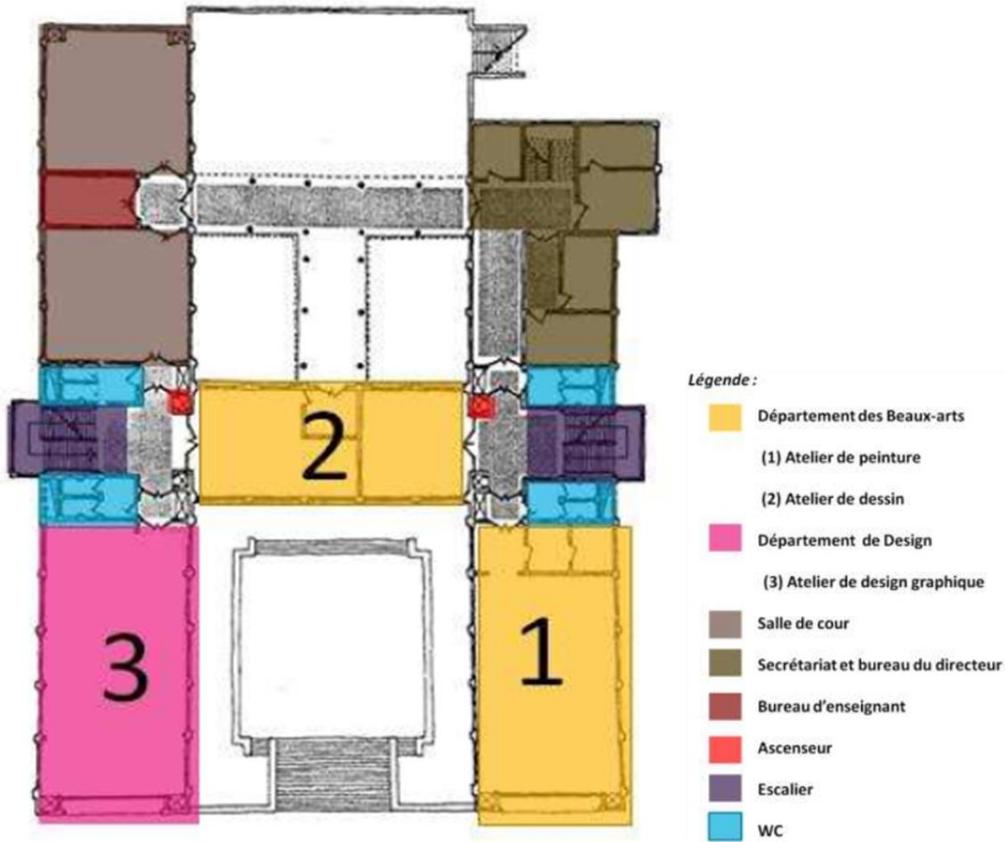
IV.1.2.3- L'intérieur :



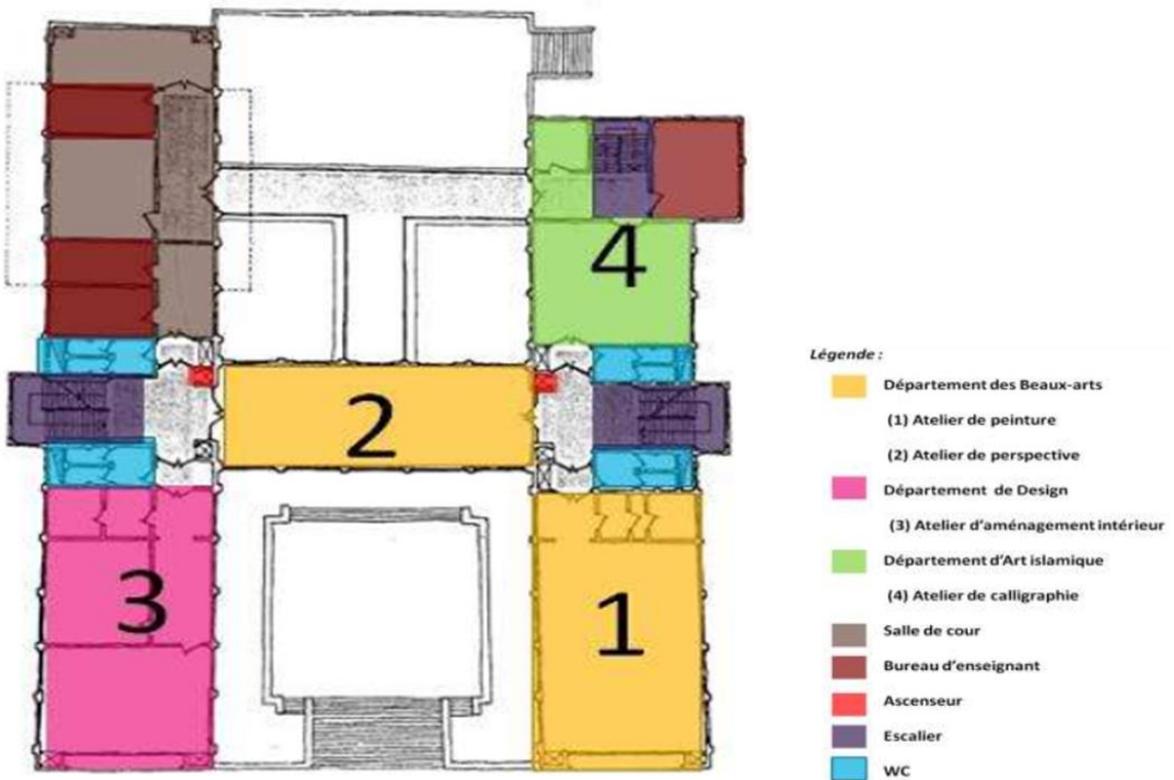
Plan sous sol.



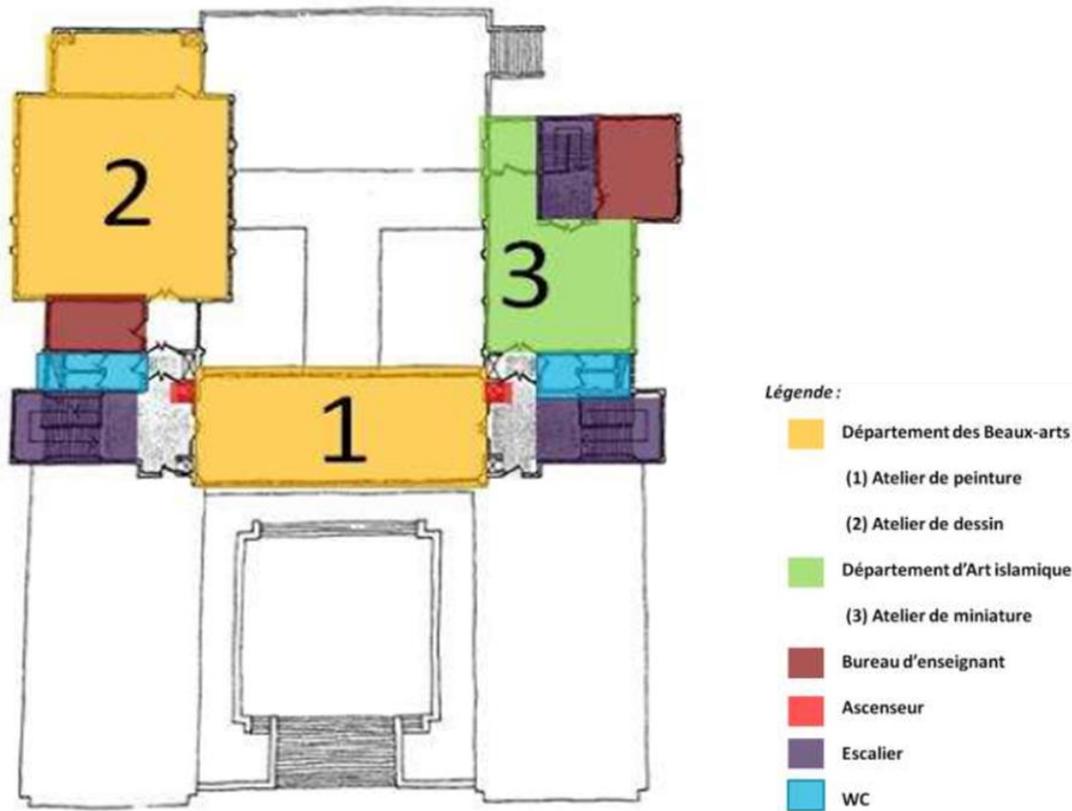
Plan RDC.



Plan du 1^{er} étage.



Plan du 2^{ème} étage.



Plan du 3^{ème} étage.

IV.1.2.4- L'extérieur :

- L'édifice a été construit en béton d'une toiture plates,
- Les façades abritent de grandes baies vitrées favorisant ainsi l'éclairage naturel et offrant des vues panoramiques sur les jardins du site;
- La façade principale présente une symétrie parfaite quant aux façades arrières, elles présentent une asymétrie



Figure 67 : l'école des beaux arts d'Alger (source : <http://www.esba.dz>)

IV.1.2.5- Le programme qualitatif et quantitatif :

Espace	Quantité	Surface
Atelier de sculpture	2	196 (98)
Atelier céramique	1	100
Atelier peinture	2	240 (120)
Atelier dessin	1	120
Atelier dessin graphique	1	73
Atelier d'aménagement intérieur	1	100
Atelier de miniature	1	73
Atelier de menuiserie	1	120
Atelier de perspective	1	100
Atelier de calligraphie	1	80
Salle de cour	5	325 (65)
Bureau d'enseignant	7	198 (26...43)
Salle de conférence	1	150
Administration (bureau)	5	198 (26...43)
Espace de stockage/ magasin	3	200
Salle de prière	2	65
Bibliothèque	1	540
Restaurant	1	698
Salle d'exposition pérennante	1	467
Exposition temporaire	1	240
Amphi	1	450
Salle de réunion	2	130 (65)
Sanitaire		90
Surface totale		4413

IV.1.2.6- Synthèse :

Les avantages	Les inconvénients
-La présence de la végétation et les espaces verts. -L'exploitation de l'éclairage naturel à travers les grandes baies vitrées	-Le manque des parkings -Le manque des salles polyvalentes où les espaces de workshop pour le travail collectif

Tableau 10 : les avantages et les inconvénients de la conception de l'école. (source : auteur)

IV.1.3- Exemple 3 : Chambre des Métiers et de l'Artisanat à Lille :

Lille est la capitale des Hauts-de-France, une région du nord de la France. Elle se trouve à proximité de la frontière belge.

IV.1.3.1- Situation du projet :

La chambre des métiers et d'artisanat de Lille est située au sud de la ville.



Figure 68 : situation du projet (source : google maps) Figure 69 : plan de masse du projet (source : google earth)

IV.1.3.2- Plan de masse, limites et accessibilité :



Figure 70 : plan de masse du projet. (source : google earth)

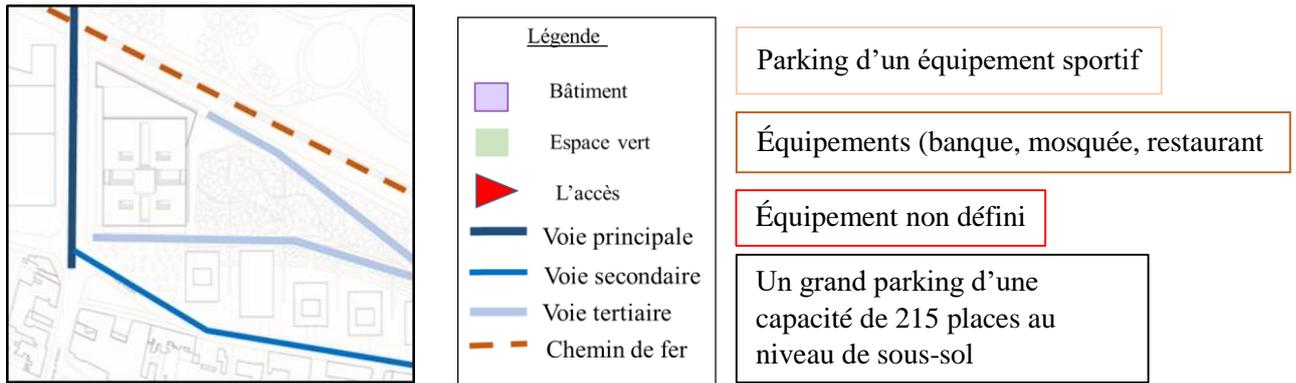


Figure 71 : plan de masse du projet. (source : archdaily)

IV.1.3.3- La forme et le volume :

- Le bâtiment à plan carré avec une dimension principalement horizontale de 80m/80.
- Le volume contient des trous au niveau du plan par les patios et de façade par le retrait du 1er étage par rapport aux autres niveaux
- Le bâtiment est organisé symétriquement autour de six cours intérieures s'élevant sur toute la hauteur
- Le volume est divisé en quatre zones différentes selon les fonctions à remplir
- Le volume compact et creusé de patios est à la fois fonctionnel et lumineux.
- La double façade de verre lui confère à la fois, un contrôle thermique et une forte identité.



Figure 72 : maquette du projet. (source : archdaily)



Figure 73 : la volumétrie du projet (source : archdaily)

IV.1.3.4- La façade et l'entrée :

- Les façades extérieures sont simples, blanches avec des ouvertures verticales identiques et alignées.
- Au premier étage, les architectes ont conçu un cantilever bien visible qui encadre une vue panoramique de Lille et des jardins.
- Les façades de patio qui présentent de grandes fenêtres en aluminium poli.



Figures 74 : les façades du projet. (source : archdaily)

- Le bâtiment à deux entrées publiques.



Figure 75 : plan de masse. (source : archdaily)

IV.1.3.5- L'intérieur :

- Les fonctions varient de l'administration locale et régionale aux installations de recherche et d'enseignement.



Légende :

	Hall d'entrée
	Les ateliers
	Cafétéria
	Salles de réunion
	Salles de classe
	Salles polyvalentes
	Bureaux administratifs
	Amphi
	Patios

Plan RDC



Plan du 1^{er} étage



Plan du 2^{ème} étage

Légende :

-  Les ateliers
-  Salles de réunion
-  Salles de classe
-  Bureaux administratifs
-  Patios

IV.1.3.6- Analyse écologique :

- Le rez-de-chaussée et le deuxième étage sont entourés d'une double façade modulable en verre pour assurer le contrôle de la lumière et une acoustique de qualité.
- La présence des cours garantit l'éclairage naturel des espaces de circulation.

Les avantages	Les inconvénients
-L'utilisation des matériaux écologiques. -La présence des patios assure l'éclairage et l'aération naturelle. -La présence des espaces verts autour du bâtiment. -La séparation des fonctions du projet. -L'intégration avec le tissu urbain et le paysage environnant. -Les parking en sous sol.	-Le manque des espaces d'exposition ou les magasins de vente.

Tableau 11 : les avantages et les inconvénients de la conception du projet. (Source : auteur)

IV.1.3.7- Synthèse :

Avec son esthétique minimaliste et sa transparence élégante, le bâtiment constitue un geste protecteur envers la nature environnante, renforçant ainsi le dialogue entre les divers éléments de la région.

IV.2- Analyse de site :

IV.2.1- Contexte géographique : situation et les limites de la ville de Guelma :



Figure 76 : situation géographique de la ville de Guelma (source : <http://www.univ-guelma.dz>)

Guelma se situe géométriquement au Nord-Est de l'Algérie, Elle occupe une position géographique stratégique, en sa qualité de carrefour dans la région nord-est de l'Algérie, reliant le littoral des Wilaya de Annaba, El Tarf et Skikda, aux régions intérieures telles que les Wilaya de Constantine, Oum El Bouagui et Souk-Ahras.

IV.2.1.1 Situation de la ville par rapport à la wilaya :

Guelma se situe au cœur d'une grande région agricole à 290 m d'altitude, entourée de montagnes (Maouna, Dbegh, Houara) ce qui lui donne le nom de ville assiette, sa région bénéficie d'une grande fertilité grâce notamment à la Seybouse et d'un grand barrage qui assure un vaste périmètre d'irrigation.⁶⁵

Guelma est une ville sur laquelle les différentes périodes historiques ont laissés d'innombrables empreintes.

En effet, Guelma a abrité depuis la préhistoire jusqu'à la colonisation française plusieurs civilisations.



Figure 77 : situation de la ville et la wilaya de Guelma (Source : PDAU de Guelma)

La commune est limitée :

1. au Nord par la commune de Heliopolis et El Fedjoudj.
2. à l'Est par la commune de Belkhir.
3. au Sud par la commune de Ben Djerrah.
4. à l'Ouest par les communes de MedjezAmar.

IV.2.2 Historique de la ville de Guelma :

Des inscriptions lybiques trouvées à Guelma prouvant que la région a été civilisée bien avant l'arrivée des Carthaginois ou des Romains, aux mentions latines attestant que Guelma portait déjà le nom de «Calama», bien que ce nom soit probablement d'origine phénicienne, l'histoire de Guelma est riche en événements comme son territoire est parsemé de sites d'une étonnante originalité.⁶⁶ D'illustres historiens anciens rapportent les récits de batailles que Jugurtha y livra en 109 avant J.C aux troupes romaines, il aurait vaincu, non loin de la ville de Guelma, précisément dans la mystérieuse Suthul, le général romain Postinius, un de ceux qui firent de l'antique Calama un centre urbain relativement important au cours du 1^{er} siècle de l'ère chrétienne. Ne fut-elle pas avec Setifis (Sétif) et Hippo-Reggius (Annaba) un des greniers de Rome au cours du II^e et III^e siècles après J.C. attestant que la période du règne des Sévères fit d'elle une des régions les plus prospères. Au cours de l'époque chrétienne (4^{ème} et 5^e siècles), Calama a eu Possiduss (Possidius) (qui était aussi biographe de Saint-Augustin) comme évêque et appartenait à la province ecclésiastique de Numidie. D'ailleurs Saint-Augustin et Donatus évoquent la prospérité de cette ville. Dès l'invasion vandale, Possiduss alla se réfugier à Hippo-Reggius et Calama tomba au pouvoir de Genséric. Après la reconquête de « l'Afrique du Nord » par les Byzantins, Solomon, général de Justinien, y fit construire une forteresse. Vint ensuite l'époque de la civilisation arabo-musulmane qui marquera à jamais, l'histoire de Calama appelée désormais « Guelma » selon Ibn Khaldoun, des tribus arabes, en particulier les Banou Hillal, s'étaient déjà installées au cours du IX^e siècle dans cette région attractive. L'époque ottomane, quant à elle, n'a pas effectué de changement radicaux dans le paysage socioculturel de la ville, cependant elle a bien laissé des traces elle aussi, ne serait-ce que par quelques noms de famille qu'on retrouve aujourd'hui. Conquise en 1834 par les Français, elle accueillit plusieurs générations de colons et de piedsnoirs, la résistance guelmoise contre le colonialisme finit par payer le prix fort, le 8 mai 1945 la ville connaîtra un massacre sans précédent dans son histoire.



Figure 78 : théâtre romain de Guelma (source : Moslim Gasmi)

Et si Guelma parlait, elle dirait : « Je fus une terre de batailles et de passions. Tout au long des siècles, les eaux de la Seybouse ont rougi du sang de mes braves... J'ai vécu les guerres puniques, connu la colonisation romaine, et côtoyé Byzance avant de rentrer dans la spiritualité de l'Islam, pour retomber dans l'emprise des ottomans et replonger dans la colonisation française et retrouver enfin l'indépendance. Guelma est Wilaya depuis 1974 et Ville universitaire depuis 1986.

IV.2.3- Analyse climatique :

Les facteurs climatiques ont un impact permanent sur la vie sociale et économique d'une région, le groupement intercommunal de (Guelma, Belkheir, El Fedjoudj, Ben Djerrah) est dominé par un climat sub-humide.

IV.2.3.1- Classification du climat en Algérie :

L'Algérie occupe une vaste étendue territoriale, sa superficie dépasse les deux millions de Km². Plus de 4/5 de sa superficie est désertique. D'où une large variété géographique et climatique allant du littoral au désert. La classification climatique en Algérie permet de distinguer quatre zones principales :

Zone A : littoral marin

Zone B : arrière littoral montagne

Zone C : hauts plateaux

Zone D : Présaharien et saharien.

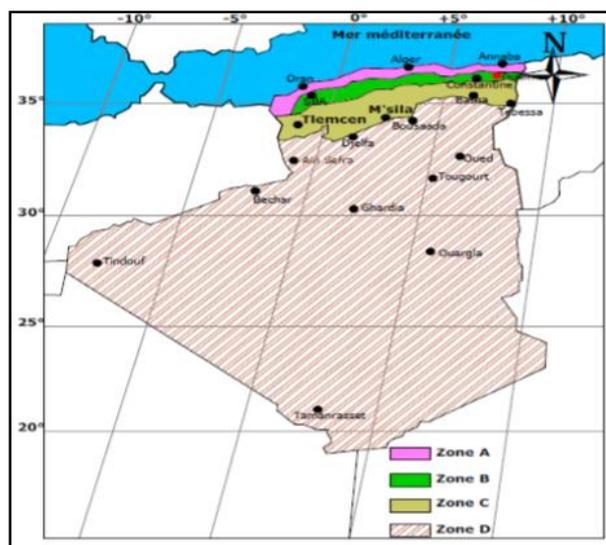


Figure 79 : Classification du climat en Algérie (Source : Mazouz Said, 2004)

IV.2.3.2- Analyse climatique de la ville de Guelma :

Guelma, ville du nord-est algérien, se situe entre 36° 28' de latitude nord et 7° 25' de longitude est. Altitude : 500m.

- Le climat de Guelma est celui de l'arrière littoral montagne (Zone B)

- Déterminé par des hivers plus froids et plus longs et des étés chauds et moins humides que ceux du littoral.

IV.2.3.2.1- La pluviométrie :

La précipitation est la totalité de la lame d'eau quantifiée par la pluviométrie, elle est d'origines divers : pluie, neige, etc.

IV.2.3.2.2- Précipitations moyennes annuelles :

La carte pluviométrique de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H) (Edition 1993) montre globalement une répartition décroissante de la précipitation du Nord vers le Sud, et de l'Ouest vers l'Est. En effet dans la région de Guelma la précipitation est variée entre 363mm et 1145mm, le tableau suivant mentionne les variations annuelles des précipitations des stations de : Guelma, Belkhir pour une période (1980-1990) :

	Année	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Station Guelma	P (mm)	468.2	415.2	687.9	363	805.7	445	588.9	511.5	455.8	458.8	633.9
Station héliopoloce	P (mm)	505	1145.5	734	468	1117.4	448.3	723.8	627.7	543.2	500.4	567.8

Tableau 12 : Précipitation annuelle totale en (mm) (source : DUC de Guelma)

- La répartition des précipitations à Guelma est marquée par une durée de sécheresse durant l'été, avec un minimum de 2.8mm enregistré en juillet.
- Le reste des saisons est marqué par des précipitations considérables. Le total annuel est de 688.3 mm.



Figure 80 : précipitation annuelle à Guelma (source : DUC de Guelma)

IV.2.3.2.3- Les températures :

Le facteur de la température de l'air a une grande influence sur le bilan hydrique du fait qu'il conditionne l'évaporation et l'évapotranspiration réel.

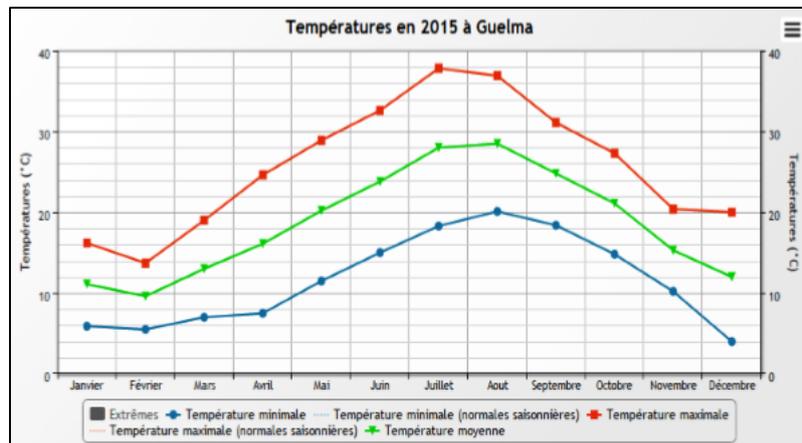


Figure 81 : température en 2015 à Guelma (source : <http://www.wofrance.fr/weather>)

La température annuelle moyenne est de 17.9°C avec 27. 7°C en août (le mois le plus chaud) et 10°C en janvier (le mois le plus froid).

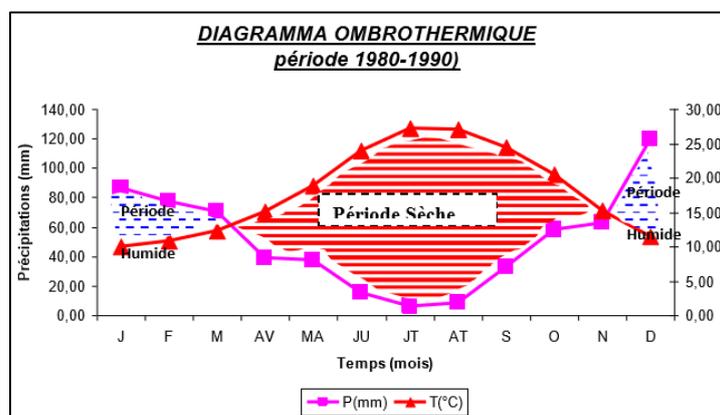


Figure 82 : diagramme ombro-thermique de Guelma période 1980-1990 (source : DUC de Guelma)

Pour connaître la période sèche, on applique la méthode ombro-thermique pour GAUSSEN et BAGNOULS, un mois sec est celui où le total des précipitations (mm) est inférieur ou égal au double de la température moyenne (C°), on obtient donc un diagramme pluviométrique dans lequel les températures sont portées à l'échelle double des précipitations.

Nous constatons que la région de Guelma présente une période sèche qui débute à la dernière semaine du mois de Mars et se prolonge jusqu'à la dernière semaine du mois de Septembre, c'est à dire la période humide s'échelonne pour une durée de 7 mois et 15 jours, et la période sèche pour 4 mois et 15 jours.

D'après le diagramme Ombro-thermique la période sèche s'étale de la fin de mois de Mai jusqu'à la fin de mois d'Octobre (4mois).

IV.2.3.2.4- Humidité :

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Humidité moyenne (%)	77	77	73	72	77	60	55.3	56	67.5	69	72	75

Tableau 13 : humidité moyenne de Guelma (source : <http://www.wofrance.fr/weather>)

La moyenne mensuelle de l'humidité relative dépasse les 68.3 % avec une moyenne maximale de 94.2% et une moyenne minimale de 29.1%.

IV.2.3.2.5- Les vents dominants :

- Les vents dominants à Guelma sont d'une vitesse moyenne de 7.7 km/h
- Les vents à Guelma sont de diverses directions. Ceux de nord-ouest avec une moyenne de 18%, il atteint leur maximum au mois de décembre. A l'inverse les vents nord-est sont plus fréquents au mois de juillet
- Enfin le sirocco se manifeste au sud plus qu'au nord de la région, surtout en juillet (C'est un vent chaud et desséchant).

IV.2.4- Présentation du site :

IV.2.4.1- Plan de situation du terrain :



Figure 83 : situation du terrain (source : Google earth)

Le site choisi situé au Sud-Ouest de la ville de Guelma, à proximité de l'université.

IV.2.4.2- Accessibilité :



- **Forme** : irrégulière
- **Surface** : 1,4 hectare
- Terrain accessible
- Terrain en pente (moyenne 8%)

	Voie principale
	Voie secondaire
	Voie tertiaire

Figure 84 : accessibilité de terrain (source : auteur)

Le terrain est limité par 2 types de vois deux secondaire à l'est et au sud, la première relie par l'autre terrain et la deuxième relie la résidence universitaire. Une voie tertiaire au nord qui relie habitations individuelles.

IV.2.4.3- Coupe topographique :



Figure 85 : coupe topographique du terrain (source : Google earth)

La pente moyenne de terrain est 8%.

IV.2.4.4- Environnement immédiat :

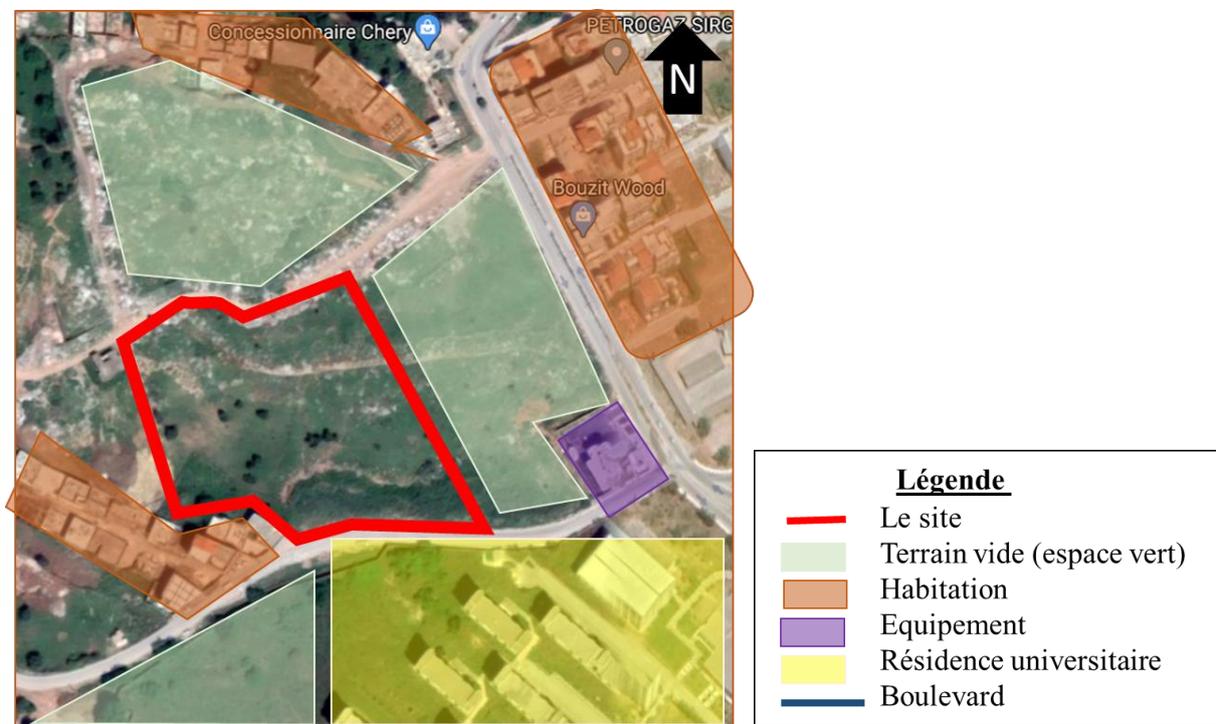


Figure 86 : Environnement immédiat du terrain (source : auteur)

IV.2.5- Synthèse et critères de choix :

- Le terrain est à proximité de l'université de Guelma, accessible de deux côtés : un flux mécanique
- Il est facilement accessible par différents types de transport (transport public : bus, taxis, privé : voitures personnelles).
- Terrain en pente, limité par quelque habitation au sud-est : bien ensoleillé et ventilé (l'exploitation de l'énergie solaire)
- Le terrain plein de déchets : la pollution

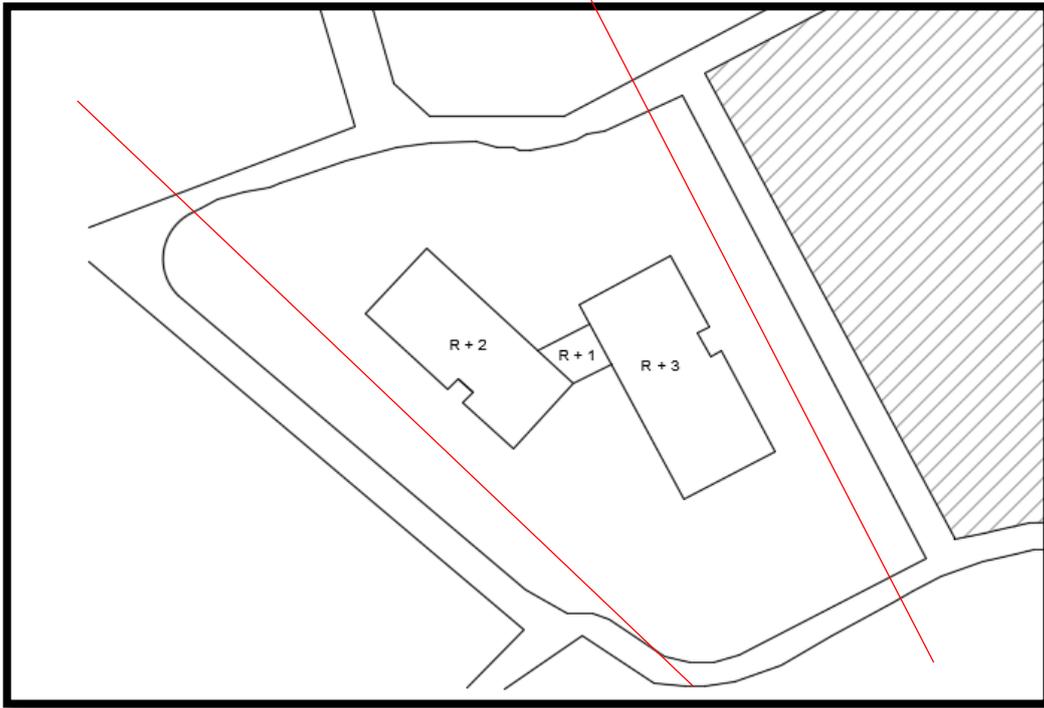
- L'humidité se passe de 70% le matin à 45% l'après-midi.

La fonction de projet est la formation et l'éducation, donc un terrain à proximité de l'université attire l'attention à ce bâtiment éducatif. Aussi ce genre d'équipement besoin d'un éclairage naturel, un terrain vide, en pente, bien exposé au soleil et au vent, ne contient pas des masques ni naturel ni artificiel convient à ce bâtiment.

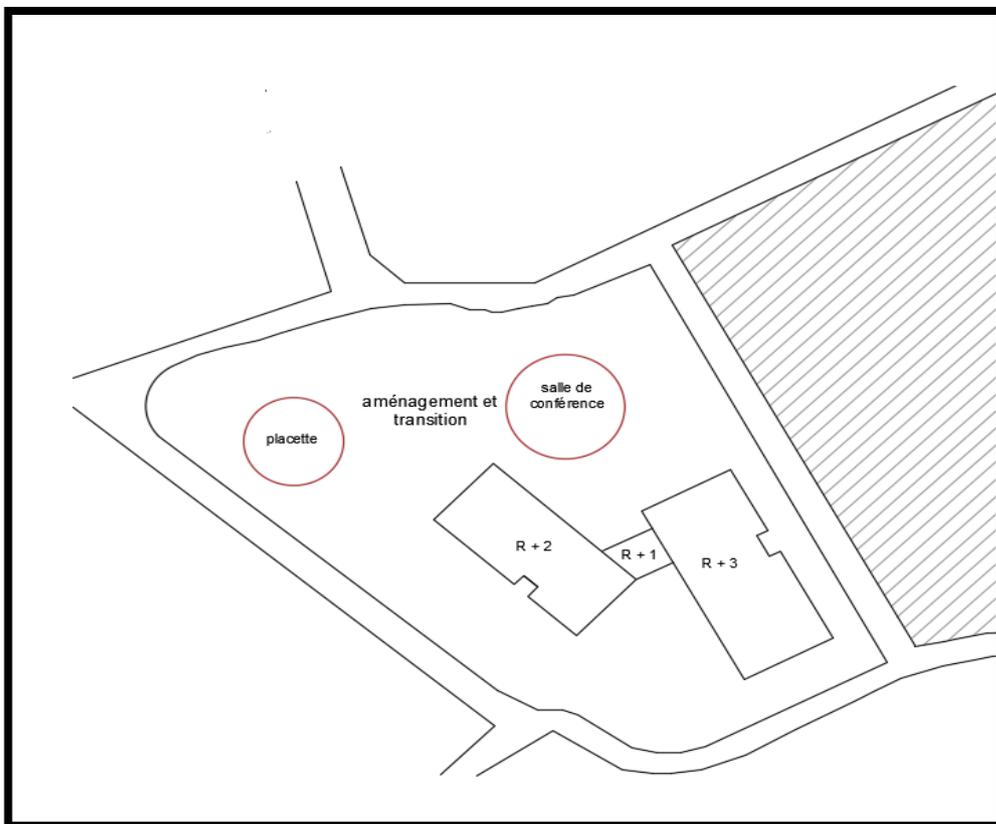
IV.2.6- Programme retenu

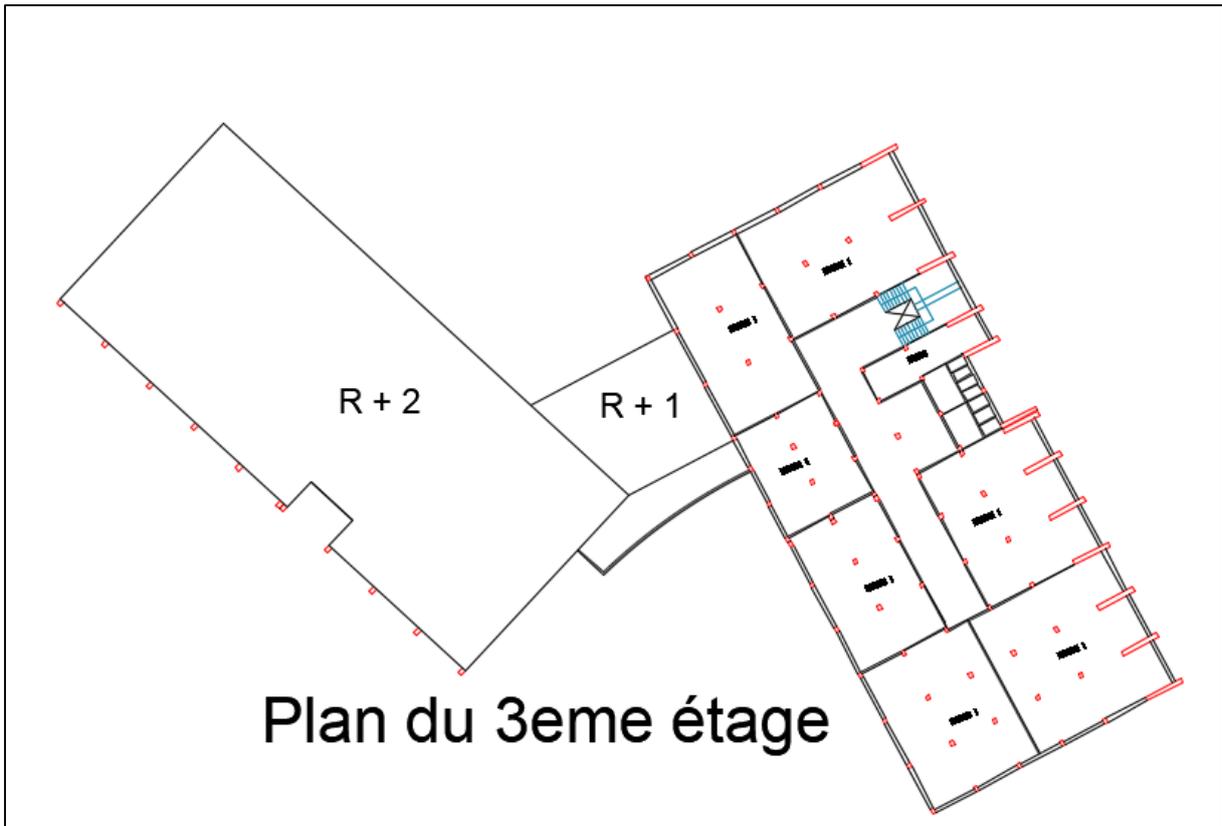
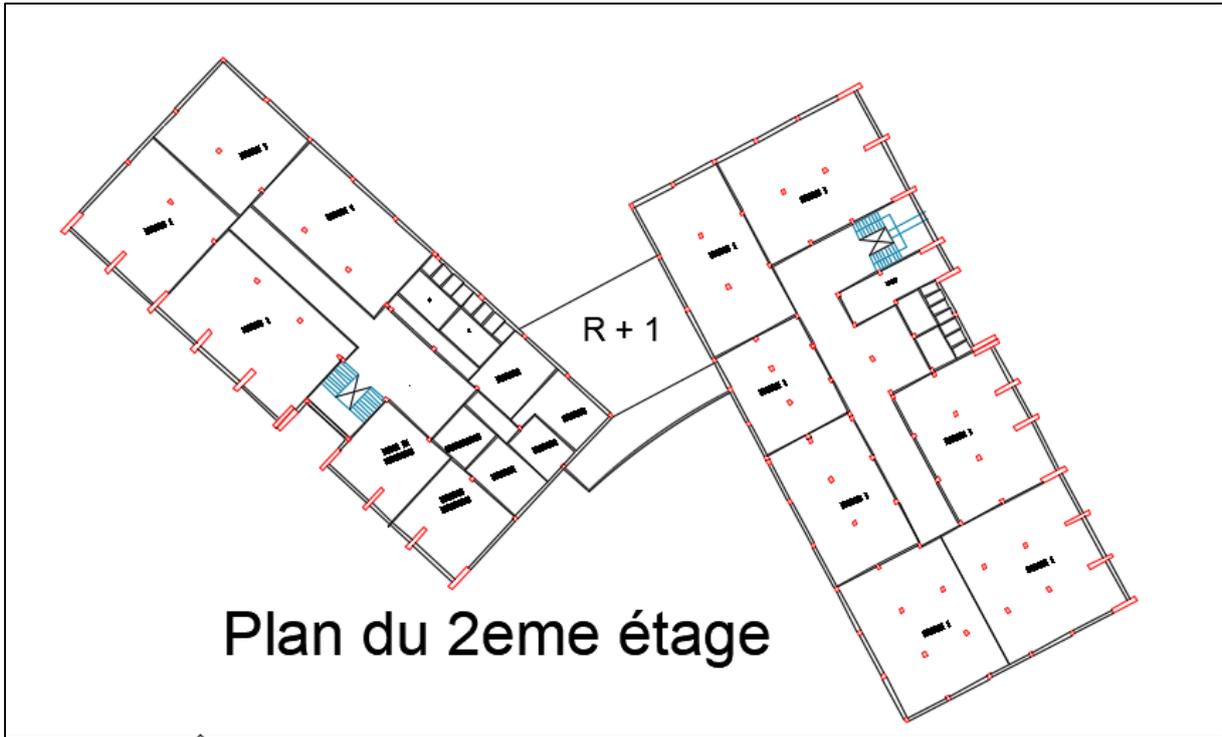
Entités	Espaces	Unité	Surface (m ²)	Surface totale (m ²)
Accueil	Réception	1	34	34
	Cafétéria	1	215	215
	Sanitaire	7	50	350
Administration	Bureau directeur	1	36	36
	Secrétariat	1	16	16
	Bureau	4	20	80
	Salle de réunion	1	54	54
	Archive	1	10	10
Education et pratique	Salle des enseignants	1	105	105
	Salle de cour	10	45...60	500
	Ateliers	18	70...120	1670
	Salle de réunion	1	35	35
	Salle polyvalente	2	100	200
Bibliothèque	Salle de lecture	1	340	340
	Salle des livres	1	60	60
	Salle internet	1	120	120
Exposition	Salle d'exposition	4	60...75	268
	Magasins	4	65...95	310
	Salle des conférences	1	360	360
	Salon	1	30	30
	Bureau	1	30	30
Dépôts	Espace de stockage	3	25...75	125
			Surface	4948
			Circulation 20%	989.6
			Surface totale	5937.6

Schéma de principe :



J'ai créé un bâtiment en deux blocs rectangulaires, chacun prend la forme de terrain à sa côté, articulés par un trapézoïdale avec une déferérence des niveaux.





Conclusion générale

L'éclairage a un effet profond sur la vie des êtres humains. Il facilite la vision qui est notre source d'informations la plus importante sur le monde et il affecte notre fonctionnement biologique. La plupart des renseignements que nous obtenons grâce à nos sens, nous les obtenons par la vue, soit près de 80%. C'est l'homme et sa perception qui décident si un éclairage est efficace ou non. Indépendamment de son efficacité technique, une lumière qui éblouit, entamant la capacité visuelle et le bien-être, représente toujours une perte d'énergie.

La révolution industrielle est un passage vers la modernisation et l'ouverture de l'espace à la lumière grâce à l'apparition de nouvelles techniques de construction et l'invention de nouveaux éléments qui favorisent cette ouverture comme le développement de l'industrie de verre... etc. L'idée d'exploiter la lumière naturelle pour éclairer les espaces intérieurs n'est pas à proprement parler nouvelle. Le type d'éclairage naturel est défini par la position des prises de jour qui le procure et qui peuvent être placées soit en façade (éclairage latéral), soit en toiture (éclairage zénithal), soit les deux à la fois. Mais leurs fonctions restent les mêmes.

Notre recherche est pour but de trouver le rapport entre la lumière et l'espace architectural. L'objectif principal étant de déceler la manière dont les architectes utilisent la lumière comme matière pour exprimer un sens au sein de l'espace architectural en lui attribuant une particularité, une expression, une identité propre à lui et qui reflète les idées de l'architecte.

Du point de vue de la durabilité, la fenêtre est une source de l'éclairage naturelle, a un effet très marquant sur la vie intérieure de l'espace architectural en général. Pour cela, elle est devenue un élément principale dans la conception architecturale que l'architecte doit l'utiliser de manière intelligente et appropriée afin d'assurer le confort visuel.

Bibliographie :

1. L.I.Kahn, Silence et lumière, Le Linteau, 1996, p. 216.
2. Henri Stierlin, "Hadrien et l'architecture romaine", Office du Livre, 1984, 224 pages
3. Pierre von Meiss, de la forme au lieu : une introduction à l'étude de l'architecture, 1993, p15
4. Benhara, 2019 ; cour d'équipement, département d'architecture Guelma
5. DELETRE, J et Mémento, D. Prises de jour et protections solaires. Grenoble : Ecole d'Architecture de Grenoble, 2003, p 2.
6. TERRIER., C et VANDEVYVER.,B. L'éclairage naturel, fiche pratique de sécurité. Tiré à part de l'article publié dans la revue mensuelle « Travail et Sécurité »de mai 1999, réimpression aout 2012, p01.
7. K. ROBERTSON, 2003
8. les cours d'équipement (BENHARA 2019), université de guelma
9. DEKAY M., BROWN G. Z. (2014), "Sun, wind & light architectural design strategies". Canada.
10. GIVONI B. (1978),"L'homme, l'architecture et le climat", Moniteur.
11. BAKER N. STEEMERS K. "Energy and environment in architecture. A technical design guide".
12. VANDEPLANQUE P. « L'éclairage : notions de base, projet et installation ». Université de Lille.
13. UCL Architecture et climat
14. TERRIER. Christian et VANDEVYVER. Bernard. "L'éclairage naturel", fiche pratique de sécurité, Paris : ED 82, Travail et Sécurité, (Mai 1999), p1 [En ligne] www.inrs.fr (Page consultée le 21 septembre
15. ROBERTSON, K. Guide sur l'éclairage naturel des bâtiments. Ontario : SCHL-CMHC. 2003.
16. BENHARKAT, S. Impact de l'éclairage naturel zénithal sur le confort visuel dans les salles de classe, cas d'étude : bloc des lettres. Thèse : architecture bioclimatique. Université Mentouri Constantine. 2012. p 165. Tiré à partir de : VANDENPLAS, A. Comité National Belge de l'Eclairage- Commission de l'Eclairage Naturel, l'éclairage naturel et ses applications. Bruxelles. 1964. p123.

17. BOUDOUKHA, M. Analyse de la Symbiose environnement lumineux et qualité architecturale dans le secteur résidentiel Cas de la cité des 426 lots El Eulma, Sétif. Thèse : Architecture, Formes, Ambiances et développement durable. Université Mohamed Khider de Biskra.. 2015. 127p.
18. BOUDOUKHA, M. Analyse de la Symbiose environnement lumineux et qualité architecturale dans le secteur résidentiel Cas de la cité des 426 lots El Eulma, Sétif. Thèse : Architecture, Formes, Ambiances et développement durable. Université Mohamed Khider de Biskra.. 2015. 127p.
19. TERRIER., C et VANDEVYVER., B, L'éclairage nature, fiche pratique de sécurité. Ed 82 tiré à partir de l'article publié dans la revue mensuelle : Travail et Sécurité. mai 1999. Réimpression aout 2012. p03.
20. SCHILER, M. Simplified design of building lighting, New York-Chichester-Weinheim- Brisbane- Toronto-Singapore : John Wiley & Sons .INC. 1992. p89.
21. Architecte : M. Botta
22. DAICH, SAFA (2011) Simulation et optimisation du système light shelf sous des conditions climatiques spécifiques, Cas de la ville de Biskra.
23. Bernard PAUL, lumière et espace
24. Guide éclairage naturel 2014
25. Optimiser l'éclairage naturel pour le confort visuel Dans une école d'architecture, mémoire de Djaariri Boutheina-Djermane Houda
26. PDAU de Guelma
27. Mazouz Said, 2004
28. DUC de Guelma
29. Google earth

Site internet :

30. azenco.fr/larchitecture-bioclimatique
31. www.futura-sciences.com
32. www.lenergiesoutcompris.fr
33. www.e-rt2012.fr
34. balises.bpi.fr
35. <https://balises.bpi.fr/sciences-et-techniques/la-lumiere-toute-une-histoire>
36. sites.uclouvain.be/eclairage-naturel/guide_confort.htm

37. <http://www.andotadao.org/aka1.htm>
38. <http://www.energieplus-lesite.be/>
39. <http://www.galinsky.com>
40. <http://www.albert-videt.eu/photographie>
41. http://en.wikipedia.org/wiki/Reichstag_dome
42. <http://www.logismarket.fr>
43. Cairn.Info
44. www.lebloglaurielumiere.com
45. www.regionsetcompagnies.fr
46. arpc167.epfl.ch
47. <https://energieplus-lesite.be/techniques/enveloppe7/composants-de-l-enveloppe/composants-divers/light-shelf/>
48. <http://www.grenoble.archi.fr> 2007
49. www.toulouzanmichel.fr
50. <https://energieplus-lesite.be>
51. www.picbleu.fr
52. www.programmepacte.fr
53. db-bureau-etudes.fr
54. www.autodesk.com/ecotect-analysis
55. <https://www.archdaily.com/>
56. <http://www.esba.dz>
57. <http://www.univ-guelma.dz>
58. <http://www.wofrance.fr/weather>.

Résumé :

L'architecture bioclimatique s'évertue à la mise en œuvre de technologies propres, la minimisation de l'impact sur l'environnement, la réduction de la consommation d'énergie, l'amélioration de la gestion des bâtiments et de la santé des utilisateurs. Le choix de matériaux naturels, l'intégration dans le terrain et l'environnement, la disposition des différentes salles en fonctions des apports naturels, la conception des espaces verts ou la gestion des déchets sont des éléments lesquels l'architecte prendre en considération pour un bâtiment écologique et confortable.

Donc cette architecture cherche à assurer l'équilibre entre l'homme, le climat et l'environnement dans une démarche passive pour une meilleure exploration des ressources naturelle.

Notre étude vise à mettre en évidence la lumière naturelle dans la conception et la maîtrise des ambiances lumineuses notamment dans les ateliers de de travail artisanal ou artistique (atelier de dessin, de sculpture...etc.), car la lumière naturelle joue sur le confort, la santé et l'humeur de l'homme et elle fait partie intégrante de la conception d'un bâtiment.

Abstract :

Bioclimatic architecture strives to implement clean technologies, minimize the impact on the environment, reduce energy consumption, improve building management and the health of users. . The choice of natural materials, the integration into the land and the environment, the arrangement of the different rooms according to the natural contributions, the design of green spaces or the management of waste are elements which the architect should take into account for a ecological and comfortable building.

So this architecture seeks to ensure the balance between man, climate and environment in a passive approach for a better exploration of natural resources.

Our research aims to highlight natural light in the design and mastery of light atmospheres, particularly in artisanal or artistic workshops (drawing, sculpture, etc.), because natural light plays on comfort, human health and mood and is an integral part of the design of a building.

ملخص:

تسعى الهندسة المعمارية المناخية جاهدة لتنفيذ التقنيات النظيفة، تقليل التأثير على البيئة، تقليل استهلاك الطاقة، تحسين إدارة المباني وصحة المستخدمين. اختيار المواد الطبيعية، الاندماج في الأرض والبيئة، ترتيب الغرف المختلفة وفقاً للمساهمات الطبيعية، وتصميم المساحات الخضراء أو إدارة النفايات هي عناصر يجب على المهندس المعماري ان يأخذها بعين الاعتبار من أجل تصميم مبنى مريح وصديق للبيئة.

لذلك تسعى هذه العمارة إلى ضمان التوازن بين الإنسان والمناخ والبيئة في نهج سلبي من أجل استكشاف أفضل للموارد الطبيعية.

تهدف دراستنا إلى إبراز الضوء الطبيعي في تصميم الأجواء الخفيفة وإتقانها، لا سيما في ورش العمل الحرفية أو الفنية (الرسم، ورشة النحت، إلخ)، لأن الضوء الطبيعي يؤثر على الراحة، صحة الإنسان ومزاجه وهو جزء لا يتجزأ من تصميم المبنى.