

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

Université Mouloud Mammeri de TIZI OUZOU



FACULTE DU GÉNIE DE LA CONSTRUCTION

DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE

**MEMOIRE DE MASTER II
OPTION : ARCHITECTURE ET ENVIRONNEMENT**

**ÉVALUATION DE L'ÉCLAIRAGE NATUREL DANS LES SALLES
DE LECTURE**

**CAS D'ETUDE :
SALLE DE LECTURE DE LA BIBLIOTHEQUE PUBLIQUE DE TIZI OUZOU**

Élaboré par : Mlle NAFA EL Djouher

Encadré par : Mr AIT KACI.Z

Jury composé de :

Mr TOUBAL.R

Mr CHABLI.M

Mr SELMLI.H

Année universitaire 2015/2016

Remerciements

Au terme de ce modeste travail, je tiens à remercier et exprimer ma profonde gratitude à mon promoteur Mr AIT KACI, pour le temps qu'il m'a consacré, et pour la qualité de son suivi.

Mes remerciements vont aussi envers les membres du jury, qui ont voulu nous honorer par leur présence afin d'évaluer nos efforts.

Je voudrai aussi exprimer ma vive reconnaissance à toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Résumé :

L'objectif de notre étude consiste à caractériser l'environnement lumineux de la salle de lecture de la bibliothèque de lecture publique de TIZI-OUZOU.

Nous nous sommes demandés si l'éclairage naturel de la salle répondait aux exigences du confort visuel des usagers, et procurait une ambiance lumineuse propice à la lecture et aux activités qui s'y déroulent.

Pour cela nous avons procédé à une évaluation à la fois quantitative et qualitative de l'éclairage naturel, basée sur une campagne de mesures à l'aide d'instrument technique « luxmètre », ainsi qu'une simulation numérique afin d'évaluer l'éclairage naturel dans des conditions défavorables, et de reconstituer les conditions lumineuses qu'on ne pouvait pas obtenir lors de l'enquête sur le terrain.

Les résultats de notre enquête nous ont permis de déceler les inconvénients liés aux dispositifs d'éclairage naturel adoptés dans la salle de lecture. En effet il existe une contradiction entre les performances de l'éclairage naturel observés sous les conditions de ciel clair et dégagé (surchauffe et éblouissement liés au rayonnement solaire direct), et celle affichées par ciel couvert (insuffisance de lumière liée à la pénétration limitée de la lumière diffuse dans l'espace).

Mots clés : Environnement lumineux, salle de lecture, confort visuel, ambiances lumineuses, éclairage naturel, éblouissement, lumière directe, lumière diffuse.

Introduction générale

I-Introduction	1
II-Problématique	2
III-Hypothèses de recherche	3
IV-Objectifs de la recherche	4
V-Structure du mémoire	4
VI-Méthodologie et outils de recherche :	5

Chapitre 01: Éclairage en architecture et ses enjeux dans les salles de lecture

I-Notions fondamentales	6
I-1-Définition de l'éclairage naturel :	7
I-2-Grandeurs photométriques	8
I-2-1-Flux lumineux	9
I-2-2-Intensité lumineuse	9
I-2-3-Éclairement lumineux	9
I-2-4-Luminance	10
I-2-5-Relation entre Éclairement et Intensité lumineuse	10
I-2-6 Relation entre Éclairement et Luminance	11
I-2-7 -Relation entre Luminance et Intensité lumineuse	11
I-3-Les sources de lumineuses	12
I-3-1-Sources de l'éclairage naturel	13
I-3-2-Sources de l'éclairage artificiel	20
Conclusion	23

II-Confort visuel et ambiances lumineuses dans l'espace architectural	24
II-1-Le confort visuel	24
II-1-2-Paramètres du confort visuel :	25
II-1-3-Critères d'un environnement visuel confortable:.....	27
II-2-Ambiances lumineuses	31
II-2-1-Définition de l'ambiance lumineuse.....	31
II-2-2-Types d'ambiances lumineuses	31
II-2-3-Ambiances lumineuses et espace architectural	32
III-Éclairage naturel dans les salles de lecture.....	33
III-1-Réglementation relative à l'éclairage des salles de lecture	34
III-1-1-Objectifs de la réglementation de l'éclairage	34
III-1-2-La réglementation Algérienne :	35
III-1-3-Le label HQE et l'éclairage dans le bâtiment	36
III-1-4-La norme NBN EN 12464-1 :	36
III-1-5-Cas des États-Unis	38
III-1-6- La Réglementation française.....	39
III-1-7-Comparaison des différentes normes :	40
III-2-Étude d'exemples.....	41
III-2-1-Salle de lecture de la nouvelle bibliothèque d'Alexandrie	41
III-2-2-Salle de lecture de la bibliothèque multimédia de Limoges.	42
III-2-3-Salle de lecture de l'institut du monde arabe (IMA).	43
III-2-4-Salle de lecture de Bibliothèque de l'université Paris-VIII	43
III-2-5-Salle de lecture de Bibliothèque Aberdeen	44
Conclusion de la partie théorique.	45

Chapitre 02 : Évaluation de l'éclairage naturel de la salle de lecture de la bibliothèque de lecture publique de T.O

I-Présentation et description du cas d'étude :	47
I-1-Climat lumineux de la ville de TIZI OUZOU :	47
I-2-Présentation de la bibliothèque de lecture publique de TIZI-OUZOU	48
I-2-1-Situation :	48
I-2-2-Organisation spatiale	50
I-2-3-Dispositifs d'éclairage naturel	51
I-3-Présentation de la salle de lecture	52
I-3-1-Choix de la salle de lecture:.....	52
I-3-2-forme et géométrie :	52
I-3-4-Dispositifs d'éclairage naturel de la salle de lecture	53
I-3-5-Aménagements intérieurs :	55
II-Évaluation de l'environnement lumineux de la salle de lecture.	56
II-1-Paramètres de l'environnement lumineux à investiguer	56
II-2-Méthodes et outils d'évaluation d'un environnement lumineux :	57
II-3-Description de la méthode utilisée lors de l'expérimentation	58
II-3-1-Mesures effectuées	58
II-3-2-Choix des points de mesure.....	58
II-3-3-Instrumentation	59
II-3-4-Conditions de prise des mesures	59
II-3-5-Difficultés rencontrées sur le terrain	60
II-3-6-Déroulement des mesures	60
II-3-7-Traitement des données.....	60

II-4-Présentation et interprétation des résultats des mesures :	62
II-4-1-Résultats des mesures à 11GMT :	62
II-4-2-Résultats des mesures à 17GMT	64
II-5-Analyse des résultats des mesures.	68
II-5-1-Analyse quantitative de l'éclairage naturel de la salle de lecture:	68
II-5-2-Analyse qualitative de l'éclairage naturel de la salle de lecture:	74
II-6-Simulation numérique de l'éclairage naturel dans des conditions défavorables. (Ciel couvert de période hivernale)	76
II-6-1-Configuration et paramétrage du logiciel	76
II-6-2-Analyse et interprétation des résultats de la simulation.....	78
II-7-Discussion des résultats.....	79
II-7-1-Influence de l'environnement :.....	79
II-7-2-Influence de la position du soleil :.....	79
II-7-3-Influence du type du ciel :	79
II-7-4-Influence des ouvertures :	80
II-7-5-Influence de la dimension du local	82
II-7-6-Influence de l'aménagement intérieur :.....	82
II-8-Synthèse de l'analyse	83
III-Recommandations	85
III-1-Les protections solaires :.....	85
III-2-Stratégie de l'éclairage artificiel.	87
III-3- Autres stratégies pour favoriser une conception optimale de l'éclairage.....	88
Conclusion générale.....	89

Liste des figures

Figure 01 : Grandeurs photométriques.....	09
Figure 02 : Représentation schématique du flux lumineux Source	09
Figure 03 : Représentation schématique de l'intensité lumineuse.....	09
Figure04 : Représentation schématique de l'éclairement.....	10
Figure 05 : Représentation schématique de la luminance	10
Figure 06 : Relation entre Éclairement et Intensité lumineuse.....	10
Figure 07 : Représentation schématique de la notion de la surface apparente(SA).....	12
Figure 08 : Répartition du spectre solaire.....	14
Figure 09 : Position du soleil.....	15
Figure 10 : Azimut du soleil.....	15
Figure 11 : Hauteur du soleil.....	15
Figure 12 : Diagramme solaire.....	15
Figure 13 : Variation de l'éclairement au cours de la journée.....	16
Figure 14 : Pourcentage du rayonnement intercepté par une paroi.....	16
Figure 15 : Influence de la position du soleil et de l'épaisseur de l'atmosphère sur le spectre lumineux reçu.....	17
Figure 16 : Schéma d'un ciel uniforme.	18
Figure 17 : Schéma d'un ciel clair ou serein.....	19
Figure 18 : Représentation schématique des différents types de ciels.....	19
Figure 19 : Lampes LED.....	21
Figure 20 : Lampes fluorescentes.....	21
Figure 21 : Lampes incandescent "halogène".....	22
Figure 22 : Lampes incandescente "classique".....	22

Figure 23 : Classes d'efficacité énergétique.....	23
Figure 24 : Influence de la composante naturelle sur le flux lumineux.....	26
Figure 25 : Influence de la composante artificielle sur le flux lumineux.....	26
Figure 26 : Critères d'un environnement visuel confortable.....	27
Figure 27 : Zones et surfaces à considérer.....	37
Figure 28 : Salle de lecture de la bibliothèque d'Alexandrie.....	42
Figure 29 : Salle de lecture de la Bibliothèque francophone multimédia.....	42
Figure 30 : Salle de lecture de la Bibliothèque de l'IMA.....	43
Figure 31 : Salle de lecture de la Bibliothèque de paris VIII.....	43
Figure 32 : Salle de lecture de la Bibliothèque d' Aberdeen.....	44
Figure 33 : Façade la bibliothèque d'Aberdeen.....	44
Figure 34 : Zoning de la disponibilité de la lumière en Algérie.....	47
Figure 35 : Plan de situation de la bibliothèque	48
Figure 36 : Plan de masse de la bibliothèque	49
Figure 37 : Espaces de la bibliothèque.....	50
Figure 38 : Dispositif d'éclairage naturel de la bibliothèque (Façade SUD).....	51
Figure 39 : Dispositif d'éclairage naturel de la bibliothèque (Façade NORD)	51
Figure 40 : Dispositif d'éclairage naturel de la bibliothèque (Façade EST)	51
Figure 41 : Parties A,B,C de la salle de lecture.....	52
Figure 42 : Mur rideau sud de la partie A	53
Figure 43 : Mur rideau est de la partie A.....	53
Figure 44 : Mur rideau sud de la partie B.....	53
Figure 45 : Dispositif d'éclairage naturel de la partie C	53
Figure 46 : Structure du mur rideau	53

Figure 47 : Maillage du moucharabieh	55
Figure 48 : Mobilier de la salle de lecture de la bibliothèque de T-O.....	55
Figure 49 : Sol de la salle de lecture de la bibliothèque de T-O.....	55
Figure 50: Faux plafond de la salle de lecture de la bibliothèque de T-O.....	55
Figure 51: Répartition des points de mesure dans les parties A, B, C.....	58
Figure 52 : Luxmètre.....	59
Figure 53 : Niveaux d'éclairement horizontal a 11 GMT.....	62
Figure 54 : Valeurs du facteur de lumière du jour, à 11GMT.....	63
Figure 55 : Niveaux d'éclairement horizontal à 17GMT.....	65
Figure 56 : Valeurs du facteur de lumière du jour, à 17GMT.	65
Figure 57: Comparaison de l'ambiance lumineuse à 11GMT (1) et à 17GMT (2).....	69
Figure58 : Diagramme solaire stéréographique : Position du soleil le mois d'Aout à 11h30.....	71
Figure 59 : Diagramme solaire stéréographique : Position du soleil /Aout à 17h00.....	72
Figure 60 : Taches solaires dues au rayonnement solaire direct.....	73
Figure 61 : Ambiance lumineuse dans la salle de lecture à 11GMT.....	74
Figure 62 : Ambiance lumineuse dans la salle de lecture à 17GMT	74
Figure 63 : Ombres portées sur le plan de travail	75
Figure 64 : Paramétrage de la simulation (état du vitrage).....	77
Figure 65 : Paramétrage de la simulation (type de ciel).....	77
Figure 66 : Modèle 3D et position du soleil le 15 décembre	77
Figure 67 : Grille des analyses, résultats des éclairements intérieurs en Lux.....	78
Figure 68 : Panneaux translucides en polycarbonate à lames brise-soleil.....	87

INTRODUCTION GÉNÉRALE

I-Introduction

Un espace bâti est initialement conçu avec l'intention de fournir des conditions favorables aux occupants. Espace de vie à part entière, l'environnement intérieur occupe de plus en plus de place dans le quotidien.

De nos jours, le progrès technologique et le développement des techniques de construction ont donné au bâtiment un essor considérable. Mais avec les premières crises énergétiques et la prise de conscience environnementale, ce sont tous les secteurs qui se sont confrontés à la nouvelle problématique, à savoir comment se développer d'une manière durable.

L'homme est amené à réfléchir à de nouveaux modèles de développements plus viables pour les générations futures, et plus soutenables pour les ressources exploitées.

Un secteur aussi crucial que le bâtiment ne pouvait rester en dehors de ce mouvement, la composante environnementale est devenue donc indissociable de la conception architecturale. De nouveaux concepts sont apparus au fil des décennies comme la maison passive ou les éco quartiers. Minimiser l'empreinte écologique et assurer une qualité environnementale sont devenus des soucis majeurs du concepteur et constituent la problématique contemporaine à laquelle l'architecture doit répondre.

L'éclairage fait partie des thèmes à considérer lors d'une réflexion architecturale, qu'il soit naturel ou artificiel, il doit être pensé pour assurer un espace fonctionnel et confortable. L'approche environnementale tente d'utiliser d'abord le potentiel climatique pour éclairer un espace, puis utiliser des procédés passifs dans une optique d'économie d'énergie. L'éclairage artificiel n'est utilisé qu'en complément afin réduire les dépenses énergétiques.

En plus de l'économie d'énergie, le confort visuel est l'autre grand défi environnemental qui se dresse face à l'élaboration de l'éclairage intérieur. Dixième cible du label HQE (Haute Qualité Environnementale), le confort visuel est une préoccupation importante des concepteurs tant son impact sur le bien-être de l'occupant est grand. Le sens le plus important de l'être humain est celui de la vision, 80 à 90 % de notre saisie de données est basée sur ce que nous pouvons voir (**Hegger et al, 2008. Cité par Iturra, 2011**).

En plus d'éclairer suffisamment un espace, on doit désormais apporter une qualité lumineuse adaptée aux besoins de chaque type d'usage.

L'architecture des bibliothèques ne consacre qu'une faible place au traitement de la lumière, lacune étonnante compte tenu de son importance dans la conception même de la bibliothèque et de son fonctionnement et sa maintenance. La lumière dans l'architecture des bibliothèques pose de multiples questions, dont les réponses dépendent de notre capacité à dépasser certains antagonismes : homogénéité contre diversité, lumière naturelle contre lumière artificielle, lumière latérale contre lumière zénithale, lumière ambiante contre lumière ponctuelle.

Toutes les fonctions du bâtiment sont concernées : espaces (magasins, ateliers, bureaux, salles de lecture), circulation, sécurité, et même conception du mobilier.

L'habileté de l'architecte sera ainsi jugée sur sa capacité à concilier des types de lumières dont les fonctions sont contradictoires : lumière d'ambiance et lumière d'appoint par exemple. La diversité est une des spécificités de la lumière en bibliothèque. De l'obscurité des magasins à la lumière des espaces d'accueil, on connaît peu de constructions qui ont recours à un registre de lumières aussi étendu et contraignant.

Notre sujet d'étude s'articulera essentiellement autour des salles de lecture et l'importance de la qualité de l'éclairage naturel dans ce type d'espaces. Étant des lieux de travail, où se déroulent des activités spécifiques, une lumière homogène et uniforme est de rigueur. Ceci se traduit par une optimisation de la lumière naturelle de part ses bienfaits psychologiques (procure des rendements visuels accrue) et son impacte sur l'économie d'énergie.

II-Problématique

Dans notre cas d'étude, nous avons choisis comme terrain d'investigation les salles de lecture de la bibliothèque de lecture publique de TIZI OUZOU. Une salle de lecture peut accueillir différentes activités telles que : la lecture de documents, le travail sur écran d'ordinateur, l'écriture ainsi que le dessin. L'éclairage intérieur d'un tel espace doit donc fournir un environnement lumineux performant et confortable, de façon à répondre aux exigences visuelles spécifiques aux activités pratiquées, mais aussi à éviter les différentes gênes visuelles propres à chacune de ces pratiques.

L'usage de l'espace est un critère déterminant dans l'appréciation de la qualité lumineuse, un espace voué au travail sur ordinateur ne doit pas être trop éclairé au risque d'engendrer de l'éblouissement à l'utilisateur, mais ce même espace peut se révéler non fonctionnel pour un usage de lecture où les exigences visuelles sont différentes (Chaabouni, 2011).

Compte tenu de la spécificité des tâches à exécuter, et leurs exigences en matière de confort et d'ambiances, la réussite architecturale des bibliothèques tient beaucoup à la maîtrise de la lumière.

Comment évaluer la qualité de l'éclairage naturel d'une salle de lecture ?

Et quels sont les paramètres qui influencent son environnement lumineux ?

Afin d'apporter des réponses à cette problématique, nous avons construit une série d'hypothèses qui vont guider notre travail de recherche.

III-Hypothèses de recherche

L'apport de l'éclairage naturel dans le bâtiment se fait par des percements au niveau de son enveloppe externe, la position de ces percements détermine le type de l'éclairage subi (latéral ou zénithal), avec des impacts différents sur l'espace intérieur.

Pour chaque espace convient un type d'éclairage déterminé. Les salles de lecture étant des institutions où les activités qui s'y déroulent exigent une lumière constante et homogène. Par conséquent nos hypothèses ont été formulées comme suit :

Hypothèses :

-L'optimisation de l'éclairage naturel, est une donnée non négligeable dans la conception des bibliothèques. L'utilisation judicieuse de la lumière naturelle implique deux enjeux principaux : le premier est la recherche du confort visuel et des ambiances lumineuses car la lumière du jour est la plus adaptée à la physiologie de l'homme. Le deuxième est la recherche d'efficacité énergétique et la maîtrise des consommations d'énergie (en termes d'électricité).

-L'amélioration de qualité de l'éclairage naturel dans l'espace architectural, passe par la compréhension et la maîtrise des différents paramètres qui entrent en jeu et qui influencent la quantité et la qualité de lumière qui pénètre dans cet espace.

IV-Objectifs de la recherche

Les objectifs de notre recherche consistent à :

- Comprendre les différents paramètres qui influencent l'éclairage naturel dans le bâtiment.
- Évaluer quantitativement et qualitativement, l'environnement lumineux de la salle de lecture de la bibliothèque de lecture publique de TIZI OUZOU afin de déceler ses points forts et ses carences.
- En fonction des résultats obtenus, élaborer des recommandations susceptibles d'améliorer et de valoriser au mieux les fonctions d'éclairage naturel dans ce type d'espaces.

V-Structure du mémoire

Afin d'atteindre les objectifs de cette recherche, il est important d'avoir une approche méthodique et structurée du sujet traité, ainsi la présente recherche sera composée de deux chapitres, le première traitera l'aspect théorique de la question et le deuxième comprendra l'analyse d'un cas d'étude (salle de lecture de la bibliothèque de Tizi-Ouzou) qui sera basée sur un travail d'investigation sur le terrain.

L'aspect théorique de cette recherche consistera en une familiarisation avec le sujet et traitera les différents points et concepts relatifs à l'éclairage naturel. Cette partie se composera de trois aspects principaux :

-Le premier englobera les différentes connaissances de base et les notions fondamentales de l'éclairage. Le deuxième traitera de la notion du confort visuel et des ambiances lumineuses dans l'espace architectural et le troisième ciblera l'éclairage naturel dans les bibliothèques ainsi que la réglementation et les normes relatives à ce dernier.

Dans le deuxième chapitre qui comporte l'investigation il sera question de :

- Présenter et analyser l'objet de notre étude à savoir la salle de lecture de la bibliothèque de lecture publique de TIZI OUZOU.
- Évaluer la qualité de l'environnement lumineux de la salle de lecture.
- Analyser et interpréter les résultats de l'analyse (la campagne de mesure et de la simulation).

VI-Méthodologie et outils de recherche :

Dun point de vue méthodologique, nous avons procédé à une « Évaluation de l'environnement lumineux de la salle de lecture » qui est basée sur l'usage de deux outils de recherche qui sont les mesures in situ à l'aide d'instrumentation technique et l'usage de la simulation numérique.

Pour ce qui est du premier outil de recherche, nous avons effectué une campagne de mesures des niveaux d'éclairement lumineux dans les trois parties de la salle de lecture à différents moments de la journée. Ces mesures ont pour but de décrire quantitativement l'éclairage naturel de la salle et de comparer ses valeurs aux textes réglementaires et techniques élaborés par les différents organismes spécialisés.

Cette comparaison nous permettra de porter un jugement sur l'efficacité du dispositif d'éclairage naturel adopté.

Quant au second outil d'investigation utilisé, il s'agit d'une simulation numérique réalisée avec le logiciel **Ecotect Analysis 2011**. Afin d'évaluer l'éclairage naturel dans les conditions défavorables, nous avons essayé de reconstituer les conditions lumineuses dans la salle de lecture qu'on ne pouvait obtenir lors de l'enquête sur le terrain.

CHAPITRE : 01

Éclairage en architecture et ses enjeux dans les salles de lecture

I-Notions fondamentales.

Introduction

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%.

Éclairer est un acte complexe, un compromis entre différentes approches, différentes sources de lumière et différents luminaires. C'est un choix économique, ergonomique et écologique mais également social et esthétique. Éclairer, c'est à la fois : donner vie, dynamiser, relier, signaler, illuminer, éclaircir, coloriser, souligner, sécuriser...

La fonction principale de l'éclairage est de produire suffisamment de lumière pour permettre à l'observateur d'accomplir ses tâches visuelles de manière appropriée.

A travers ce titre, nous essaierons de définir le concept de l'éclairage naturel, de ses sources, en passant par un aperçu sur les différentes grandeurs photométriques et enfin étudier les paramètres influents sur le confort visuel et les ambiances lumineuses d'un espace architectural.

I-1-Définition de l'éclairage naturel :

D'une manière générale, l'éclairage naturel est défini comme étant « l'utilisation de la lumière du jour pour éclairer les tâches à accomplir » (**W. C. BROWN et K. RUBERG 1988**). Si le soleil est la source mère de tout type de lumière, techniquement l'éclairage naturel global comprend à la fois l'éclairage produit par le soleil, la voûte céleste et les surfaces environnantes (**MUDRI, Ljubica 2002**).

La valorisation de l'éclairage naturel dans les bâtiments répond à un double objectif : Le premier est la recherche du confort visuel et de l'ambiance lumineuse car la lumière du jour est la plus adaptée à la physiologie de l'homme. Le deuxième objectif est la recherche d'efficacité énergétique et la maîtrise des consommations d'énergie (en termes d'électricité).

Les stratégies de l'éclairage naturel peuvent contribuer à réduire la consommation énergétique dans les bâtiments ainsi que les émissions de gaz à effet de serre par la réduction des besoins de leur éclairage électrique et de refroidissement. C'est pour cette raison que l'éclairage naturel d'un bâtiment doit prendre en compte des facteurs influençant l'orientation, la taille, l'emplacement des fenêtres, les caractéristiques du vitrage, le contrôle d'éclairage, l'effet psychologique de la lumière ...etc.

Effectivement il a été révélé qu'en Europe, par exemple, 50% de l'énergie consommée est destinée à l'éclairage artificiel des constructions à usage non-domestique. Il y a été aussi démontré qu'une réduction de l'ordre de 30 à 70% de cette consommation est possible grâce à la combinaison de l'éclairage naturel et artificiel.

A l'échelle internationale, des chiffres ont suscité un intérêt croissant pour l'éclairage naturel comme moyen efficace pour l'économie et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie dans le bâtiment. Il est d'ailleurs considéré comme une des stratégies fondamentales des conceptions bioclimatiques, solaires passives et/ou de haute qualité environnementale.

En Algérie la question de l'éclairage naturel n'est pas prise en compte dans le processus de conception. Alors que celui-ci peut contribuer considérablement à l'efficacité énergétique dans le bâtiment. D'autant plus qu' l'Algérie recèle un gisement solaire des plus importants dans le monde, sachant que la principale source de lumière naturelle est le soleil).

I-2-Grandeurs photométriques

Les grandeurs photométriques sont à la base de toutes les mesures en éclairage et il en existe 4 fondamentales :

- 1-Flux lumineux
- 2-Intensité lumineuse
- 3 -Éclairement
- 4-Luminance

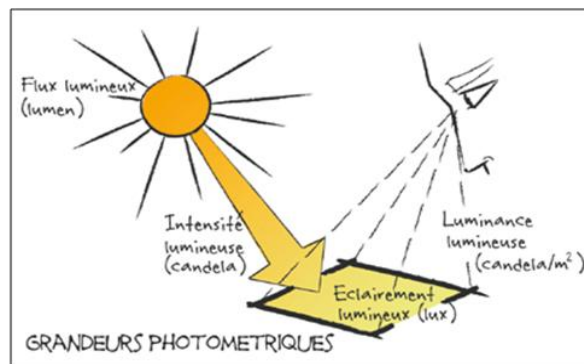


Figure01 : Grandeurs photométriques.
Source : P. Bernard 2003

I-2-1-Flux lumineux

Le flux lumineux décrit la quantité de lumière émise par une source lumineuse. C'est le quotient du flux lumineux par la quantité d'énergie électrique consommée (lm/W).

Elle indique la rentabilité d'une source lumineuse.

Symbole : Φ Phi

Unité de mesure : lm Lumen

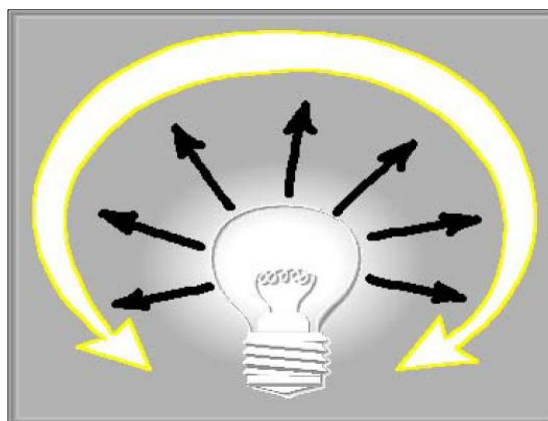


Figure 02 : Représentation schématique du flux lumineux
Source : P. Bernard 2003

I-2-2-Intensité lumineuse

L'intensité lumineuse décrit la quantité de lumière émise dans une direction donnée. Elle est en grande partie déterminée par des éléments de guidage du flux, des réflecteurs par exemple, et est représentée par la courbe photométrique (C.P.).

Symbole : I

Unité de mesure : (cd) Candela

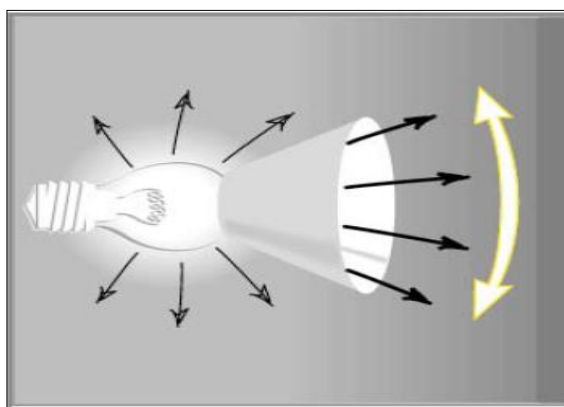


Figure 03 : Représentation schématique de l'intensité lumineuse
Source : P. Bernard 2003

I-2-3-Éclairement lumineux

L'éclairement décrit la densité du flux lumineux en un point d'une surface.

Il diminue avec le carré de la distance.

Éclairement (lx)=flux lumineux (lm)/Surface (m²)

Symbole : E

Unité de mesure : lx Lux

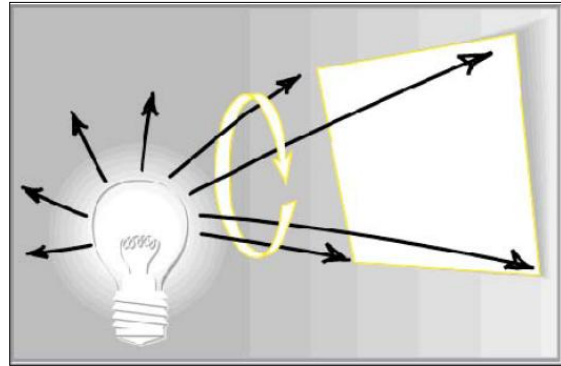


Figure04 : Représentation schématique de l'éclairement

Source : P. Bernard 2003

I-2-4-Luminance

La Luminance est la seule grandeur photométrique perçue par l'œil humain. Elle détermine la sensation de luminosité d'une surface et dépend fortement de l'indice de réflexion (couleur et surface).

Unité de mesure : Candela/m²

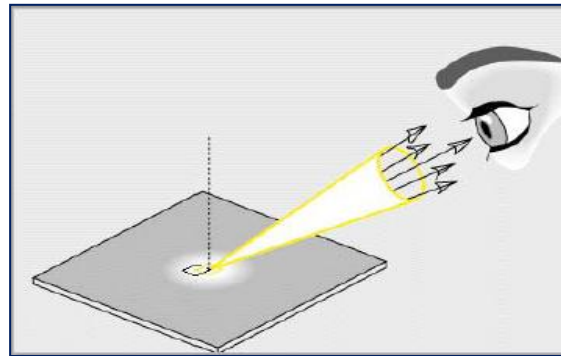


Figure 05 : Représentation schématique de la luminance

Source : P. Bernard 2003

I-2-5-Relation entre Éclairement et Intensité lumineuse

L'éclairement d'une surface dépend de :

- L'intensité lumineuse de la source
- La distance à laquelle est située cette source
- L'angle d'incidence des rayons lumineux

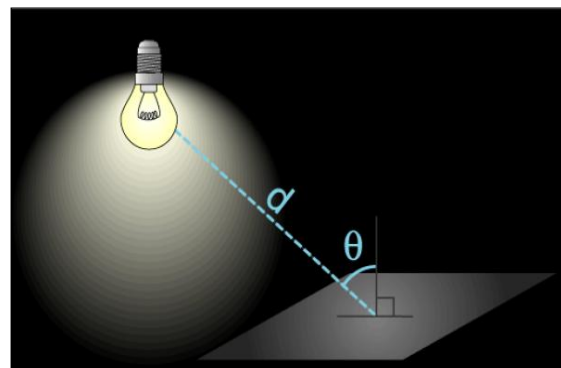


Figure 06: Relation entre Éclairement et Intensité lumineuse

Source : P. Bernard2003

Cette relation est caractérisée par l'équation suivante:

$$E = (I \times \cos \theta) / d^2 \dots\dots\dots (EQ01) (P. Bernard2003)$$

Avec : E = Éclairement

I = Intensité de la source

θ = Angle d'incidence

D = distance de la source à la surface

Ceci signifie, entre autre que :

- Plus la distance de la source à la surface est grande, plus l'éclairement est faible.
- Plus l'incidence est élevée, c'est à dire plus la lumière est rasante, plus l'éclairement est faible.

I-2-6 Relation entre Éclairement et Luminance

La luminance d'une surface dépend notamment :

- De l'éclairement reçu par la surface
- Du facteur de réflexion de cette surface

Cette relation est caractérisée par l'équation suivante:

$$L = (\rho \times E) / \pi \dots\dots\dots (EQ02) (P. Bernard2003)$$

Avec : L = Luminance

E = Éclairement

ρ = Facteur de réflexion de la surface

Ceci signifie, entre autre que :

- Plus l'éclairement est élevé, plus la luminance est élevée.
- Plus le facteur de réflexion de la surface est élevé plus la luminance est élevée.

I-2-7 -Relation entre Luminance et Intensité lumineuse

La luminance d'un objet dépend de :

- L'intensité lumineuse émise par cet objet.
- La surface apparente de celui-ci depuis le point d'observation

Cette relation est caractérisée par l'équation suivante:

$$L = I/S \times \cos\theta \dots \dots \dots \text{(EQ03) (P. Bernard 2003)}$$

Avec

L=Luminance

I= Intensité lumineuse

S= Surface de l'objet considéré

Θ=Angle sous-tendu par le plan de la surface considérée et la normale à la direction de la vision

Ceci signifie, entre autre que : Plus la surface est inclinée par rapport à l'axe de la vision , moins sa luminance est élevée .

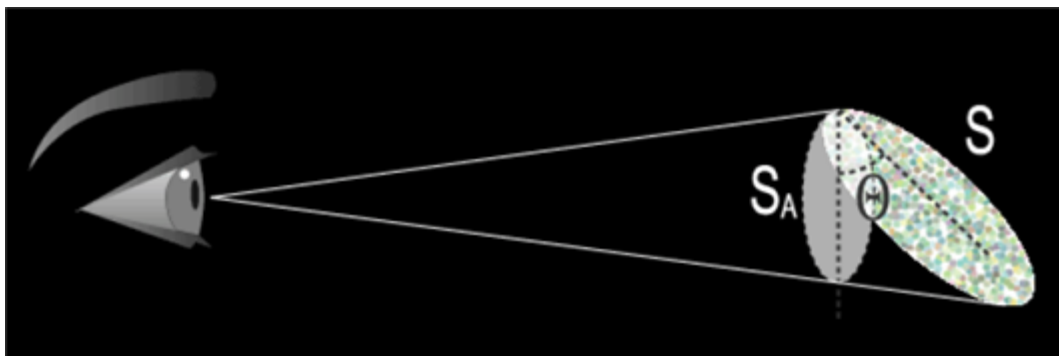


Figure 07: Représentation schématique de la notion de la surface apparente(SA)
Source : P.Bernard 2003

I-3-Les sources de lumineuses

D'où vient la lumière naturelle ?

La lumière naturelle, appelée aussi lumière du jour, correspond à l'éclairage direct ou indirect provenant du **soleil**. Cette lumière blanche possède un spectre complet et continu. Sa richesse provient de sa variabilité continue d'intensité, de direction et de teinte au fil des heures et des saisons.

Outre les phénomènes liés aux mouvements de rotation de la terre, les modifications du spectre d'émission de la lumière du jour sont liées aux conditions atmosphériques et météorologiques, aux interactions avec les particules de l'atmosphère.

La lumière du jour, par sa richesse et son universalité, constitue notre lumière de référence. Elle nous donne des repères temporels et spatiaux et c'est grâce à elle que nous attribuons leurs couleurs aux objets.

D'où vient la lumière artificielle ?

La lumière artificielle est l'éclairage qui est produit artificiellement à l'aide de lampes et de projecteurs. La source de lumière artificielle n'est produite que lorsqu'on allume. La lumière incandescente émet selon un spectre continu et possède de ce fait la capacité de restituer fidèlement les couleurs des objets.

Avec la lumière du jour, elle constitue une référence dans la perception de notre environnement et pour notre vie quotidienne. Nous y sommes sans doute attachés car c'est une lumière chaude 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.

I-3-1-Sources de l'éclairage naturel

Avant de répertorier les sources de l'éclairage naturel, voyons d'abord la définition du mot « **source** ».

Du point de vue de la physique, une source est « un convertisseur qui transforme une énergie en un rayonnement » (**W. C. BROWN et K. RUBERG 1988**).

Comme nous le savons, l'homme est exposé à une grande variété de sources d'énergie naturelles qui émettent un rayonnement sur plusieurs bandes du spectre électromagnétique. Pour cela, il est indispensable de les classer.

A-Sources naturelles primaires

La « source primaire » est une source de lumière qui émet de la lumière qu'elle a elle-même produite. Elle est visible et isolée de toute autre source lumineuse. **1**

Le Soleil est une source primaire de la lumière naturelle et il est à l'origine du rayonnement visible direct. On distingue aussi le feu, la lave ...etc.

1 « Les sources primaires et les sources secondaires de la lumière » dans Encyclopédie ENCARTA sur CD ROM, France : Microsoft Corporation.2004.

Le rayonnement solaire visible

Le soleil, est une source primaire de lumière. Il se trouve à la centrale de notre système planétaire; il a une dimension gigantesque par rapport à la terre avec un diamètre de 1 390 000 km, une masse de $1,989 \times 10^{30}$ kg et une température qui est entre 5800 et 15 millions °C. Il transforme une partie de son énergie nucléaire en énergie lumineuse.

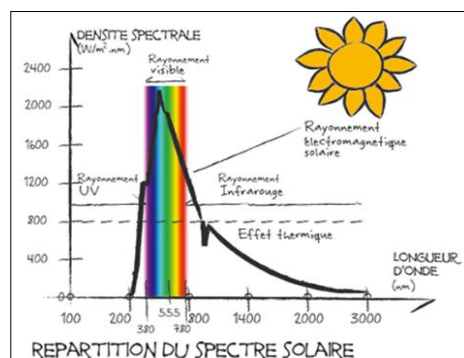


Figure 08: répartition du spectre solaire
Source : www.energieplus-lesite.be

Le soleil émet de la lumière blanche ou lumière visible mais aussi d'autres rayonnements appartenant au spectre électromagnétique comme les rayonnements infrarouge ou l'ultra-violet. La lumière visible représente 46 % de l'énergie totale émise par le soleil. 49 % du rayonnement énergétique émis par le soleil se situe au-delà du rouge visible, dans l'infrarouge. C'est ce rayonnement que nous ressentons comme une onde de chaleur. Le reste du rayonnement solaire, l'ultraviolet, représente l'ensemble des radiations de longueur d'onde inférieure à celle de l'extrémité violette du spectre visible.

La position du soleil

La position du soleil dans le ciel à un moment déterminé est caractérisée au moyen de deux coordonnées :

-La hauteur du Soleil qui est l'angle que fait la direction du Soleil avec le plan horizontal. Elle se compte de 0° à 90° à partir de l'horizon vers la voûte céleste.

-L'azimut solaire qui est l'angle créé entre le plan vertical passant à la fois par le Soleil et par le lieu considéré, et le plan vertical N-S. Cet angle vaut 0° au sud et est conventionnellement positif vers l'ouest et négatif vers l'est.

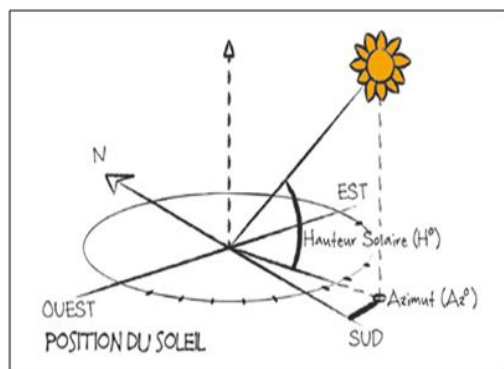


Figure 09: position du soleil
Source : www.energieplus-lesite.be

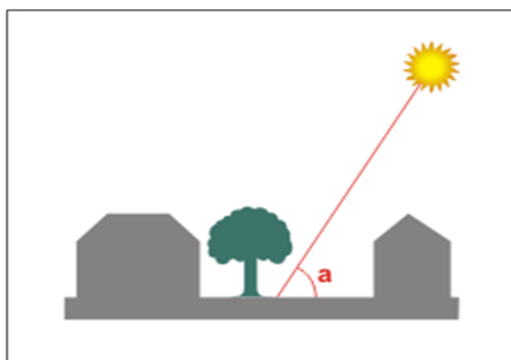


Figure 10: hauteur du soleil
Source : www.energieplus-lesite.be

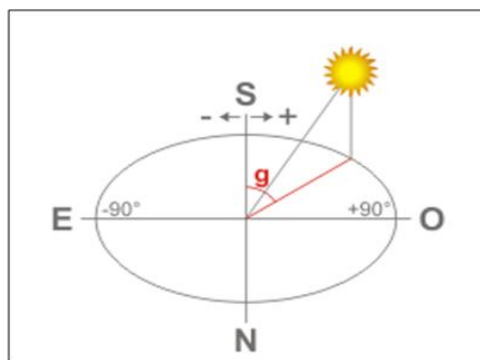


Figure 11: azimut du soleil
Source : www.energieplus-lesite.be

Le diagramme solaire

Pour plus de clarté, on représente généralement la course solaire par un diagramme en coordonnées rectangulaires. Le diagramme solaire est une représentation plane en coordonnées locales de la trajectoire du soleil, perçu depuis un point de la surface terrestre. Cette représentation graphique constitue un outil facile pour repérer le trajet du soleil à travers le ciel.

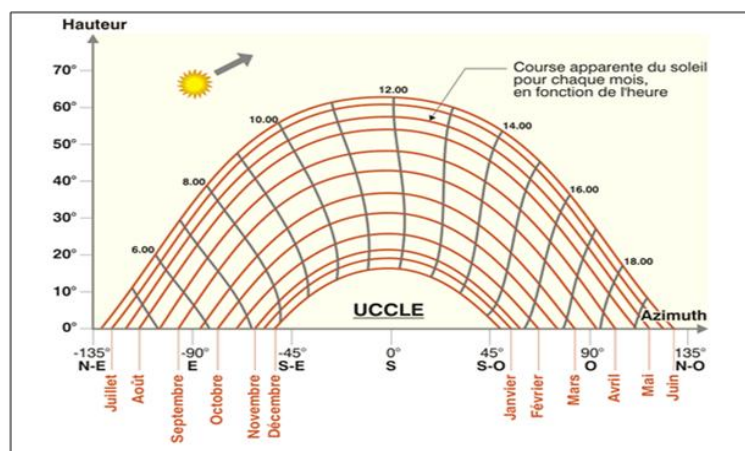


Figure 12: diagramme solaire
Source : Sigrid Reiter et André De Herde 2003

Influence de la position du soleil sur la lumière

Étude de la variation de l'éclairement au cours de la journée d'été :

Quelle que soit la saison, on peut constater, qu'au coucher du soleil, l'éclairement diminue. La lumière réapparaît chaque matin au lever du soleil.

Plus le soleil est haut dans le ciel, plus l'éclairement est élevé.

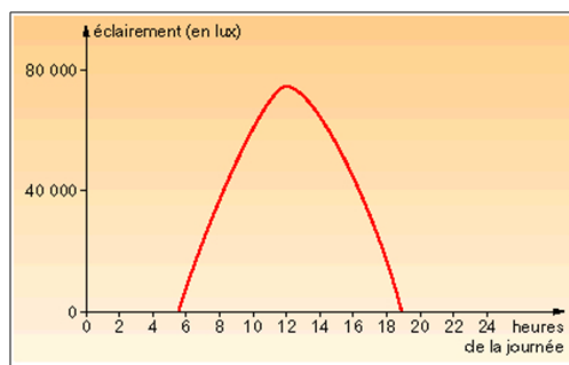


Figure 13 : variation de l'éclairement au cours de la journée
Source : www.energieplus-lesite.be

L'irradiation solaire incidente

L'angle que font les rayons du soleil avec une surface détermine la densité énergétique que reçoit cette surface. Puisque le rayonnement solaire arrive sur la terre sous forme d'un faisceau parallèle, une surface perpendiculaire à ces rayons intercepte une densité importante d'énergie. Et si on incline la surface à partir de cette position perpendiculaire, son éclairement diminue. Le tableau ci-dessous donne les pourcentages de lumière interceptée par une surface pour différents angles d'incidence.

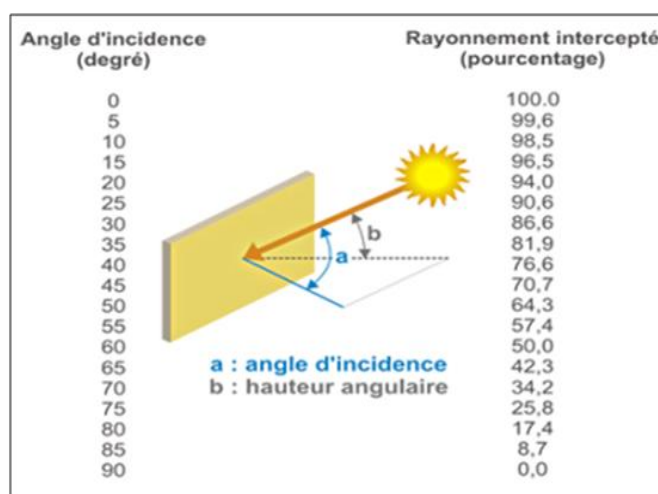


Figure 14 : pourcentage du rayonnement intercepté par une paroi en fonction de l'angle d'incidence en fonction de l'angle d'incidence

Source : www.energieplus-lesite.be

Épaisseur de l'atmosphère

L'épaisseur de l'atmosphère que le rayonnement solaire doit traverser, est un facteur important pour évaluer la quantité de ce rayonnement qui atteint la surface de la terre.

Au milieu du jour, le soleil est au-dessus de nos têtes, et ses rayons ont à traverser une épaisseur d'air moindre avant d'arriver sur Terre. Mais au début et à la fin de la journée, le Soleil est bas sur l'horizon ; la traversée de l'atmosphère se fait alors plus longue.

L'atmosphère absorbe et diffuse d'autant plus de particules de lumière qu'elle est plus épaisse et plus dense. Ainsi, au coucher du soleil, les rayons sont suffisamment affaiblis pour permettre à l'œil humain de fixer le Soleil sans trop d'éblouissement.

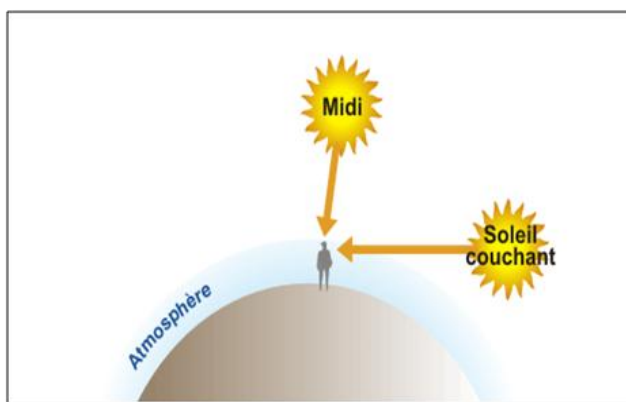


Figure 15: influence de la position du soleil et de l'épaisseur de l'atmosphère sur le spectre lumineux reçu
Source : www.energieplus-lesite.be

Autres paramètres influant sur l'éclairage naturel

Deux catégories de paramètres viennent influencer la nature de la lumière naturelle :

Ceux relatifs au bâtiment : les différentes configurations possibles en architecture, orientation, position, dimension des ouvertures, caractéristiques du vitrage, et des aménagements intérieurs.

Paramètres relatifs à l'environnement

La latitude, la saison, l'heure, les types de ciel et le site.

B) Sources naturelles secondaires

Une « source secondaire » est une source de lumière qui n'est visible que lorsqu'elle est éclairée par une source primaire², telle la voûte céleste qui est éclairée par le rayonnement solaire dont une partie (environ 25%), qui est absorbée et réémise par l'atmosphère, constitue ce que les spécialistes appellent la lumière diffuse du ciel.

La lumière diffuse du ciel

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

L'avantage de la lumière diffuse du ciel est qu'elle est disponible dans toutes les directions, suscite peu d'éblouissement et ne provoque pas de surchauffe. Elle crée peu d'ombres et de très faibles contrastes mais elle peut être considérée comme insuffisante dans de nombreux cas notamment sous les conditions du ciel couvert en période hivernale, qui est d'ailleurs la plus utilisée dans les calculs du fait qu'elle est considérée comme le cas le plus défavorable (**IZARD, J L1944**).

Types de ciels : Un type de ciel est caractérisé par la répartition des luminances sur la voûte céleste en fonction de la position du soleil et de la répartition des nuages. Parmi les principaux types adoptés pour le calcul de l'éclairage naturel on cite :

Le ciel uniforme :

C'est le type de ciel le plus ancien et qui donne des calculs très simples pour établir les abaques. Sa luminance est indépendante des paramètres géométriques : elle est constante en tout point du ciel à un moment donné (**DE HERDE et LIEBARD, 2005**).

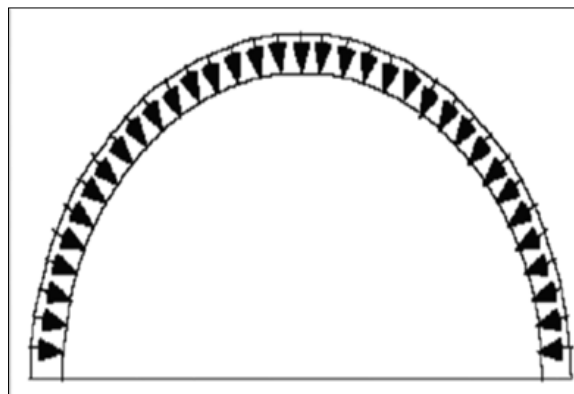


Figure 16: Schéma d'un ciel uniforme.
Source : IZARD J. L. 1994.

² « Les sources primaires et les sources secondaires de la lumière » dans Encyclopédie **ENCARTA** sur CDROM, France : Microsoft Corporation.2004.

Le ciel serein ou clair :

Ce type est caractérisé par des valeurs de luminance qui varient en fonction de paramètres géométriques et de la position du soleil. Il émet un rayonnement diffus qui dépend de la variation de la position du soleil et exclu le rayonnement solaire direct (**DE HERDE et LIEBARD, 2005**).

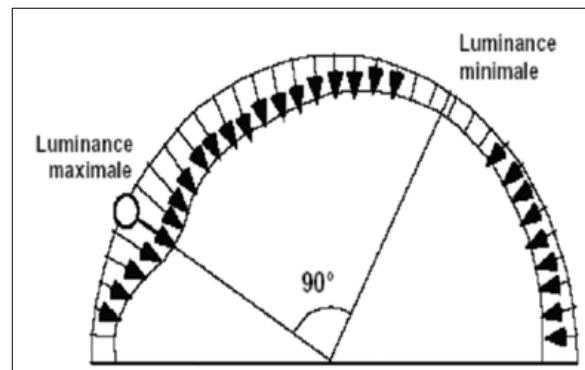


Figure 17: Schéma d'un ciel clair ou serein.
Source : IZARD J. L. 1994.

Le ciel couvert

Ce type de ciel a été établi par la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE), pour lequel la luminance en un point varie en fonction de sa position sur la voûte céleste, suivant la loi : $L = L_z \times (1 + 2 \sin \Theta / 3)$ (EQ 04)³

L_z = la luminance au zénith

Θ = la hauteur de la zone du ciel considérée.

La luminance au zénith est donc trois fois plus élevée que la luminance à l'horizon.

Ce type de ciel correspond à un ciel de nuages clairs cachant le soleil (**DE HERDE et LIEBARD, 2005**).



Figure 18: représentation schématique des différents types de ciels.
Source : IZARD J. L. 1994.

³ (C.I.E) comité international de l'éclairage.2003

Chaque type de ciel est caractérisé par la répartition de la luminance sur la voûte céleste qui varie en fonction de la latitude, de l'altitude, de saison et de l'heure.

La principale variable selon les types de ciels est la quantité de nuages existants, plus le ciel est clair, plus le niveau d'éclairement augmente, ainsi, les valeurs mesurées près d'une fenêtre peuvent tripler d'un ciel couvert à un ciel clair.

Pour étudier l'éclairement à l'intérieur d'un bâtiment et pour arriver à des résultats exacts, la Commission Internationale de l'éclairage propose de prendre comme base de calcul un ciel couvert, car sa luminance est égale en tout point du ciel à un moment donné donnant un niveau d'éclairement de 5000 lux sur une surface horizontale en site parfaitement dégagé. En éclairage naturel, on considère deux sources, le soleil (rayonnement direct) et le ciel (rayonnement diffus). Les luminances, les éclairements et la répartition spectrale varient dans la journée en fonction de la position du soleil, mais également de la couverture nuageuse qui est un élément aléatoire.

I-3-2-Sources de l'éclairage artificiel

Certaines solutions semblent avoir été appliquées avec succès en ce qui concerne la lumière. Il semble que la combinaison de la lumière naturelle et de différents types d'éclairage artificiel, étudiée de manière complémentaire, se révèle plutôt heureuse.

A travers ce point nous allons essayer de donner un aperçu sur les différentes sources de lumière artificielle ainsi que leurs caractéristiques.

A) Différents types de lampes d'éclairage artificiel

Les lampes d'éclairage se divisent en quatre grandes familles: Les LED, les fluorescentes, les incandescentes halogènes, et les incandescentes classiques

Éclairage LED Light-Emitting Diode (diode électroluminescente).

- Émet une lumière blanche.
- Fonctionne avec une faible tension électrique (doté d'un transformateur).
- Offrent directement leur pleine puissance lumineuse
- Très bon rendement lumineux > 100lumens/watt.
- Très bon IRC (indice de rendu de couleur).
- Très longue durée de vie > 20ans.

-Utilisation : les LED peuvent être utilisées pour l'éclairage fonctionnel tout comme pour l'éclairage décoratif, à l'intérieur comme à l'extérieur.



Figure 19: lampes LED
Sources : www.green-energy.com

Éclairage fluorescent

Avec l'arrivée des LED, l'éclairage fluorescent sous forme d'ampoule n'est plus le meilleur choix sur le plan de l'énergie et de l'environnement. Notamment à cause d'un moins bon rendement lumineux, de l'émission de champs électromagnétiques (électro smog) plus importants, de possibles fuites de rayonnement UV, et de difficulté de recyclage (mercure dans les tubes).

- Efficacité élevée.
- Bon à très bon rendu des couleurs.
- Grande durée de vie.
- Gamme étendue.
- Graduables.
- Utilisation : éclairage général

économique

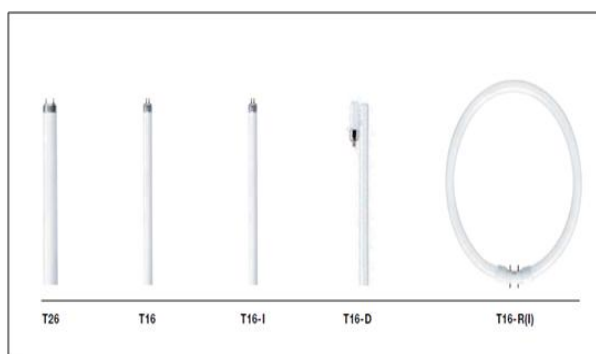


Figure 20: lampes fluorescentes
Sources : www.green-energy.com

Éclairage incandescent "halogène"

L'éclairage halogène offre une excellente lumière blanche.

- Il offre un excellent rendu de couleur (IRC=100).
- Son intensité peut être modulée avec un variateur.
- La durée de vie, en moyenne ne dépasse pas 2000 heures.
- Graduables.
- Lumière brillante.

-Utilisation : espaces de vente et d'habitation, gastronomie et applications décoratives.



Figure 21: lampes incandescent "halogène"
Sources : www.green-energy.com

Éclairage incandescent "classique"

- Produit une lumière chaude (2700°K).
- Très bon IRC (100), et leur déchet posent peu de problèmes.
- En moyenne, leur durée de vie ne dépasse pas 1000 heures.
- Coût faible.

Par contre leur rendement énergétique est très mauvais, avec environ 95% de l'électricité qui est transformée en chaleur plutôt qu'en lumière, d'où des risques de brûlure et d'incendie.



Figure 22 : lampes incandescente "classique"
Sources : www.green-energy.com

Le tableau ci-dessous représente un comparatif de rendement et de durée de vie des différents types de lampes d'éclairage artificiel

	Rendement (lm/w)	Durée de vie (H)
Lampe incandescente	10-20	1000
Lampe halogène	15-20	2000
Lampe fluorescente	40-70	6000
Lampe LED	100	15000-50000

-**Indice de rendu de couleurs IRC** : capacité d'une source lumineuse à restituer les différentes couleurs du spectre visible de l'objet quelle éclaire (**Sigrid Reiter et André De Herde/2003**).

-**Efficacité lumineuse**: On évalue la qualité énergétique d'une source par son efficacité lumineuse (lm/W) définie comme le rapport entre le flux lumineux émis (lumen) et la puissance électrique absorbée par la source (en watt). Elle donne une information sur les performances d'une source lumineuse.

-Indice d'efficacité énergétique

La réglementation définit les classes d'efficacité énergétique des lampes en fonction d'un critère de rendement. Ces classes (au nombre de 7) sont dénommées de A++ à E, la classe A++ ayant la meilleure efficacité énergétique.

Les classes sont définies par un rapport entre une **puissance** absorbée par la lampe et une puissance de référence, nommée **indice d'efficacité énergétique IEE**.

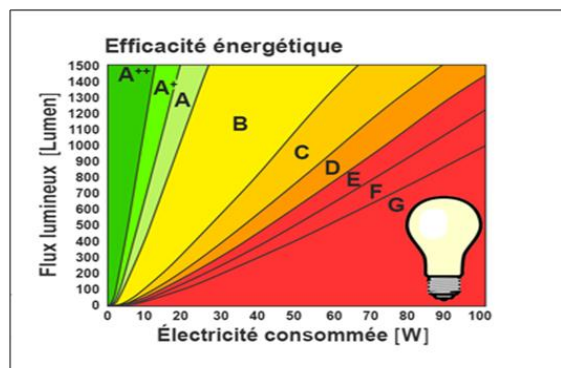


Figure 23 : classes d'efficacité énergétique en fonction du rendement et de l'électricité consommée.

Sources : www.energie-environnement.ch

Conclusion

A travers cette partie nous avons insisté 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, ainsi que ces sources. Nous savons à présent que la lumière naturelle est un phénomène indissociable de la vie de l'homme, régulatrice et indispensable à la majorité de ces activités, cette lumière est l'une des composantes d'un large spectre électromagnétique qui va des ondes ultraviolettes aux infrarouges émis par le soleil.

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

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

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

II-Confort visuel et ambiances lumineuses dans l'espace architectural

La lumière influence l'espace architectural de trois manières. Fonctionnelle : qui s'exprime par le confort visuel. Esthétique : ambiances qui se traduisent par un jeu de couleur, d'ombres et de lumière. Émotionnelle : par l'affectation sensible des différents effets lumineux. **(Belorgey. X, 2004)**. Dans cette partie nous présenterons les paramètres du confort visuel, ainsi les différentes expressions pour qualifier une ambiance lumineuse d'un espace architectural.

II-1-Le confort visuel

Pour définir le confort visuel on va essayer d'abord de définir le «Confort». Le terme confort, tiré du mot anglais « comfort », fait allusion au « bien être matériel résultant des commodités de ce dont on dispose » ou à « l'ensemble des éléments qui contribuent à la commodité matérielle et au bien-être » mais également au « sentiment de bien-être et de satisfaction ».

(C.A. ROULET 1987) définit le confort comme étant « une sensation subjective fondée sur un ensemble de stimuli », c'est-à-dire des facteurs internes ou externes qui provoquent une réponse de l'organisme. Selon l'auteur, le critère de confort correspond à la satisfaction des occupants. Comme nous le voyons, les termes employés pour définir le « confort » (bien être, sentiment, sensation..) attestent du caractère subjectif de ce concept. Les facteurs internes et externes susceptibles de provoquer cette sensation restent indéterminés. En effet, la définition du confort reste ambiguë car tout dépend de l'appréciation personnelle de chaque individu : ce qui est « confortable » pour certains, peut ne pas l'être pour les autres et ceci dépendra de nombreux facteurs à la fois physiologiques et psychologiques.

II-1-1-Définition du « confort visuel »

D'après le Syndicat de l'Éclairage de France, le confort visuel fait référence aux «conditions d'éclairage nécessaires pour accomplir une tâche visuelle déterminée sans entraîner de gêne pour l'œil»⁴.

⁴ Syndicat de l'éclairage « L'éclairage et le confort visuel ». Paris. p1 [En ligne] www.syndicateclairage.com.

Selon (MUDRI, Ljubica2002), il implique « l'absence de gêne qui pourrait provoquer une difficulté, une peine et une tension psychologique, quel que soit le degré de cette tension ». De façon générale, le confort visuel est une impression subjective liée à la quantité, à la qualité et à la distribution de la lumière. Le confort est défini par le sentiment de satisfaction devant l'environnement visuel, lorsque les objets peuvent être vu nettement et sans fatigue, dans une ambiance colorée agréable.

II-1-2-Paramètres du confort visuel :

À l'instar du confort thermique, le confort visuel est, non seulement une notion, objective faisant appel à des paramètres quantifiables et mesurables, mais aussi à une part de subjectivité liée à un état de bien-être visuel dans un environnement défini.

-Paramètres physiques du confort visuel :

La luminance, l'éclairement, l'éblouissement et les contrastes sont les plus perceptibles par l'homme et les représentatifs du confort visuel. À ces paramètres, on associe des valeurs qui garantissent le bon déroulement d'une tâche sans fatigue ni risque d'accident :

- L'éclairement (lux) est une valeur relativement facile à mesurer (luxmètre) .

- La luminance (cd/m^2), plus représentative de la perception réelle de l'œil, mais demande du matériel sophistiqué (luminancemètre).

- L'éblouissement (UGR) qui constitue le paramètre le plus gênant dans la réalisation d'une tâche. Il se mesure avec un luminancemètre visant une direction bien spécifique.

- Les contrastes, quant à eux, sont responsables d'un manque de distinction de deux zones ou éléments différents.

-Caractéristiques propres à l'environnement

La volumétrie d'un local, les propriétés des parois la taille, la forme, l'orientation, le positionnement de l'ouverture dans la façade, les caractéristiques du vitrage, la présence ou pas d'une protection solaire, les coefficients de réflexion des parois, les propriétés des luminaires, leur localisation et leur orientation influencent la qualité de la répartition du flux lumineux. **Le flux lumineux** au niveau d'une tâche résulte de la superposition de la lumière naturelle issue d'une ouverture verticale ou/et horizontale et la lumière artificielle.

Au niveau de la composante naturelle, on distingue : La composante directe issue du soleil ou du ciel et La composante indirecte réfléchie par des éléments externes comme une surface vitrée d'un immeuble voisin. La composante indirecte interne issue de la réflexion des deux composantes externes sur les parois internes.

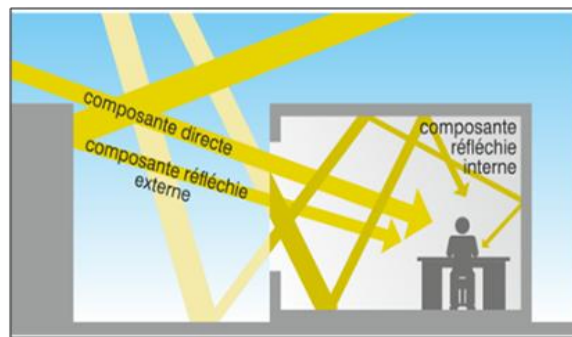


Figure 24 : influence de la composante naturelle sur le flux lumineux

Sources : www.Energie+: site spécialisé dans l'efficacité énergétique des bâtiments tertiaires

Au niveau de la composante artificielle d'un luminaire, on distingue aussi :

- La composante directe depuis le luminaire sur le plan de travail.
- La composante indirecte résultant des réflexions multiples sur les parois internes du local considéré.

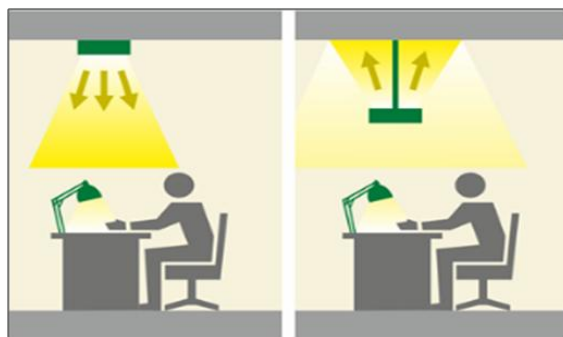


Figure 25 : influence de la composante artificielle sur le flux lumineux

Sources : www.Energie+: site spécialisé dans l'efficacité énergétique des bâtiments tertiaires

-Caractéristiques propres à la tâche à accomplir :

Chaque tâche nécessite un niveau d'éclairement adéquat afin qu'elle puisse être exécutée avec succès (sans fatigue visuelle).

- Facteurs physiologiques et psychologique :

L'évaluation du confort varie selon l'appréciation subjective de chaque individu. Devant la notion du confort visuel les occupants d'un espace ne sont pas égaux, en fonction de l'âge, de l'état d'esprit de l'éducation du contexte culturel, climatique, idéologique et des expériences vécues, les besoins de lumière se font souvent ressentir différemment.

II-1-3-Critères d'un environnement visuel confortable:

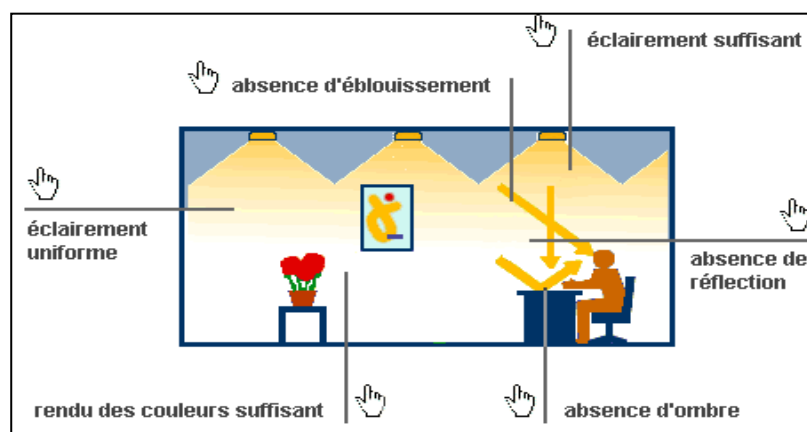


Figure 26 : Critères d'un environnement visuel confortable

Sources : A. DE HERDE & al. [www-energie.com]

-Niveau d'éclairage suffisant

Chaque activité nécessite un certain niveau d'éclairage adéquat .En général, plus la difficulté pour la perception visuelle est importante, plus le niveau moyen d'éclairage devrait être élevé. Un niveau d'éclairage minimum est nécessaire pour une vision claire et sans fatigue. Toutefois, un éclairage trop abondant peut être inconfortable. L'éclairage moyen recommandé est généralement fixé selon la fonctionnalité du local et la précision de la tâche visuelle qui doit y être exercée.

Les valeurs de l'éclairage E (lux) recommandées dans le tableau ci-dessous sont fondées sur les expériences réalisées dans la pratique et sont valables d'une manière générale. Les valeurs pour les tâches et les activités spécifiques sont définies dans les directives de l'Union Suisse pour la Lumière (**L'USL**) [**La CUSSTR**].

E [lx] Genre de travail ou de local	
≥ 1	Éclairage de secours pour voies d'évacuation.
≥ 50	Locaux de travail sans activité manuelle .
≥ 100	Locaux de travail avec activité manuelle occasionnelle.
≥ 200	Locaux de travail avec postes de travail permanents sans exigences particulières.
≥ 300	Locaux de travail pour activités de précision moyenne nécessitant une visibilité simple 300 – 500 Locaux avec travail à l'écran .
≥ 1 000	Éclairage local avec éclairage général supplémentaire pour activités très complexes nécessitant une très bonne visibilité.

Tableau des valeurs de l'éclairage en fonction du type d'activité ou de local

Source: Commission universitaire pour la santé et la sécurité au travail

-Éclairage uniforme

L'uniformité se définit par opposition au contraste (facteurs influençant la performance visuelle. Il s'interprète par la différence de luminance entre deux plages ou entre l'objet et son fond). Donc, elle se définit par une faible et régulière variation de luminosité, sa présence dans la majorité des cas est relative à la présence d'une lumière diffuse. Elle donne une apparence d'unité d'espace, et d'immatérialité **(Demers, 2007)**. L'unité contrairement à la fragmentation, renforce l'impression d'enveloppe spatiale.

La répartition lumineuse, ou l'uniformité des niveaux d'éclairage, 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 et lorsque l'éclairage de la zone de travail et celui de la zone voisine sont équilibrés.

-Rendu de couleur suffisant

Toute source lumineuse, qu'elle soit naturelle ou artificielle, présente un spectre lumineux qui lui est particulier. La lumière naturelle présente un spectre visible de forme continue. Le mélange des diverses radiations qui constituent ce spectre forme, par définition, la lumière dite blanche : c'est la seule qui permette à l'œil d'apprécier avec la plus grande exactitude la couleur des objets et les plus délicates de leurs nuances.

Étant donné que l'œil est conçu pour la lumière du jour, la lumière émise par les sources artificielles devrait avoir la même composition spectrale que celle du soleil et du ciel : c'est le seul moyen pour que ne soit pas altérée la vision des couleurs.

En effet, un corps coloré réfléchit sélectivement les radiations colorées qu'il reçoit. Le système visuel regroupe les différentes radiations réfléchies et donne une sensation de couleur. Les objets qui ont des couleurs chaudes comme le rouge et l'orange 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). En effet, Les couleurs chaudes seront de préférence utilisées dans des locaux de dimensions importantes tandis que les couleurs froides seront choisies pour les petits locaux. Les couleurs donc, peuvent contribuer dans une large mesure à modifier la dimension apparente des surfaces et des volumes.

-Absence d'ombres gênantes

Lorsqu'un objet opaque est éclairé par une source de lumière, certaines zones situées derrière l'objet, ne reçoivent pas de lumière et constituent l'ombre de l'objet. On dit également que l'ombre se produit quand un élément se trouve entre la tâche visuelle et la source lumineuse. L'ombre portée sur un objet éclairé prend deux zones : la première zone est située à l'opposé de la source lumineuse et elle ne reçoit pas de lumière, elle est appelée **ombre propre**. La deuxième zone est la région placée derrière l'objet éclairé, qui ne reçoit pas de rayon lumineux, elle représente l'ombre **portée**.

La visibilité de l'objet change selon la source lumineuse ; si l'arrivée de la lumière est directionnelle, cela va permettre l'apparition d'ombres sur l'objet observé ce qui conduit à une sensation de fatigue et d'inconfort visuel. D'autre part, si l'arrivée de la lumière est non directionnelle, elle rendra difficile la perception des détails de cet l'objet, alors qu'une pénétration latérale permettra la perception tridimensionnelle du relief et des détails des objets ainsi que leur couleur.

-Absence d'éblouissement

L'éblouissement est la difficulté à voir en présence de lumière .Il 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.

En éclairage naturel, l'éblouissement peut être provoqué par la vue directe du soleil, par une luminance excessive du ciel vu par les fenêtres, ou par des parois réfléchissant trop fortement le rayonnement solaire et provoquant des contrastes trop élevés par rapport aux surfaces voisines.

En éclairage artificiel, l'éblouissement peut être provoqué par la vue directe d'une lampe ou par sa réflexion sur les parois polies des luminaires, sur les surfaces du local ou sur des objets.

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

-l'éblouissement direct

-L'éblouissement indirect

- Éblouissement direct : produit par un objet lumineux situé dans la même direction que l'objet regardé ou dans une direction voisine. Nous pouvons cependant définir deux types d'éblouissement direct :

L'éblouissement d'inconfort qui résulte de la vue en permanence de sources lumineuses de luminances relativement élevées (soleil ou ciel par exemple). Cet éblouissement peut créer de l'inconfort sans pour autant empêcher la vue de certains objets ou détails. Il se présente comme le désir instinctif de détourner le regard d'une forte source lumineuse. (LA TOISON, Marc 1982)

L'éblouissement invalidant ou perturbateur 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.

- Éblouissement indirect produit par des réflexions de sources lumineuses sur des surfaces brillantes (écrans d'ordinateur, plan de travail, tableau ...). Lorsque la lumière se réfléchit dans le champ visuel, les contrastes sont réduits.

- Contrôle de l'éblouissement

Pour éviter l'éblouissement produit par les ouvertures, il est souvent nécessaire de réduire leur luminance excessive en adoptant des systèmes appropriés :

- Concevoir une grande fenêtre moins éblouissante que plusieurs petites ou bien distribuer les ouvertures sur plusieurs murs. Ceci aura pour effet d'augmenter la luminance d'adaptation de l'environnement général ainsi que la luminance du mur de fenestration qui réduit l'inconfort en diminuant le contraste avec le ciel.

- Occulter le ciel et le soleil par une protection solaire fixe ou mobile, selon l'orientation.

- Diminuer le contraste mur-fenêtre : soit en éclairant (naturellement ou artificiellement) le mur de fenestration, soit en augmentant la composante réfléchie interne de l'éclairage naturel : c'est-à-dire opter pour des réflectances élevées des surfaces internes en utilisant des couleurs claires et mates. Ou bien en augmentant la composante réfléchie externe par l'utilisation de support extérieur bas, de linteau et des montants d'ouverture de couleurs claires.

II-2-Ambiances lumineuses

II-2-1-Définition de l'ambiance lumineuse

L'être humain dans son contact avec son environnement reçoit par les différents mécanismes qu'il possède, des informations sous forme de signaux, considérés comme des stimuli visuels, interprétés par le cerveau comme sensations de confort ou d'inconfort, c'est ce que nous appelons ambiances. **(Belakehal, 2007).**

Pour mieux comprendre le phénomène perceptif, nous décortiquons l'ensemble de ces ambiances. Nous appelons ambiances lumineuses, l'ensemble des signaux transmis au sujet percevant par son environnement lumineux. **(Mudri. L, 2002).**

Une ambiance lumineuse est définie comme étant «une sensation subjective qui résulte de l'interaction de quatre paramètres qui sont : **un espace, une lumière, un usage et un individu**». Cette interaction influence la perception et le ressenti de l'espace illuminé. **(Narboni, R 2006).**

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-2-2-Types d'ambiances lumineuses

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

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

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

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.

II-2-3-Ambiances lumineuses et 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.

Selon le changement du temps, la lumière peut donner un ou plusieurs sens à l'espace.

L'architecture met en jeu les ambiances. La lumière révèle les formes, les volumes et les textures des matériaux. L'architecture a la capacité de modeler et moduler les qualités de lumière et d'ombre. Souvent liée à la nature du lieu, la lumière joue un rôle fonctionnel car elle doit répondre à un sentiment de confort et à des usages multiples. Elle participe aussi plus largement au sens donné à l'espace et au bâtiment, à sa symbolique, à ses connotations. Donc, la lumière va partager son rôle avec l'espace pour créer des ambiances lumineuses différentes.

Conclusion

Souvent liée à la nature du lieu, la lumière joue un rôle fonctionnel car elle doit répondre à un sentiment de confort et à des usages multiples. Elle participe aussi plus largement au sens donné à l'espace et au bâtiment, à sa symbolique, à ses connotations. Donc, la lumière va partager son rôle avec l'espace pour créer des ambiances lumineuses différentes. La combinaison de l'éclairage, le contraste de luminance, la couleur de la lumière, la reproduction des couleurs ou leur choix sont les éléments qui déterminent la couleur du climat et le confort visuel.

III-Éclairage naturel dans les salles de lecture

Aucun espace ne peut architecturalement exister sans lumière naturelle. La lumière contribue à « la fabrication de l'espace ». Elle lui délivre son ambiance. « À l'intérieur du bâtiment, ce qu'il y a de merveilleux, ce sont les atmosphères que la lumière confère à l'espace » (**Louis J. Kahn, 1996**)

La réussite architecturale des bibliothèques tient beaucoup à la maîtrise des lumières. Nous allons essayer de démontrer l'impact de la lumière naturelle, et d'identifier les exigences d'un environnement visuel confortable dans les salles de lecture. En bref, nous allons examiner et mentionner les besoins en éclairage des salles de lecture et préciser les façons de répondre techniquement et économiquement à leurs exigences à travers une étude concrète de salles de lecture qui offrent des exemples réussis en matière d'éclairage.

Nous commençons par une brève définition des salles de lecture. Une salle de lecture est un espace aménagé dans une bibliothèque, destiné à permettre au public de consulter les documents sur place, et de s'en servir comme support de travail : une salle de lecture est donc équipée de plans de travail.

Type de tâches à accomplir :

Les tâches visuelles auxquelles sont confrontés les usagers dans les salles de lecture sont:

- Lecture d'un document disposé sur le plan utile.
- Écriture. -Dessin.
- Travail sur ordinateur.

Les différents usagers :

La question de la lumière en bibliothèque n'a de sens que par rapport à des usagers qui sont loin d'être tous égaux devant les choix d'éclairage. Des professionnels, au grand public, les besoins varient en fonction de facteurs tels que l'âge ou éventuellement le degré de handicap. L'éclairage n'est pas seulement affaire de normalisation.

C'est dans les bibliothèques publiques que les besoins des différents segments du public sont le plus susceptibles d'entrer en conflit, À chaque type de public ne correspond pas cependant un besoin d'éclairage spécifique et déterminé.

III-1-Réglementation relative à l'éclairage des salles de lecture

Nous allons nous intéresser à l'aspect réglementaire et normatif de l'éclairage intérieur des salles de lecture. La réglementation en matière de techniques du bâtiment est complexe et en constante évolution et couvre tous les domaines de la construction, notamment celui de l'éclairage dont les règles, indiquées par type d'activité ou de locaux, sont censées couvrir les besoins des tâches habituelles effectuées dans ces derniers. Même si dans notre cas nous nous intéressons aux salles de lecture dans les bibliothèques, nous présentons la réglementation relative aux principes d'éclairage des lieux de travail.

Très peu de normes régissent l'espace de la bibliothèque, encore moins les salles de lecture, mais dans la majorité des pays la législation relative à la conception de l'espace de travail, prévoit des normes d'éclairage pour des activités qui se rapprochent de celle d'une salle de lecture, telles que la lecture, l'écriture le dessin ou le travail sur écran. Le but de ce point est, d'abord, de déterminer les différentes sources de la réglementation technique de l'éclairage. Il s'agit, ensuite, de rassembler les données qui serviront de base à notre évaluation de l'environnement lumineux de la salle de lecture de bibliothèque de lecture publique de TIZI OUZOU qui est notre cas d'étude.

III-1-1-Objectifs de la réglementation de l'éclairage

D'après (**H. LAEDLEIN**), les objectifs d'une réglementation technique de l'éclairage dans le bâtiment sont les suivants :

- Assurer le confort visuel des occupants ainsi que la sécurité des occupants contre tous risques possibles..

- Assurer à l'occupant des conditions d'hygiène acceptables, notamment en ce qui concerne le rapport minimal de la surface des ouvertures à la surface du plancher des locaux à éclairer (indice de vitrage).

- Assurer la pérennité et la durabilité de la construction et de ses installations : il s'agit d'une notion intimement liée au concept du développement durable.

- L'économie : cette exigence est relativement nouvelle et concerne surtout l'économie d'énergie.

III-1-2-La réglementation Algérienne :

Le système des documents réglementaires servant de base pour la construction des bâtiments en Algérie, s'appuie sur les règlements de construction établis par les organes officiels et les normes de constructions auxquelles se réfèrent ces règlements. En matière d'éclairage dans le bâtiment, les documents réglementaires sont rares et se résument dans ce texte législatif :

Article 35 du décret exécutif n°91-175 du 28/05/1991 : « Mesures générales applicables aux bâtiments à usage d'habitation »

- Chaque pièce principale doit être éclairée et ventilée au moyen d'une ou plusieurs baies ouvrantes dont l'ensemble doit présenter une superficie au moins égale au huitième de la surface de la pièce.

- Cette disposition n'est pas applicable aux régions situées à une altitude égale ou supérieure à huit cents mètres, ni à la zone sud du territoire national. Un arrêté du ministère chargé de l'urbanisme précisera les conditions requises.

- Les baies donnant sur une cour fermée surmontée d'un comble vitré ou sur une courette, ne sont pas considérées comme des baies ouvrantes.

- Les pièces secondaires peuvent se ventiler sur des gaines verticales.

- Pour les habitations individuelles à simple rez-de-chaussée, les baies des pièces principales peuvent s'ouvrir sur des cours fermées ou non couvertes de quatre mètres (4 m) sur quatre (4) au minimum.

- Les baies des pièces doivent être munies de protection efficace contre le rayonnement solaire.

- La profondeur des pièces principales des logements à simple niveau, mesurée à partir de la face interne de la paroi éclairante, ne peut excéder deux fois et demie la hauteur sous plafond⁵. Aucune indication n'est donnée sur les exigences de l'éclairage en matière d'éclairement lumineux, d'uniformité...etc.

⁵ République Algérienne. Codes du foncier et de l'urbanisme : recueil de textes législatifs et réglementaires de la République Algérienne. BERTI Éditions. 2001-2002.

Dans ce domaine, la réglementation Algérienne est très pauvre par rapport aux réglementations étrangères. Pour ce qui concerne les conditions d'éclairage naturel et artificiel dans le bâtiment, la circulaire a désigné les normes françaises.

III-1-3-Le label HQE et l'éclairage dans le bâtiment

L'association HQE a formalisé une méthode autour de 14 objectifs, appelés « cibles », dont 7 concernent la maîtrise de l'impact du bâtiment et de sa gestion sur l'environnement. Le référentiel HQE a choisi la cible du confort comme cible pour la création d'un environnement intérieur satisfaisant sur le plan visuel sous une forme plus qualitative que quantitative. L'accent est mis sur l'accès à la lumière naturelle avec la recherche de l'équilibre des luminances et la limitation de l'éblouissement

- L'indicateur opérationnel retenu est le facteur de lumière du jour (FLJ minimum de 2,5 % dans les bureaux et 2 % dans l'enseignement).

-Le niveau d'éclairement moyen à maintenir selon les usages : 300 lux dans les bureaux, 300 lux dans les salles de classes primaire et secondaire et 500 lux dans les salles de cours du soir et d'enseignement pour adultes).

-Le facteur d'uniformité (0,7 à 0,8 suivant l'implantation).

III-1-4-La norme NBN EN 12464-1 : lumière et éclairage des lieux de travail - partie 1: Lieux de travail intérieur

La présente norme spécifie les prescriptions pour les systèmes d'éclairage pour la plupart des lieux de travail intérieurs et leurs zones associées en termes de quantité et de qualité de l'éclairage.

Distribution des luminances

Afin d'éviter les fortes luminances (éblouissement) et les trop grands contrastes entre elles (fatigues des yeux) dans le champ visuel, les luminances de toutes les surfaces des parois du local sont importantes et sont déterminées par le facteur de réflexion et par l'éclairement reçu par ou sur les parois. On retrouve les différentes plages de facteur de réflexion utiles des parois principales :

Plafond	0.7 à 0.9
Murs	0.5 à 0.8
Sol	0.2 à 0.4
Mobilier	0.2 à 0.7

Tableau extrait de la norme NBN EN 12464-1

Niveaux d'éclairagements

L'éclairage et sa répartition sur la zone de travail et l'environnement influence la façon dont une personne perçoit et accomplit une tâche visuelle avec précision, rapidité et confort. La norme introduit une différence entre l'éclairage recommandé dans la zone de travail et les zones attenantes.

Niveau d'éclairage sur la tâche

Pour le type de tâche considéré (écriture, dactylographie, lecture et traitement de données), 3 exigences sont reprises quant à l'éclairage à maintenir E_m , l'UGRL limite et l'indice de rendu des couleurs (R_a). La valeur requise par la norme comme éclairage à maintenir sur la zone de travail (ici équivalente au plan de travail effectif) est de 500 lx.

Type de tâche	E_m	UGRL	R_a
Écriture, lecture, dactylographie, traitement de données sur PC	500	19	80

Tableau extrait de la norme NBN EN 12464-1

Niveau d'éclairage sur la zone environnante immédiate est une bande de 0.5 Mètres sur tout le pourtour de la zone de travail. L'éclairage à maintenir dans la zone environnante immédiate est de 300 lx pour la tâche visuelle retenue à savoir **Écriture, lecture, dactylographie, traitement de données sur PC.**

Éclairage de la tâche	Éclairage de la zone immédiate
500 lux	300 lux

Tableau extrait de la norme NBN EN 12464-1



Figure 27 : zones et surfaces à considérer
Source : Code de Bonne Pratique en éclairage intérieur

Uniformité de l'éclairage

L'uniformité (Uo), définie comme le rapport de l'éclairage minimum à l'éclairage moyen, est le reflet de l'homogénéité de l'éclairage. La valeur exigée est fonction de la tâche visuelle à exécuter.

Type de tâche	Uo
Écriture, lecture, dactylographie, traitement de données sur PC	0.6

Tableau extrait de la norme NBN EN 12464-1

S'agissant des bibliothèques la norme préconise les valeurs suivantes

Type de zone de tâche ou d'activité	Em	UGRL	UO	Ra
Rayonnage	200	19	0.4	80
Salle de lecture	500	19	0.6	80
Postes de service public	500	19	0.6	80

Tableau extrait de la norme NBN EN 12464-1

III-1-5-Cas des États-Unis

Aux États-Unis, deux organisations majeures gèrent les normes et standards relatifs à l'éclairage des locaux depuis plus d'un siècle, Illuminating Engineering Society of North America « IESNA » et l'American National Standards Institute « ANSI ».

L'unité américaine de mesure de l'éclairage lumineux est le footcandle (fc), il correspond à l'éclairage lumineux reçu par une surface éclairée par une source d'intensité lumineuse 1 candela (cd) située à 1 pied (0,3048 m) sous incidence normale (Terrien, Desvignes, 1972).

Nous avons pris le soin de convertir les valeurs en Lux pour uniformiser la lecture des tableaux. et nous avons donc choisi les cas les plus significatifs pour les besoins de notre recherche. Le tableau ci dessous représente niveaux d'éclairage exigés selon la norme américaine ANSI/IESNA RP-3-00

Espaces et fonctions	Éclairage horizontal (lux)
Salle de lecture	300
Salle de dessin	500
Salle de lecture sur écran de visualisation	30

Le tableau extrait la norme américaine ANSI/IESNA RP-3-00

III-1-6- La Réglementation française

A) Code du travail : éclairage des lieux de travail

La législation prévoit un seuil minimal d'éclairement mesuré au plan de travail ou au sol pendant la présence des employés, selon l'article R4223-4 du code du travail les mesures doivent être égales ou supérieures à 200lux pour les travaux de bureau.

B) Recommandations relatives à l'éclairage des lieux de travail intérieur selon l'Association Française de l'Éclairage(AFE)

Niveaux d'éclairement :

Type de tâche ou d'activité	Éclairement moyen (lux)
Bibliothèques, écriture et lecture	425
Dactylographie	425
Dessin	850

Uniformité de l'éclairage

D'après l'AFE, l'indice d'uniformité (I_u) calculé pour le plan de travail ne doit pas être inférieur à 0,8.

Facteurs de réflexion

Plafond	> 0.7
Murs	0.3 à 0.7
Sol	0.2 à 0.4

III-1-7-Comparaison des différentes normes :

	Niveaux d'éclairage en fonction du type de zone, de tâche ou d'activité (Em)	Uniformité de la lumière (Uo)	Recommandations spécifiques
Réglementation algérienne	-	-	Éclairage et ventilation des espaces intérieurs
Démarche HQE	-Bureaux 300 -Salles de cours 500	0.7 à 0.8	Équilibre des luminances et limitation de l'éblouissement
Norme européenne EN 12464-1	-Écriture, lecture et dactylographie 500 -Salles de lecture 500 -Rayonnage 200	0.6 0.6 0.4	UGRL : 19 Ra : 80 Éclairage des zones immédiates : 300 lux
États-Unis	-Salle de lecture 300 -Salle dessin 500 -Lecture sur écran 30	-	-
Réglementation française : code du travail	-Bureaux >200	-	-
l'Association Française de l'Éclairage(AFE)	-Bibliothèque : écriture et lecture 425 -Dactylographie 425 -Dessin 500	>0.8	-

Conclusion

Comme nous le constatons, la réglementation relative à l'éclairage dans le bâtiment varie d'un pays à l'autre. Les facteurs les plus importants en matière de confort visuel et qui reviennent constamment dans toutes les réglementations que nous avons énumérées précédemment, sont les niveaux d'éclairage et l'uniformité de la lumière. Ces recommandations sont organisées sous forme de tableaux selon le type de locaux, d'activités et des tâches visuelles accomplies. En Algérie, nous avons soulevé un manque flagrant dans la réglementation de l'éclairage. Les pays occidentaux par contre sont très en avance en matière d'éclairage, cela se traduit par les nombreuses associations et organismes spécialisés qui œuvrent dans le domaine. Ces dernières jouent un rôle très important dans le processus de la réglementation et mettent à jour les prescriptions au fur et à mesure que la recherche et les nouvelles technologies avancent.

Les pratiques d'une salle de lecture font que cet espace nécessite des besoins spécifiques en termes d'éclairage. Bien qu'une tâche doit recevoir un minimum d'éclairement lumineux l'approche quantitative de l'éclairage ne peut assurer elle seule un environnement lumineux adapté à ses pratiques, dans la mesure où même les normes qui doivent assurer une quantité minimum de lumière intègrent désormais d'autres composantes qualitatives.

III-2-Étude d'exemples

Nous allons essayer d'évoquer les différentes stratégies d'éclairage naturel adoptées par les architectes à travers l'étude de quelques exemples de bibliothèques qui offrent un exemple réussi.

III-2-1-Salle de lecture de la nouvelle bibliothèque d'Alexandrie

« La capture et la réflexion maîtrisées de la lumière naturelle ont défini la principale ligne de conduite dans la conception de la salle de lecture⁶ »

La bibliothèque d'Alexandrie est une bibliothèque et un centre culturel situé sur les rives de la Méditerranée dans la ville d'Alexandrie, en Égypte. Elle fut inaugurée 2002. Elle dispose alors de la plus grande salle de lecture au monde, occupant sept des onze étages du bâtiment principal, offrant 2 000 places assises, 180 salles d'étude et devant héberger à terme huit millions d'ouvrages. Le bâtiment est un énorme cylindre avec un toit en pente, de 36.770 mètres carrés et 33 mètres de haut. Le diamètre du cylindre de 160 mètres, passant de 15,8 mètres à 37 mètres au-dessus du sol, avec son toit en pente.

Stratégies :

-Éclairage zénithale : Le toit en verre donne la lumière du soleil à un niveau optimal tout au long de l'année tout en travaillant comme un lien qui permet un accès visuel à l'extérieur et vice-versa.

-Lumière diffuse. Les voiles solaires, installés sur le toit permettent à la lumière diffuse d'accès dans l'espace intérieur.

⁶ **Christophe Kapeller**, « L'architecture de la nouvelle bibliothèque d'Alexandrie », in *La nouvelle bibliothèque d'Alexandrie*, dir. Fabrice Patout, Buchet-Chastel, 2003, p. 80.

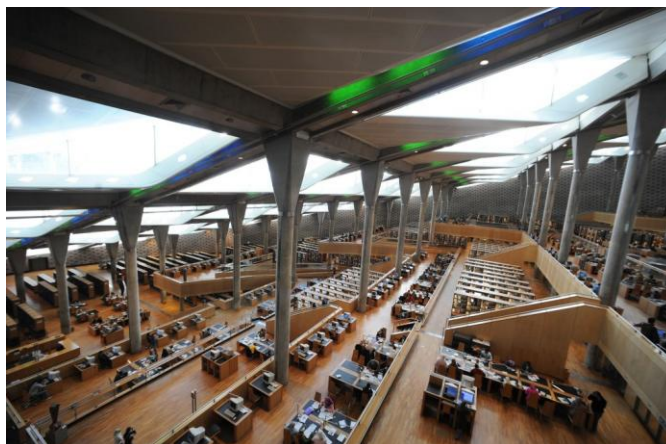


Figure 28 : salle de lecture de la bibliothèque d'Alexandrie
Source : Code de Bonne Pratique en éclairage intérieur

III-2-2-Salle de lecture de la bibliothèque multimédia de Limoges.

Avant d'être matière signifiante, la lumière relève du sensible. La lumière instaure un certain rapport au monde puisqu'elle permet de « changer perpétuellement d'espace tout en restant dans le même espace, revoir un endroit déjà vu tout à l'heure mais tout autrement » (**Pierre Riboulet**). Les puits tronqués de Limoges inscrivent la grande salle de lecture dans une dimension cosmique : le passage du temps est rendu sensible par le déplacement au sol de plusieurs cercles lumineux.

Stratégies :

Éclairage zénithale : Trois puits de lumière éclairent la salle de lecture. Chaque puits est pourvu de spots assez puissants et couvert de lattes métalliques tronquées selon des angles différents. La lumière projetée à l'intérieur de la bibliothèque suit ainsi un cycle de rotation circadien.



Figure 29 : salle de lecture de la Bibliothèque francophone multimédia,
Source : lumière dans les bibliothèques. Bulletin des bibliothèques de France

III-2-3-Salle de lecture de l'institut du monde arabe (IMA).

Dans les choix architecturaux, il existe un dualisme entre une volonté de capter le plus de lumière possible et la nécessité de se protéger contre la lumière.

L'Institut du monde arabe (IMA) est un institut culturel parisien consacré au monde arabe. Situé au cœur du Paris historique dans le 5e arrondissement, l'édifice a été conçu par un collectif d'architectes (Jean Nouvel et Architecture-Studio2) qui a tenté là une synthèse entre culture arabe et culture occidentale.

Stratégies : La façade sud reprend les thèmes historiques de la géométrie arabe puisqu'elle est composée de 240 moucharabiehs. Ces derniers sont munis de diaphragmes qui peuvent s'ouvrir et se fermer en fonction de l'ensoleillement.



Figure 30 : salle de lecture de la Bibliothèque de l'IMA
Source : lumière dans les bibliothèques. Bulletin des bibliothèques de France.

III-2-4-Salle de lecture de Bibliothèque de l'université Paris-VIII

Stratégies : Lumière, transparence, fluidité sont les fondements de ce projet.

La lumière naturelle est présente partout, elle est captée, piégée presque, de multiples manières : zénithale, frontale, oblique, réfléchie ou directe, frisante, rasante, de source visible ou masquée, variable évidemment avec la course du soleil et le mouvement des saisons (**Pierre Riboulet 2003**).



Figure 31 : salle de lecture de la Bibliothèque de paris VIII
Maître d'œuvre: Pierre Riboulet, Surface : 16 500 m²

Source : www.pierrerioulet.org

III-2-5-Salle de lecture de Bibliothèque Aberdeen

Conçue par l'architecte Schmidt Hammer, la bibliothèque de l'Université d'Aberdeen, dessert une communauté de 14.000 étudiants.

Stratégies : Avec un immense puits de lumière qui permet une clarté incroyable, des étages auxquels on accède par des escaliers en spirales décalées, des espaces aérés et un mur de verre, la bibliothèque d'Aberdeen devient un lieu de vie et d'études sans pareil.

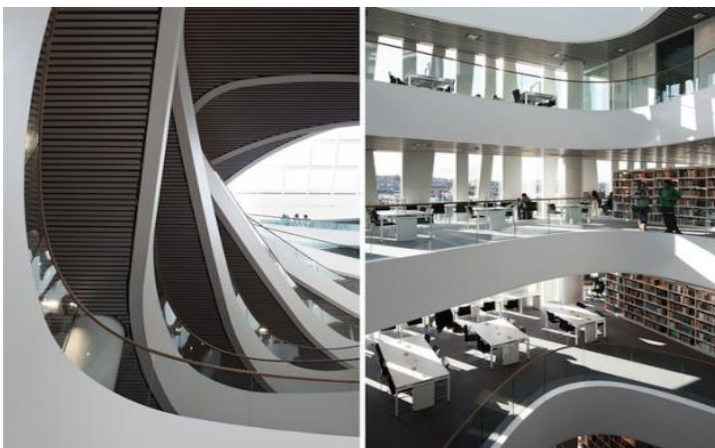


Figure 32 : Salle de lecture de la Bibliothèque d' Aberdeen
Source : <http://www.europese-bibliotheek.nl/>

La forme organique de cet espace contraste avec le profil extérieur de coupe nette. Le bâtiment est conçu pour minimiser les coûts de fonctionnement à long terme et la consommation d'énergie. Composée d'un motif irrégulier de panneaux isolants et de vitrages à haute performance, la façade chatoyante durant la journée plus douce la nuit crée un point de repère lumineux pour Aberdeen.



Figure 33 : Façade la bibliothèque d'Aberdeen
Source : <http://www.europese-bibliotheek.nl/>

Les exemples que nous avons vus démontrent qu'il n'existe pas de modèle d'éclairage universel applicable aux bibliothèques. L'habilité de l'architecte sera ainsi jugée sur sa capacité à concilier des types de lumières dont les fonctions sont parfois contradictoires.

La diversité est une des spécificités de la lumière des bibliothèques. Ainsi varient les solutions et stratégies de l'éclairage adoptées par chaque concepteur dans ce type d'espaces. Quelle soit latérale ou zénithale, la lumière naturelle, économique et écologique, est valorisée. Captée, conduite et distribuée, les solutions de l'éclairage naturel marquent le rapport entre la lumière naturelle et l'architecture des bibliothèques.

Nous retiendrons de ce point :

- Toutes les normes et exigences "techniques" relatives à l'éclairage des salles de lecture.
- Toutes les stratégies architecturales relatives aux dispositifs d'éclairage naturel des salles de lecture.

Conclusion de la partie théorique.

A travers ce chapitre, nous avons essayé de comprendre l'essentiel des bases théoriques relatives à l'éclairage naturel.

Nous nous sommes intéresser en suite au volet subjectif qui caractérise l'interaction de l'individu avec son environnement lumineux, ainsi nous avons identifié les éléments qui définissent l'ambiance et la qualité lumineuse d'un espace architectural, et les facteurs influents sur le confort visuel des occupants de cet espace.

Nous avons identifié les besoins quantitatifs et qualitatifs de l'environnement lumineux des salles de lecture, et de souligner les solutions d'éclairage adoptées dans les bibliothèques, face aux nouveaux enjeux qui consistent en la maîtrise d'un éclairage naturel adapté en prenant compte de la consommation énergétique, du confort des occupant et de la valorisation de l'espace en créant des ambiances propices a l'exécution des taches et des activités qui s'y déroulent.

A travers ce chapitre, nous avons collecté les informations qui vont servir de bases de données pour aborder la deuxième phase de notre recherche, à savoir l'évaluation de l'éclairage naturel de la salle de lecture de la bibliothèque de lecture publique de TIZI-OUZOU.

CHAPITRE 02 : Évaluation de l'éclairage naturel de la salle de lecture de la bibliothèque de lecture publique de T.O

I-Présentation et description du cas d'étude :

Chaque chose évolue, se déroule, s'exprime ou se passe selon les conditions offertes par son environnement et selon son contexte. Donc l'étude et la compréhension d'un phénomène quelconque devra nécessairement être précédée par une étude des différents paramètres constituant son environnement et le contexte dans le quel il se déroule.

I-1-Climat lumineux de la ville de TIZI OUZOU :

La ville de TIZI OUZOU est située au nord de l'Algérie, (Latitude : 36.4, Longitude : 4.2).

En se référant à la thèse de Doctorat de **N. ZEMMOURI** qui a proposé un zoning lumineux propre à l'Algérie, basé sur le calcul par simulation informatique, à l'aide du logiciel « Matlight », des éclairagements lumineux horizontaux ainsi que sur la base de données de la NASA sur la nébulosité.

Ce découpage comporte quatre (4) grandes zones climatiques lumineuses. La wilaya de TIZI OUZOU fait partie de la première zone, située entre la latitude 34°-36°, caractérisée par un éclairage lumineux horizontal moyen égal à 35 Kilo lux et la dominance du ciel partiellement couvert.

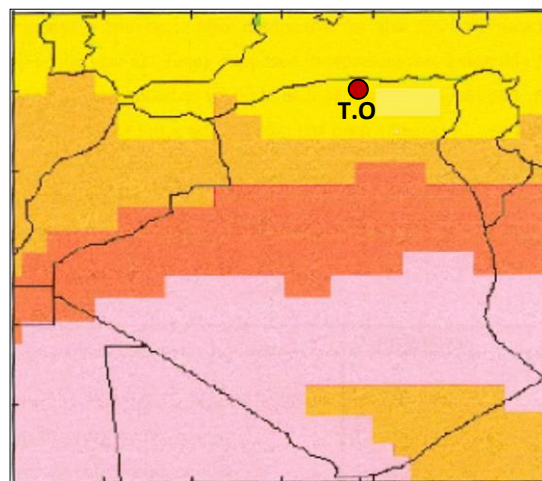


Figure 34 : Zoning de la disponibilité de la lumière en Algérie

Source : ZEMMOURI.N 2005

I-2-Présentation de la bibliothèque de lecture publique de TIZI-OUZOU

Conçue dans une optique d'ouverture de la pensée et du savoir, La bibliothèque principale de lecture publique de la wilaya de Tizi-Ouzou (annexe de la bibliothèque nationale EL HAMMA), est baptisée du nom du grand penseur, philosophe, historien et islamologue algérien, Mohammed Arkoun.

Le projet, lancé par la direction de la culture de Tizi-Ouzou a été confié au bureau d'étude DUA (design urbanisme et architecture).

I-2-1-Situation :

Le projet est situé au niveau de l'ex marché de gros. Sur la route des frères MAKHLOUF.

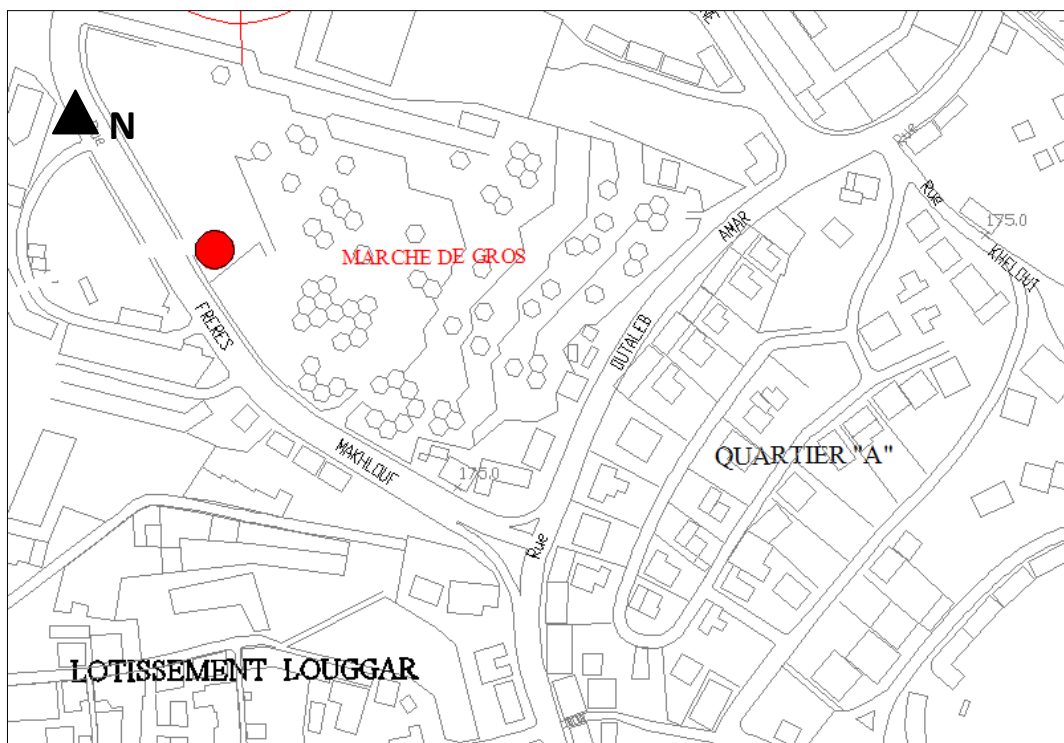


Figure 35 : plan de situation de la bibliothèque
Source : BET DUA (Design, Architecture et Urbanisme)

D'une surface de 4.638,6 m² et d'un gabarit en R+6, le bâtiment est délimité par:

- Un lycée au nord
- Un CEM et la piscine semi-olympique (en cours de réalisation) à l'est
- La nouvelle maison d'artisanat à l'ouest et des habitations en R+2 R+3 au sud.

A noté que l'environnement immédiat ne constitue pas un masque qui intercepte le soleil.
(Distance et gabarit)

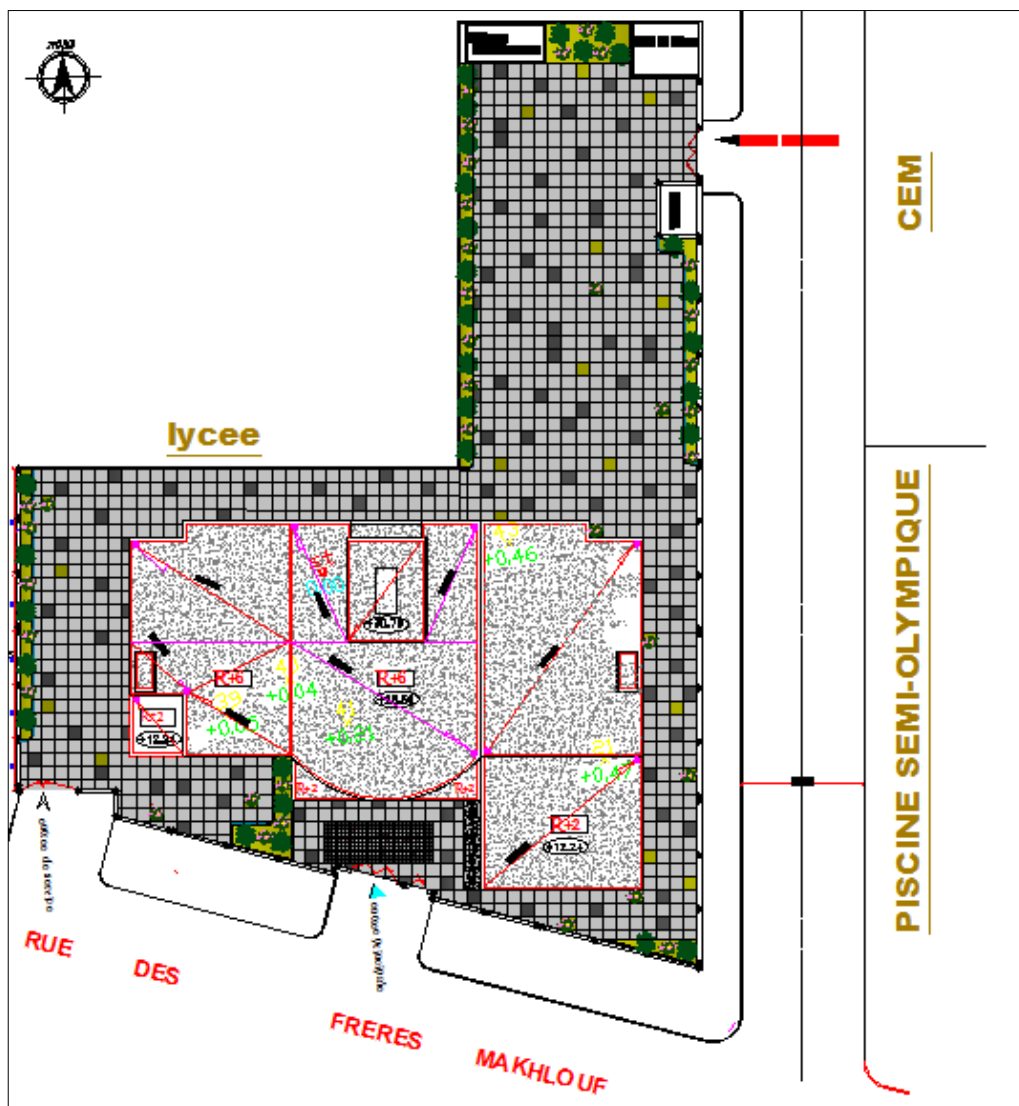


Figure 36 : Plan de masse de la bibliothèque
Source : BET DUA (Design, Architecture et Urbanisme)

I-2-2-Organisation spatiale

-**Au sous sol** se trouvent les magasins, locaux de maintenance et d'entretien ainsi qu'une salle d'archives.

-**Le RDC** comporte la réception, ainsi qu'une salle de lecture pour enfants et une cafeteria qui se développent sur deux niveaux.

-**Au 1^{er} étage** se trouve une salle de lecture pour collégiens ainsi qu'un labo de langues et une salle internet.

-**Le deuxième étage** est réservé à l'administration, celui-ci est composé essentiellement de bureaux, d'une salle de réunions ainsi que d'une grande salle de conférences.

-**Au 3^{eme} étage** se développe une grande salle de lecture, une salle de prêts, une salle d'animation ainsi qu'une salle pour non voyants

-**Au 4^{eme} étage** se trouve une grande salle de lecture et une salle et son rayonnage.

-**Le 5^{eme} étage** dédié à la recherche comporte une salle de lecture pour étudiants, une salle de recherche ainsi qu'une salle des périodiques.

-**Enfin au 6^{eme}** sont repartis les magasins.

-Circulation verticale:

3 escaliers, un ascenseur ainsi que deux montes charges assurent la circulation verticale et relient les niveaux entre eux.



Figure37 : espaces de la bibliothèque, salle de lecture enfants, salle de conférences, salle informatique, et salle de lecture.

Source : Auteur

I-2-3-Dispositifs d'éclairage naturel

Les espaces de la bibliothèque sont éclairés latéralement.

Façade SUD : l'éclairage naturel est assuré par de grandes baies vitrées au RDC, 1^{er}, et 2^{eme} étages. Le reste de la façade est entièrement vitré.



Figure 38 : dispositif d'éclairage naturel de la bibliothèque (Façade SUD)
Source : Auteur

Façade NORD: Une constellation d'ouvertures de (0.4x1.5m) composent et rythment la façade, un mur rideau verticale éclaire les escaliers.



Figure 39 : dispositif d'éclairage naturel de la bibliothèque (Façade NORD)
Source : Auteur

Façade EST : l'éclairage naturel est assuré par de grandes baies vitrées au 1^{er} et 2^{eme} étage, deux murs rideau verticaux éclairent les salles de lecture ainsi que la cage d'escalier.



Figure 40 : dispositif d'éclairage naturel de la bibliothèque (Façade EST)
Source : Auteur

Façade OUEST : l'éclairage est assuré par des impostes.

I-3-Présentation de la salle de lecture

I-3-1-Choix de la salle de lecture:

Pour notre étude, nous avons choisi la salle de lecture du 3eme étage.

Les critères de choix de cette salle sont :

- 1-Forme et géométrie : la salle se développe en trois parties.
- 2-Orientation sud.
- 3-Disposition des prises de jour latérales : la salle est éclairée par le sud, l'est et l'ouest.
- 4-Forme et dimension des ouvertures.
- 5-Présence du moucharabieh qui couvre le mur rideau de la partie centrale de la salle.

I-3-2-forme et géométrie :

La salle de lecture se trouve au 3eme étage. « Voir partie graphique : présentation de la salle de lecture ».Et se développe en trois parties (A, B, C).

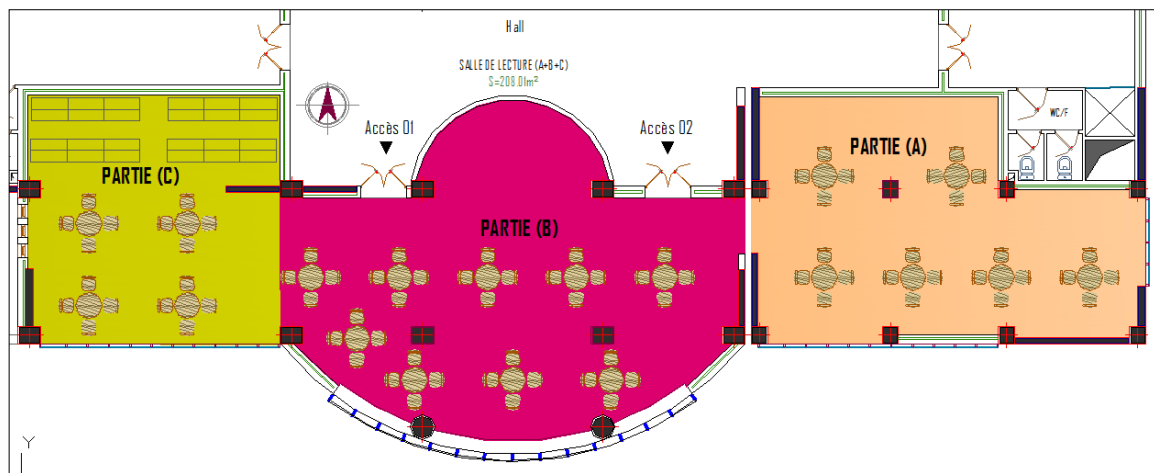


Figure 41 : parties A,B,C de la salle de lecture
Source : BET DUA, retouchée Auteur

Les caractéristiques géométriques de la salle de lecture, sont inscrites dans le tableau ci-dessous.

	Parti A	Partie B	Partie C
Surface	71.08m ²	102 m ²	58 m ²
Longueur	11.85m	13.25m	8.25m
Profondeur	7.25m	7.71m	7.6m
Hauteur sous plafond	3m	3m	3m

Tableau : Caractéristiques géométriques de la salle de lecture

I-3-3 - Dispositifs d'éclairage naturel de la salle de lecture

Partie A :

L'apport de la lumière se fait latéralement par deux murs rideaux :

- Un mur rideau orienté SUD, disposé à 0.88m du sol, d'une dimension de (3.5x2.2m)
- Un mur rideau orienté EST d'une dimension de (2.67x3m).



Figure 42 : mur rideau sud de la partie A
Source : Auteur



Figure 43 : mur rideau est de la partie A
Source : Auteur

Partie B :

L'apport de la lumière se fait par un mur rideau orienté SUD (12x2.2m) disposé à 0.70m du sol, sur le quel sont plaqués des moucharabiehs (double peau).



Figure 44 : mur rideau sud de la partie B
Source : Auteur

Partie C :

L'apport de la lumière se fait latéralement à travers un mur rideau orienté SUD (8.1x3m).

Et d'impostes verticales (0.4x1.5) disposées à une hauteur de 1.10m du sol orientées à l'OUEST.



Figure 45 : dispositif d'éclairage naturel de la partie C
Source : Auteur

Caractéristiques du vitrage :

Double vitrage de type « stopray » verre à contrôle solaire, d'une épaisseur de 22mm (2 verres de 4 mm d'épaisseur séparés d'un espace de 15 mm).

Couleur du substrat bleu (Indigo)

Ce type de vitrage combine sa fonction antisolaire avec une haute transmission lumineuse.

Il est dit « sélectif » car il exerce principalement son action réfléchissante sur les rayons invisibles (UV et infrarouges) mais laisse pénétrer à l'intérieur un maximum de rayons visibles du soleil (la lumière).

	Conduction thermique (U)	Réflexion lumineuse	Transmission Lumineuse (TL)	Facteur Solaire (FS)	Sélectivité
Stopray	1.1	8	49	29	1.69

Tableau : Caractéristiques du vitrage « stopray bleu indigo ». Source: www.agc-glass.eu/

La conductivité thermique du vitrage est définie comme la quantité de chaleur traversant en une seconde un panneau de 1 m d'épaisseur et d'une surface de 1 m², lorsqu'il existe une différence de température de 1°C entre les deux surfaces de 1 m².

La réflexion lumineuse d'un vitrage est la fraction de lumière incidente qui est réfléchie par le vitrage.

La transmission lumineuse : Exprime le pourcentage de lumière, donc de rayons visibles, transmis par le vitrage.

Le facteur solaire : exprime le pourcentage total d'énergie, donc de chaleur, qui traverse ce vitrage.

La sélectivité du vitrage exprime le rapport entre sa transmission lumineuse et son facteur solaire. Plus ce rapport s'approche de 2, plus le vitrage est sélectif.

Structure du mur rideau :

-Le vitrage est monté sur des profilés en aluminium extrudé de couleur grise.



Figure 46 : structure du mur rideau :
Profilés en aluminium extrudé de couleur grise
Source : Auteur

Caractéristiques du moucharabieh

- Le moucharabieh industriel et décoratif de couleur bronze.
- Les panneaux en aluminium : (0.86x1.35m) et de 2mm d'épaisseur.
- Le maillage du moucharabieh présente une alternance entre le vide et le plein dessinant ainsi un motif traditionnel en hommage à l'architecture locale.

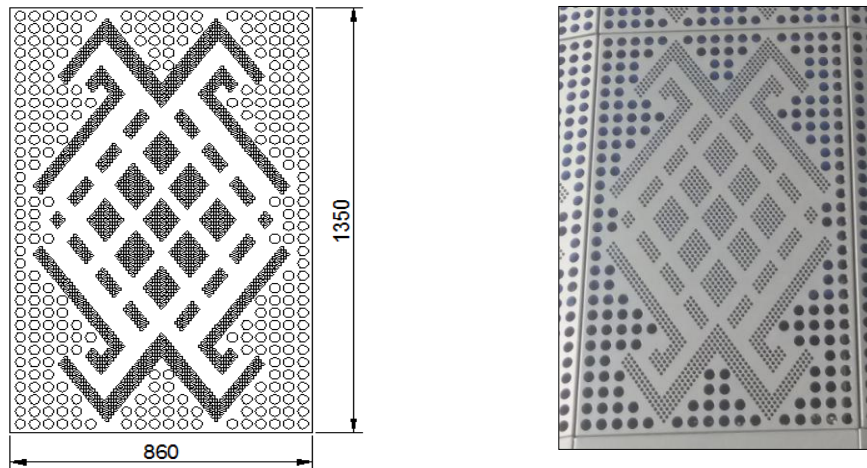


Figure 47 : maillage du moucharabieh de la bibliothèque de lecture publique de TIZI OUZOU
Source : Auteur

I-3-4- Aménagements intérieurs :

Les parois intérieures sont de couleur blanche, représentant une texture mate a semi brillante.

Les faux plafonds sont peints en blanc, tandis que le sol est recouvert de carreaux en dalle de sol de texture mate et de couleur grise.

Quant au mobilier, les tables ainsi que le rayonnage en MDF de couleur claire (beige).

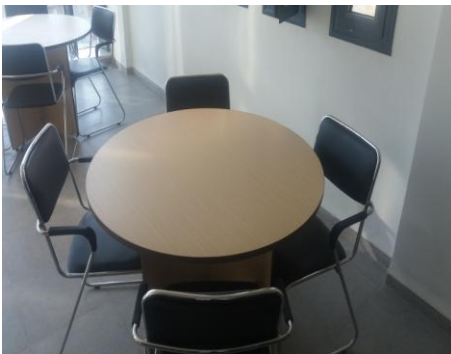


Figure 48 : mobilier de la salle de lecture de la bibliothèque de TO
Source : Auteur



Figure 49 : sol de la salle de lecture de la bibliothèque de TO
Source : Auteur



Figure 50: faux plafond de la salle de lecture de la bibliothèque de TO
Source : Auteur

II-Évaluation de l'environnement lumineux de la salle de lecture.

La mise en lumière des bâtiments est l'une des composantes essentielles de l'acte de projection architecturale. La complexité des phénomènes en jeux, trop souvent vécus comme une contrainte supplémentaire, peut aujourd'hui être abordée avec succès au moyen des nouveaux outils de conception et de dimensionnement issus de la recherche, mis à la disposition des architectes. Ceux-ci se révèlent comme étant des supports à leur créativité et permettent de renforcer la cohérence de leurs choix.

Les décisions importantes en matière d'éclairage doivent être prises très tôt dans le projet, le simple bon sens dicte cela. Tout retard dans la prise en considération de ces problèmes abouti généralement à des compromis insatisfaisants à bien des égards.

A l'inverse, l'intégration de ces préoccupations dès la phase d'avant projet permet d'enrichir considérablement le projet d'éclairage.

La caractérisation de la qualité visuelle d'un environnement lumineux se limite généralement à l'examen de certaines conditions de confort visuel. Cependant, plusieurs études ont montré que l'appréciation de cette notion de qualité faisait appel à de nombreuses autres dimensions de l'espace perceptif.

II-1-Paramètres de l'environnement lumineux à investiguer

A travers ce point nous allons essayer d'identifier les paramètres liés à la qualité d'un environnement lumineux.

En éclairage artificiel, il est généralement admis que l'éclairement, la luminance, la répartition de la luminance (contraste entre les surfaces), l'uniformité, le contrôle de l'éblouissement, le papillotement des tubes fluorescents et la répartition de la puissance spectrale sont les dimensions importantes de l'environnement lumineux. **(Veitch et Newsham 1996)**

En ce qui concerne l'éclairage naturel, **(Ruck et al. 2000)** dressent une liste des principaux paramètres à investiguer. Généralement, une bonne visibilité se définit par la présence d'une quantité adéquate de lumière permettant à l'occupant d'accomplir ses tâches, une distribution uniforme de l'éclairement et de la luminance, l'absence d'éblouissement et une directivité de la lumière permettant de bien découper les objets dans l'espace.

II-2-Méthodes et outils d'évaluation d'un environnement lumineux :

Il existe plusieurs méthodes de prédiction et d'évaluation de l'éclairage naturel dans le bâtiment :

- Utilisation des maquettes : le premier des outils de prise en compte de la lumière naturelle et aussi celui qui est le plus familier aux architectes: il s'agit des maquettes à échelle réduite .celles ci permettent de visualiser rapidement les ambiances lumineuses internes.

- Les méthodes de simulation informatique : les outils informatiques offrent l'avantage de permettre la modélisation de n'importe quel type de géométrie, avec une excellente précision. De plus, les outils les plus performants sont organisés autour de bases de données photométriques incluant la plupart des matériaux utilisés dans le bâtiment, ce qui simplifie considérablement la modélisation.

- Les méthodes de calcul basées sur l'usage de formules et d'équations mathématiques.

- Les méthodes graphiques.

- Les mesures sur modèle réel.

Choix de la méthode :

Dans notre étude, l'outil d'investigation utilisé pour l'analyse de l'environnement physique de la salle de lecture, est la « **mesure sur modèle réel** » des performances lumineuses du dispositif d'éclairage naturel, en excluant totalement les apports de l'éclairage électrique dans ces locaux.

Notre approche consiste en une analyse quantitative et qualitative de l'environnement lumineux de la salle.

II-3-Description de la méthode utilisée lors de l'expérimentation

II-3-1-Mesures effectuées

Les mesures effectuées in situ sont:

- Le niveau d'éclairement lumineux extérieur global (Ex) sur un plan horizontal totalement dégagé, représenté par l'esplanade de la bibliothèque.
- Les éclairements lumineux horizontaux intérieurs (Ei) en un certain nombre de points de références de chaque partie de la salle de lecture, et ce pour des plans situés à une hauteur de 75 cm.

II-3-2-Choix des points de mesure

Pour décrire la photométrie d'un local, il faut effectuer diverses mesures ponctuelles d'éclairement dans la zone de travail.

Le choix des points de mesure à l'intérieur des salles de lecture obéit à une grille tracée selon la disposition des plans de travail (tables) et des ouvertures (latérales).

- La partie A : six points de mesure.
- La partie B : neuf points de mesure.
- La partie C : quatre points. Voir partie graphique « choix des points de mesure ».

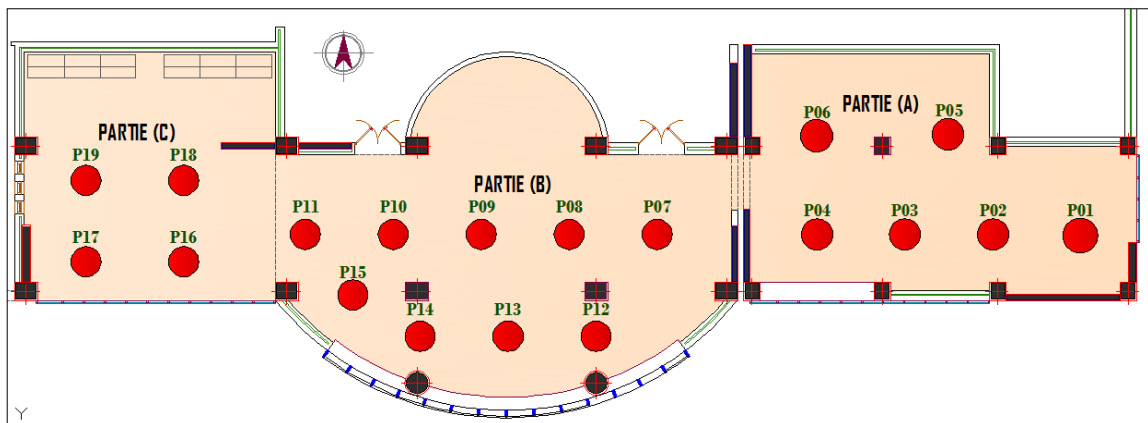


Figure 51: Répartition des points de mesure dans les parties A, B, C.

Source : BET DUA, retouché Auteur

II-3-3-Instrumentation

Les mesures des niveaux d'éclairement lumineux sont réalisées à l'aide d'un « luxmètre » qui est un capteur permettant de mesurer simplement et rapidement l'éclairement dans le spectre visible. La mesure est absolue et non relative. L'unité de mesure est le lux.

Principe de fonctionnement : Les luxmètres fonctionnent selon le principe d'une cellule photovoltaïque ; un circuit intégré reçoit une certaine quantité de lumière (photons constituant le « signal » qui est une énergie de rayonnement) et la transforme en signal électrique (signal analogique). Ce signal est visualisé par l'affichage d'un chiffre. Les luxmètres peuvent avoir plusieurs échelles pour s'adapter aux faibles ou fortes luminosités (jusqu'à plusieurs dizaines de milliers de lux).

Des prises de photos à l'aide d'un appareil photo numérique ont accompagné les prises de mesures, afin d'apprécier l'ambiance lumineuse qui règne dans la salle. (Voir fiche technique annexe)



Figure 52 : Luxmètre
Source ; <http://itos-mesure.fr>

II-3-4-Conditions de prise des mesures

- Les mesures d'éclairement lumineux ont été effectuées in situ en une seule journée, celle du 15 Août 2016.
- Pendant la journée de prise, nous avons effectué les mesures à deux horaires différents de la journée : à 11GMT, à 17GMT afin d'examiner le changement journalier de la lumière naturelle, qui est strictement dépendant du mouvement des rayons solaires.
- Les mesures ont été effectuées sous un ciel clair et complètement dégagé.
- Les fenêtres de la salle fermées.
- L'éclairage artificiel exclu.
- Le luxmètre positionné horizontalement au centre du plan de travail (table).
- L'éclairement extérieur global mesuré (coté sud) correspond à l'éclairement diffus du ciel (évitant le rayonnement directe).

II-3-5-Difficultés rencontrées sur le terrain

Comme dans tous les travaux de recherche, nous nous sommes heurtés à un certains nombre de difficultés sur le plan pratique, (à savoir le terrain) où nous manquions d'instruments de mesure (luxmètre) en plus de l'inaccessibilité aux salles de lecture qui ne sont pas encore fonctionnelles.

II-3-6-Déroulement des mesures

-Nous avons d'abord effectué des mesures de l'éclairement lumineux horizontal extérieur sur l'esplanade de la bibliothèque (coté sud).

-Ensuite, nous avons effectué les mesures d'éclairements horizontaux intérieurs au niveau des trois parties de la salle (A, B, C).

-A chaque prise, les mesures duraient environ 30 minutes entre la partie A et C, soit dix (10) minutes pour chaque partie : ne disposant que d'un seul luxmètre, les mesures n'ont pas pu être effectuées simultanément comme il est recommandé de le faire.

- Toutes les mesures étaient transcrites manuellement sur les plans de la salle.

-Des photos accompagnaient les prises de mesures afin d'évaluer l'ambiance intérieure de la salle.

II-3-7-Traitement des donnés

Après avoir effectué ces mesures, nous avons retranscrit les valeurs d'éclairement sous forme de tableaux et nous avons calculé les valeurs suivantes :

A) Les iso facteurs de lumière du jour FLJi :

Le FLJ est le rapport de l'éclairement naturel intérieur reçu en un point d'un plan de référence (la table) à l'éclairement extérieur simultané sur une surface horizontale en site parfaitement dégagé.

$$\text{FLJ (\%)} = (\text{Ei/Ex}) \times 100 \dots\dots(\text{EQ5}) (\text{ROULET,Claude Alain 1987})$$

Ei : éclairement lumineux horizontal intérieur.

Ex : éclairement lumineux horizontal extérieur.

B) Le facteur de lumière du jour moyen (FLJmoy)

La valeur correspond à la moyenne arithmétique des valeurs ponctuelles du Flj, soit :

$$\text{FLJ moyen} = \Sigma \text{Flji}/n \dots\dots(\text{EQ6}) \text{ (ROULET, Claude Alain 1987)}$$

Flji : iso facteur de lumière du jour.

n : le nombre de point de mesure.

C) L'éclairement moyen général (Emoy)

Il correspond à la moyenne arithmétique des éclairements intérieurs (Ei) relevés en un certain nombre de points significatifs de la salle.

(n) étant le nombre de point de mesure.

$$\text{E moyen} = \Sigma \text{Ei}/n \dots\dots(\text{EQ7})^7$$

D) L'indice d'uniformité (Iu)

Il correspond au rapport de l'éclairement minimum (Emin), sur l'éclairement moyen général (Emoy), soit :

$$\text{Iu} = \text{Emin} / \text{Emoyen} \dots\dots(\text{EQ8})^8$$

⁷ **Association Française de l'Éclairage**. Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires.
Paris : LUX. 1987, p 34.

⁸ **Association Promotelec**. : Cahier des prescriptions. Paris : Promotelec. Septembre 2002, p 5.

II-4-Présentation et interprétation des résultats des mesures :

Comme nous l'avons mentionné précédemment, les mesures d'éclairement lumineux ont été effectuées in situ en une seule journée, celle du 15 Août 2016 (Période estivale).

Pendant la journée de prise, nous avons effectué les mesures à deux horaires différents de la journée à savoir : 11GMTet 17GMT. Sous les conditions de ciel clair et complètement dégagé. Les résultats des mesures sont présentés sous forme de plans et de tableaux pour une lecture plus aisée.

II-4-1-Résultats des mesures à 11GMT :

A) Climat lumineux horizontal extérieur: sa valeur correspond à l'éclairement diffus du ciel : **Ex=20 000 Lux.**

B) L'éclairement horizontal dans la salle sous un ciel clair et dégagé d'été à 11GMT.

Les mesures affichées en plan correspondent aux niveaux de l'éclairement horizontal mesurés au centre de chaque plan de travail. Voir partie graphique « Niveaux d'éclairement horizontal à 11GMT ».

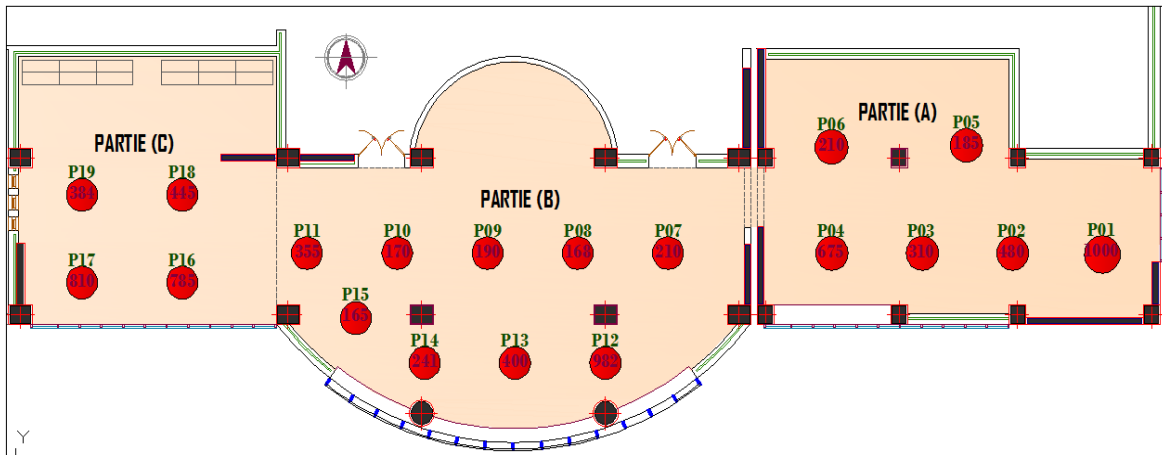


Figure 53 : Niveaux d'éclairement horizontal, à l'intérieur de la salle de lecture à 11GMT.

Unité : **Lux**

Source : BET DUA, retouché Auteur

C) Les facteurs de lumière du jour dans la salle sous ciel clair et dégagé d'été à 11h GMT.

Les mesures affichées en plan correspondent aux niveaux des iso facteurs de lumière du jour calculés sur chaque point de mesure de la salle. Voir partie graphique « Valeurs du facteur de lumière du jour à 11GMT »

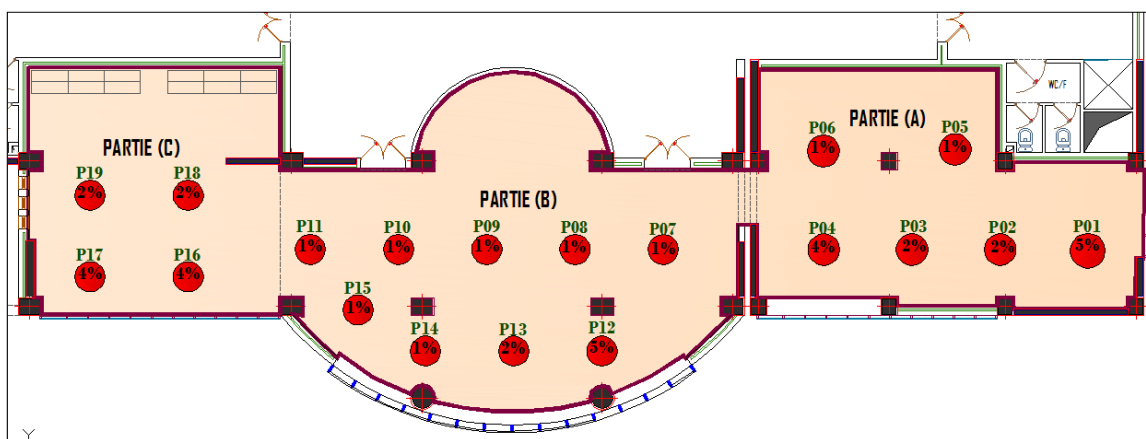


Figure 54 : Valeurs du facteur de lumière du jour, à l'intérieur de la salle de lecture à 11GMT.
Source : BET DUA, retouché Auteur

Le tableau ci-dessous donne un aperçu de l'impression visuelle ressentie en fonction de la valeur du facteur de lumière du jour mesurée à 11 GMT.

<u>Partie</u>	<u>Valeur FLJ</u>	<u>Zone considérée</u>	<u>Impression visuelle de la zone</u>
<u>A</u>	1% à 2% (faible)	Parois opaques et zones éloignées des fenêtres	Sombre à peu éclairée
	4% à 5% (moyen)	À proximité du mur rideau sud et mur rideau est	Peu éclairé à clair
<u>B</u>	1% (faible)	Axe de la salle (milieu)	Sombre à peu éclairée
	1% à 2% (faible)	À proximité du mur rideau +moucharabieh	Sombre à peu éclairée
	5% (moyen)	À proximité du mur rideau sans moucharabieh	Claire
<u>C</u>	4% (moyen)	À proximité du mur rideau sud	claire
	2% (faible)	À proximité des ouvertures ouest et au milieu de la salle	Sombre à peu éclairée

D) L'éclairement moyen général (E moy) dans la salle sous ciel clair et dégagé d'été à 11h GMT.

$$E \text{ moyen} = \Sigma E_i / n$$

Le tableau ci-dessous donne les valeurs de l'éclairement moyen calculées pour chacune des trois parties de la salle de lecture.

	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>SALLE DE LECTURE</u>
E moyen	477Lux	320Lux	606Lux	340Lux

E) L'indice d'uniformité (Iu) dans la salle sous ciel clair et dégagé d'été à 11h GMT.

$$I_u = E_{\min} / E_{\text{moyen}}$$

Le tableau ci-dessous donne les valeurs de l'indice d'uniformité de l'éclairage naturel calculé pour chacune des trois parties de la salle de lecture.

	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>SALLE DE LECTURE</u>
Iu	0.4	0.5	0.6	0.5

II-4-2-Résultats des mesures à 17GMT

A) Climat lumineux horizontal extérieur: sa valeur correspond à l'éclairement diffus du ciel : **Ex=15 000 Lux.**

B) L'éclairement horizontal dans la salle sous ciel clair et dégagé d'été à 17GMT.

Les mesures affichées en plan correspondent aux niveaux d'éclairement horizontal mesurés au centre de chaque plan de travail. Voir partie graphique « Niveaux d'éclairement horizontal à 17GMT ».

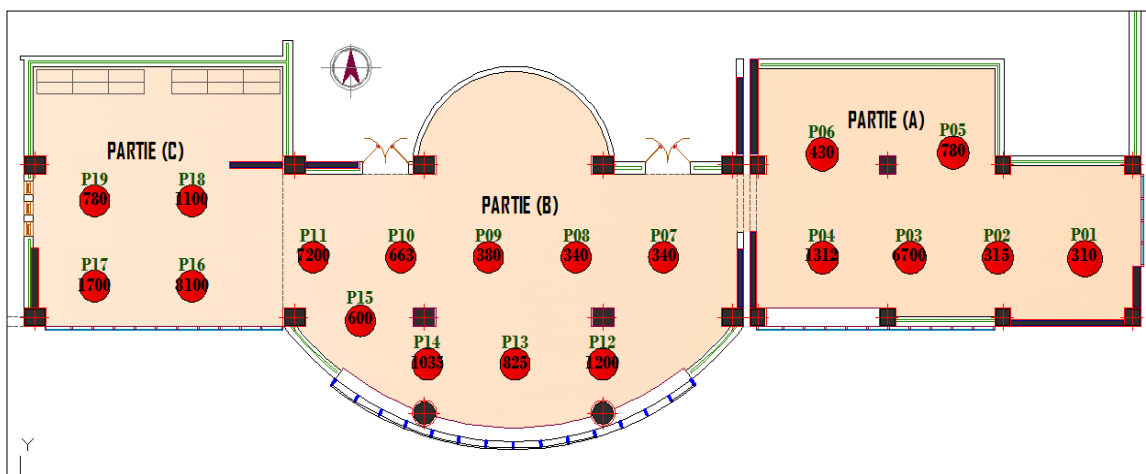


Figure 55 : Niveaux d'éclairage horizontal, à l'intérieur de la salle de lecture à 17GMT.

Unité : **Lux**

Source : BET DUA, retouché Auteur

C) Les facteurs de lumière du jour dans la salle sous ciel clair et dégagé d'été à 17 GMT.

Les mesures affichées en plan correspondent aux niveaux des iso facteurs de lumière du jour calculés sur chaque point de référence de la salle. Voir partie graphique « Valeurs du facteur de lumière du jour à 17GMT »

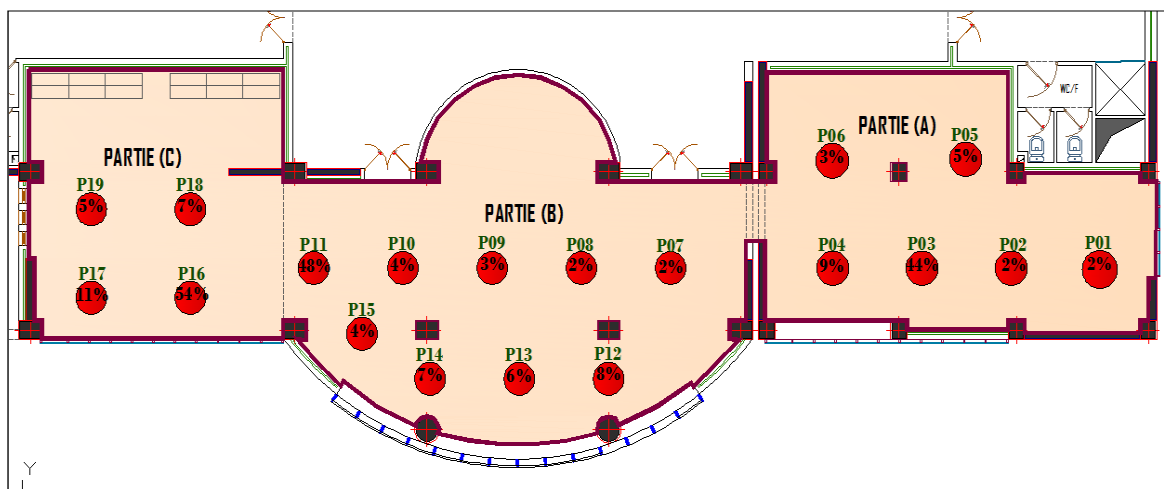


Figure 56 : Valeurs du facteur de lumière du jour, à l'intérieur de la salle de lecture à 17GMT.

Source : BET DUA, retouché Auteur

Le tableau ci-dessous donne un aperçu de l'impression visuelle ressenti en fonction de la valeur du facteur de lumière du jour mesurée à 17 GMT.

<u>Partie</u>	<u>Valeur FLJ</u>	<u>Zone considérée</u>	<u>Impression visuelle de la zone</u>
<u>A</u>	2% à 5% (moyen)	Parois opaques et zones du fond éloignées des fenêtres. À proximité du mur rideau est	Claire
	44 % (très élevé)	À proximité du mur rideau sud.	Très claire
<u>B</u>	2% à 4% (modéré)	Axe de la salle (milieu)	peu éclairée à claire
	4% à 8% (moyen a élevé)	À proximité du mur rideau +moucharabieh	Claire
	48% (très élevé)	Zone entre les deux parties B et C	Très Claire
<u>C</u>	5% à 7% (moyen)	À proximité des impostes ouest et au milieu de la salle	claire
	11% (élevé)	Angle.....	Sombre à peu éclairée
	54% (très élevé)	À proximité du mur rideau sud.	Très claire

D) L'éclairement moyen général (E moyen) dans la salle sous ciel clair et dégagé d'été à 17h GMT.

$$E \text{ moyen} = \Sigma E_i / n$$

Le tableau ci-dessous donne les valeurs de l'éclairement moyen calculées pour chacune des trois parties de la salle de lecture à 17GMT.

	A	B	C	SALLE DE LECTURE
Emoyen	1641Lux	1400Lux	2900Lux	1800Lux

E) L'indice d'uniformité (Iu) dans la salle sous ciel clair et dégagé d'été à 17h GMT.

$$I_u = E_{\min} / E_{\text{moyen}}$$

Le tableau ci-dessous donne les valeurs de l'indice d'uniformité de l'éclairage naturel calculées pour chacune des trois parties de la salle de lecture à 17GMT.

	A	B	C	SALLE DE LECTURE
Iu	0.2	0.2	0.3	0.2

Pour résumer ces résultats, le tableau ci dessous dresse les valeurs comparatives mesurées ou calculées pour les deux horaires.

Heure	partie	points	EH Lux	Iso FLJ	Em Lux	FLJm	Iu
11GMT	Partie A	1	1000	5%	477	2.5%	0.4
		2	480	2%			
		3	310	2%			
		4	675	4%			
		5	185	1%			
		6	210	1%			
	Partie B	7	210	1%	320	2%	0.5
		8	168	1%			
		9	190	1%			
		10	170	1%			
		11	335	1%			
		12	982	5%			
		13	400	2%			
		14	241	1%			
		15	165	1%			
	Partie C	16	785	4%	606	4%	0.6
		17	810	4%			
		18	445	2%			
		19	384	2%			
	SALLE				430	2%	0.5
17GMT	Partie A	1	310	2%	1641	11%	0.2
		2	315	2%			
		3	6700	44%			
		4	1312	9%			
		5	780	5%			
		6	430	3%			
	Partie B	7	340	2%	1400	9%	0.2
		8	340	2%			
		9	380	3%			
		10	663	4%			
		11	7200	48%			
		12	1200	8%			
		13	825	6%			
		14	1035	7%			
		15	600	4%			
	Partie C	16	8100	54%	2900	19%	0.3
		17	1700	11%			
		18	110	7%			
		19	780	5%			
	SALLE				1800	12%	0.2

Tableau : comparaison des résultats des mesures à 11GMT et 17GMT

II-5-Analyse des résultats des mesures.

La notion du confort visuel est évoquée par des normes et des recommandations qui précisent des valeurs limites au delà desquelles le sujet éprouvera une sensation d'inconfort visuel. Ces données sont significatives pour la pratique de la conception mais leurs aspects quantitatifs sont partiels et ne nous semblent pas suffisants pour la description et l'évaluation complète d'un dispositif d'éclairage.

Pour cela, nous avons procédé à une analyse à la fois quantitative et qualitative de l'environnement lumineux de la salle de lecture.

L'analyse quantitative s'appuie sur deux indicateurs :

1. Le facteur de lumière du jour.
2. L'éclairement lumineux

Quant à l'analyse qualitative, elle s'appuie sur trois indicateurs :

1. L'uniformité de l'éclairage.
2. L'absence d'éblouissement.
3. L'absence d'ombre gênante.

II-5-1-Analyse quantitative de l'éclairage naturel de la salle de lecture:

Pour l'analyse quantitative, nous allons nous appuyer sur la revue des normes que nous avons étudiées précédemment.

A) Facteur de lumière du jour FLJ :

Il est important de rappeler, d'une part, que le facteur de lumière du jour minimum (FLJ min) recommandé dans une salle de lecture est de 2% (**label HQE**). A partir de cette donnée, nous avons constaté que :

A 11GMT : Les facteurs de lumière du jour minimum dans les trois parties de la salle sont inférieurs à 2% (évalués à 1%).

A 17GMT : les valeurs du FLJ min sont évaluées à 2%.

D'autre part, le facteur de lumière du jour moyen (FLJ moyen) recommandé dans une salle de lecture est de 5% (**label QHE**). A partir de cette recommandation, nous avons constaté que:

A11GMT : Le facteur de lumière du jour moyen dans les parties (A, B, C) est inférieur à 5% (évalué à 2,5%, 2%, et 3%).

A17GMT : Le facteur de lumière du jour moyen dans les parties (A, B, C) est supérieur à 5% (évalué à 11%, 9%, et 19%).

Nous avons observé que l'éclairage naturel des trois parties de la salle est « Contrasté » à 17GMT. En effet, ces espaces disposent de zones lumineuses et de zones d'ombre suffisamment différenciées pour être visuellement distinguées.

En termes physiques, cette différence correspond à des écarts de facteurs de lumière du jour supérieurs à 5%.

Ici, la pénétration de la lumière solaire directe a tendance à provoquer d'importants contrastes, surtout dans la partie C (FLJm=19%) à cause de l'angle d'incidence du soleil et de la surface du vitrage qui s'étend sur toute la paroi sud.

Alors qu'à 11GMT le soleil est haut dans le ciel donc la lumière qui pénètre dans la salle est diffuse.



Figure 57: comparaison de l'ambiance lumineuse de la salle de lecture à 11GMT (1) et à 17GMT (2)

Source : Auteur

B) Éclairage lumineux

Avant dévaluer l'éclairage lumineux de la salle de lecture nous allons dresser un tableau comparatif des valeurs mesurées dans cette dernière à des horaires différentes de la journée à savoir (11GMTet 17GMT) et ce pour les trois parties (A, B, et C).

Heure	Partie A	Partie B	Partie C	Salle de lecture
11GMT	477	320	606	430
17GMT	1641	1400	2900	1800

En nous basant sur le fait que l'éclairage moyen général recommandé par la norme **NBN EN 12464-1** est de **500 Lux pour les salles de lecture**, nous pouvons relever les points suivants :

A 11GMT : l'éclairage lumineux moyen est suffisant dans les parties **A** et **C** évalué à **(477 et 606 Lux)**, ceci est du à la pénétration de la lumière diffuse à travers les murs rideaux orientés **(sud et est pour la partie A), (sud pour la partie C)**.

En ce qui concerne la **(partie B)**, l'éclairage lumineux moyen demeure insuffisant **(320Lux)**, ceci est expliqué par la présence du moucharabieh plaqué sur la surface du mur rideau, qui intercepte la lumière et empêchant le rayonnement solaire de pénétrer dans l'espace, ce qui peut entraîner une fatigue en exécutant les tâches visuelles.

Nous constatons donc que, suite à la directivité de la lumière naturelle, la partie ouest(C) de la salle, ainsi que la partie est (A) sont toujours éclairées que la partie centrale (B), et que les éclairages lumineux horizontaux sur plans utiles baissent à proximité des parois internes et au fonds de ces parties.

A 17GMT : l'éclairage lumineux est excessif dans les trois parties et atteint 2900 lux pour la partie (C), ceci est du à la pénétration du rayonnement solaire directe à travers le mur rideau oriente sud et les ouvertures ouest.

En résumé, nous pouvons dire que la position du soleil dans le ciel influe sur les niveaux d'éclairage. En effet à **11GMT** le soleil est haut dans le ciel (**H=62.6°**), la lumière est donc diffuse. À **17GMT**, quand le soleil est plus bas, (**H=30.6°**) le rayonnement solaire est direct.

NB : Le mur rideau orientés vers l'est de la partie(A), laisse pénétrer la lumière solaire directe durant toute la matinée ce qui provoque des éclairements excessifs (sources d'éblouissements).

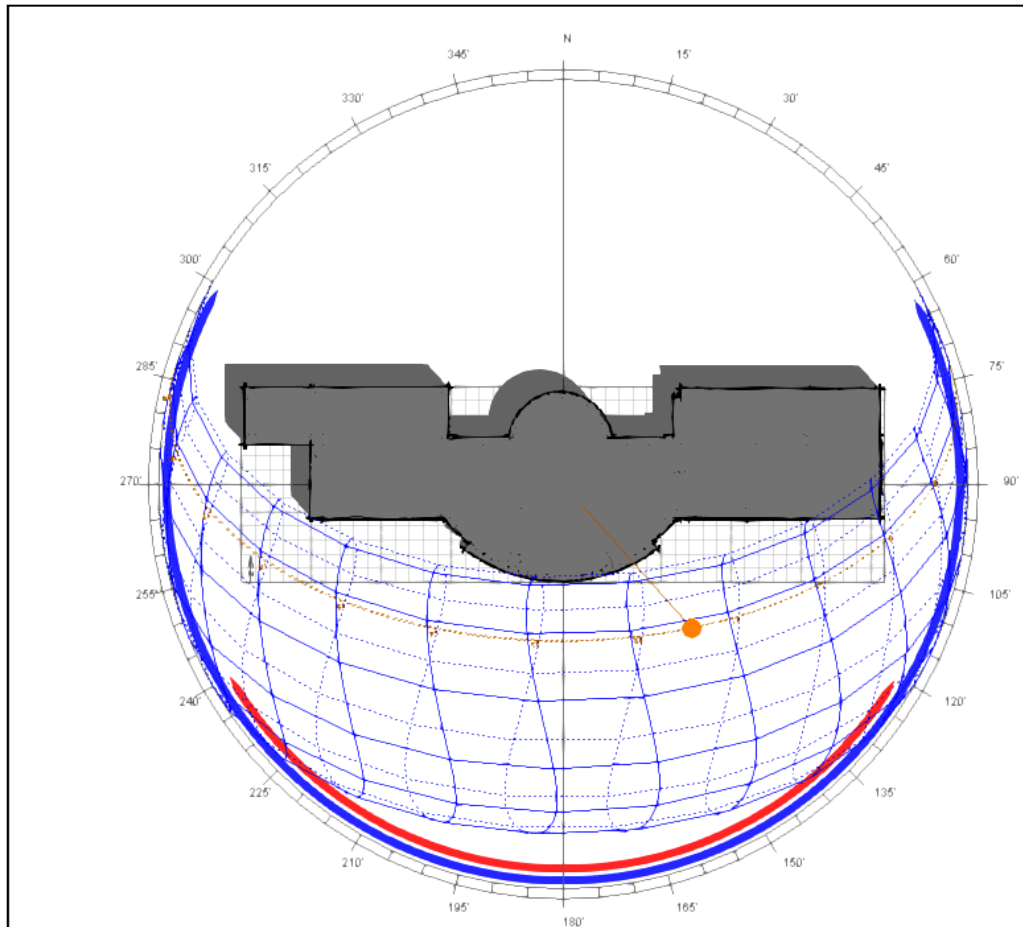


Figure58 : Diagramme solaire stéréographique : Position du soleil le mois d'Aout à 11 GMT
Angle azimutal= 135.5° Hauteur du soleil=62.6°
Source : Autodesk Ecotect Analysis 2011

Les murs rideaux orientés au sud laissent pénétrer la lumière directe, de fin de journée ce qui provoque des éclairagements excessifs (2900lux) et des contrastes importants qui conduisent souvent à une sensation d'inconfort.

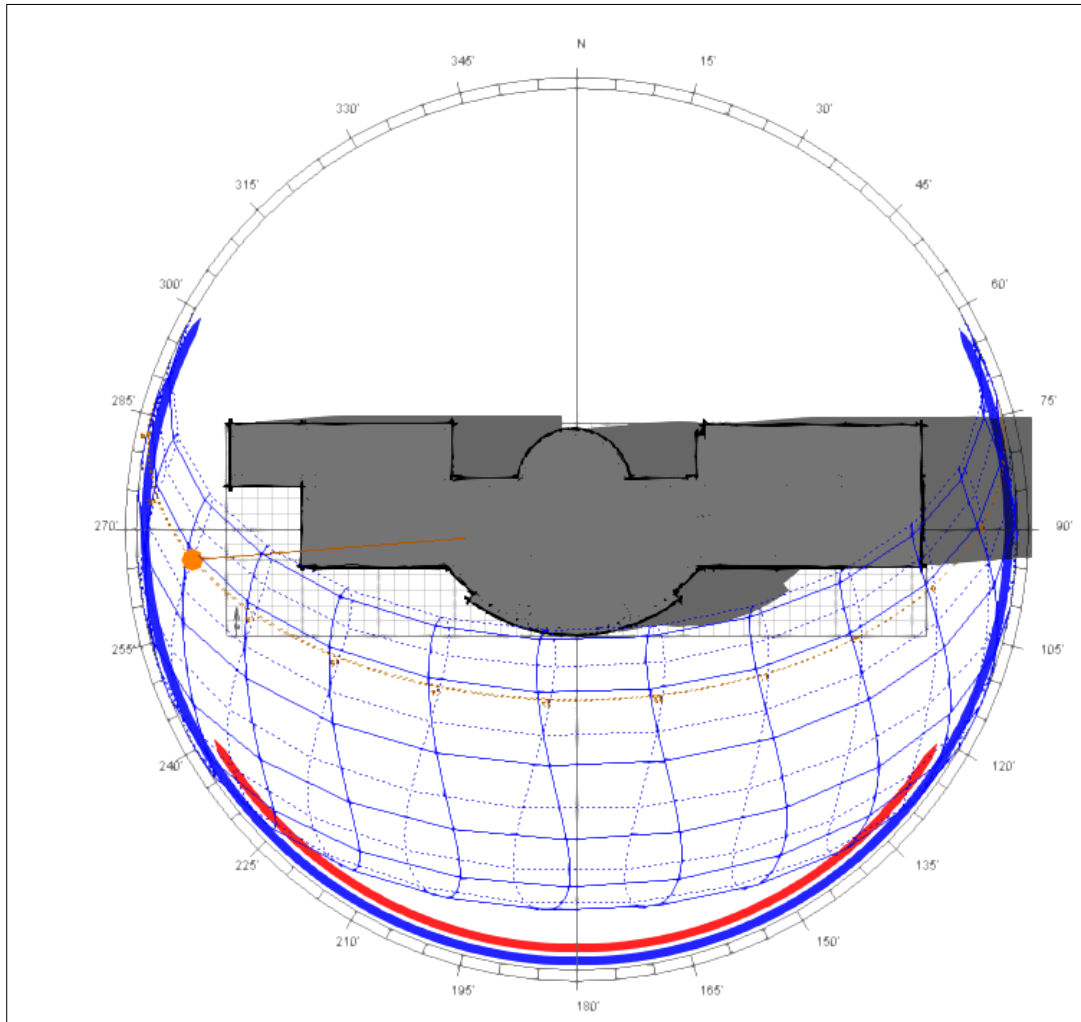


Figure 59 : Diagramme solaire stéréographique : Position du soleil le mois d'Aout à 17 GMT
Angle azimutal= -93.3° (266.7) Hauteur du soleil=30.6°
Source : Autodesk Ecotect Analysis 2011

Conséquence de cet ensoleillement direct, nous avons observé sur les parois de la salle, l'effet de « tâches solaires », car la pénétration directe des rayons solaires à l'intérieur de cette dernière génère des motifs d'ombres et de lumière qui se projettent sur le sol, les murs, ainsi que sur les plans de travail.

Ces tâches évoluent et changent de position, selon l'angle d'incidence des rayons solaires. Ces jeux de tâches solaires constituent un intéressant moyen d'utiliser la lumière naturelle et en particulier la lumière solaire directe pour transformer et articuler l'espace de manière dynamique⁹. Mais elles sont surtout des sources d'inconfort visuel intense. Mais aussi d'inconfort thermique, chose constatée lors de notre présence sur les lieux.



Figure 60 : Taches solaires dues au rayonnement solaire direct.
Source : Auteur

⁹ **Laboratoire CERMA.** « Jeux de tâches solaires ». Ecole d'Architecture de Nantes [En ligne]
<http://audience.cerma.archi.fr/cerma/pageweb/effet/jts.html>

II-5-2-Analyse qualitative de l'éclairage naturel de la salle de lecture:

A) Analyse de l'uniformité de l'éclairage naturel:

En se référant aux valeurs requises par la norme **NBN EN 12464-1**, l'indice de l'uniformité de l'éclairage (**U_0**) dans les salles de lecture doit être supérieur ou égal à **0,6**. Voici un tableau comparatif des valeurs mesurées dans cette dernière à des horaires différentes de la journée à savoir (**11GMTet 17GMT**) et ce pour les trois parties (A, B, et C).

	Partie A	Partie B	Partie C	SALLE DE LECTURE
11GMT	0.4	0.5	0.6	0.5
17GMT	0.2	0.2	0.3	0.2

Nous constatons donc que :

A 11GMT : les parties de la salle de lecture disposent d'un éclairage plus au moins uniforme évalué à **(0,4 a 0,6)**, la lumière diffuse procure un éclairage uniforme et homogène.

A 17GMT : lorsque le soleil est plus bas les valeurs (**U_0**) sont critiques et sont évaluées à **(0.2)**.la lumière directe engendre d'importants contrastes, sources d'éblouissement et inconfort.



Figure 61 : ambiance lumineuse dans la salle de lecture à 11GMT
Source : Auteur



Figure 62 : ambiance lumineuse dans la salle de lecture à 17GMT
Source : Auteur

B) Analyse de l'éblouissement

Les luminosités trop intenses, ainsi que les contrastes importants, procurent une sensation d'inconfort. Les taches solaires résultantes de la pénétration directe du rayonnement solaire à travers le maillage du moucharabieh dans la (partie B) ainsi que celles engendrées par les profilés de la structure du mur rideau de la (partie C) aggravent le potentiel de l'éblouissement.

C) Analyse des ombres gênantes :

Lorsque le rayonnement solaire est direct, l'alternance entre plein et du vide du moucharabieh ainsi que les profilés de la structure du mur rideau, engendrent une interruption de la pénétration de lumière dans l'espace, et sont alors à l'origine de zones de contrastes lumineux gênants, et d'ombres portées sur le plan de travail.



Figure 63 : ombres portées sur le plan de travail dues à la pénétration directe du soleil à travers les ouvertures.

Source : Auteur

Synthèse

Comme mentionné précédemment, les mesures in situ ont été effectuées en une seule journée. Les résultats interprétés et analysés précédemment correspondent aux résultats de mesures sous **les conditions de ciel clair et complètement dégagé en période estivale.** Afin de compléter les résultats de notre enquête, nous avons eu recours à un second outil d'investigation afin d'évaluer l'éclairage naturel dans d'autres conditions défavorables à savoir **ciel couvert de période hivernale.**

II-6-Simulation numérique de l'éclairage naturel dans des conditions défavorables. (Ciel couvert de période hivernale)

La simulation numérique a pour but de reconstituer la propagation de la lumière sous son aspect qualitatif et quantitatif. Elle vient compléter les résultats de notre enquête sur le terrain.

Il existe actuellement de nombreux outils de simulation numérique, notre choix s'est porté sur le logiciel **Ecotect Analysis 2011**(développé par la firme autodesk).

II-6-1-Configuration et paramétrage du logiciel

1-La modélisation de la volumétrie de salle s'est faite avec le logiciel 3DSmax (**Ecotect** permet même de modéliser l'espace à évaluer, ou bien de l'importer depuis les nombreux logiciels compatibles).

2-Importer la volumétrie.

3-Charger les paramètres qui influent sur l'éclairage naturel (longitude, latitude, type de ciel, éclairement horizontal extérieur...etc.)

4-Affecter des matériaux pour chacune des composante du model a évalué.

NB : l'éclairage artificiel a été exclu.

5-Paramétrer la grille d'analyse (disposée à 80 cm du sol, ce qui correspond à la hauteur du plan de travail).

6-Lancer la simulation.

Afin dévaluer l'éclairage naturel dans les conditions défavorables, nous avons essayé de reconstituer les conditions lumineuses dans la salle de lecture qu'on ne pouvait obtenir lors de l'enquête sur le terrain. Et pour cela nous avons opté pour :

- Le 15 décembre à 11h30 comme jour de la simulation (période hivernale).
- Un ciel couvert avec un éclairement de 5000 lux (CIE)¹⁰.
- Un Coefficient de netteté de vitrage moyenne (Average 0.9)

¹⁰ (C.I.E) Comité International de l'Éclairage.

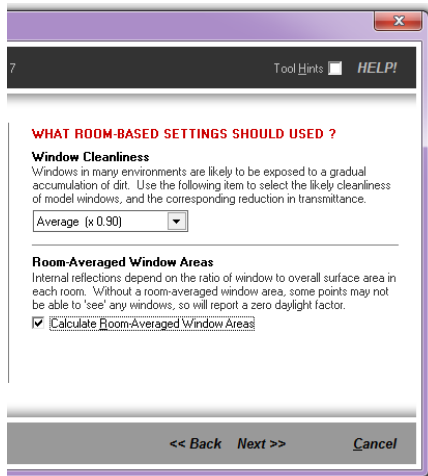


Figure 64 : Paramétrage de la simulation (état du vitrage)
Source : Ecotect analysis 2011

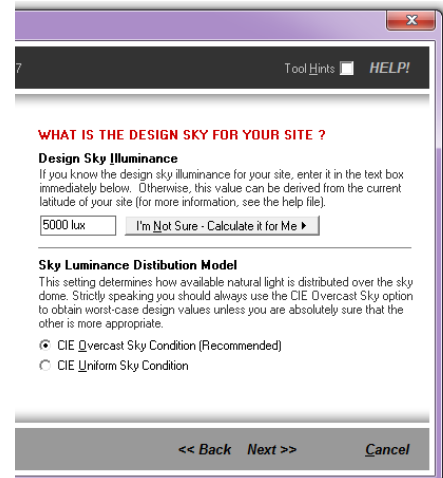


Figure 65 : Paramétrage de la simulation (type de ciel)
Source : Ecotect analysis 2011

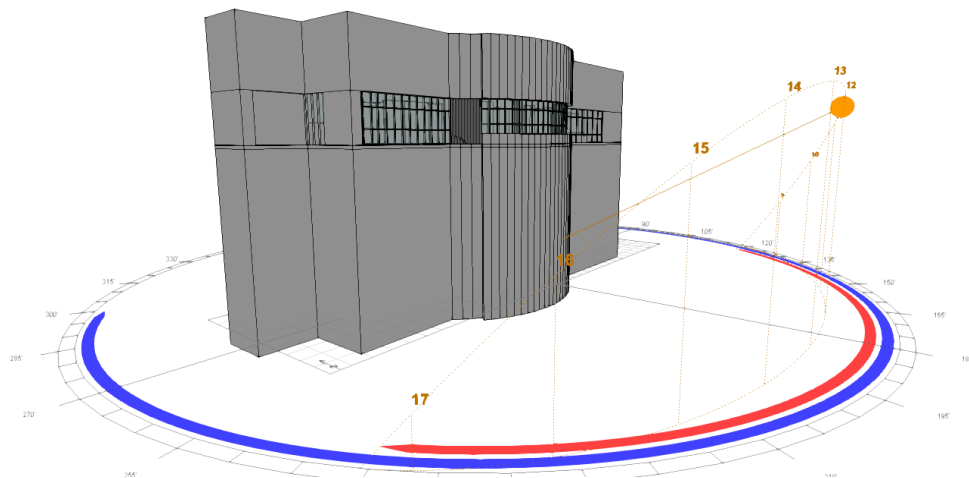


Figure 66 : modèle 3D et position du soleil le 15 décembre (latitude : 36.4, longitude : 4.2)
Source : Ecotect analysis 2011

Les résultats sont projetés sur la grille d'analyse préalablement paramétrée de sorte à obtenir suffisamment de données en matière d'éclairage (lux) à l'intérieur de la salle de lecture. Voir partie graphique « Grille des analyses, résultats des éclairagements intérieurs en Lux »

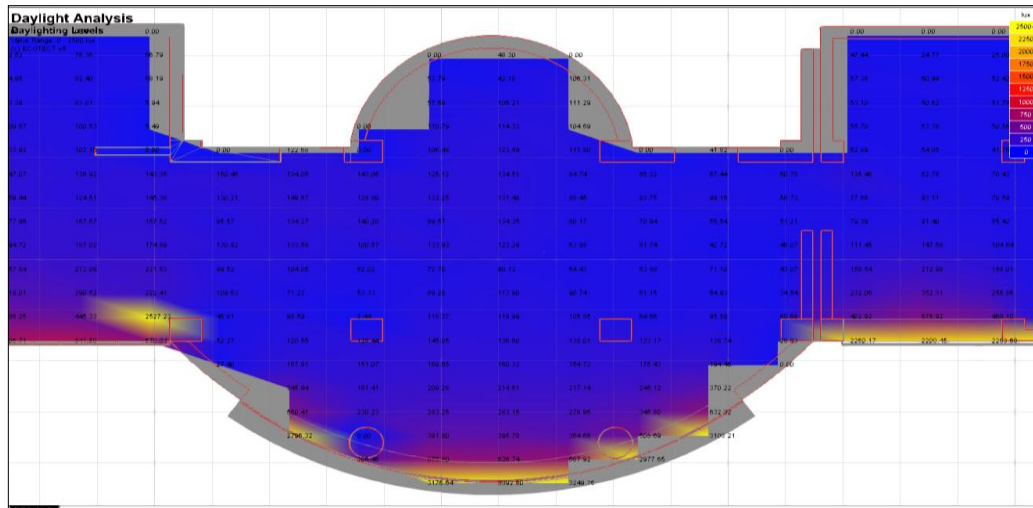


Figure 67 : Grille des analyses, résultats des éclairagements intérieurs en Lux
Source : Ecotect analysis 2011

II-6-2-Analyse et interprétation des résultats de la simulation

En paramétrant le logiciel de sorte à simuler des conditions défavorables (ciel couvert, période hivernale) nous avons constaté ce qui suit : Sous les conditions de ciel couvert d'hiver, les niveaux d'éclairage à l'intérieur de la salle demeurent très insuffisant (Une moyenne qui ne dépasse pas 150 lux), notamment dans les zones du fond et la partie centrale de la salle où les valeurs de l'éclairage sont évalués à (60lux). En effet la lumière diffuse n'éclaire pas l'espace en profondeur, ceci est aggravé dans la partie centrale de la salle où le moucharabieh constitue un écran qui intercepte la lumière et l'empêche de pénétrer dans l'espace. Ce manque de lumière sera à l'origine de fatigue visuelle accrue car dans ces conditions l'œil fournit un effort important pour exécuter les tâches requises.

Afin d'y remédier la réflexion autour d'une stratégie d'éclairage artificiel intelligent et économique en matière de consommation d'énergie est plus que nécessaire pour assurer un environnement lumineux confortable.

II-7-Discussion des résultats

Les résultats de notre analyse nous ont permis d'identifier clairement les paramètres influençant les conditions d'éclairage naturel dans la salle de lecture :

II-7-1-Influence de l'environnement :

La latitude, la saison, l'heure, les types de ciel et le site, sont des paramètres qui influent sur la disponibilité de la lumière. Il est donc important de mesurer l'impact de l'environnement existant afin de profiter au mieux des possibilités offertes par ce dernier pour optimiser l'éclairage naturel dans le bâtiment.

II-7-2-Influence de la position du soleil :

Lorsque le soleil est haut le rayonnement est diffus. Lorsque le soleil est bas, le rayonnement est direct. La répartition lumineuse varie donc fortement d'une heure à l'autre et d'un point à l'autre du local. La lumière disponible augmente jusqu'à la mi-journée, puis diminue. La qualité et la quantité de la lumière naturelle, varient en fonction de la position du soleil.

II-7-3-Influence du type du ciel :

La lumière naturelle traduit les fluctuations de l'état du ciel. Elle est composée de la lumière directe du soleil et de la lumière diffuse du ciel. Les stratégies à mettre en place pour accroître la luminosité intérieure d'un édifice doivent tenir compte de cette différence.

La lumière solaire directe dispense un flux considérable qui s'avère facile à capter et à diriger. Par contre, le rayonnement solaire direct est souvent une source d'éblouissement et parfois de surchauffe du bâtiment. De plus, sa disponibilité est épisodique et dépend de l'orientation des ouvertures.

La lumière diffuse du ciel est disponible dans toutes les directions. Elle suscite peu d'éblouissement (crée peu d'ombres et de très faibles contrastes) et ne provoque pas de surchauffe mais elle peut être considérée comme insuffisante dans de nombreux cas.

II-7-4-Influence des ouvertures :

A) Orientation des ouvertures :

L'orientation d'une façade conditionne sa capacité à réagir aux conditions climatiques, non seulement au cours de la journée, en fonction de l'heure, mais aussi au cours de l'année, en fonction des saisons.

L'orientation (SUD) des murs rideaux permet un apport de lumière naturelle maximum en hiver et en mi-saison (printemps et automne), tout en permettant de se protéger du rayonnement solaire direct en été (le soleil est plus haut).

Les inconvénients de cette orientation sont : Les risques de surchauffe en mi-saison. Et les apports solaires hivernaux peuvent être incompatibles avec le confort visuel (éblouissement).

L'orientation (**EST**) du mur rideau, permet de profiter du soleil le matin. Les espaces orientés est sont généralement perçus comme « dynamiques ». Les inconvénients de cette orientation sont les apports solaires maximums le matin en été. Le soleil étant bas le rayonnement solaire direct est difficile à maîtriser. Impliquant ainsi une source de surchauffe et d'éclairements excessifs.

En hiver l'exposition à l'est est faible mais elle permet d'apporter des gains solaires au bâtiment. Par contre, en été, l'orientation Est présente une exposition solaire supérieure à l'orientation Sud.

L'orientation (**OUEST**) des ouvertures, implique des apports solaires maximum en été et en mi-saison, ainsi qu'une surchauffe importante (constatée lors de la prise des mesures malgré les performances du vitrage utilisé dans la salle) .Le soleil étant bas, la pénétration des rayons est directe, ce qui présente un risque réel d'éblouissement.

La façade Sud apparaît donc comme l'orientation privilégiée pour capter la lumière naturelle. L'orientation Sud entraîne un éclairage important, une lumière plus facile à contrôler et d'un ensoleillement maximal en hiver, ce qui est souvent l'idéal.

En effet, en hiver, le soleil bas pénètre profondément dans la pièce tandis qu'en été, la hauteur solaire est plus élevée et la pénétration du soleil est donc moins profonde. En été, les apports solaires sur une surface verticale sont également nettement inférieurs au Sud qu'à l'Est ou à l'Ouest.

Chaque orientation présente des avantages et des inconvénients, ainsi L'organisation spatiale d'un bâtiment devrait toujours être faite en fonction du moment d'occupation des locaux, de l'activité qui s'y déroule et de la course du soleil.

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.

Ainsi, les locaux essentiellement occupés le matin devraient, dans la mesure du possible, être orientés vers l'Est, ceux occupés dans le courant de la journée, vers le Sud et ceux où l'on se tient en soirée, vers l'Ouest.

Les locaux de service ainsi que les pièces de travail nécessitant une lumière constante et homogène sont de préférence orientés vers le Nord.

B) Taille des ouvertures

La taille des ouvertures est un élément déterminant de la quantité de lumière qui parvient à l'intérieur d'un espace.

Dans le cas de notre salle de lecture, la forme arrondie du mur rideau de la partie centrale de la salle, ainsi que l'interruption des faux plafonds à proximité des fenêtres, permettent d'augmenter la surface du vitrage, augmentant ainsi la prise de contact avec l'extérieur, favorisant ainsi la pénétration de la lumière dans l'espace.

La largeur des murs rideaux contribue à l'uniformité de la répartition lumineuse dans l'espace et leur hauteur permet d'éclairer l'espace en profondeur.

C) Le coefficient de transmission du vitrage :

La lumière qui rencontre un vitrage est transmise, absorbée et réfléchi, selon des proportions qui tiennent en grande partie au type de vitrage. Le choix du vitrage influence

non seulement la lumière transmise mais aussi les gains solaires et les pertes de chaleur à travers la fenêtre.

La transmission lumineuse et énergétique d'un vitrage peut être caractérisée par trois paramètres :

-Son facteur de transmission lumineuse : plus il est élevé moins l'éclairage artificiel est nécessaire pendant la journée, et la quantité de lumière qui pénètre dans l'espace est d'autant plus élevée. Pour le vitrage stopray $TL=49$.

-Son facteur solaire : plus il est bas, plus faibles sont les risques de surchauffe .pour le vitrage stopray $FS=29$

Son coefficient de conduction thermique : plus il est bas plus faibles sont les déperditions thermiques a travers sa surface. Pour le vitrage stopray $U=1.1$

II-7-5-Influence de la dimension du local

Le niveau d'éclairement est d'autant plus élevé dans un local que celui-ci est large.

La lumière diffuse ne pénètre significativement qu'à environ une distance de une fois et demi la hauteur du linteau de la fenêtre par rapport au sol.

Des lors, au-delà d'une certaine profondeur, les niveaux d'éclairement chutent au fond des pièces.

Dans le cas de la salle de lecture la hauteur des fenêtres atteint 3m pour une profondeur de la salle allant à 7m ce qui fait que le fond de la salle est bien éclairé.

II-7-6-Influence de l'aménagement intérieur :

La nature et la couleur des surfaces intérieures (parois, sols, mobilier) influencent directement l'éclairage naturel du aux réflexions intérieures.

La couleur claire des parois et du mobilier permet à la lumière d'être davantage réfléchi. Ainsi la préconisation de parois blanches dans la salle de lecture favorise la pénétration de la lumière en profondeur.

La clarté des plans des tables de travaux, favorise le confort visuel dans la mesure le contraste entre le papier et le support de la table est réduit, induisant une diminution des efforts accommodation que l'œil doit effectuer a chacun de ses mouvements.

Lorsque les matériaux de revêtement présentent une certaine brillance, la lumière réfléchie arrive facilement au fond des espaces, en contre partie les surfaces en question acquièrent une luminance trop élevée .et peuvent donc devenir une source éblouissement.

Les surfaces brillantes sont donc à éviter dans la salle de lecture ou les activités qui s'y déroulent (écriture, lecture, travail sur micro, dessin...) peuvent être fortement perturbées l'environnement lumineux est trop contrasté.

En règle générale, il est toujours préférable de favoriser les parois de couleur claire et matte, de manière à bien diffuser la lumière.

La couleur du sol a peu d'influence sur la qualité et la quantité de l'éclairage. La seule recommandation est que la luminance du sol doit être inférieure à celle des plans de travail.

II-8-Synthèse de l'analyse

L'évaluation de l'environnement lumineux de la salle de lecture à révéler ce qui suit :

-L'orientation sud des ouvertures, permet un apport de lumière naturelle maximum en hiver et en entre saison (printemps et automne), tout en permettant de se protéger du rayonnement solaire directe en été (le soleil est plus haut).

-De part leur largeur et leur hauteur, les murs rideaux permettent d'augmenter la prise de contact avec l'extérieur, les espace sont donc éclairés en profondeur.

En effet certains facteurs de confort sont respectés dans la conception de la salle de lecture, nous citons :

Les caractéristiques du vitrage utilisé : Double vitrage de type « stopray » légèrement coloré en bleu. Ce type de vitrage combine sa fonction antisolaire avec une haute transmission lumineuse. Son indice de sélectivité lui permet d'exercer principalement son action réfléchissante sur les rayons invisibles (UV et infrarouges) tout en laissant pénétrer à l'intérieur un maximum de rayons visibles du soleil (la lumière).

-La couleur claire et la texture mate des parois et du mobilier engendrent une répartition lumineuse uniforme, et permettent à la lumière d'être réfléchié davantage.

-Le type d'éclairage artificiel adopté est l'éclairage LED, ce type de sources affiche un bon rendement énergétique, et une qualité de lumière satisfaisante et un très bon rendu de couleur.

Cependant, l'analyse a permis d'identifier les points négatifs suivants :

-Les risques de surchauffe en mi-saison, et d'éblouissement en hiver pour l'orientation sud.

-Éclairements excessifs le matin et risques de surchauffe en été pour l'orientation est.

-Apports solaires excessifs en été et en mi-saison, ainsi qu'une surchauffe importante pour l'orientation ouest.

-Le moucharabieh constitue une contrainte, en effet le moucharabieh intercepte la lumière diffuse et l'empêche de pénétrer dans la partie centrale de la salle. L'éclairement lumineux demeure donc insuffisant sur les plans de travail.

Quand le rayonnement solaire est direct, le moucharabieh représente une source d'éblouissement. En effet le maillage de ce dernier laisse pénétrer le rayonnement solaire, et l'alternance entre le plein et le vide engendre des taches solaires qui sont à l'origine de contrastes importants.

Nous avons relevé aussi des problèmes liés à d'autres aspects du confort, à savoir le confort thermique (surchauffe au niveau de la partie C) et ce malgré les caractéristiques du vitrage.

III-Recommandations

Après les résultats de notre enquête, nous avons voulu formuler quelques recommandations, dans le but d'améliorer la qualité de l'environnement lumineux de la salle de lecture.

La contradiction existant entre les performances de l'éclairage naturel de la salle de lecture, observées sous les conditions de ciel clair et dégagé (résultats des mesures in situ), et celle affichées par ciel couvert (résultats de la simulation numérique) nécessite l'emploi d'éléments correcteurs, afin d'optimiser les conditions de confort dans la salle de lecture.

- Les « inconvénients » associés à la lumière directe : risques de surchauffe(en période estivale) et d'éblouissement (en hiver, en mi-saison, et en début et fin de journée).

- Les « inconvénients » associés à la lumière diffuse : niveaux d'éclairements insuffisants.

Nous proposons de prendre en charge les risques d'éblouissement et de surchauffe, par des éléments de **protection solaire**. Et de corriger l'insuffisance de lumière en adoptants une stratégie **d'éclairage artificiel** intelligent et économique.

III-1-Les protections solaires :

Quelle est la protection solaire la mieux adaptée à notre cas d'étude?

Protections internes ou externes?

En ce qui concerne les risques d'éblouissement, la position de la protection solaire par rapport au vitrage importe peu. Il suffit quelle soit posée entre l'œil et la source lumineuse. En revanche le phénomène de surchauffe implique de placer impérativement la protection solaire à l'extérieur du vitrage, afin de stopper le rayonnement solaire, avant qu'il ne pénètre dans l'espace.

Protections horizontales ou verticales?

Dans le cas d'une façade orientée au **SUD**, la protection solaire fixe peut être réalisée à partir d'éléments filants horizontaux devant le vitrage.

Dans le cas d'une façade orientée à **L'EST** ou à **L'OUEST**, une protection horizontale fixe n'est pas envisageable, dans la mesure où le soleil est bas. Il est donc plus facile de stopper les rayons par des éléments verticaux.

Pour la façade **EST**, la protection est surtout utile pour se protéger de l'éblouissement, tandis que pour la façade ouest, il s'agit de se protéger du rayonnement solaire directe de fin de journée et contre la chaleur.

Protections fixes ou mobiles?

En règle générale, chaque fois qu'on met en œuvre une protection solaire, on pénalise les apports de lumière diffuse. Dans le cas de la façade est et ouest, il est préférable de prévoir des protections mobiles, afin de ne pas pénaliser unitairement les apports de lumière diffuse.

Dans le cas de notre salle :

Pour le mur rideau SUD avec moucharabieh de la partie centrale : nous conseillons de prévoir des stores intérieurs mobiles de couleur claire, afin de ne pas pénaliser les apports de lumière diffuse et de se protéger de l'éblouissement causé par la pénétration du rayonnement solaire directe à travers le moucharabieh. Les protections **intérieures** ne seront efficaces contre les surchauffes que si elles repoussent les rayons du soleil ayant traversé le vitrage. Pour cela, elle doit être non absorbante et réfléchissante (couleur clair au minimum). Dans notre cas d'étude le moucharabieh absorbe une partie du rayonnement solaire.

Pour la façade EST : une protection verticale mobile externe est la plus adaptée. Elle permettra de stopper le rayonnement solaire directe du matin, d'éviter les risques de surchauffe en été. Mais aussi ne pas pénaliser les apports de lumière diffuse.

Pour les murs rideaux orienté SUD des parties A et C :

Une protection verticale, mobile et externe est la plus adaptée. Elle permettra d'éviter la surchauffe et les éclaircissements excessifs de fin de journée en été (chose qui a été constatée en notre présence sur les lieux). Elle permet aussi d'éviter les risques d'éblouissement en hiver et de surchauffe en mi saison, sans pour autant pénaliser les apports de lumière diffuse.

Protection solaire extérieure, verticale, et mobile

Panneau translucide en polycarbonate à lames brise-soleil

Brise soleil réglable pour façades de tous types de bâtiments. Système complet de panneau translucide en polycarbonate intégrant des lames brise-soleil orientables. Contrôle de l'inclinaison des lames par motorisation à commande manuelle ou à raccorder sur des capteurs d'intensité lumineuse. Permet de bloquer 93 % de l'apport solaire en position fermée, et de transmettre 60 % de lumière naturelle en position ouverte.

-Panneaux supportés par des profilés en alliage d'aluminium formant support et encadrement.

-Facteur solaire : 0,64 (entièrement ouvert) et 0,18 (entièrement fermé).

-Transmission lumineuse : 53 % (entièrement ouvert) et 7 % (entièrement fermé).

-Coefficient de transmission thermique (Ucw) : 1,70 W/m²C (entièrement fermé).



Figure 68 : Panneaux translucides en polycarbonate à lames brise-soleil

Source : www.batiproduits.com

III-2-Stratégie de l'éclairage artificiel.

Sous les conditions de ciel couvert d'hiver, la réflexion autour d'un éclairage artificiel intelligent et économique est plus que nécessaire. En effet la combinaison de la lumière naturelle et des différents types d'éclairage artificiel étudiée de façon complémentaire, se révèle appropriée.

Dans le cas de notre salle de lecture, le type d'éclairage artificiel adopté est l'éclairage LED, nous estimons alors que ce dernier peut répondre aux exigences de confort, de part ses caractéristiques : ce type de sources affiche un bon rendement énergétique, et une qualité de lumière satisfaisante et un très bon rendu de couleur.

III-3- Autres stratégies pour favoriser une conception optimale de l'éclairage.

A propos du bâtiment :

- Des possible, privilégier un éclairage bilatéral, en effet la présence d'ouvertures sur deux façades opposées équilibre le niveau d'éclairement et atténue les ombres portées.
- Tenir compte des obstructions extérieures.

A propos des locaux:

- Utiliser les couleurs claires pour les revêtements intérieurs (plafonds, murs et sols) et le mobilier.
- Restreindre la profondeur des pièces à deux fois la hauteur du linteau de la fenêtre. Au delà le recours à l'éclairage artificiel devient prépondérant pour l'accomplissement des tâches.

A propos des ouvertures

- Dimensionner correctement les ouvertures, et bien choisir l'orientation de ces dernières.
- Choisir un vitrage présentant une bonne transmission lumineuse combinée à des performances thermiques élevées (verre sélectif)

A propos des protections solaires

- Équiper les façades (hormis la façade nord) d'un système de protection solaire efficace.
- Utiliser des protections solaires mobiles afin de ne pas pénaliser la lumière diffuse.

A propos du confort visuel

- Éviter les revêtements sombres.
- Éviter les revêtements brillants, les surfaces en question acquièrent une luminance trop élevée .et peuvent donc devenir une source éblouissement.
- Contrôler soigneusement les contrastes de luminance dans le champ visuel.

Conclusion générale

Comme développé précédemment, nous nous sommes intéressés à l'environnement lumineux de la salle de lecture de la bibliothèque de lecture publique de TIZI OUZOU. Nous nous sommes demandé si l'éclairage naturel de la salle répond aux exigences du confort visuel des usagers, et procure une ambiance propice à la lecture et aux activités qui s'y déroulent.

Notre travail s'est fait en deux temps :

Dans un premier temps, l'approche théorique qui nous a permis de nous familiariser avec le sujet, et ce en traitant les différentes notions de base et les concepts relatifs à l'éclairage naturel. Puis en deuxième temps nous avons procédé à l'évaluation de l'environnement lumineux de notre cas d'étude.

L'éclairage de la salle est conventionnellement traité avec une approche quantitative, or la part de subjectivité attribuée au confort visuel, ainsi que la spécificité des tâches à accomplir et leurs exigences, nous ont poussés d'associer à notre analyse une approche qualitative.

Notre investigation est multicritères, de manière à répondre à l'aspect pluri sensoriel du confort en plus des autres exigences tirées de la partie théorique comme l'obligation d'intégration de la qualité lumineuse, de l'éblouissement ou encore des ombres gênantes dans notre enquête.

Les principaux résultats de notre recherche confirment l'obsolescence de l'approche purement quantitative de l'éclairage, et renforcent l'importance des aspects qualitatifs dans la perception visuelle.

L'hypothèse principale qui suggérait que l'optimisation de l'éclairage naturel, est une donnée non négligeable dans la conception des bibliothèques, a été confirmée. En effet l'utilisation judicieuse de la lumière naturelle répond à un double objectif : le premier est la recherche du confort visuel et des ambiances lumineuse car la lumière du jour est la plus adaptée à la physiologie de l'homme.

Le deuxième objectif est la recherche d'efficacité énergétique et la maîtrise des consommations d'énergie (en termes d'électricité).

La deuxième hypothèse qui suggérait éventuellement que l'amélioration de qualité de l'éclairage naturel dans l'espace architectural, passe par la compréhension et la maîtrise des différents paramètres qui rentrent en jeux et qui influencent la quantité et la qualité de lumière qui pénètre dans cet espace a été confirmée. An effet deux catégories de paramètres viennent influencer la nature de la lumière naturelle :

Ceux relatifs au bâtiment : les différentes configurations possibles en architecture, orientation, position, dimension des ouvertures, caractéristiques du vitrage, et des aménagements intérieurs. **Et ceux relatifs à l'environnement**

La latitude, la saison, l'heure, les types de ciel et le site. Ces paramètres sont a prendre en considération lors de la réflexion afin de maîtriser les apports en lumière naturelle.

Les limites de notre recherche peuvent être d'ordre méthodologique. Nous ne pouvons prétendre à une exhaustivité ou même à une grande représentativité vu que nous n'avons analysé qu'une seule salle de lecture et ce en une seule journée.

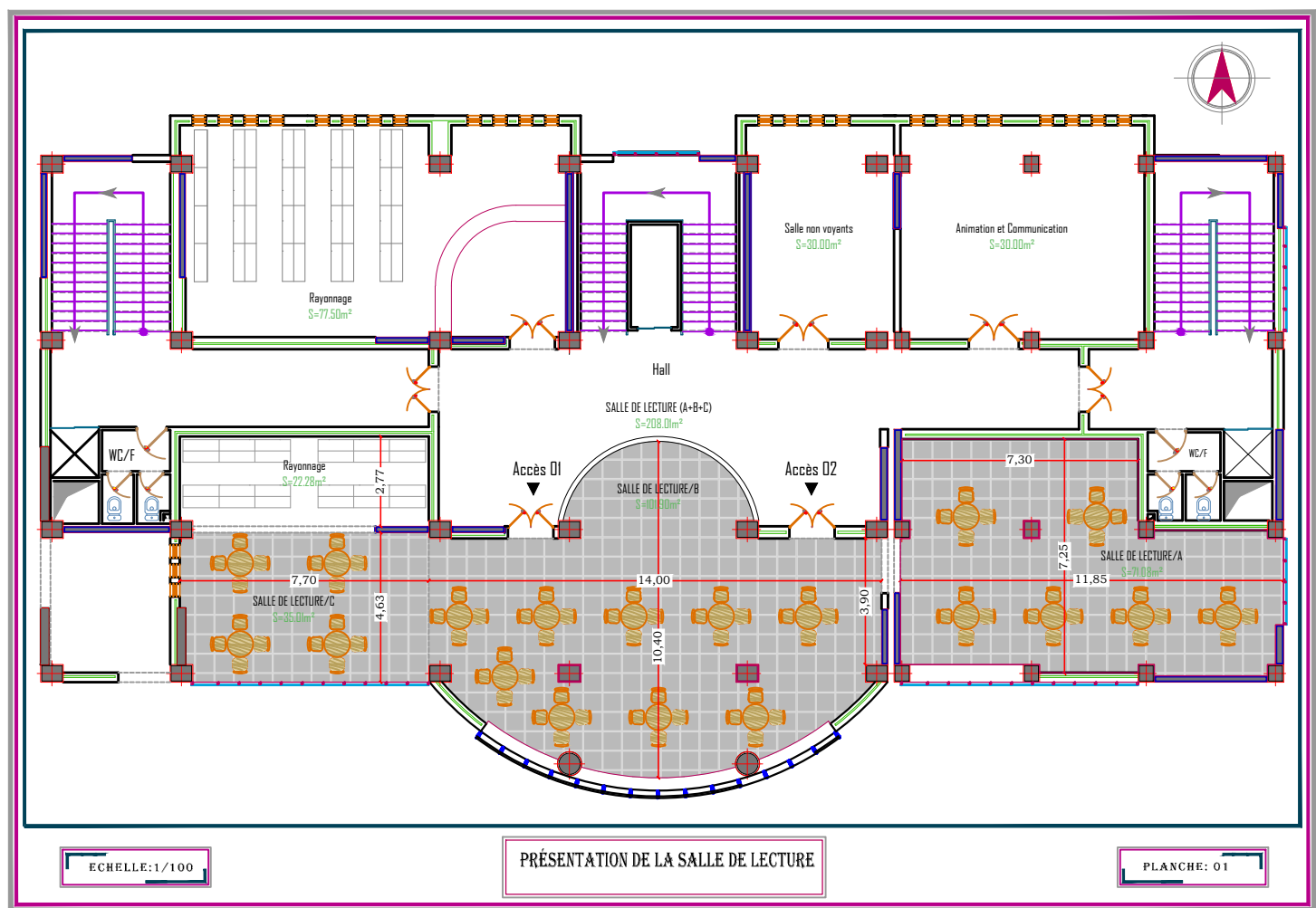
Pour plus de détails il est conseiller d'effectuer les mesures en solstices d'été et d'hiver ainsi qu'en équinoxes afin d'évaluer l'éclairement dans des conditions différentes.

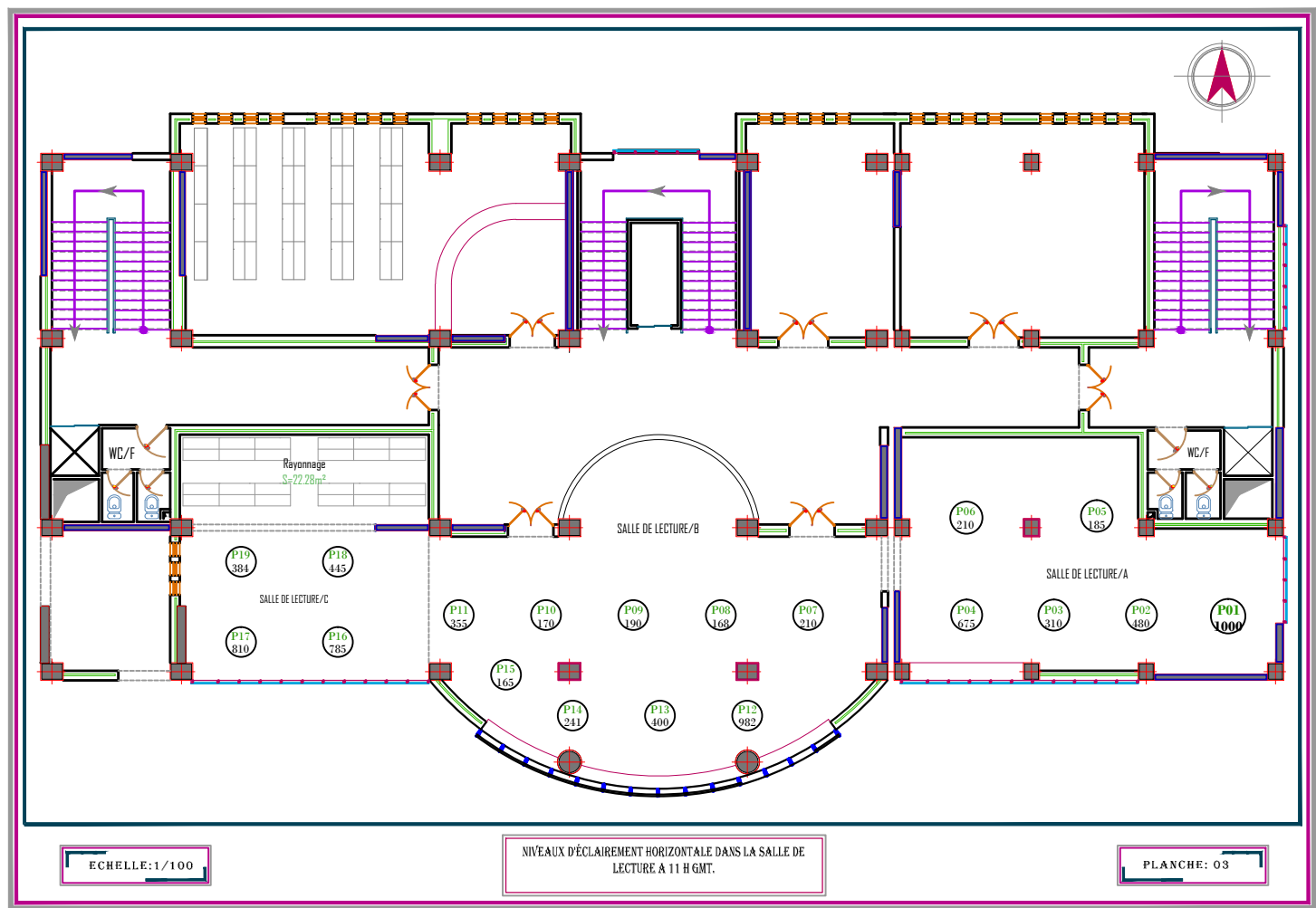
Sur le plan technique, bien que nous ayons eu recours a une instrumentation spéciale, il demeure ni au moins une relative marge demeure a ne pas négliger. A noté que le luxmètre est très sensible à la lumière et que les niveaux d'éclairement devaient êtres pris simultanément.

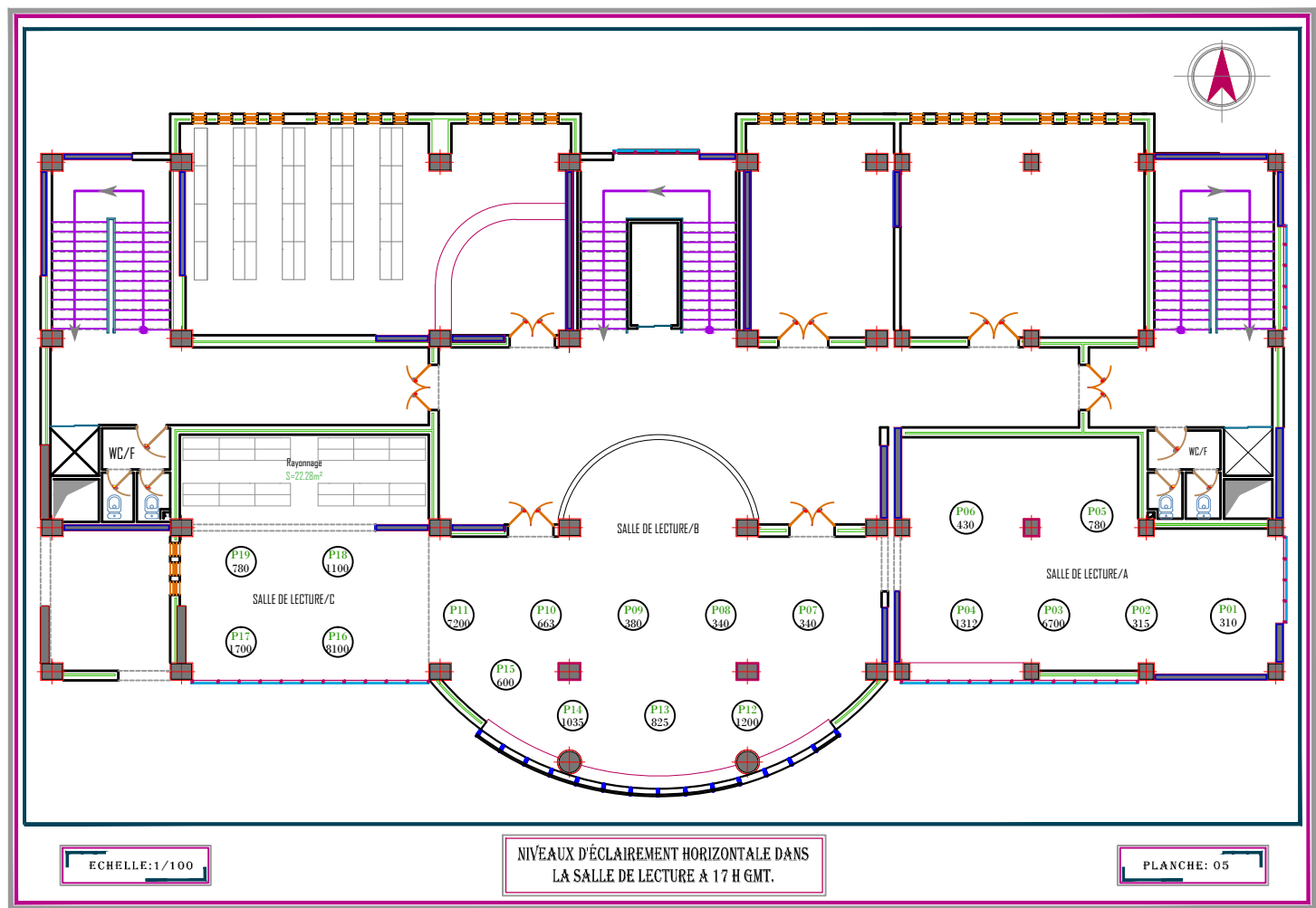
Notre présente recherche nous a permis de nous familiariser avec la notion et les techniques de l'éclairage intérieur, et des ambiances lumineuses dans l'espace architectural. Un domaine qui reste un vaste champ de travail.

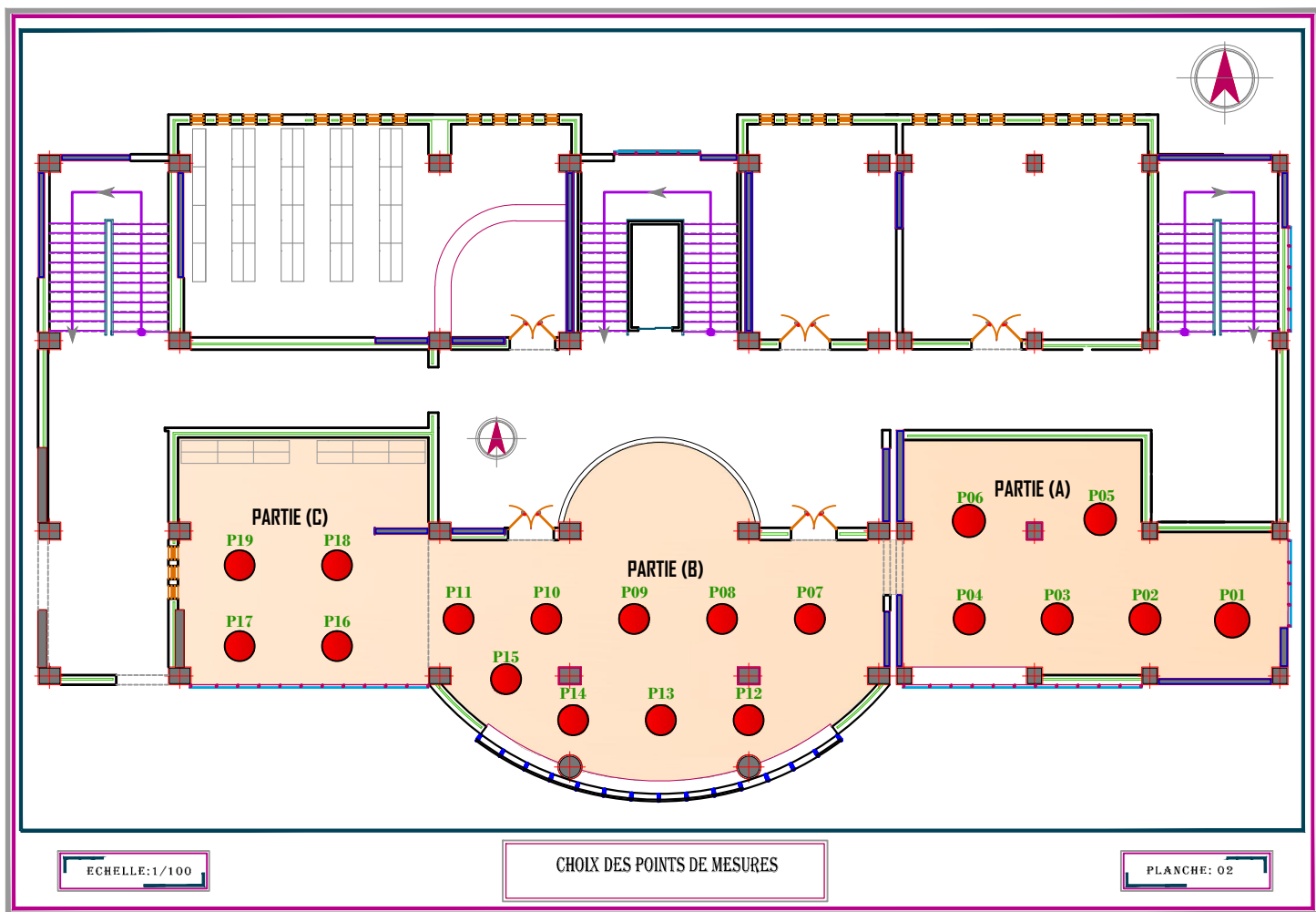
Les perspectives pour notre recherche résident essentiellement dans l'intégration de notre approche dans la réflexion qui précède l'intervention sur ce type d'espaces, en intégrant la variante qualitative de l'éclairage dans la réflexion.

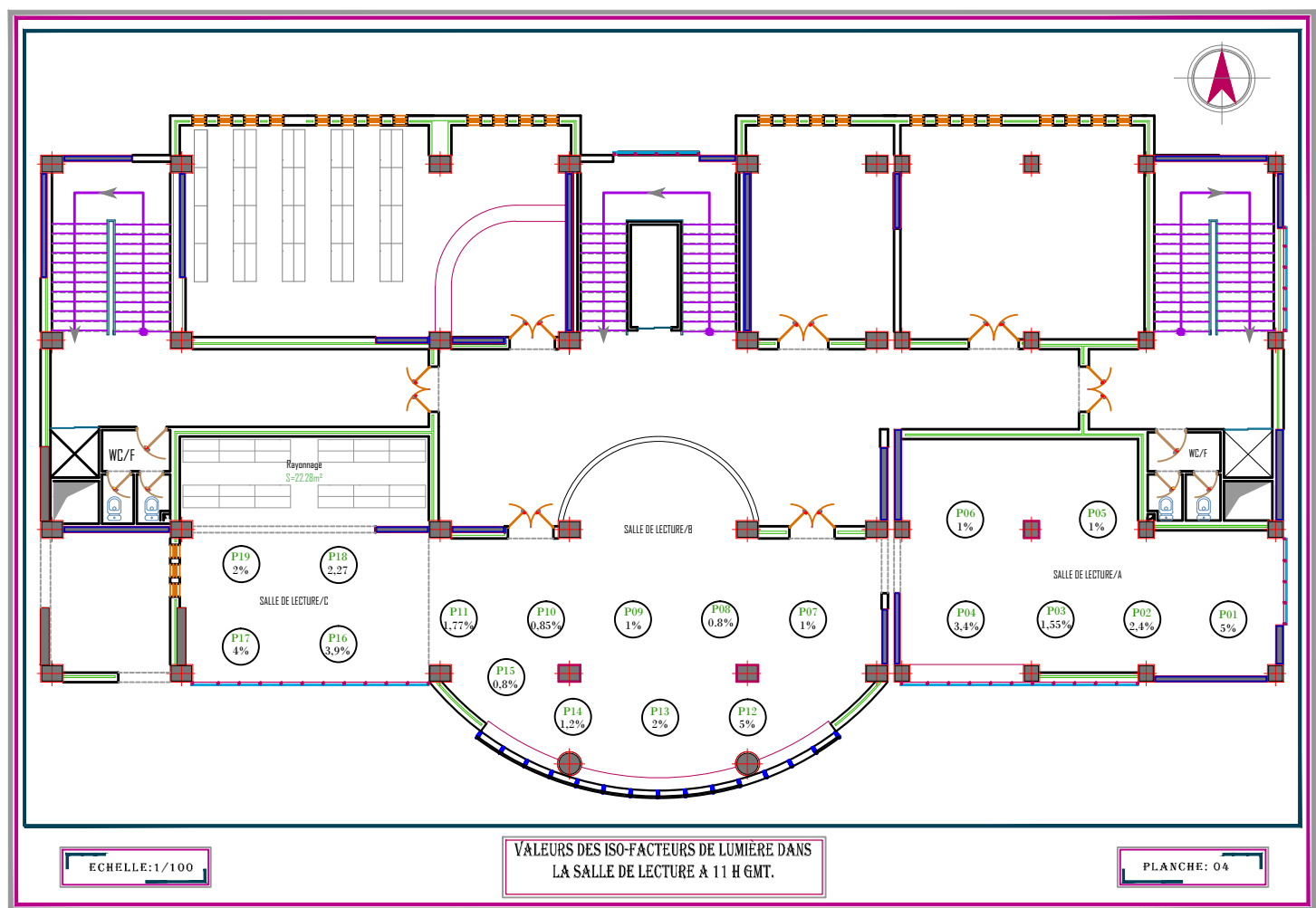
PARTIE GRAPHIQUE

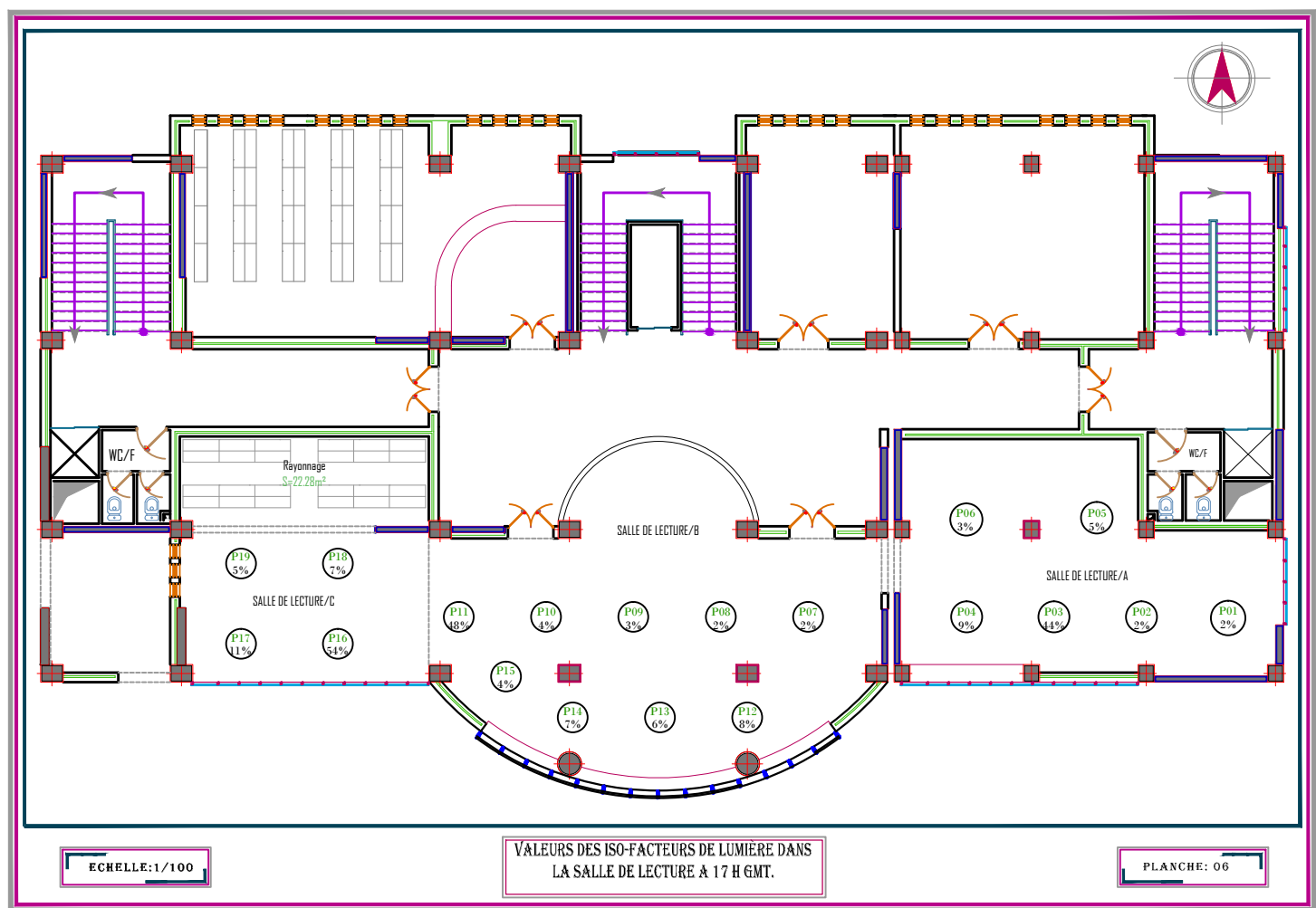












Belakehal, A. (2007). Étude des aspects qualitatifs de l'éclairage naturel dans les espaces architecturaux. Cas des milieux arides à climat chaud et sec. Thèse de doctorat en architecture. Département d'architecture de Biskra.
Bodart M. (2008). Le confort visuel et ses paramètres. Université Catholique de Louvain. Louvain La Neuve.
BELL.J & BURT.W in ROUAG, Djamila. Sunlight problems within new primary school classrooms in Constantine. Thèse de Doctorat. Constantine : Université Mentouri, Avril 2001.
Bernard PAUL, Espace et Lumière: Le projet d'éclairage mars 2003.
Chaabouni, S. (2011). Voir, savoir, concevoir. Une méthode d'assistance à la conception d'ambiances lumineuses par l'utilisation d'images références. Thèse de doctorat. INPL Institut national polytechnique de Lorraine, Nancy.
DE HERDE, André et al. DE HERDE : Le manuel du responsable énergie, Université de Louvain, 1992
DE HERDE, André et al. " Le confort visuel", Université Catholique de Louvain La Neuve. Belgique [Enligne] www-energie.arch.ucl.ac.be
DE HERDE et LIEBARD, 2005. Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques, concevoir, édifier et aménager avec le développement durable. Éditeur. Obsev'ER, Paris.
Demers Christiane 2007. Organizational Change Theories: A Synthesis. HEC Montréal and university of Alberta. Canada 2007.
Hegger et al, 2008. Cité par Iturra, 2011. Iturra, E-M. (2011). Impact de la configuration des bâtiments scolaires sur leur performance lumineuse, thermique et énergétique. Mémoire de master. Faculté d'aménagement, d'architecture et des arts visuels. Université de Laval. Québec.
IZARD, Jean Louis. Maîtrise des ambiances : contrôle de l'ensoleillement et de la lumière en architecture ». Marseille : École d'Architecture de Marseille-Luminy 1994.
Kapeller, Christophe « L'architecture de la nouvelle bibliothèque d'Alexandrie », in La nouvelle bibliothèque d'Alexandrie, dir. Fabrice Patat, Buchet-Chastel, 2003.
Louis J. Kahn, Silence et lumière, Le Linteau, 1996.
LA TOISON, Marc 1982. Introduction à l'éclairagisme. Paris : Eyrolles. 1982.

LAEDLEIN, H 1979. Réglementation technique de la maison individuelle : guide pratique du constructeur. Paris : Eyrolles, 1979.
MUDRI, Ljubica 2002. De l'hygiène au bien-être, du développement sans frein au développement durable: ambiances lumineuses. Paris. École d'architecture de Paris- Belleville. Novembre 2002.
Narboni, R, 2006. Lumière et ambiance. Ed le moniteur, Paris.
ROULET, Claude Alain. Énergétique du bâtiment : Prestations du bâtiment, bilan énergétique global. Collection « Gérer l'Environnement ». Lausanne: Presses Polytechniques Romandes.1987.
Riboulet Pierre 2003. in Écrits et Propos, Éditions du Linteau, 2003.
Reiter.S et De Herde. A, 2004. L'éclairage naturel des bâtiments. Presses universitaires de Louvain.
(RUBERG.K et BROWN W.C 1988). «RSB 88 : Facteurs de performance des fenêtres ». Canada.1988
Terrien Jean, Desvignes François, 1972. La photométrie. Published by Presses universitaires de France, 1972
Veitch et Newsham 1996. Determinants of Lighting Quality I: State of the Science. Proc. of the Annual Conference of the Illuminating Engineering Society of NorthAmerica. August 5-7, Cleveland,Ohio (USA).
1 ZEMMOURI, Noureddine. Daylight availability intergrated modelling and evaluation: A Fuzzy logic based approach. Thèse de Doctorat. Sétif: Université Farhat Abbas de Sétif. Octobre 2005.