



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique



Université Larbi Tébessi - Tébessa
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département d'Architecture

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de
master en Architecture

Option : Architecture et environnement

L'étude de l'effet de l'orientation sur le
confort visuel a les ateliers à l'institut
d'architecture à Batna

Elaboré par :

MAMMERY Bilal
Hichem

Encadre par :

Mr. LAID

Année universitaire 2014/2015

Remerciement

« Au nom d'Allah, le Clément, le Miséricordieux »,

Je remercie celui qui a toujours guider nos vers le bien, celui qui nous garde et nous bénisse

Dieu Merci,

C'est avec un grand plaisir que je réserve ces lignes en signe de gratitude et de reconnaissance à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Ma reconnaissance s'adresse à mon encadreur **Mr LAID**, pour son encadrement et son soutien qui m'ont permis de mener à bien ce mémoire.

Merci donc à **Mr LAID**, qui a encadré ce mémoire. Sa confiance ne m'a jamais fait défaut, il a constamment porté un regard critique, ouvert et constructif sur mes travaux. En dépit d'un emploi du temps chargé, j'ai conscience des efforts qu'il a dû fournir pour se rendre disponible. Il s'est considérablement investi dans la réussite de ce mémoire, et les résultats obtenus tiennent essentiellement à son accompagnement.

Ces quelques mots ne traduisent certes pas tout ce que j'ai pu recevoir de lui, mais je souhaite qu'il trouve là, l'expression de mon infinie reconnaissance.

Merci à tous

Bilal

Dédicace :

C'est avec une grande joie que je dédie ce modeste travail à :

Premier lieu notre Dieu Allah clément et miséricordieux

Au prophète de la miséricorde et de la lumière des mondes Prophète Muhammed

A qui m'a donné tendresse, amour et affection maternelle, symbole de l'amour et la bonté par excellence et l'exemple du dévouement, dédier à vous ma mère.

Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour, au la chose la plus précieuse en présence M'a incité à la science et a augmenté la fierté le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur. Le symbole de la virilité et de sacrifice a vous mon Père

A mes très chers frère et sœurs m'a soutenu et m'a encouragé, Pour ceux qui s'allume mon chemin Et le soutien renoncé à leurs droits pour moi : Toufik, mes sœurs, cousins et cousines.

A toute la famille MAMMARI.

A tous mes amis et collègues avec lesquels j'ai passé les plus belles années de ma vie :

Ammar, Ahmed Tawfiq, Ahmed, Achref, Djalel, Chafai, Walid, Hibou, Tarek, Abdelmoujib, Zineb, Anissa, Salima, Halima, Ibtihal, Sara, Imene, Khaoula.

A mon Encadreur, Mr LAID Hichem.

A tous mes collègues de département d'architecture.

A tous ce qui me connaissent de près et de loin

Bilal

SOMMAIRE

Introduction.....	1
Problématique	3
Méthodologie et outils de recherche	4

Chapitre 1 :

L'éclairage naturel

1- Définition de l'éclairage naturel.	5
2- Sources de l'éclairage naturel	5
2.1-Sources lumineuses diurnes directes	6
2.1.1-Sources primaires	6
2.1.2-Sources secondaires	6
2.2-Sources lumineuses diurnes indirectes	7
3-Types d'éclairage naturel	7
3.1-Éclairage zénithal	7
3.2-Éclairage latéral	7
3.2.1-Exigences de l'éclairage latéral	8
3.2.2-Types d'éclairage latéral	8
3.2.3-Dimensionnement des ouvertures latérales	12
3.2.4-Paramètres influençant l'éclairage latéral	12

Le climat lumineux

1- La lumière solaire directe	15
1.1- Mouvement annuel de la terre autour du soleil	15
1.2- Trajectoire apparente du soleil sur la voûte céleste	17
1.3- Influence de la latitude sur les conditions d'ensoleillement	18
1.4- Influence de l'orientation sur les conditions d'ensoleillement	18
2 -La lumière diffuse du ciel	19

2.1-Modèles de ciels	19
2.1.1- Ciel couvert	19
2.1.2- Ciel clair serein (ou ciel bleu)	21
2.1.3- Ciels intermédiaires	22
2.2-Influence de la couverture nuageuse sur l'éclairage naturel	23
2.3- Influence du type de ciel	24

Chapitre 2 :

Le confort visuel

1-Impact de la lumière naturelle	26
2-Tâches visuelles	27
3-Confort visuel	27
3.1-Définition du « confort »	27
3.2-Définition du « confort visuel »	27
3.3-Eléments du confort visuel	28
3.3.1- Niveau d'éclairage lumineux	30
3.3.2- Uniformité de l'éclairage	31
3.3.3- Eblouissement	32
3.3.4- Ombres portées	35
3.3.5-Rendu de couleur	36

Réglementation relative à l'éclairage

1-Outils de la réglementation de l'éclairage	38
2-2-Réglementations relatives à l'éclairage	38
3-Réglementation algérienne	38
4- Recommandation Prometelec	39
5- Réglementation belge	40
6- Réglementation du Royaume Uni	41

Chapitre 3:

Présentation et description de l'environnement de l'étude

1- Climat lumineux de Batna	44
1.1- Caractéristiques climatique	45
1.2-Type de ciel	45

1.3- Ensoleillement	46
2- Description de l'environnement de l'étude	48
2.1- Aperçu sur les établissements d'enseignement supérieur (universitaires) en Algérie ..	48
2.2- Description du campus de l'Université Hadja Lakhder de Batna	49
2.2.1- Composantes du projet	49
3- Choix des ateliers types	51
4- Description des ateliers	51

Simulation, analyse et discussion des résultats

1- Les outils de simulation et de modélisation	53
1.2- Choix de logiciel.....	53
2- Simulation des ateliers.....	54
2.1- Paramètre de simulation	54
2.2- Grille structurelle	55
3- Analyse des résultats	56

Conclusion générale.	66
-----------------------------------	----

Liste des figures

Liste des Tableaux

Bibliographie

Résumé

Introduction :

Aujourd'hui, chaque architecte est convaincu d'adopter une démarche durable dans sa vie de citoyen comme dans son exercice professionnel.

Le concept de « *développement durable* » devait réconcilier croissance sociale, développement économique, et protection des ressources naturelles et de l'environnement, Selon la définition donnée dans le rapport Brundtland¹ «*le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins*», Dernièrement plusieurs notions et démarches ont été fondées, comme l'architecture solaire, l'architecture écologique et la haute qualité environnementale (HQE) notamment avec ces quatorze cibles qui essaient de traiter les problèmes qui touchent l'environnement, le bâtiment et le confort de l'occupant. L'objectif principal de ces démarches converge vers une vie confortable pour les occupants.

Et aussi on trouve récemment dans les recherches, qu'il y a eu un intérêt croissant à propos de l'étude et de l'enquête de la condition de confort des personnes à l'intérieur d'un bâtiment, qui étudient les aspects environnementaux plus profondes, qu'ils soient thermiques, acoustiques ou lumineux, qui ont une influence sur le bien-être de la personne.

Donc dans ce cadre, il est essentiel de concevoir des édifices en concordance optimale avec leur environnement, ce qui inscrit le climat parmi les dimensions fondamentales de l'architecture. Un moyen privilégié pour accorder un bâtiment aux rythmes naturels consiste à tirer le meilleur parti possible de la lumière naturelle dans cet édifice. En outre, l'emploi de la lumière naturelle est plus écologique que celui de la lumière artificielle. En effet, une gestion optimisée de l'éclairage se traduit indirectement par une diminution de consommation d'énergie par le bâtiment au cours de son fonctionnement

La lumière se positionne par rapport à l'architecture à la fois comme un outil de conception et comme un facteur technique. Toute étude de l'éclairage naturel doit intégrer ces deux démarches, artistique et scientifique.

(P. Boyce)² « Se réfère à ces aspects lumineux qui peuvent causer une gêne visuelle et, en général, l'inconfort visuel se produit lorsque: il y a peu de lumière, il y a trop de lumière, il est trop beaucoup d'éclairage...». Ce confort visuel est obtenu quand il est possible de voir clairement les objets dans l'environnement, sans souffrir de fatigue visuelle.

1. Le Rapport Brundtland, est une publication rédigée en 1987 par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'Organisation des Nations unies.

2. Dr. Peter R. Boyce, Professor, Lighting Research Center, 1990 – 2004.

Le confort visuel est défini par rapport à la quantité, la qualité et la distribution de la lumière. Dans les établissements d'enseignement, il a été prouvé que la lumière naturelle joue un rôle important dans l'apprentissage processus et le comportement des étudiants.

Éclairage correct de l'atelier devrait nous permettre de voir le contenu du tableau blanc, le panneau de l'information et les matériels d'apprentissage utilisés en classe, atelier et amphithéâtre, clairement.

En 1996, 1200 élèves ont été évalués dans le Nord Caroline, ce qui démontre que les élèves qui fréquentent les écoles avec l'éclairage naturel avaient une meilleure performance, de 5% à 14% mieux que les élèves qui ont fréquenté les écoles sans éclairage naturel (Nicklas & Bailey, 1996)³.

Entre 1999 et 2003, Heschong Mahone⁴ Group, qui a porté sur la création d'une relation entre de meilleures qualités de lumière du jour et une augmentation de la performance de l'étudiant, Ils ont conclu que ces étudiants travaillés avec la lumière du jour ont augmenté leur rendement de 20% en mathématiques et 26% en lecture.

Peter R. Boyce (2004), précise en se référant à cette étude sur la relation entre la performance humaine et la lumière du jour, que la cause et la relation de l'effet n'a pas encore été prouvé, mais qu'il est possible de se assurer que la lumière du jour a un effet positif sur la performance humaine.

Grâce à ces études, la preuve cohérente sur l'importance de l'éclairage naturel dans la conception des salles d'études a été obtenue. La lumière du jour est une technologie libre, qui a un impact important sur l'expérience éducative des étudiants; si nous l'appliquons dans une appropriée Ainsi, il est possible d'améliorer les conditions environnementales dans les espaces d'enseignement.

3. Mike Nicklas & Gary Bailey, Energy Performance of Daylit Schools in North Carolina 1996.

4. Heschong Mahone Group Daylighting in Schools. An investigation into the relationship between daylight and human performance.

Problématique :

Au cours de l'histoire de l'architecture la lumière a occupé une place importante et était une source d'inspiration pour les différentes tendances architecturales et civilisations. Grâce à la lumière, nous sommes capables de percevoir le monde qui nous entoure et particulièrement l'objet architectural. Elle transforme le bâtiment de l'extérieur et influence à son tour à l'espace l'intérieur. La lumière est indissociable de l'architecture ; elle définit chaque espace dans son rapport avec l'extérieur, elle révèle les formes, les volumes, les textures, les couleurs, les matières, etc... et permet d'approcher des notions de choix de matériaux, d'implantation, orientation, d'usage, et touche même la notion de développement durable. La lumière doit répondre à un sentiment de confort et à des usages multiples.

Vu son importance pour l'usage et l'esthétique, les concepteurs ont considéré la lumière comme un élément de base pour leurs conceptions architecturales, Parmi les exemples dans l'enseignement on trouve Medersa Maghrébine.

D'après Abdelouahab Ziani et Azeddine Belakehal⁵ la Medersa maghrébine relate en l'occurrence des ambiances lumineuses intérieures qui construisent une mémoire sensible spécifique. En effet la lumière Comme un matériau de composition architectural et d'esthétique, elle occupe, indubitablement, une place importante dans les architectures médiévales. Ce qui transparaît à travers les édifices qu'a connu la civilisation islamique tels que ; les Medersas, les Mosquées.

Aujourd'hui dans les établissements d'enseignement, la combinaison judicieuse d'éclairage artificiel et naturel joue un rôle essentiel, L'éclairage des salles d'études doit être homogène et garantir de conditions d'apprentissage optimales dans toutes les situations.

Des possibilités d'éclairage individuel avec des éléments de commande intuitifs pour les différentes zones et activités complètent la solution lumière Salles d'études et amphis théâtre, Selon le type d'école et le modèle d'utilisation, en plus des principes de base d'un bon éclairage, certaines exigences spéciales doivent en outre être remplies, atelier, salles de cours et bibliothèques Dans ces salles, l'éclairage a pour tâche d'accélérer le flux d'informations, de fournir une lumière fonctionnelle et de créer une ambiance agréable.

Ce qui a attiré notre attention, c'est qu'en Algérie, nous avons constaté un large usage du système conventionnel d'éclairage unilatéral dans les constructions scolaires et universitaires qui est, de l'avis de J.J. DELETRE⁶, l'un Des systèmes optiques les moins performant du point de vue éclairage, notamment lorsqu'il existe des obstructions extérieures.

5. Abdelouahab Ziani et Azeddine Belakehal SPATIALITES LUMINEUSES DES MEDERSAS DU MAGHREB

6. DELETRE, J.J. Mémento de prises de jour et protections solaires. Grenoble : Ecole d'Architecture de Grenoble. 25/11/03, p 2.

la question qui nous est venue à l'esprit c'est de savoir si ces derniers sont aussi performants pour l'éclairage des ateliers dus à sa moyenne surface, et son différentes orientations est l'effet de cette dernière sur qualité d'éclairage sur le plan de travail dans l'atelier et le confort visuel des étudiants, sous un climat lumineux particulier tel que celui de la ville de Batna, notez que tous les études précédentes sont basés sur l'étude de salle de classes négligent l'importance des ateliers malgré son importance pour les étudiants en architecture durant son cursus et son utilisation pour les différents usages.

Pour vérifier cela, nous avons choisi comme cas d'étude, les ateliers de l'institut de l'hydraulique, génie civile et architecture de l'université Hadj Lakhder de Batna qui sont éclairés par un éclairage unilatéral et artificiel.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer quantitativement et qualitativement, les performances lumineuses du système d'éclairage unilatéral des ateliers dans les différentes orientations afin de déceler les différentes orientations positives qui nous permettront par la suite de proposer d'éventuelles sur l'implantation du futur bâtiment. Ces évaluations seront effectuées sur la base d'indicateurs (éclairage lumineux, facteur de lumière du jour) ainsi que sur la réglementation étrangère. Aussi, compte tenu de la rareté voire l'absence de réglementation algérienne dans le domaine⁷, donc cette évaluation nous aidera à établir une proposition concrète pour les futures infrastructures pédagogiques.

Afin d'atteindre cet objectif, nous avons construit une hypothèse qui va nous aider à mieux cerner le champ de notre problématique.

Ces hypothèses qui sont :

L'orientation a une influence sur le confort visuel dans les ateliers.

L'orientation Nord des ouvertures unilatérales sont efficace pour l'éclairage des ateliers sous le climat lumineux de Batna.

Méthodologie et outils de recherche :

Pour nous aider à confirmer ces hypothèses, nous avons procédé à une évaluation qui est basée sur l'usage de programme de simulation (**Ecotect v5**) de mesures des niveaux d'éclairage lumineux dans l'atelier, en essayant le plus possible de prendre les conditions climatiques et les conditions du ciel les plus défavorables pour une plus grande fiabilité. Et de les comparer aux textes réglementaires et techniques élaborés par les

7. ROUAG, Djamilia. Sunlight problems within new primary school classrooms in Constantine, Thèse de Doctorat, Constantine: Université Mentouri de Constantine, Avril 2001, p 13-14.

Différents organismes spécialisés. Cette comparaison nous permettra de porter un jugement sur l'efficacité du dispositif d'éclairage naturel unilatéral est son orientation.

1- Définition de l'éclairage naturel :

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

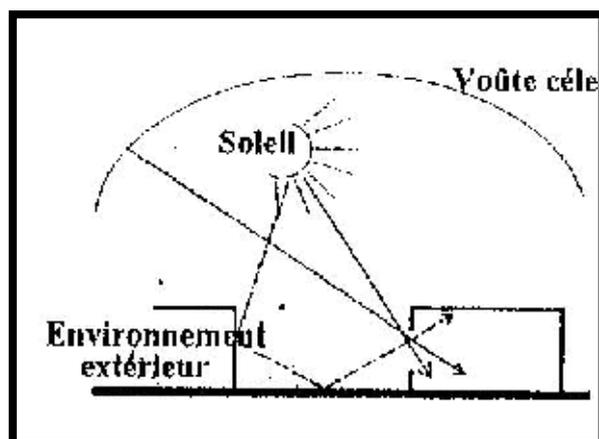
Si le soleil est la source mère de tout type de lumière, techniquement *l'éclairage naturel global* comprend à la fois l'éclairage produit par le soleil, la voûte céleste et les surfaces environnantes ².

Cependant, certains spécialistes dans le domaine ont, pendant longtemps, omis de considérer dans leurs définitions et leurs calculs l'éclairage direct provenant du soleil, ne prenant en considération que la lumière diffuse du ciel. Parmi ces spécialistes, nous citerons F. BOUVIER ³ qui le définit comme étant « l'éclairage produit par la voûte céleste et les réflexions de l'environnement, à l'exclusion de l'éclairage direct du soleil ».

2- **Sources de l'éclairage naturel** : une source est « un convertisseur qui transforme une énergie en un rayonnement » ⁴. Il existe également des « sources lumineuses diurnes » (Figure 1.1) qui émettent un rayonnement électromagnétique pendant la journée et sont à l'origine de la vision dite « photopique ».

Figure 1.1 : Sources lumineuses diurnes.

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



1. W. C. BROWN et K. RUBERG. «RSB 88 : Facteurs de performance des fenêtres ». Canada.1988 [En ligne] <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/bsi/rsb.html> (Page consultée le 12 octobre 2004)

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

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

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

Ainsi, nous avons classé les sources de la lumière diurne en deux catégories : les sources directes et les sources indirectes.

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

2.1.1-Source primaire :

Le Soleil est une source primaire de la lumière naturelle diurne et il est à l'origine du rayonnement visible direct appelé « lumière solaire ». Quant à cette dernière, elle est définie Cette composante de la lumière naturelle est prépondérante sous un ciel clair et dispense un flux considérable qui s'avère facile à capter et à diriger, de même qu'elle présente une dynamique intéressante et peut être utilisée en tant qu'énergie lumineuse et thermique.

Par contre, le rayonnement solaire direct est souvent une source d'éblouissement et parfois de surchauffe du bâtiment. En plus, sa disponibilité est épisodique et dépend de l'orientation des ouvertures et du type du climat lumineux. D'autre part, la lumière solaire qui est une lumière directive donne des ombres propres et portées très contrastées qui peuvent être souvent gênantes pour l'exécution d'une tâche visuelle pointue. Tous ces paramètres doivent être pris en considération lors de la conception d'un projet d'éclairage naturel afin d'aboutir à une stratégie à la fois efficace et économique.

2.1.2- Sources secondaires :

Une « source secondaire » est une source de lumière qui n'est visible que lorsqu'elle est éclairée par une source primaire⁵, telle la voûte céleste qui est éclairée par le rayonnement solaire dont une partie (environ 25%), qui est absorbée et réémise par l'atmosphère, constitue ce que les spécialistes appellent la lumière diffuse du ciel. Selon J. BELL et W. BURT: « la lumière du ciel est la partie de l'irradiation solaire qui atteint la surface terrestre et qui résulte de la diffusion par l'atmosphère »⁶.

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

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

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

De l'avis de L. MUDRI⁷, les répartitions spectrales de la lumière solaire et de la lumière diffuse par le ciel sont différentes à cause des composantes de ces deux sources.

En effet, la voûte céleste est composée d'un voile plutôt uniforme et de nuages, qui sont des formations non uniformes et variables, qui sont à l'origine de la composition spectrale du rayonnement diffus. Ainsi, la luminosité du ciel et la qualité de la lumière qu'il émet dépendent essentiellement de la composition de l'atmosphère, de son épaisseur, de la présence de particules en suspension...etc.

2.2- Sources lumineuses diurnes indirectes :

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

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

3-Type d'éclairage naturel :

3.1- Eclairage zénithal :

D'autre part, les systèmes d'éclairage zénithal peuvent procurer de la lumière naturelle soit directement ou indirectement. Pour ce qui est des systèmes d'éclairage zénithal direct, ils sont composés uniquement d'une ouverture percée dans la toiture. Tandis qu'un système d'éclairage zénithal indirect est composé de deux parties : une ouverture qui capte la lumière naturelle et un système de distribution qui réfléchit ou diffuse cette lumière.

3.2- Eclairage latéral :

L'éclairage latéral caractérisé par l'usage de prises de jour en façade est associé, selon C. TERRIER et B. VANDEVYVER⁸, aux locaux de faible hauteur sous plafond : de 2,50 mètres à 3 mètres. Ce système optique est, d'après J.J. DELETRE⁹, l'un des moins performants du point de vue éclairage par la lumière du jour, en particulier dans les cas où il y a un masque

7. MUDRI, Ljubica. De l'hygiène au bien-être, du développement sans frein au développement durable: ambiances lumineuses. Paris : Ecole d'architecture de Paris- Belleville. Novembre 2002. p 1-4.

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

9. DELETRE, J.J. Mémento de prises de jour et protections solaires. Grenoble: Ecole d'Architecture de Grenoble, 2003, p 2.

Extérieur. C'est pourtant l'un des plus utilisés, notamment dans les constructions d'enseignement, pour des raisons pratiques mais aussi parce qu'il permet la vue vers l'extérieur.

3.2.1- Exigences de l'éclairage latéral :

1- Aspects thermiques et éblouissement : Lors de la conception d'un dispositif d'éclairage latéral, il faut tenir compte des aspects thermiques du rayonnement solaire et de l'éblouissement. En effet, il faut éviter la pénétration directe des rayons solaires sur les plans de travail afin d'empêcher l'éblouissement des occupants. Un autre objectif consiste à réaliser une bonne isolation thermique afin d'éviter un apport excessif de chaleur dans l'ensemble du local, notamment en été. Ce surplus thermique conduisant à l'effet de serre. Ces deux objectifs seront atteints par un choix judicieux de l'orientation des vitrages et par un système de protection solaire performant.

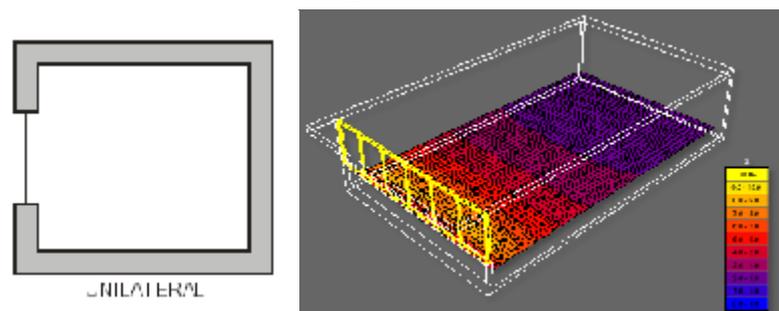
2- Vue sur l'extérieur : Les locaux doivent comporter, à hauteur des yeux, des baies transparentes donnant sur l'extérieur. Ce paramètre est essentiel pour le bien être psychologique des occupants.

3.2.2- Types d'éclairage latéral :

- **Eclairage unilatéral :** Il s'agit d'un éclairage fourni par une ou plusieurs ouvertures verticales disposées sur une même façade d'une orientation donnée. Cette disposition permet de réaliser des effets de relief et des harmonies de contrastes. L'inconvénient que présente ce type de système d'éclairage naturel est la possibilité d'ombres gênantes, par exemple, surtout si les parois du local sont sombres. Mais le défaut majeur est que l'éclairage intérieur résultant est très peu uniforme, comme l'indique la figure 1.2, car il est fortement influencé par la profondeur du local.

Figure 1.2 : Performances lumineuses d'un dispositif d'éclairage unilatéral.

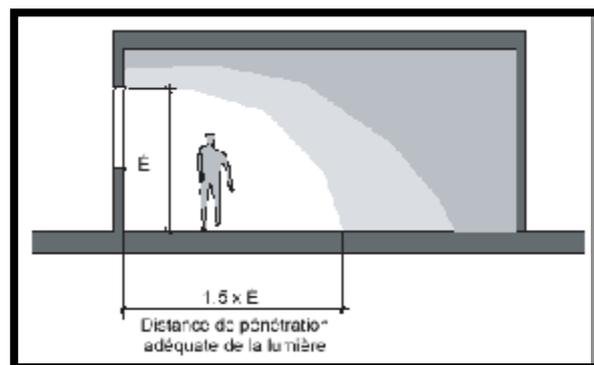
Source : [www.squ1.com]



En effet, si l'intérieur est trop profond par rapport à la hauteur de l'ouverture au-dessus du plancher, l'éclairage sera insuffisant au fond du local car, d'après K. ROBERTSON¹⁰, une lumière du jour suffisante pénètre sur une distance d'une fois et demie la hauteur de l'ouverture au-dessus du plancher (Figure 1.3), bien que cette distance puisse atteindre deux fois cette hauteur sous un ensoleillement direct.

Figure 1.3 : Pénétration approximative de la lumière naturelle.

Source : K. ROBERTSON, 2003.



Pour cela, A. VANDENPLAS¹¹ recommande que la profondeur des pièces éclairées unilatéralement par des fenêtres classiques à verre transparent doive se limiter pratiquement à deux fois la hauteur du plafond au-dessus du plan utile. Elle peut aller jusqu'à un maximum de trois fois dans le cas où le plan de la fenêtre est complété par des briques fonctionnelles. Quant au British Research Establishment¹², il propose une méthode plus précise qui prend en compte la réflectance moyenne des parois intérieures et qui s'exprime par la relation suivante:

$$(P/L + P/H) < 2 / (1-RB)$$

- **P** : profondeur du local.
- **L** : largeur du local.
- **H** : hauteur sous linteau de l'ouverture.
- **RB** : réflectance moyenne du local.

Toutefois, la pénétration ainsi que l'uniformité de l'éclairage naturel unilatéral peuvent être améliorées par l'utilisation de dispositifs de déviation de la lumière naturelle comme les bandeaux lumineux « light shelves » (Figure 1.4), les dispositifs anidoliques (Figure 1.5), ou bien les verres prismatiques qui, grâce à leurs propriétés physiques, dirigent une partie de la

10. ROBERTSON, Keith. Guide sur l'éclairage naturel des bâtiments, Ontario : SCHL-CMHC, 2003, p 5.

11. A. VANDENPLAS. Comité National Belge de l'Eclairage- Commission de l'Eclairage Naturel, L'éclairage naturel et ses applications. Bruxelles : S.I.C, 1964, p123.

12. The Chartered Institution of Building Services Engineers. Applications manual: Window design, London: CIBSE, 1987, p14.

Lumière du jour vers le plafond du local qui va à son tour la diffuser vers le fond du local. Nous pouvons aussi jouer sur la réflectivité des surfaces intérieures de l'espace. En l'augmentant, nous augmentons la quantité de lumière du jour réfléchi vers l'arrière du local ainsi que les niveaux d'éclairage.

Figure 1.4: Pénétration approximative de la lumière naturelle avec l'usage d'un « light shelf ».

Source : K. ROBERTSON, 2003.

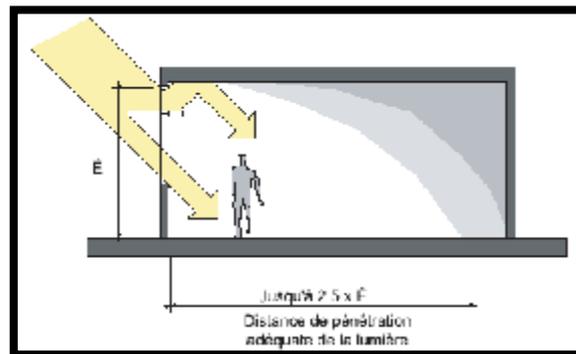
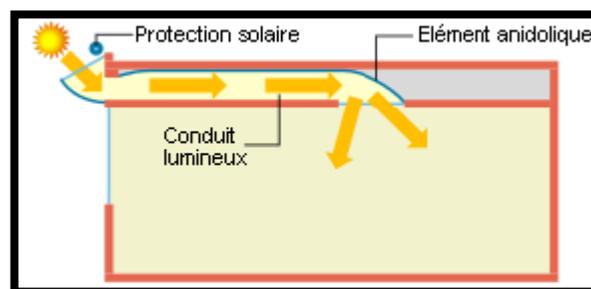


Figure 1.5: Dispositif anidolique.

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



D'autre part, la largeur d'un bâtiment éclairé unilatéralement est limitée par la profondeur de deux pièces et le vestibule les reliant. A ce propos, F.L. WRIGHT¹³ a trouvé que la largeur idéale d'une aile d'un bâtiment disposant d'un éclairage unilatéral serait d'environ 13 mètres afin que ce dernier puisse jouir de bonnes conditions d'éclairage naturel. Mais pour augmenter la largeur totale de certains bâtiments éclairés unilatéralement, les architectes adoptent des plans de formes variées (Figure 1.6) en créant des puits de jour qui laissent pénétrer la lumière naturelle et évitent les masses sombres.

13. WRIGHT, Frank Loyd in SCHILER, Marc. Simplified design of building lighting, New York- Chichester- Weinheim- Brisbane- Toronto-Singapore: John Wiley & Sons .INC, 1992, p87.

Figure 1.6 : Empreintes de bâtiments éclairés unilatéralement.

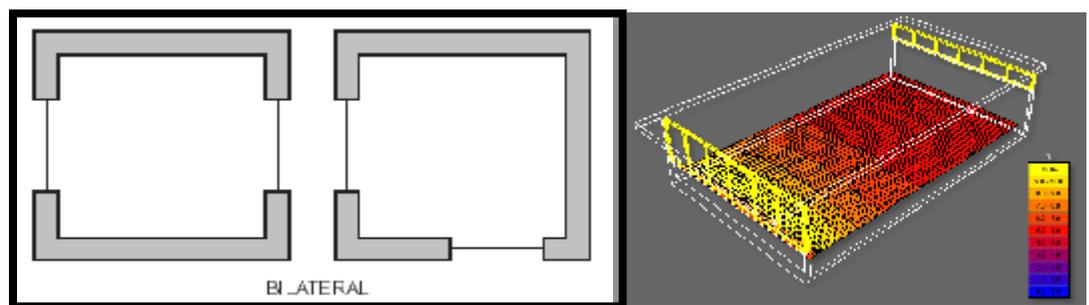
Source : I. PASINI, 2002.

**- Eclairage bilatéral :**

L'éclairage bilatéral consiste à avoir des ouvertures verticales sur deux murs, soit parallèles, soit perpendiculaires, d'un même local (Figure 1.7).

Figure 1.7 : Dispositifs d'éclairage bilatéral et ses performances lumineuses.

Source : I. PASINI, 2002. Source : [www.squ1.com]



Cette solution remédie au défaut majeur que pose l'éclairage unilatéral. En effet, selon A. VANDENPLAS¹⁴, la profondeur des pièces éclairées par un dispositif bilatéral peut atteindre facilement quatre fois la distance entre le plafond et le plan utile. Ce qui permet d'éclairer efficacement un local de dimensions plus importantes que celles permises par un éclairage unilatéral. En plus, il procure un éclairage plus uniforme et réduit les contrastes ainsi que les risques d'éblouissement.

- Eclairage multilatéral

L'éclairage multilatéral présente de nombreux avantages, notamment:

- Favoriser la ventilation naturelle transversale des pièces en la doublant ou en la triplant.

14. A. VANDENPLAS. Comité National Belge de l'Eclairage- Commission de l'Eclairage Naturel, L'éclairage naturel et ses applications. Bruxelles : S.I.C, 1964, p123.

- Les ouvertures réduisent les ombres denses et augmentent les contrastes à l'intérieur des pièces.
- Les ouvertures réduisent le risque d'éblouissement du ciel en augmentant l'éclairage des murs de fenestration.

Mais il présente certaines contraintes dont la plus importante consiste à augmenter les risques de surchauffe en période estivale ainsi que les déperditions de chaleur en période hivernale.

3.2.3- Dimensionnement des ouvertures latérales :

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

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

3.2.4- Paramètres influençant l'éclairage latéral :

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

1- Position des ouvertures latérales :

Selon l'étude de CADIERGUES¹⁵ (Figure1.8), une ouverture horizontale (ou carrée) placée le plus haut possible apporte plus de lumière du jour qu'une fenêtre de même forme placée au niveau du plan utile, car la luminance du ciel croît de plus en plus de l'horizon au zénith, augmentant avec elle la composante directe du facteur de lumière du jour à l'intérieur du local. En effet, il s'avère qu'en passant de la baie horizontale placée au niveau du plan utile (cas1) à la baie horizontale placée le plus haut possible (cas 5), l'éclairage du fond croît de 50%. De même, en passant de la baie carrée placée au niveau du plan utile (cas2) à la même baie carrée placée le plus haut possible (cas 4), l'éclairage du fond croît de 22%. Cependant, opter pour une baie horizontale haute n'est pas toujours possible pour des raisons de prospect, de vue sur l'extérieur mais aussi pour des raisons esthétiques comme le montre si bien la figure 1.8.

15. CADIERGUES in A. VANDENPLAS. Comité National Belge de l'Eclairage- Commission de l'Eclairage Naturel, L'éclairage naturel et ses applications. Bruxelles : S.I.C, 1964, p122.

2- Surface des ouvertures latérales : Selon la même étude, l'efficacité lumineuse d'une ouverture latérale est proportionnelle à sa surface. Ainsi, en doublant la surface de la baie horizontale haute (cas6), on double pratiquement le facteur de lumière du jour : le gain est d'environ 67%.¹⁶

3- Forme des ouvertures latérales :

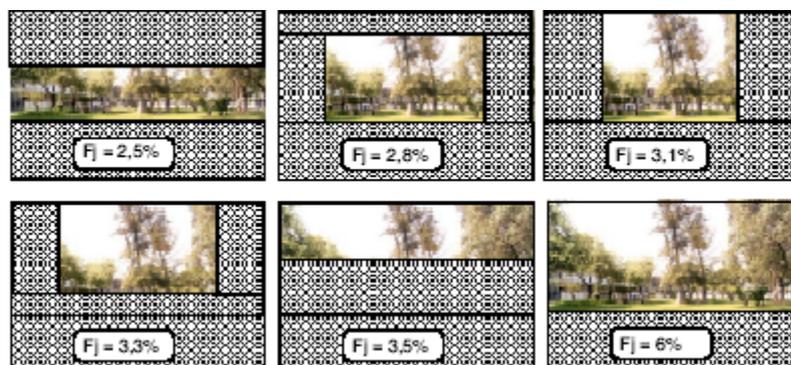
La performance de n'importe quelle forme d'ouverture latérale dépend essentiellement de sa position dans le mur de fenestration. C'est pour cette raison qu'en passant de la baie horizontale placée au niveau du plan utile (cas1) à la fenêtre classique verticale de même position et de même surface (cas 3), on relève un gain de lumière de 30%. Tandis qu'en passant de la fenêtre classique verticale (cas3) à la baie horizontale haute (cas 5) de même surface, on relève un gain de lumière de 17%.

4- Obstructions extérieures :

Comme le montre la figure 1.9, la valeur de l'angle d'obstruction (défini comme étant l'angle sous lequel l'obstacle extérieur est vu depuis le centre de la fenêtre) joue un rôle important dans la disponibilité de l'éclairage naturel à l'intérieur d'un local. Ainsi, les valeurs du facteur de lumière du jour à l'intérieur d'un local diminuent considérablement avec l'augmentation de l'angle d'obstruction car plus l'obstruction est importante, moindre est la surface du ciel visible à partir des points intérieurs du local.¹⁷

Figure 1.8: Performance lumineuse des ouvertures latérales en fonction de leur position.

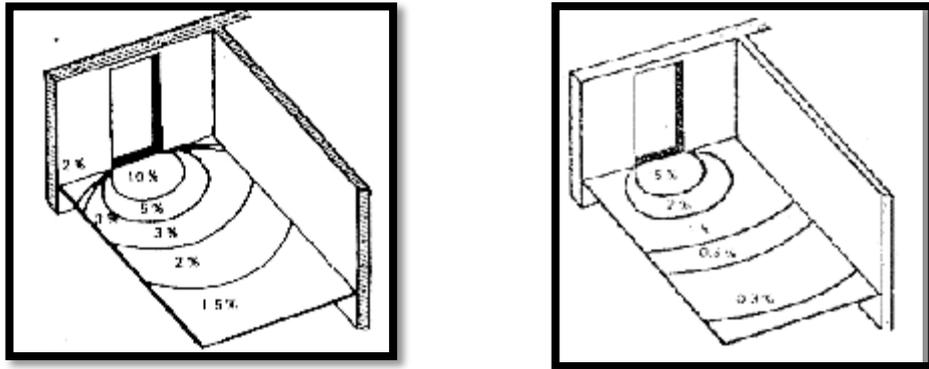
Source : J.J. DELETRE, 2003.



16. CADIERGUES in A. VANDENPLAS. Comité National Belge de l'Eclairage- Commission de l'Eclairage Naturel, L'éclairage naturel et ses applications. Bruxelles : S.I.C, 1964, p122.

17. Société Saint Gobain. Les verres et le rayonnement naturel. Paris : Saint-Gobain, p19.

Figure 1.9: Performance lumineuse des ouvertures latérales avec
 angle d'obstruction=0° angle d'obstruction=45°
 Source : J.L. IZARD, 1994.



Conclusion

Fréquemment utilisés dans les constructions d'enseignement, les ouvertures latérales ne voient qu'une moitié du ciel. Par ciel couvert, ces ouvertures verticales ont donc des performances lumineuses nettement plus faibles. En outre, la lumière pénètre latéralement dans les locaux, ce qui peut créer des situations de contre-jour ou d'éblouissement à proximité des fenêtres. Cependant, les ouvertures latérales en façade Sud transmettent un maximum de rayons solaires en hiver, ce qui favorise l'utilisation des gains solaires, tout en limitant les pénétrations estivales et les surchauffes qu'elles induisent.

Les ouvertures latérales ont donc un comportement radicalement divergeant en ce qui concerne la sélection des pénétrations solaires.

Le climat lumineux :

La qualité ainsi que la quantité de la lumière naturelle disponible dans un local sont, tout d'abord, fonction du climat lumineux extérieur de son site d'implantation¹.

En effet, l'éclairement lumineux, la luminance et la composition spectrale de la lumière du jour sont fonction de la position géographique du site (latitude), des saisons, des moments de la journée et des conditions météorologiques.

Dans ce chapitre, nous allons essayer de définir l'influence de chacun de ces facteurs sur le potentiel lumineux d'un site, et par la même occasion, leur impact à l'intérieur d'un bâtiment implanté sur ce dernier et ce, en présentant séparément les paramètres de variabilité de la lumière solaire et de la lumière diffuse provenant du ciel.

1- La lumière solaire directe :

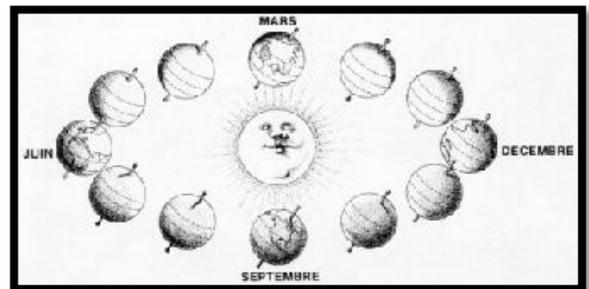
La disponibilité de la lumière solaire en un lieu donné dépend du mouvement et des positions du soleil. Ainsi, la connaissance du mouvement apparent de ce dernier sur la voûte céleste pour un observateur terrestre, permet de mettre à jour les principales spécificités d'ensoleillement et les ressources solaires d'un site. Ces données fixent un certain nombre de contraintes ou d'attitudes à adopter pour mieux intégrer les facteurs solaires dans le projet architectural, notamment en matière d'éclairage naturel.

1.1- Mouvement annuel de la terre autour du soleil :

En raison du mouvement annuel de la terre autour du soleil (Figure 2.1), l'angle d'incidence des rayons solaires parallèles varie d'une saison à l'autre. Leur inclinaison par rapport au plan de l'équateur terrestre est représentée par un angle appelé « déclinaison », positive ou négative, suivant que le rayon principal frappe au-dessus, vers l'hémisphère Nord, ou au-dessous vers l'hémisphère Sud. Ainsi, au cours de l'année, les zones géographiques terrestres sont soumises différemment au rayonnement direct.

Figure 1.10 : Mouvement annuel de la terre autour du soleil.

Source : E. MAZRIA, 1981.



¹ MUDRI, Ljubica. De l'hygiène au bien-être, du développement sans frein au développement durable: ambiances lumineuses. Paris. Ecole d'architecture de Paris- Belleville. Novembre 2002, p1-1.

1. **Au solstice d'hiver** (21 décembre à l'hémisphère Nord) : les rayons solaires sont perpendiculaires au tropique du capricorne avec un angle de déclinaison de $-23^{\circ}27'$. Durant cette période, la nuit est plus longue que le jour car le soleil se lève au sud-est et se couche au sud-ouest. Les altitudes solaires sont basses et l'intensité des éclairagements lumineux directs est également minimale.

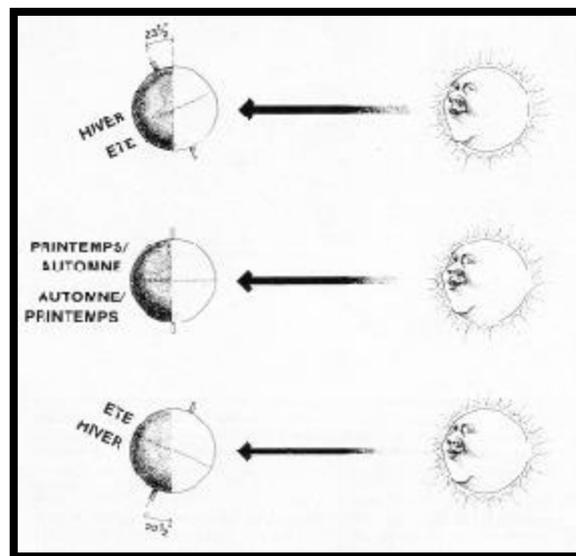
2. **Aux équinoxes de printemps** (21 mars) et d'automne (22 septembre) : les rayons solaires sont dans le plan de l'équateur et la déclinaison mesure alors 0° .

Cette position traduit l'égalité des jours et des nuits où le soleil se lève en plein Est et se couche en plein Ouest.

3. **Au solstice d'été** (23 juin) : la position de la terre est opposée à celle du 21 décembre et le soleil frappe l'hémisphère Nord avec un angle maximum de déclinaison égal à $+23^{\circ}27'$. Durant cette période, le jour est plus long que la nuit car le soleil se lève au Nord-est et se couche au Nord-ouest. Les éclairagements lumineux directs sont intenses et les altitudes solaires sont importantes.

Figure 1.11 : Variations saisonnières de la déclinaison.

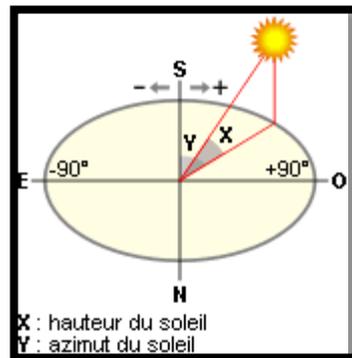
Source : E. MAZRIA, 1981.



Le soleil passe ainsi d'Est en Ouest et les ouvertures se trouvent éclairées de manières différentes en fonction de l'heure de la journée et selon leur orientation.

Figure 1.12 : Coordonnées horizontales du soleil.

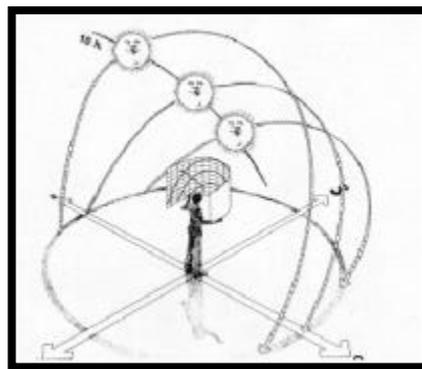
Source : A. DE HERDE et al. [www-energie.arch.ucl.ac.be]

**1.2- Trajectoire apparente du soleil sur la voûte céleste :**

De son côté B. GIVONI écrit: « En supposant que la terre est stable, le soleil suit sur la voûte céleste une trajectoire en forme de spirale. La ligne imaginaire tirée entre le soleil et la position de l'observateur terrestre, trace d'énormes cônes de révolution plats dont le sommet est occupé par l'observateur. En hiver, le cône de révolution est concave descendant vers le Sud et en été le cône concave est montant vers le Nord. Tandis qu'aux équinoxes, il est réduit à un disque »² (Figure 2.4).

Figure 1.13: Trajectoire apparente du soleil.

Source : E. MAZRIA, 1981.



Ces changements annuels et journaliers de la position solaire sont beaucoup plus simples et plus rapides à lire d'une table ou d'un diagramme de la trajectoire solaire.

Selon E. MAZRIA, un diagramme solaire est « une représentation plane en coordonnées locales de la trajectoire du soleil, perçue depuis un point de la surface terrestre »³. Son usage

2. GIVONI. B. L'homme, l'architecture et le climat, Traduction de JL. IZARD. Paris : Le Moniteur. 1978, p 208.

3. MAZRIA, Edward. Le guide de l'énergie solaire passive. Paris : Parenthèses. 1981, p239.

le plus immédiat est que l'azimut et l'altitude solaires peuvent être lus directement pour n'importe quelle heure de la journée et n'importe quel jour de l'année. Il y a cependant plusieurs types de diagrammes solaires et qui sont:

- Diagramme solaire stéréographique ou polaire.
- Diagramme solaire cylindrique ou frontale.

1.3- Influence de la latitude sur les conditions d'enselement :

La position géographique d'un lieu sur la terre est déterminée par sa latitude, qui est définie comme étant « l'angle compris entre la droite joignant le point considéré sur la terre et le centre de la terre avec le plan de l'équateur terrestre ». ⁴ En fonction de la latitude des lieux, pour une même date, les périodes d'enselement seront plus ou moins longues, inversées, voire inexistantes. Selon L. MUDRI ⁵, les éclairagements lumineux directs seront aussi d'intensité variable à cause de l'épaisseur de la masse d'air (ou de la couche atmosphérique) traversée par les rayons solaires car plus la latitude est élevée, plus l'épaisseur de la masse d'air à traverser est importante et plus l'éclairage lumineux direct est faible.

La partie du ciel occupée par le soleil aux différents moments du jour et de l'année diffère également suivant la latitude : en effet, plus la latitude est faible, donc proche de l'équateur, plus les trajectoires solaires sont centrées dans le ciel autour du zénith, à la verticale du lieu. A l'inverse, plus la latitude s'approche de celle des pôles, plus les trajectoires s'approchent de l'horizon. Par conséquent, la distribution des luminances du ciel en est également affectée.

1.4- Influence de l'orientation sur les conditions d'enselement :

Lorsque le ciel est couvert, le rayonnement lumineux est diffusé dans toutes les directions. C'est pour cette raison que les ouvertures verticales captent la lumière naturelle de manière similaire, indépendamment de leur orientation. Par contre, lorsque le ciel est clair, l'orientation de l'ouverture influence directement la quantité de lumière captée : grâce à une ouverture latérale orientée Sud, le local bénéficie d'une lumière naturelle plus facile à contrôler et d'un enselement maximal en hiver et en mi-saison, ce qui est souvent l'idéal. En été, les apports solaires sur cette surface sont nettement inférieurs qu'à l'Est ou à l'Ouest, car ils sont diminués par un facteur égal au cosinus de l'angle d'incidence ⁶.

4. Laboratoire CERMA. « La géométrie solaire », Ecole d'Architecture de Nantes [En ligne] <http://audience.cerma.archi.fr/cerma/pageweb/theorie/solaire/.html> (Page consultée le 18 avril 2004)

5. MUDRI, Ljubica. De l'hygiène au bien-être, du développement sans frein au développement durable: ambiances lumineuses. Paris. Ecole d'architecture de Paris- Belleville. Novembre 2002, p1-6.

6. DE HERDE, André et al. « Le choix de la fenêtre comme capteur de lumière naturelle ». Université Catholique de Louvain La Neuve (Belgique) [En ligne] www-energie.arch.ucl.ac.be (Page consultée le 20 mars 2004)

Par contre, les locaux éclairés par des ouvertures orientées au Nord bénéficient toute l'année d'une lumière uniforme et du rayonnement solaire diffus. Pendant l'été, ils peuvent être exposés à l'éblouissement, difficile à contrôler car le soleil est bas au coucher et au lever. Toutefois, il est judicieux de placer des ouvertures vers le nord lorsque le local nécessite une lumière homogène, peu variable ou diffuse, ce qui est préférable pour certaines activités comme un atelier de dessin, par exemple. Sinon, quand les locaux sont éclairés par des ouvertures orientées vers l'Est, ils profitent du soleil le matin mais le rayonnement solaire est alors difficile à maîtriser car les rayons sont bas sur l'horizon. Dans ce cas précis, l'exposition solaire y est faible en hiver mais elle permet d'apporter des gains solaires au moment où le bâtiment en a le plus besoin. Par contre, en été, l'orientation Est présente une exposition solaire supérieure à l'orientation Sud, ce qui est peu intéressant.

Enfin, une ouverture latérale orientée Ouest, assure une insolation directe en soirée. Mais elle présente toutefois un risque réel d'éblouissement et les gains solaires ont tendance à induire des surchauffes importantes puisque les vitrages tournés vers l'ouest apportent des gains durant l'après-midi, au moment où le bâtiment est depuis longtemps en régime.

2- La lumière diffuse du ciel :

Dans le domaine de l'éclairage naturel, et contrairement à la thermique, l'étude du ciel ainsi que de la répartition de ses luminances selon les différents moments de la journée et de l'année, est fondamentale pour la compréhension du phénomène.

Par ailleurs, la qualité et la quantité de lumière diffuse émise par la voûte céleste sont instables car les phénomènes climatiques qui entrent en jeu restent aléatoires et ne peuvent être approchés que statistiquement à travers les relevés météorologiques qui déterminent les probabilités de survenu d'un type de ciel.

2.1- Modèles de ciel :

2.1.1- Ciel couvert :

Dans le passé, le ciel couvert était considéré comme représentant les conditions défavorables pour un éclairage naturel et a servi de base pour l'élaboration de méthodes d'évaluation des niveaux d'éclairement lumineux dans les locaux⁷.

7. CHAUVEL.P et DERIBERE. M. L'éclairage naturel et artificiel dans le bâtiment. Paris: Eyrolles. 1968, p17.

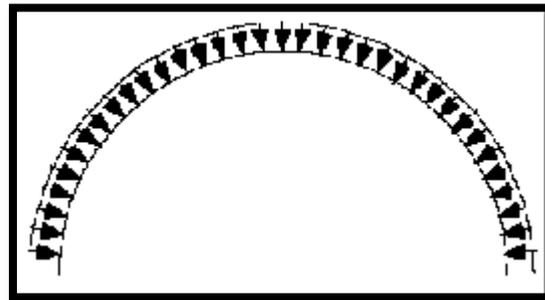
L. MUDRI le définit comme étant « un ciel caractérisé par un soleil non visible et des nuages distribués entièrement sur toute la voûte céleste ». ⁸ Cependant, il existe deux types de ciel couverts:

2.1.1.1- Ciel couvert uniforme :

D'après F. BOUVIER ⁹, le ciel couvert uniforme correspond à un ciel très fortement couvert.

Figure 1.14: Répartition des luminances pour un ciel couvert uniforme.

Source : J.L. IZARD, 1994.



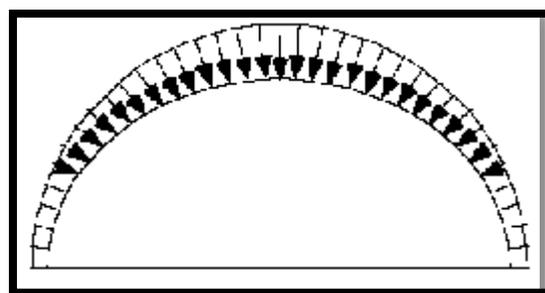
2.1.1.2- Ciel couvert C.I.E

Le premier type de ciel normalisé en 1955 par la Commission Internationale de l'Eclairage fut un ciel couvert nuageux, appelé ciel C.I.E ou ciel « Moon et Spencer ».

Ces deux chercheurs ont proposé une distribution des luminances basée sur des mesures américaines effectuées par H.H. Kimball en 1923 qui correspondait à un ciel couvert moyen que l'on rencontre au Royaume Uni ¹⁰ et dont la répartition des luminances est de révolution autour d'un axe vertical de symétrie (Figure 2.5). Cette dernière est caractérisée par une luminance au zénith (L_z) trois fois supérieure à celle de l'horizon (L_0)

Figure 1.15: Répartition des luminances pour un ciel couvert C.I.E.

Source : J.L. IZARD, 1994.



8. MUDRI, Ljubica. De l'hygiène au bien-être, du développement sans frein au développement durable: ambiances lumineuses. Paris : Ecole d'architecture de Paris- Belleville. Novembre 2002, p 1-13.

9. BOUVIER, François « Eclairage naturel ». Technique de l'ingénieur, Vol. C 6, n°C 3 315. Paris (1981), p8.

10. A. VANDENPLAS. Comité National Belge de l'Eclairage- Commission de l'Eclairage Naturel, L'éclairage naturel et ses applications. Bruxelles : S.I.C, 1964, p137.

Pour ces deux modèles de ciel couvert, les niveaux de luminance varient d'un instant à l'autre. Par contre, la répartition est constante. Théoriquement et dans la réalité d'un climat lumineux, la répartition et le niveau des luminances sont cycliques.¹¹

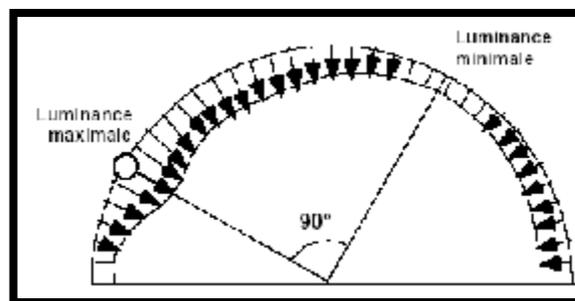
2.1.2- Ciel clair serein (ou ciel bleu) :

Dix-huit ans après la normalisation du ciel couvert C.I.E, et compte tenu du fait que ce ciel ne peut être représentatif des conditions climatiques réelles de beaucoup de régions à travers le monde, notamment dans les régions arides et semi arides, un autre modèle standard de la répartition de la luminance de la voûte céleste a été adopté par la C.I.E en 1973 : il s'agit du ciel clair C.I.E.

Le modèle de ciel clair tient compte des conditions réelles moyennes et des relations de diffusion et de réfraction de la lumière solaire dans une atmosphère parfaitement claire et sans nuages.¹² Alors que la répartition des luminances est axée sur la position du soleil dans le ciel où la valeur de la luminance dépend en particulier de la hauteur apparente du soleil.

Figure 1.16: Répartition des luminances pour le modèle du ciel clair C.I.E.

Source : J.L. IZARD, 1994.



De plus, la luminance d'un point du ciel serein varie d'un instant à l'autre avec le mouvement apparent du soleil (annuel et diurne). Mais, pour une position solaire précise, la luminance de ce point sera la même chaque année (si le ciel est toujours clair). Ceci veut dire que la distribution des luminances de ce type de ciel est cyclique.

11. MUDRI, Ljubica. De l'hygiène au bien-être, du développement sans frein au développement durable: ambiances lumineuses. Paris : Ecole d'architecture de Paris- Belleville. Novembre 2002, p1-13.

12. MUDRI, Ljubica. De l'hygiène au bien-être, du développement sans frein au développement durable: ambiances lumineuses. Paris : Ecole d'architecture de Paris- Belleville. Novembre 2002, p1-11.

2.1.3- Ciels intermédiaires :

S'il n'existe jusqu'à présent que deux modèles standard de ciel normalisés par la C.I.E, les recherches quant à elles n'arrêtent pas d'évoluer et sont basées essentiellement sur des campagnes de mesures de grande envergure, comme celle menée en 1986 par M. PERRAUDEAU qui a conduit à une nouvelle classification des types de ciel et qui est en train d'être adopté au niveau international¹³. En effet, ce chercheur a établi, dans son rapport intitulé: «Climat lumineux à Nantes, résultats de 15 mois de mesures» (CSTB, EN-ECL 86.14L), cinq types de ciel, comprenant le ciel bleu et le ciel couvert ainsi que trois nouveaux types de ciel dits « intermédiaires » qui sont: le ciel intermédiaire bleu IB, le ciel intermédiaire médian IM, et enfin le ciel intermédiaire couvert IC.

2.1.3.1- Ciel intermédiaire bleu IB et ciel intermédiaire couvert IC :

En ce qui concerne le ciel intermédiaire bleu, il représente un ciel avec des nuages répartis non uniformément sur la voûte céleste sans couvrir le soleil (soleil visible).

Quant au ciel intermédiaire couvert, il représente un ciel avec des nuages répartis non uniformément sur la voûte céleste mais qui couvrent le soleil (soleil invisible)¹⁴.

Ces deux modèles ne sont pas normalisés.

Comme pour un ciel clair, la répartition et le niveau des luminances pour ces deux modèles de ciel varient suivant la position solaire. De même que sur le plan théorique, cette répartition et ce niveau de luminance ont un caractère cyclique annuel. Pourtant, ils couvrent une infinité de ciels différents en fonction de la luminance des nuages, de leur surface, de leur position...etc.

2.1.3.2- Ciel intermédiaire médian IM

Au sujet du ciel intermédiaire médian, M. PERRAUDEAU le définit comme « le type de ciel qui varie très rapidement au cours du temps »¹⁵ car il regroupe en fait tous les types de ciels précédents.

Pour cela, l'auteur insiste sur la probabilité d'apparition de ce ciel qui dépend largement des pas de temps choisis pour l'intégration des mesures du ciel (heure, minute...) car lors de la campagne de mesures menée pour le C.S.T.B et qui avait pour but de définir la probabilité d'apparition des différents types de ciel à Nantes, il y eu un besoin théorique de ce modèle

13. Idem, p1-9.

14. PERRAUDEAU, Michel in MUDRI, Ljubica. De l'hygiène au bien-être, du développement sans frein au développement durable: ambiances lumineuses. Paris : Ecole d'architecture de Paris- Belleville. Novembre 2002, p1-9.

15. Idem

car, même avec un pas de temps d'intégration du ciel d'une minute, les mesures ont montré que ce ciel intermédiaire médian apparaissait pendant 25% du temps.

2.2- Influence de la couverture nuageuse sur l'éclairage naturel :

Les nuages, qui sont des formations non uniformes et variables du point de vue surface, forme et luminosité, agissent comme un facteur dynamique dans la redistribution de l'énergie du spectre solaire. Cette redistribution dépend à la fois du mouvement du soleil et des évolutions des nuages qui relèvent du calcul météorologique de ce que les spécialistes appellent la «nébulosité » et qui est défini comme étant « le paramètre météorologique qui permet d'estimer l'importance prise par les nuages dans les phénomènes de réflexion, diffusion et absorption à leur traversée par le rayonnement solaire »²⁹. Nous distinguons cependant deux types de nébulosité :

-La nébulosité totale qui correspond à la fraction du ciel occulté par les nuages pour un observateur situé au sol, en essayant de compenser les effets de perspective trompeurs liés à la forme des nuages et surtout au rapport entre leurs dimensions horizontales et verticales.

-Il existe aussi des estimations de nébulosité partielle, qui ne prennent en compte que des catégories déterminées de nuages en fonction de telle ou telle caractéristique ou une combinaison de caractéristiques tels que le genre, l'espèce, la variété, la couche ou l'étage atmosphérique...

Des dénominations courantes de valeurs ou d'intervalles de valeurs de la nébulosité totale sont associées à la description de l'état du ciel. Selon Météo France³¹, trois types de ciel peuvent de ce point de vue être distingués en priorité, il s'agit du :

1. ciel clair qui est entièrement ou presque entièrement dégagé de nuages, l'estimation de sa nébulosité étant inférieure à 1 octa.
2. ciel couvert qui est au contraire entièrement occulté par les nuages et où l'estimation de sa nébulosité atteint 8 octas.
3. ciel nuageux qui est un ciel dont plus d'une moitié est occultée par les nuages, l'estimation de sa nébulosité dépassant 4 octas sans toutefois atteindre celle d'un ciel couvert.

16. PERRIN de BRICHANBAUT.Ch et VAUGE.Ch. Le gisement solaire : évaluation de la ressource énergétique. Paris: Technique et Document (Lavoisier). 1982, p46.

17. Météo France. « Nébulosité » [En ligne] http://www.meteofrance.com/FR/glossaire/designation/369_curieux_view.jsp (Page consultée le 22 Février 2005)

Nous pouvons en outre retenir :

- un ciel avec une nébulosité située entre 1 et 3 octas dit « peu nuageux », que l'on juge largement dégagé malgré la présence effective de nuages.
- un ciel avec une nébulosité entre 4 et 5 octas dit « assez nuageux », que les nuages recouvrent pour moitié, si ce n'est davantage.
- un ciel avec une nébulosité entre 6 et 7 octas dit « très nuageux », qui est recouvert en grande majorité de nuages.

En ce qui concerne nos stations météorologiques algériennes, la classification établie est la suivante:

- 0-1-2 octas correspondent à un ciel clair.
- 3-4-5 octas correspondent à un ciel semi couvert.
- 6-7-8 octas correspondent à un ciel couvert.

2.3- Influence du type de ciel :

Comme nous l'avons déjà mentionné plus haut, la lumière naturelle traduit les fluctuations de l'état du ciel. Des études ont montré que le ciel couvert fournit un éclairage parfaitement symétrique par rapport à l'axe du local¹⁸, ce qui est dû au fait que la distribution des luminances de la voûte céleste de ce type de ciel est symétrique par rapport au zénith. Ce n'est cependant pas le cas d'un ciel clair puisque la répartition lumineuse d'un local éclairé naturellement par un ciel clair serein est très souvent fortement asymétrique et les valeurs d'éclairement intérieur sont nettement supérieures que par ciel couvert car la lumière solaire disponible diminue fortement lorsque le ciel se couvre.

- Conclusion

Il demeure très difficile de décrire avec précision le climat lumineux d'une région, en raison des nombreux facteurs entrants en jeu. Face à cette difficulté, la Commission Internationale de l'Eclairage¹⁹ a lancé en 1991 à l'échelle internationale, un vaste programme de mesures « International Daylight Measurement Programme » dont le but est de définir les tendances climatiques lumineuses des différentes régions à travers le globe terrestre en termes de rayonnement solaire. Les mesures relevées dans les cinquante stations I.D.M.P sont:

18. DE HERDE, André et al. « La variation de l'éclairage naturel ». Université Catholique de Louvain La Neuve (Belgique) [En ligne] www-energie.arch.ucl.ac.be/NouvelleConception/theorie/NCthEclairage Nat.htm (Page consultée le 20 mars 2004)

19. Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat. « Thèmes principaux ». Vaulx-en-Velin : ENTPE. 2001 [En ligne] <http://idmp.entpe.fr/vaulx/stufr.htm> (Page consultée le 20 Février 2005)

1. les éclairagements lumineux horizontaux globaux et diffus.
2. les éclairagements lumineux verticaux globaux: Nord, Est, Sud et Ouest.
3. les éclairagements énergétiques horizontaux globaux et diffus.
4. la luminance du zénith de la voûte céleste.
5. la température sèche.
6. l'humidité relative.
7. la direction et la vitesse du vent.

Mais, le nombre des stations de mesure reste insuffisant. C'est pour cela que depuis 1996, les chercheurs travaillent sur l'utilisation des images satellites, qui fournissent une couverture spatiale complète de la terre, pour déterminer les « éclairagements lumineux ».

Une fois le climat lumineux de la région identifié, le choix du type de dispositif d'éclairage naturel dépendra en second lieu de la destination et du type de local à éclairer. Dans notre étude, il s'agira d'identifier les exigences de l'éclairage intérieur des ateliers qui assureront le « confort visuel » de ses occupants, à savoir les étudiants et les enseignants.

Les étudiants et les enseignants, tout cycles confondus, travaillent souvent dans des conditions de confort visuel peu satisfaisantes.

En Algérie, plus de 8 millions de jeunes, représentant plus du quart de la population globale, sont sur les bancs d'écoles, collèges, lycées et universités¹. Ces jeunes étudient pendant au moins 5 ans, durant 8 mois de l'année, 6 jours par semaine et 8 heures par jour dans une salle d'études et ateliers. Cette période de vie concerne des êtres en pleine évolution, il faut donc leur assurer des conditions de travail optimales dans un environnement confortable, favorisé notamment par un bon éclairage. Il faut savoir que les performances visuelles demandées à ces jeunes sont considérables : « le travail scolaire consiste à capter, à retenir et à assimiler une multitude d'informations, dont 65% sont visuelles et seulement 35% sont orales. »²

Ce chapitre a pour but d'identifier les exigences d'un environnement visuel confortable dans les salles de cours. En bref, nous allons examiner et mentionner les besoins en éclairage des ateliers et préciser les façons de répondre techniquement à leurs exigences.

1- Impact de la lumière naturelle

Dès 1965, dans une compilation d'études sur les classes sans fenêtres, C.T. LARSON³ a conclu que ces dernières n'avaient pas d'effets négatifs sur leurs utilisateurs. D'après cet auteur, « la valeur éducative d'un tel point de vue [que les fenêtres sont nécessaires pour l'apprentissage des élèves] devrait être établi contre le coût d'installer et maintenir les fenêtres des classes ».

D'autres recherches sur l'importance des ouvertures et de la lumière naturelle ont été faites, mais à l'origine dans les hôpitaux. C'est durant les années 90 que l'intérêt porté à l'éclairage dans les établissements d'enseignement a proliféré : en effet, plusieurs études suggérant un rapport entre l'éclairage naturel et l'augmentation des performances des élèves ont produit une excitation considérable parmi les partisans de l'éclairage naturel. Ces études, suscitées par un intérêt croissant aux environnements naturels et sains, ont contribué à faire renaître la question de l'éclairage naturel dans les écoles. En 1991, par exemple, l'étude conduite par HATHAWAY, HARGREAVES, THOMPSON et NOVITSKY⁴ pour le Département de l'Éducation de l'Alberta.

1. Algérie. Conseil Supérieur de l'éducation. Principes généraux de la nouvelle politique éducative et la réforme de l'enseignement fondamental : Synthèse du document de base. Alger : Conseil Supérieur de l'éducation. Mars 1998, p13.

2. Association Française de l'Eclairage. Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires. Paris: LUX. 1987, p12.

3. LARSON, C.T. in GROUPE HESCHONG MAHON. Daylighting in schools: An Investigation into the Relationship Between Daylighting and Human Performance. Californie: Pacific Gas and Electric Company. Août 1999, p6.

4. W. E. HATHAWAY et al. A Study Into the Effects of Light on Children of Elementary School Age-A Case of Daylight Robbery. Edmonton: Alberta Education. 1992, p19-23.

2-Tâches visuelles dans les salles de classe :

Les tâches visuelles auxquelles sont confrontés les élèves et étudiants dans une salle de cours sont multiples:

- lecture ou écriture d'un document disposé sur le plan utile.
- lecture de ce qui est écrit au tableau.
- regard prolongé vers le professeur ou vers un autre élève.
- visualisation de films, de diapositives, d'émissions télévisées.
- travail sur ordinateur.

A travers ces données, nous constatons que le caractère principal de la tâche visuelle dans les salles de cours consiste à alterner entre une vision rapprochée et une vision éloignée. En effet, l'élève écrit sur une table (vision rapprochée), regarde le tableau (vision éloignée), revient à son cahier (vision de près), observe son professeur (vision de loin)... Ce qui implique des changements d'accommodation et de convergence mais aussi des changements d'adaptation rapides.

3- Confort visuel:

3.1-Définition du « confort »

Etymologiquement, 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 ». ⁵

3.2-Définition du « confort visuel »

D'après le Syndicat de l'Eclairage 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 ». ⁶

Selon L. MUDRI, 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 ». ⁷ Quant à l'association Haute Qualité Environnementale⁸, elle définit le « confort visuel » comme la

5. « Confort » dans Dictionnaire Encyclopédique Larousse. Paris : Librairie LAROUSSE, 1979, p351.

6. Syndicat de l'éclairage « L'éclairage et le confort visuel ». Paris. p1 [En ligne] www.syndicatéclairage.com (Document pdf consulté le 20 mai 2004)

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

8. HETZEL. J. Haute qualité environnementale du cadre bâti : enjeux et pratiques. Paris: AFNOR. 2003, p155.

Dixième cible du projet de bâtiment de Haute Qualité Environnementale. Ses exigences élémentaires en matière d'éclairage sont les suivantes :

- éclairage naturel optimal en termes de confort et de dépenses énergétiques.
- éclairage artificiel satisfaisant et en appoint de l'éclairage naturel.
- relation visuelle suffisante avec l'extérieur.

3.3- **Eléments du confort visuel :**

Les principes de mise en œuvre du confort visuel, selon l'association H.Q.E, sont les suivants⁹:

- disposer de la lumière du jour dans les zones d'occupation situées en fond de pièce.
- rechercher un équilibre des luminances de l'environnement lumineux extérieur.
- éviter l'éblouissement direct et indirect.
- accéder à des vues dégagées et agréables depuis les zones d'occupation des locaux.
- protéger l'intimité de certains locaux.
- faire appel à des revêtements clairs pour la décoration des locaux.
- optimiser les parois vitrées, en termes de confort visuel, en traitant leur positionnement, dimensionnement et protection solaire.

D'une manière générale, un environnement visuel confortable (Figure 3.1), donc favorable à l'exécution d'une tâche visuelle sera obtenu par:

1. Un niveau d'éclairement suffisant.
2. Une répartition harmonieuse de la lumière.
3. L'absence d'éblouissement.
4. L'absence d'ombre gênante.
5. Un rendu de couleur correct.
6. Une teinte de lumière agréable.
7. Par ailleurs, la satisfaction de ces six exigences à la fois dans un même espace peut s'avérer difficile à réaliser. Des priorités sont donc à définir en fonction de la tâche visuelle à accomplir dans cet espace. La figure 3.2 résume ces exigences selon le type de la tâche visuelle à effectuer.

9. HETZEL. J. Haute qualité environnementale du cadre bâti : enjeux et pratiques. Paris: AFNOR. 2003, p155.

Figure 2.1: Eléments du confort visuel.

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

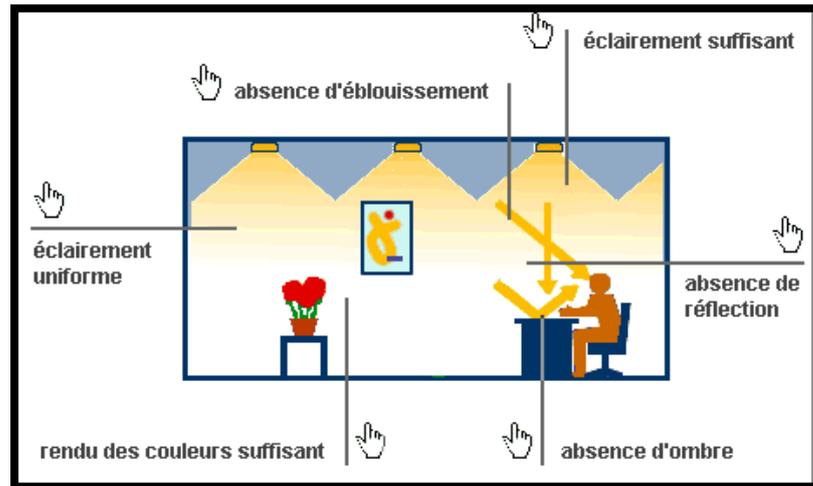
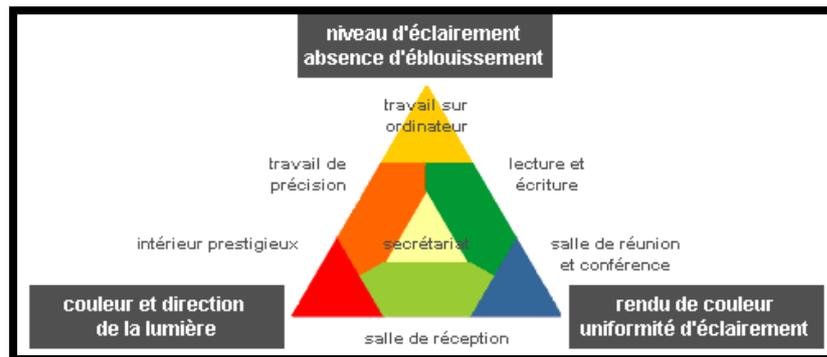


Figure 2.2 : Exigences du confort visuel en fonction de la tâche visuelle.

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



Pour la lecture et l'écriture, les deux tâches visuelles principales effectuées dans les salles de cours, les exigences nécessaires pour établir un confort visuel optimum sont:

1. un niveau d'éclairage suffisant.
2. une uniformité de l'éclairage.
3. l'absence d'éblouissement.
4. un rendu de couleur correct.

Par contre, la couleur de la lumière n'a pas beaucoup d'importance. Elle peut agrémenter l'ambiance lumineuse dans ces locaux, mais n'a pas d'effet direct ou préjudiciable sur l'exécution des tâches visuelles des élèves et des enseignants.

3.3.1- Niveau d'éclairage lumineux

L'Association Française de l'Eclairage¹⁰, le choix de la valeur d'éclairage dans une salle de cours dépend de facteurs humains tels que l'âge des occupants et les anomalies de vision, de facteurs d'ambiance comme la couleur des parois du local et du mobilier, ainsi que de facteurs économiques tels que le coût de l'installation, les dépenses de fonctionnement et d'entretien..., en plus de la difficulté de la tâche visuelle.

a- Facteur humain : l'âge

L'œil change à de nombreux égards à mesure que nous vieillissons. Ces changements réduisent notre perception des détails, notre sensibilité aux contrastes, la discrimination des couleurs, et la vitesse d'adaptation et de traitement des sensations visuelles. Il faut savoir que les capacités visuelles de l'homme évoluent: elles sont optimales vers 20 ans et se dégradent ensuite lentement.¹¹

b- Facteur d'ambiance:

- Couleur des parois internes

La luminance d'une surface mate est proportionnelle au produit de l'éclairage qu'elle reçoit par son « facteur de réflexion ».¹² Ainsi, pour accroître la luminance d'un local en présence de parois internes de couleur sombre, c'est-à-dire à facteur de réflexion faible, l'éclairage lumineux doit être plus important que si les parois sont de couleur claire, c'est-à-dire à facteur de réflexion élevé.

- Couleur des plans de travail

La clarté des tables de travail constitue un élément favorable au confort visuel dans les salles de cours, car la réduction du contraste entre le support papier et la table diminue les efforts d'accommodation de l'œil à chacun de ses déplacements. De plus, il est conseillé d'utiliser des revêtements mates pour les plans de travail et les tableaux de manière à limiter les luminances excessives et les risques d'éblouissement indirect par réflexion.

10. Association Française de l'Eclairage. Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires. Paris: LUX. 1987,p 26.

11. Idem, p8.

12. Association Française de l'Eclairage. Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires. Paris: LUX. 1987,p 24.

- Impact d'un éclairage insuffisant sur les occupants :

D'après les spécialistes, un niveau d'éclairage insuffisant entraîne progressivement une diminution du pouvoir de perception (diminution de l'acuité et de la sensibilité aux contrastes). Cela peut occasionner dans les salles de cours, un plus grand pourcentage d'erreurs dans la retranscription des cours et la compréhension des élèves.

3.3.2-Uniformité de l'éclairage :

Si le niveau d'éclairage et la luminance varient dans le champ visuel, une adaptation de l'œil est nécessaire lorsque le regard se déplace. Durant ce moment, l'acuité visuelle est diminuée, entraînant des fatigues inutiles. Pour l'éviter, il faut donc respecter une certaine homogénéité dans les conditions d'éclairage.

3.3.2.1- Uniformité de l'éclairage :

Selon la Norme Européenne EN 12464-1: «éclairage intérieur des lieux de travail», la répartition lumineuse ou l'uniformité des niveaux d'éclairage (exprimée par l'indice d'uniformité I_u) est définie comme étant « le rapport entre l'éclairage minimum (E_{\min}) et l'éclairage moyen (E_{moy}) observé dans la zone de travail ». ¹³

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

La zone de travail correspond à la zone où la tâche visuelle est exécutée. Dans les salles de cours, cette zone est représentée par la surface d'un bureau ou d'une table à une hauteur de 0.7 mètre, la surface d'un tableau vertical,....

Un éclairage uniforme dans un atelier est nécessaire pour éviter d'incessantes et fatigantes adaptations des yeux et pour garantir une qualité d'éclairage semblable, quel que soit l'endroit où se trouve l'étudiant. Pour cela, il faut éviter les zones d'ombre trop importantes dans le local, sur le plan de travail et entre les locaux adjacents (classes – couloir par exemple). De plus, une certaine uniformité de couleur entre l'environnement et la tâche visuelle est préférable :

- entre support papier et plan de travail.
- entre plan de travail et murs.

Il est également nécessaire d'éclairer le plafond d'un local dans les limites de 30 à 90% de l'éclairage du plan utile et de maintenir l'éclairage des parois entre 50 et 80% de

13. DE HERDE, André et al. "Répartition lumineuse". Université Catholique de Louvain La Neuve, Belgique [En ligne] www-energie.arch.ucl.ac.be (Page consultée le 25 mars 2005)

L'éclairage de ce dernier, car la luminance des parois internes doit être en équilibre avec la luminance de la tâche.¹⁴

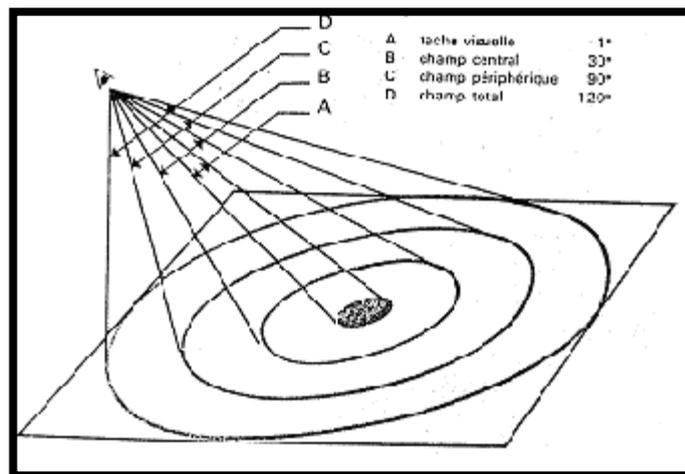
3.3.2.2- Uniformité de la luminance

En ce qui concerne l'uniformité de la luminance, elle dépend de la répartition des sources lumineuses et de la réflexion des parois. Elle est d'autant meilleure que les réflexions de chaque paroi sont élevées et uniformément réparties (couleurs uniformes).

Il est très important, du point de vue adaptation, de garder les rapports de luminance entre les différentes zones du champ visuel (Figure 3.3) dans des proportions limitées (effet statique). De même, entre les différentes zones susceptibles d'être fixées successivement (tables-tableaux) et entre le champ visuel en position de travail (le plan de travail) et au repos (les murs). C'est ce qu'on appelle « l'effet dynamique ». ¹⁵

Figure 2.3 : Zones du champ visuel.

Source : Société Saint-Gobain.



Pour garantir une répartition harmonieuse des luminances, il convient aussi de ne pas dépasser certaines valeurs de contraste entre les différentes zones du champ visuel ou les surfaces de référence, car des rapports trop importants entre différentes plages lumineuses réduisent la performance visuelle des sujets.

3.3.3- Eblouissement :

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

¹⁴ Idem, p 95.

¹⁵ Société Saint Gobain. Les verres et le rayonnement naturel. Paris: Saint-Gobain, p15.

le temps. Ce phénomène est directement lié à l'adaptation de l'œil qui n'est pas instantanée et qui est régie par trois mécanismes¹⁶ :

- Le fonctionnement mécanique de la pupille.
- La réaction chimique de la rétine.
- La commutation dans le système visuel nerveux.

3.3.3.1- Types d'éblouissement :

Suivant l'origine de l'éblouissement, nous pouvons distinguer : l'éblouissement direct et l'éblouissement indirect.

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

Nous pouvons cependant définir deux types d'éblouissement direct :

a.1- **Eblouissement d'inconfort** : L'éblouissement d'inconfort résulte de la vue en permanence de sources lumineuses de luminances relativement élevées (soleil ou ciel par exemple). D'après M. LA TOISON¹⁷, cet éblouissement peut créer de l'inconfort sans pour autant empêcher la vue de certains objets ou détails. Il se rencontre, selon A. DE HERDE et al.¹⁸, dans des locaux où l'axe du regard est toujours relativement proche de l'horizontale. C'est le cas des classes ou des bureaux par exemple.

a.2- **Eblouissement invalidant ou perturbateur** :

L'éblouissement invalidant est provoqué par la vue d'une luminance très élevée pendant un temps très court. D'après M. LA TOISON¹⁹, celui-ci peut, juste après l'éblouissement, empêcher la vision de certains objets sans pour autant créer de l'inconfort. Ce cas se présente dans les salles de sport, par exemple, où l'axe de vision d'un sportif est constamment changeant.

b- Eblouissement indirect

L'éblouissement indirect (Figure 3.4) est 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. Mais la présence de reflets peut

16. Association Française de l'Eclairage. Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires. Paris: LUX. 1987, p 8.

17. LA TOISON, Marc. Introduction à l'éclairagisme. Paris : Eyrolles. 1982, p 101.

18. DE HERDE, André et al. "Le confort visuel". Université Catholique de Louvain La Neuve. Belgique [En ligne] www-energie.arch.ucl.ac.be (Page consultée le 25 mars 2005)

19. LA TOISON, Marc. Introduction à l'éclairagisme. Paris : Eyrolles. 1982, p 101.

Rendre impossible la lecture de certaines parties d'un message écrit ou dessiné. De plus, il est courant de voir des étudiants essayer de corriger cette situation en adoptant une mauvaise position de travail (tête tournée ou penchée, rotation du corps, ...) qui entraîne à terme une certaine fatigue physique.

Figure 2.4 : Cas d'éblouissement indirect dans une salle de cours.

Source : DE HERDE et al.[www-energie.arch.ucl.ac.be]



Réflexions sur le plan de travail



Réflexions sur les écrans
d'ordinateur



Réflexions sur les tableaux
de présentation

3.3.3.2- Eblouissement et éclairage naturel :

En éclairage naturel, l'éblouissement peut être provoqué soit par la vue directe du soleil, soit par une luminance excessive du ciel vu par les fenêtres (éblouissement direct), ou bien par des parois très réfléchissantes (éblouissement indirect) qui provoquent des contrastes trop élevés par rapport aux surfaces avoisinantes.

3.3.3.3- Contrôle de l'éblouissement :

Pour éviter l'éblouissement produit par les ouvertures, il est souvent nécessaire de réduire leur luminance excessive par rapport à celle de la tâche visuelle en adoptant des systèmes appropriés, dont nous citerons ici quelques-uns :

- 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.
- Diminuer le contraste mur-huisserie grâce à un cadre de couleur claire et mate.
- 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.
- Les supports intérieurs réfléchissants sont à proscrire car ils augmentent les risques d'éblouissement par réflexion.
- Voiler en partie le ciel : soit en assombrissant la fenêtre par un élément défecteur, ou bien en disposant à l'extérieur des éléments moins lumineux que le ciel (atrium, cour intérieure).
- Diminuer la luminance du ciel en utilisant des verres de basse transmission.

3.3.4- Ombres portées :

En fonction de sa direction, la lumière peut provoquer l'apparition d'ombres marquées, qui risquent de perturber l'exécution des tâches visuelles. Ce risque survient dans deux cas:

1. lorsque la lumière provient du côté droit pour les droitiers ou du côté gauche pour les gauchers.
2. lorsque la lumière est dirigée dans le dos des occupants.

La présence d'ombres sur le plan de travail en atelier, perturbe la lecture et le dessin et risque de conduire à une mauvaise position de travail. C'est le cas généralement lorsque la lumière solaire pénètre directement dans un espace. A l'inverse, une lumière non directionnelle, donc diffuse, créée avec un éclairage purement indirect, rendra difficile la perception des reliefs. Selon DE HERDE et al. : « Une pénétration latérale de la lumière naturelle satisfait généralement la perception tridimensionnelle du relief des objets et de leur couleur, grâce à sa directionnalité et à sa composition spectrale. »²⁰

Afin de réduire les risques d'ombre gênante disposant d'un système d'éclairage unilatéral, l'Association Française de l'Eclairage²¹ recommande que la direction principale du regard soit parallèle au vitrage et celui-ci doit être positionné du côté gauche des

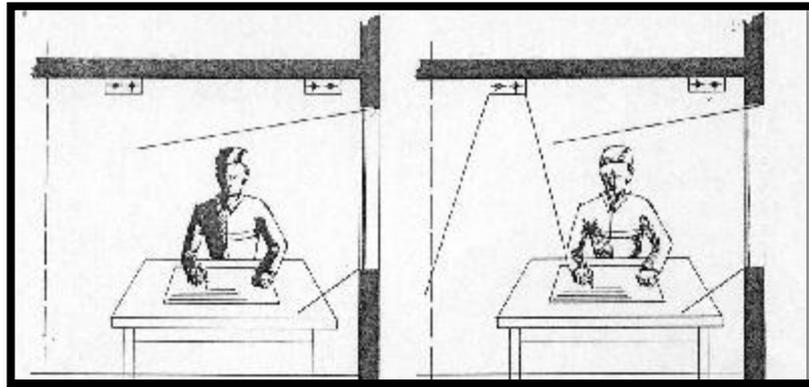
20. DE HERDE, André et al. "Le confort visuel", Université Catholique de Louvain La Neuve. Belgique [En ligne] www-energie.arch.ucl.ac.be (Page consultée le 25 mars 2005)

21. Association Française de l'Eclairage. Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires. Paris: LUX. 1987, p13.

Etudiants car la majorité écrit avec la main droite. Une autre solution consiste à faire fonctionner une rangée de luminaires disposée parallèlement aux ouvertures à certains moments de la journée : ceci réduira les ombres gênantes des mains pour les gauchers (Figure 3.5). Mais en présence d'éclairage bilatéral, le problème ne se pose pas.

Figure 2.5 : Usage d'éclairage mixte pour réduire les zones d'ombre.

Source : AFE, 1987.



3.3.5- Rendu de couleur :

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 permet à l'œil d'apprécier avec la plus grande exactitude, la couleur des objets et les plus délicates de leurs nuances.²²

D'après M. PERRAUDEAU, l'indice de rendu des couleurs, désigné par l'abréviation IRC ou Ra, indique « les aptitudes de la lumière émise par une source à restituer l'aspect coloré de l'objet éclairé ».²³ La Commission Internationale de l'Eclairage²⁴ a défini un indice général de rendu des couleurs dont la valeur maximale est de 100, correspondant à l'indice de rendu de couleur de la lumière naturelle.

Conclusion :

De nombreuses recherches menées sur l'éclairage intérieur des locaux d'enseignement, ont confirmé que la présence de la lumière naturelle y est indispensable, particulièrement dans les salles de cours et ateliers, où des effets très bénéfiques ont été enregistrés sur le comportement des étudiants et des enseignants.

22. DE HERDE, André et al. « Le confort visuel », Université Catholique de Louvain La Neuve. Belgique [En ligne] www-energie.arch.ucl.ac.be (Page consultée le 25 mars 2005)

23. PERRAUDEAU, Michel. « Lumière et couleur ». Technique de l'Ingénieur. Vol. C6, n° C 3 340 (1981) p 18.

24. MILLER, François. « L'éclairage des lieux de travail : Notions de base ». AIMT du Bas - Rhin [En ligne] <http://www.sdv.fr/aimt67/dossier/eclairage.html> (Page consultée le 26 mars 2004)

Toutefois, la présence de la lumière naturelle dans les ateliers doit impérativement assurer le « confort visuel » de ses occupants, grâce à l'interaction de plusieurs facteurs qui ont des répercussions tant sur le plan physiologique que psychologique des individus. Ces facteurs quantitatifs et qualitatifs énumérés plus haut, doivent s'inscrire dans des limites fixées par une réglementation spécifique à l'éclairage des ateliers.

La réglementation relative à l'éclairage :

Le but de ce chapitre est, d'abord, de déterminer les différents objectifs ainsi que les différentes sources de la réglementation technique de l'éclairage. Il s'agit, ensuite, de rassembler les différentes règles spécifiques à l'éclairage des ateliers et salle de cours qui serviront de base à notre évaluation du dispositif d'éclairage naturel dans les ateliers du bloc de l'institut d'architecture de l'université Hadj Lakhdar de Batna.

1- Outils de la réglementation de l'éclairage :

Face à la réglementation, il est possible d'envisager différents types de classements. En ce qui nous concerne, il s'agira de distinguer les textes en fonction de leur origine :

1. 1-les textes législatifs appelés « Règlements de construction ».
2. 2-les textes normatifs.
3. 3-les règles techniques.
4. 2.1- Règlements de construction:

2-Réglementation relative à l'éclairage des ateliers et salle de cours :

La réglementation relative à l'éclairage des locaux d'enseignement diffère d'un pays à un autre. Elle concerne surtout les établissements du premier et second degré mais il n'existe pas une réglementation spécifique aux établissements universitaires.

Pour notre étude, nous nous intéresserons à la réglementation qui régit en Algérie et en Europe.

3. 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.

La circulaire du 15 août 1989 relative à l'application des règlements techniques et des normes de construction, stipule que: « la commission technique permanente pour le contrôle technique de la construction (C.T.P) chargée principalement de la promotion de la réglementation technique algérienne, a retenu à titre transitoire et en attendant l'élaboration progressive des règlements techniques algériens, l'application des règlements techniques et normes de constructions étrangers en usage en Algérie et cités en annexe ». ¹

1. Algérie. Ministère de l'Habitat. Réglementation technique algérienne du bâtiment : concepts et nomenclature. Alger : Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismiques C.G.S. Mars 1998, p 149.

Pour ce qui concerne les conditions d'éclairage naturel et artificiel dans le bâtiment, la circulaire a désigné les normes françaises suivantes :

- NF C 01.045
- NF C 03.101
- NF C 15.100, 150.

En ce qui concerne les établissements d'enseignement, le guide publié par le Ministère de l'Education Nationale sur les constructions scolaires, évoque les caractéristiques géométriques des classes, l'orientation et l'indice de vitrage recommandés. Mais aucune indication n'est donnée sur les exigences de l'éclairage en matière d'éclairage lumineux, d'uniformité...etc. Dans ce domaine, la réglementation algérienne est très pauvre par rapport aux réglementations étrangères.²

4. Recommandations de l'association Promotelec :

Aujourd'hui, le référentiel de l'ensemble des professionnels et des utilisateurs pour l'éclairage des salles de classe en France, est le « Label Promotelec éclairage des salles de classe »³ qui donne la garantie d'une installation de qualité, autant sur le plan des résultats photométriques et de la sécurité électrique, que celui du coût global (coûts d'installation, d'exploitation et de maintenance).

En effet, l'Association Promotelec⁴, en collaboration avec l'Association française de l'éclairage et le Syndicat de l'éclairage, propose un label pour les salles d'enseignement qui concerne les écoles maternelles et élémentaires, les établissements secondaires et supérieurs ainsi que les établissements d'enseignement général et technique. Son cahier des prescriptions définit les règles à respecter et les matériels à utiliser pour l'obtention d'un système d'éclairage performant et garantissant de bonnes conditions de travail pour les élèves et les professeurs. Ces prescriptions techniques concernent à la fois l'éclairage général des salles ainsi que l'éclairage vertical des tableaux.

a- Eclairage Général :

L'éclairage horizontal moyen à la mise en service de l'installation doit être d'au moins 500 lux sur le plan utile. Cette valeur correspond à 325 lux à maintenir.

2. Ministère de l'Education Nationale in ROUAG, Djamilia. Sunlight problems within new primary school classrooms in Constantine. Thèse de Doctorat. Constantine : Université Mentouri de onstantine. Avril 2001, p 13-14.

3. Fédération de l'éclairage. « A propos de circulaires de l'Education Nationale relatives à l'éclairage des salles de classes » [En ligne] <http://www.feder-eclairage.fr/engagements/9.htm> (Page consultée le 18 avril 2004)

4. Association Promotelec. « Eclairage des salles de classe ». [En ligne] www.promotelec.com/public/pages/eclairage.htm (Page consultée le 26 mars 2004)

b- Eclairage des tableaux :

L'éclairement moyen initial vertical sur la surface totale du tableau des salles de cours doit être d'au moins 600 lux, sans tenir compte de l'apport de l'éclairage général.

5. La réglementation belge :

5.1- Niveaux d'éclairement lumineux Les valeurs d'éclairement recommandées sont indiquées dans la norme belge NBN L 13-006: Eclairage des lieux de travail et dans l'article 62 du titre II du Règlement Général pour la Protection du Travail (Tableau 4.1).

Tableau 2.1: Eclairages lumineux recommandés dans les salles de classe.

Source : Article 62 du titre II du RGPT. [www-energie.arch.ucl.ac.be]

Les niveaux minimums (éclairements moyens à maintenir)	
Classe à aménagement fixe	300 à 500 lux au niveau du plan de travail
Classe à aménagement variable	300 à 500 lux au niveau du sol
Tableau	500 à 700 lux sur le plan vertical, à 1,20 m de hauteur
Document affiché dans les classes	300 lux
Écran d'ordinateur	200 lux

5.2- Coefficients de réflexion :**Tableau 2.2 : Coefficients de réflexion recommandés dans les salles de classe.**

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

Coefficients de réflexion recommandés	
Murs	0,4 à 0,8
Murs supportant un tableau vert	0,3 à 0,5
Dessus des plans de travail	0,3 à 0,5
Sols	0,2 à 0,4
Plafonds	0,5 à 0,9

5.3- Facteur de lumière du jour :

Selon les normes belges, les valeurs recommandées pour le facteur de lumière du jour au fond des salles de cours, sont au minimum de l'ordre de 2 %.¹⁸

6 - La réglementation du Royaume Uni :

6.1-Textes techniques :

Tableau 2.3: Valeurs de facteurs de lumière du jour recommandées par C.I.B.S.E pour les locaux d'enseignement.

Source : CIBSE, 1987.

local	FLJ moyen (%)	FLJ min (%)	Position de mesure
Halls	1	0.3	Plan utile
Classes	5	2	Table
Salles d'art	5	2	Chevalet
Laboratoires	5	2	Bancs
Salles de réunion et locaux communs	5	1.5	Plan utile

Tableau 2.4: Prescriptions de la Norme Européenne « EN 12464-1 : éclairage intérieur des lieux de travail » pour les locaux d'enseignement.

Source: The Society of Light and Lighting, 2003.

Type d'espace	Eclairage en Lux	Limites Eblouissement (UGR)	Indice de rendu des couleurs minimum (Ra)

Classes, salles d'instruction.	300	19	80
Classes de soir et d'éducation des adultes, halls de lecture.	500	19	80
Tableaux.	500	19	80
Tables de démonstration.	500	19	80
Salles d'art.	500	19	80
Salles d'art aux écoles d'art	750	19	90
Salles de dessin technique.	750	16	80
Laboratoires et salles de travaux pratiques.	500	19	80
Salles de travail manuel, ateliers d'enseignement	500	19	80
Salles de music, laboratoires de langue.	300	19	80
Salles d'informatique.	300	19	80
Salles de préparation et ateliers.	500	22	80

- Conclusion :

La réglementation varie également dans un même pays selon son origine. En général, les textes législatifs donnent les grandes directives mais restent superficiels en mentionnant des valeurs minimales à respecter et concerne plutôt l'installation d'éclairage. Quant aux textes normatifs élaborés par des organismes spécialisés, ils s'appuient sur les textes législatifs pour fournir avec plus de précision des prescriptions techniques et offrent des méthodes de calculs et de vérifications pour les installations d'éclairage. Ils poussent ainsi les exigences en matière de confort visuel à leurs maximums. Pour ce qui concerne les règles techniques établies par les professionnels de l'éclairage, ils sont les plus pertinents et s'intéressent notamment aux produits de l'éclairage.

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'éclairement et l'uniformité de la lumière. Ces recommandations sont organisées sous forme

De tableaux selon le type d'établissement, puis selon le type du local et de la tâche visuelle qui s'y accomplit.

En Algérie, nous avons soulevé un manque flagrant dans la réglementation de l'éclairage, particulièrement pour les établissements d'enseignement, de même qu'une absence totale d'organismes spécialisés. Ceci peut s'expliquer par le fait que jusqu'ici le pays n'a pas été confronté à des problèmes majeurs d'énergie électrique pour l'alimentation des installations d'éclairage. Mais étant donné les soucis qu'il connaît depuis ces deux dernières années (coupures d'électricité, délestage...), une révision de notre manière de construire s'impose : dorénavant il faudra revoir les techniques utilisées et surtout optimiser au maximum l'usage de la lumière naturelle, notamment dans les constructions scolaires et universitaires qui est un secteur en pleine évolution.

Comme nous l'avons déjà évoqué dans le chapitre 1 qui traitait du « climat lumineux », il existe une forte corrélation entre l'environnement lumineux extérieur d'une région et l'éclairage intérieur d'un bâtiment implanté dans cette région.

Après la description du climat de Batna, nous insisterons sur la description des caractéristiques du campus universitaire Hadj Lakhder et plus particulièrement les ateliers du « l'institut d'architecture » dont nous avons évalué le dispositif d'éclairage naturel durant l'année universitaire 2014-2015.

1- Climat lumineux de Batna :

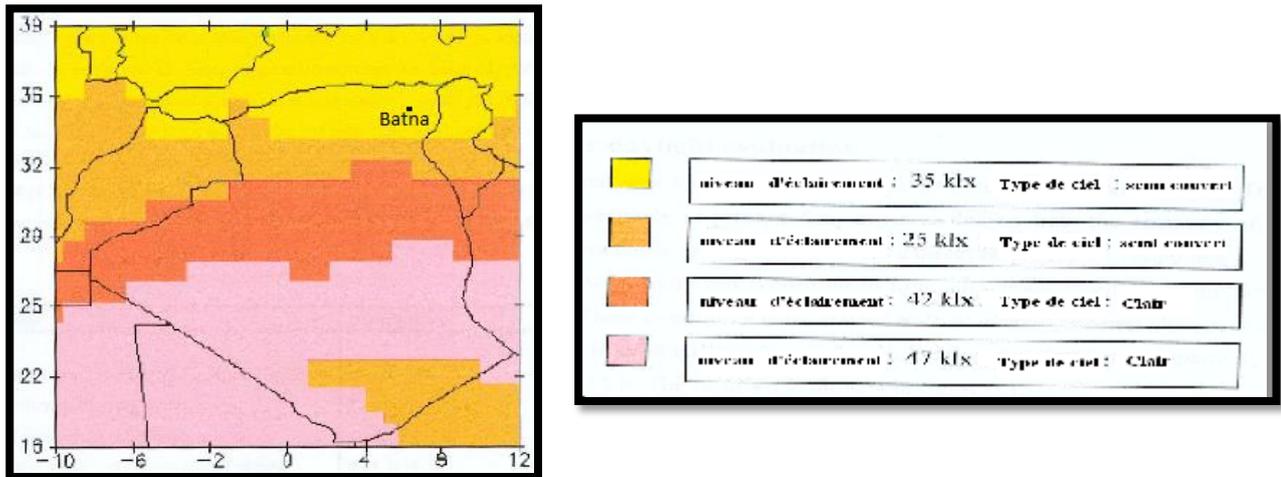
Dans sa thèse de Doctorat, N. ZEMMOURI¹ a proposé un zoning lumineux propre à l'Algérie (Figure 5.1) basé sur le calcul par simulation informatique, à l'aide du logiciel « Matlight », des éclairages lumineux horizontaux ainsi que sur la base de données de la NASA sur la nébulosité. Ce découpage comporte quatre (4) grandes zones climatiques lumineuses qui sont les suivantes:

1. la première zone, située entre la latitude 34°-36°, est caractérisée par un éclairage lumineux horizontal moyen égal à 35 Kilolux et la dominance du ciel partiellement couvert.
2. la deuxième zone, qui englobe une bande étroite située entre la latitude 31°-34° ainsi que la région du Hoggar, est caractérisée par un éclairage lumineux horizontal moyen égal à 25 Kilolux et la dominance du ciel partiellement couvert.
3. la troisième zone, située au nord du Sahara entre la latitude 27°-31°, est caractérisée par un éclairage lumineux horizontal moyen égal à 42 Kilolux et la dominance du ciel clair.
4. la quatrième zone, qui concerne la moitié du territoire algérien située au sud du Sahara entre la latitude 18°-27°, est caractérisée par un éclairage lumineux horizontal moyen égal à 47 Kilolux et la dominance du ciel clair.

1. ZEMMOURI, Noureddine. Daylight availability intergrated modelling and evaluation: A Fuzzy logicbased approach. Thèse de Doctorat. Sétif: Université Farhat Abbas de Sétif. Octobre 2005, p 6-20.

Figure 3.1 : Zoning de la disponibilité de la lumière naturelle en Algérie.

Source : N. ZEMMOURI, 2005.



Concernant la ville de Batna qui est située à l'Est de l'Algérie (latitude $35^{\circ}55'$, longitude $6^{\circ}18'$) et qui appartient à la première zone climatique lumineuse, elle est caractérisée par un éclairement lumineux horizontal moyen de 35 kilolux et un ciel dominant du type « partiellement couvert ».

1.1- Caractéristiques climatiques :

Selon Mecheri, et Al, 2003, le zonage climatique établi par Borel définit pour l'Algérie quatre zones climatiques au Nord dont une est sous zone (A, B, B' et C), et trois zones au Sud (D1, D2, D3). La wilaya de Batna se situe dans la zone C, appelée zone Semi-aride. Les quatre saisons sont bien distinctes dans cette zone. L'interprétation des données climatiques de la ville de Batna d'après les données des éléments du climat montre que la température moyenne annuelle calculée à la base des températures moyennes de 22 ans (1983 - 2005) est de $17,3^{\circ}\text{C}$. Les températures moyennes varient de 3°C en janvier à 35°C en juillet, étant le mois le plus chaud. La neige ne fait son apparition que pendant quelques jours et surtout au mois de Mars. Le degré-jour de chauffer (en fahrenheit) basés sur les températures moyennes des 5 ans (2008 à 2012) atteint la valeur 2544 si la température de base est de 60°f (environ $15,5^{\circ}\text{C}$), cette valeur peut augmenter jusqu'à 3600 avec une température de base de 65°f (environ $18,3^{\circ}\text{C}$).

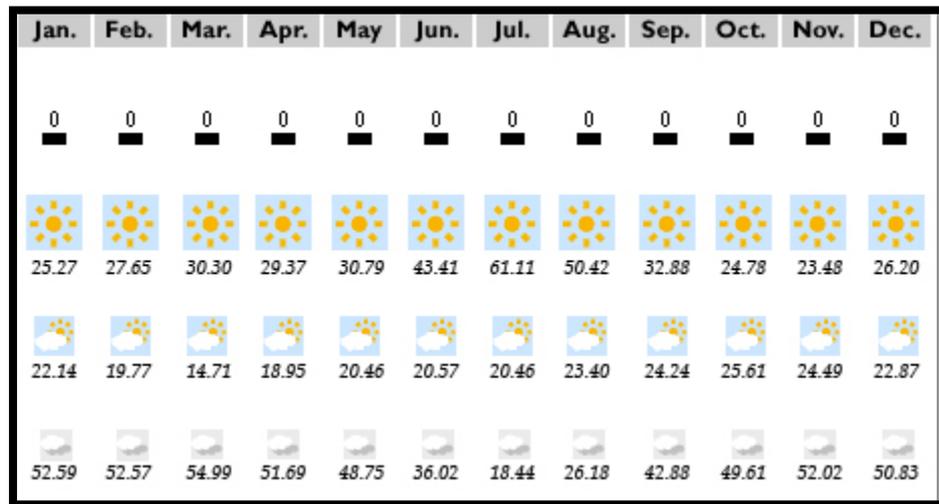
1.2- Type de ciel :

Le soleil dominant a un impact majeur sur le climat surtout, avec ses aspects ; thermique, énergétique et lumineux. Selon les données enregistrées dans la figure ci-dessous (Fig. 5.4)

Qui démontre en pourcentage pour notre zone d'étude, les fréquences mensuelles de chaque type de ciel, le ciel clair régnant pendant presque toutes les journées d'été. En outre, durant tous les autres mois de l'année, le Ciel couvert clair apparie dominant.

Figure 3.2 : Fréquence mensuelle de chaque type de ciel pour la wilaya de Batna basé sur les pourcentages moyens des 22 ans (Juil 1983 - Juin 2005).

Source: [online] URL : <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse>.



1.3- Ensoleillement

L'Algérie et les pays du Maghreb ont un potentiel solaire élevé. Les taux d'irradiation solaire effectués par satellites par l'Agence Spatiale Allemande (DLR), montrent des niveaux d'ensoleillement exceptionnels de l'ordre de 1200 kWh/m²/an dans le Nord du Grand Sahara. Par contre, les meilleurs taux d'irradiation solaire en Europe sont de l'ordre de 800 kWh/m²/an limités à la partie sud de l'Europe. Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit: 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, et 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque². Dans la région des hauts plateaux de l'Algérie, l'ensoleillement est considérable durant la dernière décennie. Le rayonnement solaire est intense surtout dans les mois d'été, où les jours sont longs et clairs. La durée moyenne d'ensoleillement dans cette région atteint les 3000 heures par an, l'énergie moyenne reçue est de l'ordre de 1900 kWh/m²/an. (Ubifrance, 2010) Batna ne fait pas exception, elle bénéficie d'un ensoleillement considérable surtout durant la dernière décennie. Selon les estimations du ministère d'énergie et des mines, l'énergie solaire journalière dans cette wilaya peut arriver

2. L'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie, site internet [en ligne] URL : <http://www.aprue.org.dz/>

Jusqu'à 9KWh/m²/jour sur un plan horizontal au mois de juillet (Fig. 5.3 et Fig. 5.4). Toutes ces valeurs fournissent un aperçu clair sur les effets de l'ensoleillement, surtout pendant les périodes chaudes. Concernant l'aspect lumineux, le diagramme illustré dans la figure 5.5 démontre que les niveaux d'éclairement sont très élevés. Dans l'intervalle journalier des heures de travail (de 8 :00h à 17 :00h), l'éclairement global ne descend pas en dessous de la valeur de 7600 lux. Du point de vue quantitatif, ces valeurs sont suffisantes, si on les compare avec les niveaux d'irradiation et d'éclairement que représentent la plupart des cas étudiés en Europe et en Amérique du nord. Cependant, elles peuvent causer plusieurs gênes tel que l'éblouissement et le surchauffe, si on n'a pas pris en mesure quelques dispositifs sélectif d'éclairage et techniques de rafraichissement, en particulier, durant les mois d'été.

Figure 3.3 : Algérie irradiation directe journalière reçue sur un plan horizontal en mois de Juillet.

Source : Ubifrance, 2010, p1.

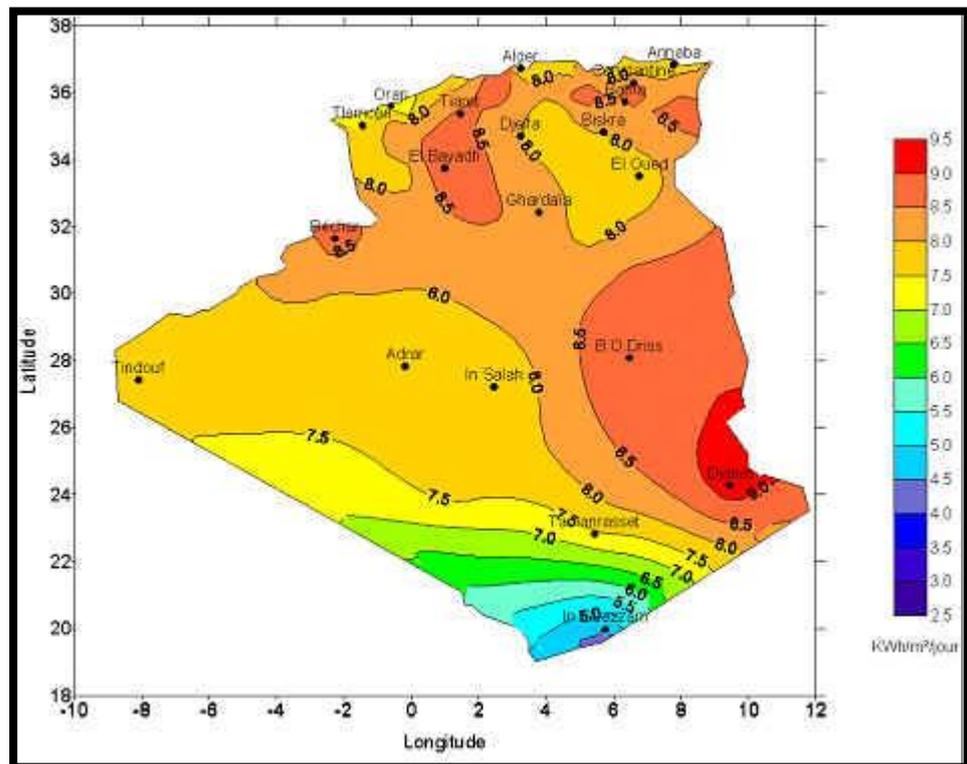


Figure 3.4 : L'irradiation globale en (w/m2) du plan horizontal pour la latitude de la wilaya de Batna durant les années de 1996 à 2000.

Source: [online] URL: www.satel-light.com

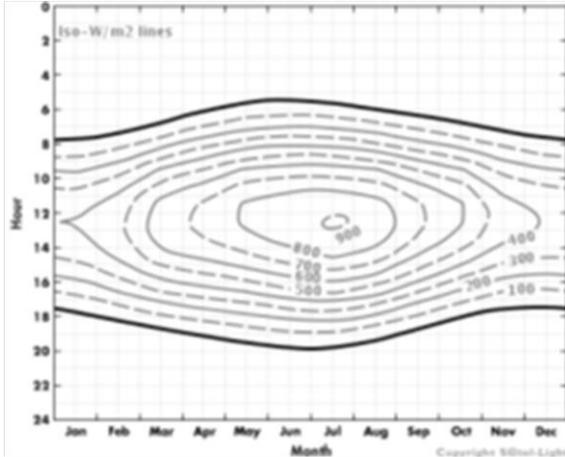
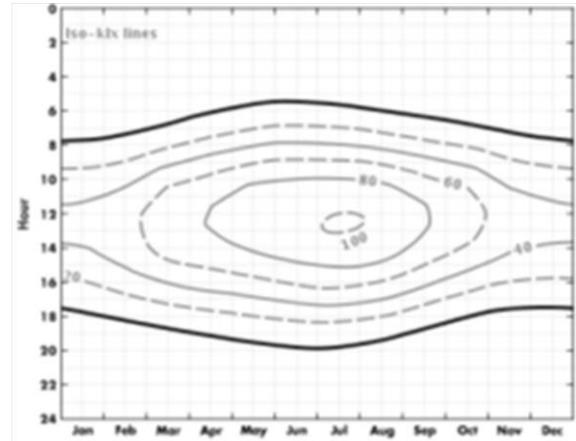


Figure 3.5 : L'illumination globale en (Klux) du plan horizontal pour la latitude de la wilaya de Batna durant les années de 1996 à 2000.

Source: [online] URL : www.satel-light.com



2- Description de l'environnement de l'étude :

2.1- Aperçu sur les établissements d'enseignement supérieur (universitaires) en Algérie:

En Algérie, la démocratisation de l'enseignement a donné lieu à une véritable explosion des effectifs de 1962 à nos jours. En effet, plus du quart de la population est aujourd'hui sur les bancs des écoles, collèges, lycées et universités. Quant aux infrastructures pédagogiques, l'Etat a réalisé entre 1962 et 1997 près de 20.000 établissements d'enseignement dont 15000 écoles primaires, 2900 collèges, 1000 lycées et 56 établissements universitaires³. Ces chiffres sont certes importants, mais le problème quantitatif subsiste toujours devant la forte demande, notamment dans les établissements universitaires où de plus en plus de jeunes algériens accèdent aujourd'hui à l'enseignement supérieur, et de plus en plus de constructions universitaires voient le jour, notamment depuis ces dix dernières années. Avec un taux de réussite au Baccalauréat et de plus de 50%, les responsables de l'éducation nationale prédisent que ce chiffre est voué à la hausse dans les prochaines décennies avec les nouvelles opportunités et le développement du secteur éducatif.

Malgré les efforts fournis et face à une demande toujours croissante et à l'urgence de la satisfaire, l'Etat continue d'attribuer à l'usage de l'enseignement supérieur des locaux inadapés et bien souvent incommodes. Tous ces problèmes quantitatifs ont occulté les besoins qualitatifs des usagers et ont contribué au fait que les pouvoirs publics ainsi que les

3. Algérie. Conseil Supérieur de l'éducation. Principes généraux de la nouvelle politique éducative et la réforme de l'enseignement fondamental : Synthèse du document de base. Alger : Conseil Supérieur de l'éducation, Mars 1998, p 13.

Concepteurs des bâtiments ne se rendent pas compte des répercussions fâcheuses que peut engendrer cet environnement physique inadapté et inconfortable. La qualité des infrastructures pédagogiques est également limitée par un souci d'économie. Mais il faut se rendre compte que ces économies faites lors de la construction de tels établissements seront vite dépassées par les retombées néfastes sur la santé de leurs usagers, à savoir les étudiants et les enseignants⁴.

2.2- Description du campus de l'université Hadj Lakhder de Batna :

Le projet du campus universitaire Hadj Lakhder de Batna (Figure 3.6) fut confié à des architectes algériens en 1990 qui ont choisi pour son implantation un site dominant au sud-ouest de la ville, faisant face à la route de Biskra, Après la réalisation de l'université, plusieurs instituts et départements ont été créés, parmi ces derniers.

Figure 3.6: Plan de masse du campus universitaire Hadj Lakhder, Batna.

Source : Google earth



2.2.1- Composantes du projet :

Le projet est constitué de quatre blocs, On trouve le bloc ateliers en R+1 implanté entre l'administration en R+4 et les laboratoires en RDC, à l'entrée du bloc d'atelier en trouve deux amphis-théâtres, les ateliers sont entre deux orientations vers sud-ouest et nord est avec un vitrage unilatéral (Figure 3.7).

6. A. VANDENPLAS. Comité National Belge de l'Eclairage- Commission de l'Eclairage Naturel - L'éclairage naturel et ses applications, Bruxelles : SIC. 1964, p126.

Figure 3.7: Plan de masse de l'institut.

Source : Google earth



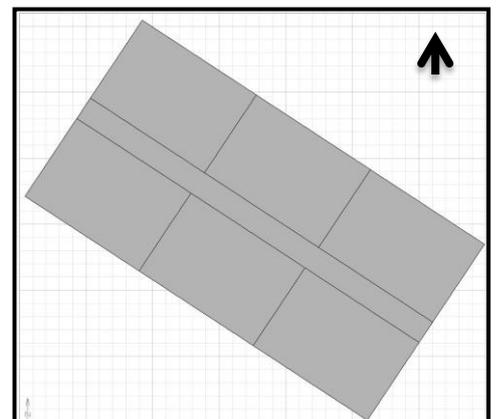
Photo 3.8: Eclairage latéral des Ateliers.

Source : Auteur, 2015.



Figure 5.9 : Orientation des ateliers.

Source : Auteur, 2015



3- Choix des ateliers types:

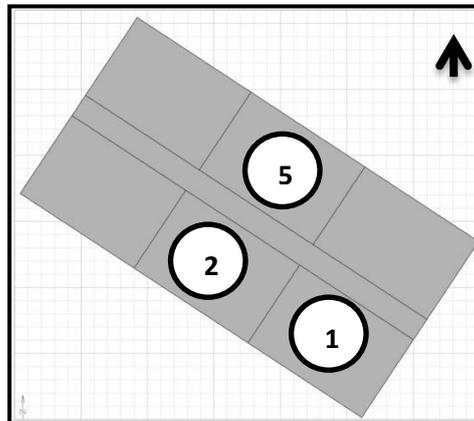
Pour notre étude, nous avons choisi un (01) atelier représentatives de l'ensemble des ateliers du (figure 3.10), qui est atelier n° 2 (Photo 5.8), (Photo 3.9).

Les critères de choix de ces locaux types sont :

1. l'orientation Nord-Est et Sud-Ouest des prises de jour latérales.
2. le revêtement des surfaces intérieures (Réflectance moyenne des locaux).
3. le type de vitrage (clair).

Figure 3.10 : position des deux ateliers.

Source : Auteur, 2015.



4- Description des ateliers :

4.1- Atelier n° 2 :

La salle n°2 est de forme rectangulaire, avec une profondeur ($P=7,55\text{m}$) Et largeur ($L=10,25\text{m}$) et de 77m^2 de surface. Sa hauteur sous plafond est de $3,60\text{m}$. Elle comporte quatre fenêtres latérales orientées vers Sud-Ouest.

La surface totale du vitrage (SV) est égale à 20m^2 . Le tableau de la salle est accroché sur la paroi interne Est en couleur vert, les murs intérieurs en peinture jaune et bleu claire, plafond couleur blanche (photo 3.11).

Photo 3.11: atelier 02.

Source : Auteur, 2015.



Ciel claire



Ciel couvert

- Conclusion

La ville de Batna, positionnée dans les moyennes latitudes, bénéficie d'un potentiel considérable en lumière naturelle qui devrait être exploité d'une manière optimum tout en favorisant l'économie d'énergie. Ce potentiel se traduit essentiellement par l'importance du rayonnement solaire direct, mais qui peut être également à l'origine d'inconfort visuel. Pour ce qui est des conditions de nébulosité dans la région, il apparaît clairement que les ciels clairs et partiellement couverts sont les plus fréquents à travers les saisons mais aussi les moins stables.

Après l'apparition des outils informatiques qui sont spécialisés en éclairage, l'étude de la lumière naturelle et même artificielle en architecture est devenue un phénomène facile à étudier. Le domaine de l'éclairage naturel des bâtiments a connu la création de plusieurs logiciels; citons " DIALUX ", " VILUX ", " ECOTECT ", " ENERGIE+ ", " RADIANCE " ...etc. Ces outils permettent d'étudier le comportement de la lumière dans l'espace architectural, de faire une étude quantitative, qui permet de connaître le niveau d'éclairement et de luminance dans chaque point du local comme ils permettent aussi de faire une étude qualitative. Ces logiciels sont faciles à manipuler et donnent des résultats qui sont proches de la réalité. Plusieurs projets dans le monde ont vu leur conception être faite par des logiciels.

Au cours de cette simulation, on va essayer de répondre à nos objectifs, afin de choisir les orientations les plus adaptées au climat de la ville de Batna.

1- Les outils de simulation et de modélisation :

On peut citer 3 méthodes sont :

- Mesures sur site
- Les méthodes de calcul simplifiées
- **Les logiciels informatiques :** Pendant ces dernières années, le domaine informatique a connu un progrès important, ce qui a donné naissance à des nouveaux programmes de simulation qui ont touché le domaine du bâtiment, ou les architectes ont commencé à utiliser ces multiples logiciels pour la prédétermination de la lumière naturelle dans leurs projets. Cependant, ces programmes demandent en général un temps d'apprentissage assez long et une certaine expérience. Ils sont donc réservés aux personnes spécialisées dans le domaine de l'éclairage naturel. Ils demandent également un temps de calcul relativement long.

1.2- Le choix du logiciel de simulation :

Ecotect Analysis 2011 est un logiciel de conception Haute Qualité Environnementale (HQE) destiné aux architectes, qui allie une vaste gamme de simulations et d'analyses pour bien comprendre les performances du bâtiment. C'est un logiciel de simulation simple et complet qui associe un modeleur 3D avec des analyses solaire, thermique, acoustique et de coût. Ecotect permet aux concepteurs de travailler facilement en 3D et d'utiliser tous les outils nécessaires à la gestion efficace de l'énergie. "Ecotect Analysis 2011" offre plusieurs avantages, c'est un outil facile dans sa manipulation et sa compréhension, il permet de guider

Le processus de conception et aide les concepteurs à prendre les bonnes décisions dès la première phase d'esquisse, en ce qui concerne la localisation de la construction, sa forme globale, son orientation, les matériaux utilisés pour l'extérieur ainsi que la taille des fenêtres et leur emplacement...etc. Un autre avantage important est qu'il est possible d'analyser la situation d'éclairage durant toute l'année tout simplement en attribuant les paramètres de simulation (comme l'emplacement, la date, l'heure, l'état du ciel etc). Il donne des résultats très visuels comme il peut être connecté avec d'autres logiciels (Radiance, EnergyPlus et d'autres logiciels performants). À partir d'Ecotect, nous pouvons importer des données de 3D Studio (.3DS .ASC .PRJ), Autocad (.DXF), EnergyPlus (.IDF), Windows Bitmap (.BMP). Comme nous pouvons faire des exportations vers DOE-2 (.INP), AIOLOS (.PPA), VRML (.WRL), ESP-r (.CFG), WinAir4 CFD (.GEO); Radiance (.RAD .OCT), EnergyPlus (.IDF), Autocad (.DXF).

2- La simulation des ateliers :

L'objectif de cette simulation est de choisir les orientations des ouvertures les plus efficaces et les plus performantes du point de vue du confort visuel et de la consommation d'énergie (celles qui éclairent mieux le local et permettent d'apporter la lumière au fond de l'espace). Cette évaluation va être faite par la connaissance et la comparaison des valeurs suivantes :

- Les valeurs de l'éclairage (en lux) reçu sur le plan du travail (0.9m).
- Les valeurs de FLJ (en %).

2.1- Les paramètres de la simulation :

La simulation de l'éclairage naturel dans un atelier se base sur des paramètres constants et d'autres variables. Les paramètres constants sont les suivants :

- La location : la ville de Batna (latitude 35.55 N, longitude 6.18N).
- La zone : Urbaine.
- Le type du ciel : ciel couvert.
- Le logiciel de simulation : "Ecotect" (Fonction : Daylight Analysis).
- La géométrie du local :

-Le local : Largeur=10.25m, longueur=7.55m, hauteur=3.6m.

-La fenêtre : Largeur=2 m, longueur=2m.

- Les matériaux :

-Les murs : paroi intérieure (Brick plaster (Réflectance: 0,50)).

-La dalle : paroi intérieure (ConcSlab OnGround (Réflectance: 0,40)).

-Le plafond : paroi intérieure (suspend concrete ceiling (Réflectance: 0,96)).

-Le vitrage : intérieure (Simple glazed Aluminium Frame (Réflectance:0.92)).

2.1.1- Les paramètres à simuler :

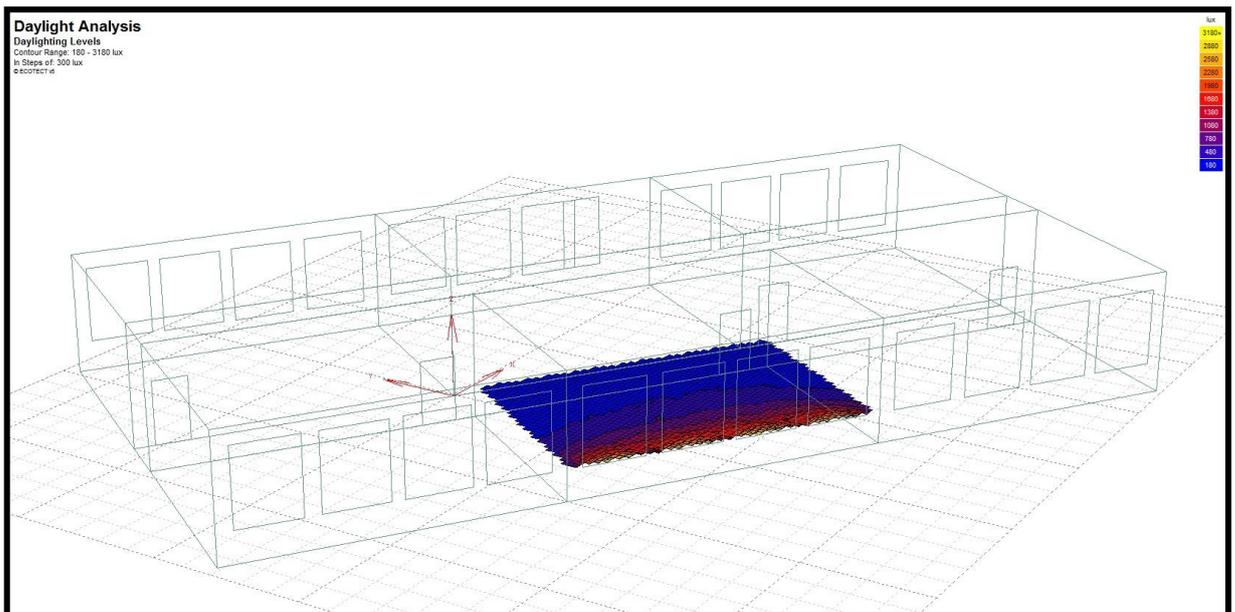
- L'orientation de la fenêtre.

2. 2- La grille structurelle

La grille structurelle permet de diviser l'espace en grille, puis en points. Ces points peuvent être codés soit par des chiffres (1, 2,...) soit par le système chiffres et lettres (a1, a2, b1, B2,...). La grille utilisée dans la simulation a été faite à 0.9m du sol, représentant la hauteur plan de travail. Dans le but de voir les fluctuations des niveaux de lumière naturelle à partir de la fenêtre vers la face opposée de l'espace, nous proposons une autre grille verticale.

Figure 3.12 : Grille structurelle horizontale

Source : Auteur, 2015



3- Analyse des résultats :

L'objectif de cette simulation est de connaître le facteur de lumière de jour et la quantité d'éclairement qui rentre dans l'atelier par la fenêtre uniquement et jusqu'à quelle profondeur l'espace est bien éclairé. La figure suivante montre que l'atelier est partagé en trois zones d'éclaircements différents:

Figure 3.13 : 3D du bloc des ateliers.

Source : Ecotect par l'auteur, 2015

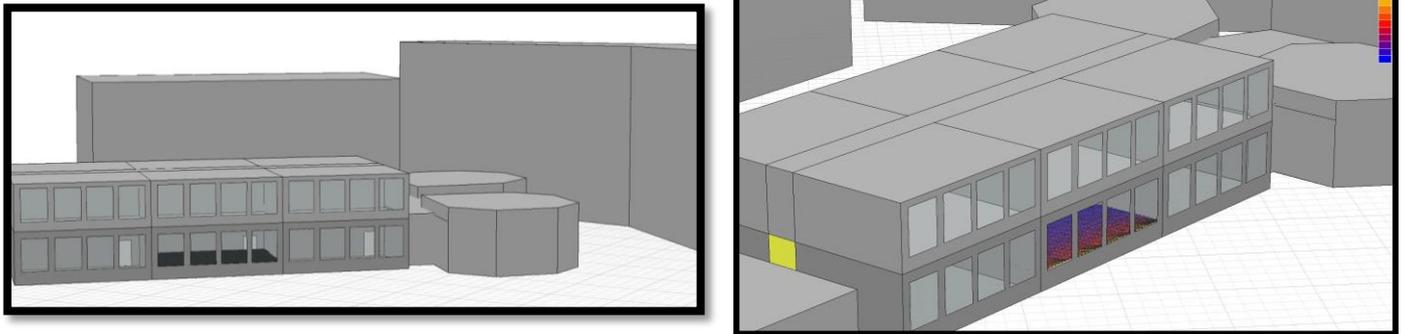


Figure 3.14 : Facteur de lumière de jour (30 Décembre à 10h) : orientation Nord

Source : Ecotect par l'auteur, 2015

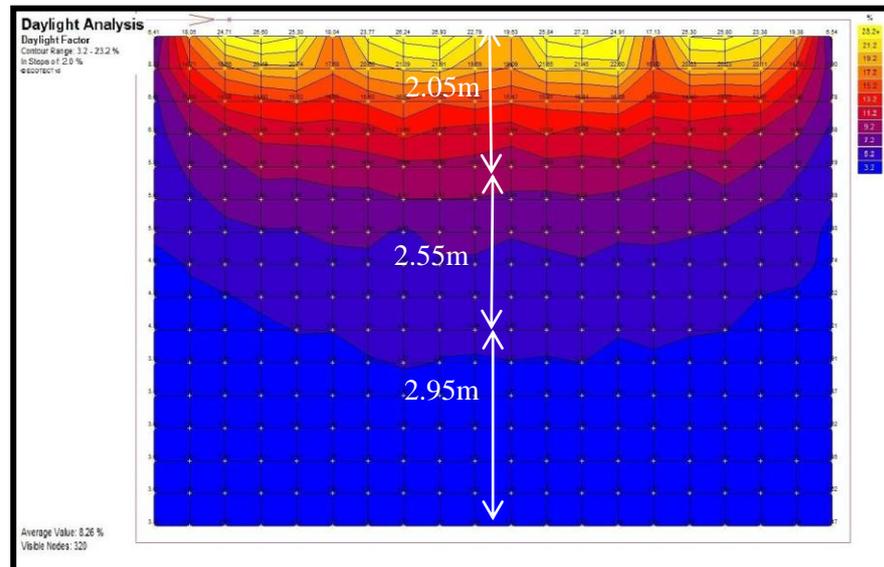
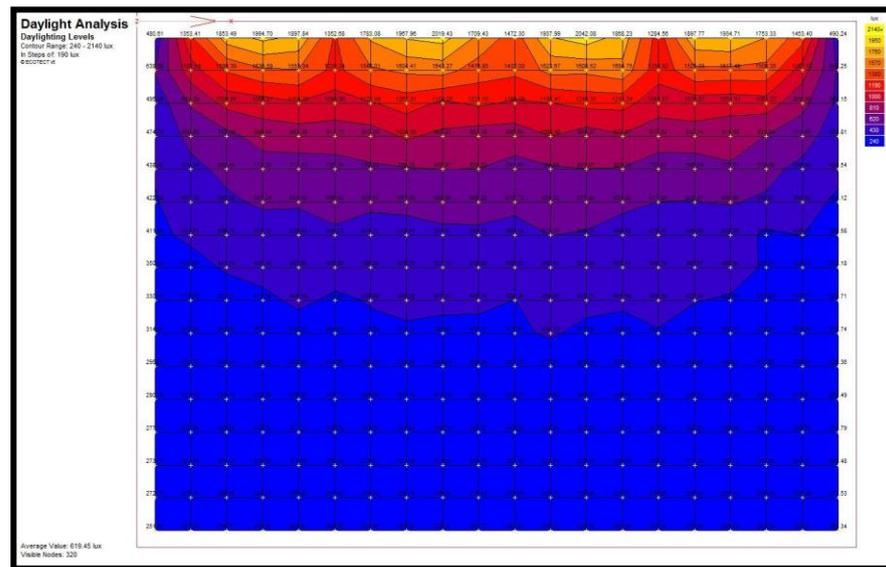


Figure 3.15 : quantité d'éclairage (30 Décembre à 10h) : orientation Nord

Source : Ecotect par l'auteur, 2015



-La zone1 (près de la fenêtre) : L'éclairage reçu dans cette zone est situé entre 2140 lux et 810 lux, et s'étend sur une profondeur de 2m (niveau élevé).

-La zone2 (zone intermédiaire) : La profondeur de cette zone est petite (occupe seulement 2.5m) et l'éclairage est compris entre 810 et 430 lux (niveau moyen).

-La zone3 (loin de la fenêtre) : Cette zone est située au fond du local et s'étend sur une profondeur de 2.95m et l'éclairage est moins de 400lux (niveau faible).

Interprétation

La fenêtre divise le local en trois zones d'éclairage différent. La zone 2 est la seule zone qui reçoit un bon niveau d'éclairage (810-400lux), mais sur une petite profondeur (2.5 m), les 2 autres zones sont mal éclairées : la zone 1 peut causer l'éblouissement à cause de son fort éclairage et suivant son orientation et la zone 3 peuvent constituer une moyenne contraste par leur faible niveau d'éclairage. On conclut que, dans un local équipé d'un système d'éclairage unilatéral, La lumière que reçoit le local va éclairer la surface qui se trouve près de la fenêtre, puis cette quantité d'éclairage va diminuer vers le fond du local.

Effet de l'orientation

Figure 3.16 : Quantité d'éclairage (30 Décembre à 10h) : orientation Sud.

Source : Ecotect par l'auteur, 2015

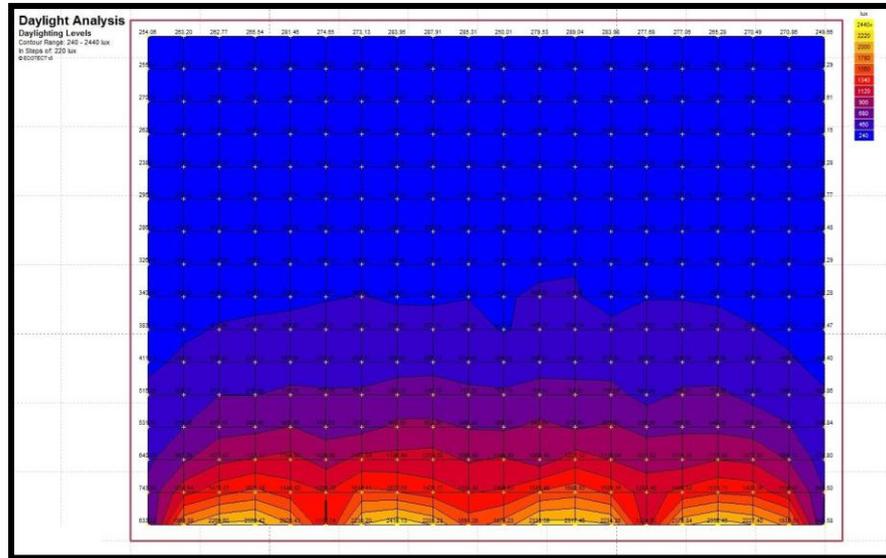


Figure 3.17 : Facteur de lumière de jour (30 Décembre à 10h) : orientation Sud.

Source : Ecotect par l'auteur, 2015

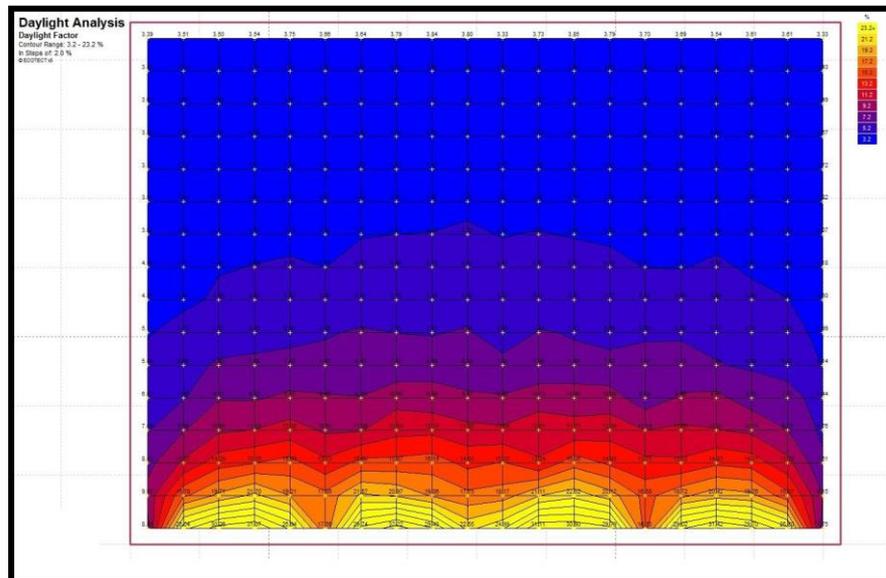


Figure 3.18 : Quantité d'éclairage (30 Décembre à 10h) : orientation Est.

Source : Ecotect par l'auteur, 2015

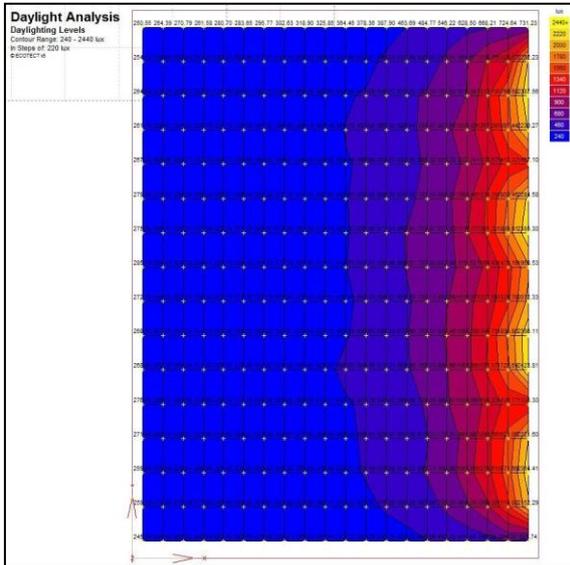


Figure 3.19 : Facteur de lumière de jour (30 Décembre à 10h) : orientation Est.

Source : Ecotect par l'auteur, 2015

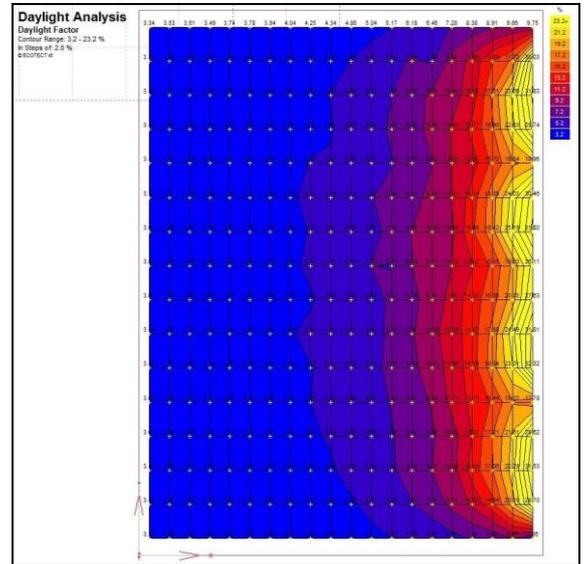


Figure 3.20 : Quantité d'éclairage (30 Décembre à 10h) : orientation Ouest.

Source : Ecotect par l'auteur, 2015

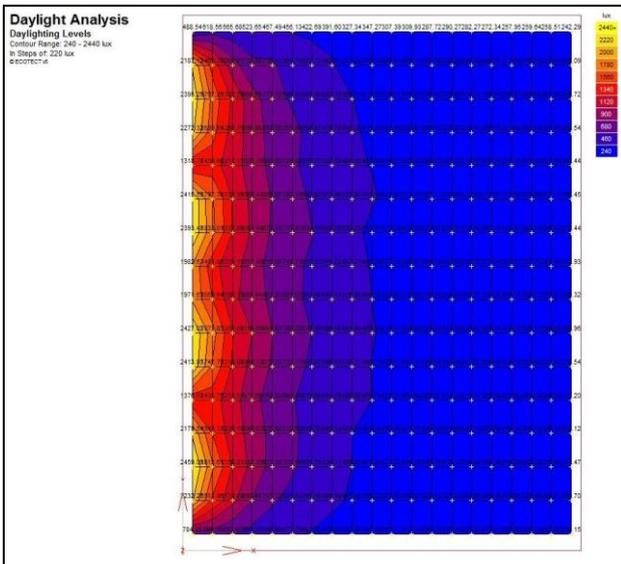


Figure 3.21 : Facteur de lumière de jour (30 Décembre à 10h) : orientation Ouest.

Source : Ecotect par l'auteur, 2015

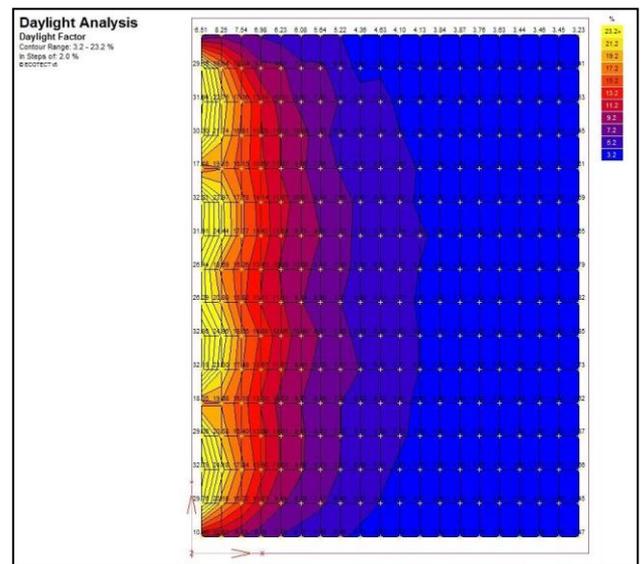


Figure 3.22 : Quantité d'éclairage (30 Décembre à 10h) : orientation Nord-Ouest.

Source : Ecotect par l'auteur, 2015

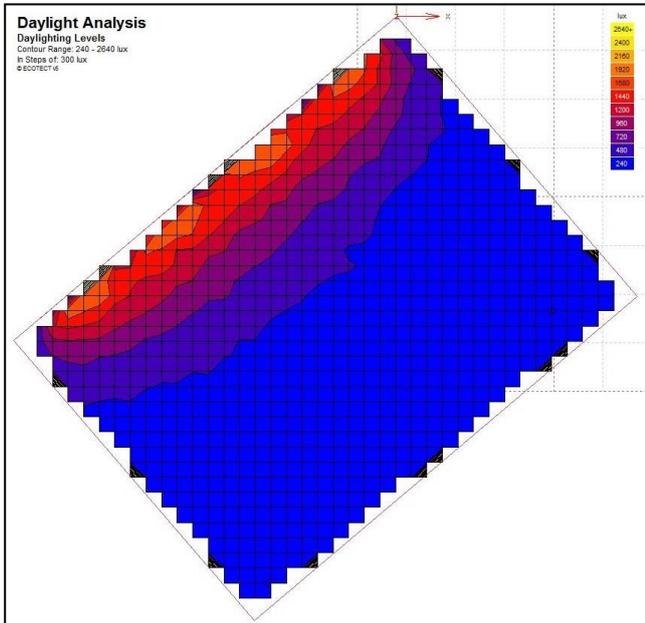


Figure 3.23 : Facteur de lumière de jour (30 Décembre à 10h) : orientation Nord-Ouest.

Source : Ecotect par l'auteur, 2015

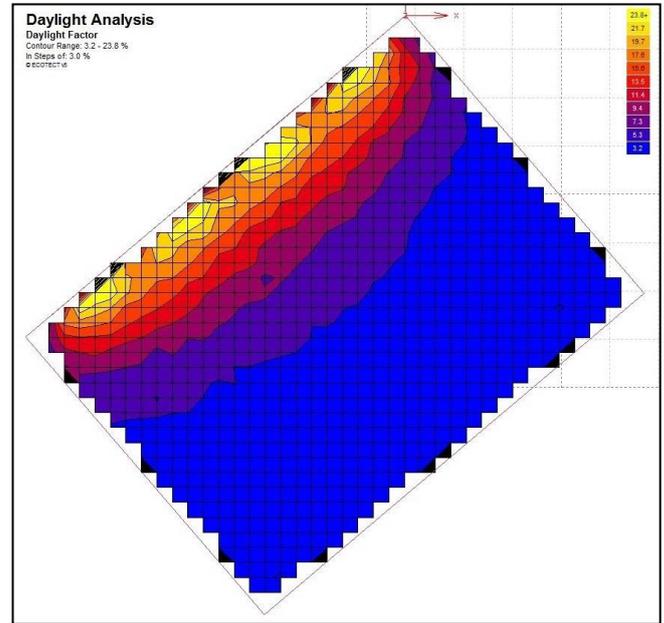


Figure 3.24 : Quantité d'éclairage (30 Décembre à 10h) : orientation Sud-Ouest.

Source : Ecotect par l'auteur, 2015

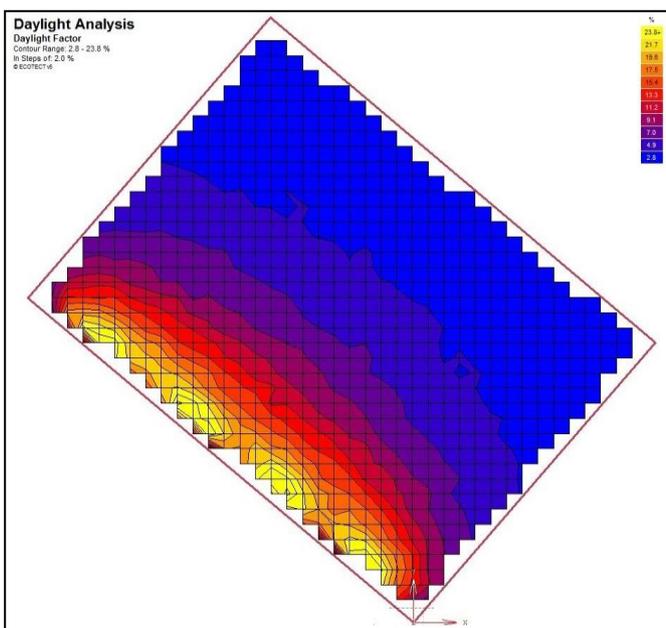


Figure 3.25 : Facteur de lumière de jour (30 Décembre à 10h) : orientation Sud-Ouest.

Source : Ecotect par l'auteur, 2015

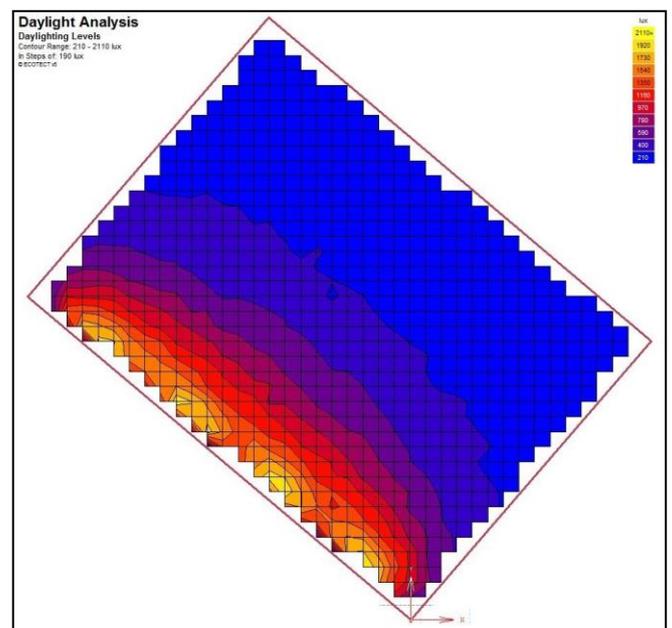


Figure 3.26 : Quantité d'éclairage (30 Décembre à 10h) : orientation Nord-Est.

Source : Ecotect par l'auteur, 2015

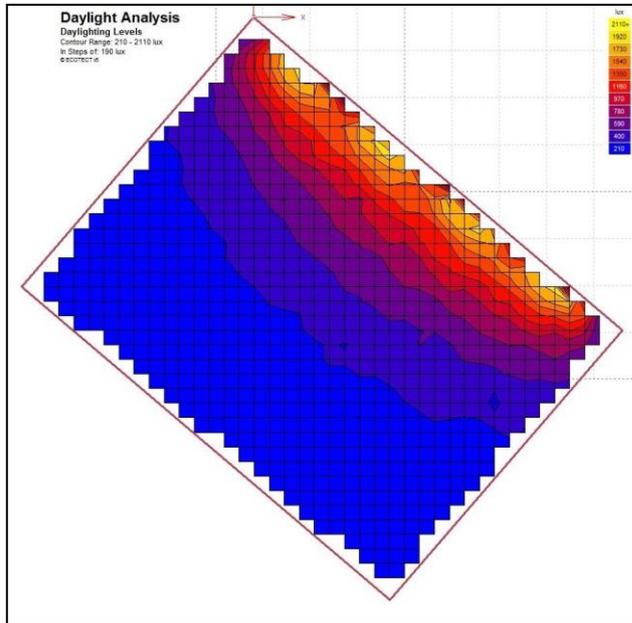


Figure 3.27 : Facteur de lumière de jour (30 Décembre à 10h) : orientation Nord-Est.

Source : Ecotect par l'auteur, 2015

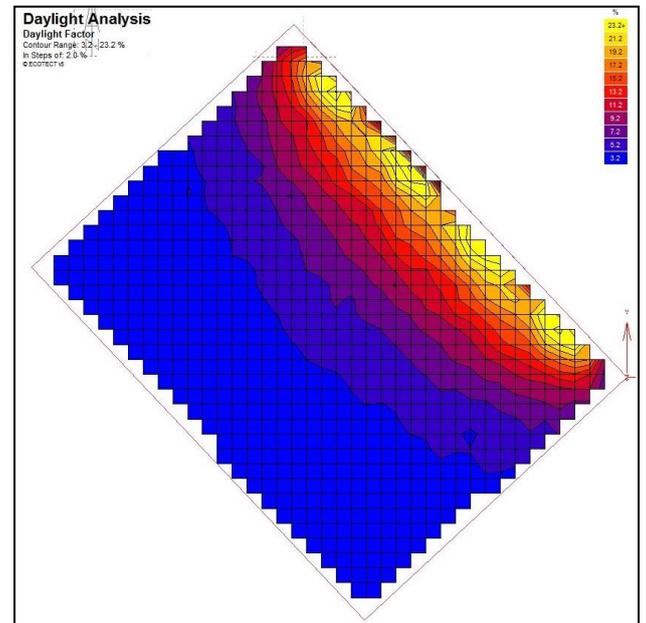


Figure 3.28 : Quantité d'éclairage (30 Décembre à 10h) : orientation Sud-Est.

Source : Ecotect par l'auteur, 2015

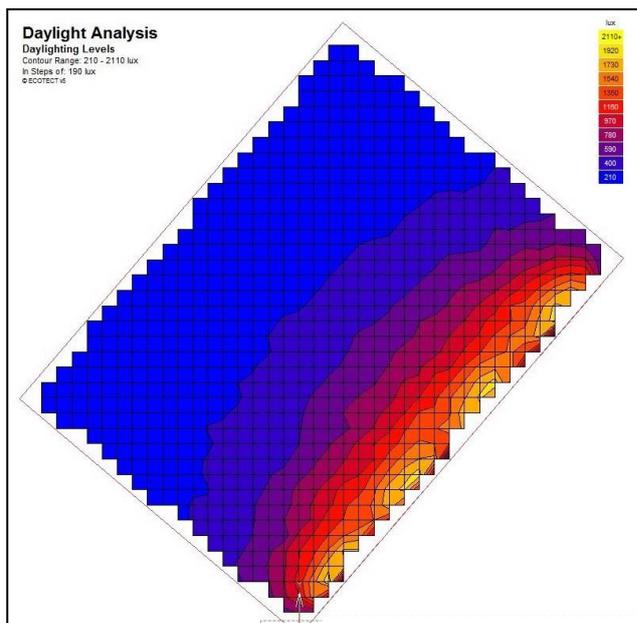
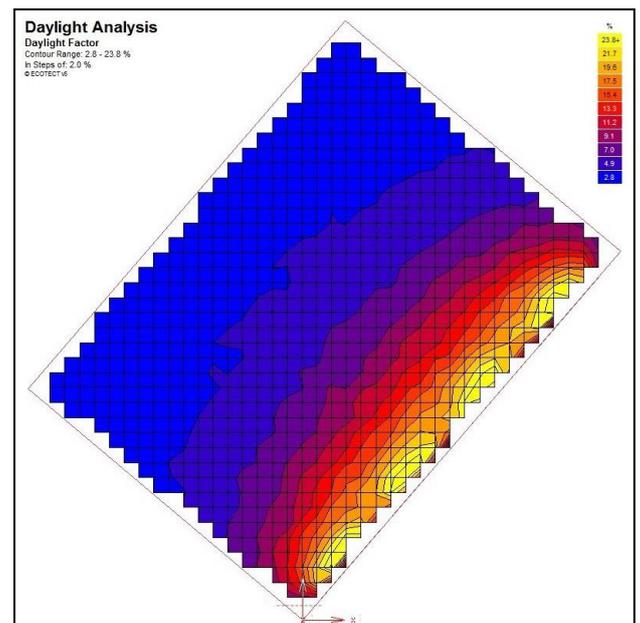


Figure 3.29 : Facteur de lumière de jour (30 Décembre à 10h) : orientation Sud-Est.

Source : Ecotect par l'auteur, 2015



Les résultats :**Tableau 3.1: Valeurs d'éclairément reçues par l'atelier.**

Source : Auteur

L'éclairément dans des différentes zones	La profondeur de la zone			
	Nord	sud	Est	ouest
Zone1: E > 810 lux	2.05 m	2.20m	2.6 m	2.8m
Zone2 : 810>E>430lux	2.55m	2.5m	1.8m	1.4m
Zone 3 : 434>E>240lux	2.95m	2.85m	3.15m	3.35m
Moyen (lux)	615.45 lux	617.74 lux	613.95 lux	610.85 lux

Tableau 3.2: Valeurs d'éclairément reçues par l'atelier.

Source : Auteur

L'éclairément dans des différentes zones	La profondeur de la zone			
	Nord-est	Nord-Ouest	Sud-Est	Sud-Ouest
Zone1: E > 810 lux	2.1m	1.80m	2.35m	1.90m
Zone2 : 810>E>430lux	2.45m	2.00m	2.2m	2.30m
Zone 3 : 434>E>240lux	3.20m	3.75m	3.00m	3.35m
Moyen (lux)	605.34 lux	603.29 lux	604.59 lux	604.51 lux

Tableau 3.3: Valeurs d'FLJ.

Source : Auteur

FLJ dans des différentes zones	La profondeur de la zone			
	Nord	sud	Est	ouest
Zone1: FLJ > 12%	1.5m	1.8	2.6m	2.3m
Zone 2 : 12%>FLJ>7%	2m	1.5m	1.8m	1.5m
Zone 3 : 7%>FLJ>2%	4.05m	3.75m	3.15m	3.75m
Moyen%	7.26%	7.46%	7.24%	7.14%

Tableau 3.4: Valeurs d'FLJ.

Source : Auteur

FLJ dans des différentes zones	La profondeur de la zone			
	Nord-est	Nord-Ouest	Sud-Est	Sud-Ouest
Zone1: FLJ > 12%	1.7m	2.3m	2.1m	2.2m
Zone 2 : 12%>FLJ>7%	2.5m	1.6m	1.6m	1.50m
Zone 3 : 7%>FLJ>2%	3.35m	3.65m	3.85m	3.85m
Moyen %	7.06%	7.08%	7.09%	7.06%

Discussions :**Figure 3.30 : Le facteur de lumière du jour.**Source : <http://www.energieplus-lesite.be>, 2015

FLJ	- de 1 %	1 à 2 %	2 à 4 %	4 à 7 %	7 à 12 %	+ de 12 %
	Très faible	Faible	Modéré	Moyen	Élevé	Très élevé
Zone considérée	Zone éloignée des fenêtres (distance environ 3 à 4 fois la hauteur de la fenêtre)			A proximité des fenêtres ou sous des lanterneaux		
Impression de clarté	Sombre à peu éclairé		Peu éclairé à clair		Clair à très clair	

Les orientations partagent l'atelier en trois zones. L'éclairement reçu dans la zone 1 est différent dans toutes les orientations. La largeur de la zone 3 ou l'éclairement est inférieur à 400 lux est importante par rapport à la largeur de l'atelier (plus de 3m), ceci dans les orientations Est, Ouest, Nord-Est, Nord-Ouest, Sud-Est, Sud-Ouest (3.15- 3.75 m), alors qu'elle est plus large dans l'Ouest, Nord-Ouest et Sud-Ouest (3.35-3.75m). Ce qui nous intéresse le plus, c'est la largeur des zones 2 ou nous avons remarqué que l'éclairement est important quand on oriente la fenêtre vers le sud et le Nord (2.5-2.55 m).

Nous remarquons aussi que les valeurs d'éclairement obtenues dans les (8) orientations sont proches les unes des autres surtout au niveau de la quantité d'éclairement que reçoit la fenêtre ainsi que dans la quantité d'éclairement reçu à 3 m de profondeur. Nous constatons que l'orientation Sud est Nord sont celle qui reçoit la plus grande quantité d'éclairement (615.45 - 617.74 lux) mais cette quantité n'arrive pas à la quantité d'éclairement demandé pour un atelier (750 lux).

Interprétation

L'orientation Nord donne les meilleurs résultats du point de vu uniformité. Elle transmet le mieux la lumière au fond de l'espace. Cette quantité atteint (615.45lux) à 3.00m de la fenêtre. L'orientation la plus défavorable est celle face à l'ouest; elle éclaire moins le fond de l'atelier avec des effets d'éblouissement. Cette première conclusion confirme que le côté Nord est les côté le plus éclairé de la voute céleste avec une lumière plus stable que le côté sud qui cause des effets d'éblouissement et surchauffé entre (10-15h. Donc, au cours des simulations précédent, nous allons travailler sur l'orientation Nord à cause de son rendement d'un côté et de son adaptation au climat de la ville de Batna, d'un Autre côté. Si nous comparons les

Résultats obtenus par cette orientation et ceux obtenus par les autres, nous concluons que : La fenêtre orientée vers le nord capte plus de lumière dans le type intérieur.

Conclusion :

Il est certain que la fenêtre reste toujours l'élément principal de la conception architecturale, car elle permet de capter la lumière du jour pour éclairer les différents espaces. Si nous choisissons la meilleure orientation à cette fenêtre, son rendement va être augmenté de manière considérable. Dans le but de tester l'effet de l'orientation sur le confort visuel à l'intérieur des ateliers dans la ville de Batna, nous avons proposé une expérience qui a été effectué par le logiciel "**Ecotect v5**" sous un ciel couvert (cas plus défavorable) : consiste à simuler la lumière naturelle dans un espace équipé d'une fenêtre type unilatéral (dans les différentes orientations) alors que après le changement d'orientation de la fenêtre, Les résultats ont montré que le rendement de la fenêtre amélioré, car il a augmenté le niveau d'éclairément dans l'atelier, surtout au centre de l'espace, ce qui a permis d'avoir trois zones. Cette simulation a montré que ce système à une influence par l'orientation, et l'orientation nord est la plus intéressante.

Conclusion générale :

La lecture de l'espace ne peut être faite par la conception d'une forme seulement sans l'introduction de la lumière. Elle permet selon le temps de donner plusieurs sens à un seul espace, L'architecture à la capacité de modeler et moduler les qualités de lumière entrant dans l'espace intérieur. Donc, la lumière va partager son rôle avec l'espace pour créer des ambiances lumineuses différentes.

Du point de vue de la durabilité, la lumière du jour constitue une ressource naturelle, propre et inépuisable. Pour cela, elle est devenue un élément principal dans la conception architecturale, l'architecte doit utiliser de manière intelligente et appropriée afin d'assurer le confort visuel, d'accroître le facteur de productivité de l'espace, alors qu'une mauvaise utilisation de cette lumière va conduire à l'inconfort, ce qui annule les bienfaits qu'elle peut offrir.

Parmi les sources d'inconfort les plus gênants, il y a l'éblouissement. Ce phénomène apporte la sensation d'inconfort et diminue l'acuité visuelle ; il se produit par la pénétration directe de la lumière du soleil dans l'espace. Dans certaines situations, l'éblouissement peut être un objectif recherché, mais généralement, les architectes cherchent à l'éviter par le recours à des systèmes de modélisation de la lumière naturelle sans cacher la fenêtre et réduire le niveau d'éclairage de l'espace et de transmettre la lumière plus profondément afin d'éclairer les zones éloignées de la fenêtre, d'avoir une uniformité de l'éclairage dans l'espace, de réduire de manière considérable l'effet de l'éblouissement, d'empêcher la pénétration des rayons solaires pendant l'été, Ces derniers résultent de l'augmentation de niveau de l'éclairage dans l'atelier, Il faut tout d'abord connaître le climat de la région considérée, chercher l'éclairage extérieur pour pouvoir calculer l'éclairage intérieur. Une étude bien approfondie sur le climat lumineux permet de connaître l'efficacité et le rendement dans les différentes orientations afin d'assurer un confort visuel, éviter tous les problèmes qui peuvent être causés par un mauvais choix d'orientation qui est le résultat d'une mauvaise détermination du climat lumineux. La ville de Batna est parmi les régions les plus ensoleillées le taux d'ensoleillement est très important, surtout en été et en automne, avec un gisement solaire et lumineux élevé, L'exploitation intelligente de cette lumière dans le bâtiment peut couvrir tous les besoins d'éclairage pendant le jour, Peu d'études ont été faites pour caractériser le climat lumineux de la ville d'une part et de simuler l'orientation dans l'espace architectural, d'autre part. Notre recherche sur le climat lumineux de cette ville montre qu'elle est caractérisée par d'éclairage extérieur élevé qui atteint 7600 lux.

Les outils de prédétermination de la lumière naturelle jouent un rôle majeur dans le processus de la conception de l'éclairage naturel en tant que moyens de vérification et d'aide à la prise de décision. La prédétermination de l'éclairage peut se faire grâce à quatre outils : les mesures sur site, les méthodes simplifiées, les simulations à l'aide des logiciels et les modèles réduits. Actuellement, et après le développement que connaît le domaine de l'informatique, il existe plusieurs logiciels spécialisés en éclairage des bâtiments ; ces logiciels sont faciles à exécuter et donnent de bons résultats. Pour cela, et dans le but de faire une étude sur l'effet de l'orientation sur le confort visuel et choisir l'orientation la plus adéquate au climat lumineux de la ville de Batna, nous avons recouru à la simulation informatisée à l'aide de "**Ecotect v5**".

Les résultats ont montré que l'orientation nord est sud améliore le rendement de la fenêtre car, il augmente le niveau d'éclairément dans tout le local mais avec un risque d'éblouissement pour les orientations suivantes Est, Ouest et Sud (pour sud entre 10-15h) et aussi les surchauffe.

Afin de choisir l'orientation la plus performante qui s'adapte le mieux au climat lumineux, la simulation a nous montré, l'influence de l'orientation sur la quantité d'éclairément et l'orientation nord est la meilleure en termes de quantité de lumière ainsi que de l'uniformité de l'éclairément et moins exposer au risque surchauffe et éblouissement, Alors que les autres orientations étaient exclues cause des risques d'éblouissement et surchauffe. L'orientation Sud son niveau d'éclairément et important mais il augmente aussi le risque d'éblouissement (10-15h).

L'orientation Nord du système unilatérale sous des conditions climatiques et environnementales de la ville de Batna permet à la fois d'éclairer en profondeur, d'avoir une bonne répartition de la lumière dans tout le local et un facteur de lumière de jour moyen, des ambiances lumineuses différentes, de réduire le risque d'éblouissement, d'empêcher la pénétration de la tache solaire surtout en été, et par conséquent, maintenir les occupants dans une situation de confort visuel et même.

Recommandations :

- Dans les ateliers, On recommande d'orienter les fenêtres de type unilatéral vers le Nord pour bénéficier d'une lumière du jour égale, et a évité les risques d'éblouissement.

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Sources lumineuses diurnes

Figure 1.2: Performances lumineuses d'un dispositif unilatéral

Figure 1.3: Pénétration approximative de la lumière naturelle

Figure 1.4: Pénétration approximative de la lumière naturelle avec l'usage d'un « light shelf »

Figure 1.5: Dispositifs anidoliques

Figure 1.6: Empreintes de bâtiments éclairés unilatéralement

Figure 1.7 : Dispositifs d'éclairage bilatéral et ses performances lumineuses

Figure 1.8: Performance lumineuse des ouvertures latérales en fonction de leur position.

Figure 1.9 : Performance lumineuse des ouvertures latérales avec angle d'obstruction = 0° et un angle d'obstruction = 45°

Figure 1.10 : Mouvement annuel de la terre autour du soleil

Figure 1.11 : Variations saisonnières de la déclinaison

Figure 1.12 : Coordonnées horizontales du soleil

Figure 1.13: Trajectoire apparente du soleil.

Figure 1.14 : Répartition des luminances pour un ciel couvert uniforme

Figure 1.15: Répartition des luminances pour un ciel couvert C.I.E

Figure 1.16: Répartition des luminances pour le modèle d'un ciel clair C.I.E

Figure 2.1: Eléments du confort visuel

Figure 2.2 : Exigences du confort visuel en fonction de la tâche visuelle

Figure 2.3 : Zones des champs visuels

Figure 2.4 : Cas d'éblouissement indirect dans une salle de cours

Figure 2.5 : Usage d'éclairage mixte pour réduire les zones d'ombre

Figure 3.1 : Zoning de la disponibilité de la lumière naturelle en Algérie

Figure 3.2: Fréquence mensuelle de chaque type de ciel pour la wilaya de Batna

Figure 3.3 : Algérie irradiation directe journalière reçue sur un plan horizontal en mois de Juillet

Figure 3.4: L'irradiation globale en (w/m²) du plan horizontal pour la latitude de la wilaya de Batna durant les années de 1996 à 2000.

Figure 3.5 : L'illumination globale en (Klux) Batna durant les années de 1996 à 2000

Figure 3.6: Plan de masse du campus universitaire Hadj Lakhder, Batna.

Figure 3.7: Plan de masse de l'institut

Photo 3.8: Eclairage latéral des Ateliers.

Figure 3.9 : Orientation des ateliers.

Figure 3.10 : position des deux ateliers

Photo 3.11: les ateliers

Figure 3.12 : Grille structurelle horizontale

Figure 3.13 : 3D du bloc des ateliers.

Figure 3.14 : Facteur de lumière de jour (30 Décembre à 10h) : orientation Nord

Figure 3.15 : quantité d'éclairement (30 Décembre à 10h) : orientation Nord

Figure 3.16 : Quantité d'éclairement (30 Décembre à 10h) : orientation Sud.

Figure 3.17 : Facteur de lumière de jour (30 Décembre à 10h) : orientation Sud.

Figure 3.18 : Quantité d'éclairement (30 Décembre à 10h) : orientation Est.

Figure 3.19 : Facteur de lumière de jour (30 Décembre à 10h) : orientation Est.

Figure 6.20: Quantité d'éclairement (30 Décembre à 10h) : orientation Ouest.

Figure 6.21 : Facteur de lumière de jour (30 Décembre à 10h) : orientation Ouest.

Figure 3.22 : Quantité d'éclairement (30 Décembre à 10h) : orientation Nord-Ouest.

Figure 3.23 : Facteur de lumière de jour (30 Décembre à 10h) : orientation Nord-Ouest.

Figure 3.24 : Quantité d'éclairement (30 Décembre à 10h) : orientation Sud-Ouest.

Figure 3.25 : Facteur de lumière de jour (30 Décembre à 10h) : orientation Sud-Ouest.

Figure 3.26 : Quantité d'éclairement (30 Décembre à 10h) : orientation Nord-Est.

Figure 3.27 : Facteur de lumière de jour (30 Décembre à 10h) : orientation Nord-Est.

Figure 3.28 : Quantité d'éclairement (30 Décembre à 10h) : orientation Sud-Est.

Figure 3.29 : Facteur de lumière de jour (30 Décembre à 10h) : orientation Sud-Est.

Figure 6.1 : Le facteur de lumière du jour.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1: Eclairages lumineux recommandés dans les salles de cours (Belgique)

Tableau 2.2 : Coefficients de réflexion recommandés dans les salles de cours.

Tableau 2.3: Valeurs de facteurs de lumière du jour recommandées par C.I.B.S.E pour les locaux d'enseignement.

Tableau 2.4: Prescriptions de la Norme Européenne « EN-12464-1 : éclairage intérieur des lieux de travail » pour les locaux d'enseignement.

Tableau 3.1: Valeurs d'éclairement reçues par l'atelier.

Tableau 3.2: Valeurs d'éclairement reçues par l'atelier.

Tableau 3.3: Valeurs d'FLJ.

Tableau 3.4: Valeurs d'FLJ.

Bibliographie :

Revue :

01. BELAKEHAL. A et TABET AOUL. K. « L'éclairage naturel dans le bâtiment, référence aux milieux arides à climat chaud et sec ». Courrier du Savoir, n°04, Biskra : Université Mohamed Khider (Juin 2003).
02. KULLER, R and LINDSTEN, C. «Health and Behavior of Children in Classrooms with and without Window s». Journal of Environmental Psychology, n° 12, Suède (1992).
03. MILLET. M, LARKIN. J et MOORE. J. "Light without heat: Daylight and shading". International passive and hybrid cooling conference, American Section, International Solar Energy Society, Miami Beach, (1981).
04. TERRIER. Ch et VANDEVYVER. B. "L'éclairage naturel", fiche pratique de sécurité, Paris : ED 82, Travail et Sécurité, (Mai 1999).

Documents gouvernementaux:

05. Algérie. Conseil Supérieur de l'éducation. Principes généraux de la nouvelle politique éducative et la réforme de l'enseignement fondamental : Synthèse du document de base. Alger : Conseil Supérieur de l'éducation. Mars 1998.
06. Algérie. Ministère de l'Habitat. Réglementation technique algérienne du bâtiment : concepts et nomenclature. Alger : Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismiques C.G.S. Mars 1998.
07. Algérie. République Algérienne. Codes du foncier et de l'urbanisme : recueil de textes législatifs et réglementaires de la République Algérienne. BERTI Editions. 2001-2002.

Thèses:

08. ROUAG, Dj. Sunlight problems within new primary school classrooms in Constantine. Thèse d'état, Constantine: Université Mentouri de Constantine, Avril 2001.
09. ZEMMOURI, N. Daylight availability intergrated modelling and evaluation: A Fuzzy logic based approach. Thèse de Doctorat, Sétif : Université Farhat Abbas de Sétif, Octobre 2005.
10. BENHARKAR S, Impact de l'éclairage naturel zénithal sur Le confort visuel dans les salles de classe, Constantine: Université Mentouri de Constantine, 2006.
11. DAICH S, Simulation et optimisation du système light shelf sous des conditions climatiques spécifiques, Université de Biskra.

Documents Internet :

12. Association Promotelec. « Eclairage des salles de classe ». [En ligne] www.promotelec.com. (Page consultée le 26 mars 2015)
13. BELAKEHAL A., TABET K. et BENNADJI A. “An evaluation method of daylighting quality in buildings under clear sunny skies”. [En ligne] www.psyenv.com. (Document pdf consulté le 16 mai 2015)
14. BROWN W. C. et RUBERG. K. «RSB 88 : Facteurs de performance des fenêtres ». Canada.1988. [En ligne] <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/bsi/rsb.html> (Page consultée le 12 mai 2015)
15. DE HERDE. A et al. « Choix de l’atrium ». Université Catholique de Louvain-La-Neuve. Belgique. [En ligne] www-energie.arch.ucl.ac.be. (Page consultée le 25 février 2015)
16. DE HERDE, A & al. « Le confort visuel ». Université Catholique de Louvain La Neuve. Belgique [En ligne]. www-energie.arch.ucl.ac.be. (Page consultée le 15 avril 2015)
17. DE HERDE, A et al. « Le choix de la fenêtre comme capteur de lumière naturelle ». Université Catholique de Louvain La Neuve. Belgique. [En ligne] www-energie.arch.ucl.ac.be (Page consultée le 20 mars 2015)
18. DE HERDE, A et al. « La variation de l’éclairage naturel ». Université Catholique de Louvain La Neuve. Belgique. [En ligne] www-energie.arch.ucl.ac.be. (Page consultée le 20 mars 2015)
19. DE HERDE, A et al. «Mesure du niveau d’éclairement». Université Catholique de Louvain La Neuve. Belgique. [En ligne] www-energie.arch.ucl.ac.be. (Page consultée le 18 mai 2015)
20. Ecole Nationale des Travaux Publics de l’Etat. « Thèmes principaux ». 2001. [En ligne] www.idmp.entpe.fr. (Page consultée le 20 Février 2015)
21. Fédération de l’éclairage. « A propos de circulaires de l’Education Nationale relatives à l’éclairage des salles de classes». [En ligne]. www.feder-eclairage.fr. (Page consultée le 18 avril 2015).
22. Kenneth J. Cooper “Study Says Natural Classroom Lighting Can Aid Achievement”. Washington Post Staff Writer (26 Novembre 1999). [En ligne] www.orientationsnova.com. (Page consultée le 24 avril 2015)
23. Laboratoire CERMA. « La géométrie solaire », Ecole d’Architecture de Nantes [En ligne] www.audience.cerma.archi.fr. (Page consultée le 18 avril 2015)
24. Laboratoire CERMA. « Lanterneau vertical : Jeux de taches solaires ». Ecole d’Architecture de Nantes. [En ligne] www.audience.cerma.archi.fr. (Page consultée le 25 avril 2015)

-
25. Laboratoire CERMA. « Lanterneau vertical : Eclairage contrasté ». Ecole d'Architecture de Nantes. [En ligne] www.audience.cerma.archi.fr. (Page consultée le 20 avril 2015)
 26. Syndicat de l'éclairage « L'éclairage et le confort visuel ». Paris. [En ligne] www.syndicat-eclairage.com (Document pdf consulté le 20 mai 2015)
 27. The Society of Light and Lighting. Draft Addendum to CIBSE Lighting Guide 5: The visual environment in lecture, teaching and conference rooms". London: CIBSE, 2003 [En ligne] www.cibse.org, (Document PDF consulté le 18 avril 2015).

Résumé

De nombreuses recherches sur l'éclairage naturel ont affirmé que la lumière naturelle a des effets positifs et significatifs sur les performances intellectuelles des étudiants, leur santé et leur assiduité.

L'objectif de notre étude consiste donc à tester l'effet de l'orientation de la fenêtre du système unilatéral dans les ateliers d'architecture sous le climat lumineux de la ville de Batna. Le bon choix d'orientation pourrait répondre aux problèmes de confort visuel dans nos constructions d'enseignement, notamment les problèmes d'uniformité, d'éblouissement et de surchauffe estivale. Pour cela, nous avons procédé à une évaluation par programme de simulation **Ecotect v5** pour les ateliers de l'institut d'architecture de l'université Hadj Lakhder de Batna qui sont éclairées par un système unilatéral. Cette évaluation, à la fois quantitative et qualitative.

Cette évaluation nous a permis de constater que les conditions d'éclairage naturel des ateliers de l'institut n'étaient pas très confortables visuellement. D'une part, l'orientation Sud fournissent des niveaux d'éclairement lumineux élevés et une uniformité de l'éclairage, mais d'autres problèmes liés à l'ensoleillement direct provoquent de l'éblouissement, Nous avons relevé également que les performances lumineuses de ce système dépendaient étroitement de l'orientation des ouvertures, ainsi que de la couleur des surfaces intérieures.

Mots clés :

Eclairage naturel, confort visuel, atelier, climat lumineux, facteur de lumière du jour, éclairement lumineux, orientation, Batna, architecture.

Summary

Many researches on natural lighting provided that natural light has positive and significant effects on the performances intellectuelles of students, their health and attendance.

The aim of our study is to test the effect of the orientation of the unilateral window system in the architecture workshops under the lightening climate of Batna city. The right choice guidance could address the comfort visual issues in our educational buildings, including consistency problems, glare and summer overheating. For this, we preceded an evaluation of simulation program **Ecotect v5** of the architecture workshops in Hadj Lakhder university of Batna which use an unilateral system. This evaluation is both quantitative and qualitative.

During this evaluation, we found that the natural lighting conditions of these workshops in the institute were not very comfortable (visually). First, the South orientation provide high level of enlightenment, brightness and even illumination, but other problems are related to the direct sunlight causes glare. We also noted That the Light performance of these systems depends on the direction of the opening, as well as the color of inner surfaces.

Keywords:

Natural lighting, visual comfort, workshop, lightening climate, light of day factor, luminance, orientation, Batna, architecture.

ملخص

أكدت العديد من الأبحاث حول موضوع الإنارة الطبيعية في الأقسام التعليمية أن الضوء الطبيعي له آثار جد ايجابية و معتبرة على القدرات الدراسية للتلاميذ، على مآبرتهم و حتى على صحتهم النفسية و الجسدية.

انطلاقا من هذا المنظور، كان الهدف من دراستنا تأثير توجيه النافذة على الانارة الطبيعية في نظام الجانب الواحد في ورشات الخاصة بطلبة الهندسة المعمارية تحت المناخ الضوئي لمدينة باتنة لأننا نفترض أن الاختيار الانسب لتوجه النافذة بإمكانه حل مشاكل رفاهية الرؤية التي نصادفها عموما في المباني الجامعية كمشكل اللانسجام، البهر و فرط الإحماء الصيفي.

للتأكد من آثار هته الإنارة قمنا بتقييم لورشات معهد الهندسة لجامعة حاج لخضر باتنة التي تمتاز بإنارة الجانب الواحد. لقد تم ذلك بفضل برنامج المحاكاة المتمثل (**Ecotect v5**) الذي سمح لنا بالقياس في اتجاهات المختلفة .

هذا التقييم الكمي و النوعي سمح لنا بتسجيل أن ظروف إنارة ورشات ليست مريحة من ناحية اخرى أظهر لنا ان توجيه النافذة نحو الجنوب يمنحنا ضوئية مرتفعة و منسجمة. و لكن من جهة أخرى المشاكل المرتبطة بالشمس المباشر تسبب البهر ، التناقض الحاد و ظلال مزعجة في الفترة الحارة. كما لاحظنا أيضا أن القدرات الضوئية لهذه الإنارة هي جد مرتبطة بوجهة النوافذ و بلون المساحات الداخلية.

كلمات مفاتيح:

إنارة طبيعية - مناخ ضوئي - ورشات- مستويات إنارة ضوئية- التوجه- باتنة- هندسة معمارية.