

Université de Blida 1
Institut d'Architecture et d'Urbanisme



Master 2
ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE

EFFICACITE DU SYSTEME LIGHT SHELF SOUS LE CLIMAT
LUMINEUX D'ALGER

« EVALUATION DU CONFORT VISUEL DANS UNE SALLE DE
CLASSE »

Etudiante (s) :
FERS HALIMA
IMESSAOUDENE KELTOUM

ENCADRE PAR :
Mme MAACHI ISMAHAN

2015-2016

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère.

À mon père, écolier de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger. Que dieu les garde et les protège.

À mon mari Mustapha et ma petite fille Jiji.

À mon adorable sœur Ilham.

À mes frères : Mohamed Merouane, Hakim, Abderrahmane.

À mes belles sœurs Khalida et Amina et mes nièces Lina et Marwa.

À la mémoire de mon beau père Tahar et ma belle famille.

À mon cher binôme Keltoum.

À tous ceux ou celles qui me sont chers et que j'ai omis involontairement de citer.

À tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

HABIM.

Remerciements :

En préambule à ce mémoire nous remerciant ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

En second lieu, nous tenons à remercier sincèrement notre promotrice Mme **MAACHI** qui, s'est toujours montrés à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'elle a bien voulu nous consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

On n'oublie pas nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours soutenue et encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes.



Merci

Je dédie ce mémoire

Mes chers parents: Tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour que je vous porte, ni la profonde gratitude que je vous témoigne pour tous les efforts et les sacrifices que vous n'avez jamais cessé de consentir pour mon instruction et mon bien-être.

Notre très chère promotrice **Mme Maachi** pour sa présence et ses orientations durant toute l'année d'étude.

Toute la famille et en particulier ma grande mère; mes deux sœurs **kenza lamia** et très cher frère **karim**.

À mon binôme de travail **Halima** et tous mes chères amis...

Merci

Imessaoudene Keltoum

INTRODUCTION

L'impact de la qualité environnementale des établissements humains sur le bien-être, la santé et la productivité des occupants ainsi que sur l'environnement est aujourd'hui universellement vérifié. Aux USA, l'Agence de Protection de l'Environnement estime en effet que le risque lié aux immeubles de mauvaise qualité fait partie des cinq risques écologiques majeurs pour la santé humaine. C'est ainsi que s'agissant des lieux éducatifs et plus spécifiquement des établissements scolaires, et vu que la qualité des lieux et des équipements est un facteur déterminant de la réussite scolaire, cette démarche ne peut produire d'effets que dans la mesure où elle est partagée en amont entre maître d'ouvrage, concepteur, exploitant et utilisateurs. Elle doit donc satisfaire d'autres exigences liées à la performance scolaire de ces établissements à savoir :

- Offrir les meilleures conditions possibles pour l'accomplissement des activités éducatives.
- Garantir l'épanouissement et le bien être des apprenants en leur assurant un espace intérieur favorable à l'étude, propre, confortable et sain pour les élèves en harmonie avec leurs valeurs morales et socioculturelles.
- Contribuer à améliorer l'efficacité et la performance du système éducatif

Enfin, cette démarche permet également d'éviter les dégradations trop rapides des lieux de vie et d'enseignement par une meilleure description des opérations de maintenance à mener pendant toute la durée de vie du bâtiment.

I/L'ARCHITECTURE SCOLAIRE

I.1/Définition

L'établissement scolaire est un bâtiment architectural omniprésent dans le paysage urbain ou rural. C'est un des bâtiments publics que l'on rencontre le plus fréquemment. Sa conception relève du domaine de l'architecture scolaire, une architecture qui est pour l'élève un référent qui le marque pour la vie. C'est un lieu où il vit une de ses premières appréhensions de l'espace construit en dehors de son lieu d'habitation. Une architecture qui présente son propre caractère et exige des connaissances approfondies des pratiques pédagogiques et leur évolution dans le temps, elle a pour objectif principal d'offrir aux membres de la communauté scolaire les meilleures conditions de confort et de sécurité dans des espaces éducatifs de bonne qualité, conformément à une organisation architecturale adaptée à leurs activités, sans négliger l'amélioration de la qualité des équipements existants par des opérations de rénovation et de réhabilitation. Les évolutions récentes ainsi que les changements intervenus dans les modes de prestation et l'organisation des formations relevant de l'enseignement ont

eu des conséquences sensibles sur la production, la gestion et l'utilisation des équipements scolaires. Pour répondre à l'accroissement continu et soutenu des effectifs d'élèves, à la diversification du contenu et des modes de prestation des enseignements, les établissements adoptent une stratégie davantage axée sur les besoins de leurs clients. MAZALTO [2007], affirme que l'architecture scolaire n'est pas neutre. Les chercheurs affirment que le milieu de vie où s'exercent les activités éducatives, joue un rôle capital dans le développement des individus, en particulier des enfants. En effet, L'architecture a une influence très forte sur la qualité d'un établissement scolaire et son efficacité pédagogique. Partant de ce principe que la qualité architecturale et environnementale de l'établissement scolaire est un élément essentiel à l'amélioration de la qualité de l'éducation plusieurs stratégies ont été mises en place de par le monde visant à placer les élèves et le personnel enseignant dans les meilleures conditions possibles de travail.

II/L'ETABLISSEMENT SCOLAIRE ET SON ROLE DANS LA SOCIETE

L'établissement scolaire est un équipement consacré à l'éducation, il désigne l'ensemble des bâtiments collectifs destinés à la scolarisation des enfants: école maternelle, école primaire, collège et lycée. Qu'il soit privé ou public, il est considéré comme une entité qui a pour vocation première, celle d'assurer aux élèves qui le fréquentent quotidiennement et aux pratiques éducatives les meilleures conditions de confort, d'hygiène et de sécurité. Il est le lieu privilégié du développement social de l'enfant et de l'adolescent dans la société. D'après le dictionnaire **LAROUSSE**, « l'établissement scolaire est l'ensemble des locaux où se donne un enseignement (école, collège ou lycée)».

L'établissement scolaire incarne l'unité de base de production d'un système éducatif, il doit être conçu comme un vecteur de bien-être, un lieu d'identification, car il abrite des enfants qui y font l'apprentissage de leur vie de citoyens. La qualité de son architecture est déterminante pour la qualité de la vie scolaire qui s'y déroule. Son aménagement et son environnement ont un impact direct sur les progrès scolaires. Il est donc important que ces bâtiments soient exemplaires du point de vue de l'utilisation des ressources fossiles, des rejets polluants, de la qualité des matériaux, sans oublier la qualité de vie et le niveau de confort. Les établissements scolaires jouent un rôle crucial dans chaque localité. C'est évidemment là que les élèves apprennent et que les enseignants transmettent leur savoir, mais c'est aussi là que sont organisées des manifestations sociales, des représentations théâtrales et des événements sportifs. Ils représentent un indicateur du bien-être de la population locale. Les bâtiments scolaires jouent aussi un rôle important en cas de catastrophe naturelle soit au moment même de la catastrophe soit dans la phase de reconstruction. Lorsqu'un cyclone ou une inondation

est survenue, l'école peut servir d'abri d'urgence où la population locale sera hébergée, nourrie et prise en charge. Après un tremblement de terre, les écoles peuvent accueillir les personnes dont les logements ont été détruits ou endommagés.

III/EVOLUTION SPATIALE DE L'ETABLISSEMENT SCOLAIRE

Depuis l'apparition de l'architecture scolaire, la conception des établissements éducatifs ne cesse d'évoluer pour mieux s'adapter aux nouvelles exigences d'une société en perpétuel développement social, culturel et technologique. Dès le début du XXème siècle, certains pays industrialisés ouvrirent des écoles de plein air afin de créer une atmosphère stimulante, propice à la santé et aux apprentissages. Certaines de ces écoles sont demeurées célèbres comme celle de Richard NEUTRA à Los Angeles (1925), celle de Jan DUIKER à Amsterdam (1930) et celle de E. BEAUDOUIN et M. LODS à Suresnes en île de France (1935). Ces constructions associaient l'air et la lumière afin de favoriser l'épanouissement physique et intellectuel des enfants [FORSTER, 2006].

Dans l'entre-deux-guerres, l'établissement scolaire devint sobre et fonctionnel. Deux mouvements cohabitaient à cette époque : celui des constructions en longues barres et celui des écoles pavillonnaires¹. (Tony GARNIER) Il imagina la cité industrielle de demain avec de petites écoles dispersées dans la verdure. Les pavillons donnaient sur des cours de récréation séparées et des pelouses ombragées où l'on faisait la classe par beau temps. Les écoles pavillonnaires ou les écoles compartimentées avec ailes, portiques et cours ouvertes furent en vogue durant les années 1950. Les enfants fréquentaient des espaces différents selon leur âge. -A cette époque, En Europe se développait le modèle prussien: classes regroupées autour d'un hall central utilisé pour les enseignements communs et les rassemblements. Les classes avaient des fenêtres qui donnaient sur cet espace afin de permettre une surveillance constante. Il fallait montrer l'importance de l'instruction et inspirer son respect [FORSTER, 2004] -En Suisse, Alfred Roth, grand spécialiste des constructions scolaires, publia plusieurs ouvrages sur l'architecture. Il recensa les meilleures réalisations des pays industrialisés. En 1933 il présenta un projet exemplaire d'une école à trois niveaux et à la lumière bilatérale et aération transversale. Pour supprimer les corridors des étages, il créa entre chaque paire de classes un hall avec une cage d'escalier. Cette solution permet de multiplier le nombre de classes suivant les besoins. Cette conception architecturale de l'école sans corridor permet également de diviser le nombre des élèves en groupes et de leur réserver des accès différents au préau

¹ Tony GARNIER (1869-1948) architecte Français, est considéré comme le père des écoles pavillonnaires.

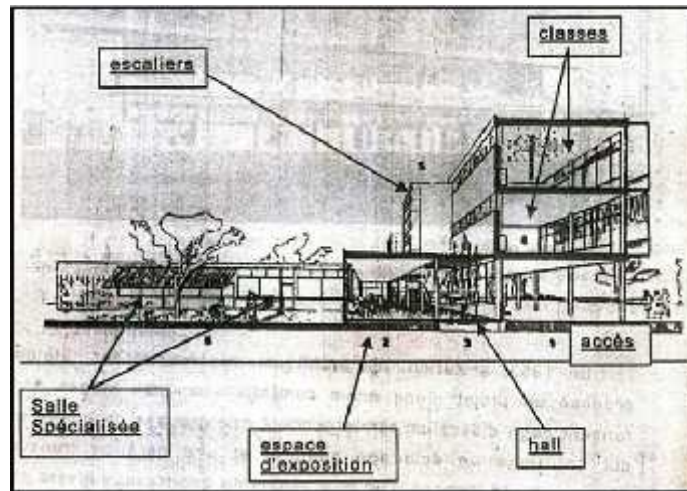


Figure 1 : Ecole primaire à Zurich en Suisse

Source: ROTH Alfred (architecte concepteur)

En bon visionnaire, Alfred Roth énonça dans les années 1950 les conditions essentielles d'une bonne architecture scolaire:

- L'enfant est le sujet et non l'objet de l'éducation et l'architecture doit être à son échelle, il faut donc éviter les bâtiments monumentaux, l'école doit être en harmonie avec la nature.
- L'éducation doit développer l'être dans sa plénitude, l'architecture doit s'adapter à une grande variété de situations pédagogiques. Il faut donc une disposition souple et différenciées des locaux adaptés à chaque âge et à chaque type d'enseignement.
- Un bâtiment scolaire à simple rez-de-chaussée correspond parfaitement aux exigences de l'hygiène et de la pédagogie pour les enfants de 5 à 7 ans par l'intimité de son échelle et par une liaison harmonieuse entre classe et jardin.

Ces principes sont en partie repris dans la 20ème conférence internationale de l'instruction publique (1957) : Planifier, standardiser, tout en s'adaptant aux pratiques éducatives et aux progrès techniques.

-A la fin des années 1960, un grand courant de réformes traversa les pays de l'OCDE : pédagogie différenciée, travail des enseignants en équipe, enfants dans des groupes d'âges différents, formation par cycles d'apprentissage etc. On entra alors dans la période des écoles à plans variables ou à aires ouvertes. L'Angleterre, les Etats-Unis, l'Australie et les pays du Nord de l'Europe furent les pionniers de ce nouveau style. Il fut de règle de prévoir dans les nouvelles constructions des volumes communs où les enfants d'âges divers pouvaient travailler. On produisit des écoles avec des séparations mobiles faciles à déplacer destinées à

structurer les espaces pour les divers travaux de groupe. Un projet architectural suédois, appelé SAMSKAP, sert de modèle de référence. La conception générale de ces nouveaux établissements se caractérisait par un espace de ressources au centre et des alvéoles pour le travail individuel ou en groupes tout autour. En Australie, où presque toutes les écoles construites dans les années 1970-1975 appliquaient les principes des aires ouvertes, des études révélèrent que les écoles ouvertes obtenaient, dans les tests nationaux de connaissances de base, des scores inférieurs aux écoles traditionnelles. Aux Etats-Unis et en Angleterre, les recherches ne révélèrent aucune supériorité de l'un ou l'autre système.

-Dans la seconde moitié du XXème siècle, beaucoup de pays de par le monde ont dû faire face à la nécessité de construire massivement de nouvelles écoles ou d'ajouter des espaces éducatifs à celles existantes pour répondre à l'accroissement mondial de la demande de l'éducation, et à la demande de bâtiments scolaires qui en découle. Le recours aux méthodes de constructions industrialisées semble être la solution la plus évidente. C'est ainsi que plusieurs systèmes de préfabrication rapide ont été conçus pour satisfaire ces besoins urgents. Le système FYNPLAN au Danemark, COIGNET et BALLOT en France, FEAL en Italie, CROCS en Suisse, CLASP et METHOD au Royaume-Uni et SEF au Canada, sont des exemples qui étaient très répandus dans le domaine des constructions scolaires durant cette période [ODDIE, 1975].

-Afin de mieux répondre aux exigences primordiales d'adaptation, de flexibilité et de simplicité dans la forme, deux types de configuration spatiale ont été développés : un système linéaire dont la largeur dépend du contenu) et autre compact (figure n°9) avec la possibilité de combiner les deux types.

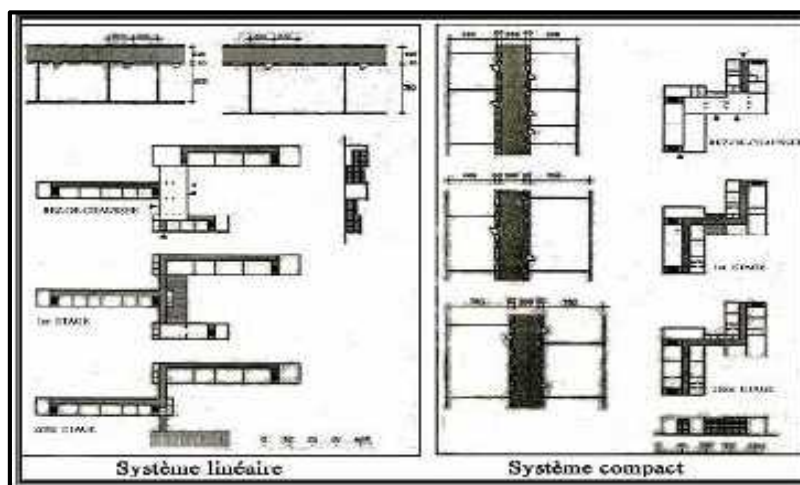


Figure 2 : Systèmes d'écoles industrialisées

Source : VAN BOGAERT, (1998)

Aujourd'hui, on revient de plus en plus à l'idée de flexibilité mais dans un autre contexte. Le monde a changé; les nouvelles technologies commencent à bouleverser les manières d'apprendre et d'enseigner. On parle de plus en plus d'espaces modulables pour le travail individuel ou de groupe tout en luttant contre l'uniformité des bâtiments scolaires dans le paysage, les collectivités locales souhaitent de plus en plus voir apparaître des éléments d'architecture diversifiés

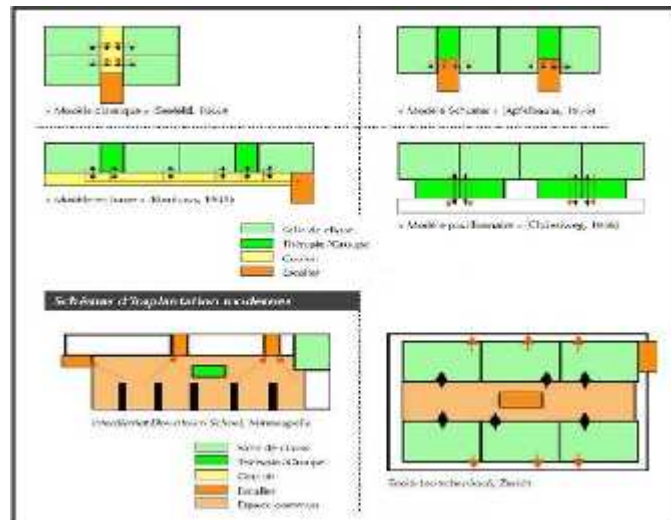


Figure 3 : Schémas d'implantation des écoles traditionnelles et modernes de Zurich (Suisse)

Source : ZIEGLER Mark et KURZ Daniel

IV/LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

La phase de conception d'un établissement scolaire est prépondérante, elle consiste, suite à des études architecturales et techniques intégrant les recommandations déjà formulées dans le programme par le maître de l'ouvrage, en la présentation d'un projet détaillé sous forme de documents graphiques et écrits. Bien qu'il existe plusieurs façons d'architecturer un projet, l'essentiel et le plus important aujourd'hui est de concevoir des établissements scolaires respectueux de l'environnement, offrant le maximum de confort aux futurs utilisateurs tout en préservant les ressources naturelles non renouvelables, il est aussi important de prévoir des espaces éducatifs susceptibles d'être adaptés à de nouveaux usages éventuels imposés par la modernisation de l'enseignement.

« Comme règle générale, la conception de l'école devrait pouvoir fournir un environnement éducatif approprié pour apprendre. Ainsi le rapport des différents éléments de l'école devrait être clairement défini. La conception d'école est la conséquence de l'organisation de ces éléments sur un emplacement donné selon le type du rapport entre les différents éléments. Un

bon environnement éducatif peut être obtenu par une bonne organisation organique de l'espace>>>

1

Il est parfaitement possible d'assurer à la fois une bonne qualité architecturale, une excellente qualité de l'environnement intérieur et une très faible consommation d'énergie au moyen d'une conception intelligente et multidisciplinaire dont les principaux éléments conceptuels sont :

- L'organisation spatiale.
- L'insertion du projet dans son environnement.
- Le choix du parti architectural.
- L'orientation des constructions.
- La flexibilité des espaces.

V/EXEMPLES

V.1/En Algérie

Les recommandations nationales émises par le ministère de tutelle en matière de conception architecturale d'établissements scolaires sont les suivantes :

- Flexibilité (polyvalence, possibilité d'extension et de reconversion)
- Economie (éviter l'organisation dispersée des bâtiments scolaires)
- Limitation de la hauteur des bâtiments à 3 niveaux au maximum (R+2) ;
- La surface des circulations intérieures ne devra, en aucun cas, excéder 20% de la surface totale construite.

Considérée comme étant le principal élément structurant de l'organisation fonctionnelle du bloc pédagogique, la conception des salles de classe correspond à une disposition des tables en rangées, car les autres dispositions nécessitent en général moins d'espaces, avec une capacité d'accueil maximum de 40 élèves. La configuration spatiale des blocs pédagogiques s'obtient par l'assemblage d'un nombre de salles de classes et laboratoires disposées selon plusieurs compositions géométriques dont :

- Assemblage linéaire, en forme de L, de U ou de H, avec simple distribution en coursives (circulation sous forme de galeries-préaux)
- Assemblage linéaire, avec double distribution (circulation centrale avec dégagement)
- Assemblage rayonnant, avec une distribution multiple (circulation centrale avec hall de distribution)

¹ [AÏCHE, 1987].

Considérée comme étant le principal élément structurant de l'organisation fonctionnelle du bloc pédagogique, la conception des salles de classe correspond à une disposition des tables en rangées, car les autres dispositions nécessitent en général moins d'espaces, avec une capacité d'accueil maximum de 40 élèves. La configuration spatiale des blocs pédagogiques s'obtient par l'assemblage d'un nombre de salles de classes et laboratoires disposées selon plusieurs compositions géométriques dont :

- Assemblage linéaire, en forme de L, de U ou de H, avec simple distribution en coursives (circulation sous forme de galeries-préaux)
- Assemblage linéaire, avec double distribution (circulation centrale avec dégagement)
- Assemblage rayonnant, avec une distribution multiple (circulation centrale avec hall de distribution).

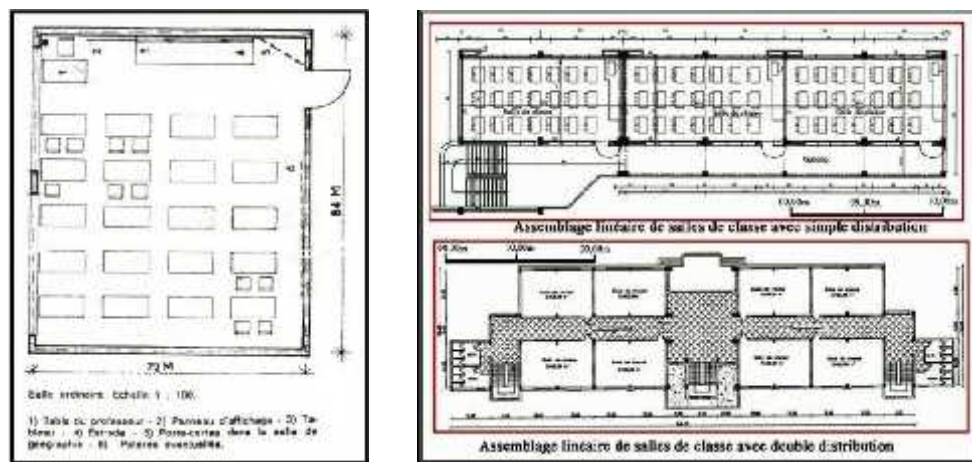


Figure 4 : Aménagement et dimensions recommandées pour une salle de classe ordinaire

Source: Guide des constructions scolaires - Ministère de l'Education nationale

La disposition du reste des bâtiments tels que (la bibliothèque, l'administration, le réfectoire, les dortoirs, les sanitaires et les logements de fonction), se fera selon plusieurs variantes tout en tenant compte des différentes activités pédagogiques et parascolaires afin d'essayer de rapprocher les activités qui vont ensemble et éloigner ceux qui peuvent être source de nuisances.

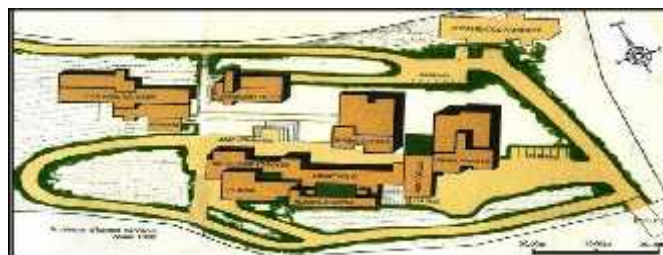
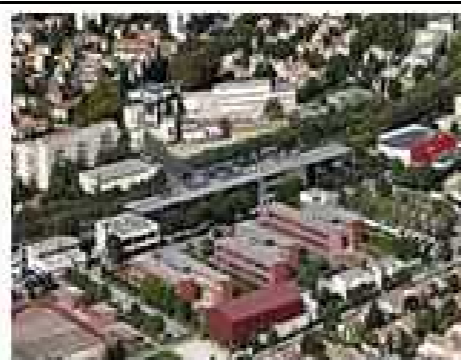



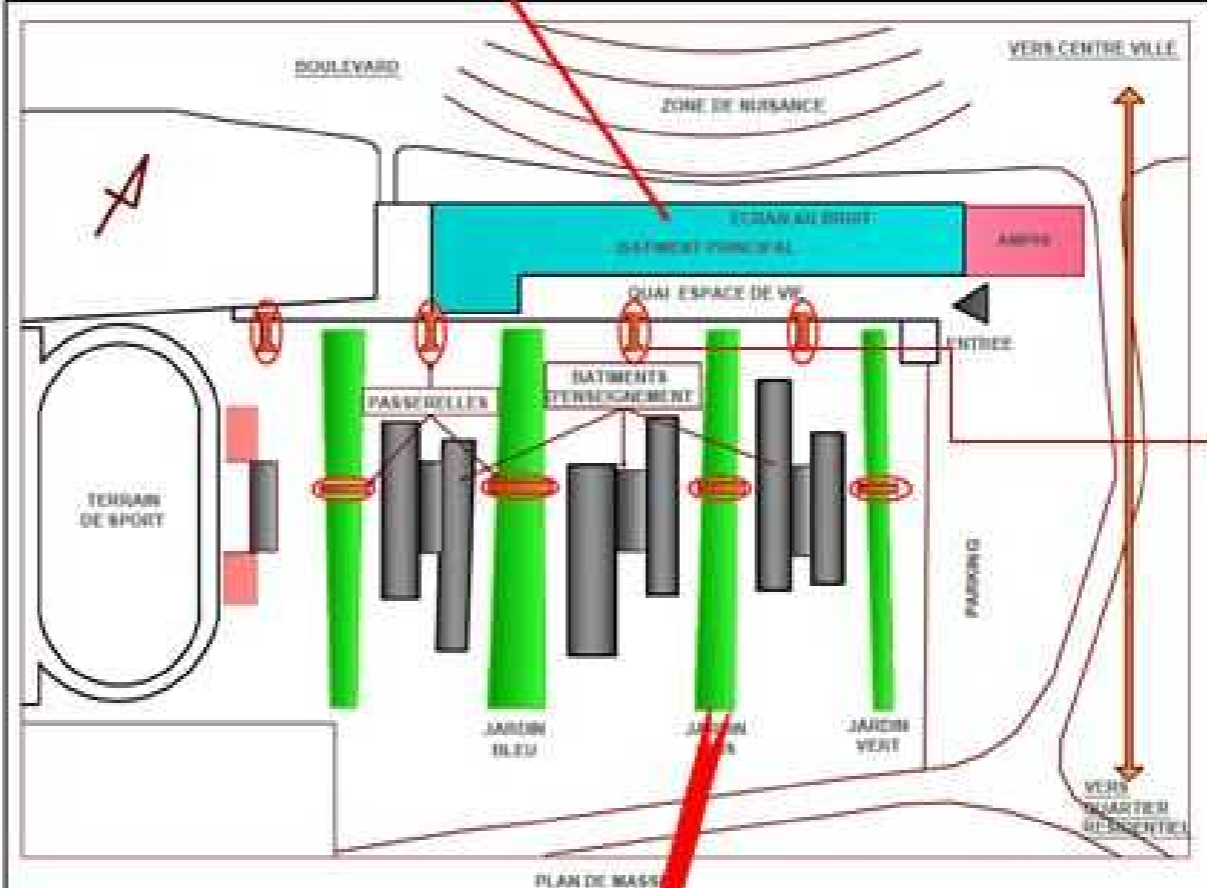






Figure 5 : Lycée 1000 places pédagogique réalisé à Aïn El-Hammam en Algérie

Source: Bureau d'Etudes SOPIREF, architecte concepteur M'hamed SAHRAOUI

V.2/Exemple d'un lycée bioclimatique : Lycée Philippe Lamour: (France)

Présentation de projet :	L'analyse d'exemple		
<p>Fiche technique: Architectes: <u>S.C.P Gilles CUSY</u> et <u>Michel MARAVAL</u> ; Montpellier (34) Livraison: septembre 1993 Surface: 5 hectares</p> <p>Le terrain d'implantation du lycée Philippe Lamour est situé en périphérie de la ville de Nîmes, le long d'un boulevard à grande circulation</p> <p>le Lycée accueille 1270 élèves dans des classes du second cycle de l'enseignement général et technologique et dans deux sections de techniciens supérieurs.</p>			<p>La circulation s'effectue à partir du "quai" vaste espace de rencontre sur lequel donne la cafétéria.</p> <p>La casquette du bâtiment administratif assure une protection solaire efficace à la façade sud-est.</p> 
	<p>Les bâtiments d'enseignement imposent une organisation linéaire, séparés par des jardins.</p>		
	 <p>Des avant-toits protègent les façades Sud-Ouest des bâtiments d'enseignement.</p>		<p>Synthèse: conception purement passive.</p> <p>L'utilisation du bâtiment administratif contre les nuisances sonores (confort acoustique)</p> <p>Orientation Nord-Est, Sud-Ouest des salles de classe pour assurer le confort visuel.</p> <p>Une alternance entre les bâtiments d'enseignements et les jardins pour rafraîchir l'air.</p> <p>Des passerelles assurent la relation entre les bâtiments.</p>

SYNTHESE

L'état des bâtiments scolaires et leur capacité de satisfaire les nouvelles exigences en matière d'enseignement suscitent une vigilance accrue dans les pays développés. Il est tout à fait admis aujourd'hui que l'établissement scolaire est considéré comme une construction affective qui joue un rôle important dans la vie des élèves qui le fréquentent. On apprend mieux et on se comporte mieux dans des établissements bien conçus et bien entretenus.

Plusieurs études ont démontré l'incidence de la qualité de l'architecture scolaire sur le comportement et le rendement des élèves. En effet, il existe une relation très étroite entre la qualité et l'entretien des lieux d'enseignement (propreté, confort visuel, sécurité et qualité du mobilier) et les résultats scolaires des apprenants, d'où l'importance capitale d'accorder aux concepts bioclimatiques des établissements scolaires dans la plus part des pays développés à travers la mise en place des réglementations et des programmes de réformes visant à améliorer le rendement et l'efficacité des systèmes éducatifs

. Dans ces pays, les projets d'équipements éducatifs environnementaux élaborés dans une logique de développement durable, représentent une part significative de l'activité de construction. Cette nouvelle approche architecturale n'est plus considérée aujourd'hui comme alternative uniquement, mais comme garantie de la haute qualité environnementale. Elle s'applique pratiquement dans tous les domaines de la construction. Des recherches dans le domaine de la production des infrastructures éducatives consacrées à l'importance du cadre bâti pour la qualité de l'enseignement dans le monde, sont engagées par l'organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) à travers son programme pour la construction et l'équipement de l'éducation (PEB), rebaptisé en janvier 2009 « Centre pour des environnements pédagogiques efficaces » (CELE). L'objectif recherché dans le cadre de ces recherche, est de définir un ensemble de critères ou de principes internationaux pour l'évaluation de la qualité des bâtiments scolaires, et l'identification des problèmes et obstacles liés à l'application de ces principes à des contextes locaux, régionaux et internationaux

II/ LE CONFORT VISUEL DANS LES SALLES DE CLASSE

La perception de la lumière est un des sens les plus importants de l'Homme. Grâce à cette perception, nous pouvons appréhender facilement l'espace qui nous entoure et nous mouvoir aisément dedans. L'œil, jouant le rôle d'interface avec l'environnement est sensible non seulement aux caractéristiques de la lumière, mais aussi au niveau de ses variations et de sa répartition. L'œil est indubitablement une merveille de "technologie naturelle" capable de s'adapter aux conditions extrêmes qui règne sur notre planète, mais, naturellement, a ses limites au niveau adaptation et accommodation ; ce qui consiste les limites du confort visuel.

II/1. Définition du << confort visuel >>

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

L'environnement visuel nous procure une sensation de confort quand nous pouvons voir les objets nettement et sans fatigue dans une ambiance colorée agréable.

L'obtention d'un environnement visuel confortable dans un local favorise le bien-être des occupants. Par contre, un éclairage trop faible ou trop fort, mal réparti dans l'espace ou dont le spectre lumineux est mal adapté à la sensibilité de l'œil ou à la vision des couleurs, provoque à plus ou moins longue échéance une fatigue, voire même des troubles visuels, accompagnés d'une sensation d'inconfort et d'une performance visuelle réduite.

L'association Haute Qualité Environnementale¹, elle définit le « confort visuel » comme la 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.

II/2. Les paramètres du confort visuel

Le confort visuel dépend d'une combinaison de paramètres physiques : l'**éclairement**, la **luminance**, le **contraste**, l'**éblouissement** et le **spectre lumineux**, auxquels s'ajoutent des caractéristiques propres à l'environnement et à la tâche visuelle à accomplir, comme la taille des éléments à observer et le temps disponible pour la vision. Le confort visuel relève, en outre, de facteurs physiologiques et psychologiques liés à l'individu tels que son âge, son acuité visuelle ou la possibilité de regarder à l'extérieur.

¹ HETZEL. J. Haute qualité environnementale du cadre bâti : enjeux et pratiques. Paris: AFNOR. 2003, p 155.

D'une manière générale les paramètres du confort visuel pour lesquels l'architecte joue un rôle prépondérant sont :

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



Figure 1 : les paramètres du confort visuel

II/3. Eléments du confort visuel dans les salles de classe

Selon l'association H.Q.E, les principes de mise en œuvre du confort visuel, sont les suivants :

- 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 a 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 2), donc favorable à l'exécution d'une tâche visuelle sera obtenu par:

1. Un niveau d'éclairage 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.

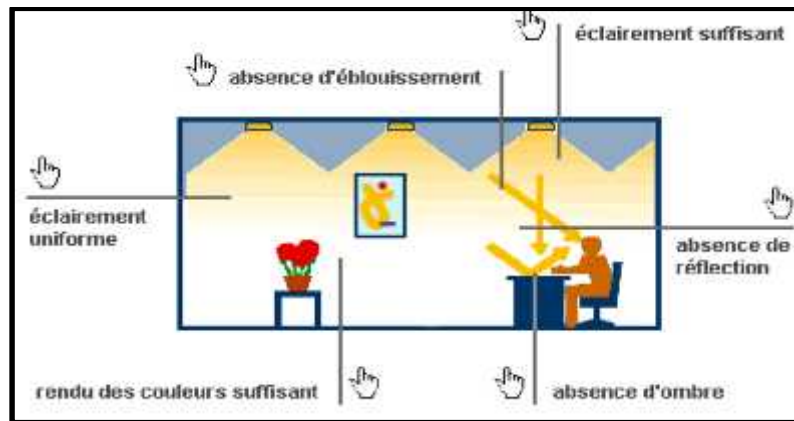


Figure 2 : Eléments du confort visuel.

Il est cependant très difficile de quantifier les valeurs idéales que ces paramètres devraient atteindre : il n'existe en effet pas de solution universelle au problème du confort visuel car celui-ci sera influencé par le type de tâche, la configuration du lieu, et les différences individuelles. De plus, le jugement de la qualité de la lumière sera influencé par des aspects personnels, culturels et historiques.

II/3.1. Paramètres physiques

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

L'éclairage

Pour bien comprendre ce qu'est l'éclairage, il est nécessaire de définir préalablement le flux lumineux.

Le flux lumineux d'une source est la quantité de lumière rayonnée dans tout l'espace par cette source. Il s'exprime en lumen (lm).

L'éclairage en un point d'une surface est le rapport du flux lumineux reçu par unité de surface. L'éclairage est exprimé en lux. **1lux=1lumen/m²**

L'éclairage caractérise donc la quantité de lumière reçue par une surface. Cependant cette grandeur est très difficilement perceptible par l'œil humain.

II/3.1.1 Le niveau d'éclairage

Les locaux d'enseignement, plus particulièrement les salles de cours, doivent bénéficier d'un niveau d'éclairage lumineux adéquat pour l'exécution des différentes tâches visuelles qui s'y accomplissent. Il permettra une bonne vision des tâches visuelles et facilitera l'accommodation rapide de l'œil pour passer de l'une à l'autre.

Un niveau d'éclairage minimum est nécessaire pour une vision claire et sans fatigue.

Toutefois, un éclairage trop abondant peut être inconfortable.

L'éclairage moyen recommandé est généralement fixé selon la fonctionnalité du local et la précision de la tâche visuelle qui doit y être exercée

La norme NF EN 12464-1 précise les valeurs de niveau d'éclairage préconisé pour garantir une bonne efficacité lumineuse de l'éclairage tout en préservant le confort visuel des élèves et des enseignants. Ces valeurs sont proches de celles observées pour l'éclairage tertiaire en général (éclairage du poste de travail) avec quelques particularités dues à l'équipement d'une salle de cours. Le niveau d'éclairage préconisé est ainsi de 300 lux pour les crèches et les maternelles, les salles de classe du primaire et du secondaire. Cette valeur passe à 500 lux pour l'éclairage du tableau noir (qui bénéficie d'un éclairage indépendant) et celui des salles pour l'enseignement des adultes.

A noter que ces valeurs concernent l'éclairage de la surface de travail, et qu'elle peut être plus faible pour les zones environnantes (allées, rangements, etc.)¹

Selon l'Association Française de l'Eclairage², 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.

II/3.1.1. 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. Ce facteur « âge » affecte, d'une part, le pouvoir d'accommodation qui atteint son optimum à 5 ans pour commencer à décroître jusque vers 50 ans. D'autre part, la diffusion de la lumière dans l'œil augmente avec l'âge, altérant ainsi la visibilité des objets. Quant à l'acuité visuelle, qui est un paramètre important de la vision en milieu scolaire, elle croît en moyenne avec l'âge, comme l'indique la figure 3.1.1.a et augmente encore plus, lorsque l'éclairage lumineux croît.

¹ l'essentiel de la norme NF EN 12464-1 relative à l'éclairage des locaux d'enseignement, Patrick octobre 2013

² Association Française de l'Eclairage. Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires. Paris: LUX. 1987, p 26.

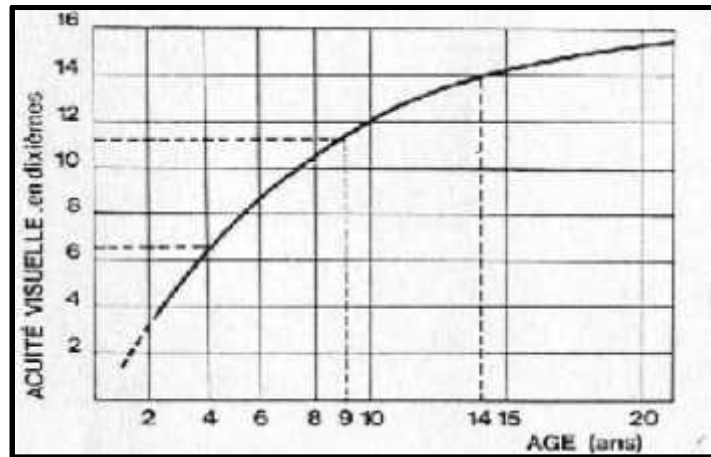


Figure 3 : Variation de l'acuité visuelle en fonction de l'âge.

Source : A.F.E, 1987.

Il faut noter également que la performance visuelle chez l'homme diminue au fur et à mesure que la difficulté de la tâche visuelle augmente, et cette dernière croît avec l'âge. La durée de travail aussi influe fortement sur la performance visuelle qui, pour un niveau de lumière constant et un travail de même nature, décroît avec l'accroissement de la durée de ce travail. Tous ces aspects nous amènent à conclure que les performances visuelles des étudiants (dont l'âge est supérieur à 18 ans) en milieu universitaire, où la difficulté des tâches visuelles ainsi que la durée du travail sont importantes (8 heures par jour en moyenne), peuvent être réduites à cause de la fatigue visuelle. Seul un éclairage lumineux suffisant (plus important que celui recommandé pour les élèves du premier et second degré) augmentera leurs performances et compensera la dégradation de la vision liée à l'âge, comme l'indique la figure 3.1.1.a

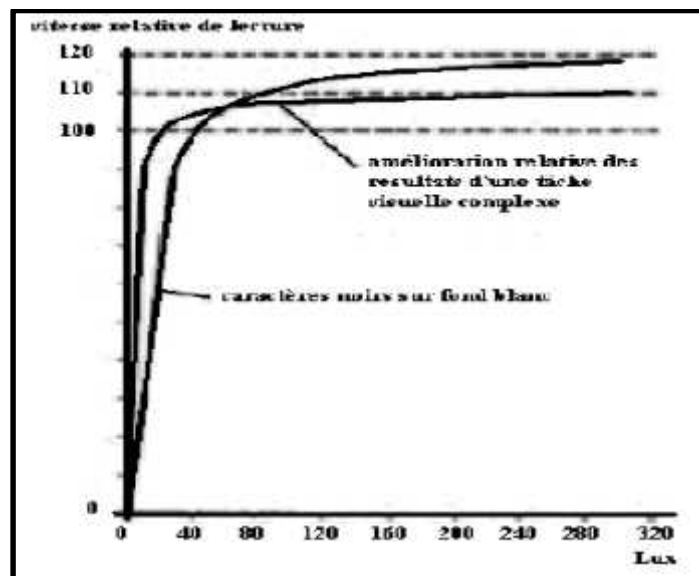


Figure 4 : Impact du niveau d'éclairage sur la performance visuelle d'après Baumgardt.

Source : B. DENOEUDE, 2002-2003.

II/3.1.1.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 »¹. 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.

En règle générale, que ce soit en éclairage direct ou indirect, il est toujours préférable de favoriser les parois de couleur claire et mate, de manière à bien diffuser la lumière sans former de reflets brillants et à éviter un trop fort contraste avec les prises de jour et les luminaires.

Quant à la couleur du plafond, elle joue un rôle peu important lorsque l'éclairage est direct. Mais son rôle devient primordial lorsqu'il s'agit de distribuer la lumière naturelle en profondeur dans un local. En éclairage indirect (électrique ou naturel), le plafond sert de diffuseur à la lumière ; il doit donc toujours avoir le coefficient de réflexion le plus élevé.

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

-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.

II/3.1.2 Une répartition harmonieuse de la lumière.

II/3.1.2.a 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 ».²

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

¹ Association Française de l'Eclairage. Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires. Paris: LUX. 1987, p 24.

² DE HERDE, André et al. "Répartition lumineuse". Université Catholique de Louvain La Neuve, Belgique [En ligne] www-energie.arch.ucl.ac.be

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,

En règle générale, pour obtenir un éclairage uniforme, l'éclairage maximum (E_{max}) et l'éclairage minimum (E_{min}) relevés dans un local ne doivent pas s'écarter de plus du 1/6 de l'éclairage moyen (E_{moy}).¹

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

II/3.1.2.b Uniformité de la luminance

*La luminance

Avant de définir la luminance, il est nécessaire de définir l'intensité lumineuse

L'intensité lumineuse est le flux lumineux émis par unité d'angle solide dans une direction donnée. Elle est mesurée en candela, 1candela = 1lumen/stéradian.

La luminance d'une source est le rapport entre l'intensité lumineuse émise dans une direction et la surface apparente de la source dans la direction considérée. Elle s'exprime en candela/m²

La visibilité d'une tache est directement liée à son éclairage. Or les notions d'éclairage et de luminance sont liées puisque quand l'éclairage d'un point augmente, sa luminance dans une direction donnée augmente proportionnellement.

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 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 ».²

¹ B. DENOEUDE. Ergonomie B1 : L'éclairage. Paris : Conservatoire National des Arts et Métiers. 2002-2003, p 94.

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

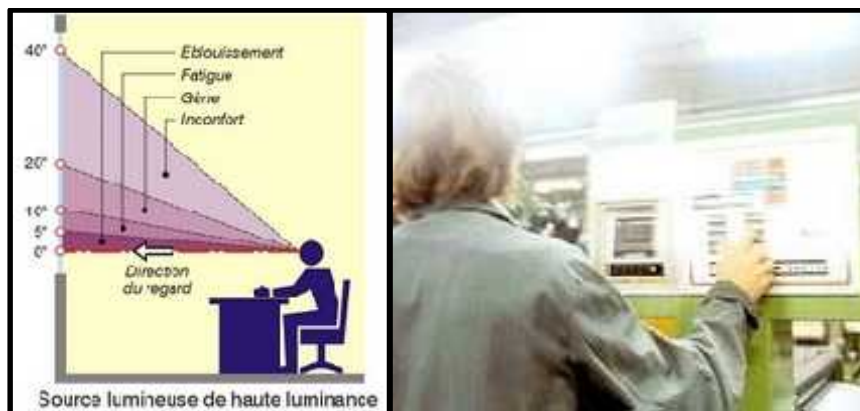
II/3.1.3 L'absence d'éblouissement

L'éblouissement résulte de conditions de vision dans lesquelles l'individu est moins apte à percevoir les objets, suite à des luminances ou à des contrastes de luminance excessifs dans l'espace et dans le temps.

L'éblouissement est dû à une luminosité trop intense de surfaces placées dans la direction de la vision ou à un contraste lumineux trop important entre surfaces contiguës. Il place l'individu dans des situations de grand inconfort visuel.

II/3.1.3.a L'éblouissement direct et l'éblouissement indirect

-**L'éblouissement direct** est causé par la présence d'une source lumineuse intense dans le champ de vision. Comme la partie fovéale de l'œil est très sensible à de hauts niveaux de luminance, il existe une différence considérable entre les luminances maximales acceptées par l'œil au centre du champ de vision et en périphérie. Les valeurs de luminance maximales admissibles dépendent donc de l'angle de vision.



-**L'éblouissement indirect** provient d'une réflexion perturbatrice des sources lumineuses sur des surfaces spéculaires ou brillantes telles que le papier, une table ou un écran d'ordinateur.

L'éblouissement indirect se présente sous deux formes:

- **L'éblouissement réfléchi** est produit par la réflexion, sur des surfaces brillantes ou spéculaires, de l'image d'une source de lumière vers l'œil de l'observateur.
- **L'éblouissement de voile** apparaît lorsque des petites surfaces de la tâche visuelle réfléchissent la lumière provenant d'une source lumineuse et réduisent ainsi le contraste entre la tâche visuelle et son environnement immédiat.

II/3.1.3.b L'éblouissement perturbateur et l'éblouissement invalidant

L'éblouissement est classé en deux types selon son degré d'intensité :

L'éblouissement perturbateur diminue la capacité de l'observateur à distinguer les détails.

Si un objet lumineux est placé dans l'axe de la vision de quelqu'un, son œil doit constamment

s'ajuster entre la luminance de l'objet lumineux et celle de la tâche visuelle à accomplir, au détriment de la perception des détails.

L'éblouissement aveuglant est tellement intense que l'observateur ne peut plus discerner aucun objet pendant un certain temps.

A intensité égale, la sensation d'éblouissement produite par une source lumineuse soudaine se révèle plus forte et plus prolongée lorsque la luminosité ambiante est faible. Ainsi, la nuit, nous sommes plus aveuglés par les phares d'une voiture en rase campagne qu'au centre d'une ville.

II/3.1.3.c L'éblouissement dû à l'éclairage naturel

En éclairage naturel, les sources principales d'éblouissement sont :

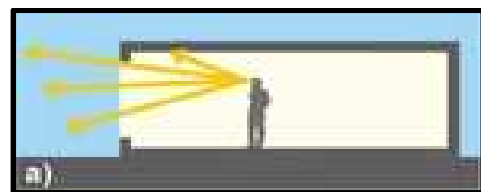
- La vision directe du soleil ou du ciel au travers des fenêtres,
- La réflexion du soleil ou du ciel sur les bâtiments voisins,
- Un contraste de luminance excessif entre une fenêtre et le mur dans lequel elle s'inscrit,
- Un contraste de luminance excessif entre une fenêtre et son châssis,
- Une surface de luminance trop élevée par rapport aux surfaces voisines.

Limitation de l'éblouissement causé par le ciel ou le soleil

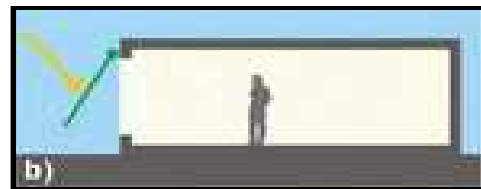
Différentes précautions peuvent être prises pour diminuer les risques d'éblouissement dus à l'éclairage naturel :

a) Prévoir une grande fenêtre plutôt que plusieurs petites fenêtres. En effet, une grande ouverture à la lumière naturelle occasionne moins d'éblouissement qu'une petite car elle augmente le niveau d'adaptation des yeux et diminue le

contraste de luminance et la sensation d'éblouissement qui lui est associée.



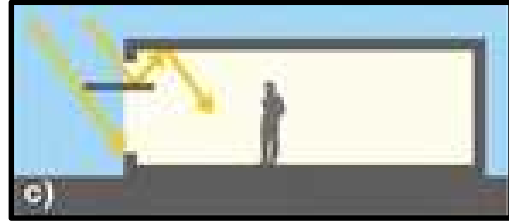
b) Voiler le ciel par l'utilisation d'une protection solaire.



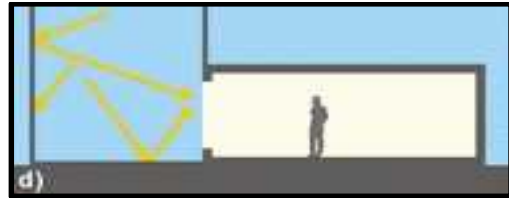
j) Favoriser les revêtements mats car ils diffusent la lumière.



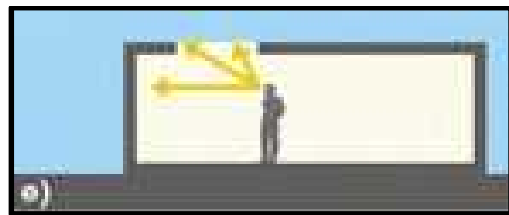
c) Voiler en partie le ciel en assombrissant la fenêtre par un élément déflecteur (lightshelf, murs de refends, débords de toiture...)



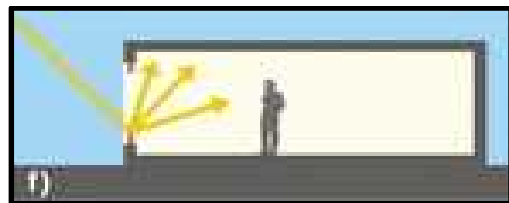
d) Voiler en partie le ciel en disposant à l'extérieur des éléments moins lumineux que le ciel (atrium, cour intérieure)



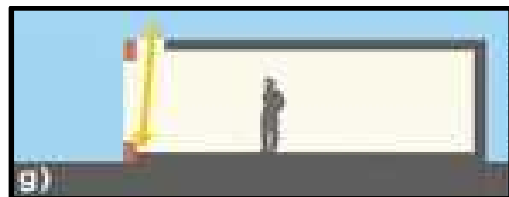
e) Situer les percements en hauteur (ouvertures zénithales, clere-storie...), afin de limiter l'éblouissement direct puisque la plupart des tâches visuelles nécessitent une vue horizontale ou vers le bas.



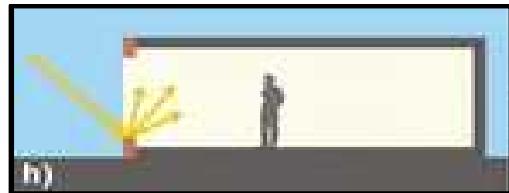
f) Diminuer le contraste fenêtre-châssis en augmentant le coefficient de réflexion du châssis au moyen de couleurs claires et mates.



g) Diminuer le contraste mur-fenêtre en éclairant le mur qui contient la fenêtre.



h) Diminuer le contraste mur-fenêtre en augmentant le coefficient de réflexion du mur qui contient la fenêtre.



i) Diminuer le contraste mur-fenêtre en augmentant la part indirecte de l'éclairage naturel au moyen de parois très claires.

II/3.1.4 L'absence d'ombre gênante

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

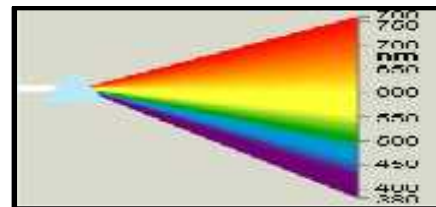
Le travail de lecture ou d'écriture ne peut être perturbé par des ombres parasites. Il faut donc éviter les situations suivantes :

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



II/3.1.5 Un rendu de couleur correct

Toute source lumineuse, qu'elle soit naturelle ou artificielle présente un spectre lumineux qui lui est particulier.



La lumière naturelle, provenant du rayonnement du soleil et du ciel, présente un spectre visible (rayonnement dont la longueur d'onde est comprise entre 380 et 760 nanomètres (nm)) de forme continue. Le mélange des diverses radiations qui constituent ce spectre forme, par définition, la lumière dite blanche : c'est la seule qui permette à l'œil d'apprécier avec la plus grande exactitude la couleur des objets et les plus délicates de leurs nuances.

L'ambiance lumineuse ressentie par les occupants dépend donc du rendu des couleurs, pour le qualifier on définit :

L'indice de rendu des couleurs (IRC ou Ra) : L'IRC est compris entre 0 et 100, 100 étant l'IRC de la lumière naturelle qui restitue toutes les nuances de couleur et 0 étant l'absence de couleur reconnaissable. Une différence de 5 points sera perceptible pour l'œil humain.¹



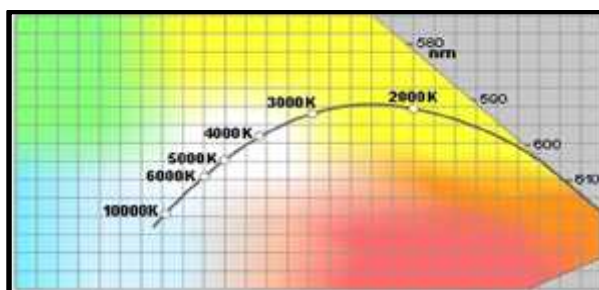
Sous l'éclairage naturel Ra = 100 et sous une lampe à vapeur de sodium Ra = 25.

¹ Architecture et Climat

Plage d'IRC	Perception des couleurs
$Ra < 25$	Faible
$25 < Ra < 65$	Moyenne
$65 < Ra < 90$	Bonne
$90 < Ra$	élevée

II/3.1.6 Une teinte de la lumière agréable

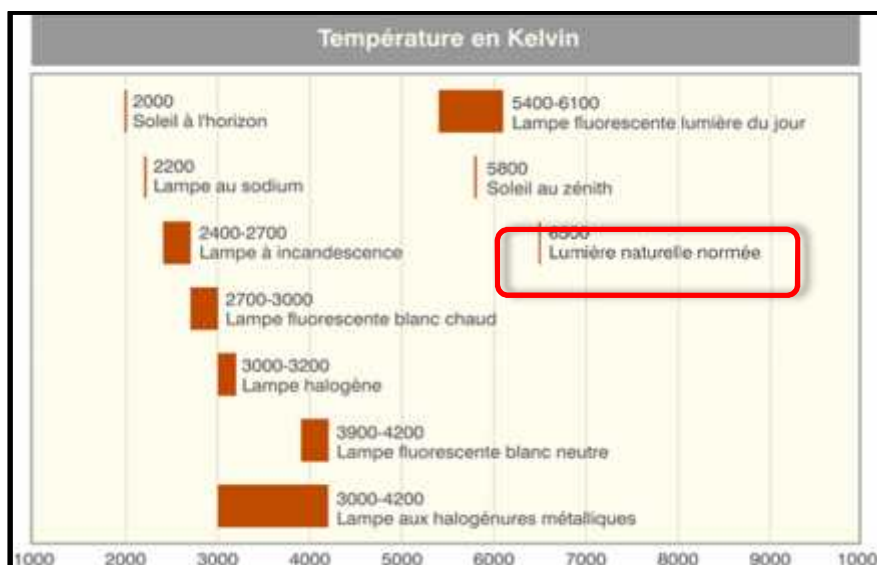
La couleur de la lumière artificielle a une action directe sur la sensation de confort de l'ambiance lumineuse d'un espace. Elle n'influence cependant pas les performances visuelles. Pour la qualifier, on définit la température de couleur (exprimée en Kelvins (K)). On parlera généralement de teinte chaude (température de couleur $< 3\ 000\ K$) ou froide (température de couleur $> 3\ 000\ K$).¹



Une lumière de couleur "chaude" est composée majoritairement de radiations rouges et orange.

Enfin les couleurs peuvent contribuer dans une large mesure à modifier la dimension apparente des surfaces et des volumes.

Quelques températures de couleur sont reprises dans le tableau suivant :



¹ Energie+ efficacité énergétique des bâtiments tertiaires (page consultée le 04/01/2016)

II/4. Méthodologie

Assurer le confort visuel se conçoit dès l'esquisse architecturale et s'affine au fur et à mesure du développement du projet jusqu'à la finalisation du dossier de demande de permis d'urbanisme. Les informations qui suivent précisent pour l'ensemble des dispositifs les points d'attention lors de la conception.

Etapes	Actions
Programmation	1. Définir ses besoins.
Esquisse	2. Capter la lumière naturelle : 2.1. Concevoir le bâtiment en mesurant l'impact de l'environnement construit sur l'édifice. 2.2. Concevoir le bâtiment en mesurant l'impact des éléments du bâtiment sur d'autres parties de celui-ci.
Avant-projet	2.3. Distribuer et orienter les locaux en fonction de leurs besoins en lumière naturelle 2.4. Optimiser les caractéristiques des ouvertures. 3. Distribuer la lumière naturelle. 4. Se protéger de la lumière naturelle.
Projet	5. Compléter l'éclairage naturel par de l'éclairage artificiel.

II/4.1. Définition des besoins

Afin de limiter la taille des ouvertures, il convient de définir clairement les besoins (niveau d'éclairement, FLJ et autonomie en lumière du jour) et les zones de travail pour pouvoir ensuite localiser ces ouvertures à proximité des zones de travail et optimiser leurs caractéristiques pour répondre strictement aux critères de confort recherchés (voir Objectifs).

II/4.2. Capter la lumière naturelle

II/4.2.a Concevoir le bâtiment en mesurant l'impact de l'environnement construit sur l'édifice

L'ombrage apporté par la végétation et les bâtiments voisins (masques lointains) déterminera la quantité de lumière naturelle reçue en un endroit. Lors de la conception d'un bâtiment en site non dégagé, il importe donc de mesurer l'impact de l'effet de masquage occasionné par le

relief, les bâtiments et les autres constructions voisines ou encore la végétation (au moyen des outils Ecotect ou Sketchup).

II/4.2.b Concevoir le bâtiment en mesurant l'impact des éléments du bâtiment sur d'autres parties de celui-ci

Les masques proches sont des éléments architecturaux liés au bâtiment lui-même, tels que des murs de refend, des surplombs, des balcons, des protections solaires fixes ... qui génèrent un ombrage fonction de leur taille, de leur réflectivité et de leur orientation.

II/4.2.c Distribuer et orienter les locaux en fonction de leurs besoins en lumière naturelle

En effet, toutes les orientations apportent de l'éclairage naturel mais il est cependant préférable de placer les ouvertures de telle façon que le soleil puisse pénétrer à l'intérieur d'un local au moment où il est le plus utilisé. De plus, la lumière naturelle n'est ni fixe ni toujours égale dans sa qualité et son intensité, en fonction de l'orientation :

- L'orientation nord assure la meilleure qualité lumineuse car elle bénéficie toute l'année d'une lumière égale et du rayonnement solaire diffus, suscitant peu d'éblouissement, mais qui peut être insuffisante dans de nombreux cas.
- L'orientation sud apporte un éclairage important, une lumière plus facile à contrôler et un ensoleillement maximal en hiver et minimal en été.
- Les orientations est ou ouest présentent des caractéristiques identiques : possibilité d'inconfort visuel par éblouissement et surexposition en été.

II/4.2.d Optimiser les caractéristiques des ouvertures

-Les proportions et les dimensions du local

Pour une pièce recevant de la lumière par une façade verticale, on peut considérer que la profondeur maximale possible $a_{D,max}$ d'une zone qui reçoit la lumière du jour par les façades est calculée de la manière suivante (source NBN EN 15193) :

$$a_{D,max} = 2,5 \times (h_{Li} - h_{Ta}) \text{ [m] où}$$

- $a_{D,max}$ est la profondeur maximale de la zone recevant la lumière du jour [m] ;
- h_{Li} est la hauteur du linteau par rapport au sol [m] ;
- h_{Ta} est la hauteur de la zone de travail (plan de référence) par rapport au sol [m]

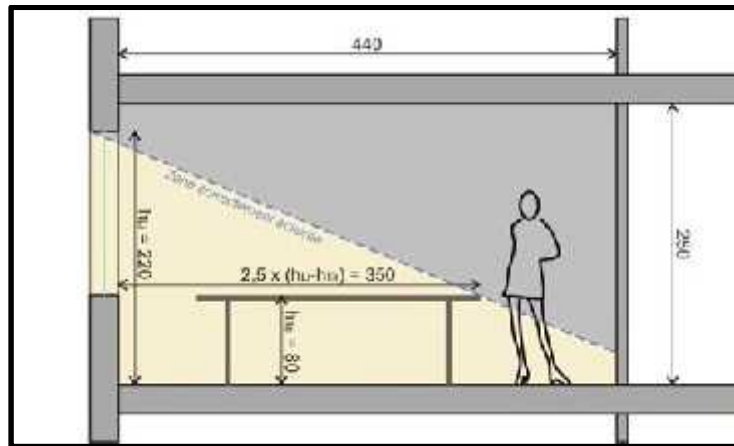


Figure 5 : Profondeur d'éclairage [ReLoSo]

Il est important de souligner que :

- Si la profondeur du local a une grande influence sur la quantité de lumière naturelle, la hauteur sous plafond en a beaucoup moins.
- Le niveau d'éclairage est d'autant plus élevé dans un local que celui-ci est large (pour un rapport de surface vitrée/surface au sol constant).

-La dimension, la forme, la position et la transparence des ouvertures

La taille et l'emplacement des ouvertures d'un bâtiment sont des éléments déterminants de la quantité de lumière extérieure qui parvient à l'intérieur des locaux. Pour rappel, le RRU impose un taux de surface vitrée 20 % dans les locaux habitables.

La forme des ouvertures :

L'éclairage du fond du local ainsi que l'uniformité d'éclairage augmentent avec la hauteur de la fenêtre (voir illustrations 6 et 7 ci-dessous). Pour une même surface vitrée, une fenêtre haute éclaire davantage en profondeur. L'idéal réside donc dans une fenêtre dont le linteau est élevé.

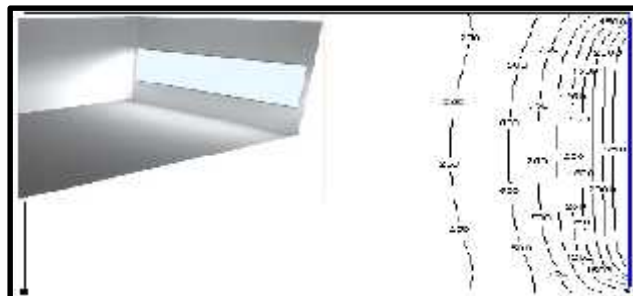


Figure 6 : Niveaux d'éclairage, en lux, d'un local (au niveau du sol) en fonction de la dimension de l'ouverture - Fenêtre large - Emoy = 333 lux ; Emin/Emoy (facteur d'uniformité d'éclairage) = 10,4 % [Guide PME, SPI]

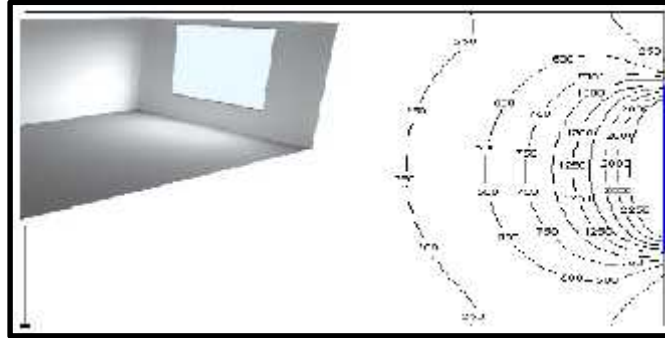


Figure 7 : Niveaux d'éclairage, en lux, d'un local (au niveau du sol) en fonction de la dimension de l'ouverture - Fenêtre haute - Emoy = 338 lux ; Emin/Emoy (facteur d'uniformité d'éclairage) = 16,2 % [Guide PME, SPI]

La position des ouvertures :

Les illustrations 8 et 9 ci-dessous montrent que, plus la fenêtre est élevée, plus la zone éclairée naturellement est profonde et meilleure est l'uniformité d'éclairage.

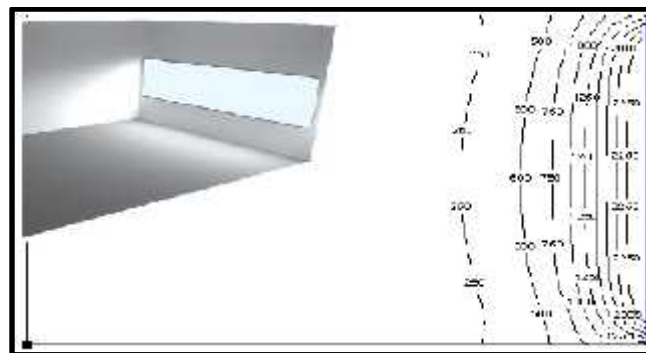


Figure 8 : Niveaux d'éclairage, en lux, d'un local (au niveau du sol) en fonction de la dimension de l'ouverture - Position basse - Emoy = 346 lux ; Emin/Emoy (facteur d'uniformité d'éclairage) = 10,1 % [Guide PME, SPI]

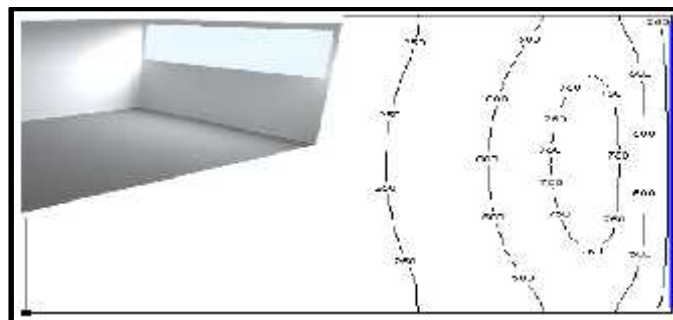


Figure 9 : Niveaux d'éclairage, en lux, d'un local (au niveau du sol) en fonction de la dimension de l'ouverture - Position haute - Emoy = 283 lux ; Emin/Emoy (facteur d'uniformité d'éclairage) = 23,6 % [Guide PME, SPI]

Le matériau de transmission :

Le choix du matériau de transmission utilisé (généralement, un vitrage) influence également la lumière transmise. Celui-ci peut être transparent ou translucide. La quantité de lumière naturelle qui pénètre dans le bâtiment est d'autant plus grande que le facteur de transmission lumineuse du matériau de transmission est élevé.

L'inclinaison du matériau de transmission :

Toutes influences confondues, la réflectivité naturelle d'un vitrage dépend de l'angle d'incidence des rayons du soleil avec le vitrage.

L'illustration 6 ci-dessous montre la diminution rapide du taux de transmission pour des incidences supérieures à 60°.

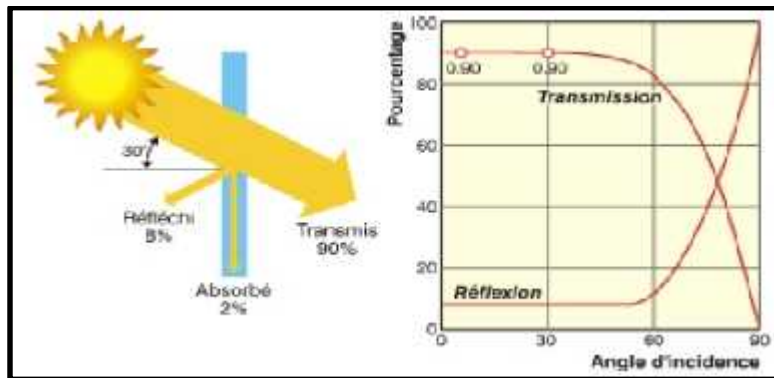


Figure 10 : Variation du taux de transmission en fonction de l'angle d'incidence du rayonnement solaire [Energie+]

II/4.3. Distribuer la lumière naturelle

II/4.3.a. Le coefficient de réflexion du sol extérieur

La quantité de lumière naturelle réfléchie sur les surfaces extérieures au bâtiment dépend principalement des facteurs de réflexion de ces surfaces. Des surfaces de sol extérieur claires et réfléchissantes (dallage brillant ou plan d'eau, par exemple) peuvent ainsi contribuer à capter davantage de lumière.

II/4.3. b. Les couleurs et l'aménagement intérieur

La nature et la couleur des parois intérieures influencent directement l'éclairage naturel et artificiel dû aux réflexions intérieures.

Tel qu'illustré dans la simulation ci-dessous (réalisée à l'aide du logiciel Velux Daylight Visualizer), plus les parois intérieures sont foncées, plus grand sera l'écart entre les niveaux d'éclairages de la pièce. Le facteur lumière du jour (FLJ) minimum conseillé de 1 % (courbe bleue) au droit des zones de travail est atteint plus facilement avec des parois claires.

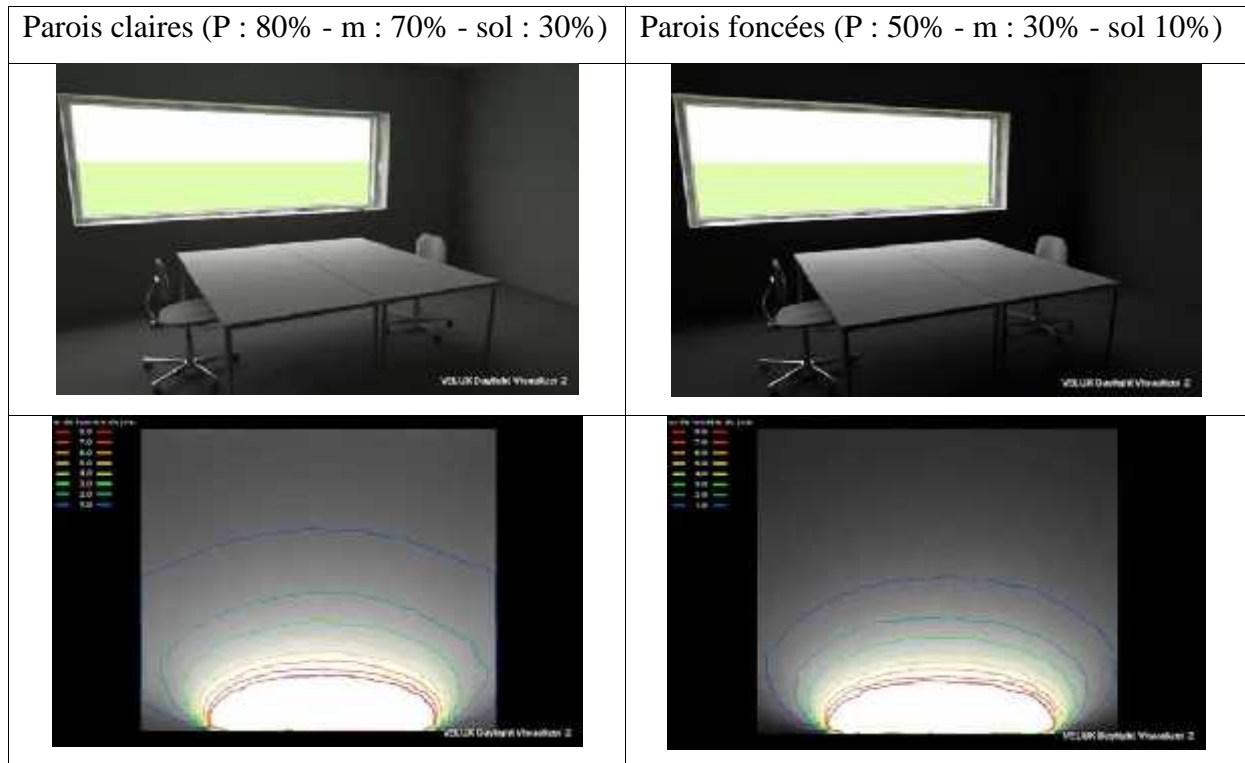


Figure 11 : Niveau d'éclairage en fonction des couleurs des parois [MATRIciel]

Il convient donc de privilégier des surfaces de couleurs claires qui favorisent la répartition de la lumière et rendent ainsi la pièce plus lumineuse. En règle générale, pour une bonne distribution de la lumière, les murs et les plafonds devraient de préférence être de couleur claire et mate afin de bien répartir les luminances. Pour éviter une réflexion gênante et pour des raisons pratiques, le sol sera plutôt sombre et les surfaces brillantes seront de préférence petites et réservées aux meubles ou aux portes.

II/4.3.c. Rideaux, stores ou toiles :

Des rideaux, stores ou voiles sont indispensables pour assurer l'intimité de la pièce et le risque d'éblouissement. Ils peuvent néanmoins constituer de réels obstacles qui empêchent la transmission de la lumière. Il est donc essentiel d'intégrer l'emprise de rideaux ou de stores lors du dessin des ouvertures en façades.

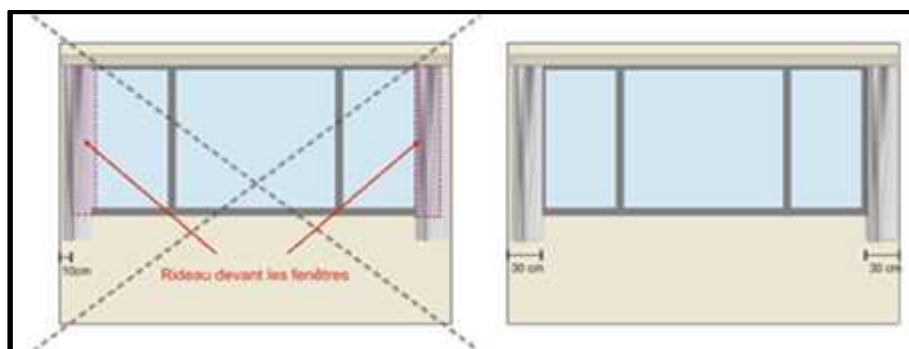


Figure 12 : Rideaux comme obstacles à la lumière naturelle [ReLoSo]

II/4.3.d. Cloisonnement intérieur :

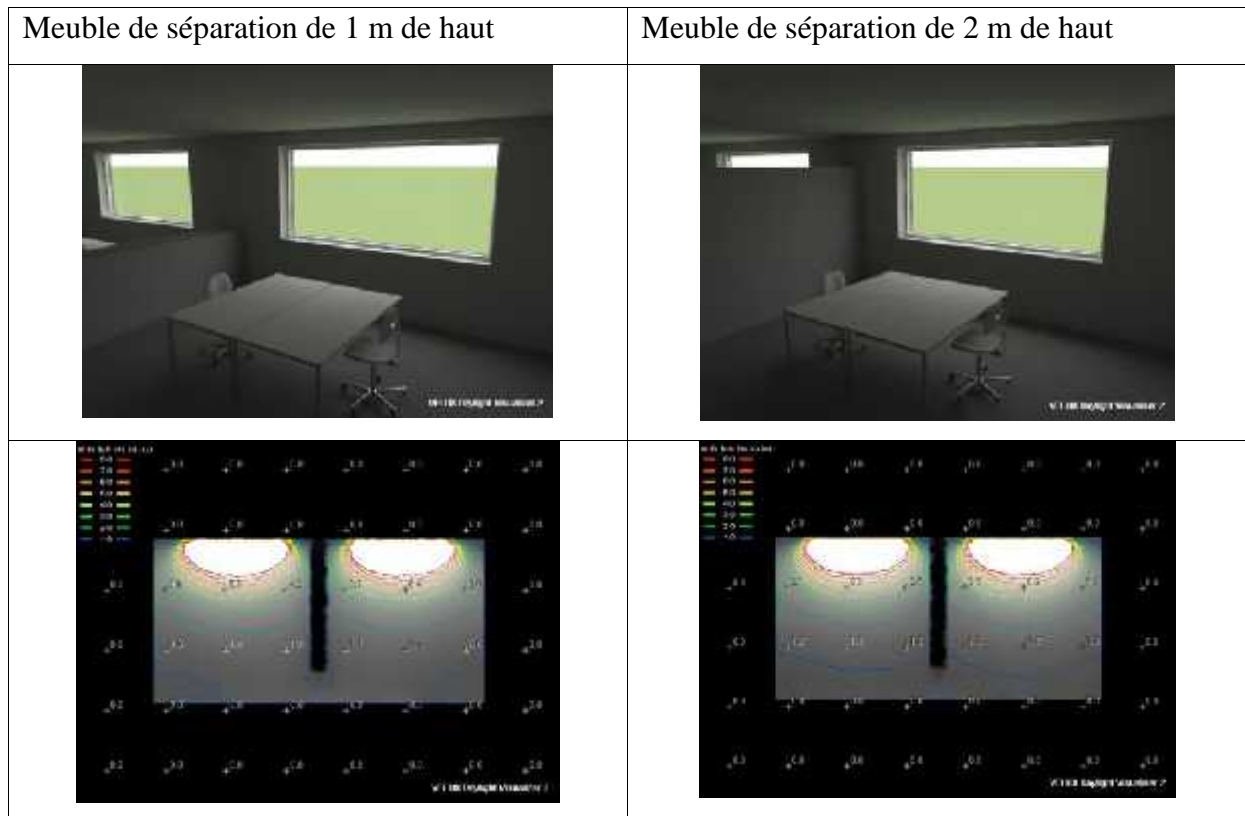


Figure 13 : FLJ en fonction du cloisonnement intérieur [MATRIciel]

Tel qu'illustré sur la simulation ci-dessus (réalisée à l'aide du logiciel Velux Daylight Visualizer), on constate une diminution du FLJ dans le fond du local de l'ordre de 10 à 20 % due à la présence d'un meuble haut de séparation entre les bureaux. L'objectif minimum conseillé de FLJ 1 % (courbe bleue) au droit des zones de travail est cependant atteint dans les deux cas.

Les systèmes de distribution lumineuse

La difficulté d'utilisation de la lumière naturelle par rapport à la lumière artificielle réside dans la grande inhomogénéité des éclairagements qu'elle induit en général. La répartition de la lumière représente un facteur clé pour assurer un éclairage de qualité.

Une répartition harmonieuse de la lumière naturelle dans un bâtiment peut être favorisée par l'utilisation de systèmes de distribution lumineuse :

- Lightshelves.
- Déflecteurs.
- Stores réfléchissants.
- Conduits solaires.
- Puits de lumière.

II/4.4. Se protéger de la lumière naturelle

La recherche de lumière naturelle (et donc d'ouverture de la façade) peut entraîner des inconforts thermiques, notamment en été. Une protection solaire, fixe ou mobile, est intéressante pour maîtriser les apports solaires en été.

Cependant, la plupart des protections solaires limitent la vue vers l'extérieur, dégradant ainsi le confort visuel. Dans le cas des protections solaires structurelles (fixes), les auvents représentent la meilleure solution pour ne pas perturber la vue vers l'extérieur ... mais ceux-ci ne sont réellement efficaces comme protection solaire que sur les façades exposées au sud. Pour les autres orientations, il est préférable de choisir des protections solaires mobiles offrant une certaine vue (stores à lamelles, toiles translucides, etc.) et qui peuvent être retirées à tout moment, ne limitant ainsi pas la vue vers l'extérieur de manière permanente.



Figure 14 : Auvents [Renson] et toiles translucides [Winsol]

II/5. Compléter l'éclairage naturel par de l'éclairage artificiel

SYNTHESE

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 classe, où des effets très bénéfiques ont été enregistrés sur le comportement des élèves et des enseignants.

Toutefois, la présence de la lumière naturelle dans les salles de classe 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.

CHAPITRE ETAT DES CONNAISSANCES

ECLAIRAGE NATUREL

FIGURE 1 : SOURCES LUMINEUSES DIURNES.....	12
FIGURE 2 : RAYONNEMENT VISIBLE DIRECT.....	13
FIGURE 3 : PERFORMANCES LUMINEUSES D'UN DISPOSITIF D'ECLAIRAGE UNILATERAL.....	17
FIGURE 4 : PENETRATION APPROXIMATIVE DE LA LUMIERE NATURELLE.....	17
FIGURE 5 : DISPOSITIF ANIDOLIQUE.....	17
FIGURE 6 : EMPREINTES DE BATIMENTS ECLAIRES UNILATERALEMENT.....	19
FIGURE 7 : LES DIFFERENTS COMPOSANTS DU SYSTEME LIGHT SHELF.....	19
FIGURE 8 : DISPOSITIFS D'ECLAIRAGE BILATERAL ET SES PERFORMANCES LUMINEUSES.....	20

CONFORT VISUEL DANS LES SALLES DE CLASSE

FIGURE 1 : LES PARAMETRES DU CONFORT VISUEL.....	25
FIGURE 2 : ELEMENTS DU CONFORT VISUEL.....	26
FIGURE 3 : VARIATION DE L'ACUITE VISUELLE EN FONCTION DE L'AGE.....	28
FIGURE 4 : IMPACT DU NIVEAU D'ECLAIREMENT SUR LA PERFORMANCE VISUELLE D'APRES BAUMGARDT.....	28
FIGURE 5 : PROFONDEUR D'ECLAIREMENT [ReLoSo].....	38
FIGURE 6 : NIVEAUX D'ECLAIREMENT, EN LUX, D'UN LOCAL (AU NIVEAU DU SOL) EN FONCTION DE LA DIMENSION DE L'OUVERTURE - FENETRE LARGE - EMOY = 333 LUX ; EMIN/EMOY (FACTEUR D'UNIFORMITE D'ECLAIREMENT) = 10,4 % [GUIDE PME, SPI].....	38
FIGURE 7 : NIVEAUX D'ECLAIREMENT, EN LUX, D'UN LOCAL (AU NIVEAU DU SOL) EN FONCTION DE LA DIMENSION DE L'OUVERTURE - FENETRE HAUTE - EMOY = 338 LUX ; EMIN/EMOY (FACTEUR D'UNIFORMITE D'ECLAIREMENT) = 16,2 % [GUIDE PME, SPI].....	39
FIGURE 8 : NIVEAUX D'ECLAIREMENT, EN LUX, D'UN LOCAL (AU NIVEAU DU SOL) EN FONCTION DE LA DIMENSION DE L'OUVERTURE - POSITION BASSE - EMOY = 346 LUX ; EMIN/EMOY (FACTEUR D'UNIFORMITE D'ECLAIREMENT) = 10,1 % [GUIDE PME, SPI].....	39
FIGURE 9 : NIVEAUX D'ECLAIREMENT, EN LUX, D'UN LOCAL (AU NIVEAU DU SOL) EN FONCTION DE LA DIMENSION DE L'OUVERTURE - POSITION HAUTE - EMOY = 283 LUX ; EMIN/EMOY (FACTEUR D'UNIFORMITE D'ECLAIREMENT) = 23,6 % [GUIDE PME, SPI].....	39
FIGURE 10 : VARIATION DU TAUX DE TRANSMISSION EN FONCTION DE L'ANGLE D'INCIDENCE DU RAYONNEMENT SOLAIRE [ENERGIE+].....	40
FIGURE 11 : NIVEAU D'ECLAIREMENT EN FONCTION DES COULEURS DES PAROIS [MATRICIEL].....	41
FIGURE 12 : RIDEAUX COMME OBSTACLES A LA LUMIERE NATURELLE [ReLoSo].....	41
FIGURE 13 : FLJ EN FONCTION DU CLOISONNEMENT INTERIEUR [MATRICIEL].....	42
FIGURE 14 : AUVENTS [RENSON] ET TOILES TRANSLUCIDES [WINSOL].....	43

CHAPITRE ECLAIRAGE DANS LES ETABLISSEMENTS SCOLAIRE

FIGURE 1 : ECOLE PRIMAIRE A ZURICH EN SUISSE.....	47
FIGURE 2 : SYSTEMES D'ECOLES INDUSTRIALISEES.....	48
FIGURE 3 : SCHEMAS D'IMPLANTATION DES ECOLES TRADITIONNELLES ET MODERNES DE ZURICH (SUISSE).....	49
FIGURE 4 : AMENAGEMENT ET DIMENSIONS RECOMMANDEES POUR UNE SALLE DE CLASSE ORDINAIRE	51
FIGURE 5 : LYCEE 1000 PLACES PEDAGOGIQUE REALISE A AÏN EL-HAMMAM EN ALGERIE.....	51
FIGURE 6 : ANGLE CRITIQUE D'EBLOUISSEMENT.....	58
FIGURE 7 : FACTEURS DE REFLEXION RECOMMANDES PAR L'A.F.E.....	58
FIGURE 8 : POSITION RECOMMANDEE DES SOURCES LUMINEUSES.....	60
FIGURE 9 : RAPPORTS D'ECLAIREMENT LUMINEUX RECOMMANDES.....	61

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : NIVEAUX D'ECLAIREMENT EN SERVICE EXIGES DANS LES SALLES DE COURS PAR LE.....	55
TABLEAU 2 : FACTEURS DE REFLEXION RECOMMANDES PAR	56
TABLEAU 3 : NIVEAUX D'ECLAIREMENT MOYEN RECOMMANDES PAR L' A.F.E	57
TABLEAU 4 : FACTEURS DE REFLEXION RECOMMANDES PAR L' ASSOCIATION PROMOTELEC.	59
TABLEAU 5 : LUMINANCES MOYENNES RECOMMANDEES POUR LES LUMINAIRES SELON L' ANGLE ..	60
TABLEAU 6 : ECLAIREMENTS LUMINEUX RECOMMANDES DANS LES SALLES DE CLASSE.	61
TABLEAU 7 : INDICES DE RENDU DE COULEUR RECOMMANDES DANS LES SALLES DE COURS.	62
TABLEAU 8 : TEMPERATURES DE COULEUR RECOMMANDEES DANS LES SALLES DE COURS	62
TABLEAU 9 : COEFFICIENTS DE REFLEXION RECOMMANDES DANS LES SALLES DE CLASSE.....	62

CHAPITRE EVALUATION DU CONFORT VISUEL DANS LES SALLES DE CLASSE

PRESENTATION DU CAS D'ETUDE

FIGURE 1 : LA CARTE D'ALGER.....	66
FIGURE 2 : LIMITES DE LA COMMUNE DE SAOULA.	66
FIGURE 3 : LA SITUATION DU SITE D'INTERVENTION	67
FIGURE 4 : PRECIPITATION, TEMPERATURE ANNUELLE DE LA REGION.....	67
FIGURE 5 : DUREE D'INSOLATION MENSUELLE	67
FIGURE 6 : ZONING DE LA DISPONIBILITE DE LA LUMIERE NATURELLE EN ALGERIE.	68
FIGURE 7 : VUE SUR L'ENSEMBLE DU PROJET	69
FIGURE 8 : VUE SUR LES SALLES DE CLASSE	69
FIGURE 9 : ORGANIGRAMME SPATIAL	70
FIGURE 10 : PLAN DE MASSE ECHELLE 1/500.....	71
FIGURE 11 : PLAN RDC.....	71
FIGURE 12 : LES ORIENTATIONS FAVORABLES ET DEFAVORABLES D'UNE SALLE DE CLASSE.	72
FIGURE 13 : ORIENTATION DES SALLES DE CLASSE.....	72
FIGURE 14 : EMLACEMENT DU LIGHT-SHELF DANS LE PROJET	73
FIGURE 15 : PRE-DIMENSIONNEMENT DES SALLES DE CLASSE.	73
FIGURE 16 : ISOLATION DE PAROIS EXTERIEURES	74
Équation 1 : zoning du confort au niveau des salles de classe (Source : l'auteur)	4
ÉQUATION 2 : ZONING DU CONFORT AU NIVEAU DES	4
ÉQUATION 3 : ZONING DU CONFORT AU NIVEAU DES SALLES DE CLASSE (SOURCE : L'AUTEUR).....	5
ÉQUATION 4 : ZONING DU CONFORT AU NIVEAU DES SALLES DE CLASSE (SOURCE : L'AUTEUR)	5
ÉQUATION 5 : ZONING DU CONFORT AU NIVEAU DES SALLES	6
ÉQUATION 6 : ZONING DU CONFORT AU NIVEAU DES SALLES	6
ÉQUATION 7 : ZONING DU CONFORT AU NIVEAU DES SALLES DE CLASSE (SOURCE : L'AUTEUR)	7
ÉQUATION 8 : ZONING DU CONFORT AU NIVEAU DES SALLES DE CLASSE (SOURCE : L'AUTEUR)	7
ÉQUATION 9 : ZONING DU CONFORT AU NIVEAU DES SALLES DE CLASSE (SOURCE AUTEUR)	8
ÉQUATION 10 : ZONING DU CONFORT AU NIVEAU DES SALLES DE CLASSE	8
ÉQUATION 11 : ZONING DU CONFORT VISUEL AU NIVEAU DES SALLES DE CLASSE (SOURCE AUTEUR).....	9
ÉQUATION 12 : ZONING DU CONFORT VISUEL AU NIVEAU DES SALLES DE CLASSE (SOURCE AUTEUR).....	9
ÉQUATION 13 : ZONING DU CONFORT VISUEL DANS LES SALLES DE CLASSE (SOURCE AUTEUR).....	10
ÉQUATION 14 : ZONING DU CONFORT VISUEL DANS LES SALLES DE CLASSE (SOURCE AUTEUR).....	10
ÉQUATION 15 ZONING DU CONFORT AU NIVEAU DES SALLES DE CLASSE:	11
ÉQUATION 16 : ZONING DU CONFORT AU NIVEAU DES SALLES DE CLASSE	11
ÉQUATION 19 : ZONING DU CONFORT AU NIVEAU DES SALLES DE CLASSE	12
ÉQUATION 20 : ZONING DU CONFORT AU NIVEAU DES SALLES DE CLASSE	13
ÉQUATION 21 : ZONING DU CONFORT AU NIVEAU DES SALLES DE CLASSE	14
ÉQUATION 22 : ZONING DU CONFORT AU NIVEAU DES SALLES	15
ÉQUATION 23 : ZONING DU CONFORT AU NIVEAU DES SALLES	16
ÉQUATION 24 : ZONING DU CONFORT AU NIVEAU DES SALLES	17

<u>FIGURE 1 : TYPES DE LIGHT SHELF PROPOSES</u>	3
<u>FIGURE 2 : TYPES DE LIGHT SHELF DEVELOPPES</u>	3
FIGURE 3 : VARIATION DES ECLAIREMENTS HORIZONTAUX (SOURCE : L'AUTEUR).....	4
FIGURE 4 : VARIATION DES ECLAIREMENTS.....	4
FIGURE 5 : VARIATION DES ECLAIREMENTS HORIZONTAUX	5
FIGURE 6 : VARIATION DES ECLAIREMENTS HORIZONTAUX	5
FIGURE 7 : VARIATION DES ECLAIREMENTS HORIZONTAUX	6
FIGURE 8 : VARIATION DES ECLAIREMENTS HORIZONTAUX	6
FIGURE 9 : VARIATION DES ECLAIREMENTS HORIZONTAUX	7
FIGURE 10 : FIGURE : VARIATION DES ECLAIREMENTS HORIZONTAUX	7
FIGURE 11 : VARIATION DES ECLAIREMENTS HORIZONTAUX.....	8
FIGURE 12 : VARIATION DES ECLAIREMENTS HORIZONTAUX(SOURCE : L'AUTEUR)	8
FIGURE 13 : VARIATION DES ECLAIREMENTS HORIZONTAUX.....	9
FIGURE 14 : VARIATION DES ECLAIREMENTS HORIZONTAUX.....	9
FIGURE 15 : VARIATION DES ECLAIREMENTS HORIZONTAUX.....	10
FIGURE 16 : VARIATION DES ECLAIREMENTS HORIZONTAUX.....	10
FIGURE 17 : VARIATION DES ECLAIREMENTS HORIZONTAUX.....	11
FIGURE 18 : VARIATION DES ECLAIREMENTS HORIZONTAUX.....	11
FIGURE 21 : VARIATION DES ECLAIREMENTS HORIZONTAUX.....	12
FIGURE 22 : VARIATION DES ECLAIREMENTS HORIZONTAUX.....	13
FIGURE 23 : VARIATION DES ECLAIREMENTS HORIZONTAUX.....	14
FIGURE 24 : VARIATION DES ECLAIREMENTS HORIZONTAUX.....	15
FIGURE 25 : VARIATION DES ECLAIREMENTS HORIZONTAUX.....	16
FIGURE 26 : VARIATION DES ECLAIREMENTS HORIZONTAUX.....	17

Analyse et interprétation des résultats

TABLEAU 1 : RECAPITULATIF DES RESULTATS OBTENUS	4
TABLEAU 2 : RECAPITULATIF DES RESULTATS	4
TABLEAU 3 : RECAPITULATIF DES RESULTATS OBTENUS	5
TABLEAU 4 : RECAPITULATIF DES RESULTATS OBTENUS	5
TABLEAU 5 : RECAPITULATIF DES RESULTATS OBTENUS	6
TABLEAU 6 : RECAPITULATIF DES RESULTATS OBTENUS	6
TABLEAU 7 : RECAPITULATIF DES RESULTATS OBTENUS	7
TABLEAU 8 : RECAPITULATIF DES RESULTATS OBTENUS	7
TABLEAU 9 : RECAPITULATIF DES RESULTATS OBTENUS	8
TABLEAU 10 : RECAPITULATIF DES RESULTATS OBTENUS	8
TABLEAU 11 : RECAPITULATIF DES RESULTATS OBTENUS	9
TABLEAU 12 : RECAPITULATIF DES RESULTATS OBTENUS	9
TABLEAU 13 : RECAPITULATIF DES RESULTATS OBTENUS	10
TABLEAU 14 : RECAPITULATIF DES RESULTATS OBTENUS	10
TABLEAU 15 : RECAPITULATIF DES RESULTATS OBTENUS	11
TABLEAU 16 : RECAPITULATIF DES RESULTATS OBTENUS	11
TABLEAU 19 : RECAPITULATIF DES RESULTATS OBTENUS	12
TABLEAU 20 : RECAPITULATIF DES RESULTATS OBTENUS	13
TABLEAU 21 : RECAPITULATIF DES RESULTATS OBTENUS	14
TABLEAU 22 : RECAPITULATIF DES RESULTATS OBTENUS	15
TABLEAU 23 : RECAPITULATIF DES RESULTATS OBTENUS	16
TABLEAU 24 : RECAPITULATIF DES RESULTATS OBTENUS	17

SOMMAIRE

i/introduction	1
ii/présentation du master :	3
II.1/PREAMBULE :	3
II.2/OBJECTIFS PEDAGOGIQUES:	4
II.3/METHODOLOGIE :	4
iii/problématique générale	5
iv/hypothèses de la recherche	7
v/objectifs de la recherche	7
vi/démarche méthodologique.....	8

CHAPITRE 1 : ETAT DES CONNAISSANCES

INTRODUCTION :	9
I.1/L'ÉCLAIRAGE NATUREL:	9
I.1.A/LUMIÈRE NATURELLE (DICTIONNAIRE FRANÇAIS) :	10
I.1.B/LA LUMIÈRE DU JOUR.....	10
I.2/SOURCES DE L'ÉCLAIRAGE NATUREL :	11
I.2.1/LE SOLEIL.....	11
I.2.2/SOURCES LUMINEUSES DIURNES DIRECTES	12
I.2.2.A/SOURCE PRIMAIRE	12
I.2.2.B/SOURCES SECONDAIRES	13
I.2.3/SOURCES LUMINEUSES DIURNES INDIRECTES.....	14
I.3/LÉS CARACTÉRISTIQUES DE LA LUMIÈRE NATURELLE :	14
I.3.1/FACTEUR DE LUMIÈRE DU JOUR:	15
I.4/TYPE D'ÉCLAIRAGE NATUREL :	15
I.4.1/ÉCLAIRAGE LATÉRAL :	16
I.4.1.A/ÉCLAIRAGE UNILATÉRAL	16
LIGHT SHELF :	18
-LES DIFFÉRENTES COMPOSANTES DU LIGHT-SHELF	19
-LES DIFFÉRENTS TYPES DE SYSTÈME LIGHT SHELF EXISTANTS	19
I.4.1.B/ÉCLAIRAGE BILATÉRAL.....	20
I.4.1.C/ÉCLAIRAGE MULTILATÉRAL.....	20
I.4.2/ÉCLAIRAGE ZÉNITHAL :	20
I.5/IMPACT DE L'ÉCLAIRAGE NATUREL EN MILIEU SCOLAIRE.....	21
-SYNTHESE ÉCLAIRAGE NATUREL	22
II/ LE CONFORT VISUEL DANS LES SALLES DE CLASSE	24
II/1. DÉFINITION DU << CONFORT VISUEL >>	24
II/2. LES PARAMÈTRES DU CONFORT VISUEL	24
II/3. ÉLÉMENTS DU CONFORT VISUEL DANS LES SALLES DE CLASSE	25
II/3.1. PARAMÈTRES PHYSIQUES	26
II/3.1.1 LE NIVEAU D'ÉCLAIREMENT	26
II/3.1.1.A FACTEUR HUMAIN : L'ÂGE	27
II/3.1.1.B FACTEUR D'AMBIANCE:	29
II/3.1.2 UNE RÉPARTITION HARMONIEUSE DE LA LUMIÈRE.....	29
II/3.1.2.A UNIFORMITÉ DE L'ÉCLAIREMENT	29
II/3.1.2.B UNIFORMITÉ DE LA LUMINANCE.....	30
II/3.1.3 L'ABSENCE D'ÉBLOUISSEMENT	31
II/3.1.3.A L'ÉBLOUISSEMENT DIRECT ET L'ÉBLOUISSEMENT INDIRECT	31
II/3.1.3.B L'ÉBLOUISSEMENT PERTURBATEUR ET L'ÉBLOUISSEMENT INVALIDANT	31
II/3.1.3.C L'ÉBLOUISSEMENT DU A L'ÉCLAIRAGE NATUREL	32
II/3.1.4 L'ABSENCE D'OMBRE GÊNANTE	34
II/3.1.5 UN RENDU DE COULEUR CORRECT	34
II/3.1.6 UNE TEINTE DE LA LUMIÈRE AGRÉABLE.....	35
II/4. MÉTHODOLOGIE	36
II/4.1. DÉFINITION DES BESOINS	36
II/4.2. CAPTER LA LUMIÈRE NATURELLE	36

II/4.2.A CONCEVOIR LE BATIMENT EN MESURANT L'IMPACT DE L'ENVIRONNEMENT CONSTRUIT SUR L'EDIFICE.....	36
II/4.2.B CONCEVOIR LE BATIMENT EN MESURANT L'IMPACT DES ELEMENTS DU BATIMENT SUR D'AUTRES PARTIES DE CELUI-CI	37
II/4.2.C DISTRIBUER ET ORIENTER LES LOCAUX EN FONCTION DE LEURS BESOINS EN LUMIERE NATURELLE.....	37
II/4.2.D OPTIMISER LES CARACTERISTIQUES DES OUVERTURES.....	37
II/4.3. DISTRIBUER LA LUMIERE NATURELLE.....	40
II/4.3.A. LE COEFFICIENT DE REFLEXION DU SOL EXTERIEUR	40
II/4.3. B. LES COULEURS ET L'AMENAGEMENT INTERIEUR	40
II/4.3.C. RIDEAUX, STORES OU TOILES :	41
II/4.3.D. CLOISONNEMENT INTERIEUR :	42
II/4.4. SE PROTEGER DE LA LUMIERE NATURELLE.....	43
II/5. COMPLETER L'ECLAIRAGE NATUREL PAR DE L'ECLAIRAGE ARTIFICIEL.....	43
SYNTHESE	43
CHAPITRE 2: L'ECLAIRAGE DANS LES ETABLISSEMENTS SCOLAIRE	
INTRODUCTION	44
I/L'ARCHITECTURE SCOLAIRE	44
I.1/DEFINITION	44
II/L'ETABLISSEMENT SCOLAIRE ET SON ROLE DANS LA SOCIETE.....	45
III/EVOLUTION SPATIALE DE L'ETABLISSEMENT SCOLAIRE	46
IV/LA CONCEPTION ARCHITECTURALE	49
V/EXEMPLES.....	50
V.1/EN ALGERIE	50
V.2/EXEMPLE D'UN LYCEE BIOCLIMATIQUE : LYCEE PHILIPPE LAMOUR: (FRANCE)	52
SYNTHESE	53
REGLEMENTATIONS	
INTRODUCTION	54
1-OBJECTIFS DE LA REGLEMENTATION DE L'ECLAIRAGE.....	54
2-OUTILS DE LA REGLEMENTATION DE L'ECLAIRAGE	54
3-REGLEMENTATION RELATIVE A L'ECLAIRAGE DES SALLES DE CLASSE.....	54
3.1- LA REGLEMENTATION FRANÇAISE	54
3.1.1-TEXTES LEGISLATIFS.....	55
3.1.2-TEXTES TECHNIQUES	57
3.1.2.1- RECOMMANDATIONS DE L'A.F.E	57
A- NIVEAUX D'ECLAIREMENT LUMINEUX	57
B- UNIFORMITE DE L'ECLAIRAGE	57
C- EBLOUISSEMENT	58
D- FACTEURS DE REFLEXION	58
3.1.2.2- RECOMMANDATIONS DE L'ASSOCIATION PROMOTELEC.....	59
A- ECLAIRAGE GENERAL	59
B- ECLAIRAGE DES TABLEAUX	59
C- LAMPES ET LUMINAIRES	60
3.2-LA REGLEMENTATION BELGE.....	61
3.2.1-NIVEAUX D'ECLAIREMENT LUMINEUX	61
3.2.2-UNIFORMITE DE L'ECLAIRAGE	61
3.2.3- INDICE DE RENDU DES COULEURS	62
3.2.4-TEMPERATURE DE COULEUR.....	62
3.2.5-COEFFICIENTS DE REFLEXION	62
3.2.6- FACTEUR DE LUMIERE DU JOUR.....	63
3.3-LA REGLEMENTATION ALGERIENNE.....	63
SYNTHESE ET CONCLUSION.....	65
CHAPITRE3:EVALUATION DU CONFORT VISUEL DANS LES SALLES DE CLASSE	
INTRODUCTION	66
1/SITUATION GEOGRAPHIQUE	66

2/LES DONNEES CLIMATIQUES DE LA REGION	67
2.1/PRECIPITATION, TEMPERATURE	67
2.2/DUREE D'INSOLATION	67
2.3/CLIMAT LUMINEUX	68
3/PRESENTATION DU CAS D'ETUDE	69
I- INTRODUCTION :	75
II-PRESENTATION DU LOGICIEL :	75
III- ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS :	75
III.1/LA SIMULATION NUMERIQUE :	75
III.2/LES DONNEES DE LA SIMULATION:.....	75
III.3/LES RESULTATS :.....	76
III.3.1/LE DIFFERENT TYPE DU LIGHT SHELF :	76
III.3.1.A/SANS LIGHT SHELF :	78
A / CIEL CLAIR :.....	78
B/ CIEL COUVERT	79
III.3.1.B/AVEC LIGHT SHELF (TYPE N°04):	81
A / CIEL CLAIR :.....	81
B/CIEL COUVERT :	82
III.3.1.C-AVEC LIGHT SHELF (TYPE N°01):	84
A / CIEL CLAIR :	84
B/ CIEL COUVERT :	85
III.3.1.DAVEC LIGHT SHELF INCLINE A 45° VERS L'EXTERIEUR :	87
III-II-2-COMPARAISON DES RESULTATS (LA ZONE DE CONFORT):	90
A/SANS LIGHT SHELF :	90
C/ AVEC LIGHT SHELF DE 1M DROIT A L'EXTERIEUR :	91
D/ AVEC LIGHT SHELF INCLINE A 45° VERS L'EXTERIEUR :	91
III-II-3- -RECAPITULATIF DES RESULTATS OBTENUS POUR LES TROIS MOMENTS DE LA JOURNEE ET DURANT LA PERIODE D'ETUDE :.....	92
-RECOMMANDATIONS POUR LES FUTURS ETABLISSEMENTS SCOLAIRES OU D'ENSEIGNEMENT EN GENERAL:.....	93
CONCLUSION GENERALE:.....	94

I- Introduction :

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

Le logiciel qui sera utilisé est assez complet et très performant. Bien sur le but de cette recherche n'étant pas la conception, mais la vérification d'un dispositif déjà existant. Notre action ne consistera pas donc à simuler les performances du dispositif sous les mêmes conditions actuelles mais plutôt après y avoir apporté quelques modifications.

Ceci nous permettra, après comparaison des résultats, de savoir s'il est possible d'apporter des solutions aux problèmes rencontrés ou du moins améliorer l'état actuel des choses.

Pour cette simulation on a choisi l'orientation la plus défavorable enregistré durant la campagne de mesure en se basant sur les valeurs aux trois moments de la de la journée et les trois saisons d'étude.

II-Présentation du logiciel :

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

Depuis 2009, Autodesk Propose le logiciel 3ds Max Design ; les deux version partagent la même technologie et les mêmes fonctionnalités clés.si 3ds Max est surtout utilisé par les développeurs de jeux et de films d'animation, 3ds Max désign est plus adapté aux architectes, concepteurs, ingénieurs et spécialiste de la visualisation, cette version intègre de nouvelles fonctionnalités pour la simulation et l'analyse de la lumière naturelle ou de l'éclairage artificiel. Ces outils d'analyse sont adaptés à la certification LEED Indoor Environmental quality crédit 8,1 certification. Le moteur de rendu utilisé par 3ds Max est Mental Ray (Produit par la société mental images GmbH) qui emploie la méthode du raytracing. Le raytracing (lancer de rayons) est une technique de rendu d'image produit par simulation du parcours inverse de la lumière : les éclairages sont calculés depuis le point de vue vers les objets, puis vers la lumière, le raytracing permet de reproduire les phénomènes physiques de la réflexion et de la réfraction.

La technologie employées dans 3ds Max Désign produit non seulement des résultats de simulation comme des images de rendus mais également des données numériques exportable sous forme de fichier CSV et exploitable notamment sur Exel ; les résultats de simulation exportés dans Exel ce sont des valeurs d'éclairéments pour chacun des capteurs.

III- Analyse et interprétation des résultats :

III.1/La simulation numérique :

III.1.a/Les données de la simulation:

- ✓ Localisation géographique du projet : Alger
- ✓ L'altitude: 36,763. Logitudinale 3°.
- ✓ La géométrie de la salle de classe : 2m² par élève donc pour 30 élèves une Surface minimale de 60m². Nous avons proposé des classes de 65m²
- ✓ Le type de light shelf :
 - Droit intérieur.
 - Droit extérieur.
 - Droit intérieur-extérieur.

- Incliné vers l'extérieur
- ✓ l'orientation : Sud-Ouest
- ✓ Nature et couleurs des revêtements muraux intérieurs : peinture blanche, degré de réflexion 0%, brillance et réflexion plastiques 0%.
- ✓ type du vitrage : -Double vitrage
 - Vitrage réfléchissant
- ✓ La date et l'heure :
 - Le 21/12/2016 à 08H00 et à 13H00 et à 16H00
 - Le 21/03/2016 à 08H00 et à 13H00 et à 16H00
 - Le 21/09/2016 à 08H00 et à 13H00 et à 16H00
- ✓ Le type du ciel : -Ciel Couvert.
 - Ciel Claire.
- ✓ Photomètre: (16 ptsx12 pts)

III.2/Les résultats :

Pour assurer le confort visuel dans les salles de classe et avoir un éclairage satisfaisant pour accomplir une tâche déterminée sans avoir de gêne pour l'œil humain, cette gêne peut être le résultat d'un niveau d'éclairage qui n'est pas adapté à la tâche, de l'éblouissement ou d'une composition d'une lumière qui n'est pas compatible avec le niveau d'éclairage et l'activité. On va essayer de capter le maximum de lumière à travers le light shelf et ses différentes disposition, choix de l'orientation, de la fenêtre, sa configuration, sa dimension, sa hauteur, la nature du vitrage..., Cette stratégie est apparue efficace, mais elle permet simplement d'augmenter le niveau d'éclairage à quelques lux près de la fenêtre, tout en laissant le fond de l'espace obscur et par conséquent, contribue à l'inconfort visuel.

Au cours de cette simulation, on va essayer de répondre à l'objectif, de faire une investigation exhaustive sur les différents types du système light shelf afin de choisir les configurations les plus adaptées au climat lumineux de la ville d'Alger.

III.2.1/Le différent Type du light shelf :

Nous allons proposer une série du système light shelf sous des simulations arrivant à des résultats satisfaisants et parmi les cas le 9eme de prendre le premier type changeant l'orientation sud-est et ses types sont les suivants :

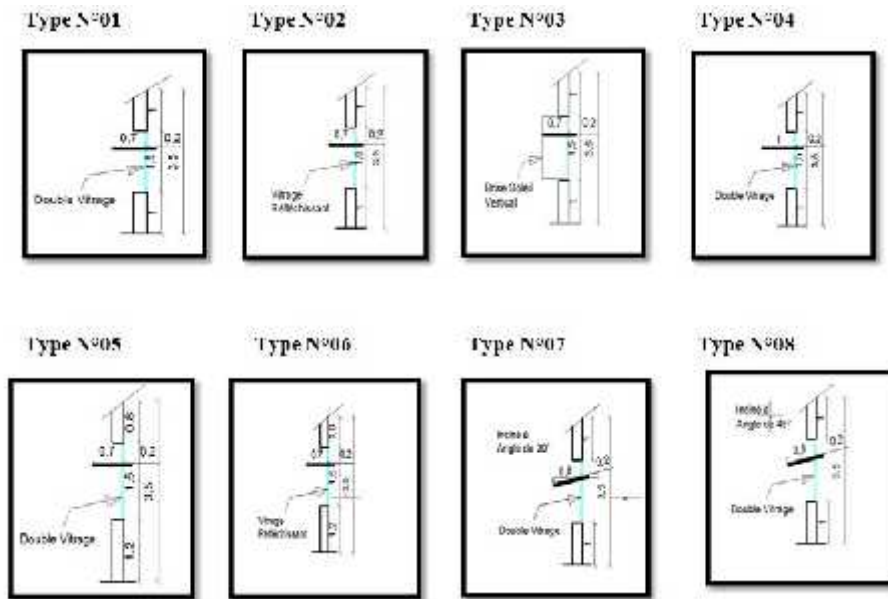


Figure 1 : types de light shelf proposés

Nous allons développer les quatre différents types suivants-vis-à-vis **du Dimensionnement**, de **la Position** du light shelf Droit et de son Inclinaison ceux sont les propositions qui ont apporté les meilleurs résultats.

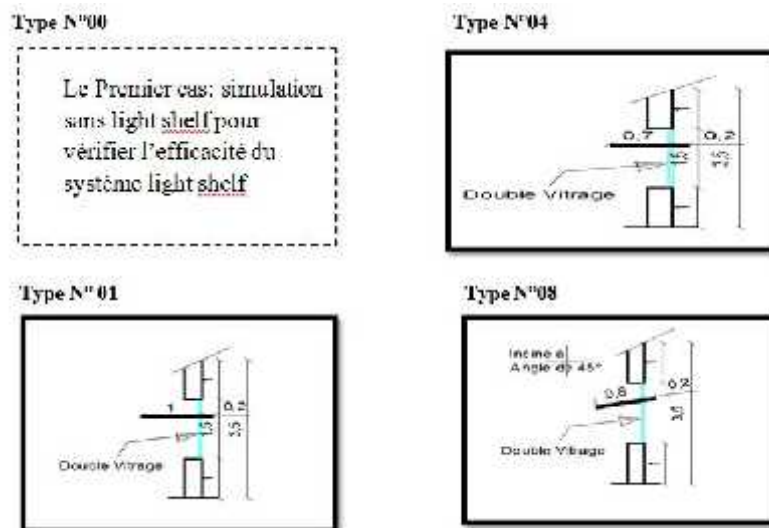


Figure 2 : types de light shelf développés

L'éclairage Horizontal :

L'objectif de cette simulation est de quantifier l'éclairage pénétrant dans la salle de classe par la fenêtre uniquement et jusqu'à quelle profondeur la salle est bien éclairée. Les figures suivantes montrent que la salle est partagée en trois zones d'éclairages différents :

La première zone c'est la zone mal éclairé peut causer l'éblouissement à cause de son fort éclairage

La deuxième et la troisième est peuvent constituer un fort contraste par leur faible niveau d'éclairage

III.2.1.a/Sans light shelf :

a / Ciel Clair :

1-Le 21 Décembre :

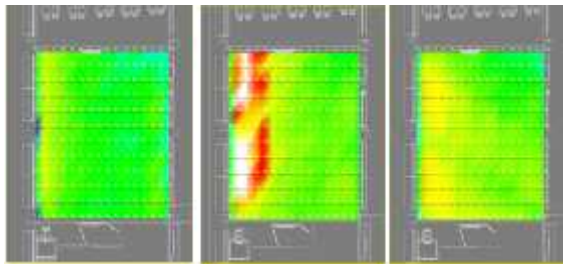
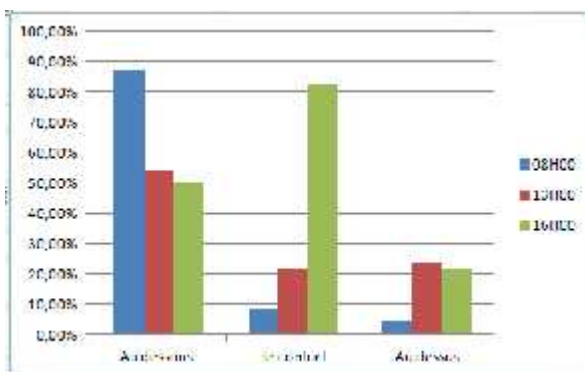


Figure 3 : variation des éclairagements horizontaux
(Source : l'auteur)

le 21 Décembre	Au dessous	le confort	Au dessus
08H00	86,99%	8,33%	4,68%
13H00	54,18%	21,87%	23,95%
16H00	50,00%	82,64%	21,35%

Tableau 1 : Récapitulatif des résultats obtenus
(Source : l'auteur)



Équation 1 : zoning du confort au niveau des salles de classe (Source : l'auteur)

Nous avons constaté après les résultats obtenus au moi de **Décembre** aux différent moment d'étude, que le niveau du confort est différent au moment de la journée avec une valeur maximale de **82.64%** à **16H00** et un éblouissement très élevés à **13H00** Comme le montre le graphique et L'illustration si dessus,

Le 21 mars :

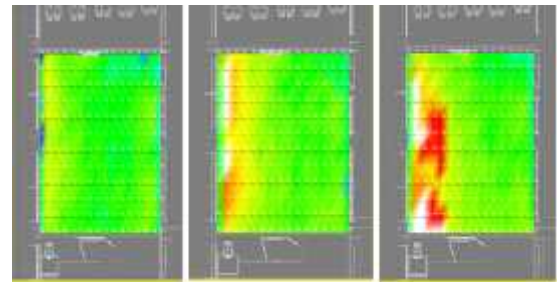
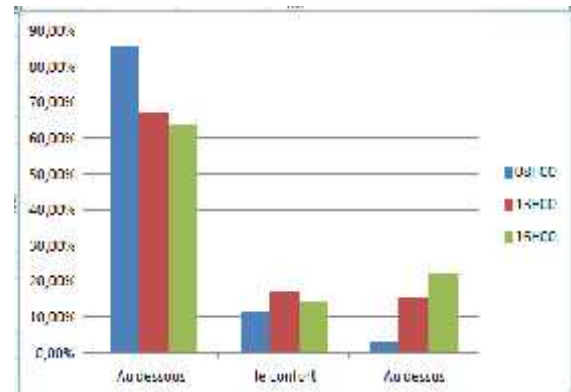


Figure 4 : variation des éclairagements horizontaux
(Source : l'auteur)

le 21 Mars	Au dessous	le confort	Au dessus
08H00	85,43%	11,45%	3,13%
13H00	67,20%	17,18%	15,62%
16H00	63,55%	14,06%	22,39%

Tableau 2 : Récapitulatif des résultats Obtenus
(Source : l'auteur)



Équation 2 : zoning du confort au niveau des salles de classe (Source : l'auteur)

On remarque que les niveaux atteignent leur valeur maximale au dessous du confort qui est très faible au différent moment de l'année qui marque une moyenne de confort de **14,16%** avec un éblouissement très élevés au mois de **Mars** à **16H00** Comme le montre le graphique si dessus,

3-Le 21 Septembre :

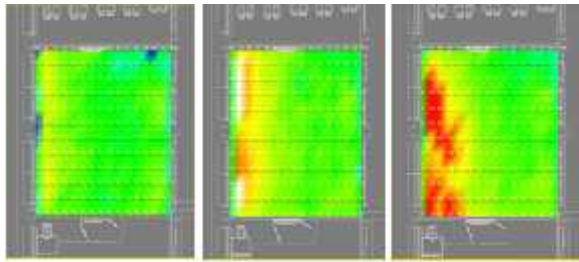
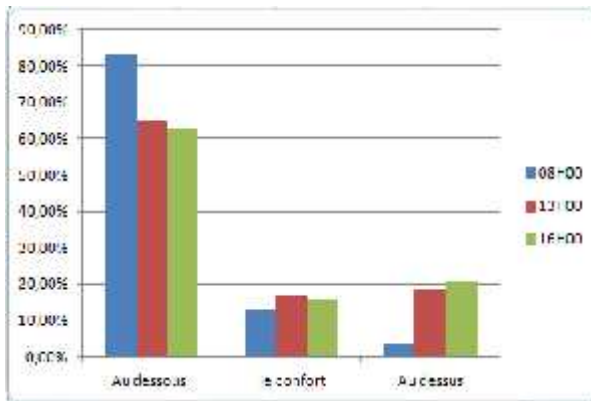


Figure 5 : variation des éclairagements horizontaux
(Source : l'auteur)

le 21 Septembre	Au dessous	le confort	Au dessus
08H00	83,34%	13,02%	3,64%
13H00	65,12%	16,66%	18,22%
16H00	63,03%	16,14%	20,83%

Tableau 3 : Récapitulatif des résultats obtenus
(Source : l'auteur)



Équation 3 : zoning du confort au niveau des salles de classe (Source : l'auteur)

On remarque que le confort est c'est élevée à **08H00** après les résultats obtenus en moi de **Septembre** mais avec un éblouissement très élevés Comme l'illustration le montre à **13H00**

b/ ciel couvert

Le 21 decembre :

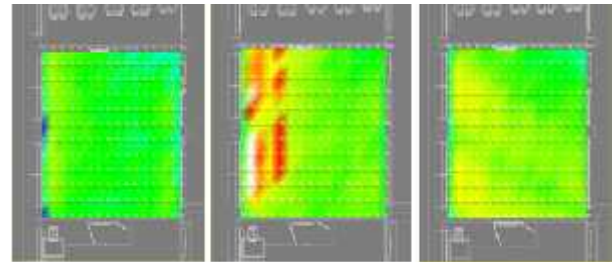
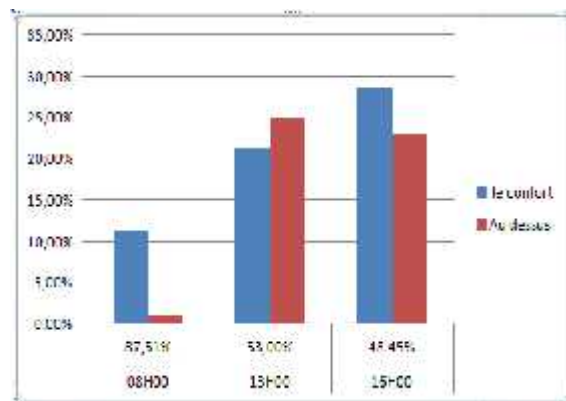


Figure 6 : variation des éclairagements horizontaux
(Source : l'auteur)

le 21 Décembre	Au dessous	le confort	Au dessus
08H00	87,51%	11,45%	1,04%
13H00	53,00%	21,35%	25,00%
16H00	48,45%	28,64%	22,91%

Tableau 4 : Récapitulatif des résultats obtenus
(Source : l'auteur)



Équation 4 : zoning du confort au niveau des salles de classe (Source : l'auteur)

On remarque sur l'histogramme un rapport entre la partie la plus éclairée et celle qui l'est le moins pour les trois périodes avec des valeurs de :
11,45% à 08h00
21,35% à 13h00
28,64% à 16h00

2- Le 21 Mars :

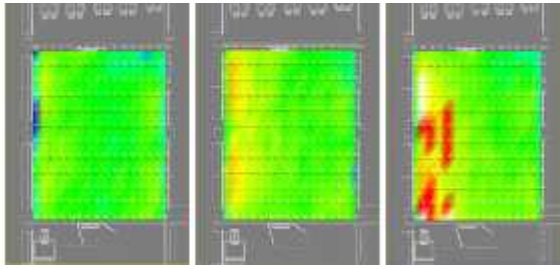
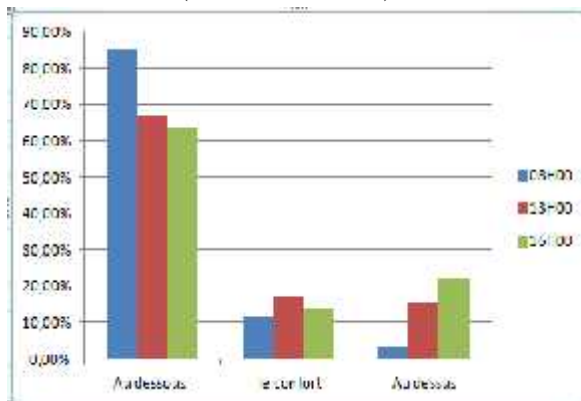


Figure 7 : variation des éclairagements horizontaux
(Source : l'auteur)

le 21 Mars	Au dessous	le confort	Au dessus
08H00	85,43%	11,45%	3,12%
13H00	67,28%	16,65%	16,14%
16H00	64,07%	14,58%	21,15%

Tableau 5 : Récapitulatif des résultats obtenus
(Source : l'auteur)



Équation 5 : zoning du confort au niveau des salles de classe (Source : l'auteur)

On a obtenu au mois de **Mars** un zonage montrant la répartition de la lumière à partir de la superposition des courbes iso- lux obtenues pour les différentes heures :
En rouge et blanc c'est la zone balayée ou il ya le maximum d'éclairément qui nous pose un problème d'éblouissement à **16H00** au niveau des salles de classe, avec un confort faible.

3- le 21 Septembre :

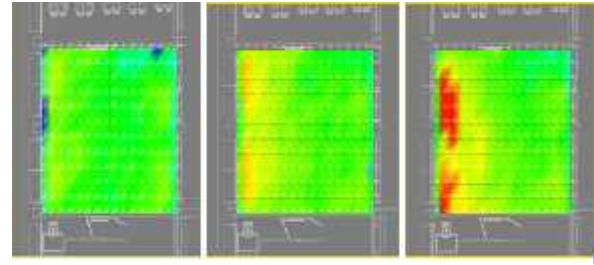
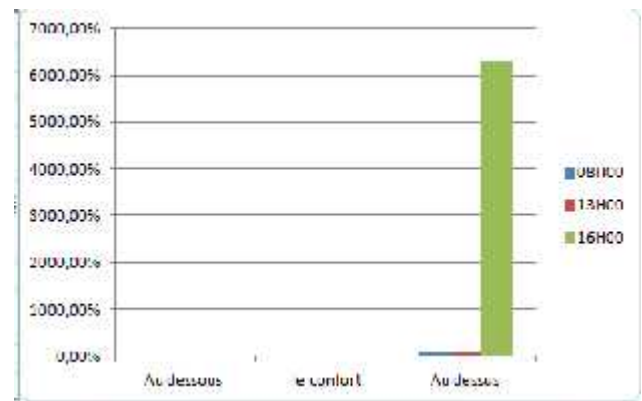


Figure 8 : variation des éclairagements horizontaux
(Source : l'auteur)

le 21 Septembre	Au dessous	le confort	Au dessus
08H00	4,16%	13,02%	82,82%
13H00	19,27%	15,62%	65,11%
16H00	20,31%	16,66%	63,03%

Tableau 6 : Récapitulatif des résultats obtenus
(Source : l'auteur)



Équation 6 : zoning du confort au niveau des salles de classe (Source : l'auteur)

On constate que les niveaux d'éclairéments sont nettement différents pour les trois périodes de la journée. Ces niveaux atteignent leur valeur maximale au dessus de la zone du confort Comme le montre le graphique si dessus

III.2.1.b/Avec light shelf (Type 4)

a / Ciel Clair :

1-Le 21 Décembre :

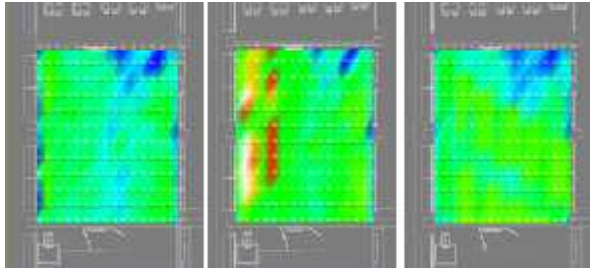


Figure 9 : variation des éclairements horizontaux

Le 21 Mars :

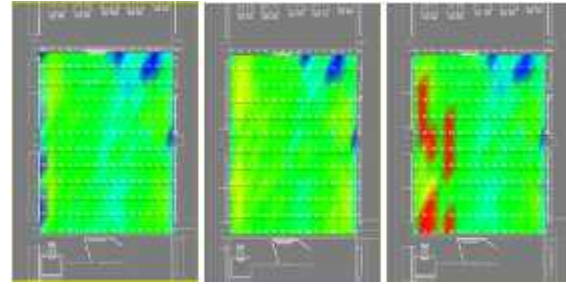
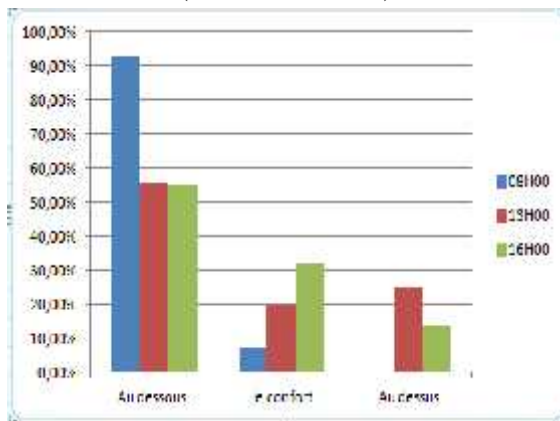


Figure 10 : Figure : variation des éclairements horizontaux
(Source : l'auteur)

le 21 Décembre	Au dessous	le confort	Au dessus
08H00	92,71%	7,29%	0,00%
13H00	55,73%	19,27%	25,00%
16H00	54,69%	31,77%	13,54%

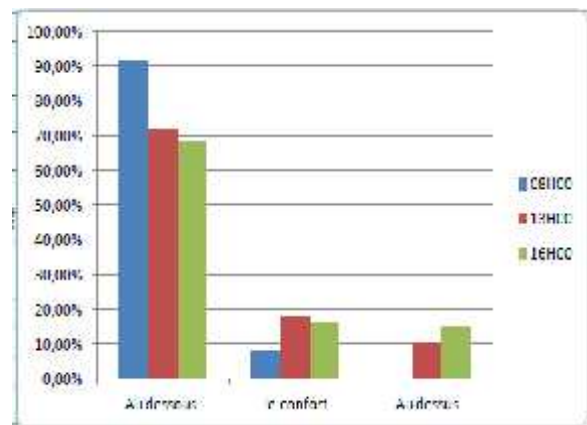
Tableau 7 : Récapitulatif des résultats obtenus
(Source : l'auteur)



Équation 7 : zoning du confort au niveau des salles de classe (Source : l'auteur)

le 21 Mars	Au dessous	le confort	Au dessus
08H00	91,67%	8,33%	0,00%
13H00	71,89%	17,70%	10,41%
16H00	68,24%	16,66%	15,10%

Tableau 8 : Récapitulatif des résultats obtenus
(Source : l'auteur)



Équation 8 : zoning du confort au niveau des salles de classe (Source : l'auteur)

Mis a part les résultats obtenus au mois de **Décembre** le light shelf permet une valeur de confort maximal de **31,77%** à **16H00** et un éblouissement très élevée à **13H00**

On constate que les niveaux d'éclairements sont nettement différents pour les trois périodes de la journée, ils sont toujours élevée et les résultats sont illustrés comme vous voyez les valeurs maximale sur le l'histogramme.

3-Le 21 Septembre :

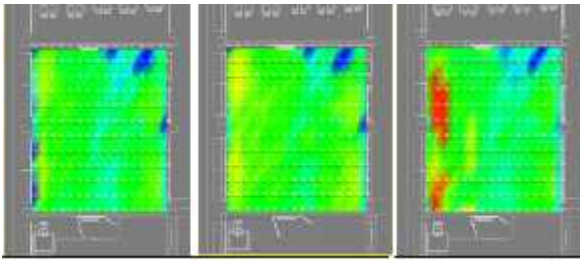
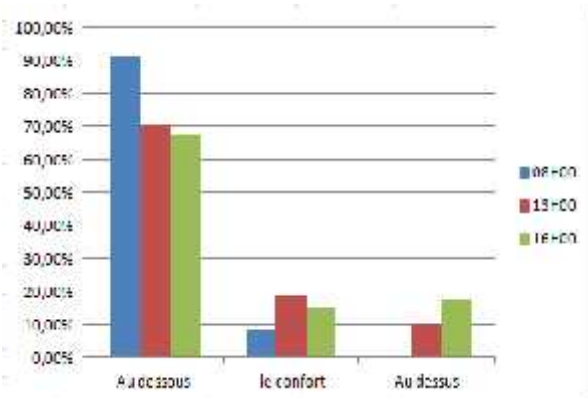


Figure 12 : variation des éclairements horizontaux (Source : l'auteur)

le 21 Septembre	Au dessous	le confort	Au dessus
08H00	91,67%	8,33%	0,00%
13H00	70,24%	18,75%	10,41%
16H00	67,20%	15,10%	17,70%

Tableau 9 : Récapitulatif des résultats obtenus (Source : l'auteur)



Équation 9 : zoning du confort au niveau des salles de classe (source auteur)

Sur la figure 01 ci-dessus qui concerne les résultats obtenus, on remarque que la partie la plus éclairée a changé de place et que les niveaux d'éclairements sont plus importants à **13H00**.

b/Ciel Couvert :

1-Le 21 Décembre

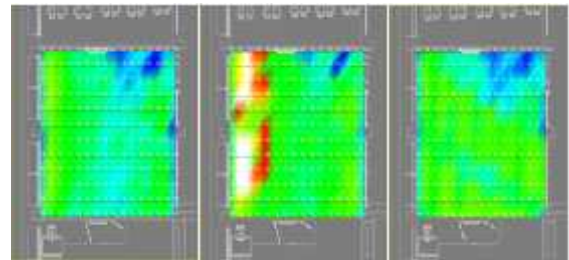
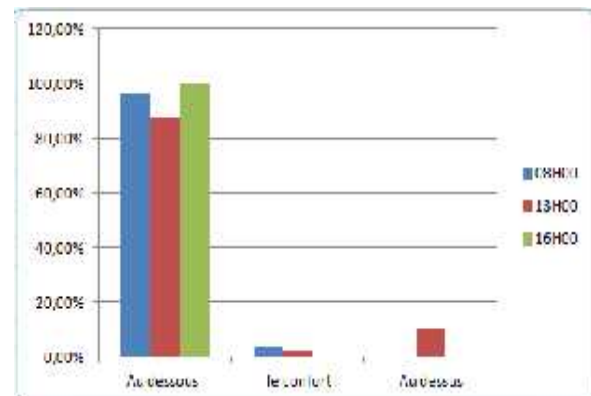


Figure 11 : variation des éclairements horizontaux (Source : l'auteur)

le 21 Décembre	Au dessous	le confort	Au dessus
08H00	96,36%	3,64%	0,00%
13H00	87,51%	2,08%	10,14%
16H00	100%	0,00%	0,00%

Tableau 10 : Récapitulatif des résultats obtenus (Source : l'auteur)



Équation 10 : zoning du confort au niveau des salles de classe

Les rapports d'éclairément entre les parties les plus éclairées et parties les moins éclairées de la salle qui sont de l'ordre de 0% à 3,64% nous indiquent une lumière nettement plus diffuse.

2-Le 21 Mars :

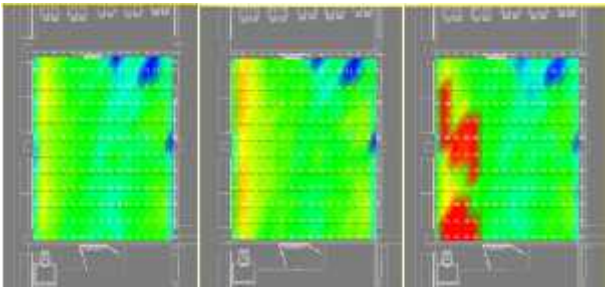


Figure 13 : variation des éclairements horizontaux
(Source : l'auteur)

3-Le 21 Septembre :

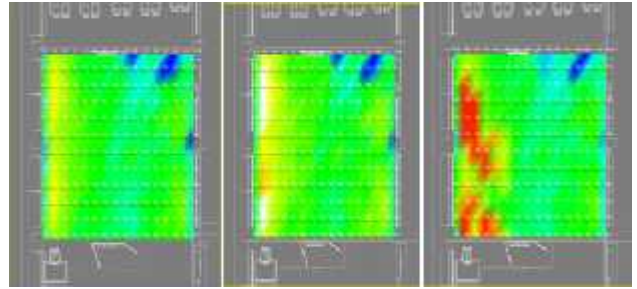


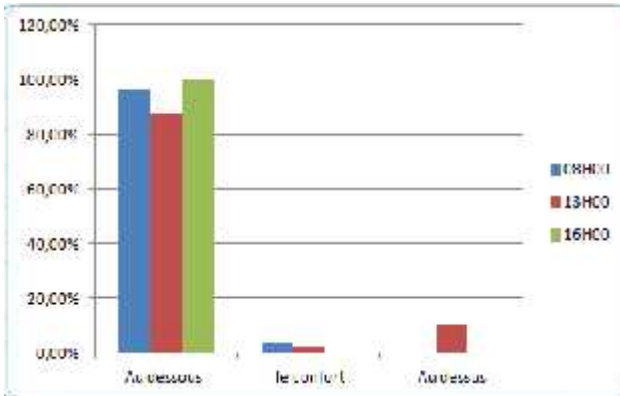
Figure 14 : variation des éclairements horizontaux
(Source : l'auteur)

le 21 Mars	Au dessous	le confort	Au dessus
08H00	96,36%	3,64%	0,00%
13H00	86,99%	7,29%	5,72%
16H00	88,03%	2,60%	9,37%

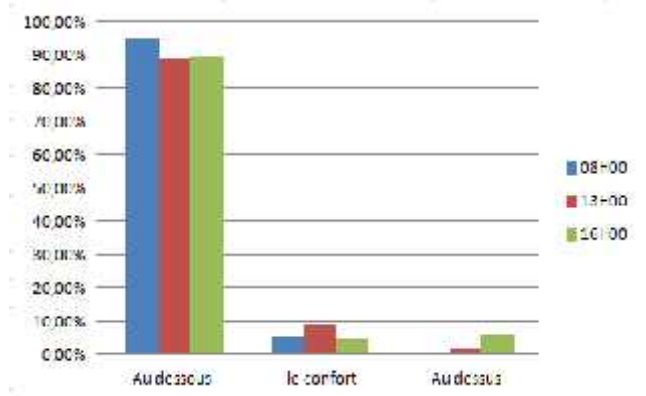
Tableau 11 : Récapitulatif des résultats obtenus
(Source : l'auteur)

le 21 Septembre	Au dessous	le confort	Au dessus
08H00	94,80%	5,20%	0,00%
13H00	88,55%	9,09%	1,56%
16H00	89,60%	4,68%	5,72%

Tableau 12 : Récapitulatif des résultats obtenus
(Source : l'auteur)



Équation 11 : zoning du confort visuel au niveau des salles de classe (source auteur)



Équation 12 : zoning du confort visuel au niveau des salles de classe (source auteur)

Après l'analyse des résultats obtenus au mois de **Mars** on constate une difformité dans la distribution de la lumière à l'intérieur de la salle de classe où certains endroits sont nettement plus éclairés qui pose un problème d'éblouissement à **16H00**, qui marque un confort de **2,60%**

On trouve qu'avec des écarts d'éclairement très importants notamment à la fin de journée et en début d'après midi sous un ciel nuageux, ceci produit des zones plus sombres que d'autres notamment au niveau de certains angles de la salle comme vous voyez au différente figure qui nous montrent la manière avec laquelle le light shelf agit sur la pénétration des rayons lumineux dans la salle de classe.

III.2.1.c/Avec light shelf (Type N°1)

Le 21 Mars

a / Ciel Clair :

1-Le 21 Décembre :

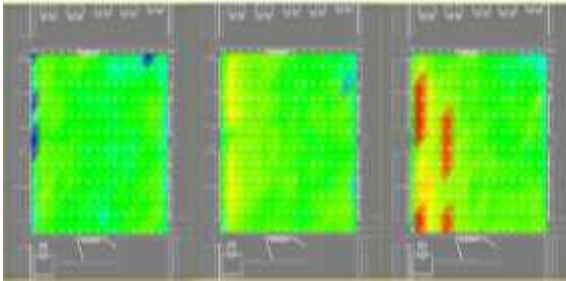
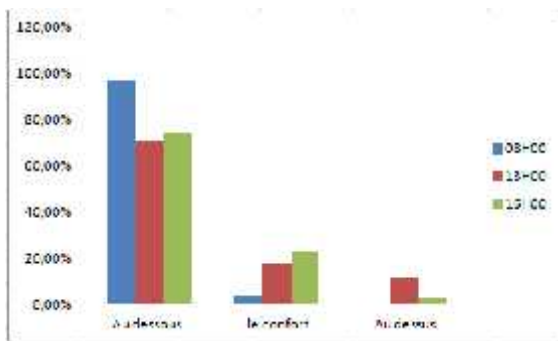


Figure 16 : variation des éclairagements horizon
(Source : l'auteur)

le 21 Décembre	Au dessous	le confort	Au dessus
08H00	96,88%	3,12%	0,00%
13H00	70,33%	17,70%	11,97%
16H00	74,49%	22,91%	2,60%

Tableau 14 : Récapitulatif des résultats obtenus
(Source : l'auteur)



Équation 13 : zoning du confort visuel dans les salles de classe (source auteur)

Après avoir modifié le dimensionnement du light shelf on a obtenu les résultats illustré dans les figures et l'historgramme suivant qui montre le confort faible de :

3,12% à 8H00

17,70 % à 13H00

22,91% à 16H00

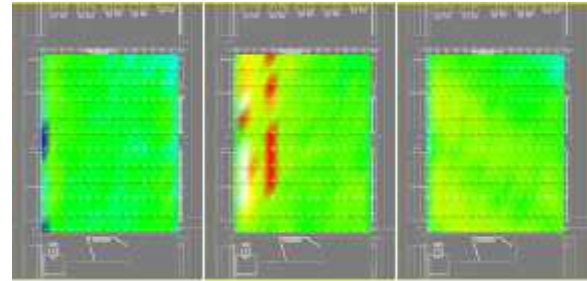
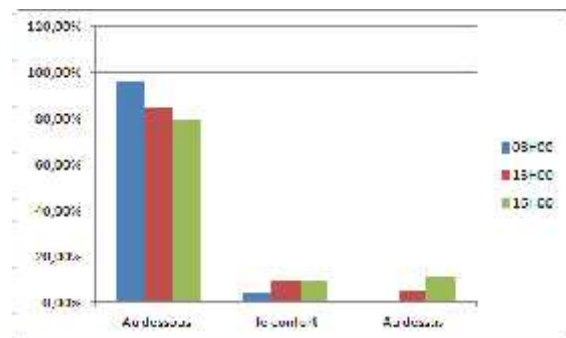


Figure 15 : variation des éclairagements horizon
(Source : l'auteur)

le 21 Mars	Au dessous	le confort	Au dessus
08H00	96,36%	3,64%	0,00%
13H00	84,91%	9,89%	5,20%
16H00	79,18%	9,89%	10,93%

Tableau 13 : Récapitulatif des résultats obtenus
(source : auteur)



Équation 14 : zoning du confort visuel dans les salles de classe (source auteur)

Sur les figures on remarque que le problème d'éblouissement reste toujours présent au mois de **Mars**, et on trouve que le confort est diminué Au trois moment de la journée.

b/ ciel couvert :

3-Le 21 Septembre :

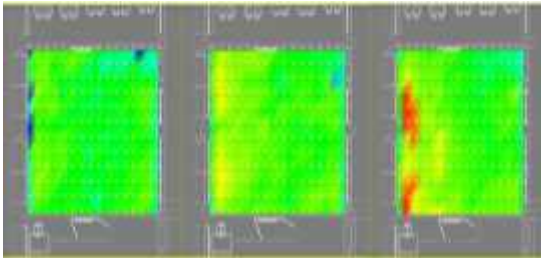


Figure 18 : variation des éclairements horizo (Source : l'auteur)

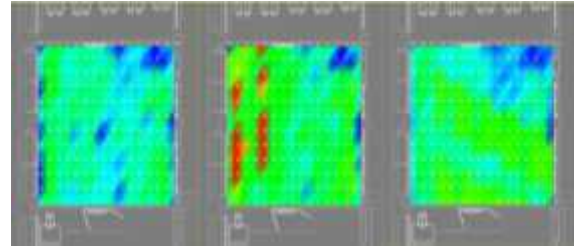
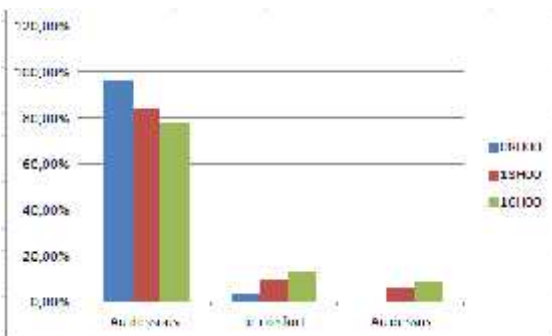


Figure 17 : variation des éclairements horizontaux (Source : l'auteur)

1-Le 21 Décembre

le 21 Septembre	Au dessous	le confort	Au dessus
08H00	96,36%	3,64%	0,00%
13H00	84,39%	9,89%	5,72%
16H00	78,13%	13,02%	8,85%

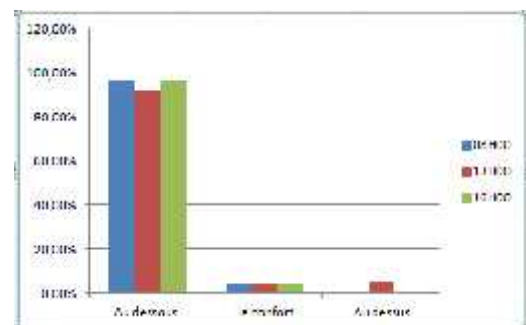
Tableau 16 : Récapitulatif des résultats obtenus (Source : l'auteur)



Équation 16 : zoning du confort au niveau des salles de classe

le 21 Décembre	Au dessous	le confort	Au dessus
08H00	96,36%	3,64%	0,00%
13H00	91,68%	3,69%	4,68%
16H00	96,36%	3,64%	0,00%

Tableau 15 : Récapitulatif des résultats obtenus (Source : l'auteur)



Équation 15 zoning du confort au niveau des salles de classe:

On constate au mois de **Septembre** que le niveau de confort est faible avec ses valeur illustré sur le graphe.

On remarque sur les figure si dessus qu'elle montre un éclairement déformé a pour conséquences de créer une certaine gêne visuelle comme il a été constaté sur place sur l'histogramme du pourcentage du confort

2-Le 21 Mars :

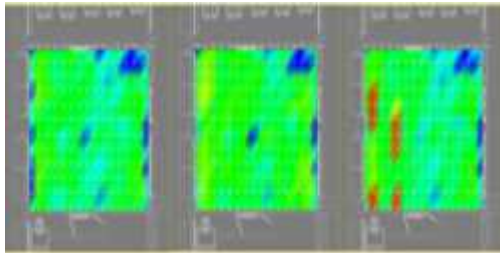
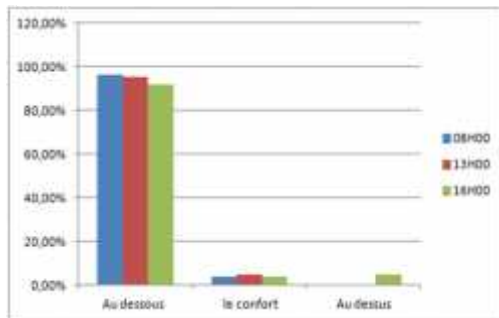


Figure 1 : variation des éclairagements horizontaux
(Source : l'auteur)

le 21 Mars	Au dessous	le confort	Au dessus
08H00	96,36%	3,64%	0,00%
13H00	95,32%	4,68%	0,00%
16H00	91,68%	3,64%	4,68%

Tableau 1 : Récapitulatif des résultats obtenus
(Source : l'auteur)



Équation 1 : zoning du confort au niveau des salles de classe

On trouve après les résultats obtenus un éclairage déformé pour les différentes heures :

En rouge et blanche c'est la zone balayée ou il ya le maximum d'éclairage qui nous pose un problème d'éblouissement au niveau des salles de classe.

En vert et en jaune c'est la zone moyenne satisfaisante pour les élèves

En bleus c'est la zone où il ya un le minimum d'éclairage qui rend les salles de classe plus sombre.

3 –Le 21 Septembre :

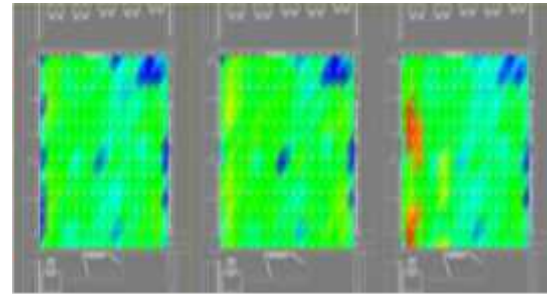
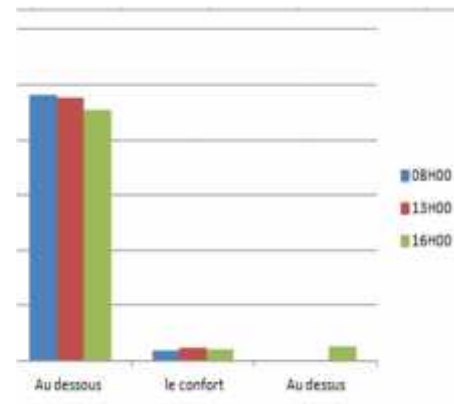


Figure 1 : variation des éclairagements horizontaux
(Source : l'auteur)

le 21 Septembre	Au dessous	le confort	Au dessus
08H00	96,36%	3,64%	0,00%
13H00	95,32%	4,68%	0,00%
16H00	90,64%	4,16%	5,20%

Tableau 1 : Récapitulatif des résultats obtenus
(Source : l'auteur)



Équation 1 : zoning du confort au niveau des salles de classe

En mois de Septembre le niveau d'éclairage déformé avec un confort très faible comme le montre l'histogramme et les figure si dessus

III.2.1.d/Avec light shelf incliné à 45° vers l'extérieur :

a/ Ciel Clair :

1-Le 21 Décembre :

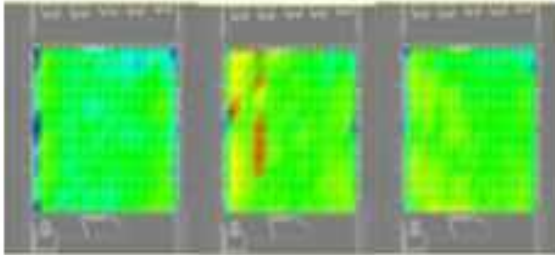
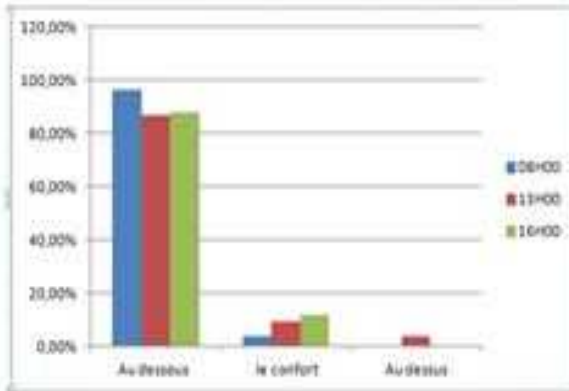


Figure 21 : variation des éclairagements horizontaux
(Source : l'auteur)

le 21 Décembre	Au dessous	le confort	Au dessus
08H00	96,36%	3,64%	0,00%
13H00	86,99%	9,37%	3,64%
16H00	88,03%	11,97%	0,00%

Tableau 19 : Récapitulatif des résultats obtenus
(Source : l'auteur)



Équation 19 : zoning du confort au niveau des salles de classe

Mis a part l'utilisant un light shelf incliné on a obtenu un niveau d'éclairément faible et un éblouissement à 13H00

2-Le 21 Mars :

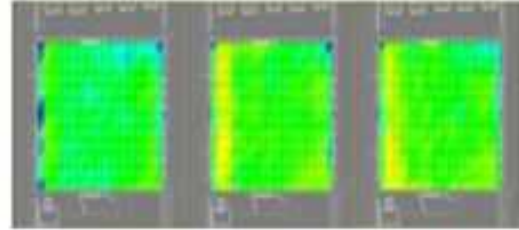
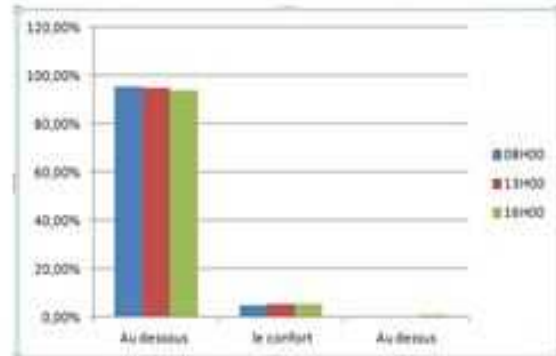


Figure 22 : variation des éclairagements horizontaux
(Source : l'auteur)

le 21 Mars	Au dessous	le confort	Au dessus
08H00	95,32%	4,68%	0,00%
13H00	94,80%	5,20%	0,00%
16H00	93,76%	5,20%	1,04%

Tableau 20 : Récapitulatif des résultats obtenus
(Source : l'auteur)



Équation 20 : zoning du confort au niveau des salles de classe

On remarque que le niveau d'éblouissement c'est diminué un peu au mois de Mars et la zone de confort entre :

- 4,68% à 8H00,
- 5,20% à 13H00,
- 5,20% à 16H00

b/ciel couvert

3-Le 21 Septembre :

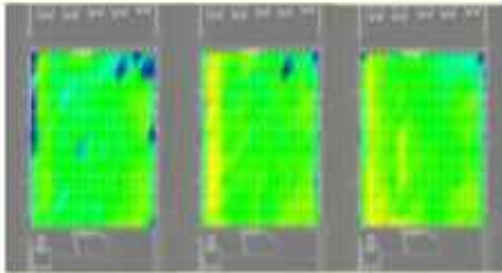
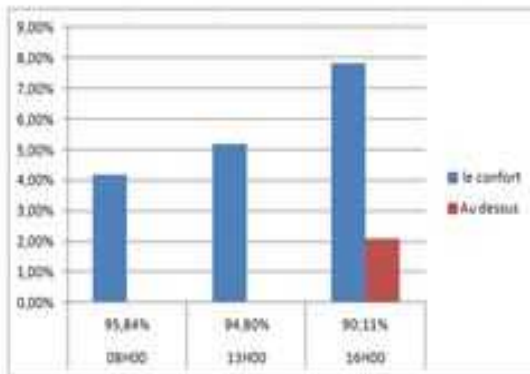


Figure 23 : variation des éclairements horizon
(Source : l'auteur)

le 21 Septembre	Au dessous	le confort	Au dessus
08H00	95,84%	4,16%	0,00%
13H00	94,80%	5,20%	0,00%
16H00	90,11%	7,81%	2,08%

Tableau 21 : Récapitulatif des résultats obtenus
(Source : l'auteur)



Équation 21 : zoning du confort au niveau des salles de classe

On remarque au dessus de la Zone de confort et de 0% à 8H00 et 13H00 et on a enregistré 2,08% à 16H00.

1-Le 21 Décembre :

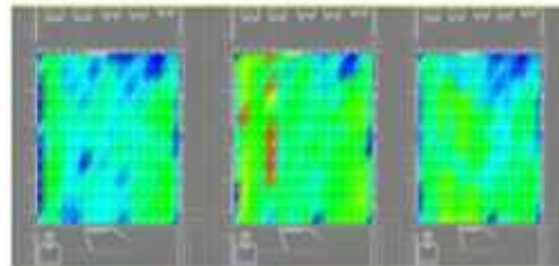
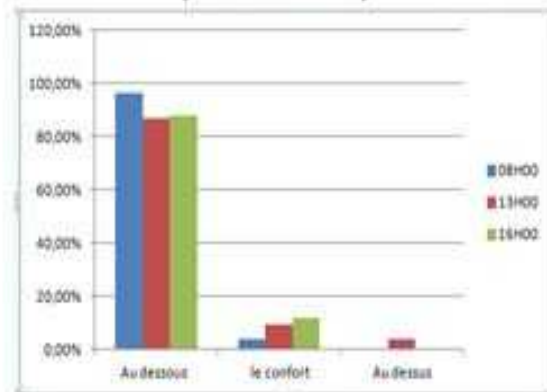


Figure 24 : variation des éclairements horizonta
(Source : l'auteur)

le 21 Décembre	Au dessous	le confort	Au dessus
08H00	96,36%	3,64%	0,00%
13H00	92,72%	3,12%	4,16%
16H00	96,36%	3,64%	0,00%

Tableau 22 : Récapitulatif des résultats obtenus
(Source : l'auteur)



Équation 22 : zoning du confort au niveau des salles de classe

On trouve après les résultats obtenus un éclairement faible déformé pour les différentes heures qui pose un gêne visuel.

2/le 21 Mars

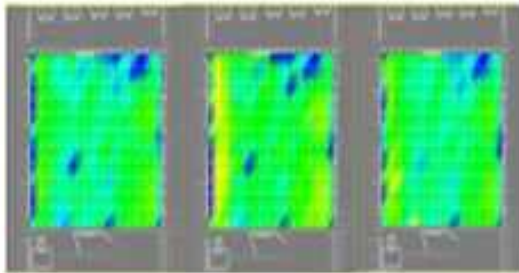
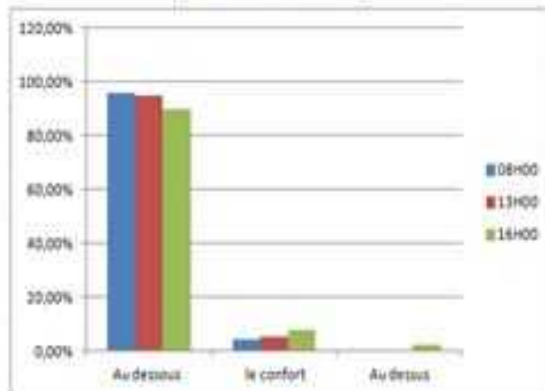


Figure 25 : variation des éclairements horizon
(Source : l'auteur)

le 21 Mars	Au dessous	le confort	Au dessus
08H00	95,84%	4,16%	0,00%
13H00	94,80%	5,20%	0,00%
16H00	90,11%	7,81%	2,08%

Tableau 23 : Récapitulatif des résultats obtenus
(Source : l'auteur)



Équation 23 : zoning du confort au niveau des salles
de classe

On remarque au dessous de la Zone de confort est très élevée pour les trois moments de la journée comme le montre l'histogramme et le tableau récapitulatif si dessus.

2-Le 21 Septembre:

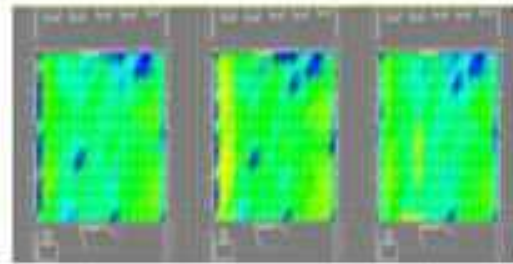
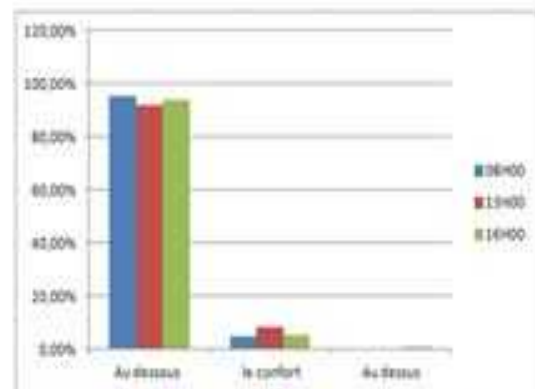


Figure 26 : variation des éclairements horizon
(Source : l'auteur)

le 21 Septembre	Au dessous	le confort	Au dessus
08H00	95,32%	4,68%	0,00%
13H00	91,67%	8,33%	0,00%
16H00	93,76%	5,20%	1,04%

Tableau 24 : Récapitulatif des résultats obtenus
(Source : l'auteur)



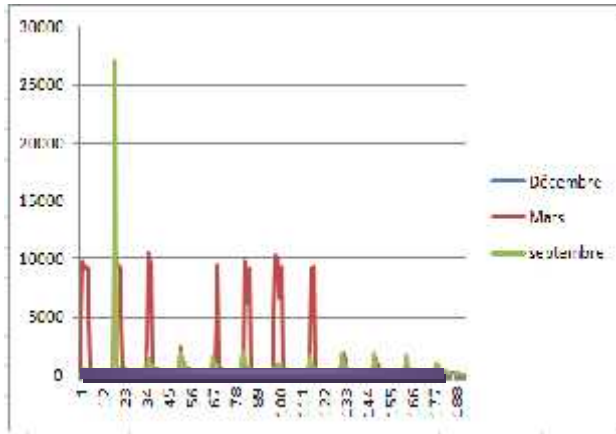
Équation 24 : zoning du confort au niveau des salles
de classe

On remarque que l'endroit le moins éclairé tend vers le centre de la salle à 8H00 et à 16H00 ceci s'explique par la hauteur du soleil, par conséquent, une sensation d'inconfort visuel sera ressenti par les élèves.

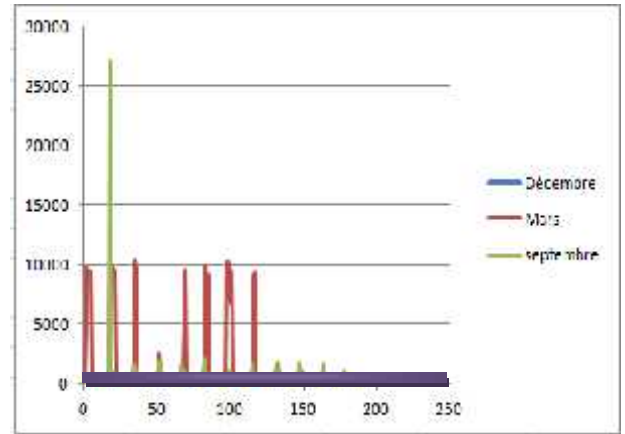
III-2-2-Comparaison des résultats (La Zone de confort):

A/Sans light shelf :

1-Ciel Clair



2-Ciel Couvert



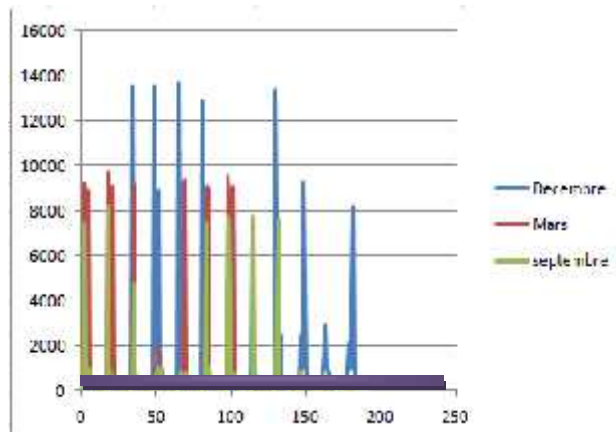
On constate après les résultats obtenue :

-Sous un ciel clair une valeur maximal de 19,61% dans la zone de confort comme le graphe le montre si dessus.

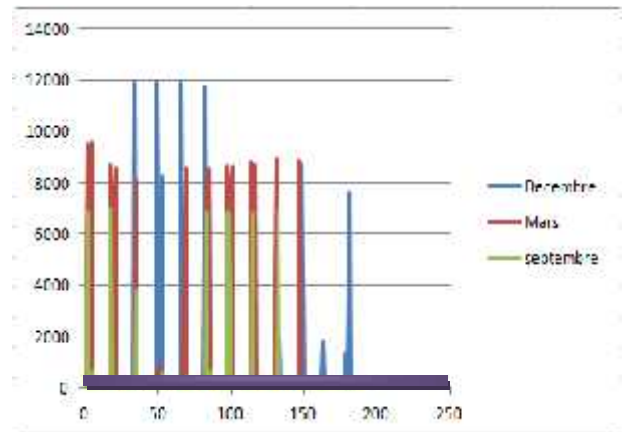
-Sous un ciel couvert une valeur maximal de 20,48% dans la zone de confort comme le graphe le montre si dessus

B/Avec Light Shelf

1-Ciel Clair

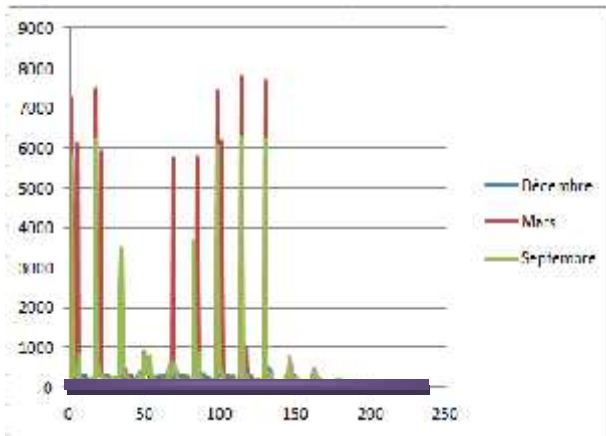


2-Ciel Couvert

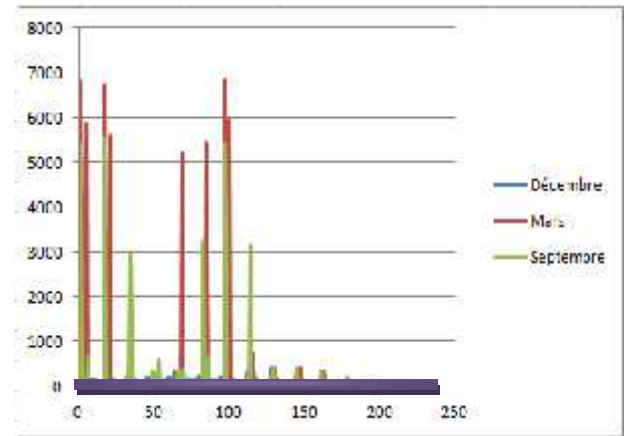


C/ Avec light shelf de 1m Droit à l'extérieur :

1-Ciel Clair



2-Ciel Couvert



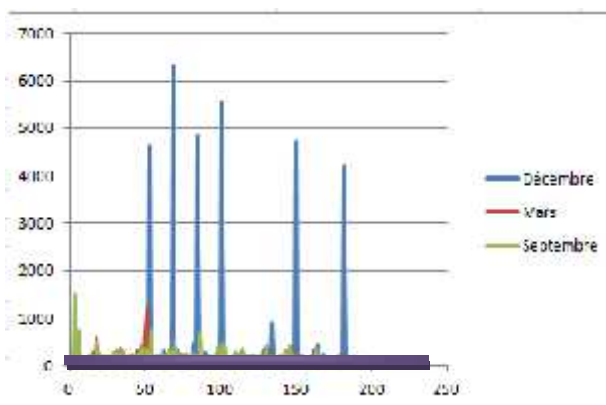
On constate après les résultats obtenue :

-Sous un ciel clair une valeur maximale de 14,57% dans la zone de confort comme le graphe le montre si dessus.

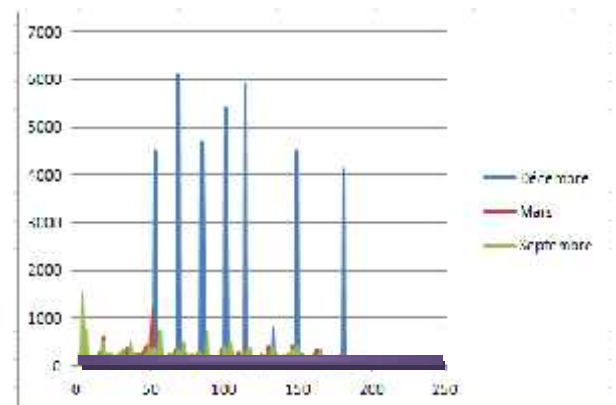
-Sous un ciel couvert une valeur maximale de 4,16 % dans la zone de confort comme le graphe le montre si dessus

D/ Avec light shelf incliné à 45° vers l'extérieur :

1-Ciel Clair



2-Ciel Couvert



On constate après les résultats obtenue :

-Sous un ciel clair une valeur maximale de 8,32% e la zone de confort comme le graphe le montre si dessus.

-Sous un ciel couvert une valeur maximale de 6,07 % e la zone de confort comme le graphe le montre si dessus

III-2-3- -Récapitulatif des résultats obtenus pour les trois moments de la journée et durant la période d'étude :

-Sur ce tableau on remarque que vis-à-vis des différents type de système light shelf utilisé que les résultats obtenue ne sont constant, leurs valeurs sont différentes pour les trois périodes de la journée y compris les différents saisons de l'année cela signifie plusieurs choses, à savoir :

	Type de Ciel	Le 21 Décembre %	Le 21 Mars %	le 21 septembre %
Sans light Shelf	Ciel Clair	63,72<19,61<16,66	72,06<14,23<13,71	70,49< 15,27<14,23
	Ciel Couvert	63,20< 20,48< 16,13	72,23<14,23<13,53	70,32<15,10<14,58
Avec Light Shelf	Ciel Clair	67,71<19,44< 12,84	77,26< 14,23<8,50	72,57<14,04<9,37
	Ciel Couvert	94,62<1,90<3,47	90,46 <4,51< 5,03	90,98 <6,59<2,40
Avec Light Shelf de 1m à L'extérieur	Ciel Clair	80,56 <14,57< 4,85	86,81 <7,80 <5,37	86,29<8,85<4,84
	Ciel Couvert	94,8<3,64 <1,56	94,36 <3,98 <1,56	94,10<4,16 <1,73
Avec Light Shelf Incliné à 45° vers L'extérieur	Ciel Clair	90,46<8,32<1,21	94,64 <5,02 <0,34	93,58 <5,72< 0,69
	Ciel Couvert	95,14< 3,64<1,38	93,58 <5,72 <0,62	93,58 <6,07 <0,34

- arrivé à une certaine hauteur solaire, entre les deux ciel au différent système.

Le tableau démontre que le pourcentage des différents moments dans l'ensemble que la Zone de confort est très faible si en le compare par à la zone au dessous de la zone de confort cela l'ensemble des usagers interrogés sont très gênés par les réflexions des rayons solaires direct sur le tableau. Ceci peut s'expliqué à travers y compris le positionnement et le dimensionnement du light shelf cela nous donne l'inconfort dans les salles des classe

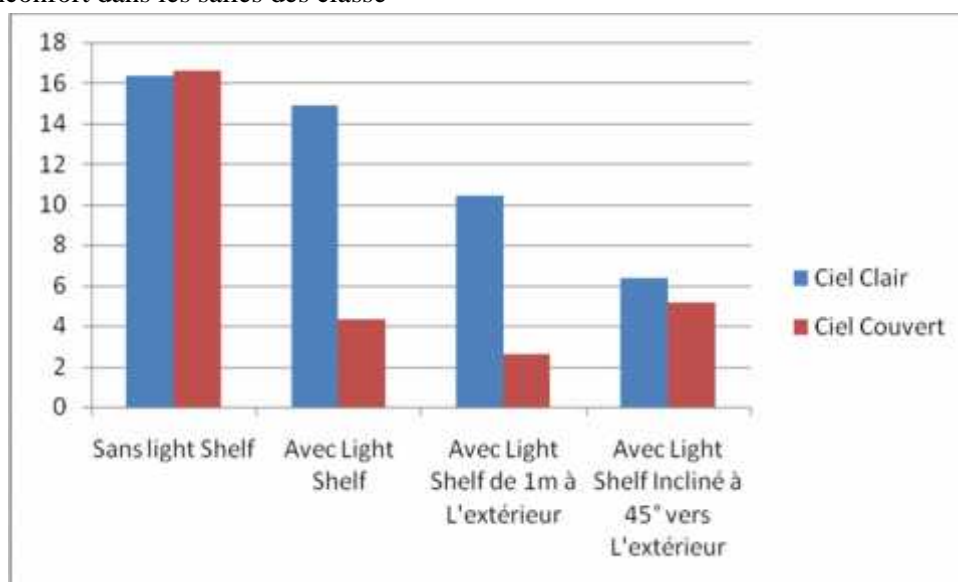


Figure 27: comparatif du niveau de confort avec les différents systèmes utilisés

comme nous pouvons le voir dans l'histogramme ci dessus le niveau de confort a baissé avec le light shelf est cela est plus marqué sous ciel couvert ou l'eclaircement est indirect par la voute du ciel, pour le ciel clair il donne une baisse nos substentielle dans sa forme horizontale.

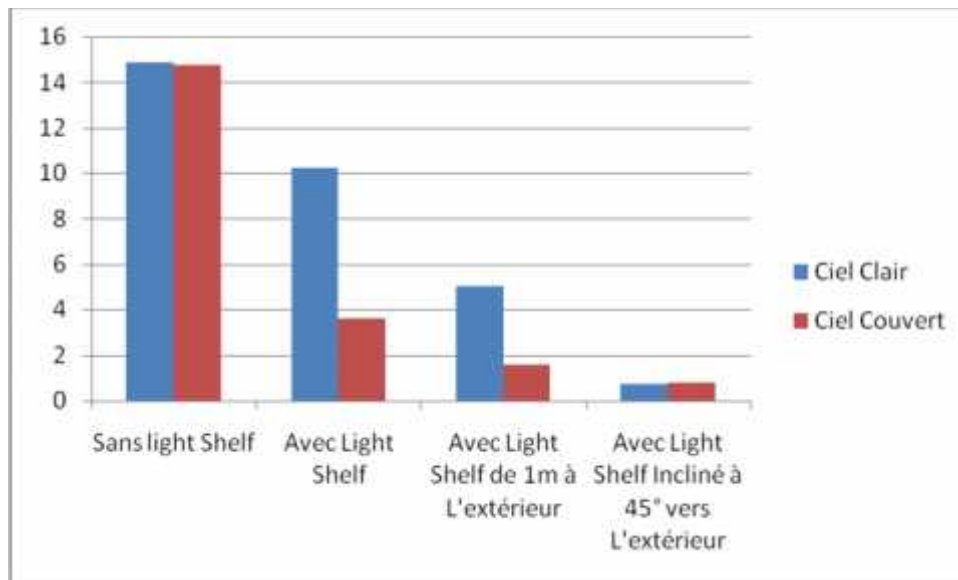


Figure28 : comparative des niveaux d'éblouissement avec les différents systèmes par contre dans la figure n28 nous remarquons que le niveau d'éblouissement a baissé de façon significative de 14.86 % à 0.74 %; ici le light shelf joue son rôle de protection par contre ne joue pas le rôle de réflecteur permettant une augmentation du niveau d'éclairage au fond de la salle.

IV/Recommandations pour les futurs établissements scolaires ou d'enseignement en général:

- Après l'ensemble des évaluations qu'on a effectuées sur les différentes typologies du système light shelf sous le climat lumineux d'Alger on est arrivé aux résultats suivants :
- Les différentes positions et dimensionnements du système light shelf sont incompatibles avec le climat lumineux d'Alger
- Le système light shelf réduit l'effet d'éblouissement dans les salles de classe orientées nord-est/sud-ouest
- le système light shelf réduit aussi les niveaux d'éclairage lumineux à l'intérieur des salles de classe sous le climat lumineux d'Alger et par conséquent réduit le confort visuel
- le système light shelf n'assure pas le confort visuel dans les salles de classe sous le climat lumineux d'Alger
- Aucune typologie adaptée du système light shelf au climat lumineux d'Alger n'a pu assurer un confort visuel dans la salle de classe
- Couleur : Employer des couleurs claires de bonne réflectivité pour les surfaces internes des salles de classe. La couleur blanche fournit un avantage global en reflétant la radiation solaire qui serait autrement absorbée et réfléchie en bas vers le local.
- Occultation :
 - Prévoir des protections solaires pour les vitrages Sud constituées de débords de toiture, mais ces derniers ne doivent pas être surdimensionnés car ceci baissera aussi bien la pénétration de la lumière du jour que l'avantage du chauffage solaire passif.
 - Utiliser en cas de besoin des cloisons internes blanches pour bloquer le rayonnement solaire direct, diffuser la lumière et réduire l'éblouissement.
 - Utiliser des cloisons translucides pour réduire le contraste.

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

Conclusion generale:

En Algérie, plus du quart de la population est sur les bancs des écoles, collèges, lycées et universités. De nombreuses recherches sur l'éclairage naturel dans les salles de classe ont affirmé que la lumière naturelle a des effets positifs et significatifs sur les performances intellectuelles des élèves, leur santé et leur assiduité.

L'objectif de notre étude consiste donc à tester l'efficacité du système light shelf dans les salles de classe sous le climat lumineux de la ville d'Alger. Ce type d'éclairage pourrait répondre aux problèmes de confort visuel constamment renouvelé dans nos constructions scolaires, notamment les problèmes d'uniformité, d'éblouissement et de surchauffe estivale. Pour cela, nous avons procédé à une évaluation dans les salles de classes orienté vers la plus défavorable orientation du lycée de Shawla à Alger qui sont éclairées par utilisant le light shelf et ses différentes types comme un dispositif pour résoudre le problème d'éblouissement arrivant a la zone de confort, Cette évaluation, quantitative, s'est basée sur une campagne de simulation à l'aide du logiciel (3DS Max Désign) en différentes périodes de l'année académique.

Cette évaluation nous a permis de constater que les conditions d'éclairage naturel des salles de classe n'étaient pas très confortables visuellement. D'une part, le light shelf l'un des systèmes de contrôle d'éclairage naturel le plus utilisé en architecture et que l'on retrouve régulièrement dans les projet d'établissements scolaires européens .Ce système est conçu pour fournir des niveaux d'éclairement plus élevés et plus profonds dans l'espace pendant les heures d'exploitation optimale de la lumière du jour durant toute l'année. Ainsi, il permet d'obtenir un bon facteur de lumière du jour et d'atteindre le confort visuel par la réduction des effets d'éblouissement et de contrastes, son rôle pour réduire la consommation d'énergie ainsi que le rapport du climat avec sa conception. Nous concluons que les performances lumineuses du système light shelf et ses différentes positions et dimensionnent sont incompatible avec le climat lumineux d'Alger; ce travail effectué dans le cadre d'un master 2 nous a permis d'entrevoir la complexité d'une recherche sur l'éclairage naturel , et nous ouvre des perspectives de recherche dans ce domaine dans l'ambition de trouver un système efficace sous nos latitudes permettant a la fois de réduire l'éblouissement tout en préservant un éclairage suffisant dans les salles de classes

I/INTRODUCTION

Nous passons plus de 90% de notre vie à l'intérieur de bâtiments. Il est donc primordial d'y trouver un niveau de confort optimum, sinon au moins acceptable.

Le confort visuel est ainsi l'une des principales composantes du confort d'un bâtiment. Il résulte d'un équilibre entre éclairage naturel et éclairage artificiel, mais aussi de la relation intérieur/extérieur et de l'ambiance lumineuse générale.

Le traitement de l'éclairage naturel est prioritaire pour de multiples raisons :

- Intérêt psychophysiologique par le rôle bactéricide de la lumière naturelle, par ses variations selon les heures de la journée et par son rendu des couleurs. La qualité "spectrale" de la lumière naturelle ainsi que sa variabilité et ses nuances offre une perception optimale des formes et des couleurs et améliore le confort des occupants.
- Intérêt économique (et environnemental) par la réduction des consommations d'énergie électrique. Cette réduction contribue également à diminuer les gains internes produits par l'éclairage artificiel et donc les éventuels besoins en rafraîchissement.

Une utilisation maximale de la lumière naturelle s'impose donc en toute logique pour limiter les dépenses d'énergie de l'éclairage artificiel. L'éclairage naturel ne peut cependant être dissocié de l'éclairage artificiel qui en constitue ainsi le complément.

La qualité lumineuse des espaces provient de l'adéquation entre l'activité définie d'un local, la quantité de lumière, sa couleur, sa variabilité et les contrastes plus ou moins forts qu'elle crée. Vu cette multiplicité de facteurs, on ne peut pas "mesurer le confort" de façon globale. A travers cette recommandation, vous trouverez néanmoins des indications sur la façon de maximiser la quantité de lumière naturelle, d'éviter les phénomènes d'éblouissement et de choisir le système d'éclairage adéquat.

Cette recommandation abordera principalement le confort visuel à travers la valorisation de l'éclairage naturel sous l'angle du confort, de la santé et des énergies renouvelables.

Dans les bâtiments tertiaires, la part de l'éclairage artificiel peut représenter jusqu'à 40 % de l'électricité consommée [ADEME, 2007] [GREENLIGHT, 2002] ; d'où l'importance de la maîtrise de l'éclairage naturel dans la conception bioclimatique. Les effets moins aisément quantifiables de la lumière naturelle sur le bien-être, la santé et la productivité sont également à prendre en considération.

Le rapport de l'architecture à la lumière du jour marque souvent les moments décisifs de son évolution. Le rôle de la lumière est déterminant dans la conception de l'espace, sa perception, sa symbolique.

- Durant l'antiquité, le seul moyen de faire entrer la lumière naturelle à l'intérieur d'un bâtiment était à l'aide de percements.
- Durant la période des Lumières (dont l'impact dépasse le domaine de l'architecture), la Raison, la Science remplacent la vérité divine pour éclairer l'humanité. Elles se matérialisent en architecture par les jeux d'optiques, de perspectives, de miroirs, de rythme et de trompe l'œil.
- L'époque moderne bénéficie des progrès techniques de l'industrie verrière. Les sheds des ateliers industriels apparaissent dès la première moitié du XIXe siècle sur les toitures des fabriques de textile en Angleterre.
- Le progrès technique permet aussi à la fée électricité d'apporter de l'éclairage artificiel. En 1879, Thomas Edison développe l'ampoule électrique. L'architecture à la fois se libère des besoins d'éclairage naturel et s'appauvrit par la disparition des multiples formes imaginées pour y répondre.
- Durant la première moitié du XXe siècle, Le Corbusier prône le principe de lumière naturelle en continu. Dans ses « cinq points d'une architecture moderne » (1927), le Corbusier propose la fenêtre en longueur rendue possible par la construction en acier et en béton armé. Opposées aux fenêtres classiques verticales, elles améliorent l'éclairage naturel avec une radicalité presque hygiéniste. Pourtant dès 1923, il donne une définition intemporelle de l'architecture comme le « jeu savant, correct et magnifique des volumes sous la lumière. » Les appartements des Cités Radieuses construites au début des années 1950 sont souvent traversant, plutôt profonds et étroits qui offrent un accès à la lumière naturelle dans la plupart des espaces.
- L'architecture contemporaine joue avec la lumière naturelle de multiples manières. Pour Louis Kahn (1901-1974), la lumière ajoute à la monumentalité des espaces, il définit l'architecture comme « le seuil entre le silence et la lumière » [Editions du Linteau, 1996].
- Le XXIe siècle impose des exigences plus fortes aux architectes et aux autres acteurs de la construction, en matière de respect de l'environnement et de lutte contre le dérèglement climatique. Ces exigences offrent également de nouvelles opportunités d'inventions architecturales.

Aujourd'hui, chaque architecte est convaincu de l'impérieuse nécessité d'adopter une démarche de développement durable dans sa vie de citoyen comme dans son exercice professionnel. Même si cette formulation galvaudée recouvre encore de multiples interprétations.

L'introduction de ces démarches est de plus en plus courante précisément dans le secteur de l'habitat, on trouve des maisons construites suivant la HQE (haute qualité environnementale),

et d'autres qui visent plutôt les deux systèmes de l'architecture durable. Cependant, la mise en œuvre des démarches bioclimatiques et du développement durable prennent un retard au niveau des équipements, notamment les équipements scolaires.

C'est pour cela que dans l'esprit de développer cette vision il ya lieu de commencer à récénces les lacunes décelées dans l'application du développement durable et la HQE [Et sa dixième cible qui a pour objectif d'assurer, non seulement une relation visuelle satisfaisante avec l'extérieur, mais surtout un éclairage naturel optimal en termes de confort et de dépenses énergétiques, ainsi qu'un éclairage artificiel satisfaisant et en appoint de l'éclairage naturel. Pour les établissements d'enseignement, il est une cible importante puisque le travail scolaire consiste à capter, à retenir et à assimiler une multitude d'informations, dont 65% sont visuelles.] Dans le secteur des équipements en Algérie.

L'intention que nous portons dans cette recherche concerne l'éclairage naturel dans les équipements scolaires, plus précisément dans les salles de classe. Pour cela nous allons travailler sur notre projet de fin d'étude qui a été déjà conçu dans l'option bioclimatique, en prenant en compte lors de sa conception l'intégration des éléments bioclimatiques Notre travaille s'articulera autour du système light shelf et son objectif d'apporter la lumière du jour au fond de l'espace et, par conséquent, assure le confort visuel par l'obtention d'un niveau d'éclairement uniforme et la réduction de la consommation d'électricité.

II/Présentation du Master :

II.1/Préambule :

Pour assurer la qualité de vie des générations futures, la maîtrise du développement durable et des ressources de la planète est devenue indispensable. Son application à l'architecture, à l'urbanisme et à l'aménagement du territoire concerne tous les intervenants : décideurs politiques, maitres d'ouvrage, urbaniste, *architecte*, ingénieurs, paysagiste,...

La prise en compte des enjeux environnementaux ne peut se faire qu'à travers une démarche globale, ce qui implique la nécessité de sensibiliser chaque intervenant aux enjeux du développement durable et aux tendances de l'architecture écologique et bioclimatique.

Pour atteindre les objectifs de la qualité environnementale, la réalisation de bâtiments bioclimatique associe une bonne *intégration au site*, *économie d'énergie* et emploi de *matériaux sains et renouvelable* ceci passe par une bonne connaissance du site afin de faire ressortir les potentialités bioclimatiques liées au climat et au microclimat, sans perdre de vue l'aspect fonctionnel, et l'aspect constructif.

La spécialité proposée permet aux étudiants d'approfondir leurs Connaissances de l'environnement physique (chaleur, éclairage, ventilation, acoustique) et des échanges établis

entre un environnement donnée et un site urbain ou un projet architectural afin d'obtenir une conception en harmonie avec le climat.

La formation est complétée par la maîtrise de logiciels permettant la prédétermination du comportement énergétique du bâtiment, ainsi que l'établissement de bilan énergétique permettant l'amélioration des performances énergétique d'un bâtiment existant.

II.2/ Objectifs pédagogiques:

Le master ARCHIBIO est un master académique visant la formation d'architectes, la formation vise à la fois une initiation à la recherche scientifique et la formation de professionnels du bâtiment, pour se faire les objectifs se scindent en deux parties complémentaires :

- la méthodologie de recherche : initiation à l'approche méthodologique de recherche problématique; hypothèse, objectifs, vérification, analyse et synthèse des résultats.
- la méthodologie de conception : concevoir un projet en suivant une démarche assurant une qualité environnementale, fonctionnelle et constructive.

II.3/Méthodologie :

Après avoir construit l'objet de l'étude, formulé la problématique et les hypothèses, Le processus méthodologique peut être regroupé en cinq grandes phases:

1- *Elaboration d'un cadre de référence* dans cette étape il s'agit de recenser les écrits et autres travaux pertinents. Expliquer et justifie les méthodes et les instruments utilisés pour appréhender et collecter les données

2- *Connaissance du milieu physique et des éléments urbains et architecturaux d'interprétation appropriés*: connaissance de l'environnement dans toutes ses dimensions climatiques, urbaine, réglementaire;... pour une meilleur intégration projet.

3- *Dimension humaine, confort et pratiques sociale* : la dimension humaine est indissociable du concept de développement durable, la recherche de la qualité environnementale est une attitude ancestrale visant à établir un équilibre entre l'homme et son environnement, privilégier les espaces de socialisation et de vie en communauté pour renforcer l'identité et la cohésion sociale.

4- *Conception appliquées" projet ponctuel "*: l'objectif est de rapprocher théorie et pratique, une approche centré sur le cheminement du projet, consolidé par un support théorique et scientifique, la finalité recherchée un projet bioclimatique viable d'un point de vue fonctionnel, constructif et énergétique.

5- *Evaluation environnementale et énergétique* : vérification de la conformité du projet aux objectifs environnementaux et énergétique à travers différents outils : référentiel HQE, bilan thermique, bilan thermodynamique, évaluation du confort, thermique, visuel,...

III/PROBLEMATIQUE GENERALE

Durant des millénaires, l'Homme était tributaire de la lumière naturelle qui constituait sa seule source d'éclairage nécessaire pour effectuer les différentes tâches et activités quotidiennes. Avec l'invention de la lampe à Tungstène par l'américain Thomas Alva Edison¹

En 1879 et son succès commercial accumulé dès le début du 20^{ème} siècle, l'éclairage électrique associé aux nouvelles technologies, a profondément bouleversé les techniques de construction et considérablement atténué le besoin de disposer de prises de jour pour la pénétration de la lumière naturelle.

Mais aujourd'hui, l'énergie électrique commence à poser de sérieux problèmes en Algérie à cause de la forte demande qu'elle suscite. Il devient donc important d'inciter les citoyens à l'usage rationnel de celle-ci, aussi bien dans les lieux domestiques que dans les espaces de travail, d'enseignement...etc. Ceci est d'autant plus impératif que le « développement durable » exige de minimiser les recours aux énergies non renouvelables tels que le pétrole, le gaz...qui sont appelés à disparaître dans quelques décennies.

En matière d'éclairage, ceci se traduit par une exploitation optimale de la lumière naturelle, mais il se trouve que cette dernière, qui est largement disponible dans notre pays, contrairement à beaucoup d'autres, est très mal sinon insuffisamment exploitée.

Or, comme le souligne la plupart des chercheurs, l'éclairage naturel est recherché et même indispensable à l'Homme car, il joue un rôle très important non seulement dans le domaine de la vision, mais également sur le plan biologique et psychologique des individus. A ce sujet, SELKOWITZ affirme que l'éclairage naturel a non seulement un impact sur l'économie de l'énergie qui peut être bénéfique pour la nation entière, mais il a surtout des bienfaits psychologiques sur les occupants

De son côté, A. DE HERDE² avance que la lumière naturelle procure un rendement visuel accru et qu'elle est plus confortable pour des niveaux d'éclairement inférieurs à ceux apportés artificiellement. Pour cet auteur, la variabilité de la lumière naturelle dans le temps qui peut être considérée comme un désavantage, permet d'établir au contraire, une harmonie avec le monde extérieur et créer une ambiance intérieure plus chaleureuse. D'autre part, son caractère

¹ « Eclairage électrique » dans Encyclopédie Encarta sur CD-ROM, France: Microsoft corporation. 2004.

² DE HERDE, André & al. « Le confort visuel ». Université Catholique de Louvain La Neuve. Belgique [En ligne] <http://www-energie.arch.ucl.ac.be/eclairage/theorie/ecltheconfortvisuel.htm>

cyclique semble être un facteur important pour l'équilibre psychique des gens, de même que les ouvertures par lesquelles elle pénètre, permettent une meilleure communication visuelle avec l'environnement extérieur et une vue au loin, nécessaire au repos de l'œil après une vision rapprochée.

Pour toutes ces raisons, plusieurs recherches ont été élaborées sur l'effet de la lumière naturelle dans les locaux d'enseignement et toutes ont conclu que l'éclairage naturel dans les salles de classe augmente les performances intellectuelles des élèves, crée un environnement intérieur sain et diminue les absences des élèves et des enseignants¹, car selon L.

HESCHONG, « la lumière du jour est une chose très complexe qui affecte notre façon de voir et influence aussi nos processus biochimiques de façon à modifier notre vigilance. »²

Il faut toutefois souligner que l'admission de la lumière naturelle dans ce type de locaux doit assurer à la fois le confort visuel des usagers, mais aussi l'économie d'énergie. Pour cela, le choix de la stratégie d'éclairage naturel est très important et doit dépendre du climat lumineux de la région ainsi que des exigences de la tâche visuelle à accomplir dans ces locaux.

Nous avons constaté qu'en Algérie, comme dans beaucoup d'autres pays, un large usage du système conventionnel d'éclairage unilatéral dans les constructions scolaires et universitaires qui est, de l'avis de J.J. DELETRE³, l'un des systèmes optiques les moins performant du point de vue éclairage, notamment lorsqu'il existe des obstructions extérieures et qui, selon G. DE BRIGODE⁴, a démontré depuis fort longtemps ses limites. Ce dispositif demeure pourtant l'un des plus utilisés pour des raisons pratiques mais aussi parce qu'il permet une vue vers l'extérieur. Dj. ROUAG⁵ de son côté, dans sa thèse de doctorat traitant des conditions d'éclairage des salles de classe dans les écoles primaires à Constantine, a soulevé les multiples problèmes rencontrés suite à l'usage de ce type de dispositif d'éclairage naturel, à savoir les problèmes d'ensoleillement direct, d'éblouissement et de surchauffe estivale. Contrairement à l'éclairage bilatéral qui est une solution remédie au défaut majeur que pose l'éclairage unilatéral. En effet, selon A. VANDENPLAS⁶, la profondeur des pièces éclairées par un dispositif bilatéral peut atteindre facilement quatre fois la distance entre le plafond et le

¹ Lighting Research Center. Guide for daylighting schools. Raleigh : Innovative Design. 2004, p 4.

² GROUPE HESCHONG MAHON. Daylighting in schools: An Investigation into the Relationship Between Daylighting and Human Performance. Ed. Pacific Gas and Electric Company, U.S.A, Juin 1999, p 64.

³ DELETRE, J.J. Mémento de prises de jour et protections solaires. Grenoble : Ecole d'Architecture de Grenoble. 25/11/03, p 2.

⁴ DE BRIGODE, Gérard. L'architecture scolaire. Paris : Presses universitaires de France. 1966, p 35.

⁵ ROUAG, Djamilia. Sunlight problems within new primary school classrooms in Constantine, Thèse de Doctorat, Constantine: Université Mentouri de Constantine, Avril 2001, p 124-127.

⁶ 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.

plan utile. Ce qui permet d'éclairer efficacement un local de dimensions plus importantes que celles permises par un éclairage unilatéral toutefois, la pénétration ainsi que l'uniformité de l'éclairage naturel peuvent être améliorées par l'utilisation de dispositifs de déviation de la lumière naturelle comme le light-shelf, il procure un éclairage plus uniforme et réduit les contrastes ainsi que les risques d'éblouissement et par conséquent, assure le confort visuel des occupants. Face à cet important résultat, la question qui se pose c'est de savoir **Comment le light-shelf peut-il améliorer l'éclairage naturel dans les salles de classe sous le climat lumineux d'Alger ? Quel type de light-shelf est le plus adapté au climat lumineux d'Alger ?** Si ce dernier est aussi performant pour l'éclairage des salles de classe sous un climat lumineux particulier tel que celui de la ville d'Alger. Si la réponse est positive, on peut alors constituer une solution nouvelle à des problèmes très souvent renouvelés dans les bâtiments scolaires et universitaires dans notre pays.

Pour vérifier cela, nous allons travailler sur notre projet de fin d'étude intitulé la conception d'un lycée d'enseignement général (HQE) à Saoula et nous avons choisis comme un terrain d'investigation les salles de classe 1er, 2 eme année secondaire qui sont éclairées par un dispositif d'éclairage naturel bilatéral, et qui sont ouvertes sur la façade NORD-EST (orientation favorable) et la façade SUD-OUEST (orientation défavorable).

Note : les façades SUD-OUEST sont protégées horizontalement et verticalement par une double casquette, Un auvent en béton blanc et une étagère à lumière afin d'éviter l'effet d'éblouissement.

Les étagères à lumière <<light shelf>>: cassent, renvoient les rayons solaires vers le milieu du plafond pour diffuser la lumière.

IV/HYPOTHESES DE LA RECHERCHE

Nous avons proposé une série d'hypothèses qui vont nous aider à mieux cerner le champ de notre problématique. Ces hypothèses sont constituées d'une hypothèse principale qui est : Le dispositif d'éclairage naturel bilatéral avec l'usage d'un Light-Shelf dans les salles de classe assure le confort visuel des occupants, Il constitue par conséquent une stratégie efficace d'éclairage naturel sous le climat lumineux particulier de la région.

Et des hypothèses secondaires qui sont :

- Le light-shelf assure l'éclairage naturel dans les salles de classe sous le climat lumineux d'Alger
- Une typologie adaptée doit être choisie pour que ce système soit efficace

V/OBJECTIFS DE LA RECHERCHE

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

- Evaluer quantitativement, les performances lumineuses du système light-shelf des salles de classe afin de déceler les différents points positifs et les points négatifs de ce dispositif.
- l'effectuation de ces évaluations sur la base de différents indicateurs (éclairage lumineux, facteur de lumière du jour, indice d'uniformité, indice de vitrage...)
- En fonction des résultats obtenus, élaborer des recommandations susceptibles d'améliorer le fonctionnement de l'espace.
- établir une liste de recommandations ou de propositions concrètes pour les futures infrastructures pédagogiques quant à l'utilisation du système light-shelf.

VI/DEMARCHE METHODOLOGIQUE

1/Vérification de l'efficacité du système light shelf sous le climat lumineux d'Alger

Nous avons procédé à une simulation à l'aide du logiciel : 3DS MAX design.

Pour cela, nous allons effectuer une campagne d'évaluation des niveaux d'éclairage lumineux dans une salle de classe à différents moments de l'année et de la journée, en essayant le plus possible de faire varier les conditions climatiques et les conditions du ciel pour une plus grande fiabilité.

Ces mesures ont pour but de décrire la photométrie des locaux sélectionnés et de les comparer aux textes réglementaires et techniques élaborés par les différents organismes spécialisés. Cette comparaison nous permettra de vérifier l'efficacité du dispositif d'éclairage naturel bilatéral avec l'usage d'un light shelf.

2/proposition d'amélioration.

Nous allons tester les différents type d'installation en se basant sur les trois caractéristique suivantes : le positionnement, dimensionnement et en fin l'inclinaison

INTRODUCTION :

Avant d'étudier l'éclairage naturel des bâtiments il faut d'abord parler d'éclairage artificiel qui représente une part très importante des consommations totales d'énergie de nombreux bâtiments. Une bonne **gestion de la lumière naturelle**, alliée au contrôle de l'éclairage artificiel, présente l'avantage de réaliser de substantielles économies d'énergie, tout en améliorant **le confort visuel** des usagers, il est nécessaire de préciser les paramètres qui font l'objet de cette étude et présenter des travaux faits à ce sujet..¹

Dans ce chapitre, nous allons commencer de définir le concept de l'éclairage naturel et ses sources, mais aussi d'identifier les différents types de « prises de jour » en introduisant le confort visuel, qui permettent la pénétration de la lumière naturelle à l'intérieur des constructions la gestion optimale de l'éclairage naturel permet également de profiter des gains solaires pour réduire les consommations de chauffage ou de diminuer les surchauffes induites par le rayonnement solaire et par les apports de chaleur des lampes afin d'abaisser les charges de refroidissement du local. Ainsi, un bon éclairage naturel, un contrôle lumineux adéquat et une maintenance efficace entraînent une diminution considérable de la consommation énergétique totale d'un édifice, et pour cela critiquer les catégories d'impressions touchées par l'éclairage et résume les méthodes courantes rencontrées dans la littérature pour mesurer les perceptions visuelles.²

I.1/L'ECLAIRAGE NATUREL:

Depuis toujours, l'homme a vécu au rythme des saisons et de l'éclairage naturel. Ce n'est que depuis l'apparition des sources artificielles qu'il a étendu son rythme de vie et de travail. Néanmoins, l'éclairage naturel reste un choix prépondérant dans nombre de situations et de modes de vie. Il faut différencier deux types de sources de lumière naturelle : la lumière Naturelle directe et la lumière naturelle diffuse. Ainsi, le soleil fournit un éclairage direct, puissant et changeant, alors que le ciel est une source de lumière plutôt diffuse et stable.

L'utilisation de l'éclairage naturel apporte de nombreux avantages tant physiologiques que psychologiques :

¹ Livre Architecture et Climat - Place du Levant, 1-1348 Louvain-La-Neuve

²livre M. Bodart, A. De Herde, Guide d'aide à l'utilisation de l'éclairage artificiel en complément à l'éclairage naturel, pour un meilleur confort visuel et de substantielles économies d'énergie, Ministère de la Région Wallonne, DGTRE, Division Energie, 1999.

- La lumière fournie par le soleil et le ciel est rayonnée sur tout le spectre, ce qui rend la couleur des objets réelle.
- La lumière naturelle ne consomme pas d'énergie. La quantité de lumière disponible varie en fonction du jour de l'année, de l'heure et des conditions climatiques; dans un certain nombre de cas, la lumière naturelle peut être suffisante pour éclairer convenablement nos intérieurs
- Les ouvertures créées dans les bâtiments pour laisser entrer la lumière naturelle sont aussi des sources de vision vers l'extérieur, permettant le contact visuel et reliant les occupants intérieurs au monde extérieur. La lumière naturelle n'est cependant pas parfaite :
 - Elle change constamment d'intensité et de couleur. Il peut donc être difficile d'éclairer, de manière stable, un local uniquement à l'aide de celle-ci.
 - Elle peut atteindre de très fortes valeurs de luminance et créer un certain éblouissement (par exemple, si les rayons directs du soleil pénètrent dans un local). Il pourra donc être nécessaire de prévoir des moyens de protection vis-à-vis de cette source
- La pénétration des rayons du soleil dans un bâtiment peut également entraîner une surchauffe dans les locaux. C'est la raison pour laquelle un système de protection solaire peut être nécessaire dans certains cas.

I.1.a/Lumière naturelle (dictionnaire français) :

C'est un ensemble des différentes formes de lumière émises par le soleil, directe ou indirecte. A savoir que la lumière diffusée par le soleil mais qui est réfléchiée par un objet n'entre pas dans cet ensemble.¹

I.1.b/La lumière du jour correspond à toutes les formes de **lumières** provenant du **Soleil**, directe et indirecte (éclairage direct, rayonnement diffus du ciel). En revanche la lumière solaire diffusée ou réfléchiée par les objets de l'espace n'est pas considérée comme « lumière du jour ». Ainsi, la réflexion de la lumière sur la **Lune** n'est pas une lumière directe, Par extension, on appelle aussi lumière du jour les **températures de couleur** comprises entre 4 500 **K** et 5 500 K.

¹ <https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89eclairage> <http://littre.reverso.net/dictionnaire-francais/definition/lumi%C3%A8re%20naturelle> sites consultés le 08/04/2016 à 17h00

La lumière naturelle apparaît comme un moyen architectural particulièrement riche. Elle peut révéler un bâtiment par son action sur les espaces, les formes, les structures, les matériaux, les couleurs et les significations de l'édifice. De plus, elle est au cœur même de la définition du geste créateur: exprimer, c'est-à-dire mettre en lumière, extraire de l'ombre.

L'éclairage naturel d'une manière générale est défini comme étant l'utilisation de la lumière du jour pour éclairer les tâches à accomplir. ¹

I.2/Sources de l'éclairage naturel :

Avant de répertorier les sources de l'éclairage naturel, voyons d'abord la définition du mot « **source** ». Du point de vue de la physique, une source est « un convertisseur qui transforme une énergie en un rayonnement »². Comme nous le savons, l'Homme est exposé à une grande variété de sources d'énergie naturelles qui émettent un rayonnement sur plusieurs bandes du spectre électromagnétique ; et pour cela on peut définir les sources basique de la lumière naturel tous d'abord :

I.2.1/Le Soleil : voilà à peu près quatre milliards d'années, bien avant l'apparition du premier homme sur la terre, notre étoile, que nous appelons le soleil, inondait déjà de lumière son cortège de planètes. Depuis, notre globe tourne autour du soleil en 365 jours 6 heures 8 minutes, tout en tournant sur lui-même et en cela il nous implique des « horaires d'éclairage » variables suivant les saisons. D'ailleurs, de nos jours, l'instauration de l'heure d'été, de l'heure d'hiver reste une contrainte économique, dans laquelle la part énergétique due à l'éclairage n'est pas négligeable.

-Et aussi, il est indispensable de les classer car comme il existe des « **sources lumineuses nocturnes** », qui émettent un rayonnement électromagnétique durant la nuit et sont à l'origine de la vision dite « scotopique », tel que la lune et les étoiles ; il existe également des « **sources lumineuses diurnes** »,

(Figure1) qui émettent un rayonnement électromagnétique pendant la journée et sont à l'origine de la vision dite « photopique ».

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 2016)

² « Les sources primaires et les sources secondaires de la lumière » dans Encyclopédie ENCARTA sur CDROM, Paris: Encyclopédie Ecarta.2004.

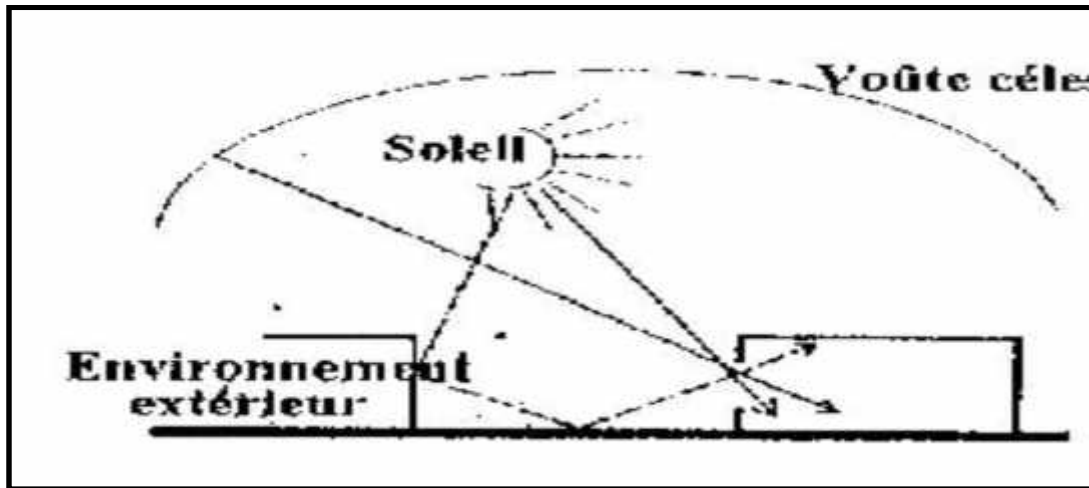


Figure 1 : Sources lumineuses diurnes.

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

Pour ce qui nous concerne, nous nous intéresserons dans cette étude uniquement aux sources lumineuses diurnes qui permettent à l'être humain de percevoir clairement son environnement et d'accomplir les différentes tâches et activités qui rythment sa vie.

Ainsi, nous avons classé les sources de la lumière diurne en deux catégories : les sources directes et les sources indirectes. 3

I.2.2/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.

I.2.2.a/Source primaire

La « **source primaire** » est une source de lumière qui émet de la lumière qu'elle a elle-même produite. Elle est visible et isolée de toute autre source lumineuse.¹ Le Soleil est une source primaire de la lumière naturelle diurne et il est à l'origine du rayonnement visible direct (figure 1.2) appelé « lumière solaire ». Quant à cette dernière, elle est définie par J. BELL et W. BURT comme étant « la partie de l'irradiation solaire qui atteint la surface terrestre sous forme de rayons parallèles et qui résulte d'une atténuation sélective par l'atmosphère ».²

¹ « Les sources primaires et les sources secondaires de la lumière » dans Encyclopédie ENCARTA sur CDROM, France : Microsoft Corporation.2016.

² J. BELL & W. BURT in ROUAG, Djamila. Sunlight problems within new primary school classrooms in Constantine. Thèse de Doctorat. Constantine : Université Mentouri, Avril 2001, p 143.

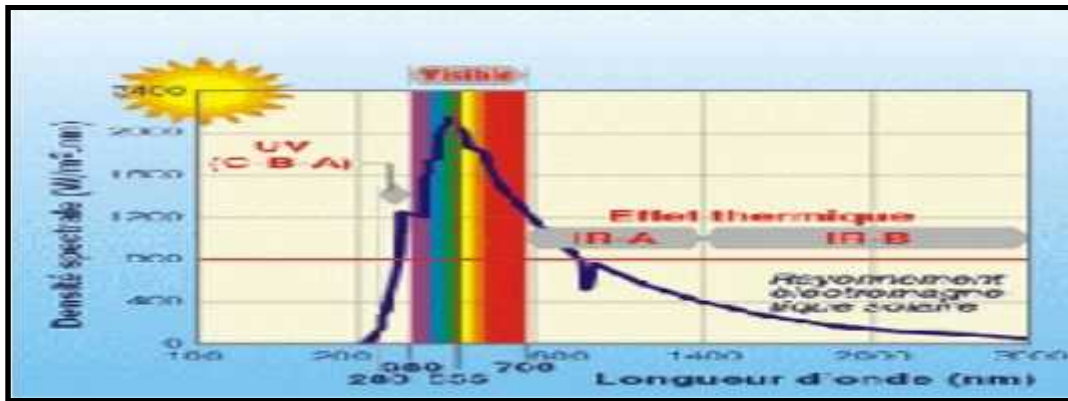


Figure 2 : Rayonnement visible direct.

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

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.

I.2.2.b/Sources secondaires

Une « **source secondaire** » est une source de lumière qui n'est visible que lorsqu'elle est éclairée par une source primaire¹, 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 ».²

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.

¹ « Les sources primaires et les sources secondaires de la lumière » dans Encyclopédie ENCARTA sur CDROM, France : Microsoft Corporation.2015.

² J. BELL & W. BURT in ROUAG, Djamila. Sunlight problems within new primary school classrooms in Constantine. Thèse de Doctorat. Constantine : Université Mentouri, Avril 2001, p 143.

De l'avis de L. MUDRI¹, 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. (voir chapitre 2, « Climat lumineux »)

I.2.3/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).

I.3/Les caractéristiques de la lumière naturelle :

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

Les grandeurs photométriques permettent de quantifier la lumière naturelle reçue par une surface :

L'éclairement, et l'impression visuelle produite : la luminance. L'éclairement est la grandeur la plus utilisée même si elle n'est pas toujours la plus adaptée pour caractériser les ambiances lumineuses.

Les objets et matériaux absorbent, réfléchissent ou transmettent la lumière naturelle de manière plus ou moins sélective. C'est notamment au travers de ces processus que sont définies les couleurs et les luminances perçues par l'œil.

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. p 1-4.

I.3.1/Facteur de lumière du jour:

Le facteur de lumière du jour peut être déterminé soit par simulation informatique, au moyen de logiciels, soit au moyen d'un modèle réduit placé sous ciel artificiel.

La **nature et la couleur des parois** vont agir sur l'ambiance et le niveau d'éclairage. Il faudra veiller, au cours du temps, ou dans le cas d'un rafraîchissement des locaux à ne pas négliger ce paramètre.

D'une manière générale, comme pour l'éclairage artificiel, on recommande de choisir des couleurs claires pour les plafonds et les zones situées près des sources lumineuses, des couleurs assez claires pour les murs et des couleurs relativement plus foncées pour le sol.

Dans une habitation, la lumière naturelle du jour peut être de trois types¹:

- Lumière du Soleil directe : lumière vive et chaude.
- Lumière diffuse, appelée aussi lumière du ciel : lumière plus douce pouvant éclairer une pièce de manière plus homogène (telle celle apportée par le conduit de lumière).
- Lumière réfléchi sur différentes surfaces : lumière qui éclaire les pièces en profondeur

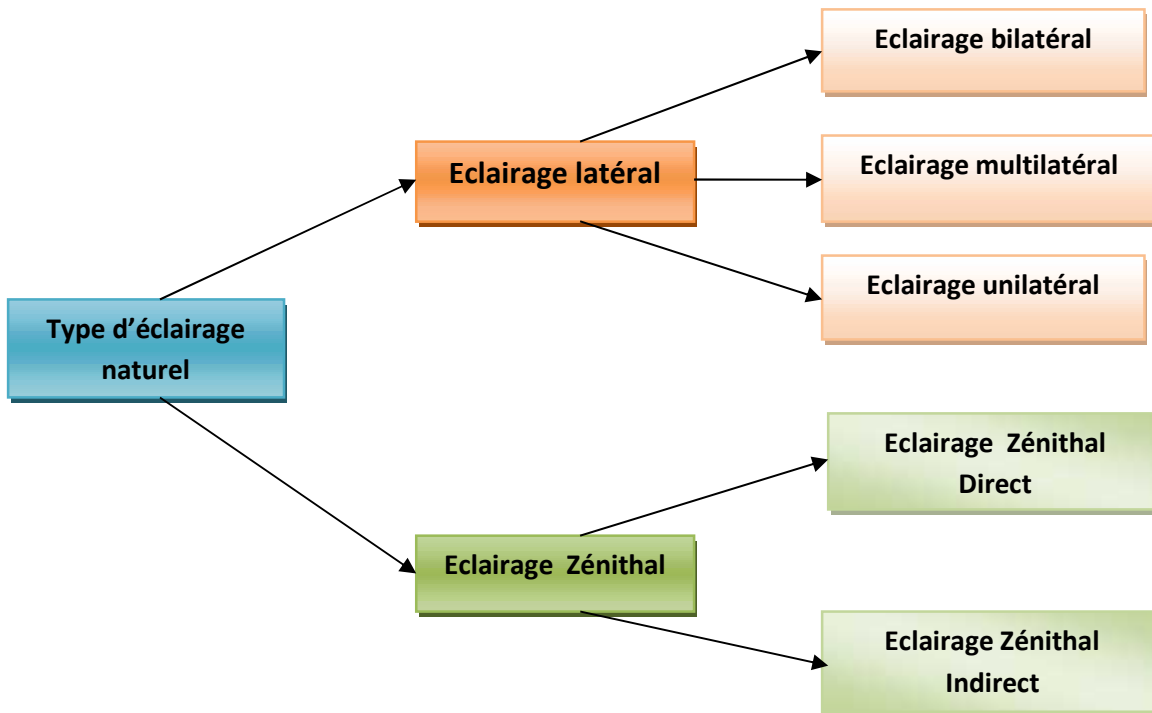
I.4/Type d'éclairage naturel :

Le type d'éclairage naturel est défini par la position des prises de jour qui le procure et qui peuvent être placées soit en façades (éclairage latéral ou éclairage bilatéral), soit en toiture (éclairage zénithal), leurs fonctions restent les mêmes. La prise de jour est cependant un des plus complexes et coûteux composants du bâtiment à cause du grand nombre de rôles contradictoires qu'elle doit jouer tels que l'éclairage et l'occultation, la vue sur l'extérieur et la recherche d'intimité, la pénétration du soleil et la protection solaire, et enfin, l'étanchéité et la ventilation.

En effet, il a toujours été difficile de répondre à toutes ces demandes et certaines priorités dominent chaque conception ; car en plus des qualités techniques nécessaires pour assurer le confort thermique, visuel et parfois acoustique, la prise de jour doit définir l'organisation de l'espace intérieur et situer l'entrée de la lumière naturelle.

Par conséquent, il est préférable lors de la conception des ouvertures de séparer la fonction « visuelle » qui est la vue vers l'extérieur, des fonctions « énergétiques » de la fenêtre qui comprend l'éclairage, le chauffage et la ventilation, puisque la conception d'une prise de jour adaptée à une fonction, n'est probablement pas adaptée aux besoins des autres.

Il existe plusieurs types d'éclairage naturel comme les suivants :



I.4.1/Eclairage latéral :

L'éclairage latéral caractérisé par l'usage de prises de jour en façade est associé, selon C. TERRIER et B. VANDEVYVER¹, aux locaux de faible hauteur sous plafond : de 2,50 mètres à 3 mètres. Ce système optique est, d'après J.J. DELETRE², 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 extérieur. C'est pourtant l'un des plus utilisés, notamment dans les constructions scolaires, pour des raisons pratiques mais aussi parce qu'il permet la vue vers l'extérieur.

I.4.1.a/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, dues aux allèges 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 1.17, car il est fortement influencé par la profondeur du local.

¹ 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 2015)

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

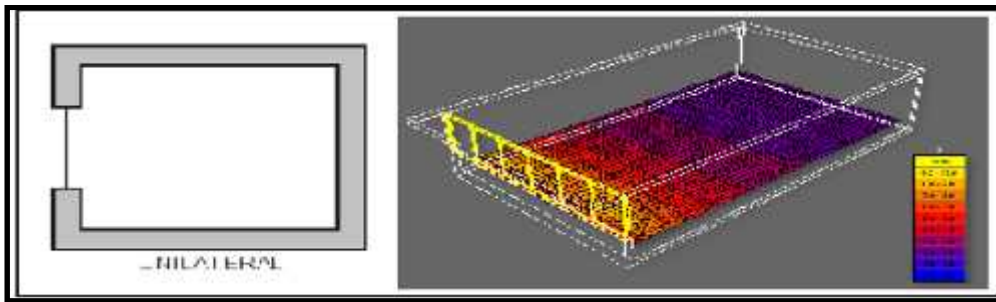


Figure 3 : Performances lumineuses d'un dispositif d'éclairage unilatéral.

Source : [www.squ1.com]

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 4), les dispositifs anidoliques (Figure 5), ou bien les verres prismatiques qui, grâce à leurs propriétés physiques, dirigent une partie de la 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 réfléchiée vers l'arrière du local ainsi que les niveaux d'éclairage.

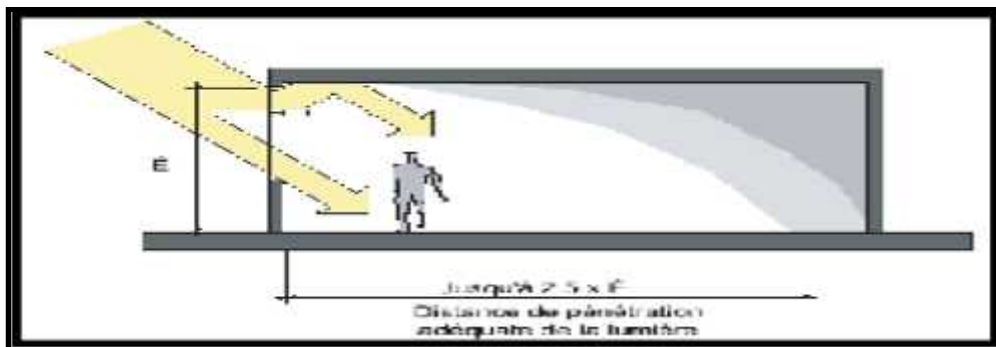


Figure 4 : Pénétration approximative de la lumière naturelle

Avec l'usage d'un « **light shelf** ». Source : K. ROBERTSON, 2003.

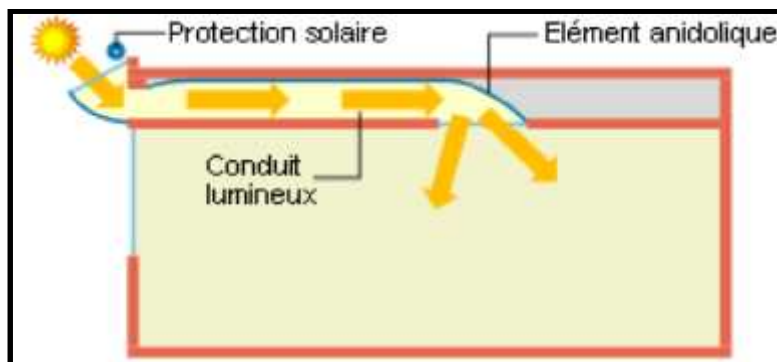


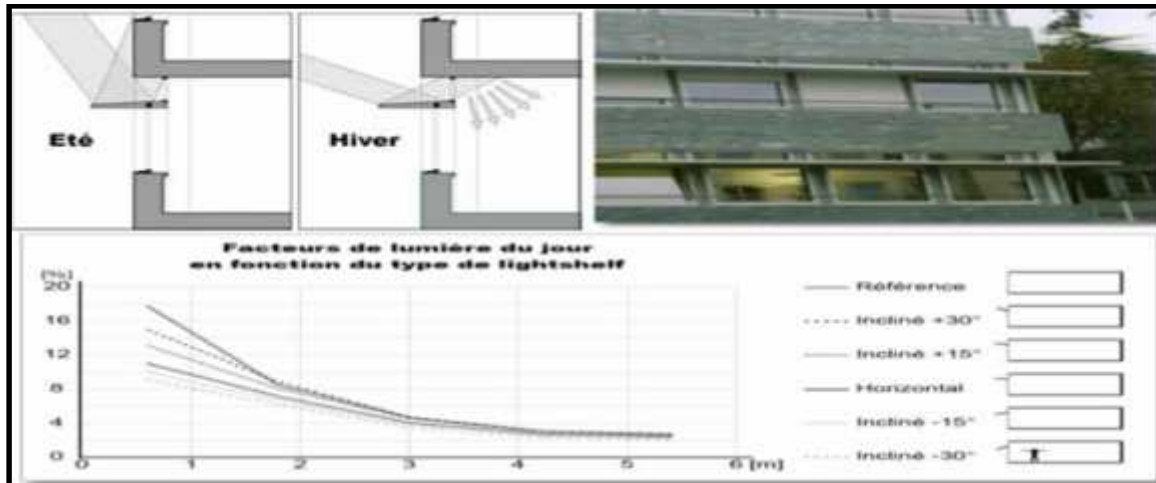
Figure 5 : Dispositif anidolique.

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

Light shelf :

Une étagère à lumière est une surface horizontale qui reflète la lumière du jour en profondeur dans un bâtiment. Étagères lumineuses sont placées au dessus du niveau des yeux et ont haute réflectance des surfaces supérieures, qui reflètent la lumière du jour sur le plafond et plus profondément dans l'espace. C'est étagères légères sont généralement utilisées dans les gratte-ciel et de faible hauteur des immeubles de bureaux, ainsi que des bâtiments institutionnels. Cette conception est généralement utilisé sur le côté orienté vers l'équateur de la construction, qui est l'endroit où se trouve un ensoleillement maximum, et par conséquent est la plus efficace. Non seulement les étagères lumineuses permettent à la lumière de pénétrer dans le bâtiment, ils sont également conçus à l'ombre près des fenêtres, en raison de l'excédent de la tablette, et aider à réduire l'éblouissement fenêtre. Étagères extérieures sont généralement des dispositifs d'ombrage plus efficaces que les tablettes intérieures. Une combinaison de tablettes intérieures et extérieures qui fonctionnera le mieux pour fournir un gradient même illumination.¹

- La mise en œuvre d'un bandeau-lumineux (ou lightshelf) permet de réduire les niveaux d'éclairage près de la fenêtre, tout en maintenant la quantité de lumière disponible en fond de pièce.²



- ✓ 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. WRIGHT³ a trouvé que la largeur idéale d'une aile d'un bâtiment disposant d'un éclairage

¹ https://en.wikipedia.org/wiki/Architectural_light_shelf

² Livre Dispositif d'éclairage naturel ; UE-M : Espace et lumière: Le projet d'éclairage de Bernard PAULE (EPFL-ENAC 2007)

³ WRIGHT, Frank Loyd in SCHILER, Marc. Simplified design of building lighting, New York- Chichester- Weinheim- Brisbane- Toronto-Singapore: John Wiley & Sons .INC, 1992, p87.

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 6) en créant des puits de jour qui laissent pénétrer la lumière naturelle et évitent les masses sombres.

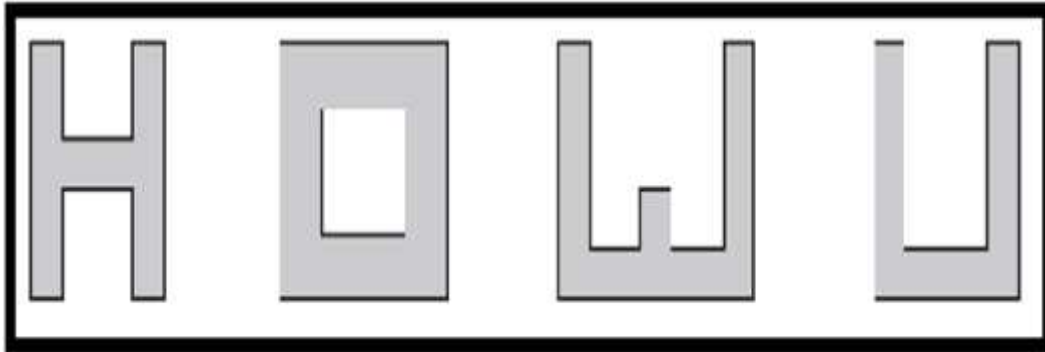


Figure 6 : Empreintes de bâtiments éclairés unilatéralement.

Source : I. PASINI, 2002.

-Les différentes composantes du light-shelf

Le light shelf est une surface horizontale composée de deux parties, la première se trouve à l'intérieur et apparaît comme un plateau éclairé ; la deuxième est à l'extérieur et joue le rôle d'ombrage (cette partie peut être exclue dans certaines régions).

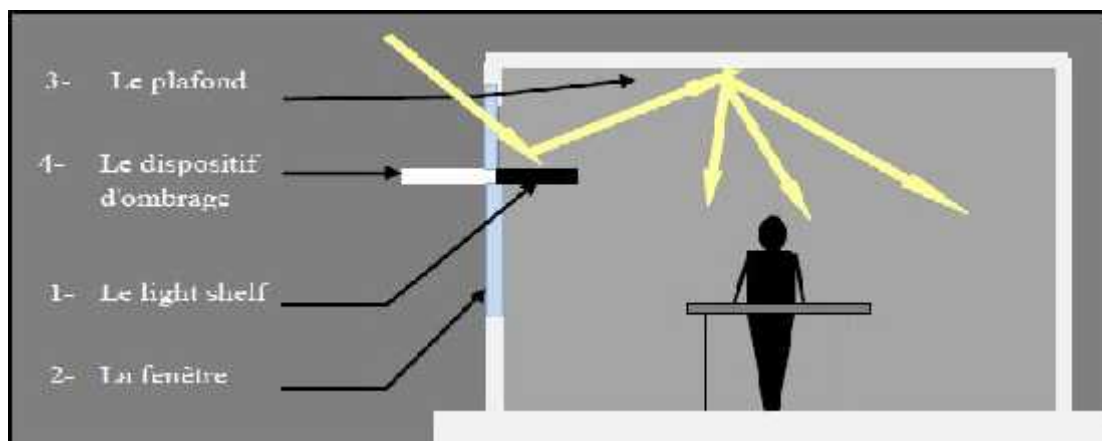


Figure 7 : Les différents composants du système light shelf

-Les différents types de système light shelf existants

Il existe plusieurs types de light shelf qui sont classés suivant différents paramètres : selon son inclinaison, sa position à l'intérieur et/ou à l'extérieur de la fenêtre, sa forme (droite ou incurvée) comme on peut avoir un light shelf combiné.

I.4.1.b/Eclairage bilatéral

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

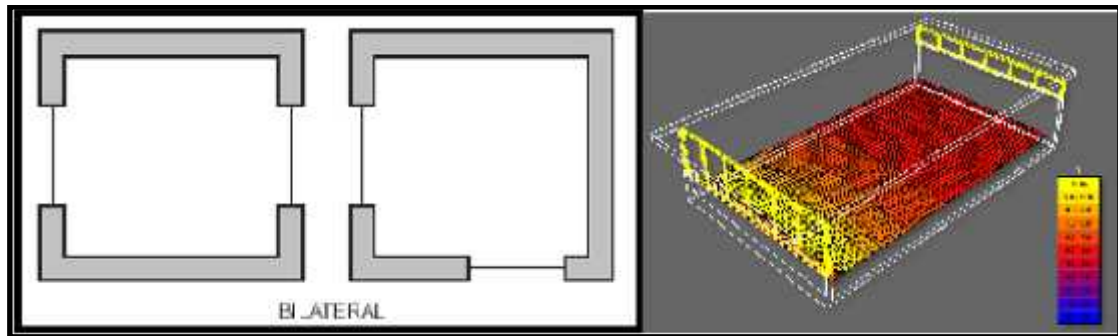


Figure 8 : Dispositifs d'éclairage bilatéral et ses performances lumineuses.

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

Cette solution remédie au défaut majeur que pose l'éclairage unilatéral. En effet, selon A. VANDENPLAS¹, 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.

I.4.1.c/Eclairage multilatéral

L'éclairage multilatéral présente de nombreux avantages, notamment:

- Favoriser la ventilation naturelle transversale des pièces en la doublant ou en la triplant.
- Les ouvertures réduisent les ombres denses et augmentent les contrastes à l'intérieur des pièces.
- Les ouvertures réduisent le risque d'éblouissement du ciel en augmentant l'éclairement des murs de fenestration.

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

I.4.2/Eclairage zénithal :

D'après C. TERRIER et B. VANDEVYVER², le recours à l'éclairage zénithal est indispensable pour les constructions dont la hauteur sous plafond est supérieure à 4,50 mètres.

¹ 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.

² 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 2015)

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

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

1. Il faut assurer un éclairage naturel suffisant dans les locaux de moyenne et de grande hauteur. Pour atteindre cet objectif, la surface des parties transparentes ou translucides est l'élément essentiel.
2. Il faut éviter les effets négatifs de l'éblouissement et du rayonnement solaire direct.
3. Il faut prévoir le nettoyage intérieur et extérieur dans des conditions de sécurité satisfaisantes par un choix approprié des matériaux (vieillessement, résistance...) et des accès aux faces intérieures et extérieures.
4. Enfin, il faut assurer l'évacuation des fumées en cas d'incendie. La surface minimale des exutoires de fumée doit être de 1 % de la surface du local et ne doit pas être située exclusivement sur la toiture.

I.5/Impact de l'éclairage naturel en milieu scolaire :

L'impact de l'éclairage naturel sur les performances intellectuelles des écoliers a constitué un sujet d'intérêt durant plusieurs décennies. Dès 1965, dans une compilation d'études sur les classes sans fenêtres, C.T. LARSON¹ 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 ».

De son côté, B. COLLINS², interpellée par la tendance de la conception des écoles et tous les types de bâtiments sans fenêtres aux Etats Unis, a conduit en 1974 une révision majeure de la littérature traitant des fenêtres. Elle cite d'un livre concernant les aspects comportementaux de la conception qui a conclu que les fenêtres ne sont pas nécessaires dans les classes : «aujourd'hui, les partisans des fenêtres manquent encore de données comportementalistes à l'appui de leur conviction et argumentent sur la base de métaphores et de suppositions, mais leurs arguments doivent s'appuyer sur des statistiques ». Ce même auteur a affirmé plus loin

¹LARSON, 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.

² COLLINS, B. Windows and People: a Literature Survey, Psychological Reaction to Environments With and Without Windows. National Bureau of Standards. 1975, p5.

que : “les opposants aux écoles sans fenêtre puisent maintenant dans le besoin de communion avec la nature, le contact avec l'extérieur et la variation du stimulus qui est plus difficile à mesurer et dont l'importance n'est pas aisément apparente.” COLLINS, elle-même, a trouvé que les recherches qui avait été faites jusqu'en 1974 étaient suggestives de l'importance des fenêtres, mais pas concluantes.

Depuis l'étude de Collins, 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 NOVITSKY¹ pour le Département de l'Éducation de l'Alberta, au Canada, a examiné l'impact de quatre différents systèmes d'éclairage artificiels sur les résultats scolaires, la santé et l'assiduité à l'école chez les élèves de l'élémentaire. Pour cela, des médecins, des éducateurs, des travailleurs sociaux, des diététiciens et des dentistes ont contribué à l'étude. L'hypothèse nulle énonçait que le type de lumière n'avait aucun effet marquant sur les résultats scolaires des élèves, sur leur croissance et leur développement, l'assiduité et l'historique dentaire. Mais l'étude a démontré que les élèves, sous la lumière à spectre complet se rapprochant le plus de la lumière naturelle avec des traces d'ultraviolet ont:

1. appris plus vite.
2. mieux réussis.
3. grandi plus vite.
4. eu 1/3 moins d'absences dues à la maladie.
5. eu 2/3 moins de caries dentaires.

SYNTHESE ECLAIRAGE NATUREL

Les ouvertures bilatérale s'ouvrent sur la totalité sur deux faces contiguës dans les salles de classe entraîne des risques d'éblouissement élevée en direct ou par réflexion. ; Elles induisent par conséquent une large pénétration de la lumière naturelle. La distribution lumineuse

¹ 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.

obtenue par ce type d'ouverture est également beaucoup plus homogène que celle produite par une fenêtre.

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 bilatérales en façade Sud transmettent un maximum de rayons solaires en hiver, ce qui favorise l'usage d'un Light-Shelf dans les salles de classe, tout en limitant les pénétrations estivales et les surchauffes qu'elles induisent.

Les ouvertures latérales et les ouvertures zénithales ont donc un comportement radicalement divergeant en ce qui concerne la sélection des pénétrations solaires. Le choix entre ces deux types d'éclairage naturel lors d'une conception architecturale doit dépendre principalement du « climat lumineux » de la région.

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 **salles de classe** qui assureront le « confort visuel » de ses occupants, à savoir les étudiants et les enseignants.

INTRODUCTION

La réglementation en matière de techniques du bâtiment est complexe et en constante évolution et couvre tous les domaines de la construction, notamment celui de l'éclairage dont les règles, qui sont indiquées par type d'activité ou de locaux, sont censées couvrir les besoins des tâches habituelles effectuées dans ces locaux.

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 salles de classe qui serviront de base à notre évaluation du dispositif d'éclairage naturel dans les salles de classe.

1-Objectifs de la réglementation de l'éclairage

D'après H. LAEDLEIN¹, les objectifs d'une réglementation technique de l'éclairage dans le bâtiment sont les suivants :

- Assurer le confort visuel des occupants.
- Assurer la sécurité des occupants contre tous risques possibles. Cet aspect est traduit par de très nombreux textes, notamment ceux qui traitent de « l'éclairage de sécurité » des bâtiments.
- Assurer à l'occupant des conditions d'hygiène acceptables, notamment en ce qui concerne le rapport minimal de la surface des ouvertures à la surface du plancher des locaux à éclairer (indice de vitrage).
- Assurer la pérennité et la durabilité de la construction et de ses installations

2-Outils de la réglementation de l'éclairage

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

3-Réglementation relative à l'éclairage des salles de classe

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.

Pour notre étude, nous nous intéresserons à la réglementation de trois pays en particulier, à savoir: la France, la Belgique, et enfin, l'Algérie pour des fins de comparaison.

3.1- La Réglementation française

Comme nous l'avons souligné dans le paragraphe consacré aux outils de la réglementation, la France à recours dans sa réglementation technique de la construction aux textes législatifs,

¹ LAEDLEIN, Hervé, guide pratique du constructeur. Série CATED. Paris : Eyrolles. 1979, p 3-4.

aux normes établis par l'Association Française de Normalisation (AFNOR), ainsi qu'aux textes techniques qui regroupent à la fois le D.T.U (documents réglementaires unifiés), les Règles Professionnelles établies par les professionnels (AFE, PROMOTELEC) et les Avis Techniques établis par le C.S.T.B.

3.1.1-Textes législatifs

Etablis par le Ministère de l'Education Nationale¹, il existe trois textes relatifs à l'éclairage des locaux d'enseignement :

1. L'arrêté ministériel du 30 mars 1965 (B.O. n°15 du 22 avril 1965) qui définit des niveaux d'éclairage en service, de confort visuel et d'entretien pour la construction neuve.
2. La circulaire n°77-408 de l'éducation nationale du 27 octobre 1977 (B.O. n°41 du 17 novembre 1977) qui conseille, pour des raisons d'économies d'énergie, le remplacement progressif des lampes à incandescence par des tubes fluorescents.
3. La circulaire n°80-182 du 24 avril 1980 qui conseille le montage en duo des tubes fluorescents (éclairage électrique).

Parmi ces trois documents officiels, nous avons constaté que l'arrêté ministériel du 30 mars 1965 (B.O. n°15 du 22 avril 1965) relatif aux établissements scolaires et universitaires fournit le plus d'indications sur les exigences du confort visuel dans les salles de classes en termes de niveaux d'éclairage (Tableau1), de répartition des luminances et d'éblouissement.

Type de local	Eclairage lumineux (Lux)	
Classes et salles de cours	Minimum	Recommandé
Eclairage sur les tables des élèves	150	300
Eclairage sur les tables des maîtres	200	400
Dans les classes des élèves amblyopes	400	700
Tableaux noirs ou colorés	300	500

Tableau 1 : Niveaux d'éclairage en service exigés dans les salles de cours par le Ministère de l'Education Nationale. (France)

Pour l'équilibre des luminances, l'arrêté ministériel⁸ exige les rapports de luminance suivants :

- Entre la tâche visuelle et le champ central : 1 à 1/3
- Entre la tâche visuelle et le champ périphérique : 1 à 1/10
- Entre la tâche visuelle et le champ total : 1 à 1/100

¹ 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>.

Quant aux revêtements des salles de cours, les facteurs de réflexion exigés par l'arrêté ministériel sont indiqués dans le tableau 2

Surface	Facteur de réflexion
Plafonds	0,75 à 0,85
Murs au voisinage des foyers lumineux	0,60 à 0,7
Murs éloignés des foyers lumineux	0,40 à 0,50
Dessus des tables de travail	0,40 à 0,50
Sols	0,20 à 0,30

Tableau 2 : Facteurs de réflexion recommandés par le Ministère de l'Éducation Nationale.

Pour réduire les risques d'éblouissement dans les salles de cours, le Ministère de l'Éducation Nationale exige le contrôle:

1. De la luminance des foyers de lumière : dans le cas des foyers constitués par des enveloppes en matière diffusante, il ne faut utiliser que des appareils de luminance inférieure à 0,2 candela par cm². Dans le cas de l'utilisation de réflecteurs, les sources lumineuses devront être masquées à la vue directe.
2. De la position des foyers : il est recommandé de disposer les foyers lumineux à une hauteur telle que la ligne droite joignant les yeux des élèves (en position de travail) à un foyer, fasse un angle minimum de 30° avec le plan horizontal qui passe par l'œil de l'élève (en position de travail).
3. De la luminance du fond et de l'environnement : réduire les contrastes entre les foyers et le fond sur lequel ils sont vus. A cet effet, les surfaces voisines des appareils devront être peintes en teintes claires et mates.
4. Des reflets gênants : supprimer les reflets gênants en adoptant des positions de foyers telles que des images gênantes ne puissent se produire. De plus, il faut utiliser des revêtements suffisamment mats pour les murs, plafonds, sols, tables de travail, bâtis de machines, etc.

Quant au mode d'éclairage électrique, l'arrêté ministériel permettait l'usage des sources à fluorescence aussi bien que les sources à incandescence car leur rayonnement ultraviolet était considéré comme négligeable et les inconvénients qui pouvaient résulter du phénomène de papillotement pouvaient être aisément éliminés par des montages appropriés. Cet arrêté exige également que tout le matériel d'éclairage électrique doit être accessible afin de permettre des nettoyages aisés et fréquents.

De ce qui précède, nous constatons que la majorité des prescriptions des textes législatifs français concernent plus l'installation d'éclairage électrique que l'éclairage naturel. Mais aussi que les valeurs d'éclairement en service recommandées représentent le double des éclairements minimums. Ce qui est le plus intéressant à souligner c'est que la législation française a pris en compte une anomalie de la vision connue sous le nom de « l'amblyopie » et qui fait référence à la diminution de l'acuité visuelle sans altération organique de l'oeil.¹ Des expériences ont montré qu'on pouvait réduire cet handicap en prévoyant des éclairements supérieurs de 50 à 100% à ceux recommandés pour les sujets normaux. En plus, il est recommandé que les éclairements de l'environnement ne doivent pas être inférieurs à 25% de l'éclairement de la tâche visuelle et que la luminance des luminaires ne doit pas dépasser 1000 cd/m² dans les zones où un éblouissement est possible.²

3.1.2-Textes techniques

3.1.2.1- Recommandations de l'A.F.E

L'Association Française de l'Eclairage (A.F.E) produit régulièrement des séries de recommandations relatives aux différents types d'établissements, dont celles consacrées aux établissements scolaires. Ces recommandations concernent plus particulièrement les écoles maternelles, ainsi que les établissements d'enseignement du premier et second degré dont voici quelques extraits :

a- Niveaux d'éclairement lumineux

Le tableau 3 résume les niveaux d'éclairement recommandés dans les établissements d'enseignement du premier et second degré :

Position	Eclairement moyen en service (Lux)	Eclairement moyen à maintenir (lux)
Plan de travail	400	325
Tableaux	500	425

Tableau 3 : Niveaux d'éclairement moyen recommandés par l'A.F.E

Enseignement du premier et second degré.

b- Uniformité de l'éclairage

D'après l'A.F.E³, l'indice d'uniformité (Iu) calculé pour le plan de travail ne doit pas être inférieur à 0,8. Quant au rapport des niveaux d'éclairement moyen entre la salle de classe et les locaux contigus en communication avec celle-ci, il doit être compris entre 1 et 5.

¹ « Amblyopie » dans Dictionnaire Le Petit Larousse sur CD-ROM, Paris : Larousse.

² Association Française de l'Eclairage. Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires. Paris : LUX. 1987, p9.

³ Association Française de l'Eclairage. Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires. Paris : LUX. 1987, p26.

Concernant l'éclairage vertical des tableaux, le rapport de l'éclairement minimal à l'éclairement maximal ne doit pas être inférieur à 0,5.

c- Eblouissement

D'une manière générale, la direction du regard des élèves dans les classes est horizontale. Ainsi et pour éviter tout risque d'éblouissement, l'angle compris entre la direction considérée et l'horizontale, doit être toujours supérieur à 45° (Figure 1). D'autre part, la luminance des surfaces voisines de la tâche visuelle doit être inférieure à la luminance de cette dernière, mais supérieure au tiers de sa valeur.

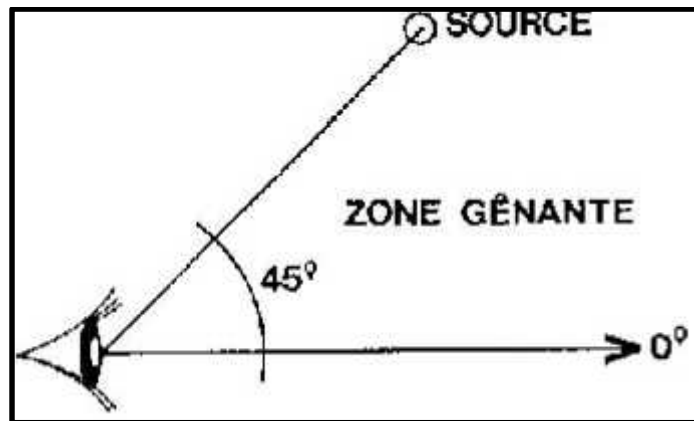


Figure 1 : Angle critique d'éblouissement.

d- Facteurs de réflexion

Les facteurs de réflexion des surfaces internes des salles de classe recommandés par l'A.F.E sont indiqués dans la figure 2:

Pour le plafond par exemple, du plâtre blanc (facteur de réflexion 0,70) ou une peinture pastel-jaune dont le facteur de réflexion est de 0.75, peut répondre à cette exigence.

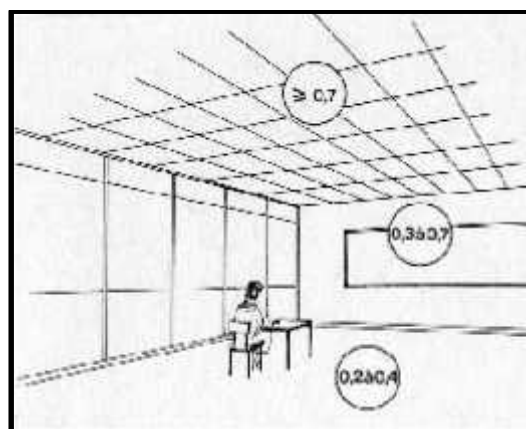


Figure 2 : Facteurs de réflexion recommandés par l'A.F.E.

3.1.2.2- Recommandations de l'association Promotelec

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 »¹ 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 Promotelec², 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'éclairement 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. Quant au facteur d'uniformité (Iu), il doit être supérieur à 0,8³. Les facteurs de réflexion retenus sont indiqués dans le tableau 4 :

Surface	Facteur de réflexion
Plafonds	0.7
Murs	0.5
Plans utiles	0.3

Tableau 4 : Facteurs de réflexion recommandés par l'Association Promotelec.

b- Eclairage des tableaux

L'éclairement moyen initial vertical sur la surface totale du tableau des salles de classe doit être d'au moins 600 lux, sans tenir compte de l'apport de l'éclairage général. D'autre part, le rapport de l'éclairement minimal sur éclairement maximal doit être supérieur à 0,5.

¹ 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>

² Association Promotelec. « Eclairage des salles de classe ». [En ligne] <http://www.promotelec.com/public/pages/eclairage.htm>

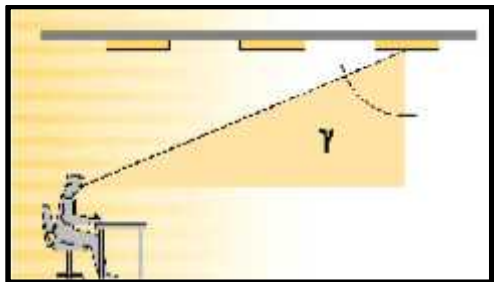
³ Association Promotelec. Label Promotelec Eclairage des salles de classe : cahier des prescriptions. Paris : Promotelec. Septembre 2002, p 5.

c- Lampes et luminaires

Les lampes recommandées par le label Promotelec sont des lampes fluorescentes tubulaires rectilignes (diamètre maximal : 26mm) ou fluorescentes compactes d'intégration, à haute efficacité. Leur température de couleur (Tc) doit être comprise entre 3000 et 4 000 °K et leur indice de rendu des couleurs (IRC) doit être supérieur ou égal à 85.

En ce qui concerne les luminaires, ils doivent être alimentés par des ballasts électroniques, de même qu'ils doivent présenter les caractéristiques suivantes pour l'éclairage général:

- ils doivent être de type « direct » ou « direct-indirect ».
- ils doivent avoir un rendement supérieur à 0,5.
- ils doivent être équipés d'optiques à miroirs longitudinaux, qui garantissent un haut facteur de réflexion.
- Pour le maintien dans le temps des propriétés de réflexion, ces optiques doivent être protégées par une oxydation anodique.
- leur luminance moyenne sous les angles précisés ci-dessous et dans le plan C=90°, ne doit pas dépasser les valeurs mentionnées dans le tableau 5:



γ	Luminance moyenne
75°	2000 cd.m ⁻²
65°	4000 cd.m ⁻²
55°	6500 cd.m ⁻²
45°	11000 cd.m ⁻²

Tableau 5 : Luminances moyennes recommandées pour les luminaires selon l'angle .

D'autre part et afin de limiter les reflets gênants sur les tables et l'éblouissement, l'association Promotelec recommande que l'axe des tubes soit parallèle à la direction d'observation privilégiée (Figure 3).

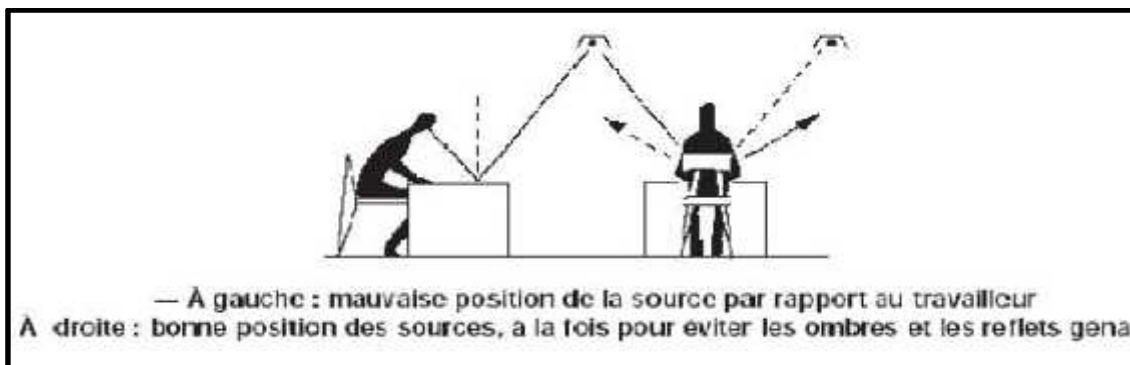


Figure 3 : Position recommandée des sources lumineuses.

3.2-La réglementation belge

3.2.1-Niveaux d'éclairage lumineux

Les valeurs d'éclairage 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 6).

Les niveaux minimums (éclairagements 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

Tableau 6 : Eclairagements lumineux recommandés dans les salles de classe.

3.2.2-Uniformité de l'éclairage

Les valeurs maximales recommandées pour les rapports de luminance dans les salles de cours sont les suivantes :

- Arrière-fond de la tâche visuelle/entourage 3/1
- Arrière-fond de la tâche visuelle/champ visuel (180°) 10/1
- Sources lumineuses/surfaces contiguës 20/1
- Pour l'ensemble de l'espace intérieur 40/1

Quant aux rapports d'éclairage lumineux, ils sont indiqués dans la figure 4:

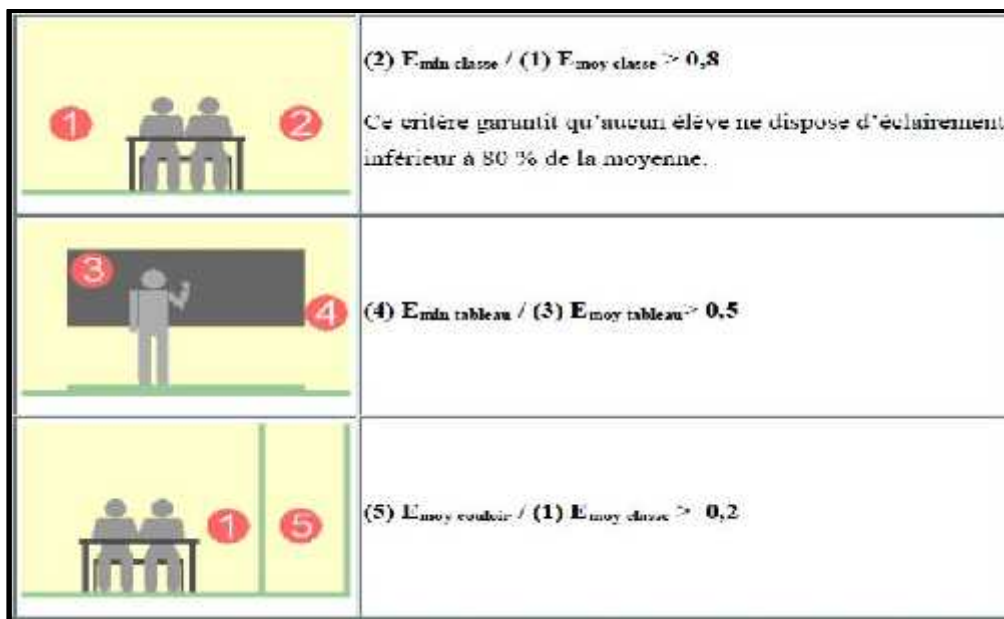


Figure 4 : Rapports d'éclairage lumineux recommandés.
Source : DE HERDE, André et al. [www-energie.arch.ucl.ac.be].

3.2.3- Indice de rendu des couleurs

Type de local	IRC	Classe de l'IRC
Classes	$90 > Ra > 80$	1B
Salles de réunion	$90 > Ra > 80$	1B
Ateliers graphiques	$Ra > 80$ (90 de préférence)	1B (1A)
Couloirs et escaliers	$60 > Ra > 40$	3

Tableau 7 : **Indices de rendu de couleur recommandés dans les salles de cours.**

Source : NBN L 13-006 [www-energie.arch.ucl.ac.be]

3.2.4-Température de couleur

Type de local	Température de couleur (K)	de
Classes	entre 2 000 et 5 000 K	blanc chaud à blanc neutre
Salles de réunion	entre 2 000 et 3 500 K	blanc chaud
Ateliers	entre 3 500 et 5 000 K	blanc neutre
Ateliers graphiques	supérieur à 3 500 K (et de préférence > à 5 000 K)	lumière du jour froide

Tableau 8 : **Températures de couleur recommandées dans les salles de cours.**

Source : NBN L 13-006 [www-energie.arch.ucl.ac.be]

3.2.5-Coefficients de réflexion

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

Tableau 9 : **Coefficients de réflexion recommandés dans les salles de classe.**

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

3.2.6- 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

3.3-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.

En matière d'éclairage dans le bâtiment, les documents réglementaires sont rares et se résument dans les deux textes législatifs qui suivent:

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

- Chaque pièce principale doit être éclairée et ventilée au moyen d'une ou plusieurs baies ouvrantes dont l'ensemble doit présenter une superficie au moins égale au huitième de la surface de la pièce.
- Cette disposition n'est pas applicable aux régions situées à une altitude égale ou supérieure à huit cents mètres, ni à la zone sud du territoire national. Un arrêté du ministère chargé de l'urbanisme précisera les conditions requises.
- Les jours de souffrance ne sont pas considérés comme des baies ouvrantes.
- Les baies donnant sur une cour fermée surmontée d'un comble vitré ou sur une courette, ne sont pas considérées comme des baies ouvrantes.
- Les pièces secondaires peuvent se ventiler sur des gaines verticales.
- Pour les habitations individuelles à simple rez-de-chaussée, les baies des pièces principales peuvent s'ouvrir sur des cours fermées ou non couvertes de quatre mètres (4 m) sur quatre (4) au minimum.
- Les baies des pièces doivent être munies de protection efficace contre le rayonnement solaire. La profondeur des pièces principales des logements à simple niveau, mesurée à partir de la face interne de la paroi éclairante, ne peut excéder deux fois et demi la hauteur sous plafond.¹

¹ République Algérienne. Codes du foncier et de l'urbanisme : recueil de textes législatifs et réglementaires de la République Algérienne. BERTI Editions. 2001-2002. p

2-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.

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.¹

¹ Ministère de l'Education Nationale in ROUAG, Djamila. Sunlight problems within new primary school classrooms in Constantine. Thèse de Doctorat. Constantine : Université Mentouri de Constantine. Avril 2001, p 13-14.

SYNTHESE ET CONCLUSION

Comme nous le constatons, la réglementation relative à l'éclairage dans le bâtiment varie d'un pays à l'autre. Cette diversité démontre que les exigences visuelles ne sont pas le seul élément déterminant de ces règles. Selon B. DENOEUDE¹, elles doivent avoir un coût économique acceptable et sont liées aux technologies disponibles.

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.

Les pays occidentaux sont très en avance en matière d'éclairage par rapport aux pays africains et asiatiques. En Algérie par contre, nous avons soulevé un manque flagrant dans la réglementation de l'éclairage, particulièrement pour les établissements d'enseignement, de même qu'une absence 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 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. Un dispositif d'éclairage bilatéral constituera peut être une solution à ces attentes. C'est ce que nous allons essayer de vérifier dans la partie pratique de notre recherche, à travers l'évaluation du système d'éclairage naturel des salles de classe.

¹ B. DENOEUDE. Ergonomie B1 : L'éclairage. Paris: Conservatoire National des Arts et Métiers.2002-2003, p90.

CHAPITRE I : ETAT DES CONNAISSANCES

CHAPITRE II : ECLAIRAGE DANS LES ETABLISSEMENTS SCOLAIRES

**CHAPITRE III : EVALUATION DU
CONFORT VISUEL DANS UNE SALLE
DE CLASSE**

Note :

Il faut créer des protections horizontales et verticales sur les façades SUD-OUEST pour éviter l'effet d'éblouissement :

Une double casquette, Un auvent en béton blanc et une étagère à lumière.

Les étagères à lumière (light-shelf): cassent, renvoient les rayons solaires vers le milieu du plafond pour diffuser la lumière.

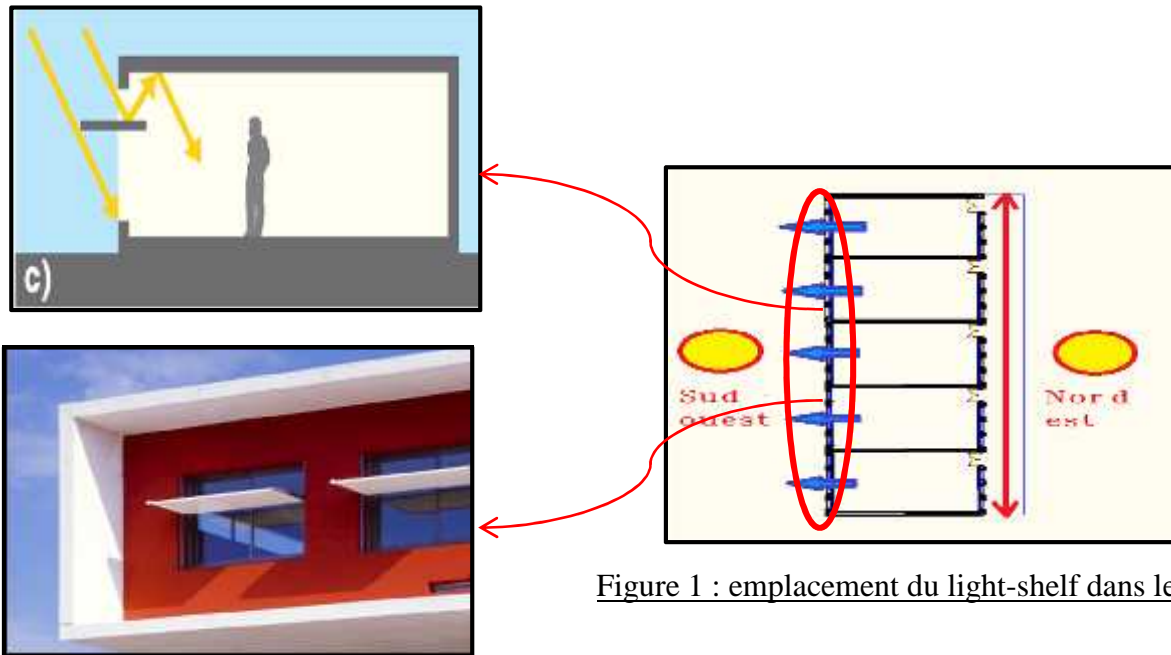


Figure 1 : emplacement du light-shelf dans le projet

-Pré-dimensionnement :

2m² par élève donc pour 30 élèves une Surface minimale de 60m².

Nous avons proposé des classes de 65m²

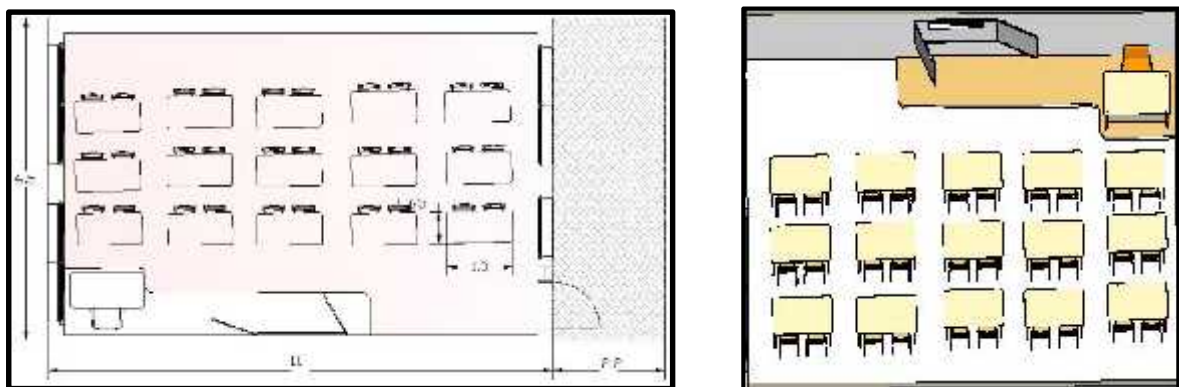


Figure 2 : pré-dimensionnement des salles de classe.

-éclairage :

L'éclairage naturel des classes est obligatoire, par contre les apports solaires directs sont généralement à éviter en raison de l'éblouissement provoqué.

Pour assurer le confort visuel, on a libéré les façades nord-est, sud-ouest.



L'éclairage artificiel représente une part très importante des consommations totales d'énergie de nombreux bâtiments. Une bonne gestion de la lumière naturelle, alliée au contrôle de l'éclairage artificiel, présente l'avantage de réaliser de substantielles économies d'énergie, tout en améliorant le confort visuel des usagers.

L'éclairage général procure un éclairage assez uniforme, comme par exemple des plafonniers qui éclairent de vastes zones.



Les couleurs :

Toutes les salles de classe seront en blanc (peinture, plafond, sol, éclairage) ce qui reflète les lumières et rend l'espace plus lumineux.



-isolation: On a aussi prévu une isolation à double vitrages pour les façades ouvertes.

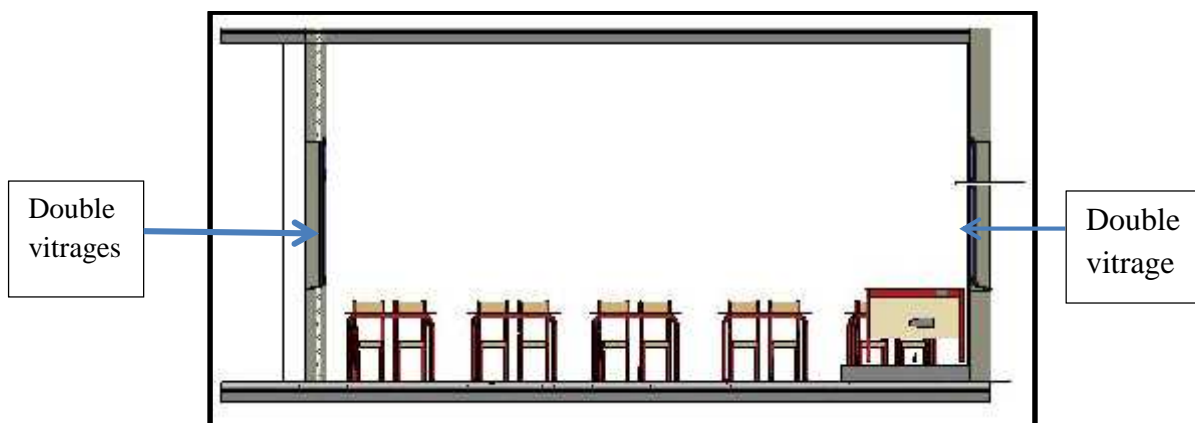


Figure 3 : isolation de parois extérieures

INTRODUCTION

La réalisation d'un projet d'architecture passe avant tout par son implantation dans un site donné, cette étude nous permet de collecter les différentes données du site.

Nous allons travailler sur notre projet de fin d'étude, un lycée d'enseignement général HQE à Saoula qui a été conçu en prenant en considération lors de sa conception l'intégration des procédés bioclimatiques

1/Situation géographique

La commune de Saoula est située à environ 11 km au sud d'Alger, sur les contre forts du sahel algérois.

Elle est limitée par : - Hydra au nord

-Birtouta au sud

- Ain Nadja à l'est

-Baba Hassen à l'ouest



Figure 1 : la carte d'Alger

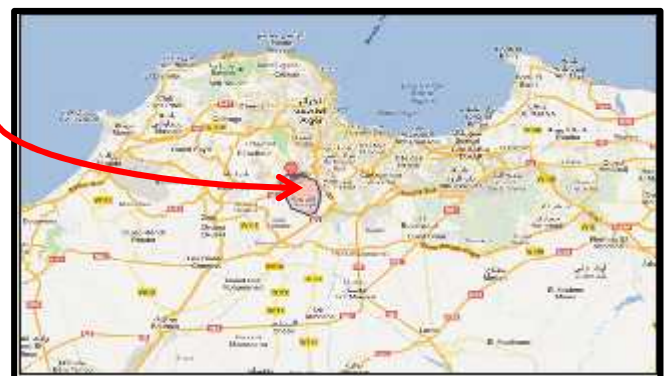


Figure 2 : limites de la commune de Saoula.

Le site d'intervention se trouve dans la commune de Saoula sur l'ancienne route de Saoula-Baba Ali dont il est accessible à partir. Le terrain est à 300 M de la bretelle de Baba-Ali avec l'autoroute Alger- Blida (RN 1) et a 500 m du dernier lotissement qui se trouve sur l'ancienne voie de Saoula, mais aussi à 3 km du centre du village de Ouled Belhadj.

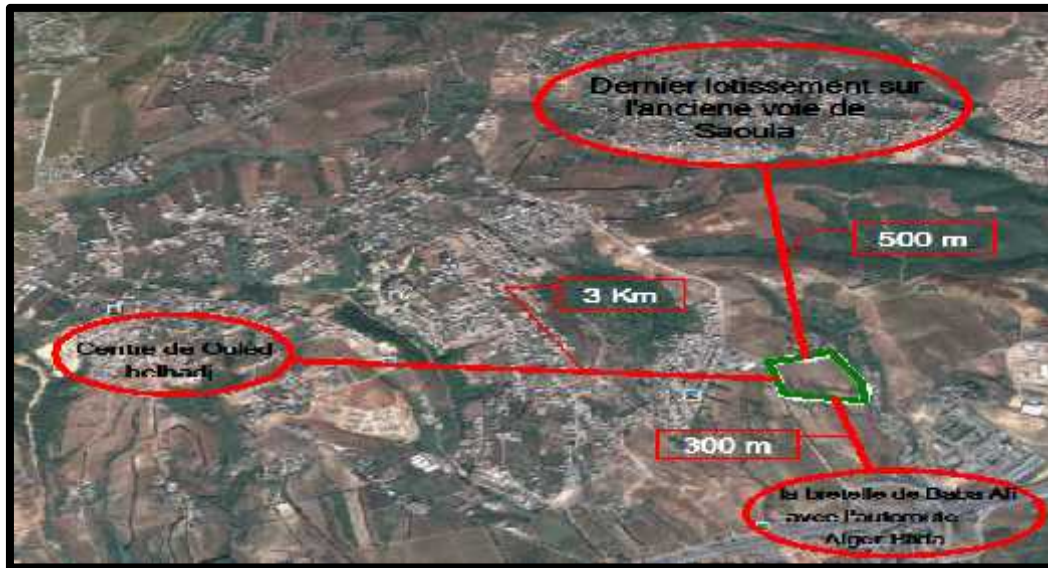


Figure 3 : la situation du site d'intervention

2/ Les données climatiques de la région

2.1/ Précipitation, température

Un climat salubre, avec des températures minimales de 7° c en hiver et des maximales atteignant 38 °c en été, ainsi que de l'eau abondante et de bonne qualité.

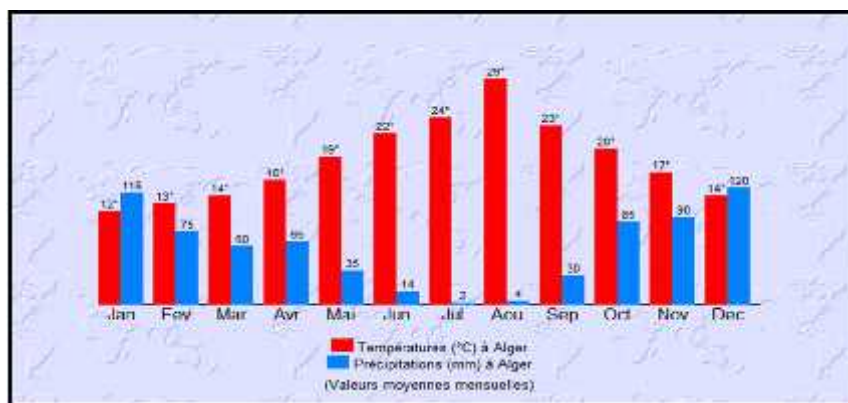


Figure 4 : Précipitation, Température annuelle de la région

2.2/ Durée d'insolation

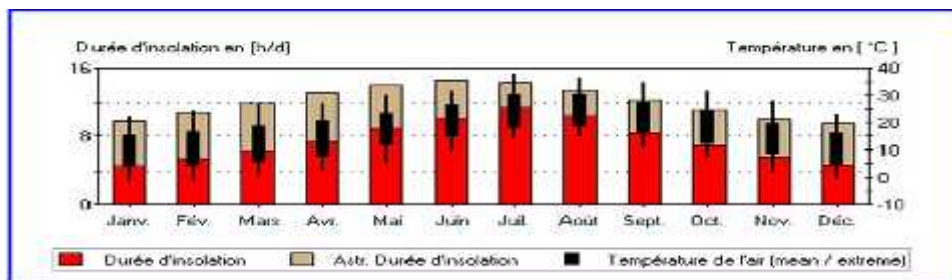


Figure 5 : Durée d'insolation mensuelle

2.3/climat lumineux

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

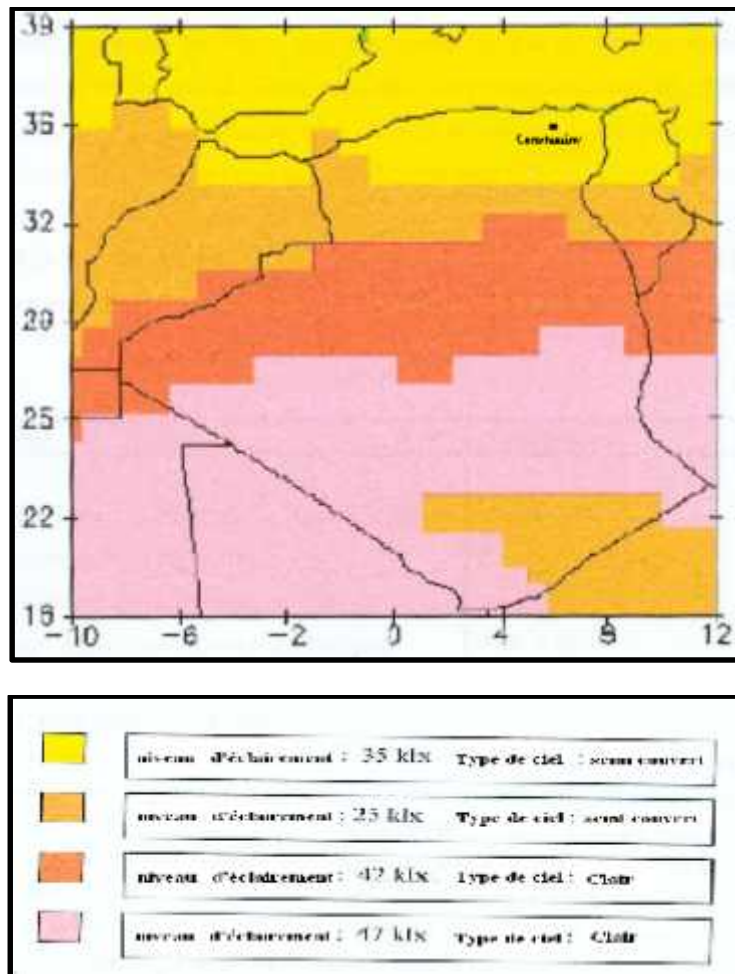


Figure 6 : Zoning de la disponibilité de la lumière naturelle en Algérie.

Source : N. ZEMMOURI, 2005.

Concernant la ville d'Alger qui est située au Nord de l'Algérie (latitude $36^{\circ}46'$, longitude $3^{\circ}03'$) et qui appartient à la première zone climatique lumineuse, elle est caractérisée par un éclairage lumineux horizontal moyen de 35 kilolux et un ciel dominant du type « partiellement couvert ».

3/Présentation du cas d'étude



Figure 7 : Vue sur l'ensemble du projet



Figure 8 : vue sur les salles de classe

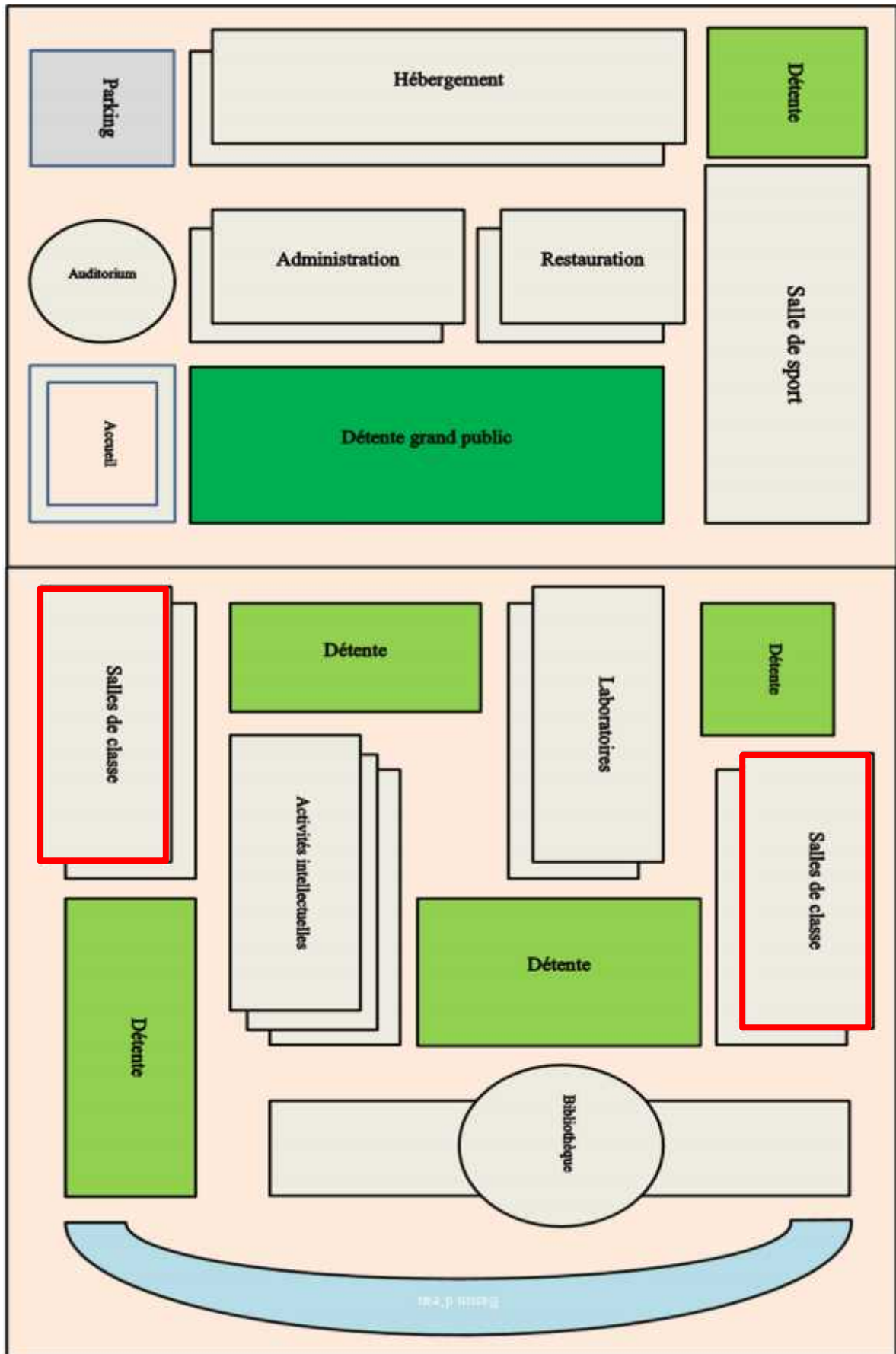


Figure 9 : Organigramme spatial

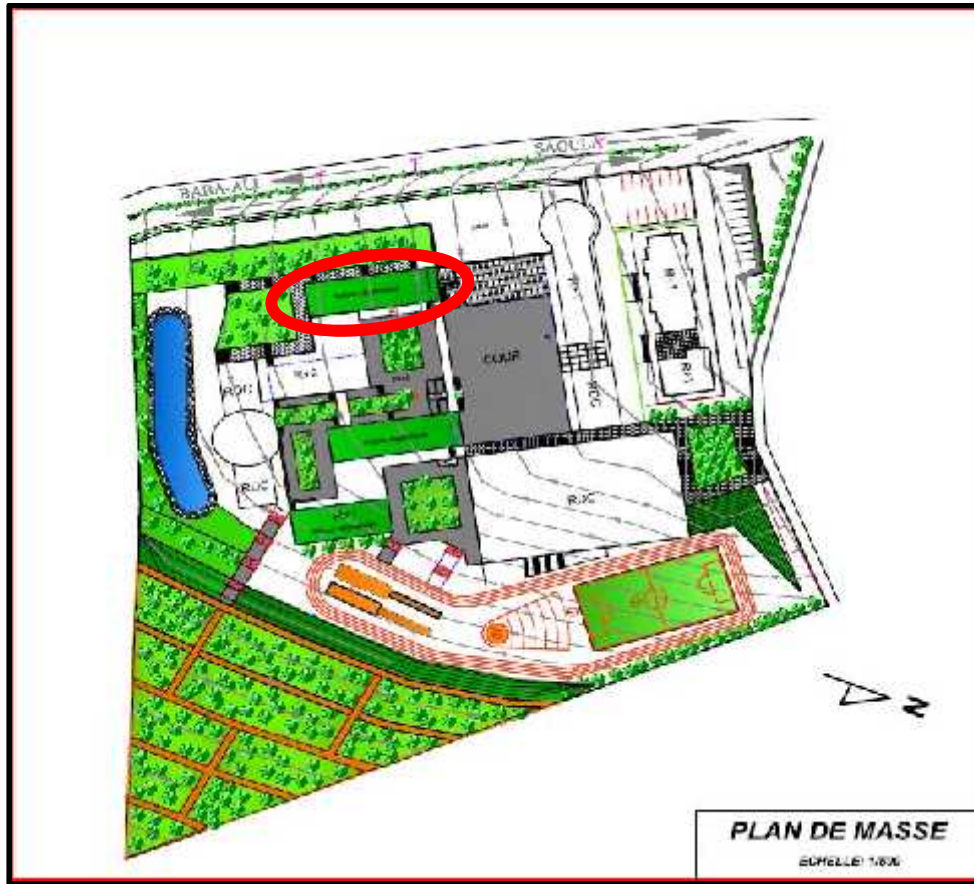


Figure 10 : plan de masse échelle 1/500

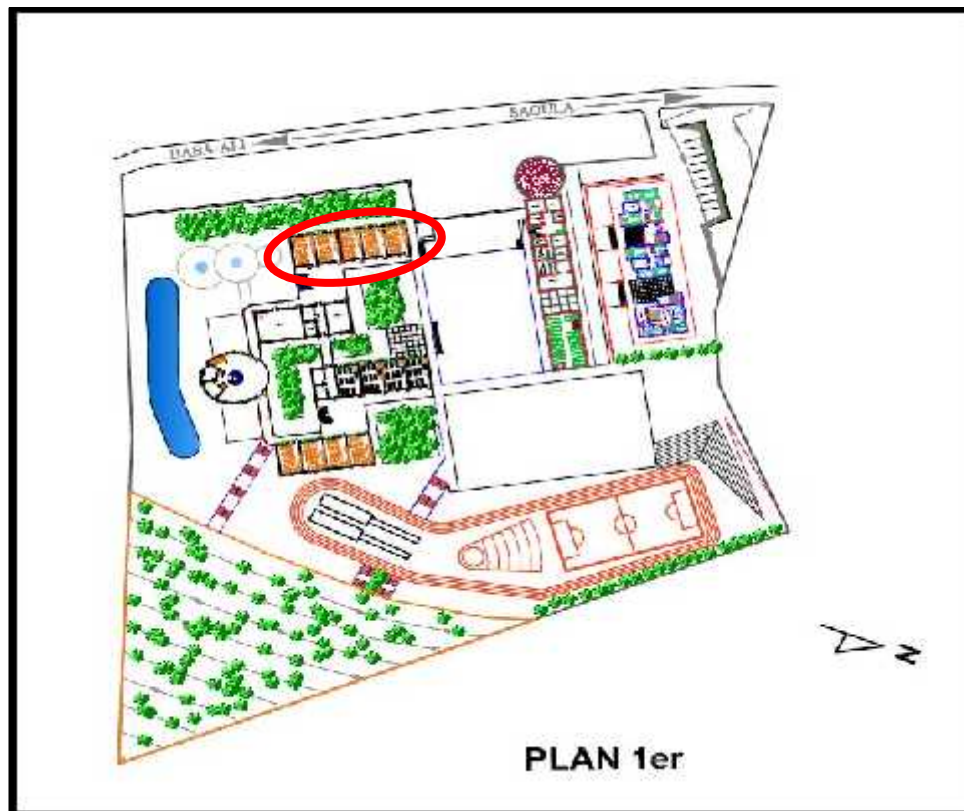


Figure 11 : plan RDC

Les salles de classe :

Les salles de classes sont l'élément principal à prendre en considération lors de cette étude parce que c'est l'unité pédagogique la plus importante dans un établissement scolaire et c'est là où l'élève passe plus de temps.

Elles doivent répondre à des exigences formelles, dimensionnelles et géométriques qui doivent être connus pour la projection d'un lycée.

-Orientation :

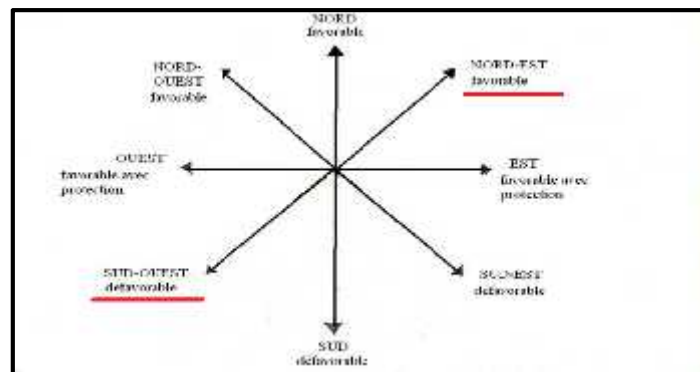


Figure 12 : les orientations favorables et défavorables d'une salle de classe.¹

Dans notre cas, les multiples constructions qui composent le lycée sont posées perpendiculairement aux courbes de niveaux, ce qui nous impose de s'ouvrir sur la façade NORD-EST (orientation favorable), et façade SUD-OUEST (orientation défavorable)

Cette orientation nous offre :

1-une possibilité de tout ouvrir sur les façades NORD-EST, SUD-OUEST ce qui nous offre une excellente ventilation et nous offre un éclairage naturel bilatéral suffisant qui assure le confort visuel de l'élève et qui économise de l'énergie.

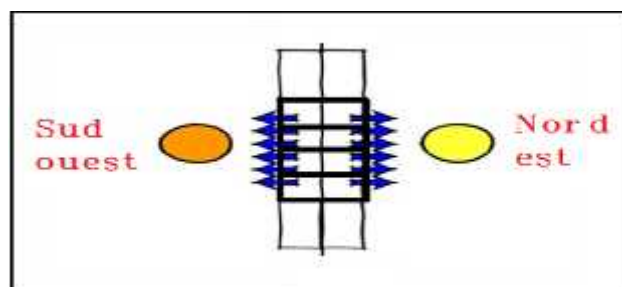


Figure 13 : orientation des salles de classe

¹ www.outilssolaires.com

BIBLIOGRAPHIE

Livre :

- DE HERDE, André & al. « Le confort visuel ». Université Catholique de Louvain La Neuve. Belgique
- DE BRIGODE, Gérard. L'architecture scolaire. Paris : Presses universitaires de France. 1966, p 35.
- A. VANDENPLAS. Comité National Belge de l'Eclairage- Bruxelles : S.I.C, 1964, p123.
- Architecture et Climat - Place du Levant, 1-1348 Louvain-La-Neuve
- M. Bodart, A. De Herde, Guide d'aide à l'utilisation de l'éclairage artificiel en complément à l'éclairage naturel, pour un meilleur confort visuel et de substantielles économies d'énergie, Ministère de la Région Wallonne, DGTRE, Division Energie, 1999.
- W. C. BROWN et K. RUBERG.** «RSB 88 : Facteurs de performance des fenêtres ». Canada.1988
- TERRIER. Christian et VANDEVYVER. Bernard.** "L'éclairage naturel", fiche pratique de sécurité, Paris : ED 82, *Travail et Sécurité*, (Mai 1999), p1
- 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.
- HETZEL. J. Haute qualité environnementale du cadre bâti : enjeux et pratiques. Paris: AFNOR. 2003.
- B. DENOEU. Ergonomie B1 : L'éclairage. Paris : Conservatoire National des Arts et Métiers. 2002-2003, p 94.
- Tony GARNIER (1869-1948) architecte Français, est considéré comme le père des écoles pavillonnaires
- LAEDLEIN, Hervé,** guide pratique du constructeur. Série CATED. Paris : Eyrolles. 1979, p 3-4

Articles :

- l'essentiel de la norme NF EN 12464-1 relative à l'éclairage des locaux d'enseignement, Patrick octobre 2013
- Société Saint Gobain. Les verres et le rayonnement naturel. Paris: Saint-Gobain, p15.
- Lighting Research Center. Guide for daylighting schools. Raleigh : Innovative Design. 2004, p 4.
- Association Française de l'Eclairage. Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires. Paris : LUX. 1987, p9.
- Association Promotelec. Label Promotelec Eclairage des salles de classe : cahier des prescriptions. Paris : Promotelec. Septembre 2002, p 5.
- République Algérienne. Codes du foncier et de l'urbanisme : recueil de textes législatifs et réglementaires de la République Algérienne. BERTI Editions. 2001-2002. P 13-14.

Thèses :

- _ROUAG, Djamilia. Sunlight problems within new primary school classrooms in Constantine, Thèse de Doctorat, Constantine: Université Mentouri de Constantine, Avril 2001, p 124-127.
- 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.

Site internet :

- <https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89eclairage> sites consultés le 08/04/2016 à 17h00
- <http://littre.reverso.net/dictionnaire-francais/definition/lumi%C3%A8re%20naturelle>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Architectural_light_shelf
- <http://www.feder-eclairage.fr/engagements/9.htm>
- <http://www.promotelec.com/public/pages/eclairage.htm>
- www-energie.arch.ucl.ac.be
- Energie+ efficacité énergétique des bâtiments tertiaires (page consultée le 04/01/2016)
- www.outilssolaires.com