



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



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

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

Option : Architecture et environnement

Thème :

**CONTRIBUTION A L'AMELIORATION DE
L'ECLAIRAGE DANS LES SALLES DE
CLASSE**

Cas des écoles primaires à Tébessa

Elaboré par :
BENDJEROUDIB Taki-Eddine

Encadré par :
LACHEHEB Sarah

Soutenu devant le jury

01- Tadjine Brahim
02- Lacheheb Sarah
03- Ahriz Atef

Président
Rapporteur
Examineur

Année universitaire 2016/2017

Remerciement

*Tout d'abord, je remercie le dieu, notre créateur, de me donner la force, la
volonté et le courage d'accomplir ce modeste travail*

*Au terme de ce travail, je tiens à exprimer d'une manière particulière,
mes sincères remerciements à mon cher encadreur, Mme Lacheheb*

Sarah

*Pour son considérable apport, ses précieuses orientations et
encouragement durant l'encadrement de ce travail*

*Je tiens également à remercier messieurs les membres du jury
Mr Tadjine Brahim et Mr Ahriz Atef*

*Pour l'honneur qu'ils m'ont fait, en acceptant de siéger à ma soutenance
et prendre la peine de lire et relire ce travail de le corriger*

*Finalement, j'exprime mes profondes gratitude à mes parents, mes
sœurs et mes proches amis, qui m'ont toujours soutenu et supporté*

Dédicace

Avec énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie,

*je dédie mon modeste travail à mes chers respectueux et magnifiques
parents, qui m'ont soutenu tout au long de ma vie, ainsi que mes sœurs*

Asma, Kacouther, Aya et mon petit ange Malek-Ritelle

*Et en particulier, mes vrais amis "Bissel", Oussama, Swisseh,
Chaouki, Roma et Takoua" et toute personnes qui m'ont encouragé et
participé à réussir ce travail*

SOMMAIRE

CHAPITRE INTRODUCTIF	1
----------------------------	---

Chapitre 01 Généralité éclairage et lumière

INTRODUCTION	4
1. LA LUMIERE EN ARCHITECTURE	4
1.1 DEFINITION DE LA LUMIERE :	4
1.2 LES SOURCES DE LA LUMIERE	5
1.2.1 LES SOURCES PRIMAIRES :	5
1.2.2 LES OBJETS DIFFUSANTS :	5
1.3 LES TYPES DE LA LUMIERE :	5
1.3.1 LA LUMIERE NATURELLE :	5
1.3.2 LA LUMIERE ARTIFICIELLE :	6
1.4 LES PARAMETRES PHYSIQUES DE LA LUMIERE :	6
1.4.1 L'ECLAIRAGISME :	6
1.4.2 LA PHOTOMETRIE :	6
LE FLUX LUMINEUX :	6
L'INTENSITE LUMINEUSE :	7
LA LUMINANCE :	7
L'ÉCLAIREMENT :	7
LE CONTRASTE :	8
LA REFLEXION DES SURFACES :	8
TEMPERATURE DE COULEUR (TC) :	9
INDICE DE RENDU DES COULEURS (IRC)	10
1.5 LE CONFORT VISUEL :	10
1.5.1 L'ÉCLAIREMENT MOYEN A MAINTENIR :	10
1.5.2 L'UNIFORMITE D'ÉCLAIREMENT :	10
1.5.3 LE RENDU DES COULEURS :	11
1.5.4 L'EBLOUISSEMENT :	11
1.5.5 LES CONTRASTES :	11
1.5.6 CARACTERISTIQUES PROPRES A L'ENVIRONNEMENT :	12
1.5.7 CARACTERISTIQUES PROPRES A LA TACHE A ACCOMPLIR :	12
1.5.8 FACTEURS PHYSIOLOGIQUES :	12

2.	L'ECLAIRAGE, TYPES ET PARAMETRES	13
2.1	L'ECLAIRAGE :	13
2.2	LA LAMPE :	13
2.3	LE LUMINAIRE :	14
2.4	TYPE D'ECLAIRAGE :	14
2.4.1	L'ECLAIRAGE NATUREL :	14
	ECLAIRAGE ZENITHAL	14
	ECLAIRAGE LATERAL :	15
2.4.2	ECLAIRAGE ARTIFICIEL :	15
	SELON LES DIFFERENTES FAMILLES DE LAMPES :	15
	TYPE SELON LA DISPOSITION PAR RAPPORT A LA TACHE :	18
	SELON LA QUANTITE DE LUMIERE DIFFUSEE VERS LE PLAN DE TRAVAIL :	19
2.4.3	ECLAIRAGE COMBINE :	20
2.5	LES PARAMETRES DE L'ECLAIRAGE :	20
2.5.1	PARAMETRES LIES A L'ESPACE A ECLAIRER :	20
2.5.2	PARAMETRES DE L'ECLAIRAGE NATUREL :	21
	TYPE DE CIEL :	21
	SAISON ET MOMENT DE L'ANNEE :	21
	HEURE :	21
2.5.3	PARAMETRES DE L'ECLAIRAGE ARTIFICIEL :	22
	CONCLUSION	22

Chapitre 02 L'éclairage dans la salle de classe

	INTRODUCTION	23
1.	L'ECLAIRAGE NATUREL DANS L'ECOLE ET LA SALLE DE CLASSE	23
2.	LA TACHE VISUELLE DANS LA SALLE DE CLASSE	24
2.1	DEFINITION DE LA SALLE DE CLASSE :	24
2.2	UNE TACHE VISUELLE :	24
2.3	LES TACHES VISUELLES DANS LA SALLE DE CLASSE :	24
3.	LE CONFORT VISUEL DANS LA SALLE DE CLASSE	25
3.1	LES PARAMETRES DU CONFORT DANS LA SALLE DE CLASSE :	26
3.1.1	UN NIVEAU D'ECLAIREMENT SUFFISANT :	27
3.1.2	L'UNIFORMITE D'ECLAIRAGE :	27
3.1.3	L'EBLOUISSEMENT :	29
3.1.4	LES OMBRES GENANTES :	30
3.1.5	RENDU ET TEMPERATURE DE COULEUR :	31
4.	METHODE D'ECLAIRAGE UTILISE DANS LA SALLE DE CLASSE	32

4.1	ECLAIRAGE GENERAL :	32
4.1.1	L'ECLAIREMENT HORIZONTAL :	32
4.1.2	FACTEUR D'UNIFORMITE :	32
4.2	ECLAIRAGE DES TABLEAUX :	33
4.2.1	L'ECLAIREMENT VERTICAL :	33
4.2.2	FACTEUR D'UNIFORMITE :	33
4.3	LAMPES ET LUMINAIRES :	33
4.3.1	LAMPES :	33
4.3.2	LUMINAIRES :	33
5.	PROBLEMES D'ECLAIRAGE FREQUENTS DANS LES SALLES DE CLASSE	34
5.1	ECLAIRAGE DEFICIENT :	35
5.2	L'EBLOUISSEMENT :	35
5.3	LE CONTRASTE :	35
5.4	LA LUMIERE MAL DIFFUSEE :	36
6.	LA REGLEMENTATION ALGERIENNE RELATIVE A L'ECLAIRAGE DES SALLES DE CLASSE	36
	CONCLUSION	37

CHAPITRE 03 Etat de l'art et types de simulation

1.	ETAT DE L'ART ET LES ETUDES ANTERIEURES	38
2.	EVALUATION DE L'ECLAIRAGE	41
2.1	METHODES DE CALCULS SIMPLIFIEES	42
2.2	METHODES GRAPHIQUES	42
2.3	MODELES REDUITS	43
2.4	LES METHODES DE L'ECLAIRAGE ARTIFICIEL	44
2.4.1	LES METHODES AUSSI EXACTES QUE POSSIBLE :	44
2.4.2	LES METHODES APPROCHEES :	44
3.	METHODES DE SIMULATION INFORMATIQUE DE L'ECLAIRAGE	44
3.1	LES ALGORITHMES DE CALCUL DE L'ECLAIRAGE	45
3.1.1	RADIOSITE :	45
3.1.2	LANCER DE RAYONS (RAYTRACING)	46
3.2	EXEMPLE TYPE DES LOGICIELS EXISTANTS :	46
3.3	L'OBJECTIF ET DOMAINE D'APPLICATION DE SIMULATION DE L'ECLAIRAGE	47
	CONCLUSION	48

Chapitre 04 présentations et description de l'environnement de l'étude

	INTRODUCTION	49
1.	LE CLIMAT LUMINEUX DE LA VILLE DE TEBESSA	49

1.1	ENSOLEILLEMENT :	50
1.2	NEBULOSITE :	51
2.	DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'ETUDE	51
2.1	PRESENTATION DE L'ECHANTILLON :	51
2.2	CRITERE DE CHOIX DE L'ECHANTILLON :	53
2.3	ETUDE DE L'ECHANTILLON	53
2.3.1	PRESENTATION D'ECHANTILLON	53
2.3.2	CRITERES DE CLASSIFICATION DE L'ECHANTILLON	57
2.4	ETUDE EN VUE DE CREER LE MODELE	58
2.5	LA CREATION DU MODELE	59
2.5.1	LE MODELE DE FENETRES UNILATERALES	59
2.5.2	LE MODELE DE FENETRES UNILATERALES	60

CHAPITRE 05 protocole expérimentale et simulation

1.	LE PROTOCOLE EXPERIMENTAL ET SIMULATION	62
1.1	L'OUTIL DE SIMULATION	62
1.1.1	LE CHOIX DE L'OUTIL DE SIMULATION	62
1.1.2	LES ETAPES DE SIMULATION PAR DIALUX	62
1.1.3	L'OBJECTIF DE LA SIMULATION	62
1.1.4	LES VARIABLES DE LA SIMULATION	62
1.1.5	LES SCENARIOS DE LA SIMULATION	63

CHAPITRE 06 Analyse et discussion des Résultats

1.	ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS	64
1.1	LECTURE DES RESULTATS	64
1.1.1	MODELE A-A'	65
1.1.2	MODELE A-B'	68
1.1.3	MODELE B-A'	71
1.1.4	MODELE B-B'	74
1.2	ANALYSE DES RESULTATS	76
	CONCLUSION	77
	CONCLUSION GENERALE	78

CHAPITRE INTRODUCTIF

Chapitre introductif

La lumière est l'un des éléments de vie pour l'espèce vivante, sa présence ou absence est remarquable et influence notre rythme de vie et le rendement de nos activités.

Dans les établissements scolaires, l'accès à la lumière naturelle et à un éclairage artificiel devrait constituer une priorité, non seulement pour ces bénéfices sanitaires, mais aussi pour faciliter l'apprentissage et la concentration des élèves, en multipliant leurs succès et le plaisir d'apprendre.

L'architecture pendant les dernières décennies a commencé à s'intéresser profondément à l'éclairage des espaces de vie, néanmoins pour les salles de classe et les locaux d'enseignement dont l'objectif est améliorer les conditions d'assimilation des élevés et garantir la transmission de l'information dans une atmosphère saine et favorable à l'acquisition des savoirs, L'espace scolaire a subi à plusieurs évolutions depuis le siècle précédent, à fin qu'il soit adapté à sa fonction.

L'Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture (Unesco) autant qu'un sous-organisme de l'organisation des nations unies , cette dernière lors du sommet mondial du développement durable en Septembre 2015 à New-York, a adapté un programme qui contient 17 objectifs, notamment un nouvel objectif pour l'éducation de qualité, incitant les gouvernements à faire construire des établissements scolaires de qualité, adaptés aux enfants et étudiants dans des ambiances saines et confortables, incluant la lumière et le confort visuel pour un apprentissage de qualité .

Dans la même année, Unesco une autre fois, lance l'année internationale de la lumière, à Paris, cet évènement a éclaircis l'importance de la lumière dans la vie quotidienne, dans la maison, au travail et aussi aux écoles.

L'architecte , tout au long de sa démarche conceptuelle , doté d'agir sur l'espace architectural et les ambiances générées avec cet espace , sa tâche pour l'environnement lumineux dans les salles de classe consiste à favoriser la pénétration de la lumière naturelle à l'intérieur, combinée avec un éclairage artificiel contrôlé et complémentaire , toute en assurant un éclaircissement

Chapitre introductif

suffisant conforme aux besoins d'élève et leurs activités , sans éblouissement ou autre forme d'inconfort dû à la mal-conception d'éclairage .

En effet, comme l'ont démontré plusieurs études nationales et internationales réalisées auprès des établissements scolaire, l'amélioration de l'environnement scolaire a permet d'augmenter :

- la concentration
- la mémoire à court-terme
- le bien-être des élèves et du personnel enseignant
- la productivité
- l'humeur et le moral de tous

Aujourd'hui , nos établissements ne sont pas exclus de ce côté , on constate des signes d'anomalie partout à l'intérieur de l'établissement , surtout dans les salles de classe , ou les taches solaires sont partout , faisant un obstacle entre l'acquisition de l'information depuis le tableau , ou l'oscillation de niveau d'éclairage soit naturel ou artificiel , rend la classe parfois trop éclairée parfois peu éclairée , ce qui est en tous les cas une source d'inconfort, maux et fatigue , et aussi une cause de l'échec scolaire.

De ces faits, la présente problématique que nous étayons au cours de l'élaboration de cette recherche : porte un regard plutôt quantitatif que qualitatif, tout en ayant comme objectif :

- L'amélioration de l'environnement lumineux conformément aux besoins d'élève et son enseignant dans la salle de classe en favorisant un éclairage naturel sain , efficace , durable et économique , combiné par un éclairage artificiel bien contrôlé et harmonieux avec le premier (naturel) .

C'est pourquoi notre étude s'intéresse particulièrement aux composantes de l'environnement lumineux dans les salles de classe et ses impacts sur l'élève et son enseignant et leurs rendements, et tente à répondre à des questions :

Pourquoi l'éclairage, (type et source) est important dans la salle de classe ?

Chapitre introductif

Comment et par quel moyen peut-on mettre une salle en lumière conformément aux exigences, rapprochant à un niveau de confort optimale ?

Une hypothèse est formulée en vue de rendre cette recherche opérationnelle est prête à être soumise à la vérification :

L'interaction entre l'orientation de la salle de classe et la position des ouvertures peut convenir à fournir un rapport éclairage-confort en renforçant le flux lumineux inconstant de la lumière naturelle par un système d'éclairage artificielle contrôlé en fonction de la variation de la lumière diurne.

Comme méthodologie de travail, la recherche fait recours à adopter une approche quantitative, pour qu'on puisse comprendre la lumière et l'éclairage dans leurs aspects physique, autant que des phénomènes responsable sur le confort visuel, spécialement pour les locaux où le confort doit être traité soigneusement. En reposant sur l'aide des outils informatiques et de simulation.

C'est pour cela, la recherche a comme un objectif : vérifier la qualité de l'éclairage et le confort visuel dans les salles de classe, en essayant de déterminer les facteurs ou paramètres responsables pour l'atteindre

CHAPITRE 01

Généralité éclairage et lumière

Introduction

L'environnement lumineux a une très grande importance pour le confort de l'utilisateur, en effet, sous nos latitudes ; les gens exercent principalement toutes leurs activités dans des ambiances lumineuses subjectivement spéciales , la lumière du jour ainsi qu'un éclairage artificiel bien conçus augmentent le bien-être et la capacité de concentration de l'occupant de l'espace .(GIF-LUMIÈRE 2012)

1. La lumière en Architecture

En architecture, la lumière est un élément majeur pour la fonction et l'esthétique d'un espace, elle est très nécessaire pour le fonctionnement d'un édifice et son intérieur, ces dernières années, son exploitation devenue plus créative et efficace que jamais, grâce aux progrès scientifiques et technologiques, ce qui a rendu la conception de l'éclairage une partie prenante pour tout projet architectural (Van-Uffelen 2012)

1.1 Définition de la lumière :

La lumière est, d'un point de vue physique, tout ce qui est perçu par l'œil humain, c'est-à-dire des ondes électromagnétiques comprises entre 380 et 780 nm.(Charnay 2014) (Figure 1)

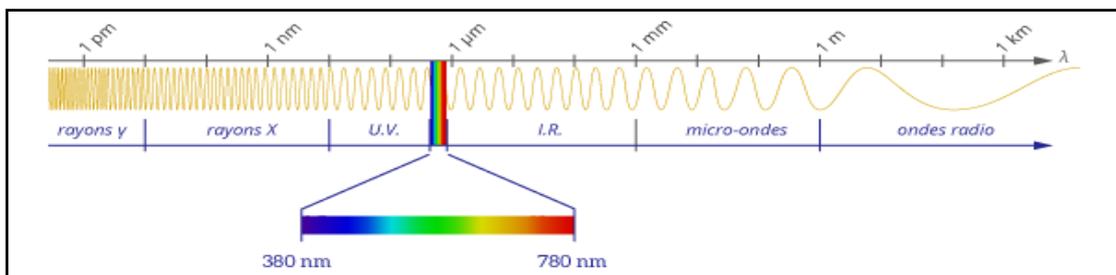


Figure 1 : les ondes électromagnétique constituant la lumière

Source : Charnay [<http://leclairage.fr>]

1.2 Les sources de la lumière

Une source de lumière est tout corps qui émet ou projette de la lumière autour de lui, (Lab-Physique). on distingue deux sources de lumière :

1.2.1 Les sources primaires :

Ce sont des corps qui produisent la lumière qu'ils émettent, qui ayant une température très élevée comme le Soleil, les flammes, des braises incandescentes, le filament d'une lampe à incandescence. (Lab-Physique) (Figure 2).

1.2.2 Les objets diffusants :

Ce sont des corps qui ne produisent pas de lumière mais qui renvoient la lumière. (Lab-Physique) (Figure 2).

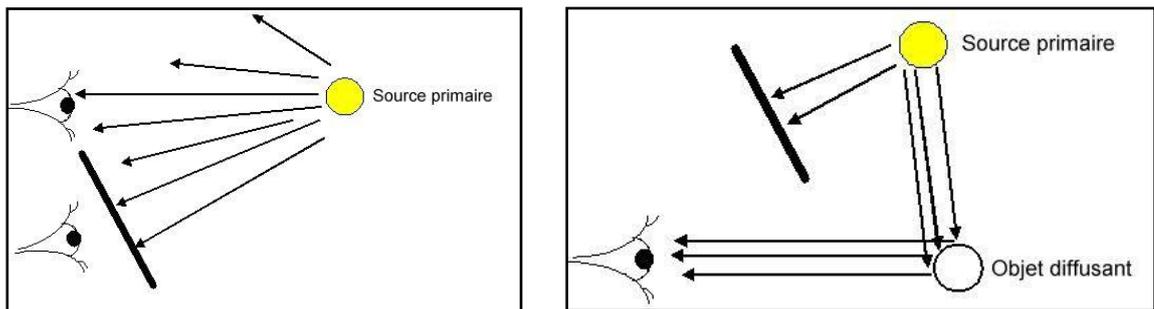


Figure 2 : les sources de la lumière

Source : Lab. Physique [<http://lab.phys.free.fr>]

1.3 Les Types de la lumière :

Pour qu'il mette un volume en lumière, l'architecte a deux types de lumière à sa disposition (Cubber 2014) :

1.3.1 La lumière naturelle :

Est celle venue du soleil, que ce soit direct ou indirect. Elle a toujours la priorité sur la lumière artificielle. Elle est en effet d'une richesse énorme en

termes d'intensité, de variabilité de teinte, de direction. Elle est notre référence universelle, c'est grâce à elle que on peut attribuer les couleurs aux objets et elle nous donne nos repères spatiaux-temporels. (Cubber 2014)

1.3.2 La lumière artificielle :

Moins riche que la lumière naturelle, la lumière artificielle est indispensable dans l'intérieur. Son rôle est de compléter l'éclairage naturel, la lumière du jour n'est souvent pas suffisante pour le confort visuel, en fonction du moment de la journée ou de la saison. C'est là qu'intervient la lumière artificielle. Elle a l'avantage de pouvoir être créée, maîtrisée et contrôlée. (Cubber 2014)

1.4 Les paramètres physiques de la lumière :

1.4.1 L'éclairagisme :

correspond à l'étude de l'éclairage sous ses divers aspects , ce mot est souvent utilisé pour caractériser les problématiques de l'éclairage en situation (Charnay 2014)

1.4.2 La photométrie :

est la branche qui étudie la lumière observée par l'œil humain elle permet donc de rendre compte de l'efficacité et de la pertinence des sources de lumière disposées dans une pièce.(Charnay 2014)

Les principales grandeurs photométriques sont :

1.4.2.1 Le Flux lumineux :

C'est la quantité de la lumière émise par une source lumineuse, exprimée en lumens (lm) (figure 03). (ASSTSAS 2014)

1.4.2.2 L'intensité lumineuse :

Quantité de flux lumineux émise dans une direction particulière, exprimée en candelas (cd) (figure 03). (ASSTSAS 2014)

1.4.2.3 La Luminance :

Quantité de lumière réfléchie par une surface, mesurée par un luminancemètre. Elle correspond à la « brillance » d'une surface éclairée ou d'une source lumineuse telle que perçue par l'œil humain et décrit l'effet de la lumière sur l'œil. Unité de mesure : candela/m² (cd/m²). (ASSTSAS 2014) (figure 03).

1.4.2.4 L'Éclairement :

Quantité de lumière reçue par une surface, mesurée avec un luxmètre. Unité de mesure le LUX (lumen/m²). Sachant que La grandeur la plus représentative de la qualité de l'éclairage est la luminance. C'est en effet la lumière réfléchie que perçoit l'œil humain. Cependant, celle-ci étant difficilement mesurable, ce sera l'éclairement, représentant la lumière incidente, qui sera dans la pratique considéré. (figure 03) (ASSTSAS 2014)

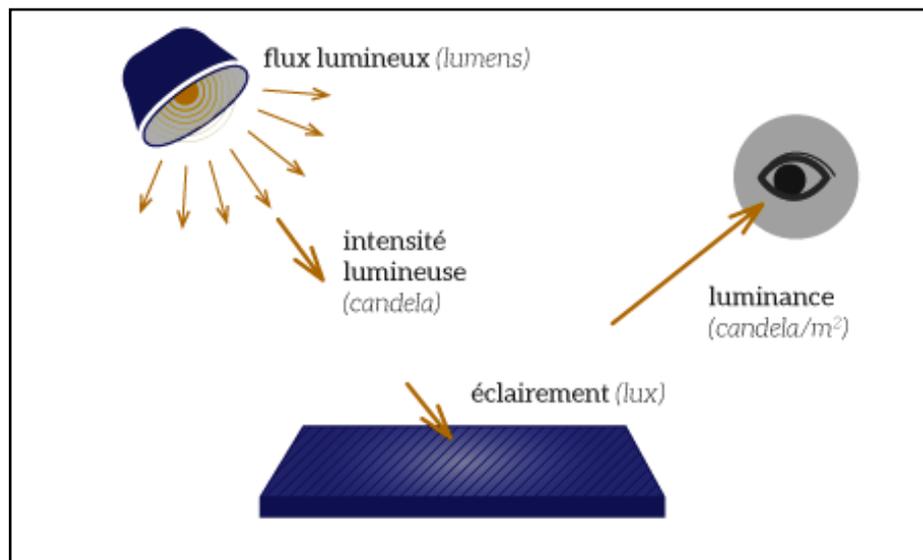


Figure 03 : les principales grandeurs photométriques
Source: Gharpedia-Architecture [<https://gharpedia.com>]

1.4.2.5 Le Contraste :

Rapport entre la luminance d'un objet et son environnement, mesuré avec un luminancemètre.

$$C = \frac{L_f - L_o}{L_f}$$

où

C : contraste ; L_o : luminance de l'objet ; L_f : luminance du fond sur lequel se découpe l'objet. (ASSTSAS 2014)

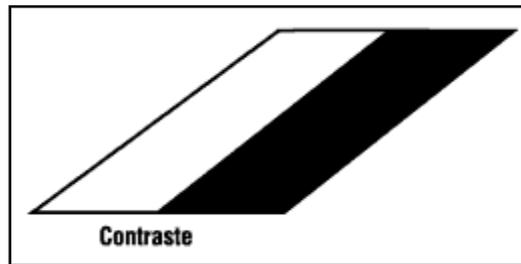


Figure 04 : le contraste

Source : CCHST [<http://www.cchst.ca>]

1.4.2.6 La Réflexion des surfaces :

Proportion exprimée en pourcentage de lumière reçue par une surface par rapport à la quantité de lumière réfléchi. Le coefficient de réflexion d'une surface est la quantité d'énergie lumineuse réfléchi par cette surface par rapport à celle reçue par celle-ci. Il varie en fonction de la couleur des surfaces et du type de matériau employé. (ASSTSAS 2014)

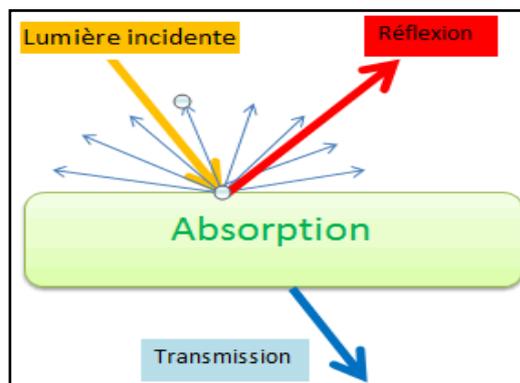


Figure 05 : la réflexion de la lumière

Source : Vision et couleurs [<http://guilhaumont.fr>]

1.4.2.7 Température de couleur (Tc) :

C'est la grandeur qui permet de caractériser la teinte apparente ou dominante d'une source lumineuse.

La température de couleur d'une source de lumière est la température à laquelle il faut porter un élément incandescent de référence pour qu'il émette une lumière de même teinte dominante que celle de la source considérée. L'unité de mesure est le Kelvin (K).

Les appellations de sources chaudes ou froides correspondent à des températures de couleur bien définies (INRS)

$T_c \leq 3\,300\text{ K}$	$3\,300\text{ K} < T_c \leq 5\,000\text{ K}$	$T_c > 5\,000\text{ K}$
teintes chaudes	teintes intermédiaires	teintes froides

Figure 06 : classification de température de couleur

Source : INRS [<http://www.esst-inrs.fr>]

Il existe une relation entre la température de couleur et l'éclairement qu'il convient de respecter pour que l'ambiance soit confortable.

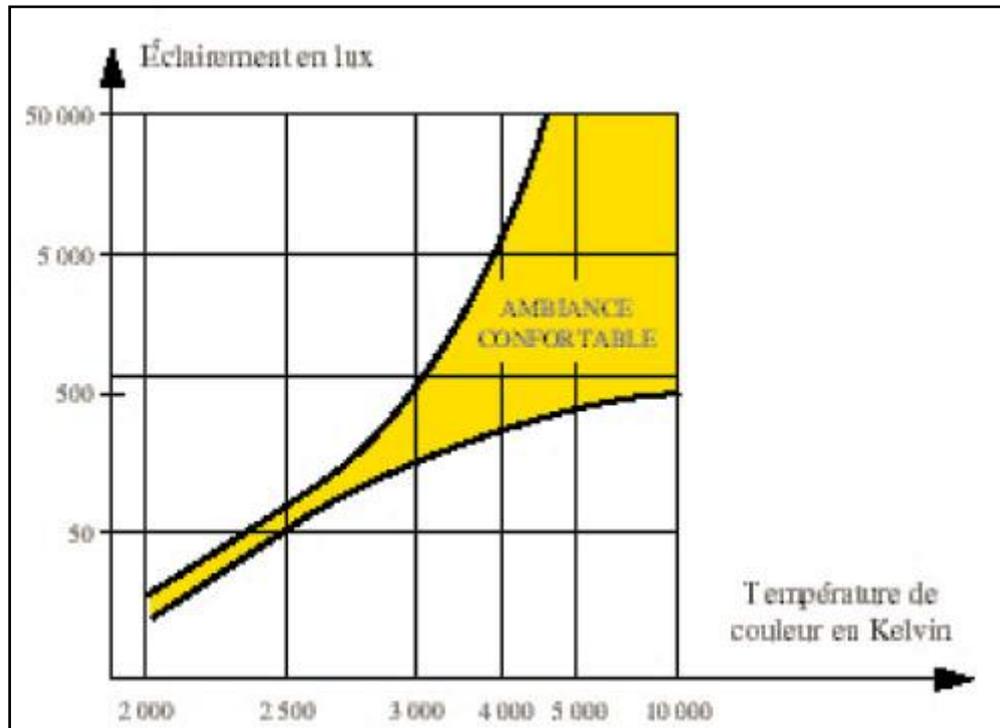


Figure 07 : relation entre l'éclairement et température de couleur

Source : INRS [<http://www.esst-inrs.fr>]

1.4.2.8 Indice de rendu des couleurs (IRC):

Même lorsque deux sources ont la même température de couleur, elles peuvent, en éclairant les mêmes objets, ne pas restituer les couleurs de la même façon.

L'indice de rendu des couleurs (IRC) permet de caractériser la capacité d'une lumière à restituer fidèlement la couleur des objets qu'elle éclaire.

L'IRC est un chiffre compris entre 1 et 100 qui traduit le degré de concordance entre l'aspect coloré d'un objet éclairé par une source donnée et l'aspect coloré de ce même objet éclairé par une source de référence de même température de couleur. (INRS)

1.5 Le confort visuel :

La sensation de confort généré par un environnement lumineux est perçue lorsqu'il est possible d'identifier les objets clairement, nettement et sans fatigue, dans une ambiance colorée agréable. Le confort reste aussi une impression subjective liée à la quantité, la distribution et la qualité de la lumière. (ASSTSAS 2014)

Les concepts principaux intervenant dans le confort sont, en fonction des tâches visuelles :

1.5.1 L'éclairement moyen à maintenir :

Valeur de l'éclairement moyen d'une installation en dessous laquelle l'éclairement ne doit pas descendre pour le confort et la sécurité des utilisateurs. (Figure 07)(Charnay 2014)

1.5.2 l'uniformité d'éclairement :

Rapport entre l'éclairement minimal et l'éclairement moyen. (Figure 07)(Charnay 2014)

1.5.3 Le rendu des couleurs :

Mesuré par L'IRC (Indice de Rendu des Couleurs) est un indice qui permet de mesurer la propension d'une source lumineuse à bien rendre les couleurs (Figure 07)(Charnay 2014)

1.5.4 l'éblouissement :

Conditions de gêne ou inconfort (voire diminution de l'aptitude à distinguer des objets) provoquée par des luminances ou des contrastes de luminances trop élevés. (Figure 07)(Charnay 2014)

1.5.5 les contrastes :

Expression de la différence d'aspect (luminosité, luminance, clarté...) de différents objets. (Figure 07) (Charnay 2014)

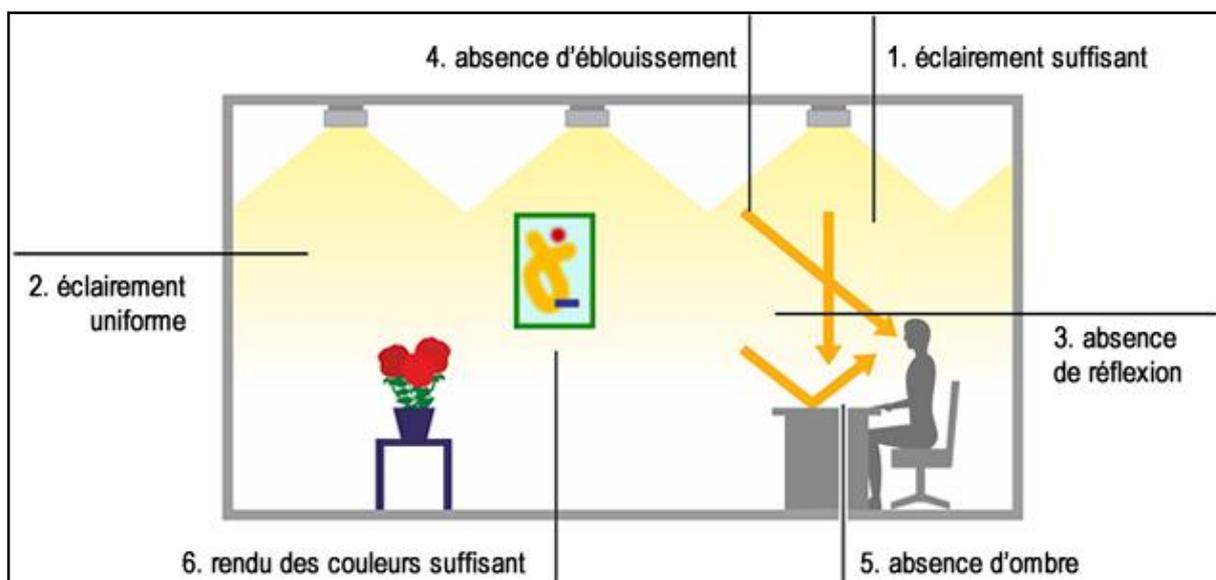


Figure 08 : les critères de confort visuel dans les bureaux

Source : Energie+ [<http://www.energieplus-lesite.be>]

A part ces intervenants physiques, il y'en a d'autres caractéristiques et facteurs qui déterminent la notion du confort :

1.5.6 Caractéristiques propres à l'environnement :

La volumétrie d'un local et les propriétés de ses parois influencent la qualité de la répartition du flux lumineux. Elles constituent l'environnement immédiat ou éloigné. (Énergie+)

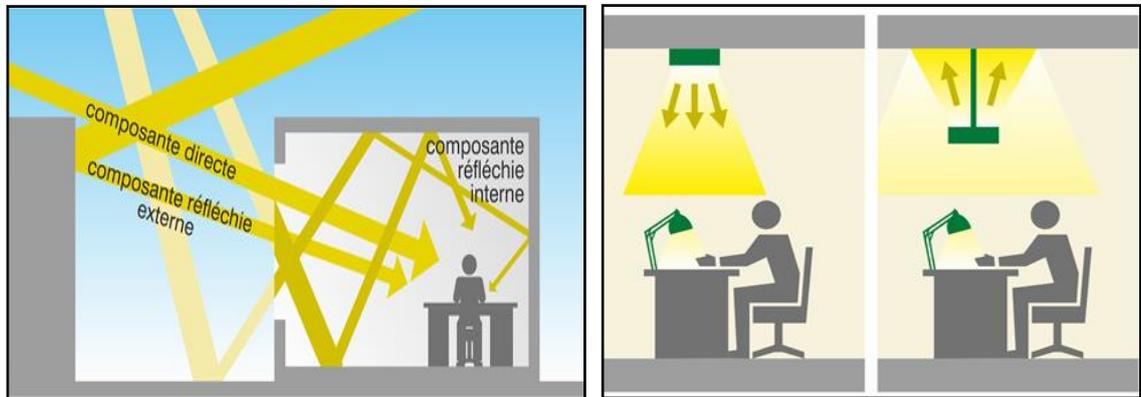


Figure 09 : caractéristiques liées à l'environnement

Source : Energie+ [<http://www.energieplus-lesite.be>]

1.5.7 Caractéristiques propres à la tâche à accomplir :

Pratiquement chaque tâche nécessite un niveau d'éclairage différent. On distingue les tâches de précision, les tâches liées à un objet en mouvement, ... À noter que plus les contrastes sont faibles plus le niveau d'éclairage doit être important (Énergie+)

1.5.8 Facteurs physiologiques :

Les individus ne sont pas égaux devant le confort visuel. Les couleurs ne sont pas perçues de la même manière d'un individu à l'autre. Aussi, les capacités visuelles sont fonction de l'âge des personnes (Énergie+)

2. L'éclairage, types et paramètres

2.1 L'éclairage :

Par définition, l'éclairage est l'application de la lumière aux objets ou à leur entourage pour qu'ils puissent être vus; action, manière d'éclairer, de s'éclairer; ensemble des appareils qui distribuent une lumière artificielle. Ensemble des lumières destinées à mettre en valeur un spectacle, une représentation théâtrale, télévisée, etc.(Larousse 2008)

Un éclairage adéquat est très demandé car il rend l'exécution des tâches plus facile. Lorsque le niveau d'éclairage est trop faible, trop élevé ou irrégulier, notre capacité à effectuer des tâches de façon sécuritaire est compromise. C'est pour cela, la fatigue ou des douleurs oculaires sont éprouvées, ce qui entraîne des maux de tête et des erreurs au travail.(CCHST 2006)

2.2 la lampe :

Une lampe est un dispositif qui transforme l'énergie électrique en lumière. Les lampes sont caractérisées par le flux lumineux, l'efficacité lumineuse, la durée de vie, les couleurs apparentes et le rendu des couleurs. (ASSTSAS 2014)

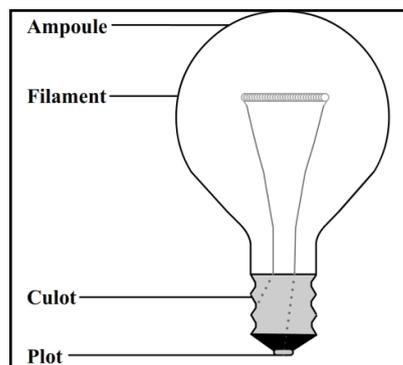


Figure 10 : schéma d'une lampe

Source : CCHST [<http://www.cchst.ca>]

2.3 le luminaire :

Un luminaire désigne l'ensemble de l'appareil d'éclairage qui règle et distribue la lumière. Un appareil comprend une ou plusieurs lampes, un ballast (pour les lampes à décharge), un câblage interne et des douilles. Les luminaires peuvent être équipés de dispositifs permettant de limiter l'éblouissement et de mieux diffuser la lumière : diffuseurs tels que paralumes, lentilles, etc. (ASSTSAS 2014)

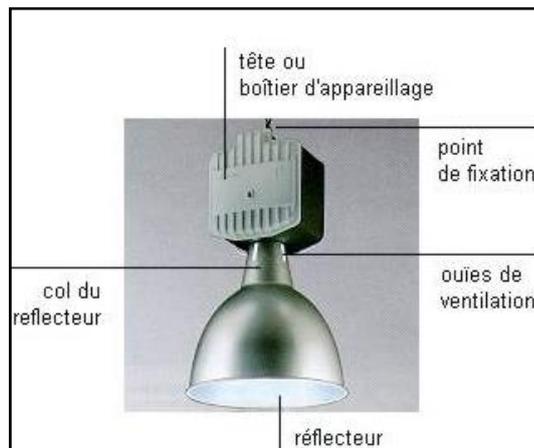


Figure 11 : luminaire

Source : CCHST [<http://www.cchst.ca>]

2.4 Type d'éclairage :

Le type de l'éclairage est déterminé en fonction de la source lumineuse responsable de l'émission de la lumière, on distingue :

2.4.1 L'Eclairage naturel :

La lumière naturelle venue du soleil ou la voute céleste n'est ni fixe ni toujours égale dans sa qualité et intensité, les types de l'éclairage naturel sont :

2.4.1.1 Eclairage zénithal :

Un éclairage zénithal signifie littéralement la lumière qui vient du haut par référence à la lumière du soleil, ce type d'éclairage s'avère le plus efficace pour des espaces à faible et moyenne hauteur. (Boudoukha 2015)

2.4.1.2 Eclairage latéral :

Type d'éclairage où la lumière pénètre dans les locaux latéralement depuis les façades, c'est le type d'éclairage le plus utilisé et le plus ancien et qui répond à trois besoins fondamentaux : la lumière, la vue et la ventilation. (Boudoukha 2015)

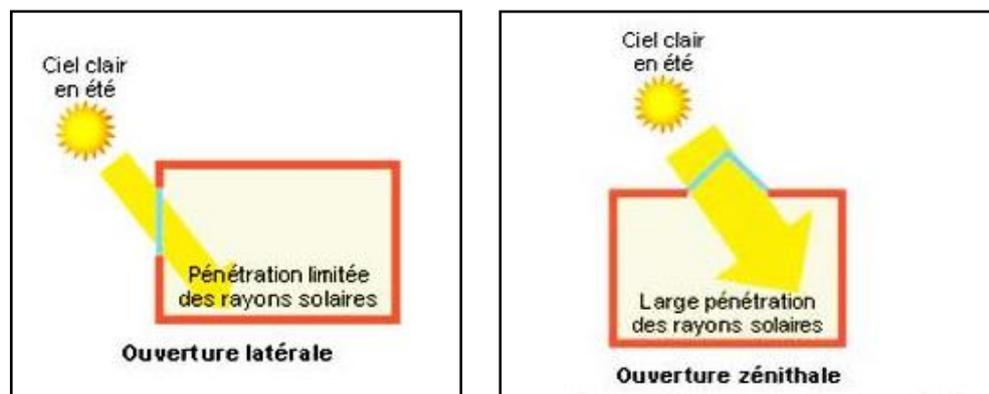


Figure 12 : éclairage zénithal et éclairage latéral

Source : Energie+ [<http://www.energieplus-lesite.be>]

2.4.2 Eclairage artificiel :

L'éclairage artificiel signifie l'éclairage dont la lumière est artificiellement produite et diffusée par des équipements électriques, l'éclairage artificiel, fait également partie intégrante de l'architecture. Il a pour avantage de pouvoir être maîtrisé, contrôlé et créé. (GIF-LUMIÈRE 2012)

Les types de l'éclairage artificiel sont classés selon les classifications suivantes :

2.4.2.1 Selon les différentes familles de lampes :

2.4.2.1.1 Lampes à incandescence :

Elles sont constituées d'une ampoule de verre renfermant un filament en tungstène porté à l'incandescence par le passage d'un courant électrique qui produit un effet thermique important. (INRS)

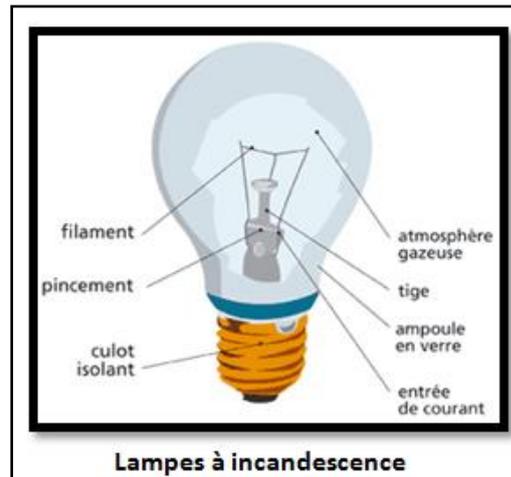


Figure 13 : lampe à incandescence
Source : CCHST [<http://www.cchst.ca>]

2.4.2.1.2 Lampes fluorescentes :

Elles sont constituées d'un tube de verre dont la face interne est revêtue d'une couche de substances fluorescentes.

Le tube est rempli d'un gaz rare sous faible pression.(INRS)

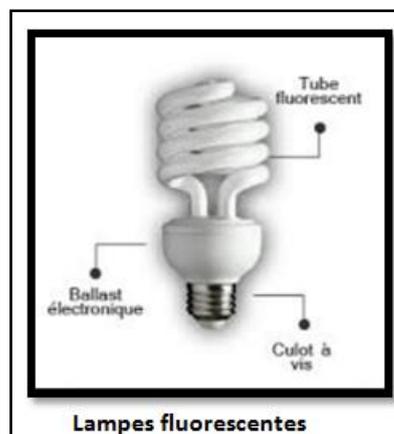


Figure 14 : lampe fluorescente
Source : CCHST [<http://www.cchst.ca>]

2.4.2.1.3 Lampes à décharge :

Elles sont constituées d'un tube de verre ou de quartz contenant une ou plusieurs vapeurs métalliques (sodium ou mercure) et du gaz rare.(INRS)

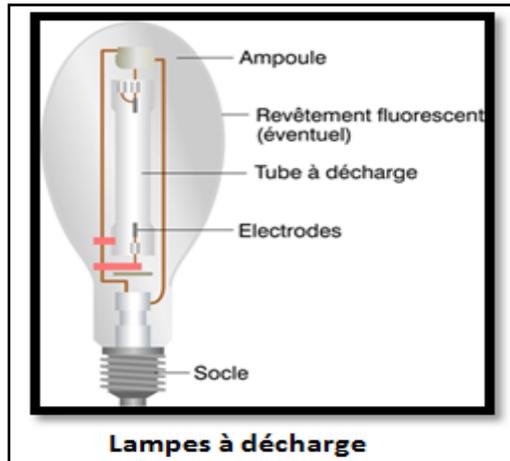


Figure 15 : lampe à décharge

Source : CCHST [<http://www.cchst.ca>]

2.4.2.1.4 Lampes à induction :

L'éclairage par induction associe pour la première fois deux techniques connues : l'induction électromagnétique et la décharge dans un gaz.

Ces lampes sont constituées d'une ampoule de verre renfermant une antenne en fêrite alimentée par un courant de très haute fréquence. (INRS)

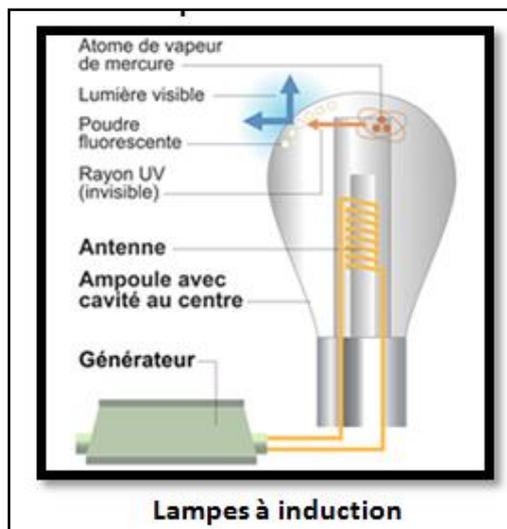


Figure 16 : lampe à induction

Source : CCHST [<http://www.cchst.ca>]

2.4.2.2 Type Selon la disposition par rapport à la tâche :

2.4.2.2.1 L'éclairage général :

Un éclairage qui a un éclairement uniforme sur toute la zone de travail (luminaires disposés de façon régulière).(INRS)



Figure 17 : Eclairage général

Source : INRS [<http://www.esst-inrs.fr>]

2.4.2.2.2 L'éclairage localisé :

Un éclairage qui propose des niveaux d'éclairement différents selon la zone de travail. (INRS)



Figure 18 : Eclairage localisé

Source : INRS [<http://www.esst-inrs.fr>]

2.4.2.2.3 L'éclairage local :

(Éclairage d'appoint) un éclairage qui offre une source de lumière fixée à proximité de la zone réelle de travail (lampes portables ou appliques murales, spots lumineux). (INRS)



Figure 19 : Eclairage d'appoint

Source : INRS [<http://www.esst-inrs.fr>]

2.4.2.3 Selon la quantité de lumière diffusée vers le plan de travail :

2.4.2.3.1 En éclairage direct :

La totalité du flux est dirigée sur le plan de travail.

2.4.2.3.2 En éclairage indirect :

La totalité du flux est dirigée à l'opposé du plan de travail.

2.4.2.3.3 En éclairage général diffus (mixte) :

la totalité du flux est dirigée dans toutes les directions. (INRS)

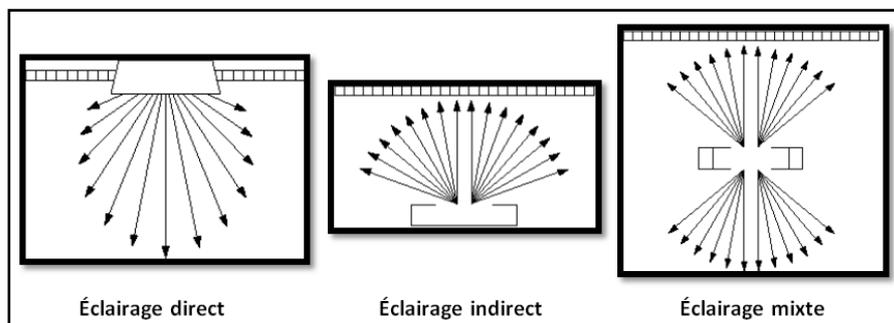


Figure 20 : types d'éclairage selon la diffusion de lumière

Source : INRS [<http://www.esst-inrs.fr>]

2.4.3 Eclairage combiné :

Généralement l'éclairage artificiel, dans les zones proches des fenêtres, n'est pas nécessaire que le matin, le soir ou la nuit, durant les périodes dures, l'éclairage naturel est largement suffisant pour assurer le confort visuel.

L'éclairage combiné consiste à établir une relation qui adopte un éclairage adéquat en fonction de l'apport en éclairage naturel. (Énergie+)

la lumière naturelle est variée en terme d'intensité tout au long de l'année. elle doit être impérativement combinée avec un éclairage artificiel pour utilisation nocturne et comme une source supplémentaire de lumière durant les jours où la lumière naturelle est insuffisante. (Abdelatia 2010)

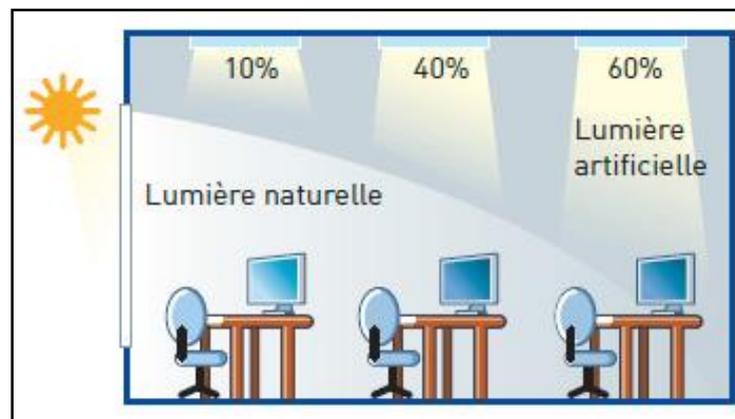


Figure 21 : la combinaison entre éclairage naturel et artificiel

Source : Actu-Environnement [<https://www.actu-environnement.com>]

2.5 Les paramètres de l'éclairage :

La conception et l'installation de l'éclairage fait appel à certains paramètres afin qu'il réponde aux exigences fonctionnelles, sanitaires et esthétiques de l'espace à éclairer (Énergie+)

2.5.1 Paramètres liés à l'espace à éclairer :

- Nature de l'activité
- Paramètres géométriques du local
- L'éclairement moyen minimum à fournir
- La zone de calcul et plan de référence (plan utile)

- L'uniformité et disposition de l'éclairage
- Le coefficient de réflexion des parois (Énergie+)

2.5.2 Paramètres de l'éclairage naturel :

2.5.2.1 Type de ciel :

La lumière naturelle traduit les fluctuations de l'état du ciel. Elle est composée de la lumière directe du soleil et de la lumière diffusée du ciel.(Énergie+)

2.5.2.2 Saison et moment de l'année :

De l'été à l'hiver, le rayonnement solaire direct pénètre plus en profondeur dans le local mais le niveau d'éclairement à proximité de la fenêtre diminue progressivement.(Énergie+)

2.5.2.3 Heure :

La répartition lumineuse varie fortement d'une heure à l'autre et d'un point à l'autre du local. La lumière disponible augmente jusqu'à la mi-journée, puis diminue. (Énergie+)

2.5.2.4 L'ouverture :

Une trop grande ouverture des façades est souvent synonyme d'éblouissement, de surchauffe et de pertes thermiques au travers des baies vitrées. Le compromis reste de rigueur (Énergie+)

Bien des paramètres viennent influencer de manière plus ou moins significative la pénétration de la lumière dans les espaces de travail depuis les ouvertures :

- L'orientation des façades ;
- La présence d'ombres reportées (bâtiments ou autres façades du bâtiment étudié faisant de l'ombre) ;

- La taille, la forme et la position des ouvertures dans les façades ;
- La forme et les dimensions de l'ouverture ;
- Les caractéristiques des vitrages et La présence de protection solaire (fixe, mobile, ...) (Énergie+)

2.5.2.5 L'environnement :

La lumière disponible dépend de l'environnement direct du bâtiment par le jeu de différents paramètres : le relief du terrain, les constructions voisines, le coefficient de réflexion du sol, la végétation,...(Énergie+)

2.5.3 Paramètres de l'éclairage artificiel :

- **Technologie de lampes**
 - Imposé par la nature de l'activité
 - Imposé par l'utilisateur
 - Sélection
- **Appareils d'éclairage**
 - Fixation des luminaires (Fixé au plafond, Suspendu Dalle encastrée ... etc.)

Conclusion

La lumière est un phénomène indispensable pour la vie, en architecture est un élément majeur pour tous les espaces de vie.

La lumière varie par ses types et sources, les paramètres physiques ou photométriques permettent de quantifier et qualifier la lumière.

Le confort visuel, une notion très demandée pour l'occupant, sa perception dépend des grandeurs et des paramètres photométriques.

L'éclairage est la manière d'éclairer, naturel ou artificiel, les types d'éclairage sont nombreux ce que donne plusieurs façons d'utiliser la lumière.

CHAPITRE 02

L'éclairage dans la salle de classe

Introduction

En terme lumière ou éclairage, chaque espace a ses propres taches associées à certaines ambiances qui assurent sa fonctionnalité.

L'enfant passe une période importante de sa vie dans l'école dont son fréquentation est quotidienne.

Les salles de classe doit assurer des conditions qui favorisent l'apprentissage et créent un environnement sain avant d'être confortable notamment un bon éclairage riche en lumière naturelle.

1. L'éclairage naturel dans l'école et la salle de classe

La lumière naturelle à l'intérieur de l'école constitue un facteur primordial, non seulement pour son bénéfice et effet sur l'assimilation et le concentration de l'élève mais aussi pour ses effets sur la santé de l'élève et son enseignant.

Une étude menée par le Groupe Heschong Mahone sur 21 000 élèves de trois États des États-Unis a révélé que ceux fréquentant les salles de classe les mieux éclairées à la lumière du jour ont obtenu des résultats en mathématiques et en lecture démontrant des progrès sur un an de 20 % et de 26 % plus rapides, respectivement, que ceux des élèves fréquentant les salles de classe les moins éclairées à la lumière du jour. (Benharket 2006)

Une autre étude faite par le département de l'éducation au Canada, 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:

- appris plus vite.
- mieux réussis.
- grandi plus vite.
- eu 1/3 moins d'absences dues à la maladie.
- eu 2/3 moins de caries dentaires. (Benharket 2006)

2. la tâche visuelle dans la salle de classe

2.1 définition de la salle de classe :

Le mot classe désigne une section de l'école, une réunion d'élèves formant un groupe distinct sous la conduite d'un maître, correspondant à un certain degré d'enseignement au-dessus et au-dessous duquel se trouvent d'autres classes.(IFÉ)

2.2 une tâche visuelle :

Pour effectuer ses activités en sécurité, aisément et efficacement, l'utilisateur doit recevoir et traiter des informations visuelles de la zone où il exerce son activité et de son environnement. La tâche visuelle représente l'ensemble des actions effectuées par le système visuel pour recevoir et traiter les informations nécessaires à l'activité. La zone où s'exerce la tâche visuelle est l'espace physique où se situent les objets et les formes à percevoir.(INRS)

2.3 les tâches visuelles dans la salle de classe :

L'enseignement, lorsqu'il réunit un formateur et des élèves, suppose d'un côté l'émission d'une information visuelle (pour environ 65%) ou sonore (pour environ 35%) et de l'autre sa réception et son interprétation.

La tâche visuelle de l'élève est diversifiée par nature:

- lecture ou écriture d'un document disposé sur la table ;
- lecture de ce qui est écrit au tableau (noir, vert ou blanc) ;
- lecture de cartes ou de panneaux affichés ;
- regard prolongé vers le professeur ou vers un autre élève ;
- visualisation de films, de diapositives, d'émissions télévisées ;
- travail sur ordinateur ; (Bénédicte Collard 1999)



Figure 22 : exemple d'une tâche visuelle pendant le cours

Source : Modern Classroom

Ces tâches sont souvent exercées avec une alternance de vision , entre une vision rapprochée (élève écrit sur une table) et vision éloignée (écrire depuis le tableau) ce qu'implique un changement d'adaptation rapide (Benharket 2006)

3. le confort visuel dans la salle de classe

Par confort visuel, on entend les conditions d'éclairage nécessaires pour accomplir une tâche déterminée sans entraîner de gêne pour l'œil. Chez les scolarisés, si l'éclairage ne suffit pas, à lui seul, à gommer les difficultés scolaires, sa qualité induit des performances améliorées. Pour ce faire il faut se conformer aux certaines exigences et des normes relatives spécifiques afin d'éviter la fatigue visuelle rendant difficile la lecture et l'écriture et pouvant influencer négativement la réussite scolaire, voire à terme le comportement des élèves.(AFE 2010)

Quant à l'association Haute Qualité Environnementale, 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. (Benharket 2006)

3.1 les paramètres du confort dans la salle de classe :

Pour que l'élève puisse effectuer ses tâches visuelles pendant le cours, certains paramètres doit fournir un confort optimum :

- un niveau d'éclairage suffisant.
- une uniformité de l'éclairage.
- l'absence d'éblouissement et les ombres gênantes.
- un rendu et température de couleur correct. (Bénédicte Collard 1999)

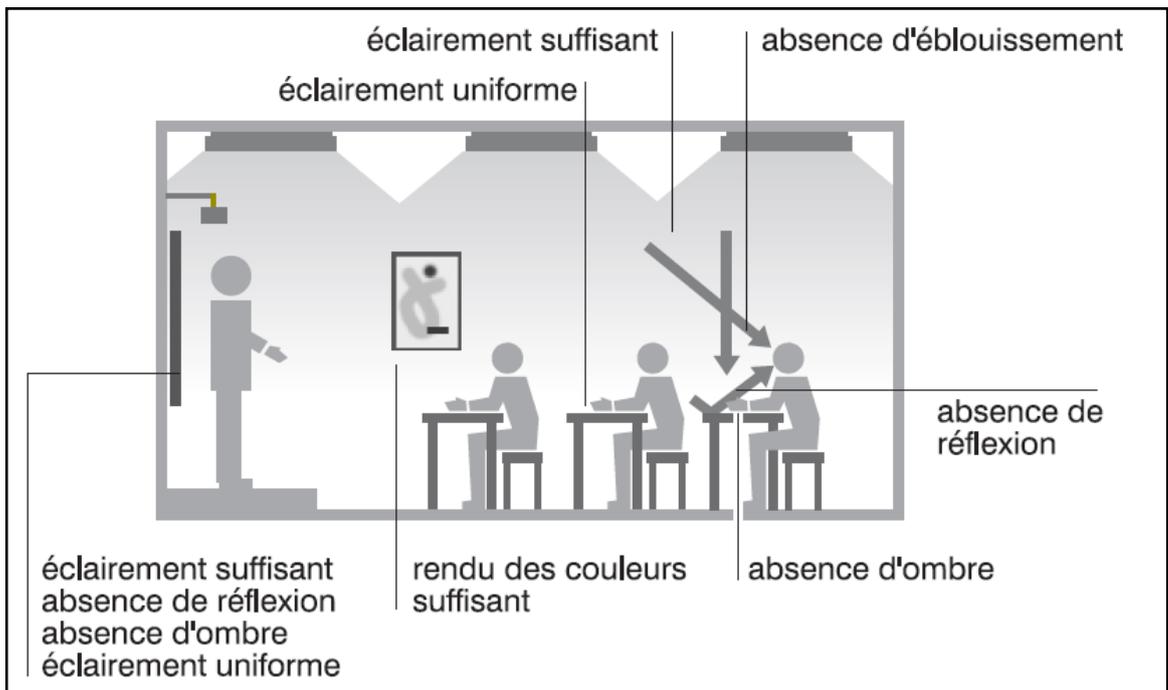


Figure 23 : les paramètres de confort visuel dans la salle de classe

Source : Bénédicte Collard 1999

3.1.1 un niveau d'éclairage suffisant :

Un éclairage insuffisant nécessite de la part de l'œil un effort accru qui augmente la fatigue visuelle et génère des maux de tête ou des troubles durables de la vision. Un éclairage minimum est donc nécessaire afin de pouvoir lire les informations écrites sur le tableau ou sur le plan de travail. Par ailleurs, plus l'éclairage est important, plus la perception de détails est aisée et plus l'attention à un exposé oral est accrue. (Bénédicte Collard 1999)

Eclairages moyens recommandés dans les écoles		
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

Figure 24 : les niveaux d'éclairages recommandés dans la salle de classe

Source : Bénédicte Collard 1999

Selon l'Association Française de l'Eclairage, le choix de la valeur d'éclairage dans une salle de classe dépend de la difficulté de la tâche visuelle. Et des plusieurs autres facteurs :

- **facteur humains** : tels que :
 - l'âge des occupants
 - les anomalies de vision
- **facteurs d'ambiance** : comme :
 - la couleur des parois du local
 - mobilier et l'aménagement de la salle
- **facteurs économiques** : tels que :
 - le coût de l'installation,
 - les dépenses de fonctionnement et d'entretien (Benharket 2006)

3.1.2 L'uniformité d'éclairage :

D'une part, tous les élèves doivent être dans les mêmes conditions de travail et donc profiter d'un même niveau d'éclairage. D'autre part, un éclairage

uniforme est nécessaire pour éviter d'incessantes adaptations des yeux lorsque le regard se déplace. De même, le tableau ne peut présenter de zone d'ombre, ce qui est impossible sans un éclairage spécifique du tableau. (Bénédicte Collard 1999)

Dans un local de classe, il s'agit de respecter

▪ **L'uniformité d'éclairage :**

La zone de travail correspond à la zone où la tâche visuelle est exécutée. Dans les salles de classe, 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}). (Bénédicte Collard 1999)

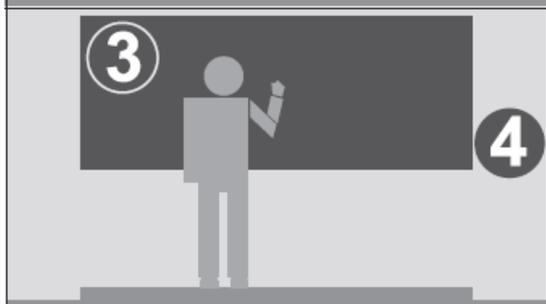
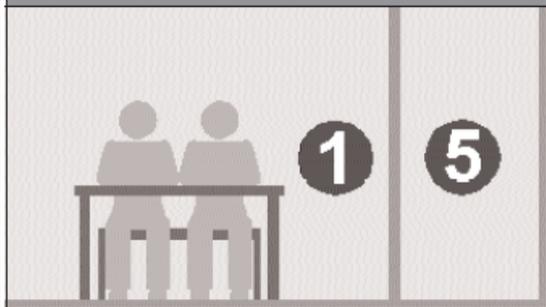
	<p>$E_{min\ classe\ (2)} / E_{moy\ classe\ (1)} > 0,8$</p> <p>Ce critère permet de garantir qu'aucun élève ne disposera d'un éclairage inférieur à 80% de la moyenne. Il est encore plus important dans des classes à aménagement variable (ex: classes maternelles) : c'est lui qui permet d'obtenir, dans de bonnes conditions, la mobilité et la souplesse d'utilisation souhaitées.</p>
	<p>$E_{min\ tableau\ (4)} / E_{moy\ tableau\ (3)} > 0,5$</p>
	<p>$E_{moy\ couloir\ (5)} / E_{moy\ classe\ (1)} > 0,2$</p>

Figure 25 : l'uniformité d'éclairage dans la salle de classe

Source : Bénédicte Collard 1999

3.1.3 L'éblouissement :

Un éclairage éblouissant augmente la fatigue visuelle et physique. Il peut conduire à une perte de lisibilité temporaire : en présence de luminaires éblouissants, l'œil doit constamment s'adapter à la tâche à accomplir et en même temps, à la source lumineuse se trouvant dans son champ de vision. (Bénédicte Collard 1999)

On peut rencontrer un éblouissement direct qui est d'autant plus fort que :

- la luminance de la source perturbatrice (luminaire ou fenêtre) est élevée,
- le fond sur lequel elle se détache est sombre,
- la source lumineuse est proche de l'axe du regard,
- le nombre de luminaires dans le champ visuel est important.

Ou un éblouissement indirect dû à la réflexion parasite des luminaires sur le tableau est tout aussi perturbante que l'éblouissement direct: elle produit une tension oculaire, génératrice de fatigue et de stress.

La présence de reflets peut rendre impossible la lecture de certaines parties d'un message écrit.

De plus, il est courant de voir des élèves essayer de corriger cette situation en adoptant une mauvaise position de travail (tête tournée ou penchée, rotation du corps, ...) qui entraîne à terme une fatigue physique importante et donc une perte de performance.(Bénédicte Collard 1999)



Figure 26 : l'effet de l'éblouissement dans la salle de classe

Source : Bénédicte Collard 1999



Figure 27 : l'effet de l'éblouissement au niveau de plan de travail



Figure 28 : l'effet de l'éblouissement sur le tableau

Source : Bénédicte Collard 1999

3.1.4 Les ombres gênantes :

En fonction de sa direction, la lumière peut provoquer l'apparition d'ombres marquées, qui risquent de perturber l'exécution des tâches visuelles. (Benharket 2006)

Le travail de lecture ou d'écriture des élèves ne peut être perturbé par des ombres parasites. Ces problèmes risquent de se poser lorsque l'éclairage provient du côté droit pour les droitiers et du côté gauche pour les gauchers ou encore lorsque l'éclairage est dirigé dans le dos des élèves. (Bénédicte Collard 1999)

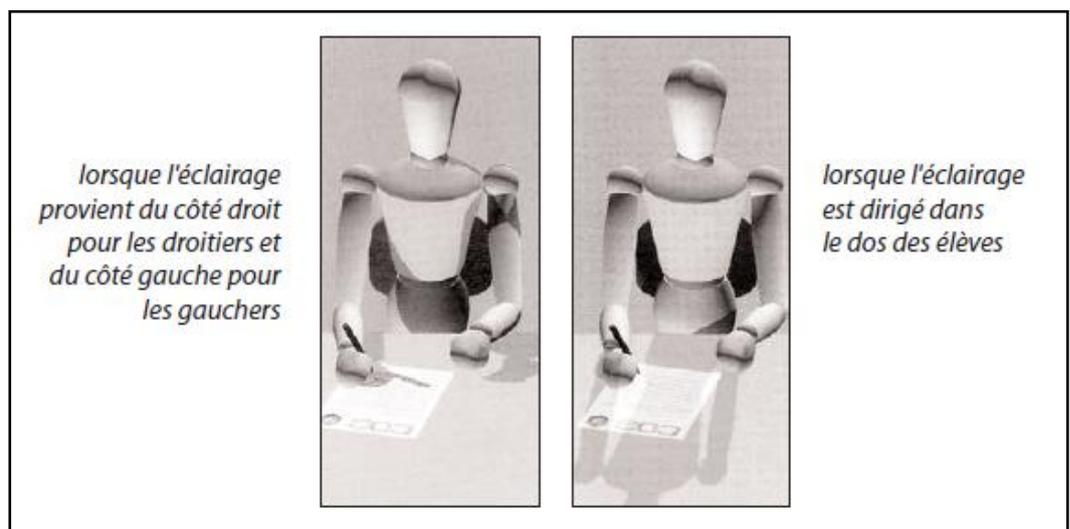


Figure 29 : l'apparition des ombres du a la position de l'éclairage

Source : Bénédicte Collard 1999

Afin de réduire les risques d'ombre gênante dans les salles de classe, l'Association Française de l'Eclairage recommande que la direction principale du regard soit parallèle au vitrage et celui-ci doit être positionné du côté gauche des élèves car la majorité écrit avec la main droite. Une autre solution consiste à faire fonctionner une rangée de luminaires disposée parallèlement aux ouvertures à certains moments de la journée : ceci réduira les ombres gênantes des mains pour les gauchers. Mais en présence d'éclairage bilatéral, le problème ne se pose pas.(Benharket 2006)

3.1.5 Rendu et température de couleur :

L'ambiance lumineuse ressentie par les occupants dépend de deux paramètres indépendants:

- **l'indice de rendu des couleurs (IRC ou Ra)**
- **la température de couleur (exprimée en Kelvins (K))**

La couleur apparente de la source a des effets psychologiques agréables ou désagréables mais n'influence nullement les performances visuelles.

D'une manière générale, dans les salles de classe, les lampes doivent avoir une température de couleur proche de 4000 K et un indice de rendu des couleurs supérieur à 80.(Bénédicte Collard 1999)

Bureaux et classes :	entre 2000 et 5000K (blanc chaud à blanc neutre) - IRC>80 (classe IB)
Salles de conférence :	entre 2000 et 3500 K (blanc chaud) - IRC>80 (classe IB)
Ateliers graphiques :	supérieure à 3500K (et de préférence > à 5000K, lumière du jour froide) IRC > 80 (et de préférence > 90) (classe IB, IA)

Figure 30 : valeurs d'indice de rendu de couleur et température de couleur dans la salle de classe

Source : Bénédicte Collard 1999

4. Méthode d'éclairage utilisé dans la salle de classe

L'éclairage de la salle de classe repose sur des normes et réglementations qu'elles assurent un niveau de confort visuel avec une exploitation rationnelle de l'installation, pas mal de labels certifiés sont utilisées comme un outil d'optimisation de la qualité et le signe d'une excellence reconnue.

L'éclairage dans la salle de classe est défini par un ensemble de spécifications qui permettent d'identifier clairement et facilement les équipements et matériels d'éclairage offrant les meilleures réponses aux impératifs du travail dans les salles de classes.(ULG 2008)

4.1 Eclairage général :

4.1.1 L'éclairage horizontal :

L'éclairage horizontal moyen initial (à la mise en service de l'installation) doit être d'au moins 500 lux sur le plan utile.

Pour certaines salles d'enseignement spécialisé, l'éclairage horizontal moyen initial doit être conforme aux valeurs requises dans les « Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires » de l'Association Française de l'Eclairage :

- Salles de couture, laboratoires, salles de dessin d'art :.....**625lux**,
- Salles de dessin industriel (sur un plan de travail à 1,20 m)**950 lux**.

(Promotelec 2001)

4.1.2 Facteur d'uniformité :

Le facteur d'uniformité, rapport de l'éclairage minimal à l'éclairage moyen, doit être **supérieur à 0,8**. (Promotelec 2001)

4.2 Eclairage des tableaux :

4.2.1 L'éclairage vertical :

L'éclairage moyen initial vertical sur la surface totale du tableau des salles de classe doit être d'au moins **600 lux**. Sans tenir compte l'éclairage général.(Promotelec 2001)

4.2.2 Facteur d'uniformité :

Le rapport de l'éclairage minimal à l'éclairage maximal doit être **supérieur à 0,5**. (Promotelec 2001)

4.3 Lampes et luminaires :

4.3.1 Lampes :

Il s'agit de lampes fluorescentes tubulaires rectilignes ou fluorescentes compactes d'intégration, à haute efficacité. Leur température de couleur (Tc) est comprise entre **3000** et **4000** K (kelvin) et leur indice de rendu des couleurs (IRC) **supérieur ou égal à 85**. (Promotelec 2001)

4.3.2 Luminaires :

Ils sont conçus pour permettre un entretien aisé.

Ils présentent une rigidité mécanique suffisante et le câblage interne qui relie électriquement les différents composants (Promotelec 2001)

De plus, les luminaires utilisés pour l'éclairage général présentent les caractéristiques suivantes :

- ils sont de type « direct » ou « direct-indirect »,
- Ils ont un rendement supérieur à 0,5,

Chapitre 02 l'éclairage dans les salles de classe

- leur luminance moyenne, sous les angles précisés ci-contre et dans le plan $C=90^\circ$, ne dépasse pas les valeurs mentionnées dans le tableau ci-dessous:

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

Tableau 01 : exigence de luminance du luminaire et sa disposition

Source : Promotelec [www.promotelec.com]

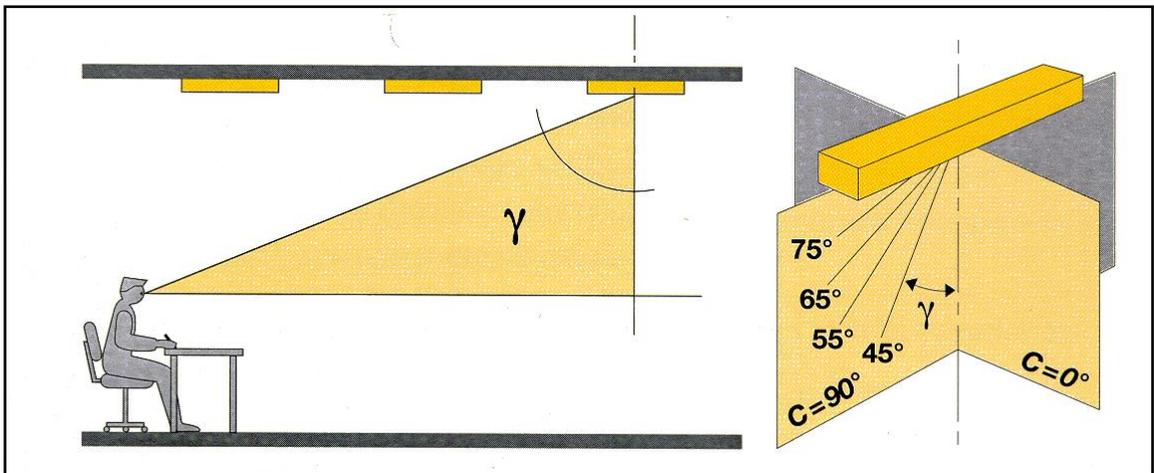


Figure 31 : exigence de luminance du luminaire et sa disposition

Source : Promotelec [www.promotelec.com]

Afin de limiter les reflets gênants sur les tables, l'axe des tubes doit être parallèle à la direction d'observation privilégiée.

5. Problèmes d'éclairage fréquents dans les salles de classe

Une salle de classe mal éclairée entraîne des conditions peu favorables à l'apprentissage des enfants. De fait, la majorité des informations qui parviennent du monde extérieur passent par la vue. Un inconfort visuel entraîne une fatigue visuelle voire des maux de tête, et donc, une perte d'attention de l'élève. Dans un contexte d'apprentissage, il est primordial que

les enfants soient dans un environnement correctement éclairé. Des études scientifiques ont d'ailleurs prouvé que les performances des élèves étaient influencées par l'ambiance lumineuse dans laquelle les cours se déroulent.(UCL 2016)

Un piètre éclairage peut causer plusieurs problèmes, notamment :

- Éclairage déficient – lumière insuffisante pour répondre aux besoins
- Éblouissement – trop de lumière pour répondre aux besoins
- contraste inapproprié
- Lumière mal diffusée (CCHST 2006)

5.1 Eclairage déficient :

Un piètre éclairage peut nuire à la qualité du espace, en particulier lorsque les tâches exigent de la précision, et à la productivité générale.

Un piètre éclairage peut poser un risque pour la santé (trop ou pas assez de lumière fatigue les yeux et peut causer un inconfort oculaire) . (CCHST 2006)

5.2 l'éblouissement :

Il survient lorsqu'une source lumineuse trop brillante ou que la réflexion de la lumière projetée interfère avec la vision d'un objet. Dans la plupart des cas, les yeux s'adaptent au flux lumineux ayant la plus grande intensité. Une fois que l'œil s'en est accommodé, l'élève voit moins bien les détails dans les zones sombres (même si elles sont en fait suffisamment éclairées). Donc l'éblouissement peut entraîner gêne et inconfort, et peut même, en fait, diminuer la capacité visuelle d'un élève.(CCHST 2006)

5.3 le contraste :

Il existe deux types de problèmes liés au contraste – le premier survient lorsque les niveaux d'éclairement sont très différents d'une zone à l'autre, et le deuxième, lorsqu'il y a variation du contraste entre les couleurs des objets.

La zone de travail immédiate doit être plus éclairée que les zones adjacentes. Si les zones adjacentes sont plus éclairées que la zone de travail, l'attention de l'utilisateur sera attirée hors de la zone de travail. (CCHST 2006)

5.4 la lumière mal diffusée :

Lorsque la lumière est mal diffusée, certaines parties du plafond et de l'environnement général semblent sombres et lugubres. Une différence substantielle de niveaux d'éclairage force les yeux à se réajuster lors de vos déplacements d'une zone ayant un certain niveau d'éclairage à une autre. Les utilisateurs peuvent avoir de la difficulté ou même ne pas parvenir à voir correctement. (CCHST 2006)

6. la réglementation algérienne relative à l'éclairage des salles de classe

En comparant avec plusieurs pays, la réglementation relative à l'éclairage dans le bâtiment en général, reste pauvre et rare, basés sur les normes françaises **NF C 01.045**, **NF C 03.101** et **NF C 15.100, 150**, la réglementation se résume en deux textes législatifs :

- **Article 35 du décret exécutif n°91-175 du 28/05/1991 : « Mesures générales applicables aux bâtiments à usage d'habitation »**
- **La circulaire du 15 août 1989 relative à l'application des règlements techniques et des normes de construction.**

Mais ce que concerne les établissements scolaires, le ministère de l'éducation dans la publication du guide de construction scolaire, fixe les caractéristiques géométriques, l'orientation et indice de vitrage, mais ignore les paramètres et les exigences principales du confort visuel dans les écoles, ce que laisse la réglementation algérienne très modeste, comparée avec celles étrangères, française, belge ou anglaise qui ont poursuivi un niveau de

détail qui couvre tout l'aspect du confort pour l'élève et son enseignant dans la salle de classe . (Benharket 2006)

Conclusion

Dans les salles de classe, la majorité des tâches à effectuer sont visuelles, nécessite la mise en lumière de l'espace d'une manière adéquate, afin de garantir le bon déroulement du cours.

Le confort visuel dans la classe ne diffère pas du confort d'autres locaux, mais ses paramètres doit être pris attentivement, pour que l'élève et son enseignant soient confortables durant toute la période scolaire.

L'éclairage des salles de classe repose sur des méthodes et labels pour atteindre un niveau optimal du confort, mais souvent ces locaux souffrent des problèmes liés à l'éclairagisme.

D'un point de vue réglementaire, les règlements algériennes reste pauvre en terme d'éclairage dans les bâtiments en général et pour les locaux d'enseignement en particulier.

CHAPITRE 03

Etat de l'art et types de
simulation

1. Etat de l'art et les études antérieures

La recherche de l'état de l'art a pour objectif de faire passer par les recherches et les études antérieures qui visent la contribution à l'amélioration de l'éclairage et confort visuel dans salles de classe et les établissements scolaires, pour compléter toute l'image et avoir une idée globale autour le corpus d'étude .

- L'étude de « **Contribution à l'étude du confort visuel en lumière naturelle dans les établissements scolaires en Libye : évaluation qualitative et préconisations** » par Belal Abdelatia, 2013

ses recherches visent à démontrer la relation entre les paramètres de confort visuel de dans la conceptions des établissements scolaire en Lybie et la performance scolaire des élèves , dans cet axe , l'auteur a essayé de montrer la manière par laquelle l'éclairage naturel devrait être introduire dans les salles de classe , en le concèderont comme un élément déterminant pour le confort , adopté une approche qualitative comme méthodologie pour répondre a les objectifs de cette recherche , d'abord le travail était ciblé sur établir un état d'art du concept de l'éclairage et confort en milieu scolaire, en suite la proposition d'une méthode d'analyse et d'évaluation structurée autour :

- Analyse de la qualité environnementale des établissements scolaires en Lybie pour arriver à une classification typologique des salles de classe existantes
- l'incorporation des simulations par maquette pour collecter un maximum d'information dans temps plus court ; par une série des photos enregistrant les conditions de confort visuel

Pour l'auteur, cela permet de déterminer de façon simplifiée l'impact de les caractéristiques des salles de classe étudiées et par conséquence la performance scolaire

Enfin, établir une liste de recommandations appropriées des salles de classe pour permettre non seulement de rénover les édifices existants mais aussi d'améliorer la conception de futurs établissements

- l'étude de « **IMPACT DE L'ECLAIRAGE NATUREL ZENITHAL SUR LE CONFORT VISUEL DANS LES SALLES DE CLASSE CAS D'ETUDE : BLOC DES LETTRES DE L'UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE** » par Benharket Sarah , 2006

Les recherches de l'auteur sont fondées sur l'efficacité du système de l'éclairage naturel indirect zénithal dans les salles de classe dans la ville de Constantine, concéderont que ce type d'éclairage pourrait répondre aux problèmes de confort visuel fréquemment renouvelés dans nos bâtiments scolaires , surtout celle de l'uniformité , éblouissement et surchauffe estival

La recherche était appliquée sur les salles de cours de l'université de Mentouri à Constantine qui sont éclairées par des lanterneaux verticaux, cette évaluation qui est à la fois qualitatif et quantitatif, se base sur une campagne de mesure instrumentale technique tel que le luxmètre en différentes périodes de l'année, ainsi qu'un questionnaire adressé uniquement aux usagers occupants ces salles (étudiant et enseignants)

L'évaluation a permis de constater que l'état de l'éclairage dans ces salles n'étaient pas confortable ni visuellement ni thermiquement, d'un côté les ouvertures zénithales fournissent un éclairage très élevé et non uniforme, de l'autre côté l'ensoleillement direct génère l'ombre et l'éblouissement, spécialement pendant les périodes chaudes, aussi de son côté, le questionnaire dévoile la réalité de mal satisfaction des usagers

Sur la lumière de ces données et résultat, l'auteur a déduit que la performance de ces lanterneaux dépendait étroitement de vitrage et son indice, l'orientation, la protection solaire ainsi que la couleur de surface

- L'étude de « **L'impact de l'éclairage artificiel sur les performances d'apprentissage des élèves dans les milieux scolaires : une perspective d'internalisation des connaissances** » par Sanaz Ahmadpoor Samani, 2012

Les buts de cette étude étaient d'identifier l'influence de l'éclairage artificiel sur les performances d'apprentissage des élèves dans des environnements d'apprentissage à partir de la connaissance de l'internalisation. Cette étude est un examen complet de la base de la littérature sur l'influence de l'éclairage artificiel sur la productivité et le rendement en particulier l'apprentissage des élèves les performances. Le résultat qui vient de cette étude montre qu'il est essentiel d'améliorer l'éclairage dans les environnements d'apprentissage pour améliorer les performances d'apprentissage des élèves et les motiver également pour en savoir plus. Dans cette étude, les chercheurs ont utilisé l'enquête pour mesurer l'influence de l'éclairage sur les performances d'apprentissage des élèves. En utilisant les données d'enquête recueillies auprès de 150 étudiants de cours Alpha en Malaisie. Cette étude a montré un impact significatif entre la qualité de l'éclairage et les performances d'apprentissage des élèves cette conclusion est appuyée par deux experts de l'entrevue.

- L'étude de « **Les effets de l'éclairage dynamique sur l'apprentissage des élèves** » par Michael S. et Al. 2012

La récente recherche a examiné les variables de température de couleur de l'éclairage et l'éclairage pour affecter le sommeil, l'humeur, la concentration, la motivation, la concentration, et le travail et les résultats scolaires. Cela a donné lieu à la lumière artificielle, les systèmes prévus pour soutenir les êtres humains dans leur actualisation par le biais de la technologie de l'éclairage dynamique permettant des conditions d'éclairage différentes par tâche. Un total de 84 élèves de troisième année ont été exposés à l'une ou l'autre accent (6000K-100FC moyenne maintenue) ou l'éclairage normal. L'accent "lighting" a conduit à une plus forte augmentation en pourcentage de l'aisance en lecture orale performance (36%) que l'éclairage de contrôle (17%). Pas d'éclairage n'a été trouvé pour la motivation ou la concentration, peut-être attribuable à l'âge plus élevé de répondants par rapport aux études européennes. Ces résultats font ressortir la nécessité de poursuivre les recherches sur la lumière artificielle et l'apprentissage.

- L'étude de « **Caractérisation de la qualité de l'environnement lumineux à l'intérieur des ateliers d'architecture à l'EPAU** » par : Mohamed Adlene Dirahoui, 2012

Cette recherche s'articule autour la caractérisation de la qualité lumineuse de l'éclairage intérieur en général et celle perçue par les étudiants d'architecture dans leurs ateliers en particulier

Selon l'auteur, la compréhension de la perception visuelle dans les ateliers pousse à avoir un recours à une enquête multicritère afin de collecter et saisir l'impression de les occupants envers l'environnement lumineux, d'autre côté la nécessité de l'utilisation de l'outil informatique exige l'association de l'approche qualitative, l'auteur arrive à expliquer que plus l'atelier reçoit de la lumière en quantité, plus son éclairage intérieur est perçu comme «inconfortable» par ses occupants. En dépit de la grande variété des environnements lumineux étudiés, la totalité des occupants sont touchés par l'éblouissement, ce qui le conforte au rang de « gêne visuelle majeure » avec l'usage de l'outil informatique. Le contrôle de l'éclairage intérieur ressort comme une forte aspiration des occupants, que ce soit par rapport à l'éclairage naturel ou artificiel, les occupants plébiscitent les dispositifs de contrôle tels que les stores sur les fenêtres ou les spots lumineux sur le plan de travail, afin d'adapter leur environnement lumineux selon leur usage et atteindre un certain confort visuel.

2. Evaluation de l'éclairage

Une compréhension globale de l'éclairage naturel dans le bâtiment ainsi que des solutions pour une combinaison optimale avec l'éclairage électrique fait appel à plusieurs méthodes de calcul, d'évaluation et de prédétermination de l'éclairage.(CSTC 2011)

2.1 Méthodes de Calculs simplifiées

Avant l'apparition des outils informatiques, seulement les méthodes simplifiées basées sur le calcul étaient disponibles pour la prédétermination de l'éclairage naturel. ces méthodes ne peuvent qu'estimer les éclairagements intérieurs , et pour des raison de simplification , les résultats sont généralement des valeurs ponctuelles et approximatives , des coefficients de corrections souvent utilisés pour concéder l'effet des paramètres influençant la lumière tel que la transparence des vitres ou les obstruction de l'environnement .(A. Belakehal 2003)

2.2 Méthodes graphiques

Les méthodes graphiques se réfèrent beaucoup plus a des diagrammes et des abaques issus de calcul graphique, l'évolution récente de ces méthodes en vue de déterminer les niveaux d'éclairément , et spécialement pour les architectes , a permis d'allonger une multitude de variables : orientation, latitude, heure du jour et jour de l'année. Mais le fait de ne pas avoir tenu en compte l'éclairément direct par le soleil fait de la valeur des résultats de cette méthode équivalents à ceux des méthodes précédentes.(A. Belakehal 2003)

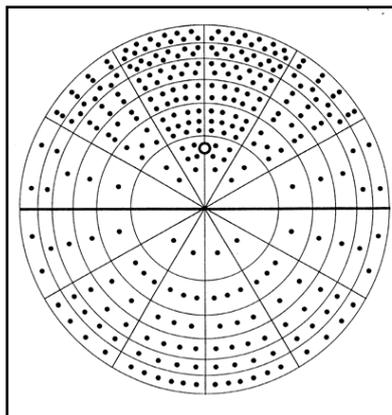


Figure 32 : Un diagramme d'éclairément lumineux

Source : (A. Belakehal 2003)

Il est à noter que les résultats des méthodes précédentes ne sont pas valables qu'après avoir déterminé le type de ciel approprié à chaque méthode

utilisée conformément aux cinq types de ciel déclarés par le comité international de l'éclairage (CIE).

2.3 Modèles réduits

Cette méthode est qualifiée théoriquement pour s'accorder à tous les problèmes liés à la conception ou design, elle est limitée que par la présentation en maquette et l'exactitude des instruments de mesure photométriques.

L'évaluation analogique de la lumière par la modélisation en maquette assure l'analyse qualitative et quantitative de l'éclairage ambiant d'un espace malgré son degré de complexité(A. Belakehal 2003)

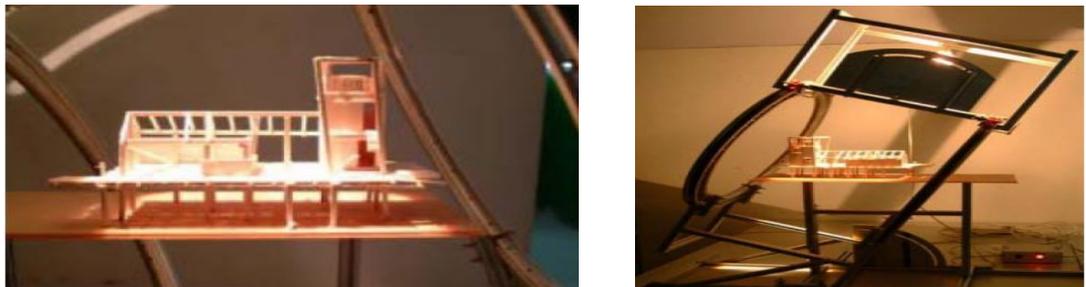


Figure 33 : simulation de l'éclairage par un modèle réduit avec un héliodrom

Source : Faculté D'architecture, Université de Hong-Kong

[<http://www.grap.arc.ulaval.ca/Mission/CielArtificiel.html>]

Il existe d'autres types d'évaluation d'éclairage tel que les méthodes d'évaluations par la simulation analogique de la lumière comme :

- Simulateur de lumière direct (héliodrom ou gnomon)
- Simulateur de lumière diffuse (le ciel type dôme, boîte miroir)
- Prototypes de taille réelle

2.4 Les méthodes de l'éclairage artificiel

Pour l'éclairage artificiel, la prédétermination est fondé sur :

2.4.1 Les méthodes aussi exactes que possible :

Cette méthode tient en compte la géométrie exacte de l'espace, ainsi que la disposition des luminaires et leurs distribution l'intensité dans le local, aussi les surfaces constituantes l'espace en donnant ses caractéristiques de réflexion ou transmission.

Elle permet de déterminer l'éclairage direct et l'éclairage dû à l'inter-réflexion en plusieurs points de plan de travail, verticaux ou horizontaux.

L'application de la méthode est souvent complexe ce que fait recours à l'outil informatique. (ULG 2008)

2.4.2 Les méthodes approchées :

Elle prend en amant des hypothèses sur la forme du local , la position et l'intensité des luminaires, cette méthode fait appel à des calcul simple et se rapporte généralement a des abaques et tableaux près établis, elle donne des valeurs moyenne d'éclairage ou luminance , à la rigueur en quelques points de plan de travail. (ULG 2008)

3. Méthodes de simulation informatique de l'éclairage

Les outils numériques de simulation sont des outils informatiques permettant la simulation de la propagation de la lumière sous son aspect quantitatif ou qualitatif. Constituant ainsi des outils d'aide à la décision. Les logiciels existants diffèrent entre eux par les algorithmes qu'ils utilisent, par leurs approches de dessin assisté, par la prise en considération des différents types de sources lumineuses, par leur capacité à simuler les phénomènes de propagation de lumière plus ou moins complexes, par leur interface utilisateur et finalement par leurs vocations et leurs domaines d'application.(CSTC 2011)

3.1 Les algorithmes de calcul de l'éclairage

Les algorithmes dans une simulation d'éclairage sont la pièce maitresse qui gère le calcul de la propagation de la lumière entre les sources et les surfaces d'une géométrie, puis les inter-réflexions entre ces surfaces.

Les algorithmes utilisés dans les logiciels de simulation de l'éclairage sont des algorithmes dits d'éclairage global (global illumination) puisqu'ils font un calcul tridimensionnel de la propagation de la lumière.(Maamari 2004)

Ils peuvent être classés sous deux grandes familles :

3.1.1 Radiosité :

Les algorithmes de radiosité procèdent en général à une décomposition de l'environnement simulé à travers une trame ou un maillage (subdivision en petites mailles) des surfaces d'une géométrie éclairée par une source donnée. D'abord, chaque maille a un calcul de la lumière directe reçue, puis elle se traite comme une source lumineuse émettant (par inter-réflexion) le flux lumineux qu'elle a reçu, vers les autres mailles constituant un flux initial total. Suite à ce calcul on peut déterminer l'éclairage et la luminance de chaque maille donnée ainsi que de toute la pièce. (Maamari 2004)

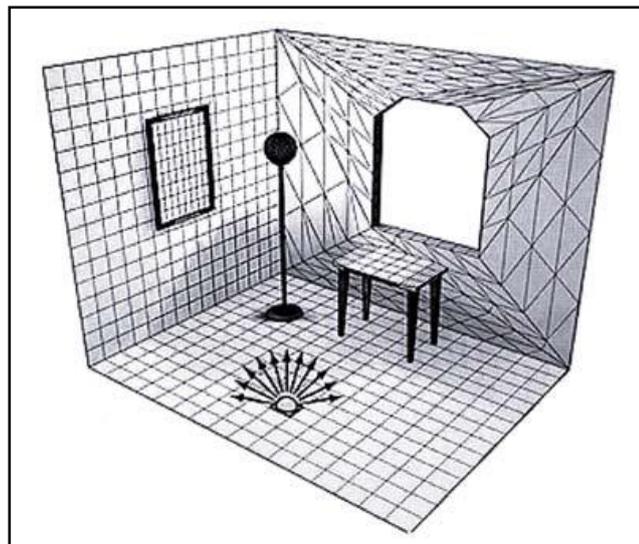


Figure 34 : Exemple de calcul de radiosité dans un local

Source : Maamari 2004

3.1.2 Lancer de rayons (Raytracing)

La deuxième famille d'algorithmes est la plus ancienne, elle a l'avantage de calculer avec précision l'éclairage direct, de calculer les effets des matériaux, de mieux comprendre les ombres et les réfractions à travers les surfaces transparentes. C'est les algorithmes qui procurent les meilleurs résultats graphiques, surtout en matière de photo-réalisme des images de synthèse. (Maamari 2004)

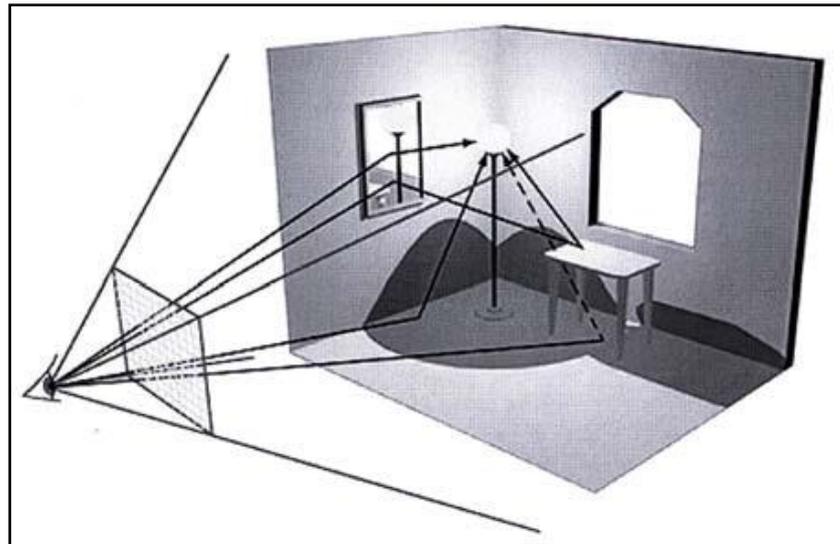


Figure 35 : Exemple de calcul RAYTRACING

Source : Maamari 2004

3.2 Exemple type des logiciels existants :

Les logiciels existants utilisés comme outils de conception en éclairage peuvent être classés en différentes autres catégories (CSTC 2011)

Chapitre 03 Etat de l'art et types de simulation

Logiciel	Editeur	Méthode	Modélisation	Types de ciel	Résultats
Ecotect	Autodesk	<i>Radiosity</i> (<i>raytracing</i> pour les visualisations)	Géométries simples Surfaces diffuses Maillage paramétrable	Ciel couvert CIE Ciel uniforme CIE Soleil direct	Eclairages [lux] Facteurs de lumière du jour (%) Visualisation des ombrages
Dial-Europe	Estia	<i>Radiosity</i> (<i>raytracing</i> pour les visualisations)	Géométries simples Surfaces diffuses Maillage fixe	Ciel couvert CIE	Facteurs de lumière du jour (%) Visualisation des ombrages
Dialux	DIAL GmbH	<i>Radiosity</i> (<i>raytracing</i> pour les visualisations)	Géométries complexes Surfaces diffuses Maillage paramétrable	Ciel couvert CIE Ciel intermédiaire Ciel clair CIE (soleil direct)	Eclairages [lux] Facteurs de lumière du jour (%) Luminances (cd/m ²) Visualisation des scènes
Relux Pro	Relux Informatik	<i>Radiosity</i> (<i>raytracing</i> pour les visualisations)	Géométries complexes Surfaces diffuses Maillage paramétrable	Ciel couvert CIE Ciel clair CIE (sans soleil direct)	Eclairages [lux] Facteurs de lumière du jour (%) Luminances (cd/m ²) Visualisation des scènes
3DS max	Autodesk	<i>Radiosity</i> + <i>raytracing</i>	Toutes géométries Surfaces diffuses, spéculaires ou mixtes Maillage paramétrable	Tout type de ciel	Eclairages [lux] Facteurs de lumière du jour (%) Luminances (cd/m ²) Visualisation des scènes
Velux Daylight Visualizer	Velux	<i>Raytracing</i> + <i>photon mapping</i>	Géométries complexes (via import fichiers 3D) Surfaces diffuses, spéculaires ou mixtes Maillage non paramétrable	15 types de ciels, dont ciel couvert CIE, ciel intermédiaire et ciel clair CIE	Eclairages [lux] Facteurs de lumière du jour (%) Luminances (cd/m ²) Visualisation des scènes
Radiance	LBNL	<i>Raytracing</i> (extension <i>photon mapping</i> disponible)	Toutes géométries Tout type de surface Maillage paramétrable	Tout type de ciel	Eclairages horizontaux, verticaux, cylindriques, ... [lux] Facteurs de lumière du jour (%) Luminances (cd/m ²) Visualisation des scènes

Figure 36 : liste de type de logiciels de simulation

Source : Le Centre Scientifique et Technique de la Construction CSTC 2004

3.3 L'OBJECTIF ET DOMAINE D'APPLICATION DE SIMULATION DE L'ECLAIRAGE

- Étude de conception des systèmes d'éclairage
- Choix des sources lumineuses,
- Confort visuel et qualités spectrales,
- Coordination de l'éclairage électrique avec la lumière du jour,
- Asservissement des stores et intégration dans l'automatisation du bâtiment,
- Gestion de la consommation d'électricité.
- Développement de nouvelles technologies d'éclairage et de contrôle.
- Étude d'applications spécifiques.

CONCLUSION

Nombreuse recherches et études effectuées pour l'éclairage des salles de classe et le confort à l'intérieur de ces locaux, les méthodes et les approches sont divers mais se conviennent sur les mêmes buts et objectifs.

L'éclairage et la lumière, autant que des phénomènes responsables sur le confort, nécessite des méthodes et des approches pour le calcul, l'évaluation et prédétermination.

Le progrès de technologie, permet de simuler la lumière et l'éclairage sous son aspect quantitatif ou qualitatif, à l'aide des algorithmes de calcul pour plusieurs domaines.

CHAPITRE 04

Présentations et description
de l'environnement de
l'étude

Introduction

Selon l'Office National de Statistique, en Algérie, entre 2006 et 2010 (la statistique la plus récente), le nombre de scolarisés en niveau primaire a connu une diminution importante, des dizaines de milliers des élèves ont quitté les bancs de l'école dans la phase où l'apprentissage est primordiale dans leurs vies ; en fait, selon la même source, le nombre de lyciens est incomparable par rapport aux élèves inscrits au niveau primaire.

Cette recherche vise à améliorer l'environnement lumineux approprié à l'apprentissage et contribuer à perfectionner le milieu où l'élève passe la plus part de temps, pour qu'il soit sain et confortable dans son école et le plus important est de donner un envie à apprendre et éliminer les causes de l'échec scolaire et l'abandonnement de l'école.

La concentration sur les primaires a pour objectif d'assurer un apprentissage de qualité depuis le premier cycle de la vie scolaire de l'enfant afin combattre tout motifs d'échec scolaire, tout en garant la santé et le confort de nos enfants.

1. Le climat lumineux de la ville de Tébessa

Selon Dr. Zemmouri N, dans sa thèse « Daylight Availability Integrated Modelling and Evaluation: A Fuzzy Logic Based Approach » en 2005, basée sur le calcul de simulation informatique, l'Algérie est découpée en 4 grandes zones climatiques lumineuses (Benharket 2006)

1. la première zone, située entre la latitude 34°-36°, est caractérisée par un éclairage lumineux horizontal moyen égal à 35 Kilolux et la dominance du ciel partiellement couvert.
2. la deuxième zone, qui englobe une bande étroite située entre la latitude 31°-34° ainsi que la région du Hoggar, est caractérisée par un éclairage lumineux horizontal moyen égal à 25 Kilolux et la dominance du ciel partiellement couvert.

3. la troisième zone, située au nord du Sahara entre la latitude 27°-31°, est caractérisée par un éclairage lumineux horizontal moyen égal à 42 Kilolux et la dominance du ciel clair.
4. la quatrième zone, qui concerne la moitié du territoire algérien située au sud du Sahara entre la latitude 18°-27°, est caractérisée par un éclairage lumineux horizontal moyen égal à 47 Kilolux et la dominance du ciel clair.

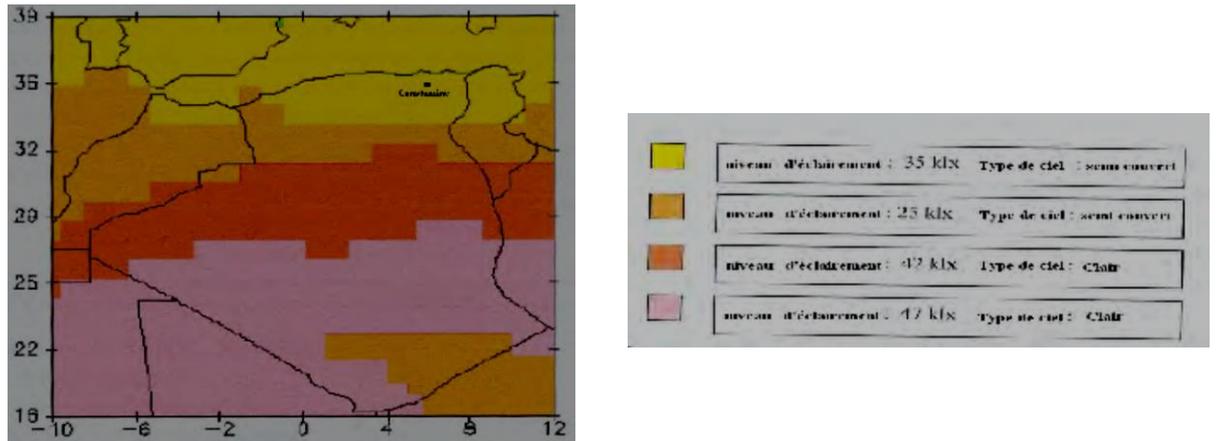


Figure 37 : zoning de disponibilité de la lumière naturelle en Algérie

Source : Benharket.S 2006

Pour la ville de Tébessa, qui se localise à l'est de l'Algérie précisément (latitude 35.4° et longitude 8.1) appartient à la première zone ce que signifie qu'elle caractérise par un éclairage lumineux horizontal moyen de 35 kilolux et un ciel dominant du type «partiellement couvert».

1.1 Ensoleillement :

D'après les informations retenues depuis la station météorologiques de la willaya de Tébessa pour l'année 2016, on tire :

- Le mois le plus ensoleillé est le mois de Juillet (17 jours ensoleillés + plus de 10 heures d'ensoleillement par jours)
- Le mois le mois ensoleillés est le mois de Février (0 jour ensoleillés)

Pour notre étude on fixe nos données selon la période de la saison scolaire qui selon la direction de l'éducation de la willaya de Tébessa commence dès 18 septembre et termine à la fin du mois Mai, donc on adopte

Chapitre 04 présentations et description de l'environnement de l'étude

- Le mois du Mai représentant le mois le plus ensoleillé pendant la saison scolaire
- Le mois de Février représentant le mois le mois ensoleillé

1.2 Nébulosité :

Selon la même source précédente

- Les mois les plus nuageux sont les mois de Février et Décembre
- Les mois les moins nuageux sont les mois de Juillet et Aout

2. Description de l'environnement de l'étude

2.1 Présentation de l'échantillon :

Aujourd'hui, l'infrastructure scolaire dans la willaya de Tébessa est en croissance en termes d'écoles primaire, la ville de Tébessa seulement compte plus que 81 écoles primaire et plus que 21856 élèves répartis sur 784 salles de classe. Les écoles choisies sont

2.1.1.1 Ecole Tebib Zina

Située dans cité Thevet (Tébessa), construite depuis les années 1990 comme annexe à l'école coranique CHEIKH LAARBI TEBESSI, rénovée en 2002 , aujourd'hui elle comporte 07 salles de classe plus un bureau de directeur, une cantine et salle d'eaux, elle a une capacité de 187 places pédagogiques

L'école est entourée par :

- Nord : mosquée CHEIKH LAARBI TEBESSI locaux commerciaux
- Est : locaux commerciaux R+3
- Ouest : habitat individuel R+1
- Sud : voie principale

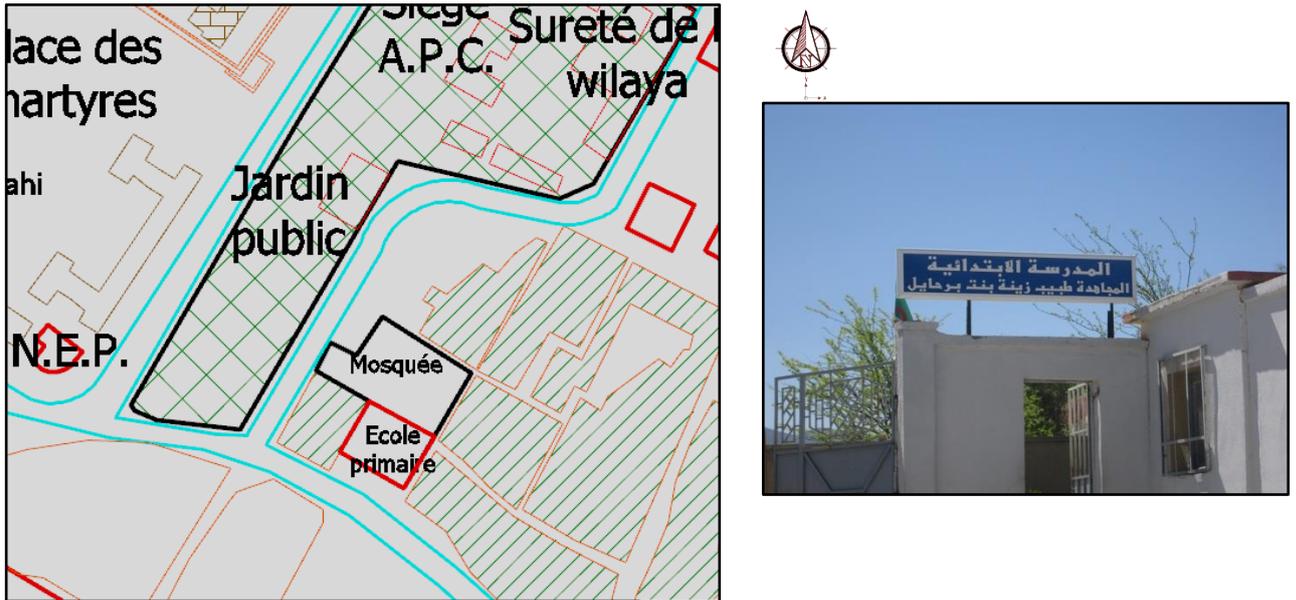


Figure 38 : la situation de l'école primaire Tebib Zina Tébessa

Source : auteur

2.1.1.2 Ecole Bahloul Rachid

Située dans cité Djebel Djof (Tébessa), construite en 2004, composée de 12 salles de classe, bureau directrice, une cantine et salle d'eaux, elle a une capacité de 215 places pédagogiques.

L'école est entourée par :

- Nord : habitat collectif FERPHOS
- Est : l'inspection de l'enseignement
- Ouest : habitat individuel R+2
- Sud : clinique + lycée djebel Djof

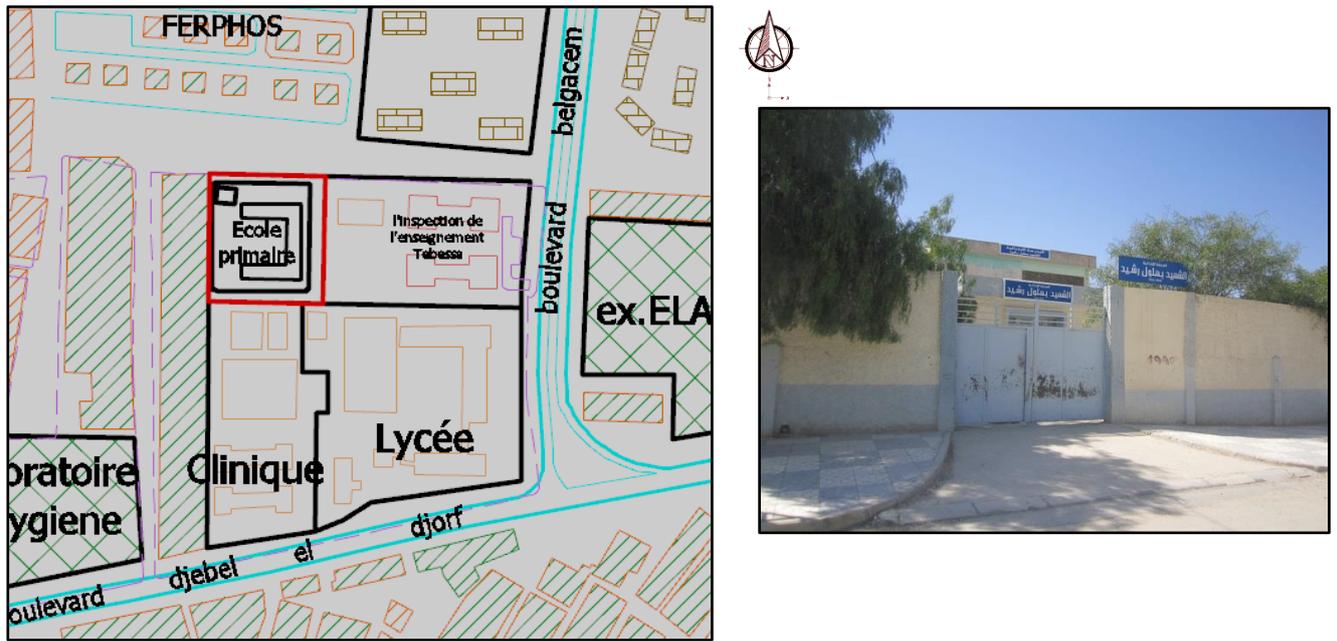


Figure 39 : la situation de l'école primaire Bahloul Rachid Tébéssa

Source : auteur

2.2 Critère de choix de l'échantillon :

Les établissements scolaires à Tébéssa , jusqu'à nos jours , souffrent des problèmes de confort visuel ou liés au éclairage , des salles de classe éclairées artificiellement pendant des journées et périodes de plein soleil , ce que signifie l'existence des anomalies liées au éclairagisme.

2.3 Etude de l'échantillon

2.3.1 Présentation d'échantillon

2.3.1.1 Salle de classe 01 Ecole Tebib Zina

- Dimension : 07m X 08,50m X 3,06m plan de travail = 0.75m
tableau = 1.1m
- Orientation : NORD-SUD

Chapitre 04 présentations et description de l'environnement de l'étude

- Ouvertures : 02 fenêtres unilatérales dans le mur «est» de taille (2mX1.8m) X 02 ,
- Type d'éclairage artificiel : lampes fluorescentes tubulaires T8 W36 de 1.5m avec/sans ballaste Nombre = 08 + 01 pour le tableau
- Parois et couleurs : parois jaunes, plancher blanc, sol beige en carrelage.

2.3.1.2 Salle de classe 02 Ecole Tebib Zina

- Dimension : 07m X 08,50m X 3,06m plan de travail = 0.75m tableau = 1.1m
- Orientation : EST- OUEST
- Ouvertures : 02 fenêtres unilatéralement disposées dans le mur «sud» de taille (2mX1.8m) X 02, vitres teintés
- Type d'éclairage artificiel : lampes fluorescentes tubulaires T8 W36 de 1.5m avec/sans ballaste Nombre = 08 + 01 pour le tableau
- Parois et couleurs : parois jaunes claires, plancher blanc Matt, sol beige en carrelage.

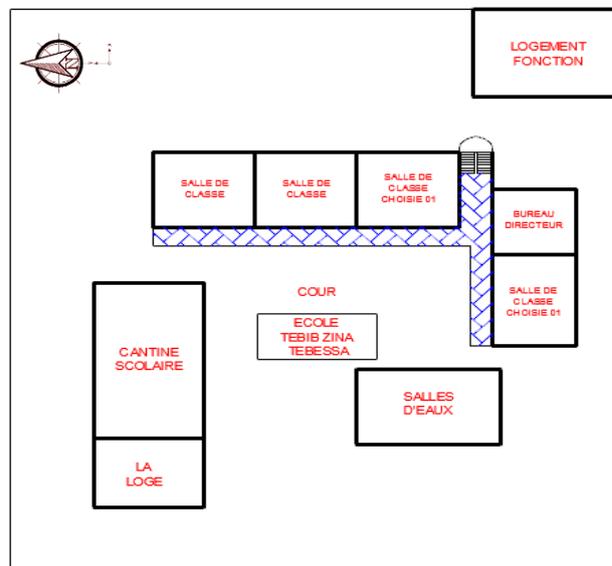


Figure 40 : les salles de classe choisies dans l'école Tebib Zina Tébessa

Source : auteur

Chapitre 04 présentations et description de l'environnement de l'étude



Figure 41 : photos de l'IN-situ salle de classe 01 école Tebib Zina Tébéssa

Source : auteur

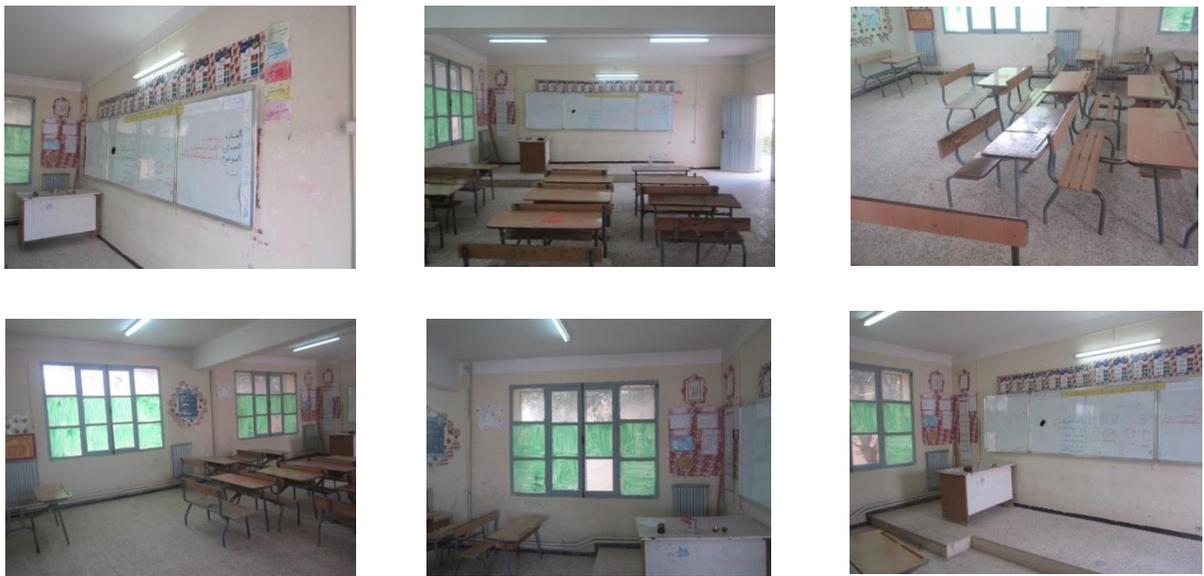


Figure 42 : photos de l'IN-situ salle de classe 02 école Tebib Zina Tébéssa

Source : auteur

2.3.1.3 Salle de classe 01 Ecole Bahloul Rachid

- Dimension : 06.50m X 08m X 3,06m plan de travail = 0.75m
tableau = 1.2m
- Orientation : EST-OUEST
- Ouverture : 04 fenêtres bilatéralement disposées dans les murs Nord et Sud, 02 pour chaque orientation, de taille (1.5mX1.5m) X 04

Chapitre 04 présentations et description de l'environnement de l'étude

- Type d'éclairage artificiel : lampes fluorescentes tubulaires T8 W36 de 1.5m avec/sans ballaste Nombre = 12
- Parois et couleurs : parois jaunes claires, plancher blanc Matt, sol beige en carrelage.

2.3.1.4 Salle de classe 02 Ecole Bahloul Rachid

- Dimension : 06.50m X 08m X 3,06m plan de travail = 0.75m tableau = 1.2m
- Orientation : NORD-SUD
- Ouvertures : 04 fenêtres bilatéralement disposées dans les murs EST et OUEST, 02 pour chaque orientation, de taille (1.5mX1.5m) X 04
- Type d'éclairage artificiel : lampes fluorescentes tubulaires T8 W36 de 1.5m avec/sans ballaste Nombre = 12
- Parois et couleurs : parois mauves claires, plancher blanc Matt, sol beige en carrelage .

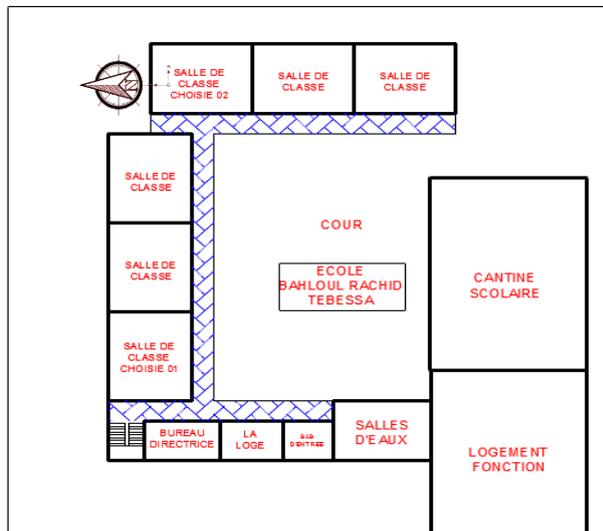


Figure 43 : les salles de classe choisies dans l'école Tebib Zina Tébéssa

Source : auteur

Chapitre 04 présentations et description de l'environnement de l'étude



Figure 44 : photos de l'IN-situ salle de classe 01 école Bahloul Rachid Tébéssa

Source : auteur

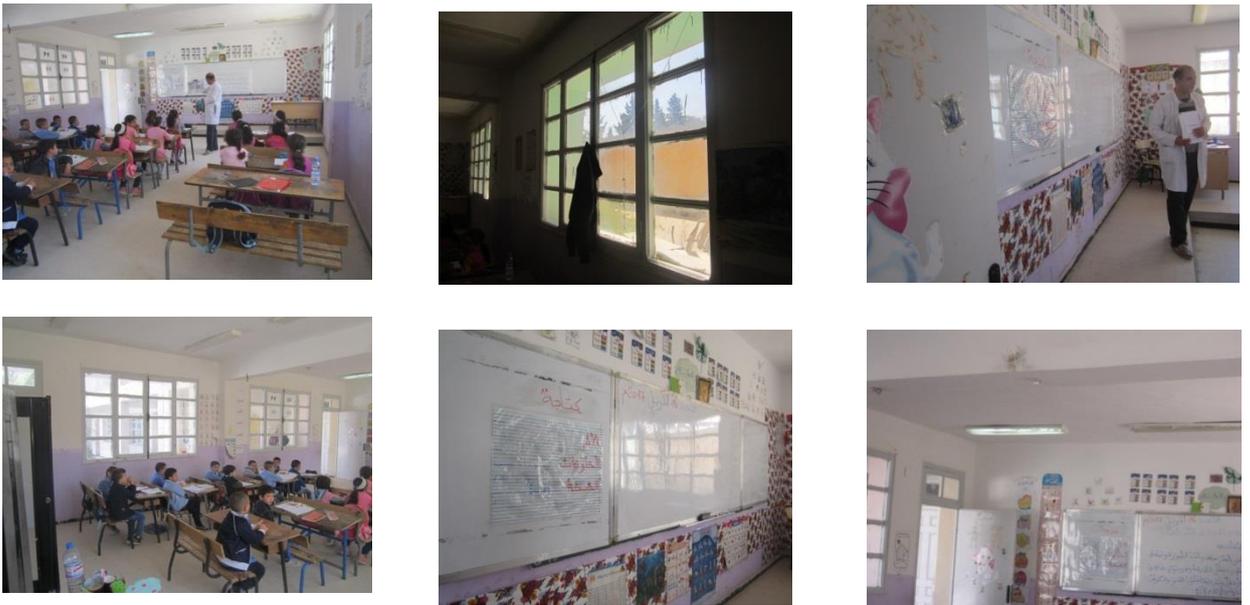


Figure 45 : photos de l'IN-situ salle de classe 02 école Bahloul Rachid Tébéssa

Source : auteur

2.3.2 Critères de classification de l'échantillon

Selon les cahiers de charges techniques relatives aux constructions des établissements scolaires, on trouve que toutes les salles de classe ont la même conception, géométrie, aménagements et équipements.

Chapitre 04 présentations et description de l'environnement de l'étude

Les critères par lesquels on peut classer les salles de classe et qui ont une influence directe sur la qualité d'éclairage et confort visuel dans ces locaux ; on peut opter les suivants :

- L'orientation de la salle qui se résume entre :
 - ✓ NORD-SUD
 - ✓ EST-OUEST
- La position des ouvertures responsables sur l'éclairage naturel :
 - ✓ UNILATERALES
 - ✓ BILATERALE

2.4 Etude en vue de créer le modèle

Sur la lumière des données précédemment mentionnées, on trouve

- Géométrie et dimensions :
 - ✓ Forme : rectangulaire
 - ✓ Longueur : entre 8 m et 8,5 m
 - ✓ Largeur : entre 6 m et 7,5 m
 - ✓ Hauteur : 3,06 m
 - ✓ Plan utile : 0.75 m par rapport au sol
 - ✓ Tableau : 1.25 m par rapport au sol
- Ouvertures et fenêtres :
 - ✓ Forme : rectangulaire
 - ✓ Longueur : entre 1.5 m et 2 m
 - ✓ Hauteur : entre 1.5 m et 1.8 m
 - ✓ Matériaux : encadrement en bois plus vitrage
- Eclairage artificiel : lampes fluorescentes tubulaires T16 W36 de 1.5 m
- Parois et couleurs :
 - ✓ Parois : Jaune claire / mauve claire
 - ✓ Plancher : Blanc Matt
 - ✓ Sol : Beige en carrelage

2.5 La création du modèle

En s'appuyant sur les données précédemment mentionnées, le reste de travail consiste à créer deux modèles pour mieux gérer la simulation et l'analyse des résultats, en fixant les constantes comme les tableaux indiquent :

2.5.1 Le modèle de fenêtres unilatérales

Dimensions	8.5 m X 6.5 m X 3.06 m
Plan utile	0.75 m
Tableau	1,25 m
Taille d'ouverture	1.5 m X 2 m n= 02
Matériau fenêtre	Encadrement en bois + vitrage
Couleurs des parois	Jaune claire
Couleur plancher	Blanc Matt
Couleur sol	Beige (carrelage)

Tableau 02 : Les données du modelé d'ouvertures unilatérales

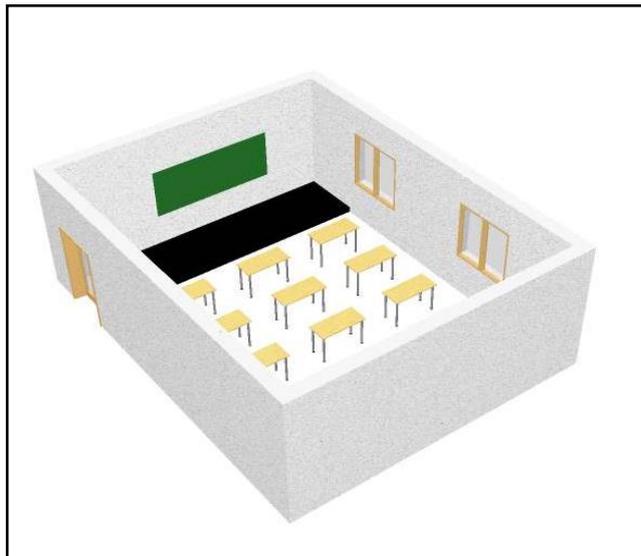


Figure 46 : modèle de salle de classe avec ouvertures unilatérales

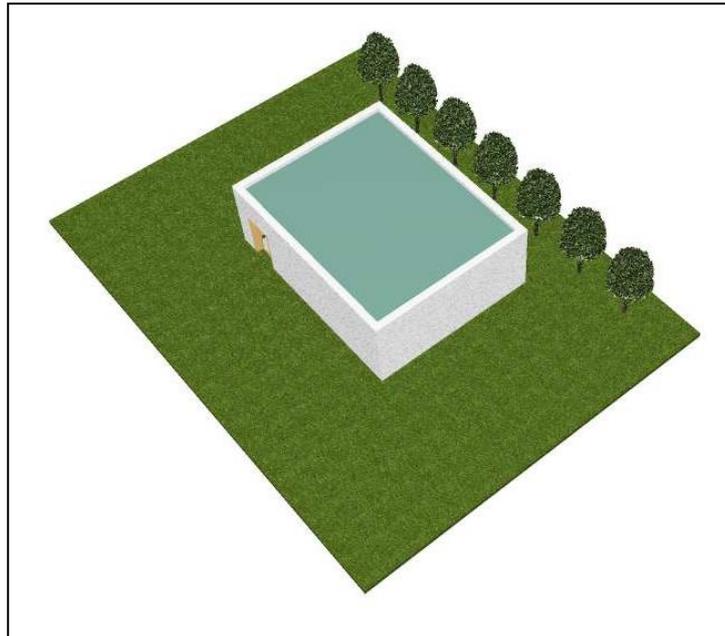


Figure 47 : modèle de salle de classe avec ouvertures unilatérales avec son masque extérieur

2.5.2 Le modèle de fenêtres unilatérales

Dimensions	8.5 m X 6.5 m X 3.06 m
Plan utile	0.75 m
Tableau	1,25 m
Taille d'ouverture	1.5 m X 2 m n= 04
Matériau fenêtre	Encadrement en bois + vitrage
Couleurs des parois	Jaune claire
Couleur plancher	Blanc Matt
Couleur sol	Beige (carrelage)

Tableau 03 : Les données du modelé d'ouvertures unilatérales

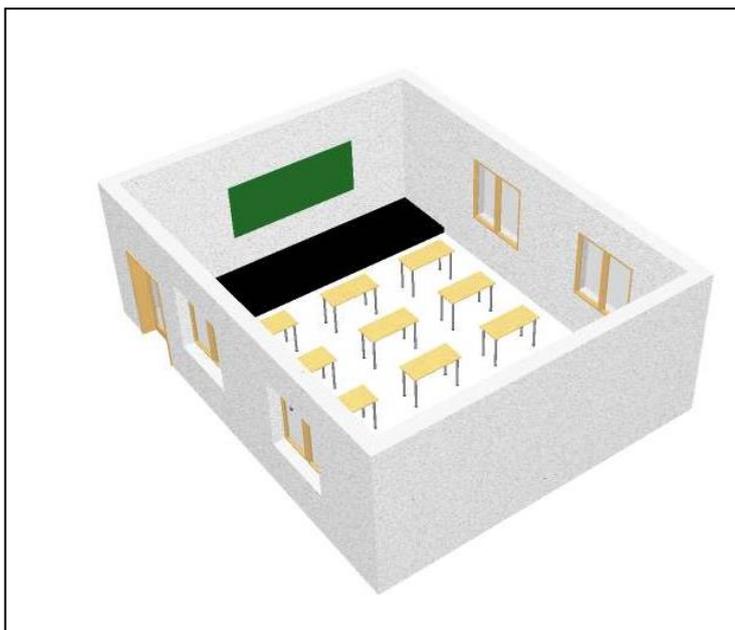


Figure 48 : modèle de salle de classe avec ouvertures bilatérales



Figure 49 : modèle de salle de classe avec ouvertures bilatérales avec son masque extérieur

CHAPITRE 05

protocole expérimentale et
simulation

1. Le protocole expérimental et simulation

1.1 L'outil de simulation

1.1.1 Le choix de l'outil de simulation

Le logiciel DIALUX, développé par Dial GmbH, permet de simuler l'éclairage à l'intérieur et à l'extérieur des pièces, de calculer et de vérifier de façon professionnelle tous les paramètres des installations d'éclairage, fournissant des résultats précis.

1.1.2 Les étapes de simulation par DIALUX

- Importation du modèle et préparation de zone de travail: en fixant les paramètres géométriques, de localisation et orientation
- La saisie des paramètres et les données spécifiques au modèle à simuler
- Démarrage de l'analyse: avec l'insertion de décor lumineux convenable et les types des résultats souhaités

1.1.3 L'objectif de la simulation

L'objectif de cette analyse est de vérifier par modélisation l'éclairage à l'intérieur des salles de classe et son effet pour le confort visuel des élèves qui utilisent ces salles, en comparant les résultats avec ce qu'on a retenu ultérieurement dans le volet théorique.

1.1.4 Les variables de la simulation

Après la fixation de les deux modèles de simulation selon la position des ouvertures (unilatérales / bilatérales) responsables sur l'éclairage naturel, la

simulation vérifie le confort visuel dans les salles de classe choisies les orientations NORD-SUD et EST-OUEST.

1.1.5 Les scénarios de la simulation

la prise de les modèles de deux types de fenêtres avec les deux orientations choisies, on obtient :

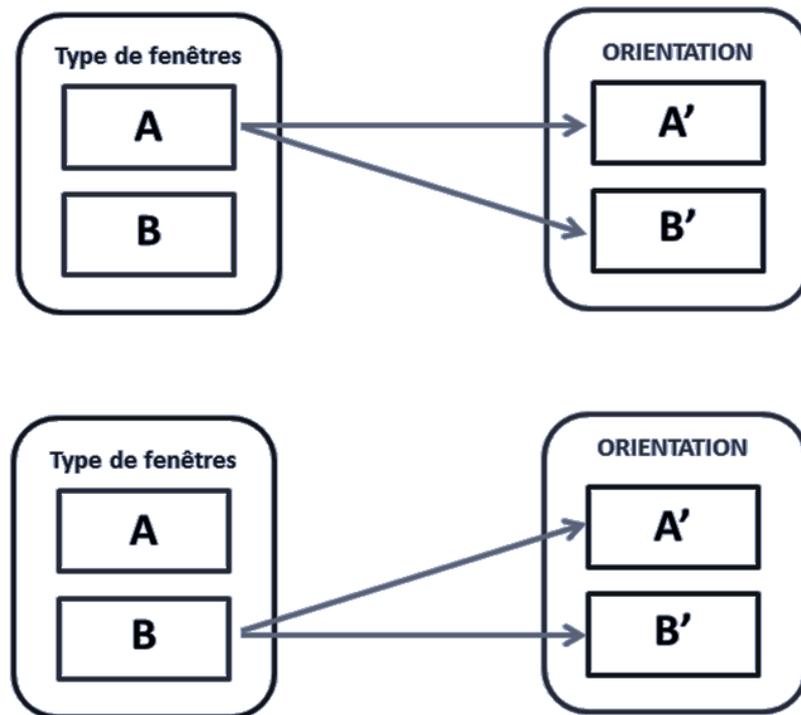


Schéma 01 : les scénarios de la simulation

Avec

A : salle de classe avec des ouvertures unilatérales.

B : salle de classe avec des ouvertures bilatérales.

A' : orientation NORD-SUD.

B' : orientation EST-OUEST.

CHAPITRE 06

Analyse et discussion des

Résultats

1. Analyse et discussion des résultats

Atteinte le confort visuel dans la salle de classe, repose sur la précision des valeurs et grandeurs responsables sur cette notion, le dépassement de ces valeurs, par majoration ou minoration, nous rapproche de l'intervalle d'inconfort et les troubles de mal vision. C'est pourquoi l'analyse sera qualitative, afin de vérifier l'éclairage et le confort visuel de les échantillons choisis, en référant à l'apport théorique dans le chapitre 02 .

Les principaux indices de l'analyse sont :

- Pour l'éclairage naturel
 - ✓ L'éclairement moyen Emoy
 - ✓ Uniformité
 - ✓ l'éblouissement
 - ✓ l'éclairement du tableau E tab
- Pour l'éclairage artificiel
 - ✓ L'éclairement moyen Emoy
 - ✓ Le contraste
 - ✓ L'éclairement du tableau E tab

1.1 Lecture des résultats

L'interprétation des résultats se base sur la lecture directe des valeurs d'éclairement depuis les courbes isolux et les graphiques des valeurs du plan utile, sol et mur contenant le tableau, fournit par le logiciel de simulation DIALUX.

1.1.1 Modèle A-A'

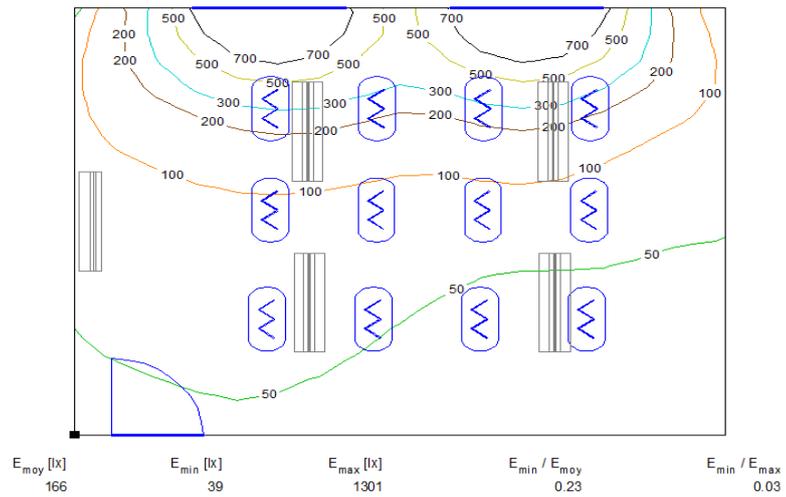


Figure 50 : les courbes isolux de l'éclairage naturel au niveau de plan utile, modèle A-A'

194	248	572	1188	1458	1426	1069	493	473	1012	1417	1469	1198	577	262	189
217	299	615	986	1217	1192	969	652	655	911	1173	1204	989	635	378	233
234	317	504	694	868	885	788	643	588	680	839	857	714	552	382	249
233	312	454	594	735	757	714	609	552	612	711	725	625	528	364	253
286	353	462	586	690	735	707	617	545	589	640	675	600	521	375	262
364	433	475	557	611	633	609	557	494	522	564	585	529	470	343	241
509	559	524	551	575	579	550	519	486	486	499	508	465	423	333	240
633	677	566	546	536	532	505	487	436	449	455	455	416	393	310	238
618	662	550	531	520	515	495	473	427	435	438	440	409	387	299	224
497	532	496	529	554	556	539	506	447	459	471	478	449	422	318	224
337	392	431	503	561	567	565	523	454	475	506	515	488	449	322	229
248	287	367	464	560	568	563	521	454	472	507	518	488	448	323	228
194	213	296	386	444	450	458	428	383	397	415	420	401	376	282	202
177	183	245	306	361	361	368	350	317	324	330	335	312	295	239	184
157	157	197	232	265	265	270	265	247	249	247	248	234	230	195	164
157	156	176	197	213	213	221	219	199	200	196	197	185	183	165	149

Figure 51 : graphique des valeurs d'éclairage de l'éclairage naturel au niveau de plan utile, modèle A-A'

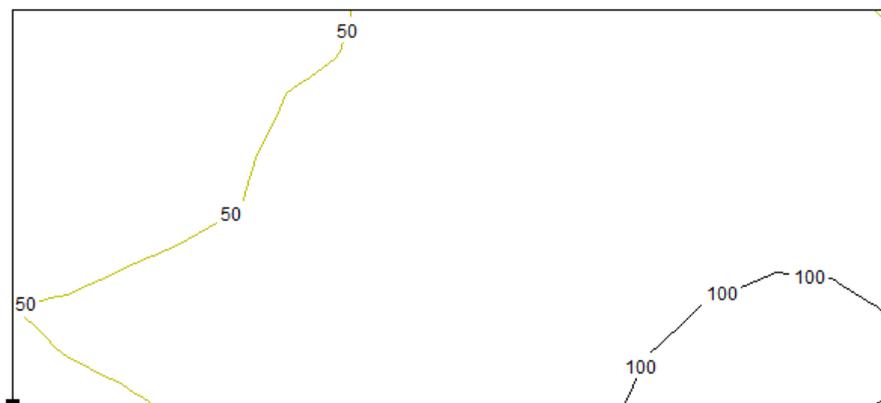


Figure 52 : les courbes isolux de l'éclairage naturel au niveau du mur contenant le tableau, modèle A-A'

Chapitre 06 Analyse et discussion des résultats

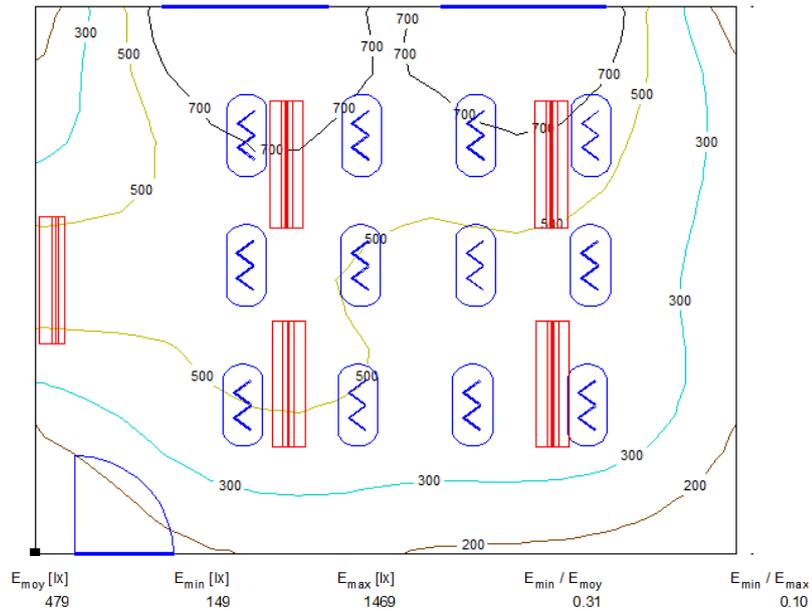


Figure 53 : les courbes isolux de l'éclairage artificiel au niveau de plan utile, modèle A-A'

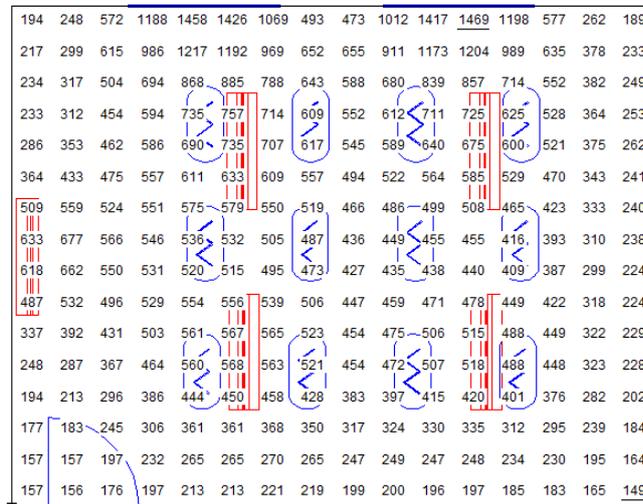


Figure 54 : graphique des valeurs d'éclairage de l'éclairage artificiel au niveau de plan utile, modèle A-A'

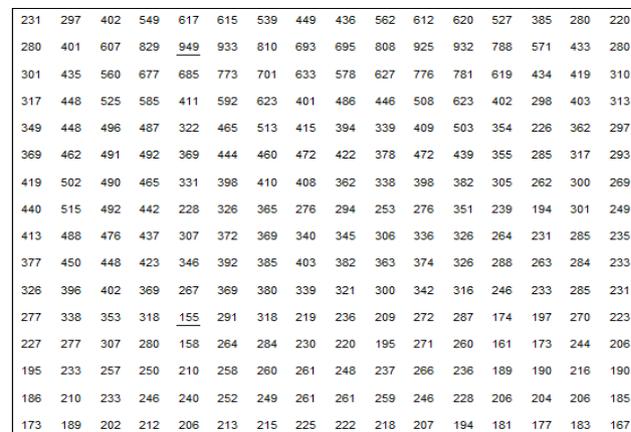


Figure 55 : graphique des valeurs d'éclairage de l'éclairage artificiel au niveau du sol, modèle A-A'

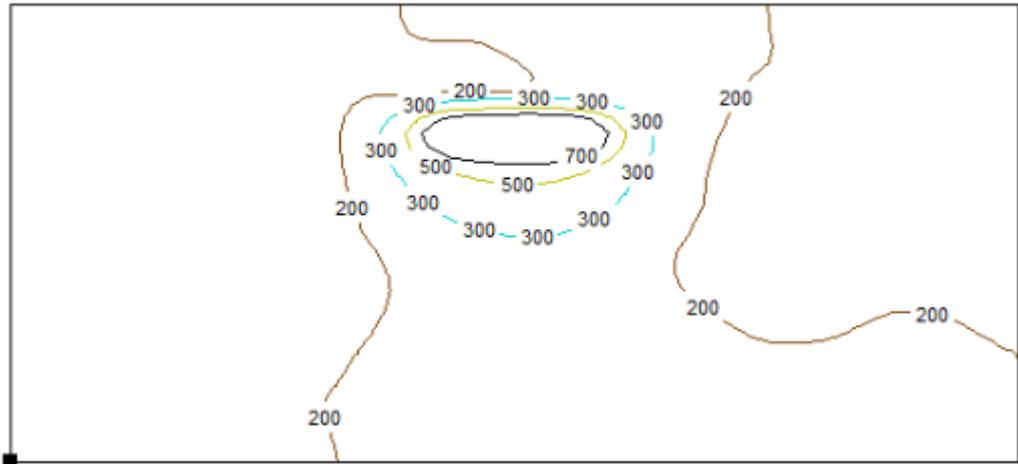


Figure 56 : les courbes isolux de l'éclairage artificiel au niveau du mur contenant le tableau, modèle A-A'

A partir du résultat de la simulation du modèle (A-A') on observe :

- Pour l'éclairage naturel
 - ✓ L'éclairage moyen $E_{moy} = 166$ lux
 - ✓ Uniformité $E_{min}/E_{moy} = 0,23$ non uniforme
 - ✓ Présence de l'éblouissement
 - ✓ Eclairage du tableau $E_{tab} = 100$ lux non uniforme
- Pour l'éclairage artificiel
 - ✓ L'éclairage moyen $E_{moy} = 479$ lux
 - ✓ Présence de contraste par rapport au sol
 - ✓ Eclairage du tableau $E_{tab} = 500$ lux non uniforme

1.1.2 Modèle A-B'

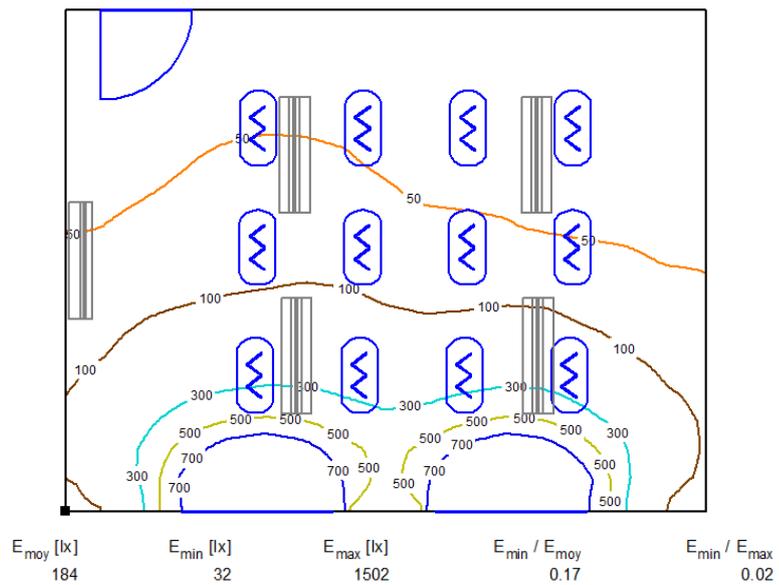


Figure 57 : les courbes isolux de l'éclairage naturel au niveau de plan utile, modèle A-B'

40	41	42	41	43	42	42	43	36	35	35	33	32	34	33	32
42	42	43	43	45	44	43	43	38	37	35	34	34	34	33	32
42	43	45	45	47	48	47	43	39	38	37	35	35	37	33	32
42	43	45	45	47	48	47	43	39	38	37	35	35	37	33	32
44	44	46	47	48	49	48	47	42	40	38	37	37	38	35	34
45	45	49	50	52	51	51	49	45	40	42	39	38	37	37	33
45	47	50	51	57	55	54	52	47	45	47	45	42	38	38	34
45	47	50	51	57	55	54	52	47	45	47	45	42	38	38	34
47	51	52	55	62	60	60	59	51	51	49	48	43	43	42	36
49	55	56	58	64	69	67	61	56	58	53	55	47	47	44	34
70	81	81	90	92	98	102	89	81	82	76	80	76	69	62	52
70	81	81	90	92	98	102	89	81	82	76	80	76	69	62	52
75	89	94	100	109	109	119	104	91	93	92	100	86	79	66	57
70	104	124	131	146	159	155	138	118	121	134	141	126	93	74	64
93	129	165	202	218	246	239	195	179	182	219	246	203	141	105	71
93	129	165	202	218	246	239	195	179	182	219	246	203	141	105	71
98	163	258	316	363	375	325	274	254	295	350	373	301	198	141	85
119	202	379	529	624	642	512	380	383	490	623	663	523	332	198	93
113	223	526	919	1165	1135	842	472	503	801	1123	1154	939	480	209	92
113	223	526	919	1165	1135	842	472	503	801	1123	1154	939	480	209	92
80	144	484	1237	1502	1472	1012	322	322	969	1441	1499	1244	479	130	70

Figure 58 : graphique des valeurs d'éclairage de l'éclairage naturel au niveau de plan utile, modèle A-B'

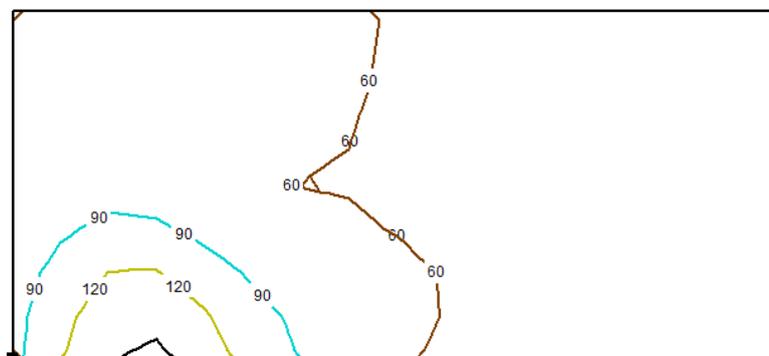


Figure 59 : les courbes isolux de l'éclairage naturel au niveau du mur contenant le tableau, modèle A-B'

Chapitre 06 Analyse et discussion des résultats

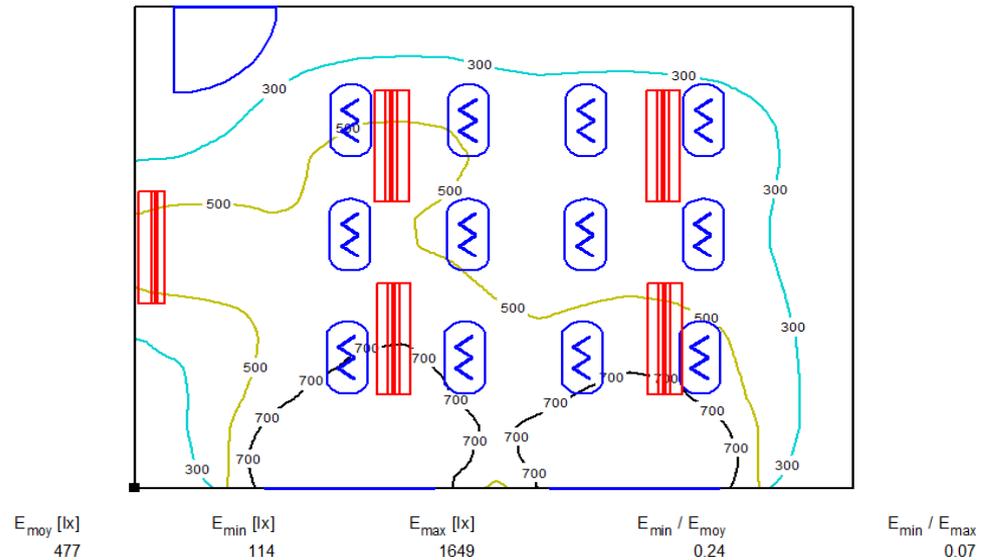


Figure 60 : les courbes isolux de l'éclairage artificiel au niveau de plan utile, modèle A-B'

141	142	167	190	212	211	222	221	184	186	185	184	166	165	142	114
143	143	191	232	272	271	280	270	240	244	242	242	224	216	174	125
163	169	240	313	375	377	387	360	314	323	332	333	310	291	218	140
163	169	240	313	375	377	387	360	314	323	332	333	310	291	218	140
181	198	290	391	459	463	476	436	375	394	415	420	399	365	256	152
234	271	363	464	556	564	567	514	442	459	493	502	468	420	290	168
321	375	412	480	533	536	539	494	420	440	470	477	441	397	277	163
321	375	412	480	533	536	539	494	420	440	470	477	441	397	277	163
471	517	478	501	526	529	510	479	411	426	433	437	399	371	278	163
602	648	533	507	497	504	480	454	395	407	406	410	364	348	265	161
616	667	553	537	524	533	515	482	415	426	425	432	392	367	278	170
616	667	553	537	524	533	515	482	415	426	425	432	392	367	278	170
491	547	514	548	582	588	579	533	449	467	480	495	449	413	301	177
337	423	479	557	628	649	646	587	489	512	560	579	532	457	313	186
274	347	462	595	704	739	734	646	552	575	649	686	609	508	345	194
274	347	462	595	704	739	734	646	552	575	649	686	609	508	345	194
225	308	485	633	738	754	715	634	560	615	688	716	624	494	345	190
231	318	556	768	915	936	814	663	625	738	879	922	758	551	359	186
205	315	657	1085	1363	1334	1048	672	675	977	1298	1329	1097	633	328	169
205	315	657	1085	1363	1334	1048	672	675	977	1298	1329	1097	633	328	169
172	236	595	1368	1649	1621	1169	477	446	1096	1565	1624	1353	586	220	136

Figure 61 : graphique des valeurs d'éclairage de l'éclairage artificiel au niveau de plan utile, modèle A-B'

151	170	193	207	202	211	213	224	216	212	207	189	172	169	142	115
164	191	225	230	187	232	243	250	217	207	241	217	173	182	164	126
174	213	248	246	149	223	243	224	201	184	236	232	163	133	184	129
208	259	293	285	134	239	286	203	222	181	222	263	163	121	211	142
262	323	345	339	200	311	349	300	301	250	294	306	201	168	235	153
310	381	387	385	315	370	375	379	358	341	367	319	263	228	244	157
359	436	430	400	293	353	364	333	340	314	346	319	236	204	245	163
400	482	463	416	212	318	355	271	319	250	269	339	194	173	243	165
413	498	495	444	315	382	415	388	369	325	374	373	265	236	263	177
391	486	497	474	380	436	479	485	421	396	450	434	331	266	290	190
347	461	499	480	321	478	505	427	403	352	464	463	296	245	299	198
333	446	528	532	312	545	574	343	462	385	470	575	295	286	345	214
299	447	568	616	555	697	695	559	576	570	686	690	486	405	379	222
287	427	602	752	838	892	805	702	684	773	902	890	715	538	390	217
262	403	608	848	1006	998	869	726	720	860	999	995	825	577	358	192
188	251	330	467	550	561	497	419	392	467	534	543	452	343	214	138

Figure 62 : graphique des valeurs d'éclairage de l'éclairage artificiel au niveau du sol, modèle A-B'

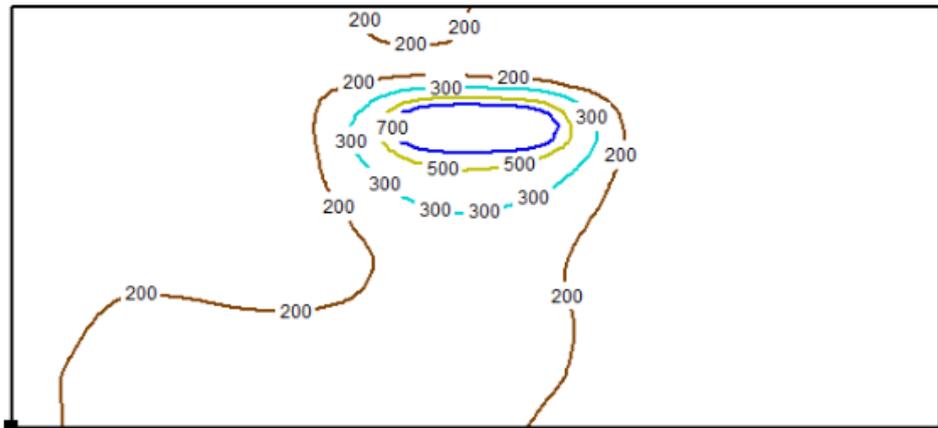


Figure 63 : les courbes isolux de l'éclairage artificiel au niveau du mur contenant le tableau, modèle A-B'

A partir du résultat de la simulation du modèle () on observe

- Pour l'éclairage naturel
 - ✓ L'éclairement moyen $E_{moy} = 184$ lux
 - ✓ Uniformité $E_{min}/ E_{moy} = 0.17$ non uniforme
 - ✓ Présence l'éblouissement
 - ✓ Eclairement du tableau $E_{tab} = 90$ lux non uniforme
- Pour l'éclairage artificiel
 - ✓ L'éclairement moyen $E_{moy} = 477$ lux
 - ✓ Présence de contraste par rapport au sol
 - ✓ Eclairement du tableau $E_{tab} = 300$ lux non uniforme

1.1.3 Modèle B-A'

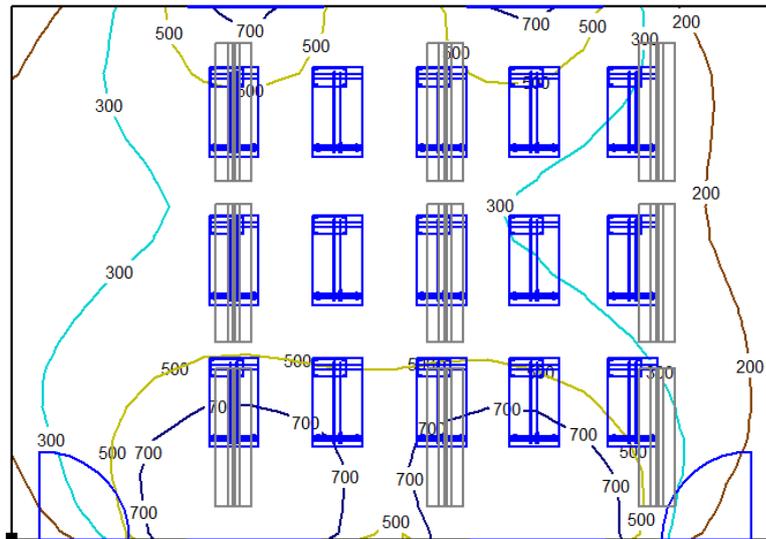


Figure 64 : les courbes isolux de l'éclairage naturel au niveau de plan utile, modèle B-A'

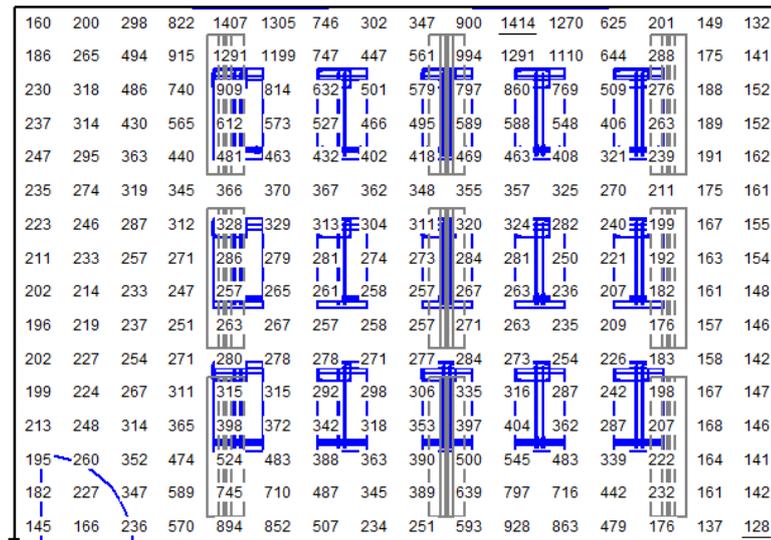


Figure 65 : graphique des valeurs d'éclairage de l'éclairage naturel au niveau de plan utile, modèle B-A'

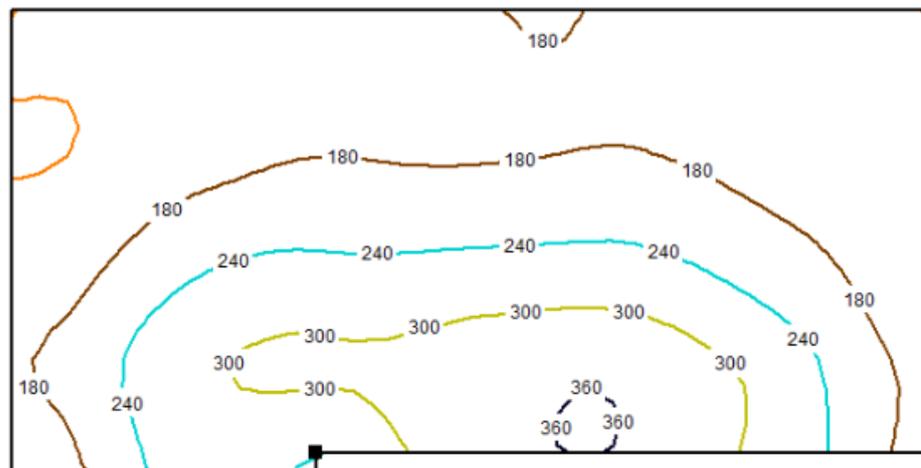
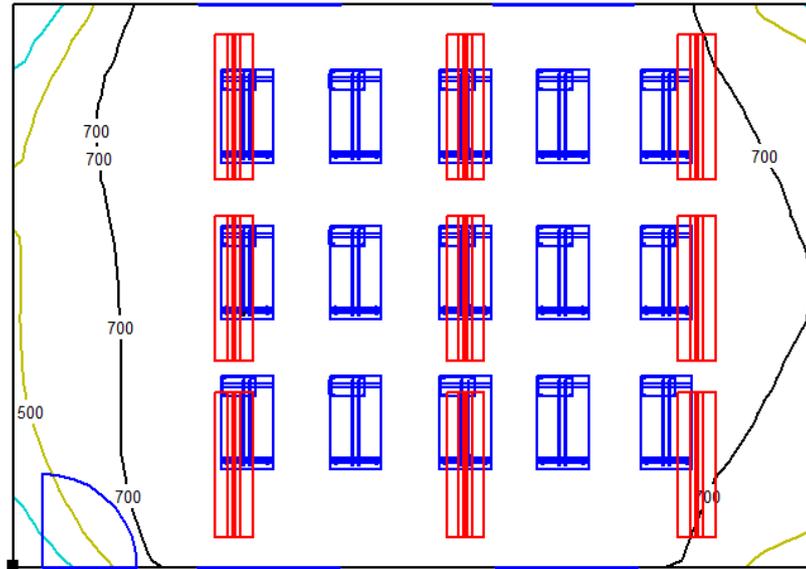


Figure 66 : les courbes isolux de l'éclairage naturel au niveau du mur contenant le tableau, modèle B-A'



E_{moy} [lx] 937
 E_{min} [lx] 346
 E_{max} [lx] 1892
 E_{min} / E_{moy} 0.37
 E_{min} / E_{max} 0.18

Figure 67 : les courbes isolux de l'éclairage artificiel au niveau de plan utile, modèle B-A'

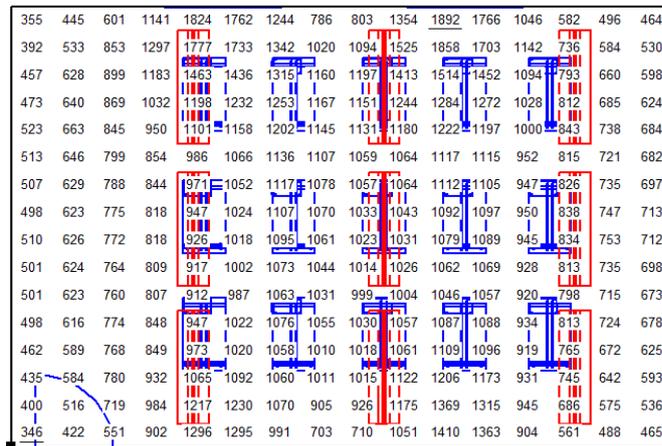


Figure 68 : graphique des valeurs d'éclairage de l'éclairage artificiel au niveau de plan utile, modèle B-A'

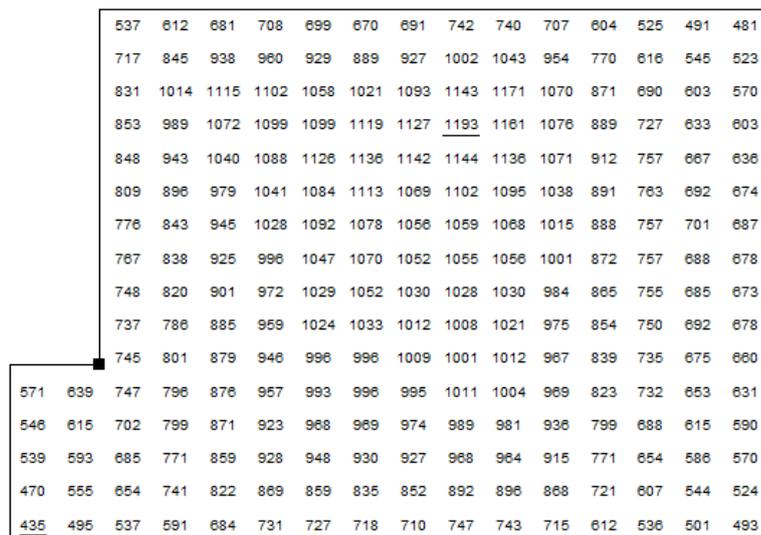


Figure 69 : graphique des valeurs d'éclairage de l'éclairage artificiel au niveau du sol, modèle B-A'

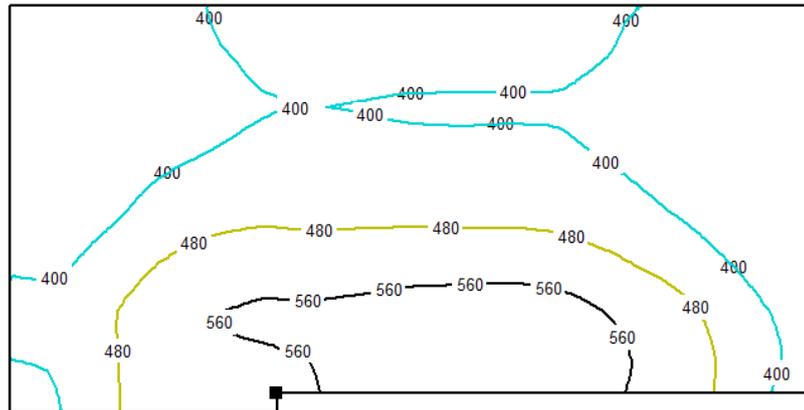


Figure 70 : les courbes isolux de l'éclairage artificiel au niveau du mur contenant le tableau, modèle B-A'

A partir du résultat de la simulation du modèle () on observe

- Pour l'éclairage naturel
 - ✓ L'éclairement moyen $E_{moy} = 831$ lux
 - ✓ Uniformité $E_{min}/E_{moy} =$ non uniforme
 - ✓ Pas l'éblouissement
 - ✓ Eclairement du tableau $E_{tab} = 240$ lux uniforme
- Pour l'éclairage artificiel
 - ✓ L'éclairement moyen $E_{moy} = 931$ lux
 - ✓ Pas de contraste
 - ✓ Eclairement du tableau $E_{tab} = 520$ lux uniforme

1.1.4 Modèle B-B'

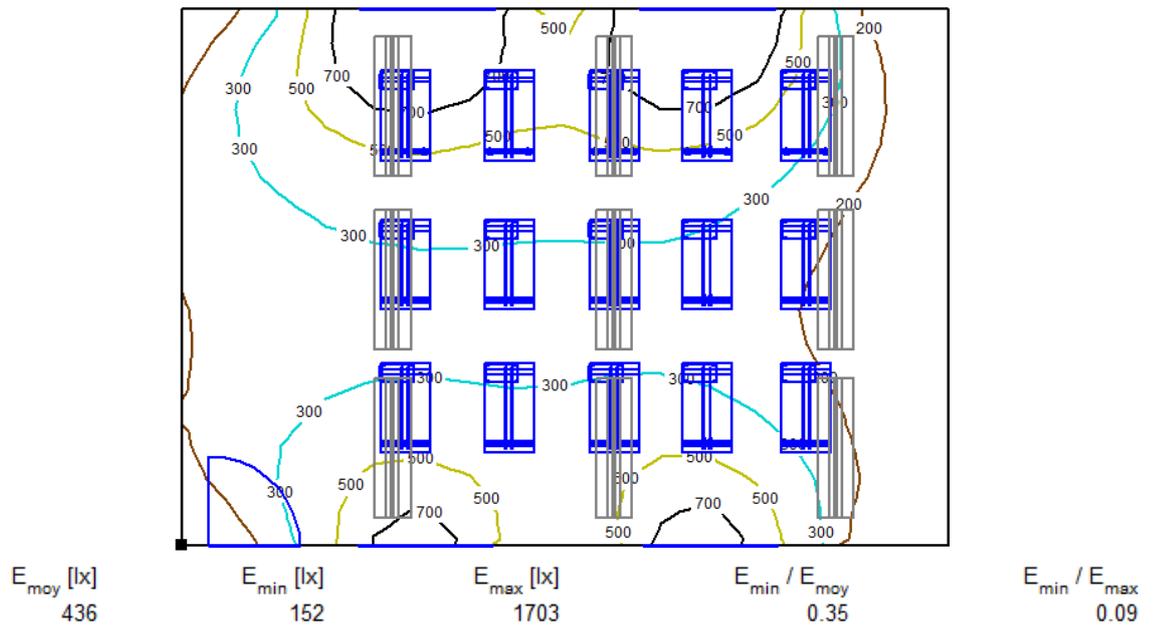


Figure 71 : les courbes isolux de l'éclairage naturel au niveau de plan utile, modèle B-B'

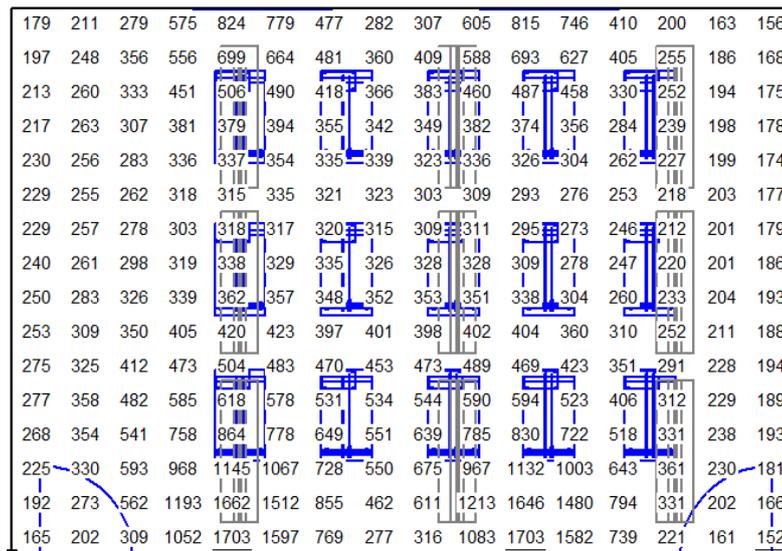


Figure 72 : graphique des valeurs d'éclairage de l'éclairage naturel au niveau de plan utile, modèle B-B'

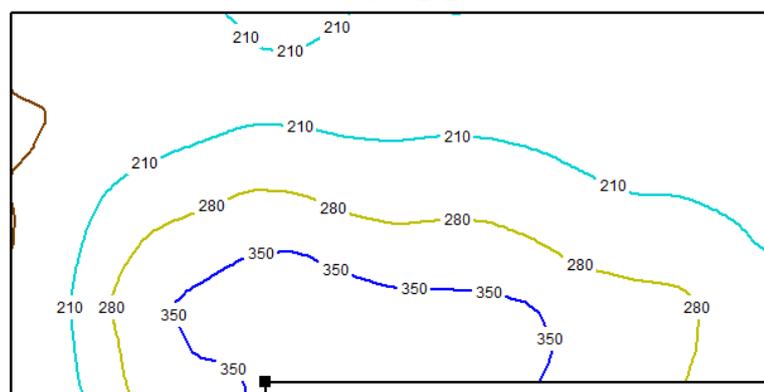


Figure 73 : les courbes isolux de l'éclairage naturel au niveau du mur contenant le tableau, modèle B-B'

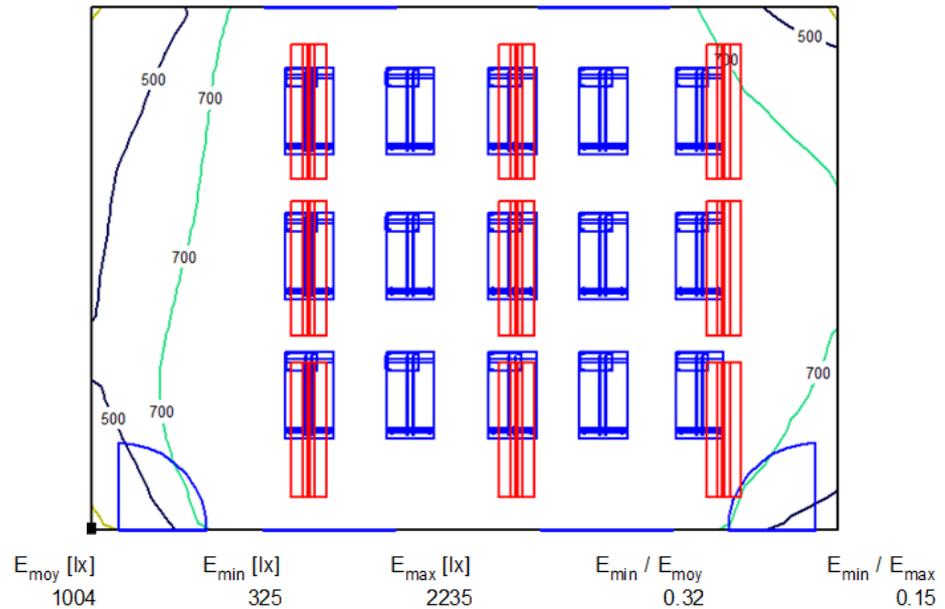


Figure 74 : les courbes isolux de l'éclairage artificiel au niveau de plan utile, modèle B-B'

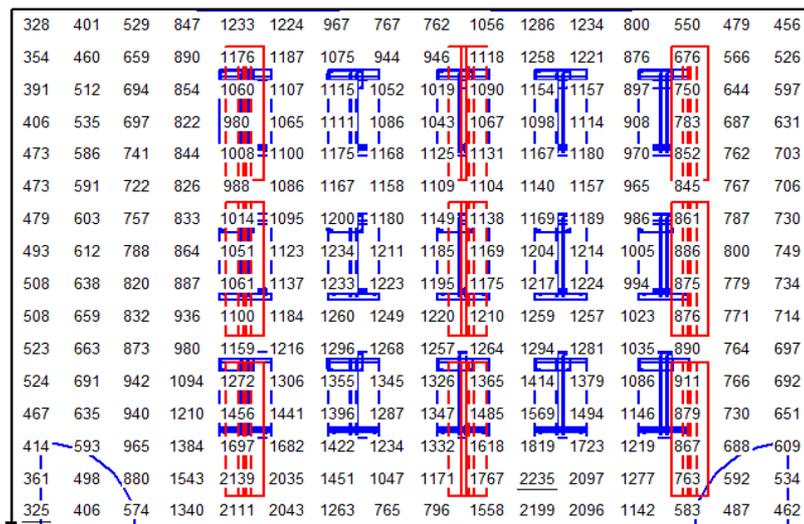


Figure 75 : graphique des valeurs d'éclairage de l'éclairage artificiel au niveau de plan utile, modèle B-B'

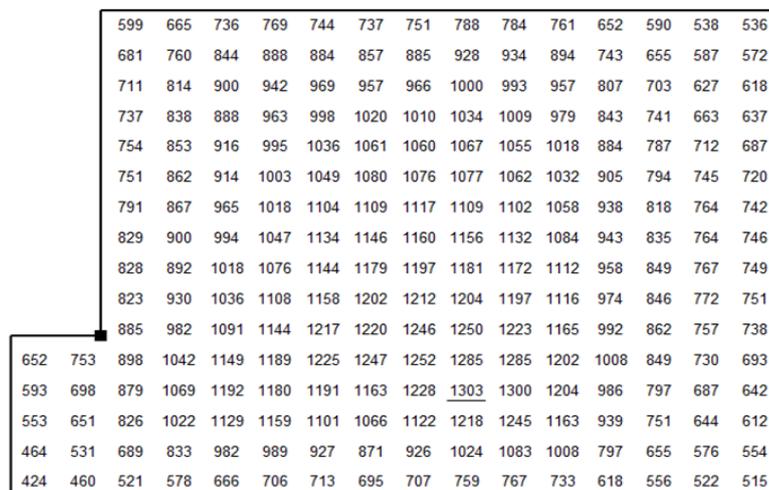


Figure 76 : graphique des valeurs d'éclairage de l'éclairage artificiel au niveau du sol, modèle B-B'

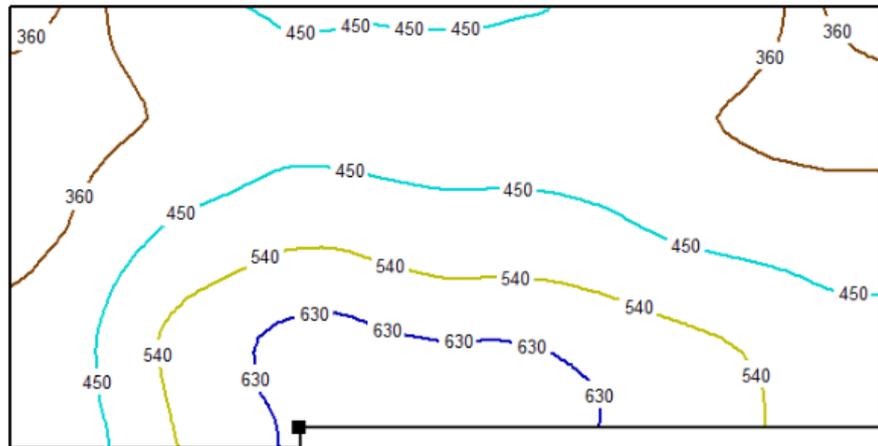


Figure 77 : les courbes isolux de l'éclairage artificiel au niveau du mur contenant le tableau, modèle B-B'

A partir du résultat de la simulation du modèle () on observe

- Pour l'éclairage naturel
 - ✓ L'éclairage moyen $E_{moy} = 436$ lux
 - ✓ Uniformité $E_{min} / E_{moy} = 0,35$ non uniforme
 - ✓ Pas d'éblouissement
 - ✓ Eclairage du tableau $E_{tab} = 280$ lux uniforme
- Pour l'éclairage artificiel
 - ✓ L'éclairage moyen $E_{moy} = 1000$ lux
 - ✓ Pas de contraste
 - ✓ Eclairage du tableau $E_{tab} = 450$ lux uniforme

1.2 Analyse des résultats

Après la lecture des résultats obtenus, et par référence à la partie théorique, on peut trier les résultats dans le tableau récapitulatif suivant :

	ECLAIRAGE NATUREL				ECLAIRAGE ARTIFICIEL			RESULTAT
	Eclair-ement moyen	Unifor-mité	Ebloui-ssement	Eclair-ement tableau	Eclair-ement moyen	Contraste	Eclair-ement tableau	
A-A'	X	X	X	X	✓	X	X	INCONFORTABLE VISUELLEMENT
A-B'	X	X	X	X	✓	✓	X	DIFICULTE D'ATTENDRE LE CONFORT VISUEL
B-A'	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	TRES BON ECLAIRAGE NATUREL – PAS BESOINS DE L'ARTIFICIEL
B-B'	✓	X	✓	X	✓	✓	✓	L'ECLAIRAGE ARTIFICIEL COMPLETE PARFAITEMENT L'ECLAIRAGE NATUREL

Tableau 04 : tableau récapitulatif des résultats de la simulation

Conclusion

Les résultats de simulation dévoile la différence énorme entre les modèles de les échantillons, en prouvant l'impact de l'ouverture et l'orientation de la salle de classe l'éclairage et le confort visuel

Sur la lumière de ces résultats on tire que

- Les ouvertures bilatérales répondent mieux au éclairage et confort que les ouvertures unilatérales
- L'orientation NORD-SUD donne des bonnes résultats que l'orientation EST-OUEST

CONCLUSION

GENERALE

Conclusion générale

Depuis l'évolution des établissements scolaires, la lumière y'était toujours présente, joue un rôle fondamentale dans leurs fonctionnalité.

Le confort, malgré qu'il est une notion subjective, des niveaux et paramètres doivent être maintenir à l'intérieur des salles de classe, parfois soigneusement induites pour éviter l'inconfort et ne pas obtenir des contre effets.

La modélisation de la lumière et l'éclairage par simulation permet de détecter les problèmes et les anomalies de l'éclairage et son impact sur le confort.

La ville de Tébessa se caractérise par un climat lumineux important et un ciel partiellement couvert, ce que signifie un bon apport en éclairage naturel. Mais la constatation à prouver le recours à l'éclairage artificiel dans des écoles pendant des périodes en plein soleil.

D'après cette modeste recherche, on peut citer une compilation de recommandations afin de corriger la situation existante et éviter certain problèmes pour les futurs établissements.

Les établissements scolaires existants :

- Pour les salles de classe avec ouvertures unilatérales, d'autres ouvertures devraient être créer dans le coté parallèle, pour avoir des ouvertures bilatéralement disposées, en renforçant les sources en lumière naturelle.
- Pour les salles de classe avec ouvertures bilatérales, même qu'il fournit des bonnes valeurs en éclairement, il faut prendre l'uniformité et la protection contre l'éblouissement en considération,
- L'éclairage des tableaux en général nécessite la combinaison par un éclairage artificiel pour maintenir le niveau requis

Les futurs établissements scolaires :

- Le choix de l'orientation consiste la première étape sérieuse pour attendre le confort visuel ; adoptant une orientation NORD-SUD avec des ouvertures sur les deux autres cotés donne les meilleurs résultats
- Les ouvertures doivent impérativement être disposées bilatéralement, et avec des surfaces importantes, sans oublier de se protéger contre l'éblouissement.
- Pour l'éclairage artificiel , doté d'être uniforme et homogène et complémentaire à l'éclairage naturel
- L'éclairage naturel seulement pour éclairer le tableau ne suffit pas, il est demandé de le combiner artificiellement par des dispositifs posés au mur pour rapprocher aux niveaux requis à maintenir.

Liste des figures

Figure 01 : les ondes électromagnétique constituant la lumière	04
Figure 02 : les sources de la lumière	05
Figure 03 : les principales grandeurs photométriques	07
Figure 04 : le contraste	08
Figure 05 : la réflexion de la lumière	08
Figure 06 : classification de température de couleur	09
Figure 07 : relation entre l'éclairement et température de couleur	09
Figure 08 : les critères de confort visuel dans les bureaux	11
Figure 09 : caractéristiques liés à l'environnement	12
Figure 10 : schéma d'une lampe	13
Figure 11 : luminaire	14
Figure 12 : éclairage zénithal et éclairage latéral	15
Figure 13 : lampe à incandescence	16
Figure 14 : lampe fluorescente	16
Figure 15 : lampe à décharge	17
Figure 16 : lampe à induction	17
Figure 17 : Eclairage général	18
Figure 18 : Eclairage localisé	18
Figure 19 : Eclairage d'appoint	19
Figure 20 : types d'éclairage selon la diffusion de lumière	19
Figure 21 : la combinaison entre éclairage naturel et artificiel.....	20
Figure 22 : exemple d'une tâche visuelle pendant le cours.....	25
Figure 23 : les paramètres de confort visuel dans la salle de classe	26
Figure 24 : les niveaux d'éclairements recommandés dans la salle de classe	27
Figure 25 : l'uniformité d'éclairement dans la salle de classe.....	28
Figure 26 : l'effet de l'éblouissement dans la salle de classe	29
Figure 27 : l'effet de l'éblouissement au niveau de plan de travail	30
Figure 28 : l'effet de l'éblouissement sur le tableau.....	30
Figure 29 : l'apparition des ombres du a la position de l'éclairage.....	30
Figure 30 : valeurs d'indice de rendu de couleur et température de couleur dans la salle de classe	31
Figure 31 : exigence de luminance du luminaire et sa disposition	34
Figure 32 : Un diagramme d'éclairement lumineux	42
Figure 33 : simulation de l'éclairage par un modèle réduit avec un héliodon	43
Figure 34 : Exemple de calcul de radiosité dans un local	45
Figure 35 : Exemple de calcul RAYTRACING	46
Figure 36 : liste de type de logiciels de simulation	47
Figure 37 : zoning de disponibilité de la lumière naturelle en Algérie	50
Figure 38 : la situation de l'école primaire Tebib Zina Tébessa	52
Figure 39 : la situation de l'école primaire Bahloul Rachid Tébessa	53
Figure 40 : les salles de classe choisies dans l'école Tebib Zina Tébessa	54
Figure 41 : photos de l'IN-situ salle de classe 01 école Tebib Zina Tébessa	55
Figure 42 : photos de l'IN-situ salle de classe 02 école Tebib Zina Tébessa	55
Figure 43 : les salles de classe choisies dans l'école Tebib Zina Tébessa	56
Figure 44 : photos de l'IN-situ salle de classe 01 école Bahloul Rachid Tébessa	57
Figure 45 : photos de l'IN-situ salle de classe 02 école Bahloul Rachid Tébessa ...	57
Figure 46 : modèle de salle de classe avec ouvertures unilatérales	59

Figure 47 : modèle de salle de classe avec ouvertures unilatérales avec son masque extérieur	60
Figure 48 : modèle de salle de classe avec ouvertures bilatérales	61
Figure 49 : modèle de salle de classe avec ouvertures bilatérales avec son masque extérieur	61
Figure 50 : les courbes isolux de l'éclairage naturel au niveau de plan utile, modèle A-A'	65
Figure 51 : graphique des valeurs d'éclairement de l'éclairage naturel au niveau de plan utile, modèle A-A'	65
Figure 52 : les courbes isolux de l'éclairage naturel au niveau du mur contenant le tableau, modèle A-A'	65
Figure 53 : les courbes isolux de l'éclairage artificiel au niveau de plan utile, modèle A-A'	66
Figure 54 : graphique des valeurs d'éclairement de l'éclairage artificiel au niveau de plan utile, modèle A-A'	66
Figure 55 : graphique des valeurs d'éclairement de l'éclairage artificiel au niveau du sol, modèle A-A'	66
Figure 56 : les courbes isolux de l'éclairage artificiel au niveau du mur contenant le tableau, modèle A-A'	67
Figure 57 : les courbes isolux de l'éclairage naturel au niveau de plan utile, modèle A-B'	68
Figure 58 : graphique des valeurs d'éclairement de l'éclairage naturel au niveau de plan utile, modèle A-B'	68
Figure 59 : les courbes isolux de l'éclairage naturel au niveau du mur contenant le tableau, modèle A-B'	68
Figure 60 : les courbes isolux de l'éclairage artificiel au niveau de plan utile, modèle A-B'	69
Figure 61 : graphique des valeurs d'éclairement de l'éclairage artificiel au niveau de plan utile, modèle A-B'	69
Figure 62 : graphique des valeurs d'éclairement de l'éclairage artificiel au niveau du sol, modèle A-B'	69
Figure 63 : les courbes isolux de l'éclairage artificiel au niveau du mur contenant le tableau, modèle A-B'	70
Figure 64 : les courbes isolux de l'éclairage naturel au niveau de plan utile, modèle B-A'	71
Figure 65 : graphique des valeurs d'éclairement de l'éclairage naturel au niveau de plan utile, modèle B-A'	71
Figure 66 : les courbes isolux de l'éclairage naturel au niveau du mur contenant le tableau, modèle B-A'	71
Figure 67 : les courbes isolux de l'éclairage artificiel au niveau de plan utile, modèle B-A'	72
Figure 68 : graphique des valeurs d'éclairement de l'éclairage artificiel au niveau de plan utile, modèle B-A'	72
Figure 69 : graphique des valeurs d'éclairement de l'éclairage artificiel au niveau du sol, modèle B-A'	72
Figure 70 : les courbes isolux de l'éclairage artificiel au niveau du mur contenant le tableau, modèle B-A'	73
Figure 71 : les courbes isolux de l'éclairage naturel au niveau de plan utile, modèle B-B'	74

Figure 72 : graphique des valeurs d'éclairement de l'éclairage naturel au niveau de plan utile, modèle B-B'	74
Figure 73 : les courbes isolux de l'éclairage naturel au niveau du mur contenant le tableau, modèle B-B'	74
Figure 74 : les courbes isolux de l'éclairage artificiel au niveau de plan utile, modèle B-B'	75
Figure 75 : graphique des valeurs d'éclairement de l'éclairage artificiel au niveau de plan utile, modèle B-B'	75
Figure 76 : graphique des valeurs d'éclairement de l'éclairage artificiel au niveau du sol, modèle B-B'	75
Figure 77 : les courbes isolux de l'éclairage artificiel au niveau du mur contenant le tableau, modèle B-B'	77

Liste des schémas

Schéma 01 : les scenarios de la simulation	63
--	----

Liste des tableaux

Tableau 01 : exigence de luminance du luminaire et sa disposition	34
Tableau 02 : Les données du modelé d'ouvertures unilatérales	59
Tableau 03 : Les données du modelé d'ouvertures unilatérales	60
Tableau 04 : tableau récapitulatif des résultats de la simulation	77

Références et bibliographie

LES LIVRES

1. **CHRIS Van-Uffelen.** LUMIÈRE ET ARCHITECTURE. PARIS, citadelles-mazenod (2012)

Les Articles :

2. **ABDELATIA. B.** «Daylighting Strategy for Sustainable Schools. Case Study of Prototype Classrooms in Libya » Journal of Sustainable Development Vol. 3, No. 3; September 2010
3. **BELAKEHAL. A** et **TABET AOUL. K.** « L'éclairage naturel dans le bâtiment, référence aux milieux arides à climat chaud et sec ». *Courrier du Savoir*, n°04, (JUN 2003).

Les Thèses

4. **BENHARKET, S.** Impact de l'éclairage naturel zenithal sur le confort visuel dans les salles de classe : Cas BLOC DES LETTRES DE L'UNIVERSITÉ MENTOURI CONSTANTINE, Mémoire de Magistère, DÉPARTEMENT D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME. Université Mentouri . Constantine, 2006.
5. **Boudoukha, A.** Analyse de la Symbiose environnement lumineux et qualité architecturale dans le secteur résidentiel. Cas de la cité des 426 lots Eleulma, Sétif. Mémoire de Magistère, DÉPARTEMENT D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME, Université Mohamed Khider – Biskra. 2015
6. **Maamari, F.** "La Simulation numérique de l'éclairage, limites et potentialités." Mémoire du DOCTORAT, Département de génie civil , 2004

LES SITES D'INTERNET

7. **Association française de l'éclairage**, "Lumières et enfance." Depuis <http://www.afe-eclairage.fr/>. (Page consultée le 15 Février 2017)
8. **Association PROMOTELEC.** "Eclairage des salles de classe." depuis www.promotelec.com. (Page consultée le 22 Mars 2017)

9. **L'Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail du secteur affaires sociales.** "Éclairage - Lumière, vision, confort visuel et équipements.", depuis <http://asstsas.qc.ca/>. (Page consultée le 25 Février 2017)
10. **Bénédicte Collard,** "L'ÉCLAIRAGE DANS LES ECOLES.", depuis <http://cregen.free.fr/Eclairage/L%27%E9clairage%20dans%20les%20%E9coles.pdf>. (Page consultée le 22 mars 2017)
11. **Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail CCHST.** "Eclairage." Depuis <http://www.cchst.com/>. (Page consultée le 27 Janvier 2017)
12. **Charnay, B.** "LE GUIDE DE L'ÉCLAIRAGE.", depuis <http://leclairage.fr/>. (Page consultée le 23 Janvier 2017)
13. **Centre Scientifique et Technique de la Construction CSTC.** "Evaluation de l'éclairage par simulation informatique". Belgique depuis <http://www.project-simba.eu/pdf> (Page consultée le 15 Avril 2017)
14. **Cubber, O. D.** "La lumière en architecture d'intérieur". Depuis <https://www.linkedin.com/pulse/20140707173530-26370643-la-lumi%C3%A8re-en-architecture-d-int%C3%A9rieur> (Page consultée le 26 décembre 2016)
15. **Énergie+.** "Énergie+, Architecture et Climat, Faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale, d'urbanisme (LOCI), Université catholique de Louvain (Belgique)." Depuis <http://www.energieplus-lesite.be>. (Page consultée le 28 Janvier 2017)
16. **GIF-LUMIÈRE.** "La lumière dans l'architecture." depuis <http://www.gif-lumiere.com>. (Page consultée le 24 decembre 2016)
17. **Institut français d'éducation IFÉ.** "Les classes." Depuis www.ife.ens-lyon.fr (Page consultée le 26 décembre 2016)
18. **l'Institut national de recherche et de sécurité INRS.** "Éclairage et vision." Depuis www.esst-inrs.fr/cerp/pdf/complet/3.fiches_principales.pdf. (Page consultée le 28 janvier 2017)
19. **Lab-Physique.** "SOURCE DE LUMIERE ". depuis <http://lab.phys.free.fr/cinquieme/optique/sources/sources.html>. (Page consultée le 24 Décembre 2016)
20. **Larousse.** "LAROUSSE." depuis Larousse.fr .

21. **Université Catholique de Louvain - UCL.** "Rénover votre école ". depuis <https://www.reovermonecole.be>. (Page consultée le 24 Avril 2017)
22. **Université de Liège ULG.** "Méthodes de prédétermination de l'éclairage, des luminances, des éblouissements dans l'espace intérieur (éclairage artificiel)." depuis <http://www.montefiore.ulg.ac.be/>. (Page consultée le 26 avril 2017)

Résumé

Aujourd'hui, plusieurs recherches menées sur l'éclairage et le confort visuel dans les salles de classe, avouant l'effet énorme de la lumière sur les performances scolaires de l'élève dans son école.

Le but de cette recherche consiste à vérifier les paramètres et les niveaux de confort visuel dans les salles de classes des écoles primaires à Tébessa, avec les paramètres et les niveaux devraient être préconiser, c'est pour cela, la recherche opte une évaluation quantitative plus que qualitative, basée sur l'utilisation du logiciel de simulation d'éclairage DIALUX, en construisant un modèle représentatif et le soumettre sous l'expérimentation.

Cette évaluation a permis de détecter pas mal d'anomalies dans les salles de classe des écoles de Tébessa, qui n'étaient pas visuellement confortable. D'un côté les ouvertures unilatérales ne suffisent pas pour fournir un apport moyen en éclairage naturel nécessaire pour la salle de classe, d'autre côté l'orientation contribue aussi à s'aggraver la situation.

Mots clés : Eclairage, Confort visuel, Salle de classe, simulation, DIALUX, éclairement.

Abstract

Today, several researches conducted about the lighting and the visual comfort inside the classrooms, confessing the enormous effect of light on the scholar performance of the student in his school.

The purpose of this research is to verify the parameters and levels of visual comfort inside the classrooms of the primary schools in Tebessa, with the parameters and levels should be provided, this is why, the research adopts a quantitative evaluation more than a qualitative one, based on the use of the software of simulation of lighting DIALUX, by constructing a representative model and submit it under the experiment.

This evaluation has allowed detecting, quite number of anomalies inside the current classrooms of the schools of Tebessa, which they were not visually comfortable. Firstly, the unilateral windows are not sufficient to provide an average amount of natural lighting necessary for the classroom; in the other hand the orientation also contributes to worsen the situation.

Key words: Enlighting, Visual comfort, classroom, simulation, DIALUX, illuminance.