

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mohamed Kheider – Biskra

Faculté des Sciences et de la technologie

Département : D'architecture

Réf :



جامعة محمد خيضر
بسكرة

جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم: الهندسة المعمارية
المرجع:.....

Mémoire présenté en vue de l'obtention
Du diplôme de
Magistère en : Architecture

Option : Ville et architecture au Sahara

**ETUDE DES EFFETS DE L'ORIENTATION SUR LE
CONFORT VISUEL DANS LES SALLES DE COURS AVEC
ECLAIRAGE NATUREL LATERAL.
CAS DES SALLES DE CLASSE DE L'UNIVERSITE DE
LAGHOUAT**

Présentée par :

M^{elle} MATALLAH Zineb

Dr. Benabbas Moussadek	Maitre de Conférences 'A'	Président	Université de Biskra
Pr. Zemmouri Noureddine	Professeur	Rapporteur	Université de Biskra
Dr. Seriti Leila	Maitre de Conférences 'A'	Examinatrice	Université de Biskra

SOMMAIRE :

Sommaire..... I
Dédicace..... IX
Remerciements..... X
Résumé..... XI
Liste des figures..... XIV
Liste des graphes..... XVII
Liste des tableaux..... XX

INTRODUCTION GENERALE :

Introduction..... 01
I. Problématique..... 02
II. Objectifs..... 04
III. Hypothèses..... 05
IV. Méthodologie et outils de travail..... 05
V. Structure du mémoire..... 06

PARTIE THEORIQUE :

CHAPITRE I : Eclairage naturel dans le bâtiment

Introduction..... 07
I. Définition de l'éclairage naturel 07
 I.1. Les Sources de l'éclairage naturel..... 08
 I.1.1. Sources lumineuses diurnes 08
 I.2. Les grandeurs photométriques..... 11
 I.2.1. Définition..... 11
 I.2.2. Le flux lumineux (lm)..... 11
 I.2.3. L'intensité lumineuse (cd)..... 11
 I.2.4 L'éclairement (lux)..... 11
 I.2.5 La luminance (cd/m²)..... 11
 I.2.6 Le Facteur de Lumière de Jour (FLJ)..... 12

II. Climat lumineux.....	12
II.1. La lumière solaire directe.....	12
II.1.1. Mouvement annuel de la terre autour du soleil.....	13
II.1.2. Influence de la latitude sur les conditions d'ensoleillement.....	14
II.2. La lumière diffuse du ciel.....	15
II.2.1. Modèles de ciel.....	15
II.2.2 Influence du type de ciel sur l'éclairage naturel.....	16
III. Type d'éclairage naturel.....	16
III.1. Eclairage latéral.....	17
III.1.1. Exigences de l'éclairage latéral.....	17
III.1.2. Types d'éclairage latéral.....	18
III.2. Modes d'influence des différents paramètres de l'éclairage latéral.....	20
III.2.1. L'influence de l'orientation de l'ouverture latérale.....	21
III.2.2. L'influence de la position de l'ouverture latérale.....	21
III.2.3. L'influence de la forme de l'ouverture latérale.....	23
III.2.4. L'influence du dimensionnement de l'ouverture latérale.....	24
III.2.5. L'influence de la profondeur de local.....	26
III.2.6. L'influence de l'obstruction extérieure.....	27
IV. La stratégie de l'éclairage naturel.....	27
VI. Intégration de l'éclairage naturel à l'étape de la conception.....	28
VI. Etat de l'art.....	29
Conclusion.....	31
CHAPITRE II : Effet d'orientation sur l'environnement intérieur du bâtiment	
Introduction.....	32
I. Définition.....	32
I.1. Classe d'orientations.....	33
I.2. Orientation d'une paroi verticale.....	34

I.3. La forme et l'orientation.....	34
I.4. Orientation et accès du soleil.....	35
II. Effet de l'orientation des façades par rapport au soleil.....	36
II.1. Effet de l'orientation sur les températures de surfaces extérieure.....	36
II.2. Orientation, couleur et matériaux.....	36
II.3. Effets de l'orientation sur les températures intérieures.....	37
II.4. Effet de l'orientation des façades par rapport au vent.....	37
II.5. les effets de l'orientation sur les conditions d'ensoleillement.....	37
III. L'effet d'orientation sur la conception d'un bâtiment.....	38
III.1. L'effet d'orientation sur la conception d'une maison.....	40
III.2. L'effet d'orientation sur l'éclairage dans le bâtiment.....	40
IV. Les établissements universitaires.....	43
IV.1. Définition.....	44
IV 2. Le rôle des universités.....	44
IV.3. Forme des campus universitaires.....	45
IV. 4. Programmes de campus universitaire.....	46
IV. 5. Types de salles de cours.....	46
IV.6. L'effet d'orientation sur l'éclairage dans les salles de classe.....	48
Conclusion.....	51

CHAPITRE III : Le confort visuel dans les salles de classe

Introduction.....	52
I. Impact de la lumière naturelle dans les salles de classe.....	52
I.1 Taches visuelles dans les salles de classe.....	55
II. Confort visuel dans les salles de classe.....	57
II.1. Définition du « confort»	57
II.2. Définition du « confort visuel»	57
II.3. Paramètres du confort visuel dans les salles de classe.....	59

II.3.1. Facteur de l'âge.....	60
II.3.2. Niveau d'éclairage lumineux.....	61
II.3.3. Uniformité de l'éclairage.....	62
II.3.4. Les couleurs.....	63
II.3.5. Rendu de couleur.....	63
II.3.6. Le contraste.....	65
II.3.7. Les ombres gênantes.....	65
II.3.7. Les ombres gênantes.....	66
II.3.8. Eblouissement.....	66
II.3.8.1. Types d'éblouissement.....	66
III.3.8.1. Les sources d'éblouissement.....	67
III.3.8.2. Evaluation de l'éblouissement d'inconfort.....	68
III. l'ambiance lumineuse.....	70
III.1. Définition de l'ambiance lumineuse.....	70
III.2. Les paramètres de l'ambiance lumineuse.....	70
III.3. Les types d'ambiance.....	71
IV. Les nuisances visuelles dans les salles de classe.....	72
Conclusion.....	73

PARTIE PRATIQUE :

CHAPITRE IV : Représentation de l'environnement et des cas d'étude

Introduction	74
I. Les caractéristiques climatiques de la zone d'étude.....	74
I.1. La situation géographique et astronomique de la zone d'étude.....	74
I.2. Les conditions climatiques.....	75
I.3. Les conditions solaires.....	76
I.4. Le type de ciel.....	77
I.5. Les fréquences mensuelles d'ensoleillement.....	78

II. Présentation des cas d'étude : salles de classe de l'université de Laghouat.....	78
II.1. Campus universitaire de Laghouat.....	79
II.1.1. Aperçu sur le type d'éclairage naturel utilisé au niveau de l'université de Laghouat.....	80
II.2. Choix des blocs d'étude.....	80
II.3. Choix de classe d'étude.....	81
II.4. Description des locaux types.....	82
II.4. 1. Salle de classe N° 01 Simple de trois mm orientée Sud – Est.....	82
II.4.2. Salle de classe N° 2 orientée Nord-Ouest.....	84
II.4.3. Salle de classe N° 03 orientée Nord –Est.....	85
II.4.4. Salle de classe N° 04 orientée Sud-Ouest.....	87
II.5. Description photométrique des espaces	88
III. Aperçu préliminaire sur les conditions d'éclairage.....	88
Conclusion.....	89
 CHAPITRE V : Evaluation qualitative d'éclairage naturel dans les salles de classe	
Introduction.....	90
I. Evaluation qualitative de l'éclairage naturel dans les salles de classe : technique de questionnaire.....	90
I.1. Définition du « questionnaire »	90
I.2. La population.....	90
I.3. La description du questionnaire.....	91
I.4. Présentation et interprétation.....	91
I.4.2. Présentation d'échantillon.....	91
I.4.2. Présentation et interprétation des résultats du questionnaire.....	93
I.4.3. Synthèse.....	102
II. Evaluation qualitative de l'éclairage naturel dans les salles de classe : technique d'observation.....	103
II.1. Définition d'observation.....	103

II.2. Travail sur terrain.....	103
II.2.1. Le choix des saisons et les mois d'observation.....	103
II.2.2. Le choix des heures.....	104
II.2.3. La prise des notes sur terrain à partir d'une grille d'observation.....	104
II.3. Présentation et interprétation de l'environnement lumineux du cas d'étude.....	106
II.4. Lecture morphologique de l'environnement lumineux du cas d'étude.....	118
II.4.1. Synthèse des résultats.....	119
Conclusion.....	121
CHAPITRE VI : Evaluation quantitative d'éclairage naturel dans les salles de classe	
Introduction.....	123
I. Evaluation quantitative de l'éclairage naturel dans les salles de classe types à l'aide d'une simulation numérique.....	123
I.1. Définition.....	123
I.2. Présentation et discussion de différents résultats.....	124
I.2.1. Période de simulation : 9h00 et 15h00 journée du 21 /12/2014.....	124
I.2.2. Période de simulation : 9h00 et 15h00 journée du 21 /03/2015.....	126
I.2.3. Période de simulation : 9h00 et 15h00 journée du 21 /06/2015.....	128
I.2.4. Synthèse.....	130
II. Evaluation quantitativement de l'éclairage naturel dans les salles de classe types à l'aide d'une étude expérimentale.....	131
II.1 Définition de technique d'expérimentation.....	131
II.2. Travail sur terrain.....	131
II.2.1. Période des mesures.....	131
II.2.2. Choix des points de mesures.....	131
II.2.3. Instrumentation.....	131
II.2.4. Protocole de mesures.....	131
II.3. Présentation et discussion de différents résultats.....	133
II.3.1. Période de mesure : 9h00 et 15h00 journée du 21 /12/2014.....	133

II.3.2. Période de mesure : 9h00 et 15h00 journée du 21 /03/2015.....	137
II.3.3. Période de mesure : 9h00 et 15h00 journée du 21 /06/2015.....	141
II.3.4. Synthèse.....	145
III. Comparaison des résultats.....	146
Conclusion.....	148
CHAPITRE VII : Analyse et discussion des résultats	
Introduction.....	150
I.1. Analyse et discussion de différents résultats de journée 21 /12/2014.....	151
I.1.1. Salle de classe N°01 orientée Sud – Est.....	151
I.1.2. Salle de classe N°02 orientée Nord – Ouest.....	152
I.1.3. Salle de classe N°03 orientée Nord – Est.....	153
I.1.4. Salle de classe N°04 orientée Sud – Ouest.....	154
I.2. Analyse et discussion de différents résultats de journée 21 /03/2015.....	155
I.2.1. Salle de classe N°01 orientée Sud – Est.....	155
I.1.2. Salle de classe N°02 orientée Nord – Ouest.....	156
I.1.3. Salle de classe N°03 orientée Nord – Est.....	157
I.1.4. Salle de classe N°04 orientée Sud – Ouest.....	158
I.3. Analyse et discussion de différents résultats de journée 21 /06/2015.....	159
I.3.1. Salle de classe N°01 orientée Sud – Est.....	159
I.3.2. Salle de classe N°02 orientée Nord – Ouest.....	160
I.3.3. Salle de classe N°03 orientée Nord – Est.....	161
I.3.4. Salle de classe N°04 orientée Sud – Ouest.....	162
II. Comparaison de différent résultat.....	163
II.1. La période hivernale 21/12/2014.....	163
II.1.1. Synthèse	165
II.2. La période équinoxe 21/03/2015.....	166
II.2.1. Synthèse.....	168

II.3. La période estivale 21/06/2014.....	169
II.3.1. Synthèse.....	171
II.4. Evaluation de confort.....	171
II.5. Evaluation d'inconfort.....	172
II.6. Vérification des hypostases.....	174
Conclusion.....	175
CONCLUSION GENERALE :	
Conclusion générale.....	178
I. Axe de recherche.....	181
BIBLIOGRAPHIE	182
ANNEXE	
Annexe I : Formulaire de questions.....	190
Annexe II : Réglementation relative à l'éclairage des salles de classe.....	194

À mes très chers parents, pour leur: amour, sacrifice, patiences, soutien moral et matériel depuis mon enfance jusqu'à ce jour.

À mes chers frères.

À mes chères amies.

À tous mes enseignants qui m'ont éclairé sur ce chemin du savoir.

À tous qui ont attendu l'achèvement de ce mémoire et qui ont prié 'Dieu' pour plus de réussites.

À mon pays.

Je dédie ce modeste travail

Remerciements

Je remercie ALLAH, lumière des cieux et de la terre, de m'avoir donné la volonté et de m'avoir guidé et aidé à établir ce travail qui est l'un de mes buts dans ma vie.

En premier lieu, je tiens à remercier mon directeur de mémoire, le Pr. Nouredine Zemmouri, pour la confiance qu'il m'a accordée en acceptant d'encadrer cette recherche, pour sa modestie, sa disponibilité et ses orientations.

Je présente mes remerciements aux membres du jury de soutenance Dr. Benabbas Moussadek, et Dr. Seriti Leila de l'université de Biskra, pour avoir accepté d'examiner mon travail.

Toute ma gratitude, et mon profond respect à Mr. Mezaoukh Lakhdar pour son soutien, ses précieux conseils et aide tout au long de mon travail.

Mes chaleureux remerciements aux enseignants et étudiants de l'université de Laghouat pour leurs soutiens et encouragements.

Ma gratitude à mes amies Zineb, Deloula, Mbarka, Sara, Amel, sans oublier bien sur mes collègues de l'école doctorale pour leurs soutiens et encouragements.

A toute l'équipe pédagogique qui a participé à ma formation de graduation et de post-graduation, également pour tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin lors de l'élaboration de ce travail.

الملخص :

في الجزائر، تلعب المؤسسات الأكاديمية دورا حاسما في الحياة الاقتصادية والاجتماعية والثقافية. حيث انها مخصصة لاستقبال عدد كبير من الطلاب الذين يقضون الكثير من الساعات لتحصيل مختلف المعارف، التي في معظمها بصرية. في هذا السياق يمكن لضوء النهار أن يوفر الراحة البصرية للطلاب في الفصول الدراسية، نظرا لتأثيره الإيجابي على مختلف الوظائف البيولوجية، صحة، أداء و مردودية الطلاب.

يهدف نظام الإضاءة الجانبية الطبيعية في المقام الأول الي ضمان تواجد الضوء الطبيعي في قاعات الدراسة. من هذا المنطلق تطرقنا من خلال بحثنا الي تقييم كمي و كيفي لأداء نظام الإضاءة الجانبية في قاعات الدراسة من حيث الإضاءة والاختلاف في التوجه تحت ظروف مناخية حارة و جافة كما هو الحال في مدينة الأغواط حيث استعنا بمنجية البحث المختلطة والتي سمحت لنا بالجمع بين تقنيات البحث ذات العينات الكمية والنوعية وذلك لإثراء نتائج البحث.

نظرا للهدف الاساسي لبحثنا قمنا فيما يخص التقييم الكيفي بالاستعانة بتقنيتي بحث هما الاستبيان و الملاحظات الميدانية مع اخذ الصور بطريقة دورية في أوقات مختلفة من ساعات النهار و شهور السنة. اما في ما يخص التقييم الكمي قمنا بدراسة تجريبية من خلال سلسلة من القياسات لتحديد شدة الإضاءة في أوقات مختلفة من النهار والسنة بواسطة جهاز اللوكس متر بالإضافة الي التقييم الرقمي باستخدام برامج المحاكاة الرقمية.

اثبتت النتيجة التي المحصل عليها ضعف أداء استخدام نظام الإضاءة الجانبية في الفصول الدراسية في المناخ الحار والجاف من حيث نوعية وكمية الإضاءة التي يوفرها هذا النظام، حيث انه لا يوفر الراحة البصرية للطلاب لان وفقا لاختلاف توجه نظام الإضاءة الجانبية الطبيعية يمكن لقاعات الدراسة الحصول على بيئة ضوئية مختلفة تسبب مشاكل مختلفة مثل أشعة الشمس المباشرة شدة للإضاءة المفرطة التي تتسبب في احداث الوهج.

الكلمات المفتاحية :

التوجه، الإضاءة، الإضاءة الجانبية، الراحة البصرية.

Résumé :

En Algérie, les établissements universitaires jouent un rôle décisif dans la vie économique, sociale et culturelle du pays. Dans ces locaux, est amené à séjourner un nombre important des étudiants où ils passent de très nombreuses heures à capter une multitude d'informations, dont la plus part sont visuelles. En effet la lumière du jour peut fournir le confort visuel des étudiants dans les salles de classe, vis à vis leur influence positive sur le processus biologique, le bien-être et capacité de rendement des étudiants.

Le système d'éclairage latéral naturel a pour but principal de permettre la pénétration de lumière naturelle à l'intérieure des salles de classe, dont à travers notre étude on a visé à évaluer qualitativement et quantitativement la performance d'un système d'éclairage latéral du point de vue éclairage dans les salles de classe sur différente orientation et sous un climat chaud et aride tel que celui de la ville de Laghouat, à l'aide d'une méthodologie mixte qui nous a permet de combiner des techniques de recherche d'un prélèvement quantitatif et qualitatif afin d'enrichir les résultats de la recherche.

Face à notre objectif on a utilisé d'une part pour l'évaluation qualitative l'usage de deux techniques de recherche qui sont une enquête par questionnaire qui était recueillies auprès des étudiants et enseignants et une observation sur terrain par la prise des notes et des photos aux différentes heures de la journée et à différentes périodes de l'année pour qualifier l'environnement lumineux, et d'autre part pour l'évaluation quantitative une étude expérimentale basée sur une campagne de mesures visant à déterminer les taux d'éclairements directement in situ aux différentes heures de la journée et à différentes périodes de l'année grâce à un luxmètre, ainsi que une évaluation numérique à l'aide d'un logiciel de simulation numérique viendront compléter ceux de la campagne de mesure.

Le résultat obtenu montre la faible performance de l'usage d'un système d'éclairage latéral dans les salles de classe sous un climat chaud et aride en termes de qualité et de quantité d'éclairage fourni par ce système, dont elle n'assure pas le confort visuel des étudiants, car sous différente orientation une salle de classe peut obtenue un divers environnement lumineux qui fournis des problèmes ensoleillement direct qui engendre un niveau d'éclairement excessif, créé de contraste et d'éblouissement.

Mot clés :

Orientation, Eclairage. Eclairage latéral, confort visuel.

LISTE DES FIGURES :

CHAPITRE I : Eclairage naturel dans le bâtiment.

Figure I.1 : la partie visible du spectre électromagnétique. (Source : Lætitia, F., 2012).....09

Figure I.2 : Sensibilité relative de l'œil en fonction de longueur d'onde du stimulus (Source : CCRC., 2007).....09

Figure I.3 : Les sources de la lumière naturelle Pénétrante pour un espace intérieur (Source : Saffidine, D., 2006).....09

Figure I.4 : Intensité lumineuse, l'éclairement et la luminance. (Source : BODART, M., 2002)..12

Figure I.5 : Définition de facteur de lumière de jour. (Source : DE HERDE, A. et LIEBARD. A. 2005).....12

Figure I.6 : Description simplifiée du système Terre/soleil. (Source: <https://www.google.dz/search?hl&sitesysteme+terre%>).....13

Figure I.7 : Solstice d'hiver en hémisphère Nord. (Source : A.DE HERDE, A. LIEBARD., 2005).....13

Figure I.8 : mouvement de la terre dans le plan de l'écliptique. (Source : <https://www.google.dz/search?hlghp&tbm=isch&source1430&bih=745&q=+systeme+terre%>).....14

Figure I.9 : Modèles de ciel. (Source : BODART, M., 2002).....15

Figure I.10 : Pénétration approximative de la lumière naturelle. (Source : K, ROBERTSON., 2003).....18

Figure I.11 : Fenêtres latérales dans les salles de classe de l'université de Laghouat. (Source : Auteur).....19

Figure I.12 : Pénétration approximative de la lumière naturelle avec l'usage d'un réflecteur «light-shelf». (Source : ROBERTSON, K.2003).....19

Figure I.13 : Dispositifs d'éclairage bilatéral. (Source : I, PASINI, 2002).....20

Figure I.14 : Performance lumineuse des ouvertures latérales en fonction de leur position, le 15 juin à 13 heures universelles sous un ciel clair. (Source : A.DE HERDE, A. LIEBARD., 2005)22

Figure I.15 : Influence de la forme de l'ouverture sur l'éclairement moyenne. (Source : BODART, M., 2002)24

Figure I.16: L'éclairement d'un espace relatif selon la taille de la fenêtre. (Source : BODART, M., 2002)25

Figure I.17 : La règle de pouce. (Source : Saffidine, D., 2006).....26

Figure I.18 : Performance lumineuse des ouvertures latérales en fonction de l'angle d'obstruction. (Source : IZARD J.L. 1994).....27

CHAPITRE II : Effet d'orientation sur l'environnement du bâtiment

Figure II.1 : Classes d'orientations pour le climat méditerranéen en été. (Source : groupe ABC, <http://www.marseille.archi.fr/~abc/Textes/ProtecSolWeb>)33

Figure II.2 : Convention générale d'orientation.(Source : CSTB, 1986).....34

Figure II.3 : Intensité du rayonnement solaire sous différentes latitudes. (Source : MAZRIA, E., 1981)35

Figure II.4 : L'orientation et la couleur.(Source : Denis, J. Thierry, C. Olivier, R., 2013).....36

Figure II.5 : Influence de l'orientation de l'ouverture sur un ciel claire.(Source : BODART,M. 2002)39

Figure II.6 : Plan type d'un campus universitaire. (Source : www.mauriceblanchot.net).....46

Figure II.7 : Critique des orientations du bâtiment scolaire typique. (Source : [www.Daylighting classroom buildings.com](http://www.Daylighting_classroom_buildings.com))48

Figure II.8 : l'orientation conseillée pour une salle de classe typique. (Source : U.S. department of energy, <http://www.rebuild.org>)50

CHAPITRE III : Le confort visuel dans les salles de classe

Figure III.1 : taches visuelles dans les salles de classe de l'université de Laghouat. (Source : Auteur)56

Figure III.2 : Vision au travail. (Source : INRS, [http://www.Éclairage et vision](http://www.Éclairage_et_vision)).....56

Figure III.3: Paramètres du confort visuel. (Source : Bénédicte, Collard. Fabrice. Derny., 2011).....59

Figure III.4: Priorité des exigences du confort visuel en milieu scolaire. (Source : www-energie.arch.ucl.ac.be)60

Figure III.5: L'acuité visuelle augmente quand l'éclairage croît, mais selon l'âge de l'individu. (Source : Minier, F., 2001).....60

Figure III.6: Comparaison de diverses normes et recommandations en matière d'éclairage des salles de classes. (Source : ENERTECH, 2001).....61

Figure III.7 : Le diagramme de Kruithof. (Source : Lætitia, F., 2012).....64

Figure III.8: Rapport entre la performance visuelle, le contraste et l'éclairage. (Source : CBD-192-F., www.nrcnrc.gc.ca/fra/idp/irc/dcc/digest-construction-192.html)65

Figure III.9: La présence d'ombres gênantes sur le plan de travail en salle de classe. (Source: Auteur).....66

Figure III.10 : Cas d'éblouissement direct dans les salles de classe de l'université de Laghouat (Source: Auteur).....67

Figure III.11 : Cas d'éblouissement indirect dans une salle de classe de l'université de Laghouat (Source: Auteur).....67

Figure III.12 : Représentation schématique de l'ambiance lumineuse.(Source : l'ICEB., 2014).70

CHAPITRE IV : Représentation de l'environnement et des cas d'étude

Figure IV.1 : Situation géographique de la ville de Laghouat. (Source :<http://jevisitelalgerie.com/index.php/m-les-wilayas/112-free-music-app-brings-top-youtube-songs-to-your-iphone>).....74

Figure IV.2 : Découpage des zones climatique. (Source : Mazouz. S., 2004).....75

Figure IV.3 : Zoning de la disponibilité de la lumière naturelle en Algérie (Source : Zemmouri, N., 2005)77

Figure IV.4 : fréquence des cieux ensoleillés, intermédiaires et nuageux. (Source : www.satell-light.com)77

Figure. IV.5 : Fréquence mensuelle en (%) d'ensoleillement. (Source : www.satell-light.com)....78

Figure. IV.6 : Situation de l'université de Laghouat par rapport la ville (Source : www.google.fr/earth)79

Figure. IV.7 : plan de masse de l'université de Laghouat. (Source : direction de l'urbanisme et de la construction. Laghouat)79

Figure. IV.8 : type d'éclairage naturel utilisé au niveau de l'université de Laghouat (Source: Auteur)80

Figure. IV.9 : Département de de génie civil.(Source: Auteur).....81

Figure. IV.10 : Faculté des sciences et de technologie. (Source: Auteur).....81

Figure IV.11 : Extrait du plan de faculté des sciences et de technologie niveau RDC (Source: Auteur).81

Figure IV.12 : Extrait du plan de département de génie civil niveau RDC. (Source: Auteur)...82

CHAPITRE VI : Evaluation quantitative d'éclairage naturel dans les salles de classe

Figure VI.1: Le luxmètre utilisé durant l'étude expérimentale. (Source: Auteur).....132

Figure VI.2: Schéma présentatif de la répartition des points de mesure d'éclairage moyen. (Source: Auteur).....132

LISTE DES GRAPHES :

CHAPITRE IV : Représentation de l'environnement et des cas d'étude

Graphe IV.1 : Fréquence moyenne mensuelle du ciel clair et nuage. (Source: www.naza.gov)..77

CHAPITRE V : Evaluation qualitative d'éclairage naturel dans les salles de classe

Graphe V.1: Répartition des occupants globale selon le sexe. (Source: Auteur).....91

Graphe V.2: Répartition des occupants selon le groupe d'usages. (Source: Auteur).....92

Graphe V.3: Répartition des occupants selon l'âge sur chaque classe. (Source: Auteur).....93

Graphe V.4: Répartition des occupants selon leurs durées d'occupation des classes. (Source: Auteur)93

Graphe V.5: Répartition des occupants selon la justification de leur position par rapport la fenêtre. (Source: Auteur).....93

Graphe V.6: Répartition des occupants selon le taux de luminosité dans les salles de classe type en hiver. (Source: Auteur).....94

Graphe V.7: Répartition des occupants selon le taux de luminosité dans les salles de classe type en été. (Source: Auteur).....95

Graphe V.8: Répartition des occupants selon le taux de luminosité dans les salles de classe type. (Source: Auteur).....95

Graphe V.9: la présence des taches solaires rapportée sur le plan de travail. (Source: Auteur) .96

Graphe V.10: Le gêne rapporté à cause de réflexion des rayons solaires ou diffus sur le tableau.(Source: Auteur).....97

Graphe V.11: Répartition des occupants selon leurs réactions aux rayons solaires intenses. (Source: Auteur).....97

Graphe V.12: Répartition des occupants selon leurs degrés de gêne à l'éblouissement des rayons solaires. (Source: Auteur).....98

Graphe V.13: Répartition des occupants selon les sources d'éblouissement. (Source: Auteur).....99

Graphe V.14: Répartition des occupants en fonction du besoin de protection solaire (Source: Auteur).....99

Graphe V.15: Répartition des occupants selon leurs qualifications de la vue vers l'extérieur. (Source: Auteur).....100

Graphe V.16: Répartition des occupants selon leurs degrés de satisfaction. (Source: Auteur)	101
Graphe V.17: Répartition des occupants selon la description de leurs classes (Source: Auteur)	102
CHAPITRE VI : Evaluation quantitative d'éclairage naturel dans les salles de classe	
GrapheVI.1: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°01 à 9h le 21Décembre 2014 (Source: Auteur).....	133
GrapheVI.2: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°01 à 15h le 21Décembre 2014(Source: Auteur).....	133
GrapheVI.3: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°02 à 9h le 21Décembre 2014. (Source: Auteur).....	134
GrapheVI.4: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°02 à 15h le 21Décembre 2014. (Source: Auteur).....	134
GrapheVI.5: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°03 à 9h le 21Décembre 2014. (Source: Auteur).....	135
GrapheVI.6: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°03 à 15h le 21Décembre 2014. (Source: Auteur).....	135
GrapheVI.7: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°04 à 9h le 21Décembre 2014. (Source: Auteur).....	136
GrapheVI.8: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°04 à 15h le 21Décembre 2014. (Source: Auteur).....	136
GrapheVI.9: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°01 à 9h le 21 Mars 2015(Source: Auteur).....	137
GrapheVI.10: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°01 à 15h le 21 Mars 2015. (Source: Auteur).....	137
GrapheVI.11: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°02 à 9h le 21 Mars 2015. (Source: Auteur).....	138
GrapheVI.12: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°02 à 15h le 21 Mars 2015. (Source: Auteur).....	138
GrapheVI.13: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°03 à 9h le 21 Mars 2015. (Source: Auteur).....	139
GrapheVI.14: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°03 à 15h le 21 Mars 2015. (Source: Auteur).....	139
GrapheVI.15: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°04 à 9h le 21	

Mars 2015 (Source: Auteur).....	140
GrapheVI.16: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°04 à 15h le 21 Mars 2015. (Source: Auteur)	140
GrapheVI.17: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°01 à 9h le 21 Juin 2015. (Source: Auteur).....	141
GrapheVI.18: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°01 à 15h le 21 Juin 2015. (Source: Auteur).....	141
GrapheVI.19: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°02 à 9h le 21 Juin 2015. (Source: Auteur).....	142
GrapheVI.20: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°02 à 15h le 21 Juin 2015. (Source: Auteur).....	142
GrapheVI.21: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°03 à 9h le 21 Juin 2015. (Source: Auteur).....	143
GrapheVI.22: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°03 à 15h le 21 Juin 2015. (Source: Auteur).....	143
GrapheVI.23: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°04 à 9h le 21 Juin 2015. (Source: Auteur).....	144
GrapheVI.24: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°04 à 15h le 21 Juin 2015. (Source: Auteur).....	144

Figure VI.2: Schéma présentatif de la répartition des points de mesure d'éclairage moyen. (Source: Auteur).....	132
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

LISTE DES GRAPHES :

CHAPITRE IV : Représentation de l'environnement et des cas d'étude

Graphe IV.1 : Fréquence moyenne mensuelle du ciel clair et nuage. (Source: www.naza.gov)..	77
---------------------------------------------------------------------------------------------------	----

CHAPITRE V : Evaluation qualitative d'éclairage naturel dans les salles de classe

Graphe V.1: Répartition des occupants globale selon le sexe. (Source: Auteur).....	91
Graphe V.2: Répartition des occupants selon le groupe d'usages. (Source: Auteur).....	92
Graphe V.3: Répartition des occupants selon l'âge sur chaque classe. (Source: Auteur).....	93
Graphe V.4: Répartition des occupants selon leurs durées d'occupation des classes. (Source: Auteur)	93
Graphe V.5: Répartition des occupants selon la justification de leur position par rapport la fenêtre. (Source: Auteur).....	93
Graphe V.6: Répartition des occupants selon le taux de luminosité dans les salles de classe type en hiver. (Source: Auteur).....	94
Graphe V.7: Répartition des occupants selon le taux de luminosité dans les salles de classe type en été. (Source: Auteur).....	95
Graphe V.8: Répartition des occupants selon le taux de luminosité dans les salles de classe type. (Source: Auteur).....	95
Graphe V.9: la présence des taches solaires rapportée sur le plan de travail. (Source: Auteur) .	96
Graphe V.10: Le gêne rapporté à cause de réflexion des rayons solaires ou diffus sur le tableau.(Source: Auteur).....	97
Graphe V.11: Répartition des occupants selon leurs réactions aux rayons solaires intenses. (Source: Auteur).....	97
Graphe V.12: Répartition des occupants selon leurs degrés de gêne à l'éblouissement des rayons solaires. (Source: Auteur).....	98
Graphe V.13: Répartition des occupants selon les sources d'éblouissement. (Source: Auteur).....	99
Graphe V.14: Répartition des occupants en fonction du besoin de protection solaire (Source: Auteur).....	99
Graphe V.15: Répartition des occupants selon leurs qualifications de la vue vers l'extérieur. (Source: Auteur).....	100

Graphe V.16: Répartition des occupants selon leurs degrés de satisfaction. (Source: Auteur)	101
Graphe V.17: Répartition des occupants selon la description de leurs classes (Source: Auteur)	102
CHAPITRE VI : Evaluation quantitative d'éclairage naturel dans les salles de classe	
GrapheVI.1: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°01 à 9h le 21Décembre 2014 (Source: Auteur).....	133
GrapheVI.2: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°01 à 15h le 21Décembre 2014(Source: Auteur).....	133
GrapheVI.3: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°02 à 9h le 21Décembre 2014. (Source: Auteur).....	134
GrapheVI.4: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°02 à 15h le 21Décembre 2014. (Source: Auteur).....	134
GrapheVI.5: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°03 à 9h le 21Décembre 2014. (Source: Auteur).....	135
GrapheVI.6: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°03 à 15h le 21Décembre 2014. (Source: Auteur).....	135
GrapheVI.7: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°04 à 9h le 21Décembre 2014. (Source: Auteur).....	136
GrapheVI.8: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°04 à 15h le 21Décembre 2014. (Source: Auteur).....	136
GrapheVI.9: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°01 à 9h le 21 Mars 2015(Source: Auteur).....	137
GrapheVI.10: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°01 à 15h le 21 Mars 2015. (Source: Auteur).....	137
GrapheVI.11: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°02 à 9h le 21 Mars 2015. (Source: Auteur).....	138
GrapheVI.12: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°02 à 15h le 21 Mars 2015. (Source: Auteur).....	138
GrapheVI.13: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°03 à 9h le 21 Mars 2015. (Source: Auteur).....	139
GrapheVI.14: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°03 à 15h le 21 Mars 2015. (Source: Auteur).....	139
GrapheVI.15: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°04 à 9h le 21	

Mars 2015 (Source: Auteur).....	140
GrapheVI.16: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°04 à 15h le 21 Mars 2015. (Source: Auteur)	140
GrapheVI.17: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°01 à 9h le 21 Juin 2015. (Source: Auteur).....	141
GrapheVI.18: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°01 à 15h le 21 Juin 2015. (Source: Auteur).....	141
GrapheVI.19: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°02 à 9h le 21 Juin 2015. (Source: Auteur).....	142
GrapheVI.20: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°02 à 15h le 21 Juin 2015. (Source: Auteur).....	142
GrapheVI.21: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°03 à 9h le 21 Juin 2015. (Source: Auteur).....	143
GrapheVI.22: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°03 à 15h le 21 Juin 2015. (Source: Auteur).....	143
GrapheVI.23: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°04 à 9h le 21 Juin 2015. (Source: Auteur).....	144
GrapheVI.24: Variation d'éclairement moyen dans la salle de classe N°04 à 15h le 21 Juin 2015. (Source: Auteur).....	144

LISTE DES TABLEAUX :

CHAPITRE I : Eclairage naturel dans le bâtiment

Tableau I.1 : Eclairage des différentes sources de l'éclairage naturel. (Source : CCRC., 2007).....11

Tableau I.2 : Taux d'éclairage des sources de l'éclairage naturel. (Source : SIGRID, R. De HERDE, A., 2001).....11

Tableau I.3: Adaptation du type du ciel à la norme du CIE. (Source : Saffidine, D., 2006).....16

Tableau I.4: Stratégie de la lumière naturelle. (Source : Suzel, B., 2007).....28

CHAPITRE II : Effet d'orientation sur l'environnement intérieur du bâtiment

Tableau II.1 : Azimut de la paroi verticale suivant l'orientation.(Source : G.R.P.A.C.A., 1988)..34

Tableau II.2 : Les formes des campus universitaires. (Source : Roger, Bruno., 2007).....45

Tableau II.3 : Types de salles de cours. (Source : <https://ssa.uqam.ca/salles-de-cours/types-de-salles-de-cours.html>).....47

CHAPITRE III : Le confort visuel dans les salles de classe

Tableau III.1 : Température de couleur. (Source : Lætitia, F., 2012).....64

Tableau III.2 : Les réactions subjectives probables à certain niveau d'indice d'éblouissement (Source : CIE 117,1995. <http://leclairage.fr/ugr/>).....69

Tableau III.3 : Types d'ambiance lumineuse. (Source: DAICH, SAFA.,2011).....71

CHAPITRE IV : Représentation de l'environnement et des cas d'étude

Tableau IV.1 : Extrait des caractéristiques de la zone D. (Source : Mazouz. S., 2004).....75

Tableau IV.2 : caractéristiques de la salle classe N° 01, orientée Sud–Est.(Source: Auteur)....82

Tableau IV.3 : Données techniques de la salle classe N° 01, orientée Sud–Est. (Source: Auteur)83

Tableau IV.4 : caractéristiques de la salle classe N° 02 orientée Nord-Ouest. (Source: Auteur)84

Tableau IV.5 : Données techniques de la salle classe N° 02 orientée Nord-Ouest. (Source: Auteur)85

Tableau IV.6 : caractéristiques de la salle classe N° 03 orientée Nord-Est.(Source: Auteur) ..85

Tableau IV.7 : Données techniques de la salle classe N° 03 orientée Nord-Est. (Source: Auteur)	86
Tableau IV.8 : caractéristiques de la salle classe N° 04 orientée Sud-Ouest.(Source: Auteur)..	87
Tableau IV.9 : Données techniques de la salle classe N° 04 orientée Sud-Ouest. (Source: Auteur)	88
Tableau IV.10 : données techniques des salles de classe. (Source: Auteur).....	88
CHAPITRE V : Evaluation qualitative d'éclairage naturel dans les salles de classe	
Tableau V.1: Répartition des occupants selon le sexe. (Source: Auteur).....	91
Tableau IV.2: Répartition des occupants selon la tranche d'âge. (Source: Auteur).....	92
Tableau V.3: Répartition des occupants selon le groupe d'usages.(Source: Auteur)	92
Tableau V.4: Répartition des occupants selon leurs durées d'occupation des classes. (Source: Auteur)	92
Tableau V.5: Répartition des occupants selon leur position par rapport la fenêtre. (Source: Auteur)	93
Tableau V.6: Répartition des occupants selon la justification de leur position par rapport la fenêtre. (Source: Auteur).....	93
Tableau V.7: Répartition des occupants selon le taux de luminosité dans les salles de classe en hiver. (Source: Auteur).....	94
Tableau IV.8: Répartition des occupants selon le taux de luminosité dans les salles de classe type en été. (Source: Auteur).....	94
Tableau V.9: Répartition des occupants selon le taux de luminosité dans les salles de classe type. (Source: Auteur).....	95
Tableau V.10: La présence des taches solaires rapportée sur le plan de travail. (Source: Auteur)	96
Tableau V.11: Le gêne rapporté à cause de réflexion des rayons solaires ou diffus sur le tableau. (Source: Auteur).....	97
Tableau V.12: Répartition des occupants selon leurs réactions aux rayons solaires intenses.(Source: Auteur).....	97
Tableau V.13: Répartition des occupants selon leurs degrés de gêne à l'éblouissement des rayons solaires. (Source: Auteur).....	98
Tableau V.14: Répartition des occupants selon les sources d'éblouissement. (Source: Auteur).....	98

Tableau V.15: Répartition des occupants en fonction du besoin de protection solaire. (Source: Auteur).....	99
Tableau V.16: Répartition des occupants selon leurs qualifications de la vue vers l'extérieur. (Source: Auteur).....	100
Tableau V.17: Répartition des occupants selon la description de leurs classes. (Source: Auteur)	101
Tableau V.18 : Echelles sémantiques utilisées par Nakamura et Inui. (Source : COUTELIER, B., 2006)	104
Tableau V.19 : Echelles sémantiques utilisées par Loe et al.(Source : COUTELIER, B., 2006)..	104
Tableau V.20 : Caractéristiques qualificatives de l'environnement lumineux des salles de classe (Source: Auteur).....	105
Tableau V.21 : interprétation des photos pris la période : Décembre – Janvier (Source: Auteur)	109
Tableau V.22 : Interprétation des photos pris la période : Mars – Avril. (Source: Auteur).....	113
Tableau V.23 : Interprétation des photos pris la période : Mai - Juin. (Source: Auteur).....	117
Tableau V.24 : Caractéristiques des salles de classe type. (Source: Auteur).....	119
CHAPITRE VI : Evaluation quantitative d'éclairage naturel dans les salles de classe	
Tableau VI.1: Simulation d'éclairage intérieur dans la salle de classe N°01 et 02 le 21 Décembre 2014. (Source: Auteur).....	124
Tableau VI.2: Simulation d'éclairage intérieur dans les salles de classe N°03 et 04 le 21 Décembre 2014. (Source: Auteur).....	125
Tableau VI.3: Simulation d'éclairage intérieur dans la salle de classe N°01 et 02 le 21 Mars 2015. (Source: Auteur).....	126
Tableau VI.4: Simulation d'éclairage intérieur dans la salle de classe N°03 et 04 le 21 Mars 2015(Source: Auteur).....	127
Tableau VI.5: Simulation d'éclairage intérieur dans la salle de classe N°01 et 02 le 21 Juin 2015 (Source: Auteur).....	128
Tableau VI.6: Simulation d'éclairage intérieur dans la salle de classe N°03 et 04 le 21 Juin 2015.....	129
Tableau VI.7: Comparaison entre les valeurs d'éclairages moyens intérieurs simulés dans les salles de classe type. (Source: Auteur).....	130

Tableau VI.8: Mesure in-situ d'éclairage intérieur dans la salle de classe N°01 à 9h et 15h le 21 Décembre 2014. (Source: Auteur).....	133
Tableau VI.9: Mesure in-situ d'éclairage intérieur dans la salle de classe N°02 à 9h et 15h le 21 Décembre 2014.(Source: Auteur).....	134
Tableau VI.10: Mesure in-situ d'éclairage intérieur dans la salle de classe N°03 à 9h et 15h le 21 Décembre 2014. (Source: Auteur).....	135
Tableau VI.11: Mesure in-situ d'éclairage intérieur dans la salle de classe N°04 à 9h et 15h le 21 Décembre 2014. (Source: Auteur).....	136
Tableau VI.12: Mesure in-situ d'éclairage intérieur dans la salle de classe N°01 à 9h et 15h le 21 Mars 2015. (Source: Auteur).....	137
Tableau VI.13: Mesure in-situ d'éclairage intérieur dans la salle de classe N°02 à 9h et 15h le 21 Mars 2015. (Source: Auteur).....	138
Tableau VI.14: Mesure in-situ d'éclairage intérieur dans la salle de classe N°03 à 9h et 15h le 21 Mars 2015. (Source: Auteur).....	139
Tableau VI.15: Mesure in-situ d'éclairage intérieur dans la salle de classe N°04 à 9h et 15h le 21 Mars 2015. (Source: Auteur).....	140
Tableau VI.16: Mesure in-situ d'éclairage intérieur dans la salle de classe N°01 à 9h et 15h le 21 Juin 2015. (Source: Auteur).....	141
Tableau VI.17: Mesure in-situ d'éclairage intérieur dans la salle de classe N°02 à 9h et 15h le 21 Juin 2015 (Source: Auteur).....	142
Tableau VI.18: Mesure in-situ d'éclairage intérieur dans la salle de classe N°03 à 9h et 15h le 21 Juin 2015. (Source: Auteur).....	143
Tableau VI.19: Mesure in-situ d'éclairage intérieur dans la salle de classe N°04 à 9h et 15h le 21 Juin 2015 (Source: Auteur).....	144
Tableau VI.20: Comparaison entre les mesures in-situ d'éclairages moyens intérieurs dans les salles de classe type. (Source: Auteur).....	145
Tableau VI.21: Comparaison entre les valeurs d'éclairage intérieur simulées et mesurées dans les salles de classe type. (Source: Auteur).....	147
Tableau VI.22: Echelle d'évaluation de niveau d'éclairage. (Source: Auteur).....	149
 CHAPITRE VII : Analyse et discussion des résultats	
Tableau VII.1: Echelle d'évaluation de niveau d'éclairage. (Source: Auteur).....	150
Tableau VII.2: Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans la salle de classe N°01 durant le 21 /12/2014. (Source: Auteur).....	151

Tableau VII.3: Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans la salle de classe N°02 durant le 21 /12/2014. (Source: Auteur).....	152
Tableau VII.4: Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans la salle de classe N°03 durant le 21 /12/2014. (Source: Auteur).....	153
Tableau VII.5: Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans la salle de classe N°04 durant le 21 /12/2014.(Source: Auteur).....	154
Tableau VII.6: Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans la salle de classe N°01 durant le 21 /03/2015. (Source: Auteur).....	155
Tableau VII.7: Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans la salle de classe N°02 durant le 21 /03/2015. (Source: Auteur).....	156
Tableau VII.8: Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans la salle de classe N°03 durant le 21 /03/2015.(Source: Auteur).....	157
Tableau VII.9: Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans la salle de classe N°04 durant le 21 /03/2015.(Source: Auteur).....	158
Tableau VII.10: Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans la salle de classe N°01 durant le 21 /06/2015.(Source: Auteur).....	159
Tableau VII.11: Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans la salle de classe N°02 durant le 21 /06/2015.(Source: Auteur).....	160
Tableau VII.12: Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans la salle de classe N°03 durant le 21 /06/2015.(Source: Auteur).....	161
Tableau VII.13: Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans la salle de classe N°04 durant le 21 /06/2015.(Source: Auteur).....	162
Tableau VII.14: Résultat d'évaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans les salles de classe type durant le 21 /12/2014. (Source: Auteur).....	163
Tableau VII.15: Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans les salles de classe type durant le 21 /12/2014. (Source: Auteur).....	164
Tableau VII.16: Résultat d'évaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans les salles de classe type durant le 21 /03/2015. (Source: Auteur).....	166
Tableau VII.17: Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans les salles de classe type durant le 21 /03/2015. (Source: Auteur).....	167
Tableau VII.18: Résultat d'évaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans les salles de classe type durant le 21 /06/2015. (Source: Auteur).....	169
Tableau VII.19: Résultat d'évaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans	

les salles de classe type durant le 21 /06/2015. (Source: Auteur).....	170
Tableau VII.20: Photos présentatives d'état d'inconfort dans les salles de classe orientées Sud-Est, Nord-Est et Sud-Ouest. (Source: Auteur).....	173
Tableau VII.21: Photos présentatives d'état d'inconfort dans les salles de classe orientées Nord-Ouest.(Source: Auteur).....	173

Introduction :

L'existence de l'homme est intimement liée à la lumière. Il ne peut littéralement pas vivre sans elle, car la lumière constitue un élément essentiel, générateur de vie sur terre. Le 23 décembre 2013 la 68ème assemblée générale des Nations Unies proclamée 2015 comme l'année internationale de la lumière (<https://dynamiques.hypotheses.org>) car de tout temps la lumière a rythmé la vie des hommes, sa spiritualité, son quotidien, et bien sur son évolution technologique.

Donc la lumière représente une partie indéniable de notre vécu quotidien et nous influence du point de vue physiologique et psychologique, avant d'être l'un des plus importants domaines de recherche de notre époque et ce depuis l'apparition des sciences. Actuellement, la lumière fait partie des sujets les plus importants de la recherche scientifique dans diverses disciplines notamment l'architecture, car la lumière est la quatrième dimension de l'architecture et l'un des matériaux de base de toute conception architecturale.

En effet, depuis l'antiquité, l'éducation occupe une place primordiale dans le développement des sociétés et des civilisations. Cette réalité est renforcée de nos jours par les avancées du développement technologique de l'information et par celles induites de la mondialisation. Ces dernières années, les questions posées par le développement durable et les économies d'énergie dans les pays occidentaux ont motivé des travaux de recherche pour favoriser l'éclairage naturel dans les établissements scolaire et universitaires, car pour ses locaux, il est un ordre important puisque le travail universitaire consiste à capter, à retenir et à assimiler une multitude d'informations, dont 70% sont visuelles. (Association Française de l'Eclairage., 2002).

Dans le cadre du développement durable, il est essentiel de concevoir des édifices en concordance optimale avec leur environnement, ce qui inscrit le climat parmi les dimensions fondamentales de l'architecture. L'emploi de la lumière naturelle est plus écologique que celui de la lumière artificielle, il est confédéré comme un moyen privilégié pour accorder un bâtiment aux rythmes naturels qui consiste à tirer le meilleur parti possible de la lumière naturelle dans un édifice. En effet, une gestion optimisée de l'éclairage se traduit indirectement par une diminution des quantités de déchets produits par le bâtiment au cours de son fonctionnement ou lors de sa démolition, qui a pour objectif d'assurer, non seulement une relation visuelle satisfaisante avec l'extérieur, mais surtout un éclairage naturel optimal en termes de confort visuel et de dépenses énergétiques.

I. Problématiques :

Durant des millénaires, l'Homme était tributaire de la lumière naturelle qui constituait sa seule source d'éclairage nécessaire pour effectuer les différentes tâches et activités quotidiennes. Avec l'invention de la lampe l'éclairage électrique associé aux nouvelles technologies, a profondément bouleversé les techniques de construction.

Mais aujourd'hui, l'énergie électrique commence à poser de sérieux problèmes en Algérie d'un part à cause de la forte demande qu'elle suscite et d'un autre le gouvernement a dû adopter un premier train de mesures d'austérité, à cause de cours du pétrole en 2015 que ont perdu la moitié de leur valeur en six mois dont l'Algérie tire plus de 95% de ses revenus externes de l'exportation des hydrocarbures, Il devient donc important d'inciter les citoyens à l'usage rationnel de celle-ci, le recours à la source mère «soleil» pour chauffer, éclairer, et même refroidir renvoie tout simplement à l'exploitation d'une énergie propre verte. Aussi bien dans les lieux domestiques et dans les espaces d'enseignement.

Comme dans tous les pays en voie de développement, l'enseignement supérieur est l'objet d'une demande sociale importante, en Algérie il joue un rôle décisif dans la vie économique, sociale et culturelle du pays. Les pouvoirs publics algériens, sont conscients de cette importance. Depuis l'indépendance du pays en 1962 ce secteur a connu aux plans quantitatif et qualitatif une forte évolution en effet, les programmes gouvernementaux reflètent de plus en plus cet intérêt et prennent en charge l'enseignement supérieur comme priorité nationale.

Ces dernières années, les questions posées par le développement durable et les économies d'énergie dans les pays occidentaux ont motivé des travaux de recherche pour favoriser l'éclairage naturel dans les établissements d'enseignement. La plupart d'entre eux reposent sur les quantités de lumière requises pour effectuer des tâches spécifiques aux établissements d'enseignement mais peu portent sur les aspects qualitatifs de l'éclairage naturel. Les mêmes questions commencent à se poser en Algérie, notamment la question de la lumière naturelle. Favoriser l'éclairage naturel dans les salles de classe doit permettre de réaliser des économies d'énergie et d'améliorer les conditions de travail des enseignants et des étudiants, car dans le cadre du travail scolaire et universitaire, plus de 65% des informations sont d'origine visuelle (Minier, F., 2001).

Dans un monde caractérisé par une rivalité rapide, tous les pays développés ont entrepris d'importants travaux pour promouvoir la mise en œuvre de solutions d'éclairage naturel

efficaces et durables dans les bâtiments universitaires, ce sujet constitue le centre d'intérêt de plusieurs séminaires, conférence-débats, journées d'études...

Or, comme le souligne la plupart des chercheurs, l'éclairage naturel est recherché et même indispensable à l'Homme car, il joue un rôle très important non seulement dans le domaine de la vision, mais également sur le plan biologique et psychologique des individus. L'éclairage intérieur est un trait de caractère majeur de l'ambiance d'un bâtiment. Une lumière naturelle engendre une sensation de bien-être et de confort visuel. Donc la lumière du soleil stimule les fonctions cognitives et la concentration. L'introduire dans un bâtiment scolaire ou universitaire permet aux enfants, ou étudiants de bénéficier de l'influence positive de la lumière naturelle sur les capacités d'apprentissage (Quentin, M., Florent L., 2013).

Pendant la **6e VELUX Daylight Symposium** qui s'est tenu à Londres, des chercheurs, des architectes, des ingénieurs et des professionnels de la construction ont eu l'occasion de discuter de la manière dont la lumière naturelle peut apporter des changements dans notre société actuelle, active 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7. Ils ont confirmés que la lumière naturelle a également une influence positive sur les capacités d'apprentissage et de travail des individus. Le fil rouge des 35 conférences données lors du Symposium, suivies par plus de 350 participants en provenance des quatre coins du monde, était de promouvoir une conception proactive, tenant compte de la lumière naturelle pour contribuer au bien-être et à l'amélioration de la santé (Velux Daylight Symposium., 2015).

Les systèmes d'éclairage ont pour but de situer l'entrée de la lumière du jour qui favorise l'éclairage naturel, la ventilation et l'ouverture vers l'extérieur .En Algérie, comme dans beaucoup d'autres pays, nous avons constaté un large usage du système conventionnel d'éclairage unilatéral dotées de vitrage simple dans les constructions universitaires qui est, de l'avis de J.J. DELETRE (DELETRE, J.J.,2003), l'un des systèmes optiques les moins performant du point de vue éclairage, notamment lorsqu'il existe des obstructions extérieures, d'autre part M. E. Trélat, directeur de l'Ecole spéciale d'architecture, avait vivement combattu ce système d'éclairage, qui, selon lui, présente de graves inconvénients car une classe de classe éclairée d'un seul côté, ne reçût pas une quantité de lumière suffisante . Il prit à tâche de les signaler, dès 1875, dans deux opuscules intitulés : Lettres à M. le préfet de la Seine. (<http://www.inrp.fr/edition-electronique/lodel/dictionnaire-ferdinand-buisson/document.php?id=2612>). De son coté, Pr Saffidine (Saffidine, D., 2001) dans sa thèse de doctorat traitant des conditions d'éclairage des salles de classe dans les écoles primaires à

Constantine, a soulevé les multiples problèmes rencontrés suite à l'usage de ce type de dispositif d'éclairage naturel, à savoir les problèmes d'ensoleillement direct, d'éblouissement et de surchauffe estivale.

Ce qui a attiré notre attention, c'est qu'après l'indépendance pour parer aux besoins urgents de la population en équipement et logement. L'absence d'une planification urbaine, les responsables ont opté le mode de planification : **l'organisation de plan de masse** qui est caractérisé par la répartition de la même modèle sous différentes orientations, ce qui est le cas de la planification du plan de masse de l'université de Laghouat qui est caractérisé par la repartitions de différentes bloc pédagogique sous différentes orientation dont sont conçus sous formes de barres.

Face à ces importants résultats, et après l'observation de conception architectural des blocs des salles de classe de la faculté centrale de l'université Amar Telidji Laghouat qui sont caractérisés par une conception architectural similaire d'une forme de barre orienté sur 04 directions différentes et éclairé par un système conventionnel d'éclairage unilatéral.

la question qui nous est venue à l'esprit c'est de savoir si les systèmes conventionnel d'éclairage latéral sont aussi moins performants du point de vue éclairage dans les salles de classe avec différentes orientations et sous un climat lumineux particulier tel que celui de la ville de Laghouat ?.

Qu'elles sont les solutions à adopter selon la spécificité de chaque orientation pour assurer le confort visuel dans les salles de cours des futures conceptions des bâtiments scolaires et universitaires dans notre pays?.

Pour vérifier ce constat, nous avons choisi comme terrain d'investigation, les salles de classe de l'université Amar Telidji Laghouat.

II. Objectifs :

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer quantitativement et qualitativement, les performances lumineuses des systèmes conventionnels d'éclairage latéral des salles de classe de l'université de Laghouat, qui sont caractérisé par l'utilisation d'un même systèmes conventionnel d'éclairage latéral, orientées suivant quatre différentes directions afin de déterminer les différents avantages et inconvénients de ce dispositif. Des recommandations peuvent être établies plus tard pour un environnement lumineux adéquat.

Ces évaluations seront effectuées sur la base de différents indicateurs (Éclairement lumineux, indice d'uniformité..)

Compte tenu de la rareté voire l'absence de réglementation algérienne dans le domaine de l'éclairage naturel, cette évaluation va nous aider à établir une liste de recommandations ou de propositions concrètes pour les futures infrastructures pédagogiques.

III. Hypothèses :

Afin d'atteindre cet objectif, nous avons construit une série d'hypothèses qui vont nous aider à mieux cerner le champ d'investigation. Ces hypothèses sont les suivantes :

1- La similarité dans la conception du dispositif d'éclairage naturel d'un système conventionnel d'éclairage latéral qui ne tient pas compte de l'effet de l'orientation n'assure pas le même degré de confort visuel des occupants dans les salles de classe sous le climat lumineux particulier de la région de Laghouat.

2- les différentes orientations des ouvertures d'un système conventionnel d'éclairage latéral ne produisent pas la même efficacité pour l'éclairage des salles de classe sous le climat lumineux de Laghouat.

3- les dimensions des ouvertures et l'orientation ont un impact sur l'efficacité d'un système conventionnel d'éclairage latéral et le confort visuel des usagers.

IV. Méthodologie et outils de travail :

Pour nous aider à confirmer ou à infirmer ces hypothèses, nous avons procédé à une méthodologie mixte qui nous permet de combiner des techniques de recherche d'un prélèvement quantitatif et qualitatif de façon cohérente et harmonieuse, afin d'enrichir les résultats de la recherche.

Face à notre objectif qui vise à évaluer qualitativement et quantitativement, les performances lumineuses des systèmes conventionnels d'éclairage latéral des salles de classe type on va utiliser les techniques suivantes :

- **Pour l'évaluation qualitative :** l'usage de deux techniques de recherche qui sont une enquête par questionnaire qui sera recueillies auprès des étudiants et enseignants par le biais de différents entretiens et une observation sur terrain par la prise des notes et des photos aux différentes heures de la journée et à différentes périodes de l'année pour qualifier l'environnement lumineux.

- **Pour l'évaluation quantitative :** une étude expérimentale basée sur une campagne de mesures visant à déterminer les taux d'éclairements directement in situ aux différentes heures de la journée et à différentes périodes de l'année grâce à un luxmètre, ainsi que une

évaluation numérique à l'aide d'un logiciel de simulation numérique viendront compléter ceux de la campagne de mesure.

- A la fin on procédera à une analyse et interprétation de ces données, dont il nous sera possible de cerner les performances de l'éclairage existant par rapport aux besoins et exigences en lumière naturelle des salles de classe.

V. Structure du mémoire :

Afin d'atteindre les objectifs de cette recherche, il est important d'avoir une approche méthodique et structurée du sujet traité, ainsi la présente recherche sera composée de deux Parties, la première traitera de l'aspect théorique de la question et la deuxième qui est la partie pratique comprendra l'investigation et le travail de terrain.

L'aspect théorique de cette recherche consistera en une familiarisation avec le sujet et traitera les différents points et concepts relatifs à l'éclairage naturel d'une façon générale et dans les salles de classe plus précisément. Cette partie se composera de trois chapitres :

-Le premier chapitre englobera les différentes connaissances de base et les notions de l'éclairage naturel et ciblera aussi l'éclairage naturel dans les salles de classe.

-Le deuxième chapitre traitera les différents effets d'orientation sur l'environnement intérieur du bâtiment et sur l'éclairage naturel dans les salles de classe plus précisément.

-Le troisième chapitre traitera la des notions de base tel que le confort visuel les normes les exigences ...etc.

La deuxième partie qui comporte l'investigation sera composée de quatre chapitres :

-Dans le premier chapitre il sera question de présenter l'environnement de notre étude, à savoir le climat de la ville de Laghouat ainsi que l'université et les salles de classe choisies pour l'étude.

-le deuxième chapitre comprendra une évaluation qualitative d'éclairage naturel dans les salles de classe type a l'aide de l'usage de deux technique de recherche : le questionnaire et l'observation

-le troisième chapitre comprendra une évaluation quantitative d'éclairage naturel dans les salles de classe type a l'aide d'une étude expérimentale basé sur une campagne de mesures ainsi que une évaluation numérique à l'aide d'un logiciel de simulation numérique.

-le quatrième et le dernier chapitre comprend les différentes analyses et interprétations des résultats et la discussions des hypothèses.

Introduction :

L'éclairage naturel présente un double intérêt, où le premier est d'ordre qualitatif car les variations de luminosité suivant les heures de la journée mettent l'architecture en relief et animent l'espace intérieur. Quant au second intérêt, il est d'ordre qualitatif: en effet, l'éclairage naturel permet de réduire les besoins d'électricité et assurer une partie des besoins en chauffage grâce aux apports solaires.

Ce chapitre a pour but de définir le concept de l'éclairage naturel et ses sources, mais aussi d'identifier les différents types de « prises de jour » qui permettent la pénétration de la lumière naturelle à l'intérieur des constructions, ainsi qu'aux performances de chacune des techniques, leurs caractéristiques, leurs dimensions ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients afin de pouvoir se prononcer sur l'efficacité lumineuse de chaque dispositif et le meilleur choix à faire en matière d'éclairage naturel.

I. Définition de l'éclairage naturel :

D'une manière générale, l'éclairage naturel est défini comme étant « l'utilisation de la lumière du jour pour éclairer les tâches à accomplir » (W, C, BROWN et K, RUBERG., 1988).

Si le soleil est la source mère de tout type de lumière naturelle, techniquement l'éclairage naturel global comprend à la fois l'éclairage produit par le soleil, la voûte céleste et les surfaces environnantes (MUDRI, L., 2002).

Cependant, certains spécialistes dans le domaine ont, pendant longtemps, omis de considérer dans leurs définitions et leurs calculs l'éclairage direct provenant du soleil, ne prenant en considération que la lumière diffuse du ciel. Parmi ces spécialistes, nous citerons F. BOUVIER (BOUVIER, F.,1981) qui le définit comme étant « l'éclairage produit par la voûte céleste et les réflexions de l'environnement, à l'exclusion de l'éclairage direct du soleil ». P. CHAUVEL (CHAUVEL,P & DERIBERE, M., 1968) de son côté, le décrit comme étant « l'éclairage produit par la voûte du ciel, à l'exclusion de l'éclairage produit par le soleil .Toutefois, dans certains cas, on considère l'éclairage global, mais il doit toujours être précisé que c'est y compris la lumière provenant directement du soleil ou réfléchié par des surfaces ensoleillées.»

Quant à M. GARCIA (GARCIA, M.,2000), il précise que lorsqu'on étudie l'éclairage naturel à l'intérieur des locaux, on prend seulement en compte le rayonnement solaire diffus ; c'est

à dire la lumière provenant de la voûte céleste, car l'ensoleillement dans un local a des effets lumineux très intenses, mais crée rarement un éclairage fonctionnel.

Cette exclusion du rayonnement direct du soleil est approuvée lorsque la région d'étude se caractérise par une fréquence quasi absolue de ciel couvert qui masque totalement le disque solaire, comme c'est le cas au Royaume-Uni et les autres pays aux climats similaires. Mais ceci ne s'applique pas dans une région comme la ville de Laghouat, qui se caractérise par un ciel clair pendant toute l'année.

I.1 Les Sources de l'éclairage naturel :

La source est l'origine de quelque chose. Du point de vue physique, une source est « un convertisseur qui transforme une énergie en un rayonnement » (P, CHAUVEL & M, DERIBERE., 1968).

François BOUVIER (BOUVIER, F., 1981) avance qu'afin que l'homme puisse percevoir son environnement et y agir, il est normalement nécessaire qu'il le voie, et pour cela que celui-ci soit convenablement éclairé. L'œil est sensible aux rayonnements de la gamme du visible qui proviennent des corps environnants.

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

I.1.1 Sources lumineuses diurnes:

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

I.1.1.1. Sources lumineuses diurnes directes:

L'homme est exposé à une grande variété de sources d'énergie naturelles qui émettent un rayonnement sur plusieurs bandes du spectre électromagnétique. L'œil humain perçoit des niveaux de luminance allant de 'environ 10^{-3} cd/m² (vision nocturne où la perception des couleurs est impossible) à 10^5 cd/m². Selon les physiologistes distinguent en effet deux sortes de vision humaine : la vision scotopique crépusculaire, adaptée aux faibles éclaircissements et qui met en jeu les cellules bâtonnets de la rétine, et la vision **photopique** ou vision diurne, essentiellement effectuée par les cônes de la rétine (BOUVIER, F., 1981) (figure I.2).

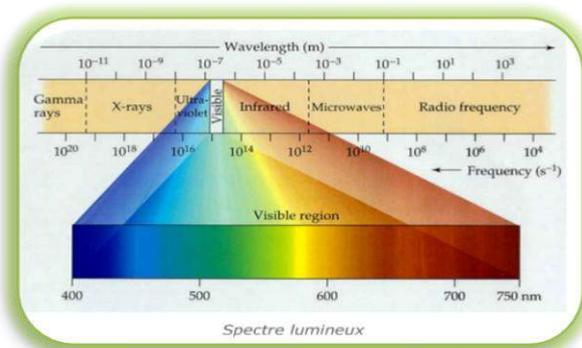


Figure I.1 : la partie visible du spectre électromagnétique.
Source : Lætitia, F., 2012.

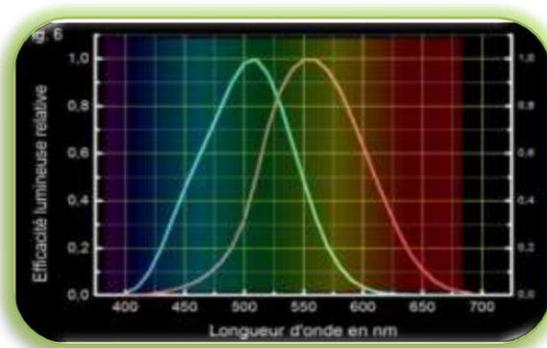


Figure I.2 : Sensibilité relative de l'œil en fonction de longueur d'onde du stimulus.
Source : CCRC., 2007.

La lumière naturelle (Sura, M. Hicham, k., 2005) reçue à l'intérieur d'un bâtiment est la résultante de la combinaison : des rayons solaires directs, la lumière diffuse du ciel et la lumière réfléchiée par les façades et de l'environnement. La figure I.3 montre les trois composantes de la lumière à l'intérieur d'un local.



Figure I.3 : Les sources de la lumière naturelle Pénétrante pour un espace intérieur. **Source :** Saffidine, D., 2006.

Parmi les sources lumineuses diurnes directes, on peut les classer selon deux sources, une primaire qui est le soleil et une secondaire qui se traduit par la voûte céleste.

-La « **source primaire** » est une source de lumière qui émet de la lumière qu'elle a elle-même produite. Elle est visible et isolée de toute autre source lumineuse. Le Soleil est une source primaire de la lumière naturelle diurne et il est à l'origine du rayonnement visible direct appelé « lumière solaire ». Quant à cette dernière, elle est définie par J. BELL et W. BURT comme étant « la partie de l'irradiation solaire qui atteint la surface terrestre sous forme de rayons parallèles et qui résulte d'une atténuation sélective par l'atmosphère » (J, BELL& W, BURT in ROUAG, D., 2001).

Cette composante de la lumière naturelle est prépondérante sous un ciel clair et dispense un flux considérable qui s'avère facile à capter et à diriger, de même qu'elle

présente une dynamique intéressante et peut être utilisée en tant qu'énergie lumineuse et thermique.

Par contre, le rayonnement solaire direct est souvent une source d'éblouissement et parfois de surchauffe du bâtiment. En plus, sa disponibilité est épisodique et dépend de l'orientation des ouvertures et du type du climat lumineux. D'autre part, la lumière solaire qui est une lumière directive donne des ombres propres et portées très contrastées qui peuvent être souvent gênantes pour l'exécution d'une tâche visuelle pointue.

Tous ces paramètres doivent être pris en considération lors de la conception d'un projet d'éclairage naturel afin d'aboutir à une stratégie à la fois efficace et économique.

Une « source secondaire » est une source de lumière qui n'est visible que lorsqu'elle est éclairée par une source primaire (ENCARTA CORPORATION.,2010), telle la voûte céleste qui est éclairée par le rayonnement solaire dont une partie (environ 25%), qui est absorbée et réémise par l'atmosphère, constitue ce que les spécialistes appellent la lumière diffuse du ciel.

Selon J. BELL et W. BURT: « la lumière du ciel est la partie de l'irradiation solaire qui atteint la surface terrestre et qui résulte de la diffusion par l'atmosphère ». (J. BELL& W. BURT IN ROUAG, D., 2001).

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

I.1.1.2 Sources lumineuses diurnes indirecte :

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

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

I.2. Les grandeurs photométriques :

I.2.1. Définition: ce sont les phénomènes lumineux objectivement mesurables et quantifiables. (BODART, M., 2002)

I.2.2. Le flux lumineux (lm) : Le flux lumineux d'une source est la quantité de lumière rayonnée dans tout l'espace par cette source, il s'exprime en lumen (lm).

I.2.3. L'intensité lumineuse (cd) :

L'intensité lumineuse est le flux lumineux émis par unité d'angle solide dans une direction donnée. Elle est mesurée en candela. 1 candela = 1 lumen/stéradian (figure I.4).

I.2.4 L'éclairement (lux) :

L'éclairement en un point d'une surface est le rapport du flux Lumineux reçu par unité de surface. L'éclairement est exprimé en lux. 1 lux = 1 lumen /m². L'éclairement (figure I.4)

caractérise donc la quantité de lumière reçue par une surface. Cependant, cette grandeur est très difficilement perceptible par l'œil humain. L'échelle des niveaux d'éclairement disponibles naturellement est très étendue elle varie entre 0,2 lux et 100 000 lux (Tableau I.1).

Source lumineuse	Eclairement (lux)
Extérieur par peine lune	0.2
Extérieur par ciel couvert	Entre 5000 et 10 000
Extérieur par ciel clair	Entre 7000 et 24000
Surface perpendiculaire au soleil d'été	100 000

Tableau I.1 : Eclairement des différentes sources de l'éclairage naturel. Source : CCRC., 2007.

I.2.5 La luminance (cd/m²) : Correspond mieux à la sensation visuelle de luminosité causée par les surfaces des objets éclairés. La luminance d'une source est le rapport entre l'intensité lumineuse émise dans une direction et la surface apparente de la source dans la direction considérée. Elle s'exprime en candela/m². Elle demeure la seule grandeur réellement perçue par l'œil humain.

Type de scène	Luminance (cd/m ²)
Paysage nocturne	10 ⁻³ ou 0.001
Paysage par pleine lune	10 ⁻² à 10 ⁻¹
Lune	2500
Paysage par ciel couvert	300 à 5000
Paysage par ciel clair	500 à 25000
soleil	1.5 10 ⁹

Tableau I.2 : Taux d'éclairement des sources de l'éclairage naturel. Source : SIGRID, R. De HERDE, A., 2001.

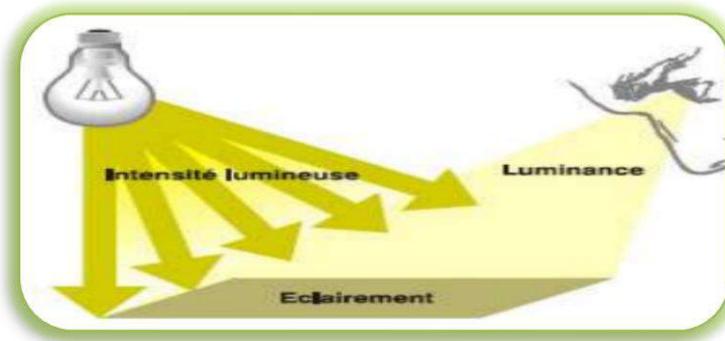


Figure I.4 : Intensité lumineuse, l'éclairage et la luminance. Source : BODART, M., 2002.

I.2.6 Le Facteur de Lumière de Jour (FLJ):

Le facteur de lumière du jour (FLJ) est défini par le rapport entre l'éclairage horizontal intérieur au niveau du plan de travail et l'éclairage sur un plan horizontal extérieur simultané sous un ciel couvert de distribution standard (figure I.5).

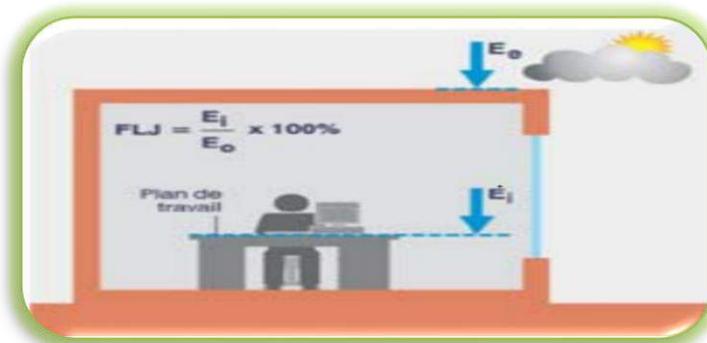


Figure 1.5 : Définition de facteur de lumière de jour. Source : DE HERDE, A. et LIEBARD. A. 2005.

II. Climat lumineux :

La qualité ainsi que la quantité de la lumière naturelle disponible dans un local sont, tout d'abord, fonction du climat lumineux extérieur de son site d'implantation (MUDRI, L., 2002). En effet, l'éclairage lumineux, la luminance et la composition spectrale de la lumière du jour sont fonction de la position géographique du site (latitude), des saisons, des moments de la journée et des conditions météorologiques.

II.1. La lumière solaire directe :

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

données facilitent l'utilisation de techniques simples de contrôle et d'évaluation de l'ensoleillement des différentes composantes du bâtiment.

II.1.1. Mouvement annuel de la terre autour du soleil :

En raison du mouvement annuel de la terre autour du soleil (Figure I.6), l'angle d'incidence des rayons solaires parallèles varie d'une saison à l'autre. Leur inclinaison par rapport au plan de l'équateur terrestre est représentée par un angle appelé « déclinaison », positive ou négative, suivant que le rayon principal frappe au-dessus, vers l'hémisphère Nord, ou au-dessous vers l'hémisphère Sud. Ainsi, au cours de l'année, les zones géographiques terrestres sont soumises différemment au rayonnement direct.

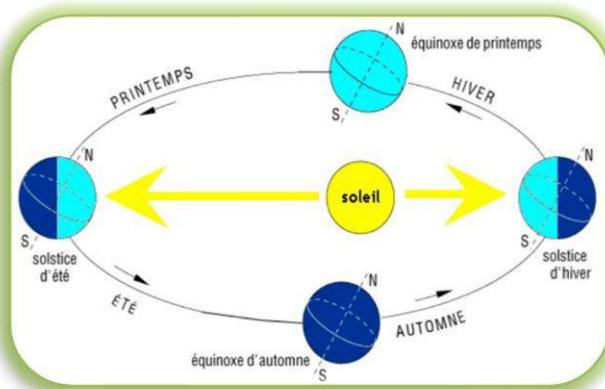


Figure I.6 : Description simplifiée du système Terre/soleil. **Source :** <https://www.google.dz/search?hl&sitesysteme+terre%>.

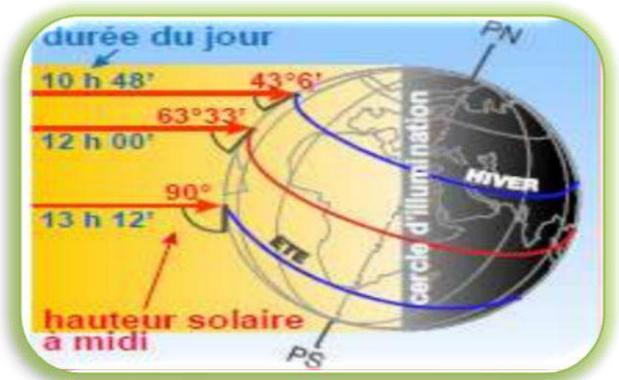


Figure I.7 : Solstice d'hiver en hémisphère Nord. **Source :** A.DE HERDE, A. LIEBARD., 2005.

L'examen des propriétés géométriques de ce mouvement de la terre dans le plan de l'écliptique, a permis de déterminer que la déclinaison varie au cours de l'année ces variations décrivent une sinusoïde dont le sens peut être appréhendé à travers quatre positions clés, qui correspondent respectivement :

- 1. Solstice d'hiver (21 décembre à l'hémisphère Nord) :** les rayons solaires sont perpendiculaires au tropique du capricorne avec un angle de déclinaison de $-23^{\circ}27'$. Durant cette période, la nuit est plus longue que le jour car le soleil se lève au sud-est et se couche au sud-ouest. Les altitudes solaires sont basses et l'intensité des éclairages lumineux directs est également minimale.
- 2. Equinoxes de printemps (21 mars) et d'automne (21 septembre) :** les rayons solaires sont dans le plan de l'équateur et la déclinaison mesure alors 0° . Cette position traduit l'égalité des jours et des nuits où le soleil se lève en plein Est et se couche en plein Ouest.
- 3. Solstice d'été (21 juin) :** la position de la terre est opposée à celle du 21 décembre et le soleil frappe l'hémisphère Nord avec un angle maximum de déclinaison égal à

+23°27'. Durant cette période, le jour est plus long que la nuit car le soleil se lève au Nord-est et se couche au Nord-ouest. Les éclairagements lumineux directs sont intenses et les altitudes solaires sont importantes.

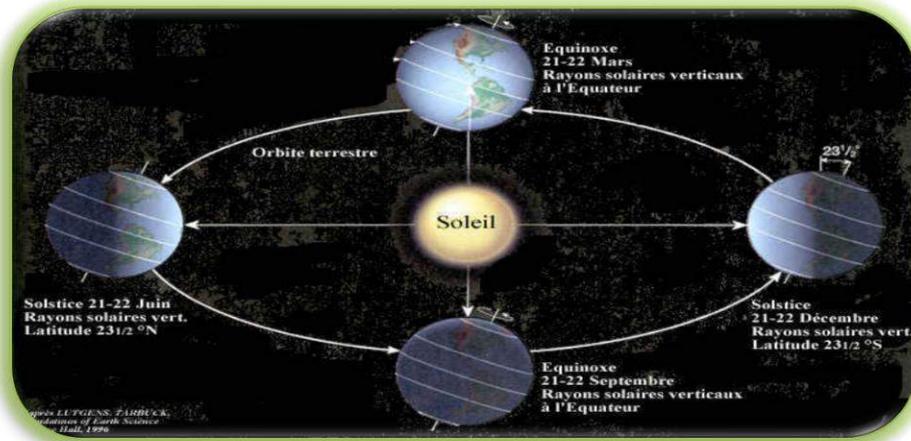


Figure I.8 : mouvement de la terre dans le plan de l'écliptique.

Source : <https://www.google.dz/search?hlghp&tbn=isch&source1430&bih=745&q=+systeme+terre%>.

Ces variations saisonnières de l'angle de déclinaison s'accompagnent donc d'une modification de l'intensité du rayonnement lumineux direct (qui est faible en hiver et intense en été) mais également de la « durée d'ensoleillement » qui est un indicateur du nombre d'heures durant lesquelles un bâtiment peut bénéficier de la lumière naturelle.

II.1.2. Influence de la latitude sur les conditions d'ensoleillement :

La position géographique d'un lieu sur la terre est déterminée par sa latitude, qui est définie comme étant « l'angle compris entre la droite joignant le point considéré sur la terre et le centre de la terre avec le plan de l'équateur terrestre ».

En fonction de la latitude des lieux, pour une même date, les périodes d'ensoleillement seront plus ou moins longues, inversées, Selon L. MUDRI (MUDRI, L., 2002), les éclairagements lumineux directs seront aussi d'intensité variable à cause de l'épaisseur de la masse d'air (ou de la couche atmosphérique) traversée par les rayons solaires car plus la latitude est élevée, plus l'épaisseur de la masse d'air à traverser est importante et plus l'éclairage lumineux direct est faible . La partie du ciel occupée par le soleil aux différents moments du jour et de l'année diffère également suivant la latitude en effet, plus la latitude est faible, donc proche de l'équateur, plus les trajectoires solaires sont centrées dans le ciel autour du zénith, à la verticale du lieu. À l'inverse, plus la latitude s'approche de celle des pôles, plus les trajectoires s'approchent de l'horizon. Par conséquent, la distribution des luminances du ciel en est également affectée.

II.2. La lumière diffuse du ciel :

Dans le domaine de l'éclairage naturel, et contrairement à la thermique, l'étude du ciel ainsi que de la répartition de ses luminances selon les différents moments de la journée et de l'année, est fondamentale pour la compréhension du phénomène. Par ailleurs, la qualité et la quantité de lumière diffuse émise par la voûte céleste sont instables car les phénomènes climatiques qui entrent en jeu restent aléatoires et ne peuvent être approchés que statistiquement à travers les relevés météorologiques qui déterminent les probabilités de survenu d'un type de ciel.

II.2.1. Modèles de ciel :

La CIE (Commission International de l'Éclairage) propose aujourd'hui 15 modélisations de types de ciels (Perez., 1993). Elles reprennent toujours le ciel couvert uniforme, le ciel couvert CIE et le ciel clair. Trois modèles de ciel sont couramment utilisés, ces modèles de ciels (2 ciels couverts et un ciel clair) sont les plus anciens ciels normalisés par la CIE.

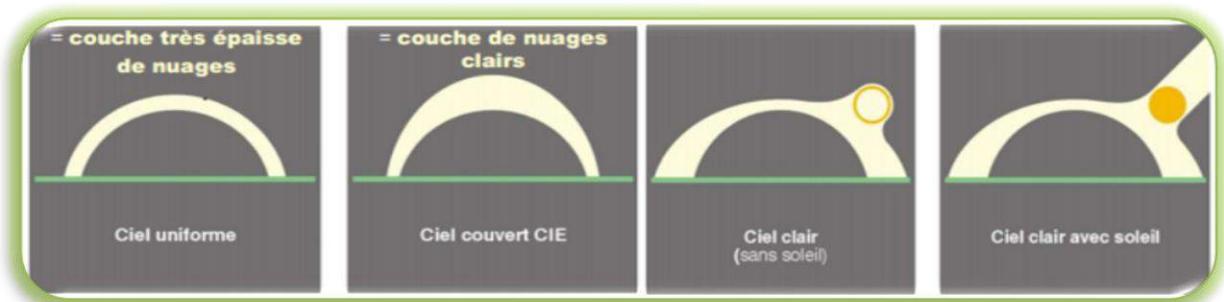


Figure I.9 : Modèles de ciel. Source : BODART, M., 2002.

Selon L. MUDRI (MUDRI, L., 2002), ces modèles standards de ciel permettent de représenter la distribution spatiale et temporelle des luminances de la voûte céleste. Ainsi, il existe différents modèles de ciel:

II.2.1.1. Ciel couvert uniforme :

C'est le cas d'un ciel couvert d'une couche épaisse de nuage laiteux, ou à une atmosphère pleine de poussière, ou le soleil n'est pas visible. Chaque point de la voûte céleste est caractérisé par la même luminance. Dans la pratique, cela correspond par exemple, à des conditions de brouillard dense.

II.2.1.2. Ciel couvert CIE (ou Moon & Spencer):

C'est le cas d'un ciel avec des nuages clairs cachant le soleil. Ce modèle stipule que la luminance du zénith est trois fois supérieure à celle de l'horizon. Dans ce cas, la symétrie

autour de direction zénithale indique que l'orientation d'une baie verticale est sans effet sur le niveau d'éclairage intérieur.

II.2.1.3. Ciel clair :

Le ciel clair est un rayonnement diffus qui dépend de la variation de la position du soleil, mais qui n'intègre pas le rayonnement solaire direct. Ce modèle simule la composante diffuse de l'éclairage d'un ciel serein.

Il existe aussi le modèle de ciel clair avec soleil : Dans ce cas, le ciel clair avec soleil prend en compte son rayonnement global ; c.à.d. la somme des rayonnements directs et diffus. Ce cas offre la possibilité d'étudier les jeux d'ombres et de lumières ainsi que les risques d'éblouissements dus à la pénétration du soleil dans un bâtiment.

Saffidine (Saffidine, D., 2006) a adapté les degrés de nébulosité aux différents types de ciel de la norme C.I.E, dans le tableau I.3.

ETAT DU CIEL	Ciel clair			Ciel partiellement couvert			Ciel couvert ou nuageux		
Nébulosité(Octets)	0	1	2	3	4	5	6	7	8

Tableau I.3: Adaptation du type de ciel à la norme du CIE. Source : Saffidine, D., 2006.

II.2.2 Influence du type de ciel sur l'éclairage naturel :

La lumière naturelle traduit les fluctuations de l'état du ciel. Des études ont montré que le ciel couvert fournit un éclairage parfaitement symétrique par rapport à l'axe du local (DE HERDE, ANDRE ET AL, www-energie.arch.ucl.ac.be) ce qui est dû au fait que la distribution des luminances de la voûte céleste de ce type de ciel est symétrique par rapport au zénith. Ce n'est cependant pas le cas d'un ciel clair puisque la répartition lumineuse d'un local éclairé naturellement par un ciel clair serein est très souvent fortement asymétrique et les valeurs d'éclairage intérieur sont nettement supérieures que par ciel couvert car la lumière solaire disponible diminue fortement lorsque le ciel se couvre.

III. Type d'éclairage naturel :

Le type d'éclairage naturel est défini par la position des prises de jour qui le procure et qui peuvent être placées soit en façade est donc un éclairage latéral, soit en toiture et en entend par là éclairage zénithal, soit les deux à la fois. Si ces deux types d'éclairage ont la même fonction, ils ont en revanche des avantages et des inconvénients différents, pour cela chaque type est plus efficace dans certains espaces que dans d'autres.

- Dans notre cas d'étude, on s'intéresse au type d'éclairage latéral car :

-L'éclairage latéral est le type d'éclairage naturel le plus utilisé actuellement en Algérie notamment dans les salles de classe. Il satisfait simultanément à trois besoins fondamentaux en termes de confort, celui de la lumière, de la vue vers l'extérieure et de la ventilation.

- D'après (DELETRE, J.J., 2003) ce système optique est l'un des plus utilisés, notamment dans les constructions scolaires, pour des raisons pratiques mais aussi parce qu'il permet la vue vers l'extérieur.

-Les salles de classe de l'université de Laghouat, ont habituellement des fenêtres latérales, donc c'est la raison pour laquelle, il est nécessaire de connaître les exigences de l'éclairage latéral, son type et les modes d'influence des différents paramètres de ses types sur l'éclairement intérieur.

III.1. Eclairage latéral :

L'éclairage latéral caractérisé par l'usage de prises de jour en façade est associé, selon C. TERRIER et B. VANDEVYVER (C,TERRIER et B,VANVYVER., 1999), aux locaux de faible hauteur sous plafond : de 2,50 mètres à 3 mètres. Généralement, l'éclairage latéral joue plusieurs rôles tels que l'éclairage et l'occultation, la vue sur l'extérieur et la recherche d'intimité, la pénétration du soleil et la protection solaire, protection vis-à-vis du chaud, du froid, du bruit et enfin, l'étanchéité et la ventilation.

III.1.1. Exigences de l'éclairage latéral :

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

2- Vue sur l'extérieur : Les salles de classe ou les espaces éclairés en général, doivent comporter, à hauteur de vue, des baies transparentes donnant sur l'extérieur. Cette disposition est conseillée pour garantir un bien être psychologique des occupants. Il est

également nécessaire que, en l'absence de climatisation, les fenêtres puissent s'ouvrir afin d'assurer le renouvellement d'air.

2- Incidences par rapport à l'acoustique : Dans le cas de prises de jour latérales, le concepteur doit concilier, les contraintes acoustiques avec les exigences en matière d'éclairage naturel. Pour cela, l'étude acoustique du local doit être réalisée en fonction de sa disposition, des bruits et du type de vitrage choisi (The Chartered., 1987).

3- Incidences par rapport à la sécurité : Un autre critère à prendre en compte pour un dispositif d'éclairage latéral est celui de la sécurité. En effet, les vitrages doivent répondre à des critères de résistance aux chocs et au feu.

III.1.2. Types d'éclairage latéral :

III.1.2.1. Eclairage unilatéral

Il s'agit d'un éclairage fourni par une ou plusieurs ouvertures verticales disposées sur une même façade d'une orientation donnée. Cette disposition permet de réaliser des effets de relief et des harmonies de contrastes. L'inconvénient que présente ce type de système d'éclairage naturel est la possibilité d'ombres gênantes, dues aux allèges par exemple, surtout si les parois du local sont sombres. Mais le défaut majeur est que l'éclairage intérieur résultant est très peu uniforme, car il est fortement influencé par la profondeur du local. En effet, si l'intérieur est trop profond par rapport à la hauteur de l'ouverture au-dessus du plancher, l'éclairage sera insuffisant au fond du local car, d'après K. Robertson (K, ROBERTSON., 2003) une lumière du jour suffisante pénètre sur une distance d'une fois et demie la hauteur de l'ouverture au-dessus du plancher (Figure I.10), bien que cette distance puisse atteindre deux fois cette hauteur sous un ensoleillement direct.

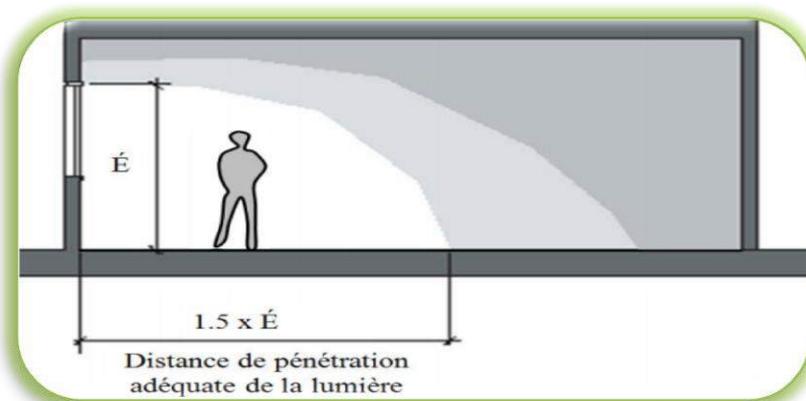


Figure I.10 : Pénétration approximative de la lumière naturelle. **Source :** K, ROBERTSON., 2003.

En effet, le défaut essentiel de ce type d'éclairage est l'abaissement du niveau d'éclairement au fond de l'espace (BAKER, N. STEEMERS et al., 2002).

Pour cela, il est recommandé que la profondeur des pièces éclairées unilatéralement par des fenêtres classiques à verre transparent soit limitée pratiquement à deux fois la hauteur du plafond au-dessus du plan utile (A, VANDENPLAS., 1964).



Figure I.11 : Fenêtres latérales dans les salles de classe de l'université de Laghouat. **Source :** Auteur.

Nous pouvons aussi utiliser des dispositifs de déviation de la lumière naturelle comme les bandeaux lumineux «Light shelf» (figure I.12), qui, grâce à leurs propriétés physiques, dirigent une partie de la lumière du jour vers le plafond du local qui va à son tour la diffuser vers le fond du local.

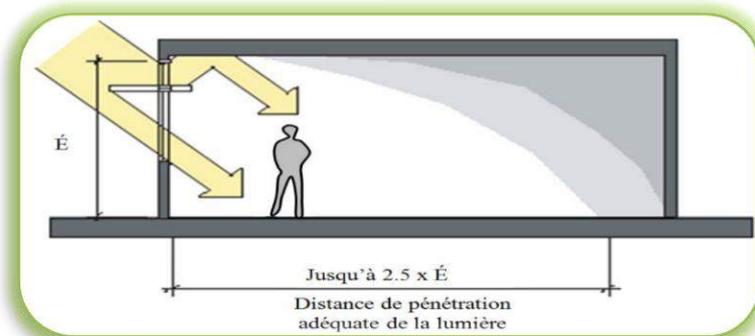


Figure I.12 : Pénétration approximative de la lumière naturelle avec l'usage d'un réflecteur «light-shelf». **Source :** ROBERTSON, K.2003.

Selon l'étude de (SCHILER, M., 1992) , la largeur idéale d'une aile d'un bâtiment disposant d'un éclairage unilatéral serait d'environ 13 mètres afin que ce dernier puisse jouir de bonnes conditions d'éclairage naturel. Mais pour augmenter la largeur totale de certains bâtiments éclairés unilatéralement.

III.1.2.2. Eclairage bilatéral :

Ce type d'éclairage consiste à avoir des ouvertures verticales sur deux murs, soit parallèles, soit perpendiculaires, d'un même local, voir la figure I.13.

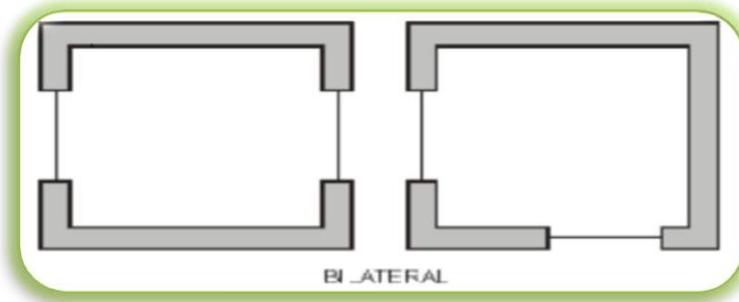


Figure I.13 : Dispositifs d'éclairage bilatéral. **Source :** I, PASINI, 2002.

Pour les salles de classes, où il est nécessaire de fournir au niveau du plan de travail un éclairage uniforme, un bon équilibre de luminance et un bon relief, l'éclairage bilatéral constitue la bonne solution. En effet, selon A. VANDENPLAS (VANDENPLAS, A.,1964), la profondeur des pièces éclairées par un dispositif bilatéral peut atteindre facilement quatre fois la distance entre le plafond et le plan utile. Ce qui permet d'éclairer efficacement un local de dimensions plus importantes que celles permises par un éclairage unilatéral. En plus, il procure un éclairage plus uniforme et réduit les contrastes ainsi que les risques d'éblouissement.

III.1.2.3. Eclairage multilatéral :

L'éclairage multilatéral présente de nombreux avantages, notamment:

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

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

III.2. Modes d'influence des différents paramètres de l'éclairage latéral:

La fenêtre est considérée parmi les plus complexes et coûteux éléments dans le bâtiment. Cette complexité est due au grand nombre de rôles contradictoires qu'elle doit jouer. L'orientation, la position, la forme et la taille des fenêtres ainsi que d'autres facteurs ont une grande influence sur la qualité de la lumière à l'intérieur de l'espace (http://www.ummtto.dz/IMG/pdf/ALILI_Sonia.pdf)

Dans le cas du ciel serein (comme le cas de notre zone d'étude), la conception des ouvertures devient complexe. La raison est que, à la différence du ciel obscurci, le ciel clair est beaucoup

plus variable et dynamique à travers le jour, le mois et l'année. A titre d'exemple, dans des conditions moyennes et des fenêtres verticales, les variations de l'éclairage naturel avec la surface vitrée d'une part et la position des fenêtres d'autre part, peuvent être changées en grande marge (O'Connor, J., 1997).

Dans ces conditions, l'influence de la lumière du soleil avec ses composantes est d'une importance critique, elle contribue au niveau d'éclairage naturel, tout en augmentant des gains solaires courant ascendant et provoquant des problèmes d'éblouissement.

La baie vitrée en façade est le moyen le plus simple et le plus répandu d'apporter de la lumière naturelle à l'intérieur d'un local. Cependant, une grande surface de vitrage sur une façade ne permet pas à elle seule de définir si l'éclairage naturel sera optimisé. En complément, il convient d'en paramétrer précisément (ICEB., 2014) :

- l'orientation et l'inclinaison.
- la position.
- la forme et les dimensions.
- les matériaux de transmission.

En effet dans notre cas d'étude l'objectif majeur est de déterminer l'effet l'orientation d'un système d'éclairage latéral, ce qui induit par conséquent a étudié de même l'effet de : la dimension, la position, et la forme sur le confort visuel des occupants.

III.2.1. L'influence de l'orientation de l'ouverture latérale:

Les recherches de groupe de travail ICEB (ICEB., 2014) montrent que la variabilité des répartitions de luminances sur la voûte céleste implique que l'orientation et l'inclinaison des ouvertures, d'une baie, à taille identique, auront un impact sur le flux de lumière naturelle qui la traverse.

Face à l'importance de concept '**Orientation**' dans notre recherche on verra développer les effets d'orientation dans le bâtiment en générale et notamment dans les salles de classe dans le chapitre qui suivre.

III.2.2. L'influence de la position de l'ouverture latérale:

L'emplacement de l'ouverture dans la façade exerce une grande influence sur la pénétration de la lumière dans le local. Plus la fenêtre n'est élevée, mieux le fond du local est éclairé.

Dans le cas d'un éclairage latéral, la performance lumineuse des ouvertures dépend essentiellement de leur position dans le mur. La figure I.14 montre la répartition de l'éclairage dans un local éclairé par une ouverture horizontale placée à trois hauteurs différentes. Elle montre que l'ouverture placée le plus haut possible apporte plus de lumière du jour qu'une fenêtre de même forme placée au niveau du plan utile, car la luminance du ciel croît de plus en plus de l'horizon au zénith, augmentant alors la composante directe du facteur de lumière du jour à l'intérieur du local.

En effet, il s'avère qu'en passant de la baie horizontale placée au niveau du plan utile (cas 1, figure I.14) à la baie horizontale placée le plus haut possible (cas 3, figure I.14), l'éclairage du fond croît de 50%. Par conséquent, dans les salles de classes où les utilisateurs sont répartis pour toute la profondeur, il est approprié de localiser les ouvertures en hauteur pour fournir une distribution de lumière plus égale.

Cependant, opter pour une baie horizontale haute n'est pas toujours possible pour des raisons de prospect, de vue sur l'extérieur mais aussi pour des raisons esthétiques. Il y a aussi création d'une zone d'ombre à proximité de la fenêtre d'autant plus importante que l'allège de l'ouverture est haute. Donc la position des ouvertures sur la façade aura un impact sur la répartition de la lumière naturelle dans le local qu'elles éclairent. Les impostes permettent à la lumière naturelle d'entrer plus en profondeur dans un local. En revanche, les ouvertures situées en dessous de la hauteur du plan utile auront peu d'impact sur la quantité de lumière qu'il recevra.

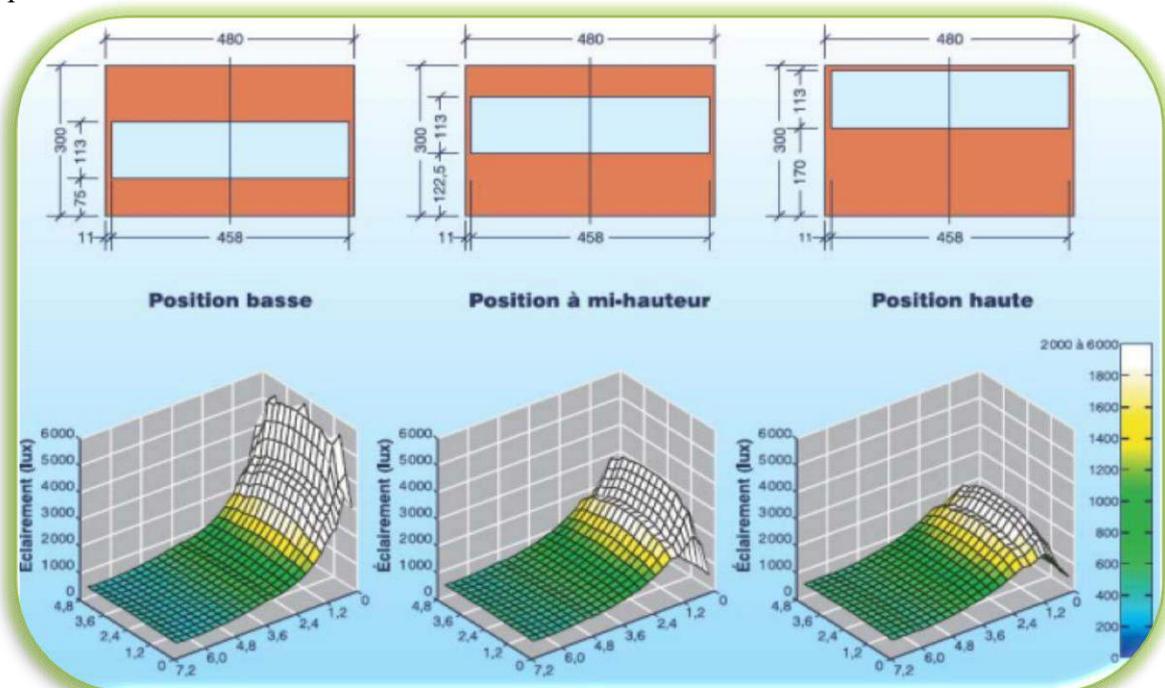


Figure I.14 : Performance lumineuse des ouvertures latérales en fonction de leur position, le 15 juin à 13 heures universelles sous un ciel clair. **Source :** DE HERDE, A. et LIEBARD, A. 2005.

III.2.3. L'influence de la forme de l'ouverture latérale:

La forme de la fenêtre (Bencheikh, A., 2007) est en relation directe avec les autres variables, notamment la dimension et l'orientation. Son impact sur le niveau d'éclairément est limité. Par contre elle peut influencer l'uniformité d'éclairément. A titre d'exemple, lorsque la largeur d'une fenêtre diminue, à surface identique, la répartition devient moins uniforme, bien que l'éclairément moyen ne varie que très peu.

Les fenêtres verticales fournissent une meilleure pénétration lorsqu'une partie de leur surface est située en haut sur le mur. Ce résultat est directement lié à la distribution des luminances du ciel : sachant que la luminance du ciel couvert CIE, par exemple, croît en allant de l'horizon au zénith, une ouverture ayant le maximum de surface exposée à la luminance la plus élevée du ciel offre un meilleur éclairage intérieur.

Toutefois, les fenêtres carrées créent un fort contraste entre l'ouverture et le mur par rapport aux ouvertures en bande horizontale qui offrent une meilleure distribution de la lumière et, souvent, une meilleure vue (ROBERTSON, K., 2003).

Dans les cinq cas exposés sur la figure I.15 les fenêtres ont une superficie vitrée totale identique et la même hauteur; leur allège est située au même niveau par rapport au sol. La moyenne des éclairéments varie peu, mais la répartition de la lumière dans la partie du local avoisinant les fenêtres est différente. Dans le cas de deux fenêtres séparées, une zone d'ombre apparaît entre celles-ci, ce qui peut créer des problèmes de confort visuel pour les occupants.

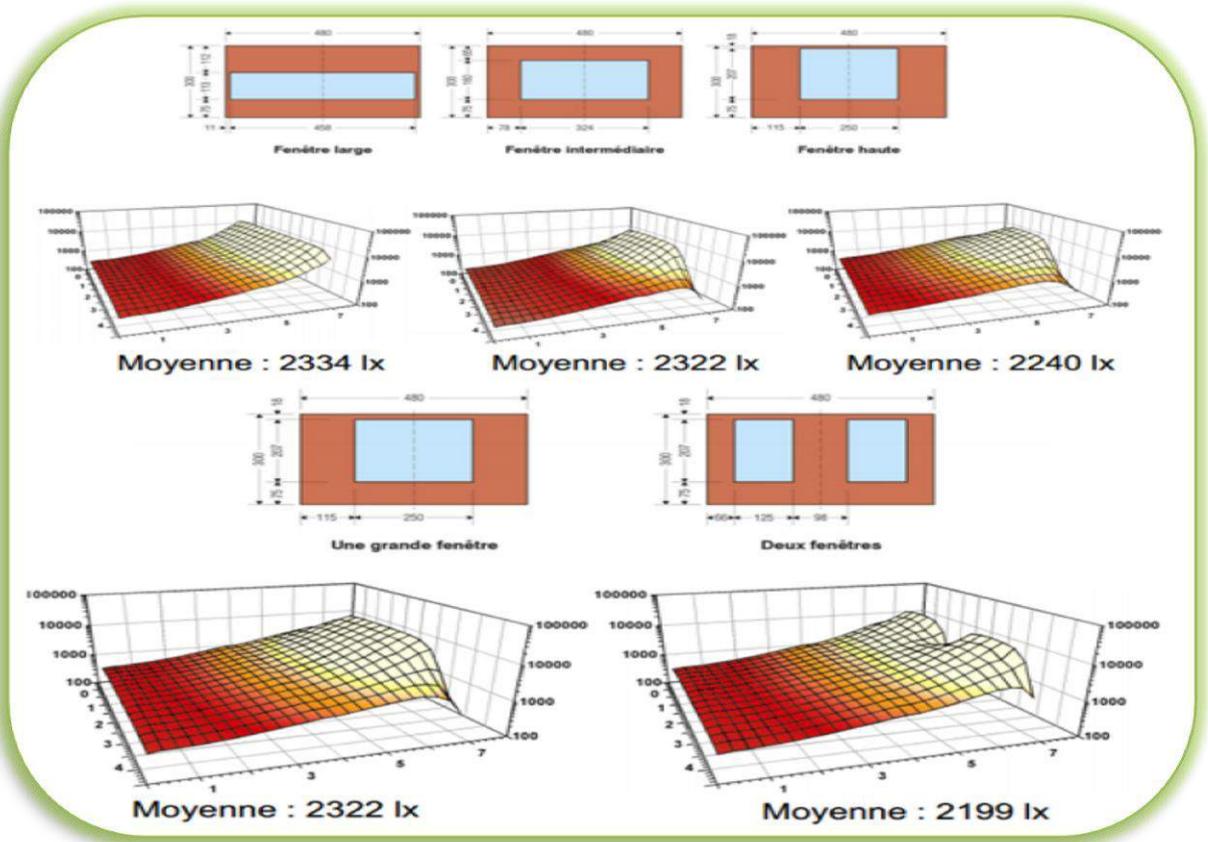


Figure I.15 : Influence de la forme de l'ouverture sur l'éclairage moyen.

Source : BODART, M., 2002.

III.2.4. L'influence du dimensionnement de l'ouverture latérale:

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

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

La taille des fenêtres d'un bâtiment, en général, est un élément déterminant de la quantité de lumière extérieure qui parvient à l'intérieur des locaux :

la figure I.16 montre trois modèles de base, où les pourcentages des surfaces des ouvertures sont en rapport avec les surfaces des planchers : 10% de S_{Plancher} , 15% de S_{Plancher} . Et 20% de S_{Plancher} .

Pour une orientation sud, le 15 Juin à 13 heures et ciel clair, les simulations montrent bien une réduction de l'éclairage moyen de la pièce proportionnellement à la diminution des surfaces vitrées

L'éclairage en fond du local vaut 200 lux, 400 lux et 600 lux pour les ouvertures de 10%, 15% et 20% (BODART, M. DE HERDE, A., 1999). Pour un vitrage ordinaire, les surfaces des fenêtres doivent être inférieures à 55% pour éviter la génération du phénomène de l'éblouissement.

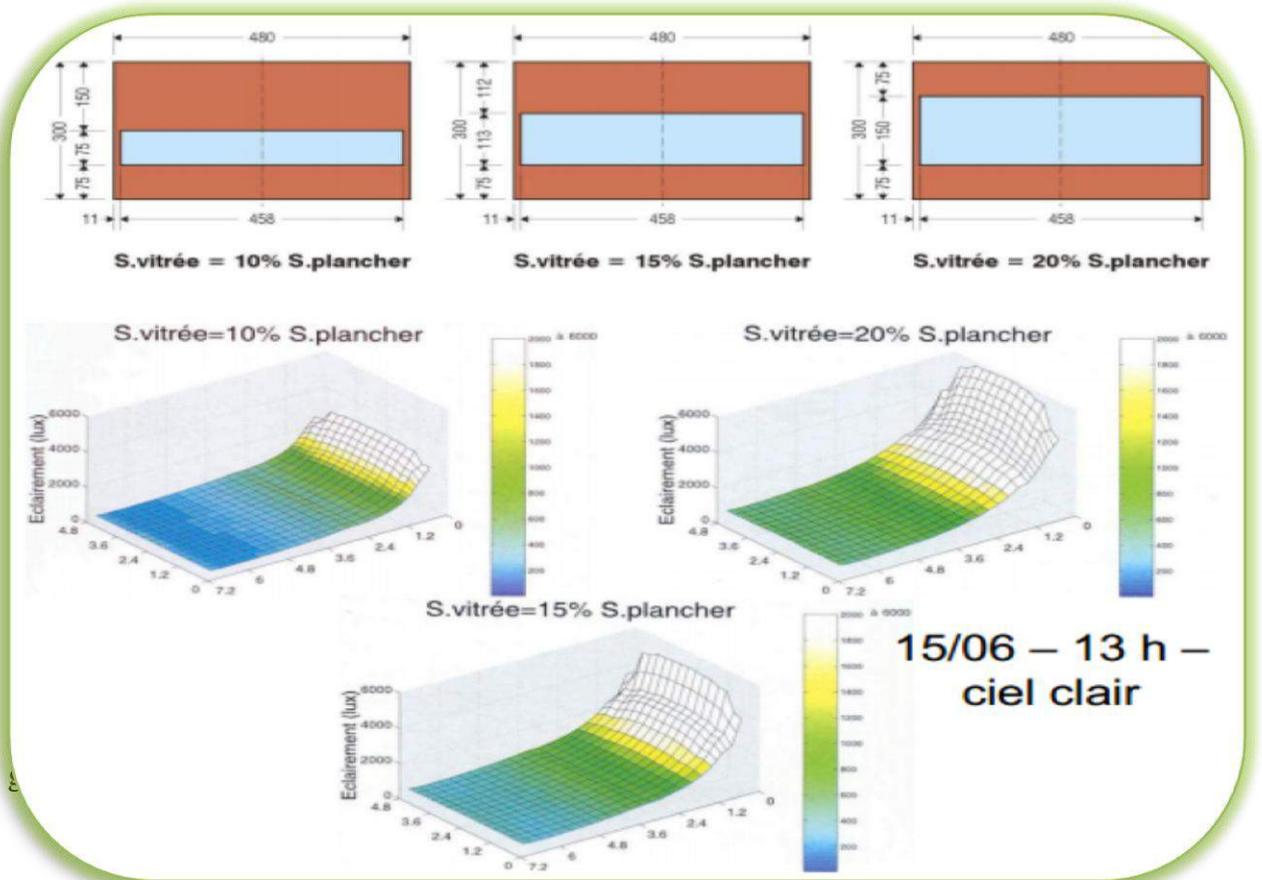


Figure I.16 : L'éclairage d'un espace relatif selon la taille de la fenêtre.

Source : BODART.M.,2002.

Pour le rapport fenêtre/mur en cas d'utilisation d'un vitrage ordinaire) (Margarita., 2004) CHRISTOFFERSON a constaté que les rapports très supérieurs à 25 % réduisent considérablement l'énergie nette pour des bâtiments. Mais que les rapports des fenêtres/mur autour de 25% ont permis à la lumière du jour d'être transmise en maintenant le potentiel pour des économies d'énergie globale plus grande dû à des charges d'éclairage réduite.

Donc la taille et la forme d'ouverture optimisées peuvent augmenter la qualité de l'éclairage naturel en limitant les effets de contrastes et les zones d'ombres. On préférera :

- Une fenêtre large à la place de plusieurs petites fenêtres étroites afin de limiter une succession de contrastes forts.

• A surface vitrée égale, on choisira une forme de baie et une position sur le mur qui offre, dans la mesure du possible, une vue sur l'extérieur, le paysage et le ciel. De plus, les baies de grande dimension auront une proportion de cadre moins importante, ce qui limite les déperditions thermiques et augmente l'apport de lumière naturelle.

III.2.5. L'influence de la profondeur de local :

Autres alternatives pour vérifier l'uniformité de l'éclairage naturel dans un espace, la profondeur de la salle ne doit pas dépasser le double de la hauteur du sol au linteau de la fenêtre. C'est ce qu'on appelle la règle du pouce (Saffidine, D., 2006).

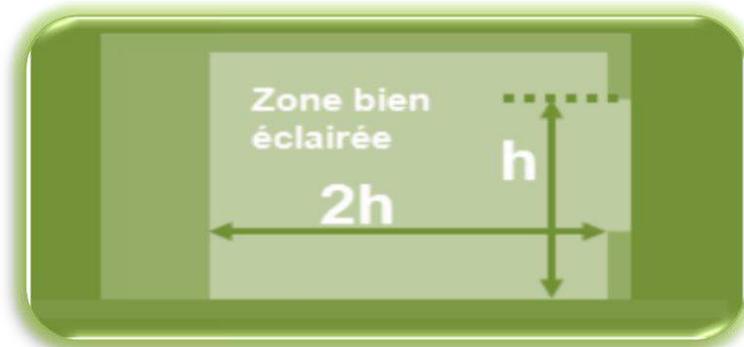


Figure I.17 : La règle de pouce. Source : Saffidine, D., 2006.

Si la profondeur de la salle classe est trop profonde par rapport à la hauteur de l'ouverture au-dessous du plancher, l'éclairage sera insuffisant au fond de l'espace car, d'après ROBERTSON (Robertson, K., 2003) une lumière du jour suffisante pénètre sur une distance d'une fois et demi la hauteur de l'ouverture au-dessus du plancher, bien que cette distance peut atteindre deux fois cette hauteur sous un ensoleillement direct.

L'indice de profondeur I_p est l'un des caractéristiques d'un local à éclairage unilatéral, il est défini comme (Moniteur., 2007) le ratio entre la profondeur du local et la hauteur sous linteau au-dessus de la surface utile.

- si $I_p < 2$ et $I_c > 1/6$ alors le local est très clair.
- si $2 < I_p < 3$ et $I_c > 1/6$ alors le local n'est pas très clair mais il est toujours dans la classe des locaux suffisamment éclairés. L'éclairage n'est pas uniforme. Le fond du local est peu clair à cause de la profondeur.
- si $I_p > 3$ quel que soit I_c , alors le fond du local est sombre.
- si $1/10 < I_c < 1/6$ alors le local est peu clair mais $I_p < 2$ évitera un fond très sombre, l'éclairage sera plutôt uniforme. En revanche si $I_p > 2$ alors le local n'est pas suffisamment éclairé. Sachant que : I_c l'indice de vitrage corrigé est le rapport entre la surface du vitrage sur la surface du sol corrigé par le facteur de transmission du vitrage.

III.2.6. L'influence de l'obstruction extérieure :

Il est défini comme étant l'angle sous lequel l'obstacle extérieur est vu depuis le centre de la fenêtre, comme le montre la figure I.18, la valeur de l'angle d'obstruction joue un rôle important dans la disponibilité de l'éclairage naturel à l'intérieur d'un local. Si un local fait face à une obstruction qui ne dépasse pas 25° au-dessus de l'horizon alors le potentiel d'éclairage naturel du local sera favorable. Dans le cas contraire, il faudra évaluer avec attention l'impact de l'obstruction sur la qualité de l'éclairage naturel du local (Littlefair., 2002).

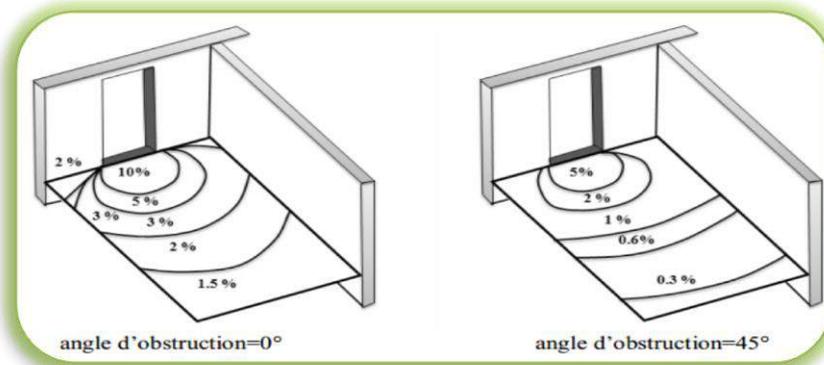


Figure I.18 : Performance lumineuse des ouvertures latérales en fonction de l'angle d'obstruction.
Source : IZARD J.L. 1994.

IV. La stratégie de l'éclairage naturel:

Capter la lumière naturelle :

en prenant en compte l'influence du type de ciel, du moment de l'année, de l'heure, de l'orientation et de l'inclinaison de l'ouverture ainsi que de l'environnement.

Transmettre la lumière naturelle : grâce à l'étude des caractéristiques des lanterneaux et façades translucides, des dimensions du local, et de son aménagement intérieur.



Source : DAICH, SAFA.,2011.

Distribuer la lumière naturelle :

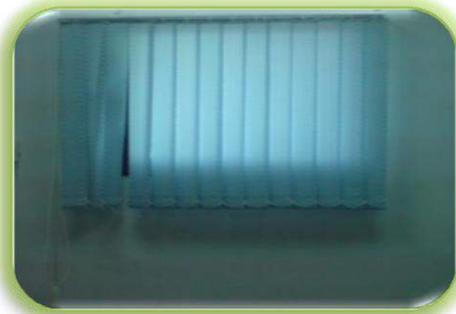
en jouant sur le type de distribution lumineuse, la répartition des ouvertures, l'agencement des parois intérieures, le matériau des surfaces du local, les zones et les systèmes de distribution lumineuse.



Source : DAICH, SAFA.,2011.

Protéger : de l'éblouissement, de la surchauffe par des vitrages protecteurs, diffusant, des protections fixes ou mobiles.

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



Source : DAICH, SAFA.,2011.

Tableau I.4: Stratégie de la lumière naturelle. Source : Suzel, B., 2007.

VI. Intégration de l'éclairage naturel à l'étape de la conception :

L'intensité et la distribution de l'éclairage naturel dans un espace dépendent principalement des trois facteurs suivants : la géométrie de l'espace, l'emplacement et l'orientation des fenêtres et des autres ouvertures et les caractéristiques des surfaces internes.

La conception d'éclairage naturel équilibre ces facteurs selon les besoins en éclairage des activités ayant lieu dans un espace, tout en tenant compte de l'intention esthétique de la conception. Certains usages requièrent des intensités et des distributions d'éclairage particulier.

Une mauvaise intégration des technologies d'éclairage naturel peut se solder par des désagréments et un mauvais éclairage. La dimension des surfaces de plancher, l'orientation, la taille et l'angle des fenêtres ainsi que les caractéristiques d'obscurcissement et de transmission de la vitre doivent tous être pris en compte. Pour maximiser les économies en termes de coûts et d'énergie, ces décisions doivent être prises en consultation avec le promoteur, l'occupant, les ingénieurs mécaniques, acoustiques et électriques, les architectes paysagistes, etc., le plus tôt possible dans le processus de conception. Une telle équipe interdisciplinaire est le plus apte à définir des objectifs d'éclairage naturel et à résoudre les problèmes d'éclairage à l'étape de la conception. Par exemple, l'objectif de conception pourrait être de maximiser les avantages de l'éclairage naturel d'un bâtiment tout en évitant les écueils mentionnés précédemment, qui sont de nature interdisciplinaire (ROBERTSON,K., 2003).

VII. Etat de l'art :

Au cours des dernières années, les scientifiques et chercheurs ont mené des études très approfondies concernant l'influence de la lumière sur nos organismes et les fonctions corporelles qui y sont liées. Dans le monde entier, des chercheurs ont pu, lors d'études en laboratoire, élargir leurs connaissances dans ce domaine grâce à de nouvelles découvertes. Notre exposition à la lumière et nos modes de vie personnels constituent des facteurs d'influence décisifs.

Face à l'importance de la lumière dans la vie quotidienne des étudiants et des enseignants, car dans les locaux d'enseignement, 65 % de l'information passent par la vision, les précédents efforts en recherche portant sur l'éclairage dans les salles de classe ont montrés l'impact de l'éclairage sur la performance visuelle des étudiants et des conditions causant l'inconfort visuel comme suivant :

En 2009, une étude universitaire menée à Hambourg, en Allemagne, a démontré que, grâce à l'éclairage dynamique mis en place, les élèves étaient plus attentifs et plus concentrés et qu'un effet apaisant positif avait été constaté. À l'inverse, une quantité insuffisante de lumière du jour, provoque une perturbation du " rythme circadien ", entraînant une baisse de performances des élèves, comme l'a démontré une étude nord-américaine (OSRAM. CTPNA,. 2011).

À la fin de l'année 2011, OSRAM et le CTPNA (Centre de transfert pour la neuroscience et l'enseignement) ont réalisé une étude dans deux écoles de la ville d'Ulm, en Allemagne. Cette étude elle a aussi mis en évidence les effets positifs d'un éclairage optimisé sur le plan biologique en termes de performances cognitives, la stabilisation simultanée du système circadien des élèves ayant également été constatée. (OSRAM. CTPNA,. 2011).

Une étude a été faite en Caroline du Nord pendant deux ans sur l'air de six écoles (les écoles ne reçoivent pas la même quantité d'éclairage) dont a révélé que les enfants qui ont été exposés à une grande quantité d'éclairage naturel ont devenu plus sains au fil du temps (ils avaient 9 fois moins la carie dentaire et ont grandi en hauteur en moyenne de 2,1 cm) et assistés l'école 3.2 à 3.8 jours de plus par an, au plus ils ont tendance à être plus attentifs et affichés des niveaux inférieurs de l'hyperactivité dans la classe. Car c'est dû à la vitamine D supplémentaire reçue par les étudiants (Healthy Schools Network, .2012).

En 2013 étude comparative a été fait entre les écoliers qui fréquentent l'école verte (d'une conception qui garantit un bon accès à la lumière du jour, la qualité de l'air intérieur élevée et une température confortable et celui qui fréquentent les écoles traditionnelles (qui utilisant l'électricité pour l'éclairage) montre que les élèves qui fréquentent l'école verte ont un taux de fréquentation et de rendement plus élevé que les élèves qui fréquentent les écoles traditionnelles (Impact of daylighting on student and teacher performanc.,20013)

Compte à notre étude qui vise à étudier l'impact d'orientation sur le confort visuel avec l'éclairage naturel latéral on note :

Une étude sur terrain de trois nouvelles écoles primaire a été mener par un équipe de conception interdisciplinaire étudiants et professeurs de l'éclairage naturel de WSU Spokane's Daylighting et Integrated Design Lab (WSU.IDL.,2014) pour but d'établir une étude comparative de l'impact d'orientation des salles de classe sur éclairage naturel. Les chercheurs ont utilisés des techniques multiples pour la collecte des données sur terrain, ou ils ont atteint les résultats suivants :

La variable, en partie condition de ciel produit différences qualitatives et quantitatives notables dans les salles de classe au nord et au sud.

- Les mesures d'éclairage révéler que la classe orientée vers le nord reçoivent 65% de la lumière qui reçoit une salle de classe orientée plein sud.
- Les salles de classe orientées Nord bénéficie d'une répartition plus homogène de la lumière tandis que les salles de classe plein sud souffrent de l'existence des taches solaire.
- Le ciel au nord, avec sa relativement faible luminosité, peut encore créer des conditions d'éblouissement dans les salles de classe.
- Les salles de classe au sud sont soumises à la pénétration directe des rayons solaire qui crée des taches solaire et de grandes fluctuations proportionnelles de la distribution de la lumière du jour, la création d'un environnement visuel potentiellement difficile.
- Les salles orientées vers le sud ont besoin d'intégration des light-shelves dont elle peut établir l'efficacité de la création d'une situation lumineuse qui se rapproche de la régularité du ciel nord.

Conclusion :

A travers ce chapitre nous avons présentés les notions de base qui définissent l'éclairage naturel d'une manière globale, ainsi quelques informations sur la lumière naturelle, ces grandeurs, ces valeurs ces sources.....etc.

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

L'éclairage latéral est caractérisé par l'usage de prises de jour en façade est associé, leur but est de situer l'entrée de la lumière du jour qui favorise l'éclairage naturel, la ventilation et l'ouverture vers l'extérieur. L'orientation, la position, les dimensions, la forme et enfin le type des dispositifs de contrôle solaire d'une ouverture sont les facteurs qui ont une grande influence sur la qualité de la lumière à l'intérieur de l'espace. Par conséquent, il appartient aux concepteurs de faire la corrélation entre ces différentes variables dès la première phase de la conception et de vérifier les résultats avec les méthodes de prédiction, afin de parvenir à un environnement lumineux durable et confortable pour les utilisateurs (étudiant, enseignants).

De nombreuses études démontrent que La lumière du jour a un effet positif sur notre bien-être physique et mental. Elle peut influencer positivement sur la capacité de concentration, l'efficacité des performances et la capacité d'apprentissage des étudiants.

Pour une salle de classe, il est nécessaire de préciser que le bon éclairage n'est pas simplement une question de bonne quantité de lumière, mais ne doit pas être cause d'éblouissement et doit venir d'une bonne direction.

Les notions de base relatives à l'éclairage naturel acquises, ceci constituera le point de départ de notre approche théorique du sujet au travers des chapitres qui vont suivre.

Introduction :

L'orientation est une variable importante qui affecte la performance d'un bâtiment. Dont aura des répercussions sur le chauffage, le refroidissement, l'éclairage, ainsi que le rapportant à l'environnement naturel en termes d'accès à la lumière naturelle, la ventilation et la vue. Les différences dans la consommation d'électricité annuelle entre les orientations sont entraînés par le gain solaire affecte le refroidissement et la lumière du jour touchant l'éclairage électrique.

Les études précédentes ont démontré que les effets de l'orientation sur le climat intérieur des pièces étaient déterminés par une combinaison de nombreux facteurs relatifs à la conception et la réalisation des bâtiments (GIVONI, B., 1978).

Le choix d'une orientation est soumis d'après GIVONI (GIVONI, B., 1978) à de nombreuses considérations, cependant la position de la façade par rapport au soleil et au vent affecte l'ambiance intérieure. L'objectif de ce chapitre est de déterminer les différents effets d'orientation dans le bâtiment en générale et spécifiquement dans les établissements universitaires.

L'architecture dispose d'un ensemble de solutions qui permettent d'atteindre cet objectif. Le choix des matériaux, la disposition des locaux, les percements, l'orientation et la modénature des façades, les fermetures et l'aménagement des espaces adjacent sont les points importants pour la réalisation d'un maintien naturel d'ambiances thermiques et visuelle intérieures confortable ou proche du confort.

I. Définition :

Le terme '**Orientation**' d'un bâtiment désigne habituellement la direction à laquelle la façade principale fait face (GIVONI, B., 1978) L'orientation d'une façade conditionne sa capacité à réagir aux conditions climatiques, non seulement au cours de la journée, en fonction de l'heure, mais aussi au cours de l'année, en fonction des saisons.

L'orientation se rapporte à l'angle d'azimut d'une surface à Nord vrai relatif. La direction générale dans laquelle une surface fait face. Tandis que l'orientation réelle est habituellement donnée en degrés du nord (à partir de l'orientation nord), elles peuvent également être données en général des directions telles que (N) du Nord, (S) du Sud, (NE) du Nord Est ,(O) de L'Ouest.

L'orientation est la disposition d'un bâtiment ou d'un aménagement urbain par rapport aux éléments d'un site ou au point cardinal.

Le choix de l'orientation d'après GIVONI. B (GIVONI, B., 1978) est soumis à de nombreuses considérations, telles que :

- La vue.
- La position par rapport aux voies.
- La topographie du site.
- La position des sources des nuisances et la nature du climat.

I.1. Classe d'orientations :

Dans le climat méditerranéen, où le soleil est souvent présent dans le ciel, c'est l'orientation qui définit la quantité d'énergie solaire incidente sur une paroi verticale, et cette quantité d'énergie est la principale cause de l'exigence de protection solaire (groupe ABC., <http://www.marseille.archi.fr/~abc/Textes/ProtecSolWeb>). Selon une étude menée par le groupe ABC de Marseille et à partir des deux critères:

- Quantité d'énergie solaire incidente sur la paroi.
- Concomitance des moments où l'énergie incidente et la température d'air sont maximales.

Il est possible de répartir les orientations sur un cercle en quatre classes: NORD, EST, SUD et OUEST, comme la montre la figure II.1 :

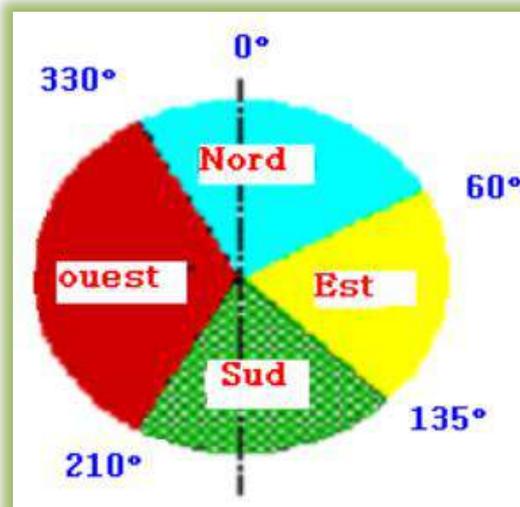


Figure II.1 : Classes d'orientations pour le climat méditerranéen en été.

Source : groupe ABC, <http://www.marseille.archi.fr/~abc/Textes/ProtecSolWeb>.

A partir de la direction du Nord géographique est appelée azimuth, La direction du Nord à l'azimut zéro ou 380°. L'azimut du soleil est mesuré par l'angle que fait la projection de sa direction sur le plan horizontal.

D'après les normes du CSTB (CSTB., 1986) (Figure II.2) on peut distinguer trois orientations principales : Est-sud, Ouest et Nord.

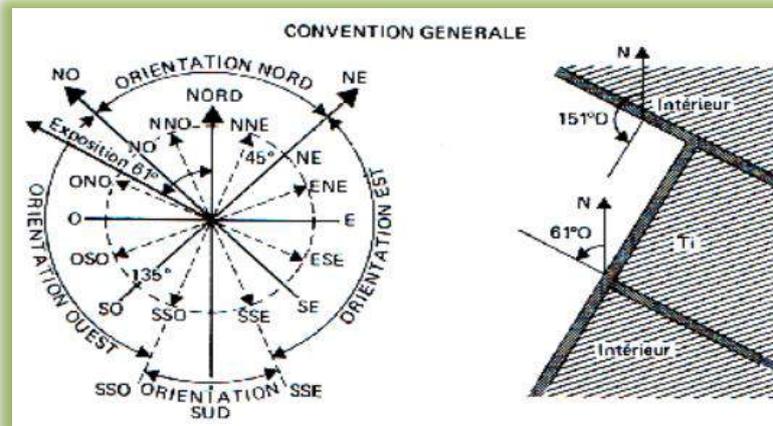


Figure II.2 : Convention générale d'orientation. Source : CSTB, 1986.

I.2. Orientation d'une paroi verticale :

L'azimut de la paroi verticale suivant l'orientation est déterminée suivant le tableau II.1, l'azimut égale à 0° pour l'orientation Sud, elle est négative à l'Est et positif à l'ouest

Orientation	Azimut (degrés)	Orientation	Azimut (degrés)	Orientation	Azimut (degrés)
N	-180	N	180	SE	-45
NNE	-157.5	NNO	157.5	SO	45
NE	-135	NO	135	SSE	-22.5
ENE	-112.5	ONO	112.5	SSO	22.5
E	-90	O	90	S	0
ESE	-65.5	OSO	65.5	S	0

Tableau II.1 : Azimut de la paroi verticale suivant l'orientation. Source : G.R.P.A.C.A., 1988.

I.3. La forme et l'orientation :

Dans son livre design with climate, OLGAY (V, OLGAY., 1967), décrit une approche air soleil en rapport avec l'orientation dans laquelle une différence autant de 3°C dans température de l'air dans un bâtiment entre la plus mauvaise et meilleure orientation. L'allure générale d'un bâtiment, doit être pensé de manière à faciliter la pénétration du rayonnement solaire à l'intérieur de la construction pendant l'hiver et l'éviter pendant l'été. Une forme optimale est, donc celle qui perd le minimum de chaleur pendant la saison de chauffe et en gagnant le minimum pendant la saison de surchauffe.

Les recommandations énoncées par OLGAY (OLGAY, V., 1967), dans son livre « design with climat » et qui résume les trois principes suivants :

- Le carré n'est pas la forme optimale quelle que soit la localisation de la construction.

- Toutes les formes allongées dans la direction Nord-sud sont moins efficaces que la forme carrée, aussi bien en hiver qu'en été.
- Il existe une forme optimale générale donnant les meilleurs résultats dans chaque cas, et pour tous les climats, c'est la forme allongée dans la direction Est-Ouest.

1.4. Orientation et accès du soleil :

La quantité de rayonnement indirect tombant sur une surface est presque indépendante de l'orientation extérieure tandis que le rayonnement direct (Figure II.3) dépend fortement de l'orientation (www.squ1.com).

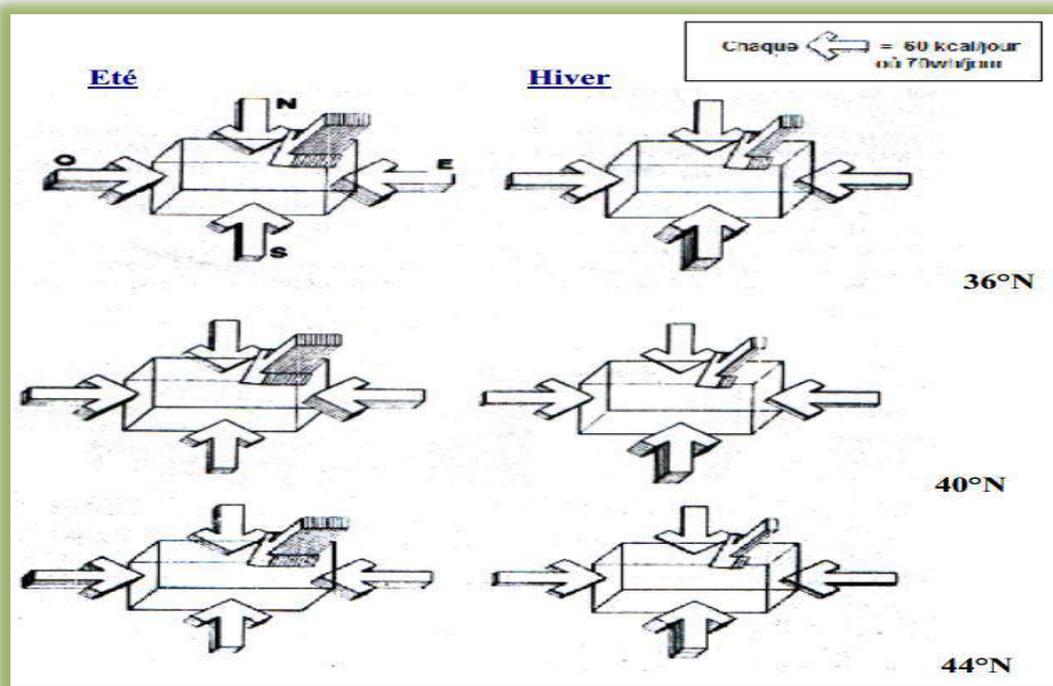


Figure II.3 : Intensité du rayonnement solaire sous différentes latitudes. **Source :** MAZRIA, E., 1981.

MAZRIA (MAZRIA, E., 1981) a déduit que :

- Les intensités du rayonnement solaire reçu sur chaque paroi de la construction qui concrétise les conclusions D'OLGYAY,V (OLGYAY,V.,1967) ; ou la construction qui s'étirant le long d'un axe Est-ouest exposera sa plus grande façade au sud, face aux apports thermiques maximum pendant les mois d'hiver et ses façades les plus réduites Est et Ouest aux apports solaires maximums en été, lorsque la chaleur n'est pas souhaitée pour toutes les latitudes tempérées de l'hémisphère Nord (32° à 56°).
- La façade sud d'un bâtiment reçoit en hiver, près de trois fois plus le soleil que les façades Est et Ouest.

- Ces proportions s'inversent en été, et la façade sud reçoit alors beaucoup moins de soleil que les façades, Est et Ouest ainsi que la toiture.
- La façade Nord, reçoit très peu de rayonnement qu'elle que soit la saison. Pour cela, l'exposition sud est donc idéale pour l'hémisphère Nord.

II. Effet de l'orientation des façades par rapport au soleil :

II.1. Effet de l'orientation sur les températures de surfaces extérieure :

La température de la surface externe d'après GIVONI (GIVONI, B, 1978) a des grands effets sur :

- les conditions thermiques intérieures.
- la dilatation et la contraction de l'élément de la construction.

La température de la surface extérieure dépend de :

1. La température de l'air ambiant. « Indépendant de l'orientation »
2. L'incidence du rayonnement solaire.

II.2. Orientation, couleur et matériaux :

Parmi les parois verticales, ce sont les parois Est et Ouest qui reçoivent les ensoleillements les plus importants en été.

D'après l'étude de GIVONI (GIVONI, B., 1978) l'impact de la couleur sur les températures de surface, où la couleur claire est meilleure quelle que soit l'orientation. Par contre pour une couleur grise, on remarque une différence de températures suivant l'orientation.

Une différence de 23° dans les surfaces peintes en gris sous diverses orientations, tandis que pour les murs peints en blanc la différence était inférieure de l'ordre de 3°.

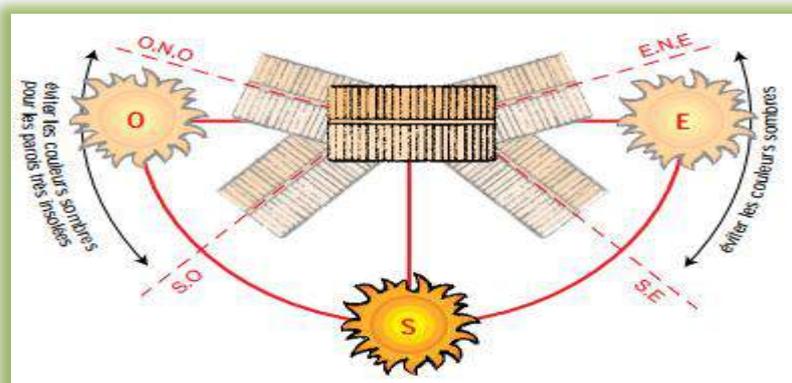


Figure II.4 : L'orientation et la couleur. **Source :** Denis, J. Thierry, C. Olivier, R., 2013.

II.3. Effets de l'orientation sur les températures intérieures :

Les températures suivent le régime de l'air extérieur et offre peu de variation avec l'orientation dans le cas d'une surface de faible absorption. Et les températures surfaciques intérieures pour les différentes orientations sont à peu près les mêmes veulent dire indépendante de l'orientation.

L'influence de l'orientation sur les températures externe affecte le flux de chaleur à travers le mur, et les températures de surface interne. (GIVONI, B.,1978) constate que lorsque la couleur est grise, la différence de température entre murs d'orientations et d'épaisseur différente était plus marquée pour les murs minces (de 10cm) avec un écart de 4.5°C, l'augmentation de l'épaisseur modérait sensiblement ces variations de températures ou l'intervalle des températures était de 2.5°C.

II.4. Effet de l'orientation des façades par rapport au vent :

La direction du vent à un impact direct sur les conditions d'ambiance intérieure, et la position de la façade joue un rôle important pour le refroidissement et la ventilation interne. La position des façades et des ouvertures par rapport aux vents dominant n'est pas indifférente ; distinguer entre les vents forts et les brises ; Les premières constituent une nuisance la seconde peut contribuer à la ventilation naturelle d'été. Les orientations peuvent donc être choisies suivant le besoin climatique de la région. Les parois exposées au vent porteur de pluie doivent être spécialement protégées, tandis que celles exposées aux brises peuvent être plus largement ouvertes (Izard,J,L et Guyot,A., 1979).

II.5. les effets de l'orientation sur les conditions d'ensoleillement :

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

Par contre, les locaux éclairés par des ouvertures orientées au Nord bénéficient toute l'année d'une lumière uniforme et du rayonnement solaire diffus. Pendant l'été, ils peuvent être exposés à l'éblouissement, difficile à contrôler car le soleil est bas au coucher et au lever. Toutefois, il est judicieux de placer des ouvertures vers le nord lorsque le local nécessite une lumière homogène, peu variable ou diffuse, ce qui est préférable pour certaines activités comme un atelier de dessin, par exemple.

Sinon, quand les locaux sont éclairés par des ouvertures orientées vers l'Est, ils profitent du soleil le matin mais le rayonnement solaire est alors difficile à maîtriser car les rayons sont bas sur l'horizon. Dans ce cas précis, l'exposition solaire y est faible en hiver mais elle permet d'apporter des gains solaires au moment où le bâtiment en a le plus besoin. Par contre, en été, l'orientation Est présente une exposition solaire supérieure à l'orientation Sud, ce qui est peu intéressant.

Enfin, une ouverture latérale orientée Ouest, assure une insolation directe en soirée.

III. L'effet d'orientation sur la conception d'un bâtiment :

Une bonne stratégie de conception pour répondre à l'orientation du bâtiment est à fenêtres pour admettre ou d'exclure solaire l'énergie fondée sur leur orientation. Généralement, les fenêtres orientées au sud devraient admettre hiver gain d'énergie solaire, et fenêtres orientale et occidentale face devraient exclure angle faible lumière du jour. Surplombs et ailettes peuvent être utilisés pour éviter l'éblouissement et les surchauffes. Tout vitrage doit être sélectionné pour l'ombrage et l'isolation appropriée qualités.

Une autre stratégie qui répond à l'orientation est de fournir des espaces profonds sur le côté nord et espaces plus profonds sur le côté sud pour accueillir les différentes profondeurs de pénétration de la lumière du jour.

L'organisation spatiale d'un bâtiment devrait toujours être pensée en fonction du moment d'occupation des locaux, de l'activité qui s'y déroule et de la course du soleil.

En effet, en hiver, le soleil bas pénètre profondément dans le bâtiment, tandis qu'en été, la hauteur solaire est plus élevée et la pénétration du soleil est donc moins profonde.

En été, les apports solaires sur une surface verticale sont également nettement inférieurs au sud qu'à l'est ou à l'ouest car ils sont diminués par un facteur égal au cosinus de l'angle d'incidence (BODART, M. DE HERDE, A., 1999).

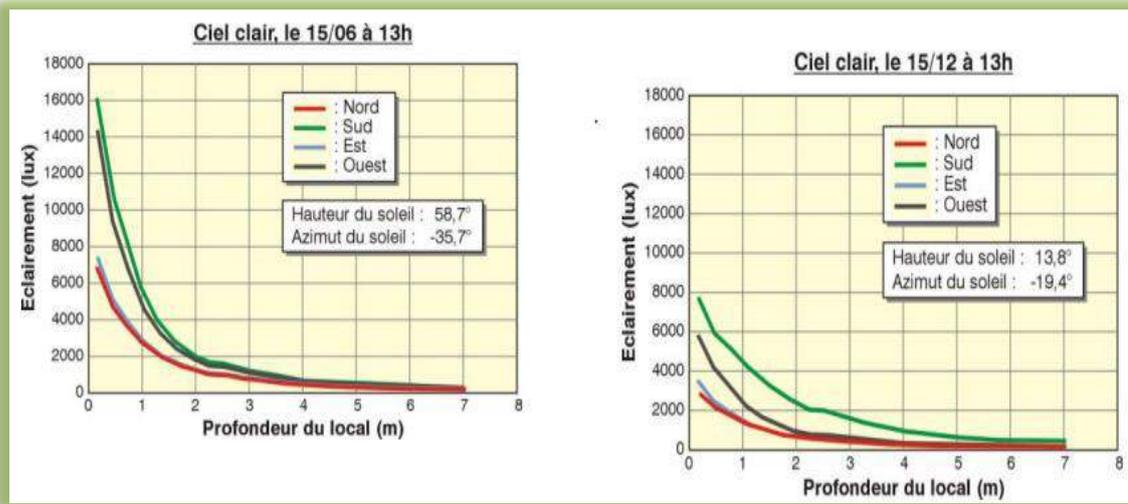


Figure II.5 : Influence de l'orientation de l'ouverture sur un ciel claire. **Source :** BODART,M. 2002.

L'étude de l'orientation d'un bâtiment est instructive si on la mené par rapport aux points cardinaux. L'enseignement classique de l'architecture solaire (ROBERTO,G et J, HABERMANN.,2006) précise que, l'orientation est-ouest conduit à des profondeurs importantes mais avec un gain solaire potentiel inférieur à celui d'une orientation sud. Le moindre ensoleillement est compense par une plus grande compacité et une minimisation des déperditions thermiques par transmission.

L'orientation au sud n'empêche donc pas la conception d'un bâtiment profond et compact. De plus, de petits écarts par rapport à l'orientation au sud apportent des variations subtiles sans diminuer de façon substantielle les apports solaires. En faisant pivoter l'orientation principale vers le sud-ouest, on pourra bénéficier du soleil pendant les soirées d'été. Cela joue en faveur du confort intérieur.

L'étude de l'orientation entraine souvent une confusion. Dans certains cas (bureaux, ateliers d'artiste, salle de classe) l'orientation au nord est même préférée en raison de la régularité de la répartition lumineuse, de l'absence de surchauffe ou d'éblouissement dus à un ensoleillement direct.

Pour l'examen de l'ensoleillement comme aspect de la qualité spatiale d'une pièce, un autre facteur entre en jeu: la position du soleil au cours de la journée. En hiver, le soleil se levé au sud-est, atteint son zénith (et donc son intensité maximale de rayonnement) vers midi, puis se couche au sud-ouest. Cela signifie que le rayonnement solaire atteint une façade est ou ouest avec un angle qui diminue de plus en plus à l'approche de midi et qui laisse donc pénétrer le soleil moins profondément dans la pièce. Lorsque cet angle est inférieur à 15°, le rayonnement solaire est renvoyé en grande partie par le vitrage. Plus on s'éloigne de midi,

plus l'angle d'incidence est important et plus bas est le soleil sur l'horizon. Les ombres portées de bâtiments parallèles augmenteront en conséquence.

III.1. L'effet d'orientation sur la conception d'une maison :

Évidemment, la répartition des pièces dépendra aussi de l'orientation de la maison. Les apports de lumière et d'air sont des éléments essentiels pour le confort.

Pour déterminer l'orientation idéale des pièces de votre maison, il est nécessaire de tenir compte de la course du soleil (<http://users.skynet.be/becasprl/Solairethermique.html>) :

- ▶ Les façades est sont ensoleillées le matin.
- ▶ Les façades ouest sont ensoleillées l'après-midi.
- ▶ Les façades sud sont ensoleillées que pendant les mois les plus froids de l'année (décembre-janvier).
- ▶ Les façades nord sont ensoleillées tout le reste de l'année, mais surtout en saison fraîche (juin-septembre) quand le soleil est plus bas.
- ▶ Les chambres : l'orientation sud/est reste la plus souvent plébiscitée. Elle permet aux chambres de bénéficier du soleil le matin, tout en restant fraîches le soir pour le coucher.
- ▶ Les pièces secondaires (buanderie, WC, salle de bains...) : une orientation plein ouest n'est pas gênante puisqu'elles ne nécessitent que peu de luminosité.
- ▶ Les pièces à vivre : d'une manière générale, il est conseillé de placer les pièces à vivre (salon, salle à manger, varangue, cuisine) sur la façade qui bénéficie d'une exposition plein nord. Vous pourrez ainsi tirer pleinement parti de la chaleur du soleil même durant la saison fraîche.

III.2. L'effet d'orientation sur l'éclairage dans le bâtiment :

L'orientation, en combinaison avec la zone de fenêtre et le type de verre, affecte également la quantité de lumière qui peut entrer dans un espace.

Dans la plupart des climats, une orientation sud est préférée en raison de la capacité de l'ombre du soleil d'été pour réduire le gain solaire indésirable tout en capturant la lumière du jour pour réduire la charge énergétique de l'éclairage. L'angle du soleil d'été est beaucoup plus élevé tandis que l'angle du soleil dans l'hiver est inférieure qui permet à la lumière et de la

chaleur d'entrer éventuellement l'espace. Stratégies lumière redirection, tels que des étagères lumineuses, fonctionnent bien sur la façade sud.

Les façades orientées Nord reçoivent une bonne ambiance et la lumière indirecte. Le gain de chaleur solaire, trop de lumière directe, et les problèmes d'éblouissement sont réduits au minimum. Dans les climats froids, possible perte de chaleur à travers l'unité de fenêtre doit être envisagée.

En raison de faibles angles solaires, l'éblouissement et l'augmentation de gain de chaleur solaire est plus difficile à contrôler sur les façades Est et Ouest (<http://www.commercialwindows.org/orientation.php>).

Afin de maximiser les avantages de l'éclairage naturel, les bâtiments peuvent être localisées et orientées pour profiter du soleil de mouvement toute la journée, ainsi que des variations saisonnières.

En règle générale, les bâtiments qui ont leur grand axe fonctionnant à l'est et l'ouest ont un meilleur potentiel d'éclairage. Cela crée le dilemme d'avoir la moitié des unités orientées au sud et la moitié des unités face au nord dans des immeubles avec un typique agencement à double-charge couloir. Cependant, la lumière diffuse d'une exposition au nord fournit toujours plus que suffisant pour répondre aux besoins éclairage d'éclairage intérieur (<https://www.cmhc-schl.gc.ca/en/inpr/bude/himu/coedar/upload/Daylighting-Guide-for-Buildings.pdf>).

Les bâtiments avec un axe nord-sud ont plus grand potentiel de surchauffe dans la saison de chauffe et obtenir peu d'avantage de gain de chaleur solaire en hiver. Tous les orientations ont un potentiel d'éclairage naturel, puisque le niveau d'éclairement moyen dans couvert ciel du 46° degré de latitude est de 7500 lux, 15 fois plus que nécessaire pour les tâches normales d'intérieur. (RNCAN : Guide de l'éclairage naturel pour les immeubles commerciaux canadiens., 2002).

Les recherches de groupe de travail ICEB (ICEB., 2014) montrent que la variabilité des répartitions de luminances sur la voûte céleste implique que l'orientation et l'inclinaison des ouvertures, d'une baie, à taille identique, auront un impact sur le flux de lumière naturelle qui la traverse.

La problématique de l'orientation ne peut pas se résumer à une quantité de lumière, il est important de noter que :

- la dynamique de la lumière naturelle (niveau d'éclairement et température de couleur) est plus faible au nord qu'au sud, ce qui peut être ressenti de façon différente selon les individus.
- l'éblouissement est plus facile à gérer au sud qu'à l'est et à l'ouest où le soleil est plus bas sur l'horizon, ce qui permet de conserver plus longtemps la vue sur l'extérieur,
- l'orientation nord simplifie la problématique de la gestion des protections dans les espaces partagés mais la faible pénétration de rayonnement solaire direct peut être perçue par certains individus comme frustrante.

Recommandations :

- Dans les bâtiments tertiaires, le contrôle et la gestion de la lumière naturelle et des apports solaires est plus facile au nord et au sud.
- Pour les orientations est et ouest, les ouvertures devront être impérativement équipées de protections solaires mobiles.
- Dans le cas d'apports internes importants (notamment par les équipements de bureautique), l'orientation nord devrait être favorisée car la lumière naturelle est plus stable donc plus facile à gérer et permet ainsi les meilleurs gains sur l'éclairage artificiel et un confort d'été avec utilisation minimisée de la climatisation (ICEB., 2014).

Il est important pour un bâtiment pour être conçu de telle sorte qu'il est intégré à la localisation et l'orientation site. Dans l'hémisphère nord, les propriétés suivantes peuvent être associées à la qualité de la lumière en fonction de l'emplacement et l'orientation d'un bâtiment. Pour l'hémisphère sud, substitut nord avec le sud et vice-versa pour les informations ci-dessous (E-light,2013, http://www.uncg.edu/iar/elight/learn/record/lc_sub/location.html).

Orientation sud: La qualité de l'éclairage: la lumière sur la façade sud est la plus abondante et relativement uniforme.

Note de conception: Ceci est la façade la plus souhaitable pour laisser passer la lumière, car l'excès de gain d'énergie solaire en été peut être contrôlé avec des surplombs. Dimensions de fenestration sur la façade sud, devraient être maximisées.

Orientation Nord: La qualité de l'éclairage: Lumière sur façade nord est moins abondante, mais plus uniforme et diffus.

Note de conception: Il est le deuxième plus souhaitable après la façade sud. Fenestrations adéquates sur la façade nord sont recommandées.

Orientation Est: La qualité de l'éclairage: la lumière sur la façade orientale est variable tout au long de la journée, en admettant que l'exposition au soleil une demi-journée. Pour cette raison, la conception de fenêtrage optimal sur la façade de l'est est plus difficile. La façade éprouve également des gains de chaleur estivale parfois indésirable, tout en offrant une faible contribution solaire passive en hiver.

Note de conception: les dimensions de la façade Est, ainsi que fenestrations sur la façade doivent être minimisées. Écrans verticaux peuvent aider à la lumière de commande.

Orientation Ouest: La qualité de l'éclairage: la lumière sur la façade occidentale est variable tout au long de la journée, en admettant que l'exposition au soleil une demi-journée. Pour cette raison, la conception de fenêtrage optimal sur la façade ouest est plus difficile. La façade ouest éprouve gains de chaleur plus grande d'été à des moments indésirables, tout en offrant une faible contribution solaire passive en hiver.

Note de conception: les dimensions de façade occidentale ainsi que fenestrations sur la façade doivent être minimisées. Écrans vertical aide peut contrôler la lumière.

IV. L'effet d'orientation sur les établissements universitaires :

Notre travail consiste à évaluer l'effet d'orientation sur les établissements universitaire avec l'éclairage naturel (vue de l'importance d'éclairage naturel dans ces locaux), pour atteindre notre objectif, on va présenter quelque notion qui concerne notre environnement de cas d'étude comme suivant :

IV.1. Définition :

Le mot université désigne une institution de haut savoir. Il renvoie aux mots univers et universel, venant eux-mêmes de deux mots latins, unus, un, et vertere, tourner. Le mot université signifie littéralement tourné vers l'unité. Il enferme à la fois l'idée de totalité et d'unité. L'université conforme à cette définition serait celle où l'on s'intéresserait à tous les savoirs avec le souci de les rattacher à un principe d'unité dont un établissement qui fédère en son sein la production, la conservation et la transmission de différents domaines de la connaissance (<http://agora.qc.ca/dossiers/Universite>).

Un campus se définit comme un ensemble immobilier qui comprend des établissements d'enseignement supérieur, des résidences universitaires et des services administratifs. Il se situe généralement à proximité des grandes villes. Il peut être arboré et décoré de sculptures (Poirrier., 2009).

Créée au Moyen-Âge, l'université désigne une institution ecclésiastique jouissant de privilèges royaux et chargée de l'enseignement des clercs de l'église. Du moyen âge au XIXème et XXème siècles, le développement industriel a élargi les perspectives d'emploi des professionnels qualifiés, provoquant une forte expansion des universités, surtout celles qui assurent des formations relatives aux sciences exactes et aux domaines industriels. (MARZOUGUI, A., HAMD, S., 2004). En Algérie les établissements universitaires sont pris en charge par le ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique.

IV.2. Le rôle des universités :

Le rôle principal de l'université est celui de la diffusion du savoir, car dans une économie capitaliste fondée sur la compétition et la concurrence, le savoir devient un enjeu stratégique. Ainsi, l'université se doit remplir pleinement son rôle comme catalyseur de développement surtout dans les régions. De même, le rôle de l'université ne constitue plus exclusivement à la transmission du savoir uniquement mais encore du savoir-faire nécessaire pour augmenter l'employabilité des nouveaux diplômés.

IV.3. Forme des campus universitaires:

Plusieurs typologies de la forme des campus peuvent être relevées. On se base ici sur le travail de Roger-Bruno (Roger, Bruno., 2007) où, il relève les types suivants :

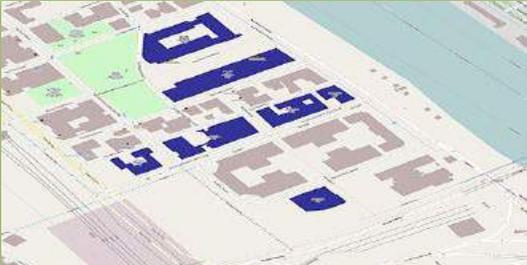
Campus	Forme de campus
	<p>Campus en bâtiments ponctuels insérés dans la trame urbaine : chaque bâtiment soit inséré individuellement dans le tissu. L'unité du foncier fait défaut dans ces types de formalisation. La notion de campus ici ne rentre pas dans le cadre formel. Exemple : Campus de l'UQAM (Canada).</p>
	<p>Campus avec bâtiments ponctuels : Ces campus semblent être les plus courants. Ils sont constitués de bâtiments ponctuels reliés par de l'espace ouvert. Celui-ci est constitué le plus souvent d'espaces verts ainsi qu'une grille d'accessibilité. Exemple : Université Paris Diderot.</p>
	<p>Campus intégrés linéaires : Ces campus se distinguent par le fait qu'ils ne sont pas constitués de plusieurs unités mais d'une seule structure organisée autour d'un axe structurant qui dessert l'ensemble des parties du campus. Exemple : Université Calabre, Consenza (Italie).</p>
	<p>Campus intégrés matriciels : Les campus matriciels sont constitués de plusieurs unités verticales et horizontales organisées en une maille reproductible selon une trame. Le schéma le plus courant est celui des formes en barres articulées entre eux par des formes en tours. Exemple : Campus de l'université polytechnique de Hong Kong.</p>

Tableau II.2 : Les formes des campus universitaires. Source : Roger, Bruno., 2007.

IV.4. Programmes de campus universitaire :

Le campus comprend un ensemble de bâtiments et d'espaces ouverts, reliés généralement par une trame d'accessibilité. Les programmes concernent généralement les bâtiments d'enseignement (les différents : salle de cours les blocs des départements) , les services administratifs, les bibliothèques, les résidences universitaires. Le tout est généralement développé dans un environnement ouvert de verdure.

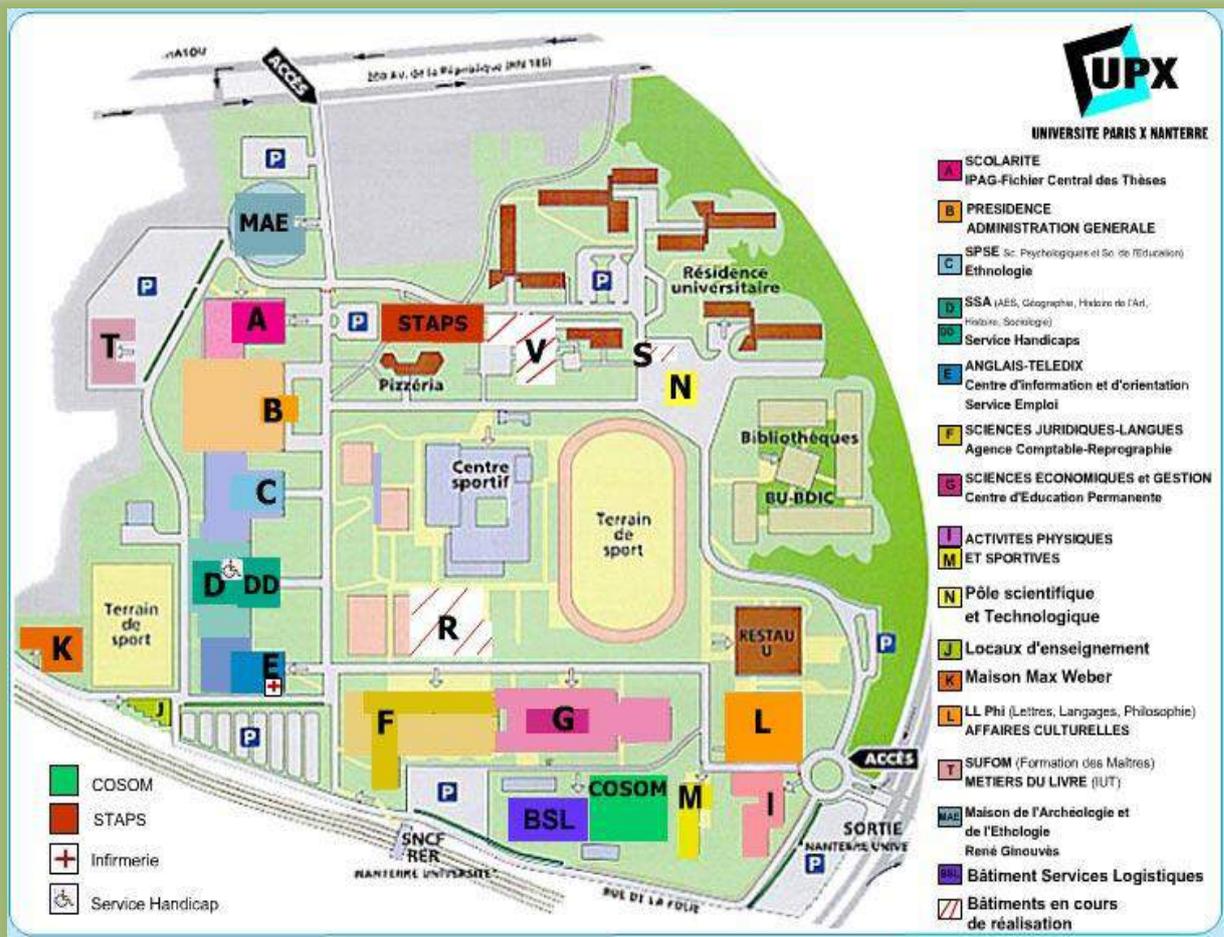


Figure II.6 : Plan type d'un campus universitaire. Source : www.mauriceblanchot.net.

IV.5. Types de salles de cours :

Le Service de soutien académique veille à optimiser la fréquentation et l'occupation des salles de cours institutionnelles. Les salles de cours ont différentes capacités d'accueil et se définissent en trois types : l'amphithéâtre, la salle de cours à gradins et la salle de cours polyvalente (<https://ssa.uqam.ca/salles-de-cours/types-de-salles-de-cours.html>).

Salle de cours	Type des salles de cours
	<p>L'amphithéâtre :</p> <p>est généralement une salle de grande capacité d'accueil. Ces salles sont toutes médiatisées et possèdent un mobilier fixe disposé sur un plan incliné semi-circulaire idéal pour les grands groupes-cours magistraux et les conférences.</p>
	<p>La salle de cours à gradins :</p> <p>Ces salles de cours possèdent un mobilier amovible et toutes sont médiatisées. Les gradins facilitent la vue sur le déroulement des activités à l'avant de la salle.</p>
	<p>La salle de classe (salle de cours polyvalente) :</p> <p>est d'une plus petite capacité d'accueil. La majorité des salles de classe sont médiatisées et toutes possèdent un mobilier amovible permettant différentes configurations selon la pédagogie et l'activité prévue au cours. Ce type de salle de cours présente un plancher sans niveau favorisant les déplacements des personnes.</p>

Tableau II.3 : Types de salles de cours.

Source : <https://ssa.uqam.ca/salles-de-cours/types-de-salles-de-cours.html>.

Notre recherche vise, à vérifier l'effet d'orientation d'un système d'éclairage naturel latéral sur le confort visuel des étudiants et enseignants dans les salles de cours, sous un climat chaud et aride.

En effet on a choisi pour les types des salles de cours : les salles de classe de l'université de Laghouat comme un terrain d'investigation, car elles sont éclairées par un système d'éclairage unilatérale similaire (les fenêtres ont les mêmes : dimensions et hauteur de mur de fenestration) et orientées sur quatre différentes orientations.

IV.6. L'effet d'orientation sur l'éclairage dans les salles de classe :

En général, l'orientation des locaux universitaires doit être choisie en fonction de certains critères notamment :

1. Le rayonnement solaire et ses effets : l'intérêt d'utiliser le rayonnement solaire pour chauffer le bâtiment ou, au contraire, la nécessité de s'en protéger pour éviter la surchauffe.
2. La ventilation en rapport avec la direction des vents dominants : l'existence de vents pouvant refroidir le bâtiment en hiver ou le rafraîchir en été.

Par conséquent, le choix de l'orientation d'un tel espace influe largement sur les autres caractéristiques de la fenêtre (surface, position et dispositif de contrôle solaire) (BAKER, N. STEEMERS, K., 2002).

En effet, pour la bonne gestion de lumière naturelle, le choix de l'orientation d'un édifice est en relation directe avec le type du climat. Cependant, les orientations Nord et Sud ont des avantages indépendamment du climat.

D'une manière récapitulative, dans l'hémisphère nord, la façade orientée nord bénéficie toute l'année d'une lumière égale et du rayonnement solaire diffus. Par ailleurs, l'orientation sud permet de fournir la lumière du jour sans gains solaires excessifs en été et un apport solaire en hiver, où le problème de l'éblouissement peut être supporté, quand les fenêtres peuvent être facilement protégées par de petits auvents, voir la figure II.7.

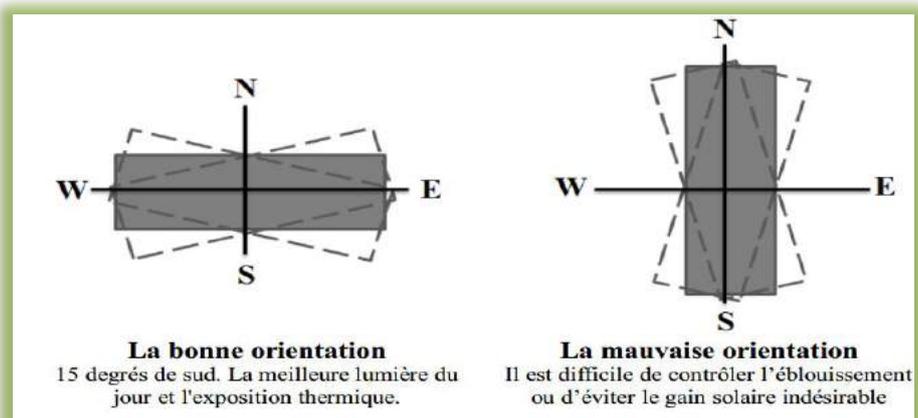


Figure II.7 : Critique des orientations du bâtiment scolaire typique.

Source : www.Daylightingclassroombuildings.com.

Les classes orientées au Nord bénéficient toute l'année d'une lumière égale et du rayonnement solaire diffus. Il est judicieux de placer des ouvertures vers le nord lorsque

le local nécessite une lumière homogène, peu variable ou diffuse, et lorsque les apports internes sont élevés.

Les classes orientées à l'est profitent du soleil le matin mais le rayonnement solaire est alors difficile à maîtriser car les rayons sont bas sur l'horizon. L'exposition solaire y est faible en hiver mais elle permet d'apporter des gains solaires au moment où le bâtiment en a le plus besoin. Par contre, en été, l'orientation est présente une exposition solaire supérieure à l'orientation sud, ce qui est peu intéressant.

Une orientation ouest présente un risque réel d'éblouissement et les gains solaires ont tendance à induire des surchauffes. Les vitrages tournés vers l'ouest apportent des gains solaires l'après-midi, au moment où le bâtiment est depuis longtemps en régime.

Une orientation sud entraîne un éclairage important. De plus, les classes orientées au sud bénéficient d'une lumière plus facile à contrôler.

Félix Narjoux a présenté en 2014 beaucoup des recherches sur l'éclairage dans les salles de classe, on cite quelque recherche qui concernant l'effet d'orientation sur l'éclairage dans les salles de classe : (<http://www.inrp.fr/edition-electronique/lodel/dictionnaire-ferdinand-buisson/document.php?id=2612>).

Dans son ouvrage sur la myopie, le Dr Colin, de Breslau, montre que le sud donne plus de lumière que le nord. L'éclat de la lumière dépend de l'orientation, un certain nombre d'élèves ne pouvaient pas lire le tableau d'essai dans une classe exposée au nord, ils s'acquittaient de cette tâche dans une autre salle ayant même hauteur de fenêtre et d'étage, à la même distance que la première des constructions voisines, mais recevant la lumière du côté sud.

Pour les nouvelles constructions, on devra préférer l'orientation du sud ou celle de l'est, car les rayons du soleil du matin réchaufferont la classe, et en été l'on pourra se garantir aisément de la chaleur et des rayons solaires, au moyen de stores de toile. On a quelques raisons de dire des fenêtres situées à l'ouest que l'étude de la journée ne se prolonge pas assez tard pour tirer de cette exposition un véritable avantage.

M. E. Trélat, directeur de l'Ecole spéciale d'architecture en France, déclare que l'étudiant doit rencontrer dans la salle d'études tout ce qui favorise le travail et commande l'application : le bien-être, le calme, le silence, l'absence de distractions. On doit donc y préparer une

lumière calme, fixe, sans violence et sans éclats ; les jours croisés de l'éclairage bilatéral, la lumière du midi, de l'est, de l'ouest ne peuvent assurer cet éclairage calme, plein et constant. La lumière qui vient du nord peut seule le donner, car seule elle a ces qualités. Cette partie du ciel ne donnant jamais de lumière violente, puisque le soleil n'y paraît pas, l'éclairage y est d'une grande égalité, parce qu'il n'est modifié que par la plus ou moins grande densité aqueuse de l'atmosphère. C'est par ces motifs que l'artiste éclaire son atelier d'un jour pris au nord , c'est ce qu'il faut faire pour l'école, aussi bien pour ménager la santé de l'œil que pour favoriser son éducation.

De savants spécialistes, les docteurs Liebreich, Gavarret, Gariel et Javal, ont montré que l'axe de la classe, dirigé du nord au sud, donnera des fenêtres à l'est et à l'ouest, système qui présente l'avantage d'éclairer au mieux pendant les courtes journées d'hiver. On pourrait même incliner l'axe plutôt vers le nord-est que vers le nord-ouest, pour recevoir le soleil plus longtemps le matin que le soir. Autant que possible, le maître fera face au midi pour qu'il reçoive, pendant les jours courts, la lumière plutôt par derrière que par devant.

Quant à l'orientation, celle du nord présente à nos yeux de graves inconvénients. Nous conseillons celle de l'est ou du nord-est. On profitera de la sorte, dès le matin, de l'action bienfaisante des rayons solaires ; ils contribueront sensiblement à échauffer la température de la classe. (<http://www.inrp.fr/edition-electronique/lodel/dictionnaire-ferdinand-buisson/document.php?id=2612>).

Enfin, pour les locaux scolaires (Journal Officiel du Grand-duché de Luxembourg, 1990), l'orientation des locaux scolaires doit être choisie en fonction de certains critères notamment : (voir la Figure II.8)

- de l'exploitation optimale de l'éclairage naturel,
- de la prévention des apports excessifs de chaleur et de lumière aveuglante,
- des types d'activités scolaires prévus.

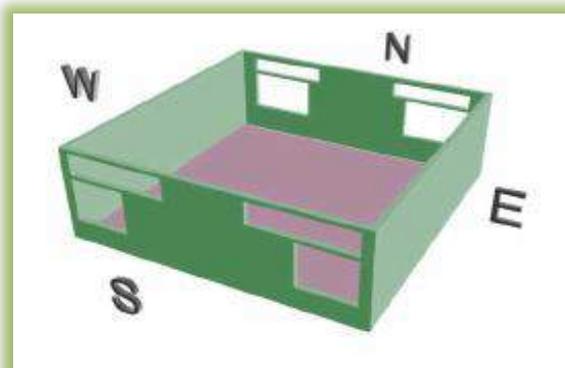


Figure II.8 : l'orientation conseillée pour une salle de classe typique.
Source : U.S. department of energy,
<http://www.rebuild.org>.

Conclusion :

A travers ce chapitre nous avons insisté sur l'essentiel des notions de base qui définissent l'orientation d'une manière globale, et les différents effets qu'elle engendre :

Le concept 'Orientation' est un élément plus important dans la conception d'un bâtiment. Le choix de l'orientation est soumis à de nombreuses considérations, ou elle a des effets sur les différents facteurs suivants : l'accès de soleil, les couleurs et matériaux, la température et les vents.... dont influence l'ambiance intérieure d'un bâtiment.

En ordre générale l'orientation affecte les apports solaires d'un bâtiment, ou une orientation Est et Ouest conduit à un gain solaire de potentiel inférieur à celui d'une orientation sud. Le moindre ensoleillement est compensé par une plus grande compacité et une minimisation des déperditions thermiques par transmission, tandis que une orientation sud admette en hiver un gain d'énergie solaire important.

L'orientation au nord est même préférée en raison de la régularité de la répartition lumineuse, de l'absence de surchauffe ou d'éblouissement dus à un ensoleillement direct.

En termes d'éclairage naturel, l'orientation influence la présence de la lumière naturelle à l'intérieur de bâtiment en fonction du mouvement de soleil au cours de la journée.

Face à l'importance effet d'orientation sur l'éclairage naturel dans les locaux universitaire, nous avons défini ainsi l'établissement universitaire par son : rôle, forme, programmes et les types des salles de cours dont on a choisi les salles de classe comme un cas de notre étude.

Les recherches antérieures montrent que l'orientation influence l'éclairage à l'intérieur des salles de classe à travers le mouvement de soleil le long de la journée, par conséquent influence le confort visuel des étudiants dont est le sujet de chapitre qui se suivra.

Introduction :

La lumière du soleil stimule les fonctions cognitives et la concentration. L'introduire dans un bâtiment universitaire où les étudiants passent le plus clair de leur temps -généralement la journée entière- dans une salle de classe permet pour eux de bénéficier de l'influence positive de la lumière naturelle sur les capacités d'apprentissage à travers un environnement visuel confortable.

En Algérie, plus de 8 millions de jeunes, représentant plus du quart de la population globale, sont sur les bancs d'écoles, collèges, lycées et universités (Conseil Supérieur de l'éducation.,1998) Ces jeunes étudient pendant au moins 9 ans, durant 8 mois de l'année, 5 jours par semaine et 8 heures par jour dans une salle de classe. Cette période de vie concerne des êtres en pleine évolution, il faut donc leur assurer des conditions de travail optimales dans un environnement confortable, favorisé notamment par un bon éclairage. Il faut savoir que les performances visuelles demandées à ces jeunes sont considérables : « le travail scolaire consiste à capter, à retenir et à assimiler une multitude d'informations, dont 70% sont visuelles et seulement 30% sont orales. » (AFE : Association Française de l'Eclairage).

Ce chapitre a pour but non seulement de démontrer l'impact de la lumière naturelle sur les performances intellectuelles des étudiants en milieu universitaire, mais également d'identifier les exigences d'un environnement visuel confortable dans les salles de classe. En bref, dans ce chapitre nous allons examiner et mentionner les besoins en éclairage des salles de classes et préciser les façons de répondre à leurs exigences.

I. Impact de la lumière naturelle dans les salles de classe :

Au vu des travaux effectués dans ce domaine, nous présentons quelques recherches qui nous ont servis pour améliorer notre compréhension de ce phénomène sachant que la plus part des recherches trouvées sont axées dans les salles de classe des écoles :

Depuis 1999, Les chercheurs sont orientés vers l'espace physique de la salle de classe. Ils furent les premiers à s'intéresser à la qualité du microclimat intérieur de la salle de classe, notamment à la qualité de la lumière naturelle. Ils se sont posé les questions suivantes :

Quel est le rapport entre la lumière naturelle et la performance scolaire ? Est-ce que l'intégration de l'éclairage naturel dans les salles de classes permettrait de résoudre une partie du problème des rendements scolaires? L'étude du groupe HESCHONG MAHON

(GROUPE HESCHONG MAHON., 1999), en 1999, a pour but de répondre à ces deux questions.

Une étude menée par KULLER et LINDSTEN (KULLER, R et LINDSTEN, C., 1992), en Suède, a évalué l'impact de la lumière du jour sur le comportement d'élèves en classe primaire. Ces deux chercheurs ont suivi le comportement, la santé et le niveau d'hormones de 88 élèves de huit ans, dans quatre salles de classes, au cours d'une année scolaire.

Les salles de classes étudiées avaient des conditions d'éclairage naturel et d'éclairage artificiel très différentes :

- Deux avaient de la lumière du jour. - Deux avaient des lampes fluorescentes très froides
- Deux n'en n'avaient pas. - Deux avaient des lampes fluorescentes blanches chaudes

L'étude a démontré une corrélation considérable entre la présence de la lumière du jour, les niveaux d'hormones et le comportement des élèves et ont conclu que les salles de classe sans fenêtres devraient être exclues.

De plus, d'autres chercheurs interpellés par ce sujet et notamment par la tendance de la conception des écoles sans fenêtres aux États-Unis, ont fait des recherches sur l'importance des ouvertures et de la lumière naturelle. Parmi eux, nous pouvons citer B. COLLINS qui a trouvé que des recherches qui avait été faites jusqu'en 1974 montraient l'importance des fenêtres, mais qu'elles n'étaient pas concluantes, Selon B. COLLINS, les partisans des fenêtres manquent encore de données comportementalistes à l'appui de leur conviction et argumentent sur la base de métaphores et de suppositions, alors que leurs arguments devraient s'appuyer sur des statistiques. Auparavant, elle a affirmé que les opposants aux écoles sans fenêtres puisent maintenant dans le besoin de communion avec la nature, de contact avec l'extérieur et dans la variation du stimulus qui est plus difficile à mesurer et dont l'importance n'est pas aisément apparente (HESCHONG L. WRIGHT R.L. AND OKURA, S.,2002).

Boyce (Boyce et al., 2003) a montré que :une table située près d'une fenêtre reçoit généralement cinq fois plus de lumière à partir de la lumière du jour comme il le ferait d'un éclairage électrique seul. Des niveaux élevés de la lumière seulement permettre une meilleure performance visuelle pour les tâches de lecture qui ont de faibles niveaux de contraste ou qui contiennent des petits détails proches du seuil de détectabilité.

Claude Gronfier (Claude, Gronfier., 2013) explique que la lumière naturelle n'agit pas seulement au niveau de la vision, mais aussi sur nos fonctions biologiques, ce sont les effets non-visuels de la lumière. Ceci apparait dans les recherches suivantes :

L'étude de Peter Barrett, Fay Daviesb, Yufan Zhangb et Lucinda Barrett, de l'université de Salford (Royaume Uni) (Publiée dans la revue *Building and Environment*), s'appuie sur les résultats de 3 766 écoliers venus de 27 écoles primaires et 153 salles de classe. Elle repose sur une méthode de régression autour de 7 paramètres : la lumière, la température, la qualité de l'air, le sentiment de propriété, la flexibilité, la complexité et la couleur. Au final, les chercheurs ont établi que l'impact de l'aspect de la salle de classe représentait un gain de 16% des progrès de l'élève.

Une étude, parue aux Etats-Unis en 2002, fait apparaître un lien direct entre éclairage naturel et performance scolaire. Selon les chercheurs, la lumière naturelle a plusieurs effets positifs sur les enfants en phase d'apprentissage :

- limite leur fatigue.
- stimule leur attention du fait de variation naturelle d'éclairage.
- favorise la représentation spatiale avec l'évolution des ombres au cours de la journée.
- joue un rôle apaisant du fait du rythme circadien naturel. (Claude, Gronfier., 2013).

François Duforez et le professeur Damien Léger ont confirmé que : pour l'apprentissage des élèves, l'idéal, évidemment, c'est la lumière du jour, la plus propice « au bon fonctionnement du cerveau », avec des salles de classe aux larges fenêtres... « On travaille mieux avec la lumière blanche du matin, plus riche énergétiquement, qu'avec la lumière du soir.....Elle améliore significativement les tâches cognitives d'apprentissage et le temps de réaction. » (Véronique, Maribon, Ferret.,2014).

Le rapport *A Business Case for Green Buildings in Canada* synthétise diverses études démontrant l'impact positif de la lumière naturelle sur la productivité et le bien-être. Il y est rapporté que, selon ces études, un bon éclairage naturel (niveaux d'éclairement satisfaisant et/ou vue plaisante sur l'extérieur) peut permettre d'améliorer la productivité et la performance de 10 à 25 %. Il a été également observé que l'éblouissement dû aux fenêtres peut diminuer la performance entre 15 et 21 %. Dans les écoles présentant des salles de classe à éclairage naturel soigné, il a été observé que les résultats aux tests étaient meilleurs de 5 %, le taux de présence des étudiants y était supérieur d'environ 3,5 jours par an et que, sur une

période de 2 ans, les problèmes dentaires des élèves étaient diminués et leur croissance améliorée grâce à l'apport de vitamine D (l'ICEB., 2014).

I.1. Taches visuelles dans les salles de classe :

d'après les recherches présentés, ci-dessus, nous pouvons affirmer que la lumière naturelle possède un intérêt dans la conception architecturale des espaces universitaire pour deux raisons visuel (Bénédicte, Collard. Fabrice, Dery., 2011) :

- La première est que la vision possède un rôle majeur à son acquisition d'informations, sachant que plus de 75% des informations que reçoit et traite le cerveau provient des yeux, en effet dans le cadre du travail universitaire, plus de 60% des informations sont d'origine visuelle.
- La seconde, que les occupants, qui sont souvent des étudiants, ont des aptitudes visuelles en évolution.

La vision dépend de la lumière qui rend les objets visibles. L'éclairage doit donc concevoir et assurer un environnement lumineux adapté aux exigences de la tâche et aux aptitudes visuelles de l'opérateur pour lui permettre de travailler dans des conditions de sécurité, de confort et d'efficacité.

D'une manière générale, L'enseignant, lorsqu'il réunit un formateur et des étudiants, 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.
- lecture de cartes ou de panneaux affichés.
- regard prolongé vers le professeur ou vers un autre étudiant.
- visualisation de diapositives (data chou).
- travail sur ordinateur regard prolongé vers le professeur ou vers un autre étudiant.

En Algérie, les méthodes d'enseignement et le programme pédagogique du cycle universitaire imposent aux étudiants d'exécuter certaines tâches universitaires quotidiennement comme la lecture sur des livres ou micro et la lecture du tableau ou des dessins à expliciter, seuls ou couplés à l'écriture sur les manuels.

Ces tâches représentent environ 2/3 de toutes les tâches universitaires. Celles restantes sont visuellement moins importantes, comme l'écoute du professeur, les travaux manuels, etc. Compte tenu de ces tâches spécifiques, nous constatons que le caractère principal de la tâche visuelle des étudiants dans les salles de classes consiste à alterner entre une vision rapprochée (écrire sur un cahier, par exemple) et une vision éloignée (observer le professeur, regarder le tableau par exemple).



Figure III.1 : taches visuelles dans les salles de classe de l'université de Laghouat. **Source :** Auteur.

Ce qui implique des changements d'accommodation et de convergence mais aussi des adaptations rapides. La compréhension de la relation entre la lumière naturelle et les propriétés des activités et des occupants constitue une étape incontournable pour garantir des performances optimales des espaces universitaires.

L'éclairage de ces derniers doit être adapté parfaitement à la tâche visuelle à accomplir ainsi qu'à l'âge de l'étudiant de façon à prendre en compte l'ensemble de ses facultés : visuelles, manuelles, musculaires et intellectuelles.



Figure III.2 : Vision au travail. **Source :** INRS, [http://www. Éclairage et vision.](http://www.Eclairage-et-vision.com)

II. Confort visuel dans les salles de classe :

II.1. Définition du « confort » :

Etymologiquement, le terme confort, tiré du mot anglais « comfort », fait allusion au « bien-être matériel résultant des commodités de ce dont on dispose » ou à « l'ensemble des éléments qui contribuent à la commodité matérielle et au bien-être » mais également au « sentiment de bien-être et de satisfaction » (Dictionnaire Encyclopédique Larousse). Ce mot désigne de manière générale les situations où les gestes et les positions du corps humains sont ressentis comme agréable ou non-désagréable (état de bien-être) ; où et quand le corps humain n'a pas d'effort à faire pour se sentir bien. Le confort est un sentiment de bien-être qui a une triple origine (physique, fonctionnelle et psychique) (WIKIPEDIA., <http://fr.wikipedia.org/wiki/Confort>).

De son côté, C.A. ROULET (ROULET, C.A., 1987) le définit comme étant « une sensation subjective fondée sur un ensemble de stimuli », c'est-à-dire des facteurs internes ou externes qui provoquent une réponse de l'organisme. Selon lui, le critère de confort correspond à la satisfaction des occupants.

II.2. Définition du « confort visuel » :

D'après le Syndicat de l'Éclairage de France, le confort visuel fait référence aux « conditions d'éclairage nécessaires pour accomplir une tâche visuelle déterminée sans entraîner de gêne pour l'œil » (SDL : www.syndicat-eclairage.com) On ne le prévoit pas pour couvrir la sensation esthétique du plaisir ou d'aversion de l'environnement.

Cependant, la notion de confort appliquée à la qualification des ambiances lumineuses se superpose presque intégralement avec la notion de confort visuel (AUDIENCE, www.audience.cerma.archi.fr/cerma/pageweb/theorie/eclairage).

En effet, les conditions de confort lumineux doivent d'abord être définies comme celles où il y a réception claire des messages visuels. Il est donc plus approprié de parler de confort visuel plutôt que de confort lumineux.

La description de la nature complexe de l'environnement visuel a été simplifiée par L. MUDRI (MUDRI, L., 2002) par la définition suivante : le terme de confort visuel est pris pour signifier l'absence de gêne qui pourrait provoquer une difficulté, une peine et une tension psychologique, quel que soit le degré de cette tension.

L'ensemble des définitions du «confort visuel » mentionnées ci-dessus, donne une idée sur la complexité de ce concept. Le confort visuel est donc la sensation subjective qui n'existe pas en elle-même.

De nombreux auteurs la définissent comme « un effet physiologique réversible qui résulterait de sollicitations excessives des muscles oculaires et de la rétine ». Cet inconfort visuel se produit en raison d'un éclairage insuffisant, de nécessités d'accommodation répétées ou contradictoires (tâches visuelles dans des plans très différents, contraste excessif, luminances très variées des fonds), ou d'éblouissements permanents.

L'exigence de confort visuel consiste très généralement d'une part à voir certains objets et certaines lumières (naturelles et artificielles) sans être ébloui, et d'autre part à avoir une ambiance lumineuse satisfaisante quantitativement en termes d'éclairage et d'équilibre des luminances, et qualitativement en termes de couleurs. Ceci afin de faciliter le travail, les activités diverses, dans un souci de qualité, de productivité, ou d'agrément, en évitant la fatigue et les problèmes de santé liés aux troubles visuels.

Utilisée à bon escient, la lumière naturelle a des effets positifs, physiologiquement et psychologiquement, et est recommandée par le Code du Travail. Afin de réaliser les conditions de confort visuel dans l'environnement intérieur des bâtiments, il convient d'assurer un éclairage naturel optimal en terme de confort afin de profiter au mieux de la lumière naturelle ; le maître d'ouvrage doit assurer un niveau d'éclairage suffisant pour les tâches visuelles à accomplir et limiter les risques d'éblouissement produits par le soleil (direct ou indirect)

Selon l'association HETZEL, J (HETZEL, J., 2003): les principes de mise en œuvre de concept de confort visuel sont les suivants :

- Disposer de la lumière du jour dans les zones d'occupation situées en fond de pièce.
- Rechercher un équilibre des luminances de l'environnement lumineux extérieur.
- Assurer une bonne uniformité de l'éclairage
- Éviter l'éblouissement direct et indirect.
- Faire appel à des revêtements clairs pour la décoration des locaux.
- Optimiser les parois vitrées, en termes de confort visuel, en traitant leur positionnement, dimensionnement et protection solaire.
- Accéder à des vues dégagées et agréables depuis les zones d'occupation des locaux.

- Et finalement, protéger l'intimité de certains locaux.

II.3. Paramètres du confort visuel dans les salles de classe :

Dans les espaces universitaires où la lecture et l'écriture sont les deux tâches visuelles principales, les paramètres du confort visuel (Bénédicte, Collard. Fabrice, Derny., 2011) les plus importants (Figure III.3) qui affectent une solution de conception architecturale dans les salles de classe sont :

- le niveau d'éclairage de la tâche visuelle.
- la répartition de la lumière dans l'espace.
- les rapports de luminance dans le local.
- l'absence d'ombres gênantes.
- la mise en valeur du relief et du modelé des objets.
- la vue vers l'extérieur.
- le rendu des couleurs.
- la teinte de la lumière.
- et finalement, l'absence d'éblouissement.

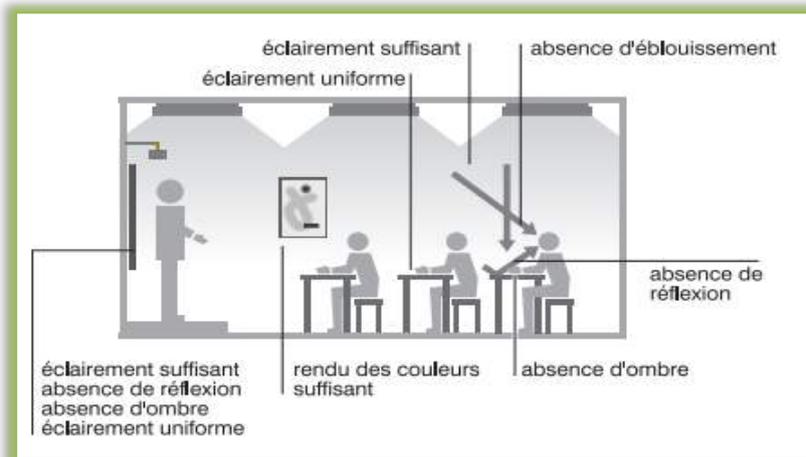


Figure III.3: Paramètres du confort visuel. **Source :** Bénédicte, Collard. Fabrice. Derny., 2011.

Il faut noter ici que la couleur de la lumière n'a pas d'effet direct ou préjudiciable sur l'exécution des tâches visuelles des étudiants et des enseignants, mais elle peut uniquement agrémenter l'ambiance lumineuse dans ces locaux (DE HERDE, A. LIEBARD, A., 2005).

Les pratiques de l'éclairagisme ont montré que satisfaire à toutes ces exigences à la fois dans un même espace peut s'avérer difficile à réaliser. Des priorités sont donc à définir en fonction de la tâche visuelle à accomplir dans cet espace. La figure III.4 résume ainsi ces exigences selon le type de la tâche visuelle à effectuer.



Figure III.4: Priorité des exigences du confort visuel en milieu scolaire.

Source : A, DE HERDE & al. [<http://www-energie.arch.ucl.ac.be>].

La performance visuelle est la précision et la rapidité d'exécution d'une tâche visuelle qui dépendent:

- des caractéristiques de l'objet (forme et dimensions du détail à distinguer),
- de l'environnement lumineux (contraste de luminance entre l'objet et le fond, niveau de luminance du fond).
- du temps utile pour voir.

Elle dépend au moins de trois facteurs : le niveau d'éclairage, la dimension de l'objet éclairé et l'inverse de sa distance par rapport à l'œil, et enfin le contraste de couleur et de luminance.

A titre d'exemple, après un accroissement rapide jusqu'au 100 lux, la performance continue de croître de façon lente jusqu'à des valeurs très élevées de luminance, avant de s'abaisser en raison de l'éblouissement perturbateur (DENOEUDE, B., 2003).

II.3.1. Facteur de l'âge :

L'acuité visuelle baisse d'environ 25 % entre 20 et 60 ans. Les personnes âgées ont besoin d'un niveau d'éclairage plus élevé, d'un contraste plus fort et d'une durée de présentation du stimulus plus longue. Un enfant âgé de 6 ans a des performances visuelles différentes de celles d'un adolescent de 15 ans, elles sont optimales vers 20 ans et se dégradent ensuite lentement, comme l'indique la figure III.5. Elles augmentent lorsque l'éclairage lumineux croît (Minier, F., 2001),

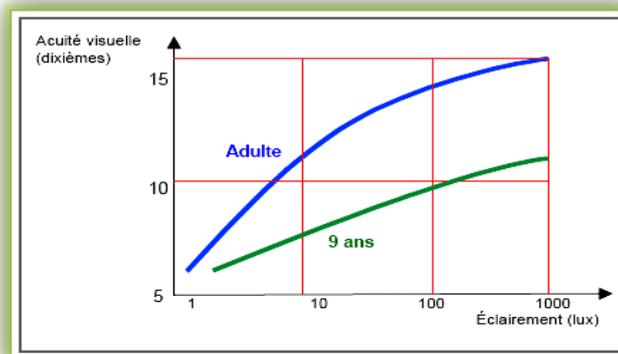


Figure III.5: L'acuité visuelle augmente quand l'éclairage croît, mais selon l'âge de l'individu.

Source : Minier, F., 2001.

Il faut noter également que la performance visuelle chez l'homme diminue au fur et à mesure que la difficulté de la tâche visuelle augmente, et cette dernière croît avec l'âge.

Les performances visuelles des étudiants (dont l'âge est supérieur à 18 ans) en milieu universitaire, où la difficulté des tâches visuelles ainsi que la durée du travail sont importantes (8 heures par jour en moyenne), peuvent être réduites à cause de la fatigue visuelle.

II.3.2. Niveau d'éclairage lumineux :

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

Selon l'Association Française de l'Eclairage (AFE., 1987), le choix de la valeur d'éclairage dans une salle de cours dépend de facteurs humains tels que l'âge des occupants et les anomalies de vision, de facteurs d'ambiance comme la couleur des parois du local et du mobilier, ainsi que de facteurs économiques tels que le coût de l'installation, les dépenses de fonctionnement et d'entretien..., en plus de la difficulté de la tâche visuelle.

Aux États-Unis, depuis les années soixante jusqu'aux années quatre-vingt-dix, le développement des normes et des recommandations du niveau d'éclairage dans les salles de classe est passé par plusieurs étapes. Ce développement a été suivi également par divers types d'écoles de dispositions variées, voir l'histogramme illustré dans la figure III.6 ci-dessous

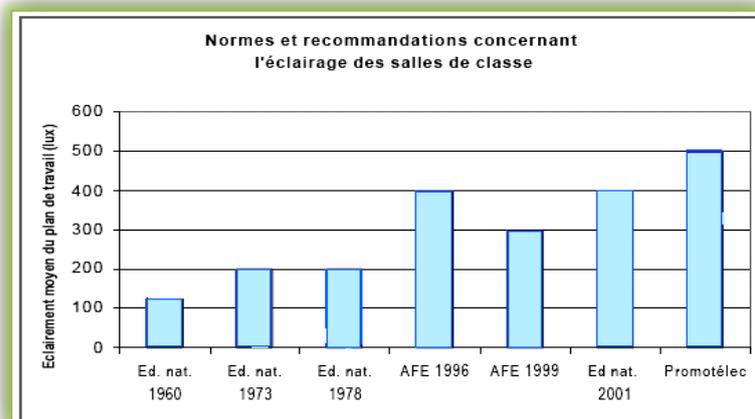


Figure III.6: Comparaison de diverses normes et recommandations en matière d'éclairage des salles de classes. **Source :** ENERTECH., 2001.

II.3.3. Uniformité de l'éclairage :

Selon la Norme Européenne EN 12464-1: «éclairage intérieur des lieux de travail», la répartition lumineuse ou l'uniformité des niveaux d'éclairage (exprimée par l'indice d'uniformité I_u) est définie comme étant « le rapport entre l'éclairage minimum (E_{\min}) et l'éclairage moyen (E_{moy}) observé dans la zone de travail ». (DE HERDE, A., LIEBARD, A., 2005) :

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

La zone de travail correspond à la zone où la tâche visuelle est exécutée. Dans les salles de cours, cette zone est représentée par la surface d'un bureau ou d'une table à une hauteur de 0.7 mètre, la surface d'un tableau vertical, En règle générale, pour obtenir un éclairage uniforme, l'éclairage maximum (E_{\max}) et l'éclairage minimum (E_{\min}) relevés dans un local ne doivent pas s'écarter de plus du 1/6 de l'éclairage moyen (E_{moy}) (DENOEUDE, B., 2003).

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

- entre support papier et plan de travail.

- entre plan de travail et murs.

Pour garantir l'uniformité de l'éclairage, lorsque l'éclairage de la zone où s'exerce la tâche visuelle est de 100 %, il convient que l'éclairage des murs soit de 50 à 80 % et celui du plafond de 30 à 90 %, car la luminance des parois internes doit être en équilibre avec la luminance de la tâche. Il convient également que le facteur de réflexion soit supérieur à 0,7 pour le plafond, entre 0,3 et 0,7 pour les murs, et entre 0,2 et 0,4 pour les sols (FLORU, R., 1996).

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

II.3.4. Les couleurs :

La couleur produit sur notre être un effet qui lui est propre, effet auquel la mémoire affective mêle confusément l'expérience que nous avons de cette couleur. Elle peut changer notre perception de l'espace qui nous entoure, de branchée et énergique à spacieuse ou confortable. Les comportements humains sont influencés par les réponses émotionnelles à l'environnement et la couleur est l'un des facteurs principaux de la perception de l'environnement. La couleur est un élément important des ambiances lumineuses (SDL : www.syndicat-eclairage.com).

pour locaux d'enseignement il est toujours préférable de favoriser les parois de couleur claire et mate, de manière à bien diffuser la lumière sans former de reflets brillants et à éviter un trop fort contraste avec les prises de jour et les luminaires.

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

Revêtement : Il est conseillé également d'utiliser des revêtements mats pour les plans de travail (tables d'étudiants et tableaux) de manière à limiter les luminances excessives et les risques d'éblouissement indirect par réflexion. Quant au plancher, il est rarement complètement libre et dégagé : le mobilier y représente souvent une surface importante. La couleur du sol aura donc peu d'influence sur la qualité et la quantité de l'éclairage.

Il faut noter ici que la capacité de réflexion d'un matériau dépend de sa couleur. Plus la couleur est claire, plus la réflexion est importante. En climat chaud, tel que celui de la Laghouat, les couleurs claires en façade participent donc de la protection solaire du bâti.

II.3.5. Rendu de couleur :

Définition : On appelle "rendu des couleurs" l'aptitude de la lumière à restituer les couleurs. D'après M. PERRAUDEAU, (PERRAUDEAU, M., 1981) le rendu des couleurs désigne l'effet d'une source de lumière sur l'aspect coloré des objets qu'elle éclaire, cet aspect étant comparé consciemment ou non à celui des mêmes objets éclairés par une source de référence.

La nature de la lumière rend les couleurs visibles et elle est décrite par deux mesures :

1- Le rendu des couleurs : mesuré à l'aide de l'Indice de Rendu des Couleurs (IRC ou Ra), qui est compris entre 0 et 100, 100 étant l'IRC de la lumière naturelle qui restitue toutes les nuances de couleur et 0 étant l'absence de couleur reconnaissable. La Commission Internationale de l'Eclairage CIE (MILLER, François, www.sdv.fr) a défini un indice général de rendu des couleurs dont la valeur maximale est de 100, correspondant à l'indice de rendu de couleur de la lumière naturelle.

2- Température de couleur : mesurée en degrés Kelvin qui désigne la teinte de la lumière émise par un corps en fonction de sa température (plus elle est élevée, plus la lumière considérée contient de grandes quantités de couleurs) (Lætitia, F., 2012).

Température apparente	Température de couleur
Chaude (blanc, rosé)	< 3000 °K
Intermédiaire (blanc)	3300 à 5500 °K
Froide (blanc, bleuté)	> 5500 °K

Tableau III.1 : Température de couleur. Source : Lætitia, F., 2012.

La température de couleur est un élément d'appréciation du confort visuel dû à la qualité de l'éclairage. Le diagramme de Kruithof établit les conditions du confort perçu pour différentes combinaisons d'éclairement et de température de couleur.

Il montre que dans une ambiance peu éclairée (zone rose), le confort est associé à une lumière chaude alors que dans une ambiance fortement éclairée (zone bleu), le confort est associé à une lumière trop froide. La zone intermédiaire (zone jaun) est celle du confort. La qualité de l'ambiance lumineuse d'un espace dépend à la fois de la qualité de lumière (niveau d'éclairement) et de la teinte de cette lumière (température de couleur). Le diagramme de Kruithof (Figure III.7) met en relation ces deux paramètres et fait apparaître une zone d'éclairage confortable.

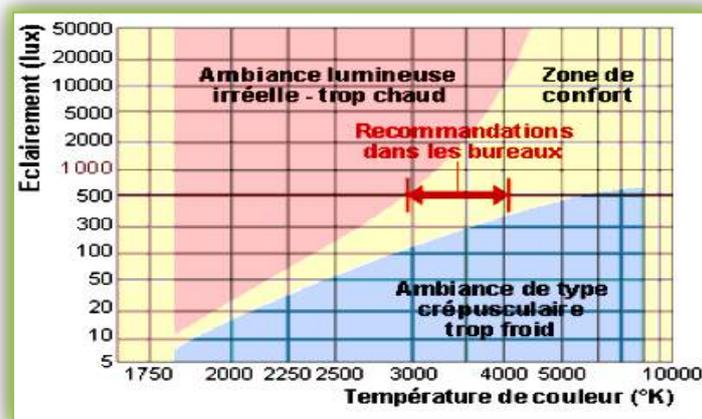


Figure III.7 : Le diagramme de Kruithof. Source : Lætitia, F., 2012.

II.3.6. Le contraste:

Définition : l'appréciation subjective de la différence d'apparence entre deux parties du champ visuel vues simultanément ou successivement. Il peut s'agir d'un contraste de couleur, d'un contraste de luminance, d'un contraste simultané ou successif.

la performance visuelle est en relation proportionnelle avec le contraste comme l'indique la figure III.8. Si l'on augmente l'éclairage d'une tâche de faible contraste, on ne peut jamais atteindre le niveau de performance d'une tâche de contraste plus élevé. Plus les contrastes sont élevés, plus la performance est améliorée en fonction de l'éclairage, jusqu'à ce que le point de performance maximale soit atteint.

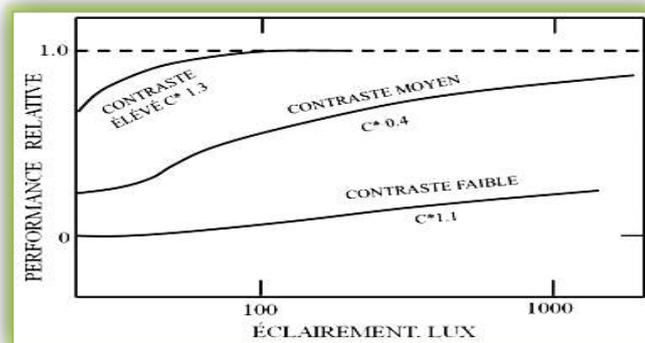


Figure III.8: Rapport entre la performance visuelle, le contraste et l'éclairage.

Source : CBD-192-F., www.nrcnrc.gc.ca/fra/idp/irc/dcc/digest-construction-192.html.

Dans une salle de classe un contraste important de couleurs entre le fond du tableau et les couleurs des craies ou des feutres est recommandé. Le feutre bleu sur tableau blanc comme ceux des salles de classe de Laghouat seront les plus visibles.

Selon le manuel d'éclairage de l'IES, les recommandations concernant le contraste détail/fond, dans une salle de classe sont (REA M.S., 2000) :

- Que les professeurs écrivent sur le tableau avec des grands caractères.
- D'inclure les stylos feutre au lieu des stylos à bille et d'employer un type d'encre non brillant pour faciliter la lisibilité des détails.
- Et finalement, d'utiliser des papiers mats pour les livres et les cahiers.

II.3.7. Les ombres gênantes :

Le travail de lecture ou d'écriture des étudiants 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 étudiants.

Les ombres qui sont créées par la présence d'un élément entre la tâche visuelle et la source lumineuse sont mauvaises pour la vision puisqu'elles diminuent fortement les contrastes. C'est le cas généralement lorsque la lumière solaire pénètre directement dans un espace.



Figure III.9: La présence d'ombres gênantes sur le plan de travail en salle de classe. **Source :** Auteur.

II.3.8. Eblouissement :

L'éblouissement est l'effet de conditions de vision dans lesquelles l'individu subit une réduction de l'aptitude à percevoir les objets, pouvant aller jusqu'à un aveuglement temporaire. L'éblouissement est dû à une luminosité trop intense de surfaces placées dans la direction de la vision ou à un contraste lumineux trop important entre surfaces contiguës. Il place l'individu dans des situations de grand inconfort visuel (Magali, B. Arnaud,D.,2002).

L'éblouissement est une perception visuelle négative causée par des surfaces de lumière dans le champ de vision. Le prévenir ou le réduire au minimum est extrêmement important non seulement au point de vue du confort visuel, mais aussi de la sécurité. L'éblouissement excessif direct ou indirect dans les espaces scolaires peut causer de la fatigue, des dommages de la vue et peut réduire la concentration. En même temps, l'éblouissement réduit la visibilité du texte sur l'écran du PC et rend la lecture sur papier glacé plus difficile. La prévention de l'éblouissement fait donc partie des tâches de base du concepteur lors de la planification de la solution d'éclairage (HUMANERGY, B., 2012).

II.3.8.1. Types d'éblouissement :

Suivant l'origine de l'éblouissement, les éclairagistes distinguent deux genres :

1. Le premier est l'**éblouissement direct**: il est produit par un objet lumineux (lampe, fenêtre, ...) situé dans la même direction que l'objet regardé ou dans une direction voisine. Nous pouvons cependant définir deux genres d'éblouissement direct :

a- Eblouissement d'inconfort : ce type d'éblouissement résulte de la vue en permanence de sources lumineuses de luminances relativement élevées (soleil ou ciel par exemple). Il peut créer de l'inconfort sans pour autant empêcher la vue de certains objets ou détails.

D'une manière générale, il se rencontre, dans des locaux où l'axe du regard est toujours relativement proche de l'horizontale. C'est le cas des salles de classe.

b - Eblouissement perturbateur : celui-ci est provoqué par la vue d'une luminance très élevée pendant un temps très court. Il peut, juste après l'éblouissement, empêcher la vision de certains objets sans pour autant créer de l'inconfort.



Figure III.10: Cas d'éblouissement direct dans les salles de classe de l'université de Laghouat. **Source :** Auteur.

2. Le second est **l'éblouissement indirect** : celui-ci est produit par des réflexions de sources lumineuses sur des surfaces brillantes (plan de travail, tables des étudiants, tableau et écrans d'ordinateur...).



Réflexions sur le plan de papier d'examen.

Réflexions sur les tableaux de présentation.

Figure III.11 : Cas d'éblouissement indirect dans une salle de classe de l'université de Laghouat. **Source :** Auteur.

Ces deux types pourraient se produire simultanément. Comme le montre la figure III.11, les problèmes d'éblouissement risquent d'apparaître dans les salles de classe si le tableau est brillant et si les fenêtres présentent une luminance excessive du ciel vu à travers elles. On peut remarquer également que lorsque la lumière se réfléchit dans le champ visuel, les contrastes sont réduits.

III.3.8.1. Les sources d'éblouissement :

En éclairage naturel, les sources principales d'éblouissement sont (Magali, B. Arnaud,D.,2002) :

- la vision directe du soleil ou du ciel au travers des fenêtres.

- la réflexion du soleil ou du ciel sur les bâtiments voisins.
- un contraste de luminance excessif entre une fenêtre et le mur dans lequel elle s'inscrit.
- un contraste de luminance excessif entre une fenêtre et son châssis.
- une surface de luminance trop élevée par rapport aux surfaces voisines.

Dans le cas particulier des écrans d'ordinateur, il convient de tenir compte des points suivants

- Les fenêtres doivent être équipées de protections solaires efficaces sur le plan visuel sur toutes les façades. Il est recommandé d'en confier la gestion aux occupants eux-mêmes.
- La luminance de chaque partie de l'environnement que l'observateur peut voir par réflexion dans son écran doit être aussi uniforme et faible que possible.

Il a été démontré, en effet, qu'un éblouissement léger dû à l'éclairage naturel est mieux toléré par les occupants qu'un éblouissement causé par l'éclairage électrique et que des facteurs, autres que la source d'éblouissement et ses alentours, affectent le degré d'inconfort visuel, comme par exemple l'apparence de l'ouverture, la vue sur l'extérieur, le mode d'utilisation du local et l'utilisation de protections solaires.(CIBSE., 1987)

Il faut savoir que dans les salles de classes, une feuille de papier blanche en plein soleil présente une luminance déjà éblouissante de 30.000 cd/m². De plus, l'éclairement direct par le soleil provoque des ombres propres et portées, très contrastées, souvent gênantes (BOUVIER, F., 2008).

III.3.8.2. Evaluation de l'éblouissement d'inconfort :

Le taux d'éblouissement unifié (Unified Glare Rating - UGR) (HUMANERGY, B., 2012) est utilisé pour une qualification unifiée du taux de l'éblouissement psychologique défini par la Commission Internationale de l'Eclairage. La norme européenne EN 12464-1 détermine l'UGR au maximum à 16 pour les espaces éducatifs par une forte demande de la précision et avec un taux élevé de fatigue oculaire (la géométrie, par exemple), pour des salles de classe ordinaires, des salles de conférence, des salles des enseignants et des bureaux avec un UGR de 19, pour les salles de réception, un UGR de 22 et pour les archives ou les entrepôts, un UGR de 25. En effet, les formules existantes conduisent généralement à des degrés d'inconfort théoriques supérieurs à ceux observés sous des conditions lumineuses réelles (VELDS, M., 2002). Selon MARTY, aucun des indices existants ne peut prédire avec une précision satisfaisante le niveau d'éblouissement subi par les occupants d'un espace éclairé naturellement (MARTY, C. ET AL., 2003).

Le tableau III.2 ci-dessous résume les réactions subjectives probables à certain niveau d'indice d'éblouissement. L'évaluation de l'éblouissement d'inconfort doit être de 19 dans la plupart des locaux d'enseignement.

Critère d'éblouissement (sensations d'inconfort)	Indice d'éblouissement pour l'éclairage artificiel(GI)	Indice d'éblouissement en lumière du jour (DGI)
imperceptible	10- 13	16 - 18
acceptable	16 - 19	20 - 22
inconfortable	22 - 25	24 - 26
intolérable	28	28

Tableau III.2 : Les réactions subjectives probables à certain niveau d'indice d'éblouissement.

Source : CIE 117-1995. <http://leclairage.fr/ugr/>.

En revanche, bien qu'il ait tendance à surévaluer l'éblouissement, l'indice d'éblouissement en lumière du jour (DGI) constituerait un bon outil pour l'évaluation du niveau d'éblouissement subi par les occupants (FISEKIS, K. ET AL.,2003).

Selon MARTY (MARTY, C. ET AL., 2003), le DGI semble être le seul à tenir compte des effets combinés de la dimension de la position de la fenêtre, du ciel et de la luminance d'arrière-plan, de la ligne de vision de l'occupant, de la distance et de la position de l'occupant par rapport à la fenêtre.

III.3.8.3. Contrôle de l'éblouissement:

Pour éviter l'éblouissement produit par celles-ci, il est souvent nécessaire de réduire leur luminance excessive par rapport à celle de la tâche visuelle en adoptant des moyens de contrôle de l'éblouissement appropriés, dont nous citerons ici quelques exemples :

- Concevoir une grande fenêtre moins éblouissante que plusieurs petites. Ceci aura pour effet d'augmenter la luminance du mur de fenestration qui réduit l'inconfort en diminuant le contraste avec le ciel.
- Diminuer la luminance du ciel en utilisant des verres de basse transmission, ou bien en disposant à l'extérieur des éléments moins lumineux que le ciel, comme par exemple une cour intérieure avec galeries couvertes.
- Occulter le soleil par une protection solaire fixe ou mobile, selon l'orientation.

L'éblouissement est particulièrement indésirable dans les salles avec des VDU (Visual Display Units - Unités d'Affichage Visuel). L'éblouissement excessif peut réduire le contraste d'affichage sur les VDU provoqués par l'éclairage de la surface de contrôle, la luminance du luminaire et les surfaces brillantes qui se reflètent sur l'écran. Les exigences relatives à la qualité visuelle des écrans concernant les reflets indésirables sont présentés par la norme européenne (HUMANERGY, B., 2012).

III. l'ambiance lumineuse :

III.1. Définition de l'ambiance lumineuse :

L'ambiance lumineuse est définie comme la manière dont l'ensemble des aspects de l'environnement lumineux affecte un sujet. Trois dimensions constituent cette ambiance : **lumière, objet architectural et sujet.**

Chez Narboni (Narboni, R., 2006) pour qui une ambiance lumineuse est définie comme étant « le résultat d'une interaction entre une ou des lumières, un individu, un espace, et un usage ». Cette interaction influence la perception et le ressenti de l'espace illuminé.

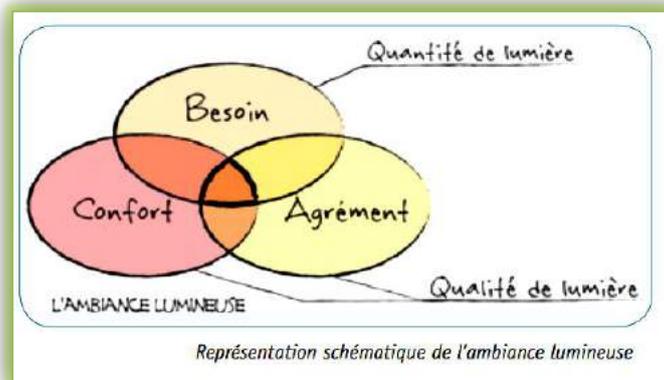


Figure III.12 : Représentation schématique de l'ambiance lumineuse. Source : l'ICEB., 2014.

III.2. Les paramètres de l'ambiance lumineuse :

La quantité de lumière nécessaire pour effectuer une activité dans de bonnes conditions lumineuses est un aspect assez bien défini aujourd'hui. La qualité de l'ambiance lumineuse se caractérise par des notions de confort et d'agrément, paramètres moins bien définis qui demandent une attention particulière.

Une ambiance lumineuse est donc fonction de ces trois paramètres (BERNSTEIN, D. CHAMPETIER, JP. HAMAYON, L. MUDRI, L., 2007), son caractère dépendra de l'attention qui est portée à chacun d'eux. Si un des paramètres est défavorisé par rapport aux autres, l'ambiance lumineuse ne sera pas ou peu satisfaisante et le recours à l'éclairage électrique sera nécessaire, ce qui entraînera une architecture moins durable.

D'après l'extrait de la norme EN 12464-1(EN 12464-1., 2011), Les paramètres les plus importants qui déterminent une ambiance lumineuse en ce qui concerne, la lumière artificielle et la lumière naturelle sont :

- la distribution des luminances.
- l'éclairement.

- la direction de la lumière et l'éclairage de l'espace intérieur.
- l'éblouissement
- la variabilité de la lumière (niveaux et couleur de la lumière).
- le rendu des couleurs et la couleur apparente de la lumière.

III.3. Les types d'ambiance :

L'ambiance lumineuse d'un espace ne se produit pas par la présence de la lumière seulement car elle engendre toujours l'un ou l'autre type d'ambiance thermique, sonore, olfactive, même lorsqu'elle n'est pas volontaire, elle n'est jamais neutre. Et donc, il est indispensable de tenir compte des implications sensorielles, symboliques et psychologiques de la lumière. On peut distinguer trois catégories fondamentales d'ambiance lumineuse. Cette classification est faite selon le degré de la luminosité d'un espace (DAICH, SAFA.,2011)

Ambiance lumineuse	Type d'ambiance lumineuse
	<p>La pénombre : qui représente le dialogue entre l'ombre et une lumière "solide" qui la transperce par endroits. Depuis quelques décennies, la pénombre en architecture semble être devenue un langage de séduction que de prestation technologique et environnementale. Les variantes imposées au contenant produisent ainsi une éducation à des paysages lumineux intermédiaires capables de moduler de nouveaux gradients d'ombre et de lumière.</p>
	<p>L'ambiance lumineuse : ou la clarté ambiante, omniprésence d'une lumière qui tend à disparaître parce qu'elle est partout. «Une ambiance lumineuse: clarté ambiante, omniprésente d'une lumière qui tend à disparaître parce qu'elle est partout» (Reiter, De Herde, 2004).</p>
	<p>L'ambiance inondée : qui est l'exaltation de la lumière qui embrase tout l'espace, trop plein d'une lumière envahissante et parfois écrasante, toutefois, chacun de ces types d'ambiances recouvre une grande variété de manière d'admettre la lumière et une multitude de qualités de lumière. «L'ambiance inondée : exaltation de la lumière qui embrase tout l'espace, trop plein de lumière envahissante et parfois écrasante.» (Reiter, De Herde., 2004).</p>

Tableau III.3 : Types d'ambiance lumineuse. Source : DAICH, SAFA.,2011.

IV. Les nuisances visuelles dans les salles de classe :

Les nuisances visuelles sont la création d'un état d'inconfort visuel ou une sorte de perturbation de la fonction visuelle. Elles peuvent apparaître quand les conditions de lumière dépassent certaines limites de l'aptitude humaine, des limites physiologiques liées à des défauts d'éclairage.

Selon la CNAMTS- (Bilan du risque AT/MP, année 2008), 38% des plus de 50 ans déclarent avoir des difficultés à voir au travail. Tous les degrés de troubles visuels peuvent être observés, du simple inconfort au gêne, à la fatigue visuelle. Dans un premier temps, les individus ressentent des sensations oculaires désagréables, voire douloureuses. Secondairement, surviennent des troubles de la vision (vision trouble, difficultés d'accommodation, éblouissement) qui peuvent être passagers, réversibles après repos, voire chroniques en l'absence de pauses de durée suffisante). L'éblouissement s'accompagne d'un affaiblissement des fonctions visuelles suivi d'un temps de récupération plus ou moins prolongé selon les individus et selon leur âge. L'éblouissement peut être inconfortable et gênant mais sans affecter les performances visuelles. L'éblouissement est qualifié de perturbateur ou d'incapacité (A.F.E) lorsqu'il réduit la capacité visuelle de l'observateur, donc la visibilité de la tâche, sans être forcément gênant.

Les reflets parasites, l'intensité lumineuse insuffisante, L'éblouissement, la dominante colorée de la source de lumière ou la perte de contraste vont entraîner un effort accru qui augmente la fatigue visuelle et peut causer des maux de tête et des troubles durables de la vision. Des limites psychologiques sont également concernées : la capacité d'attention est meilleure si le message transmis est facilement visible. (MINIER, F., 2001).

Selon B. DENOEUDE (DENOEUDE, B., 2003), un éclairage lumineux insuffisant cause une dispersion élevée des résultats obtenus par l'ensemble d'une population, représentée dans les salles de classe par les étudiants, dispersion d'autant plus élevée que les détails sont fins et l'éclairage faible. 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. Il est courant de voir des étudiants essayer de corriger cette situation en adoptant une mauvaise position de travail (tête tournée ou penchée, rotation du corps, ...) qui entraîne à terme une fatigue physique importante et donc une perte de performance (Bénédicte, Collard. Fabrice. Dery., 2011).

Conclusion :

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

Les recherches confirment que la lumière crée une atmosphère de communication positive entre l'enseignant et l'étudiant, elle peut influencer positivement sur la capacité de concentration, l'efficacité des performances et la capacité d'apprentissage des étudiants, créer les conditions dans lesquelles les étudiants et les enseignants se sentent confortables et est particulièrement en mesure d'assurer la perception correcte des objets et les informations affichés car la lumière naturelle y est indispensable, particulièrement pour assurer le confort visuel de ses occupants et ce en s'appuyant sur plusieurs facteurs qui ont des répercussions tant sur le plan physiologique que psychologique des individus. Donc un éclairage correct à l'université a une influence importante sur le travail et le rendement des étudiants.

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

D'une manière générale, pour un environnement lumineux adéquat à l'apprentissage, la lumière doit être fournie en quantité suffisante pour aider la perception et améliorer la performance visuelle. Elle doit également être de bonne qualité, ce qui implique l'uniformité, la direction de la lumière et la continuité spectrale. Toutes ces caractéristiques contribuent à l'amélioration de la performance des tâches et du comportement des étudiants d'une manière directe ou indirecte sans oublier bien sûr la présence d'une ambiance lumineuse confortable et soignée.

Introduction :

Comme nous l'avons déjà évoqué dans le I chapitre qui traitait du « l'éclairage naturel dans le bâtiment », il existe une forte corrélation entre l'environnement lumineux extérieur d'une région et l'éclairage intérieur d'un bâtiment implanté dans cette région. Concernant ce présent chapitre, son objectif sera d'abord d'identifier l'environnement lumineux spécifique qui domine dans la ville de Laghouat et par la même occasion, connaître le potentiel effectif de la lumière naturelle admit dans les salles de classe de l'université Laghouat, qui sont l'objet de notre étude.

I. Les caractéristiques climatiques de la zone d'étude :

I.1. La situation géographique et astronomique de la zone d'étude :

La ville de Laghouat est située au piedmont de l'Atlas Saharien à une altitude moyenne de 750 mètres à l'intersection de deux axes structurants la RN 1 et la RN 23. Elle est défini par les coordonnées (latitude $32^{\circ} 55' N$ et longitude $2^{\circ} 30' O$). Le relief de la région est en général plat à pente moyenne et faible de 0,1% à 4 %.

La ville de Laghouat est limitée au Nord par le chaînon montagneux de Dakhla et Djebel Lahmar, et par Djebel Kheneg au sud-ouest par le sud le plateau saharien. (Benarfa, K., 2007).

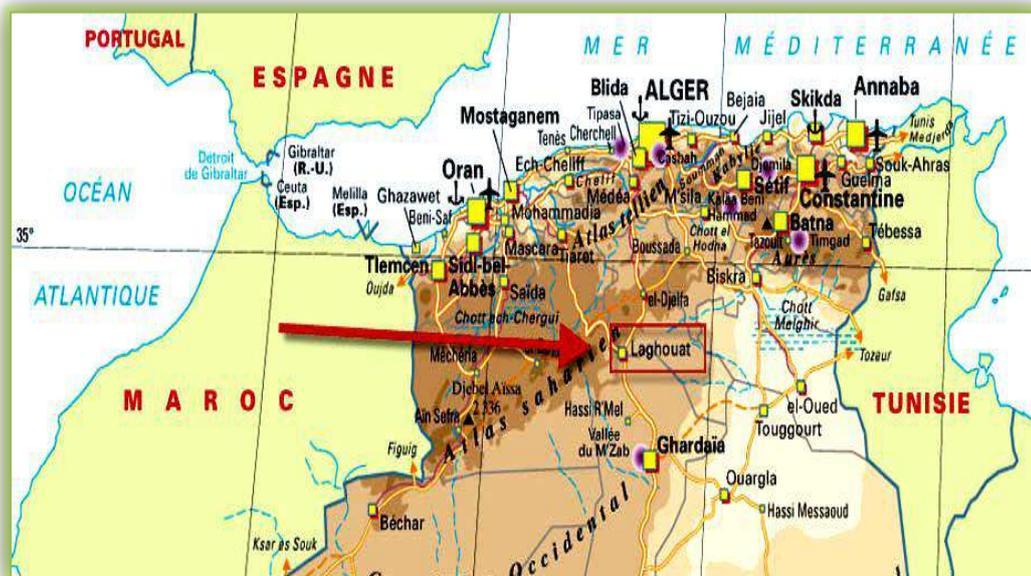


Figure IV.1 : Situation géographique de la ville de Laghouat.

Source : <http://jevisitelalgerie.com/index.php/m-les-wilayas/112-free-music-app-brings-top-youtube-songs-to-your-iphone>.

I.2. Les conditions climatiques :

Sur le territoire algérien quatre zones climatiques sont distinguées (A.B.C et D). La zone concernée par notre étude se trouve dans la zone D appelée la zone pré Sahara et Sahara (Mazouz, S., 2004)



Figure IV.2 : Découpage des zones climatique. Source : www.mem-algeria.org.

Zone D : pré Sahara et Sahara	
Variations saisonnières	02 saisons, chaude et froide.
Températures	T° Moy. Max : 45° et entre 20-30° en hiver variation saisonnière de 20°. L'effet de la latitude les hivers deviennent de plus en plus froids.
Précipitations	Pluies rares, torrentielles par moments.
humidité	Humidité réduite entre moins de 20% après midi à plus de 40% la nuit
Conditions célestes et rayonnements	Ciel clair pour une grande partie de l'année, rayonnement solaire intense augmenté par les rayons réfléchis par le sol.
Végétations	Extrêmement clairsemées.
Vents	Généralement locaux, les vents de sable et les tempêtes sont fréquents observé généralement pendant les après-midi.

Tableau IV.1 : Extrait des caractéristiques de la zone D. Source : Mazouz. S., 2004.

La situation de la ville de Laghouat entre deux zones à climats distincts, la nature géomorphologique de la zone et le caractère semi désertique ont confié à la ville de Laghouat un climat rigoureux. Son climat est caractérisé par :

Un été très chaud d'une moyenne température de 37°5 et un Hivers froid. L'aridité s'accroît au fur et à mesure que l'on s'éloigne en direction du sud. La ville de Laghouat est classée dans la zone où les précipitations ne dépassent pas les 111mm, le mois le plus arrosé est Avril avec 28,1mm et le mois le plus sec est Juillet avec 5mm. (Benarfa, K., 2007).

La région est soumise à des conditions climatiques de type saharien se caractérisant par de fortes amplitudes entre l'hiver et l'été, le maximum de température avoisine 42 °C en période estivale, l'hiver est très rigoureux, la température descend jusqu'à 3°C.

Les vents dominant sont de direction Ouest, le SIRICCO souffle 65 -70 jours par an à partir de mois de Mai et cause de graves préjudices aux cultures, il est fréquent du côté Nord et Ouest, généralement en Juillet sur les hautes terres du Nord et de l'Ouest, Ainsi que dans les mois de Juin et Juillet sur les basses terres.

Le CHEHILI venant du Sud provoque certaines dégât, dessèchements, ces vents sont souvent violents et leur vitesse varie de 15 à 30 m/s soit 58 à 108 Km/h et de direction Sud-ouest fréquence 687 heures/mois. Ce sont des vents fréquents et cycliques : le Sahraoui vient du Nord-Ouest /Sud-est au printemps, tandis que le Bahri de direction Est Ouest se manifeste d'Août à Octobre, à partir de Septembre, le vent de l'Est (Bahri) chargé d'humidité favorise le rafraichissement de la ville. (Benarfa, K., 2007).

I.3. Les conditions solaires :

En Algérie, les stations météorologiques procurent les indices de nébulosité totale en (octets), la durée d'ensoleillement en (Heure) et les irradiations solaires globales en (Wh/m²), mais elles ne mesurent pas les éclairements lumineux. C'est pour cette raison que les différents climats lumineux existants à travers le pays n'ont pas pu être définis sur la base de mesures réelles.

De ce fait, dans sa thèse de Doctorat, N. Zemmouri a proposé un zoning lumineux propre à l'Algérie (Figure. IV.3) basé sur le calcul par simulation informatique, à l'aide du logiciel « **Mat light** », des éclairements lumineux horizontaux ainsi que sur la base de données de la NASA sur la nébulosité.

Ce découpage comporte quatre grandes zones climatiques lumineuses qui sont les suivantes :

1. la première zone, située entre la latitude 34°-36°, est caractérisée par un éclairement lumineux horizontal moyen égal à 35 Kilo lux 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 éclairement lumineux horizontal moyen égal à 25 Kilo lux 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 éclairement lumineux horizontal moyen égal à 42 Kilo lux 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 Kilo lux et la dominance du ciel clair (Benarfa, K., 2007).

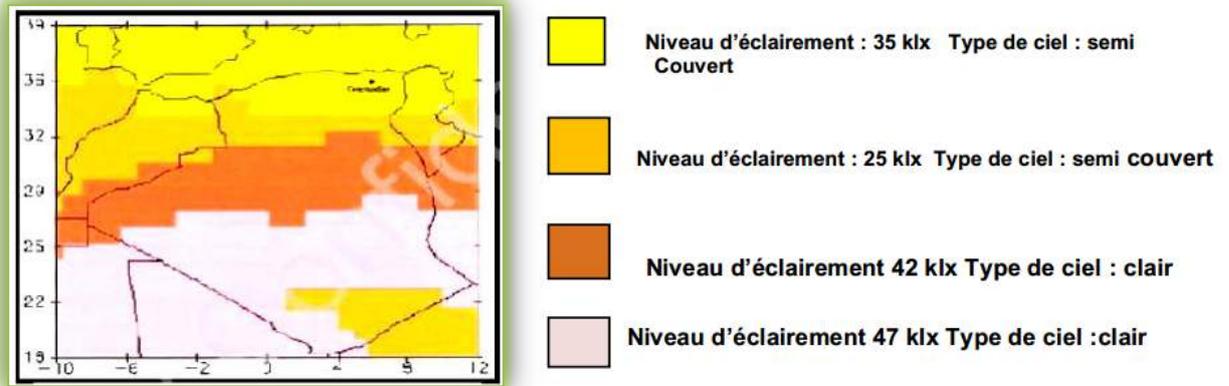
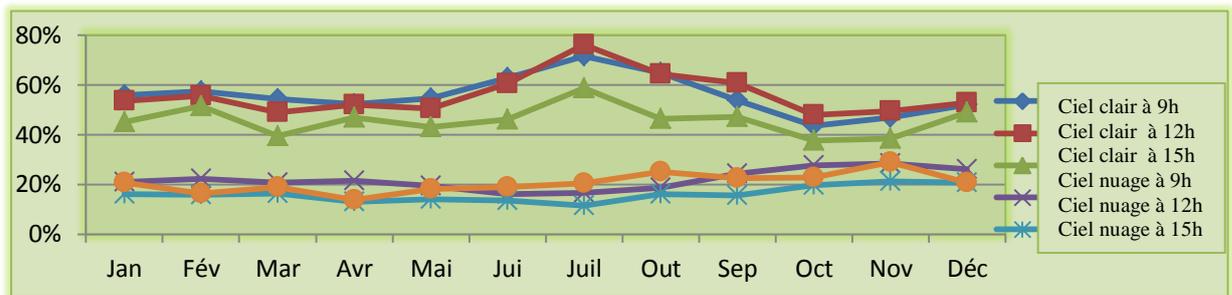


Figure IV.3 : Zoning de la disponibilité de la lumière naturelle en Algérie. Source : Zemmouri, N., 2005.

I.4. Le type de ciel :

La zone se caractérise par un ciel clair régnant pendant presque toute l'année d'un pourcentage moyen qui varié entre 65% à 80% augmente durant les mois : Juin, Juillet et out ce pendent les jours nuageux sont rares la figure IV.4, le soleil dominant a un impact majeur sur le climat surtout, avec ses aspects thermique, énergétiques et lumineux .selon les données, la portion des jours nuageux est d'environ moyen de 10% à 25% augmente durant les mois : Octobre novembre et décembre. A la base de ses données, dans la partie expérimentale les mesures d'éclairage seront effectuées sous un ciel clair



Graph IV.1 : Fréquence moyenne mensuelle du ciel clair et nuage. Source : www.NAZA.cov.

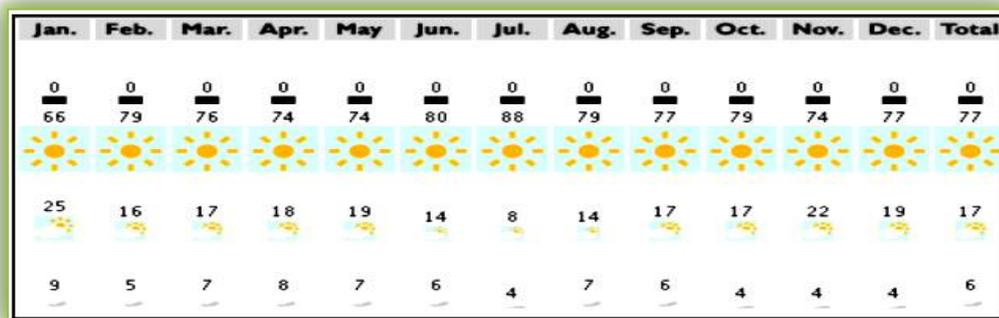


Figure IV.4 : fréquence des cieus ensoleillés, intermédiaires et nuageux. Source : www.satel-light.com.

I.5. Les fréquences mensuelles d'ensoleillement :

La figure IV.5 nous indique le pourcentage d'ensoleillement sur les quatre zones d'orientation pour chaque mois. Pour le mois de décembre la lecture nous fournis 50% sur le quadrant Sud-est et 49% sur le quadrant Sud-ouest. Pour le mois de juin on trouve 23% pour la zone Sud-est, 27% pour la zone Nord-est, 24% pour la zone Sud-ouest et 28% d'ensoleillement pour la zone Nord-ouest. Enfin, pour le mois de septembre, on constate que le quadrant Sud-est présente 43% d'ensoleillement, 5% pour la zone Nord-est, 45% pour la zone Sud-ouest et enfin 18% pour le Nord-ouest.

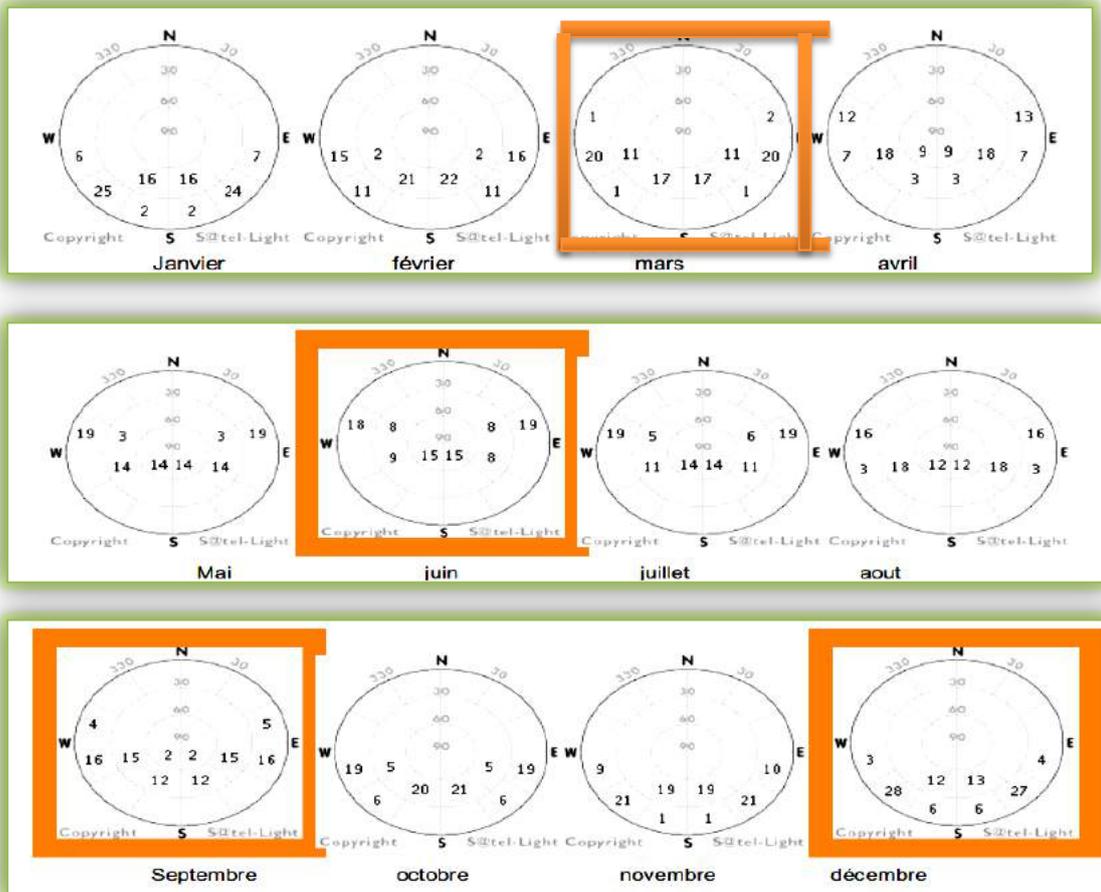


Figure. IV.5 : Fréquence mensuelle en (%) d'ensoleillement. Source : www.satel-light.com.

II. Présentation des cas d'étude : salles de classe de l'université de Laghouat :

Pour le cas d'étude, nous avons choisi les salles de classe de l'université de Laghouat car elles sont caractérisées par une conception architecturale similaire orientée sur 04 directions différentes et éclairé par un système conventionnel d'éclairage latéral qui pose un problème d'éclairage à l'intérieur des salles de classe.

Le campus universitaire autorisé pour l'étude située dans la partie nord de la ville de Laghouat domine sur la RN1.



Figure. IV.6 : Situation de l'université de Laghouat par rapport à la ville. Source : www.google.fr/earth.

II.1. Campus universitaire de Laghouat :

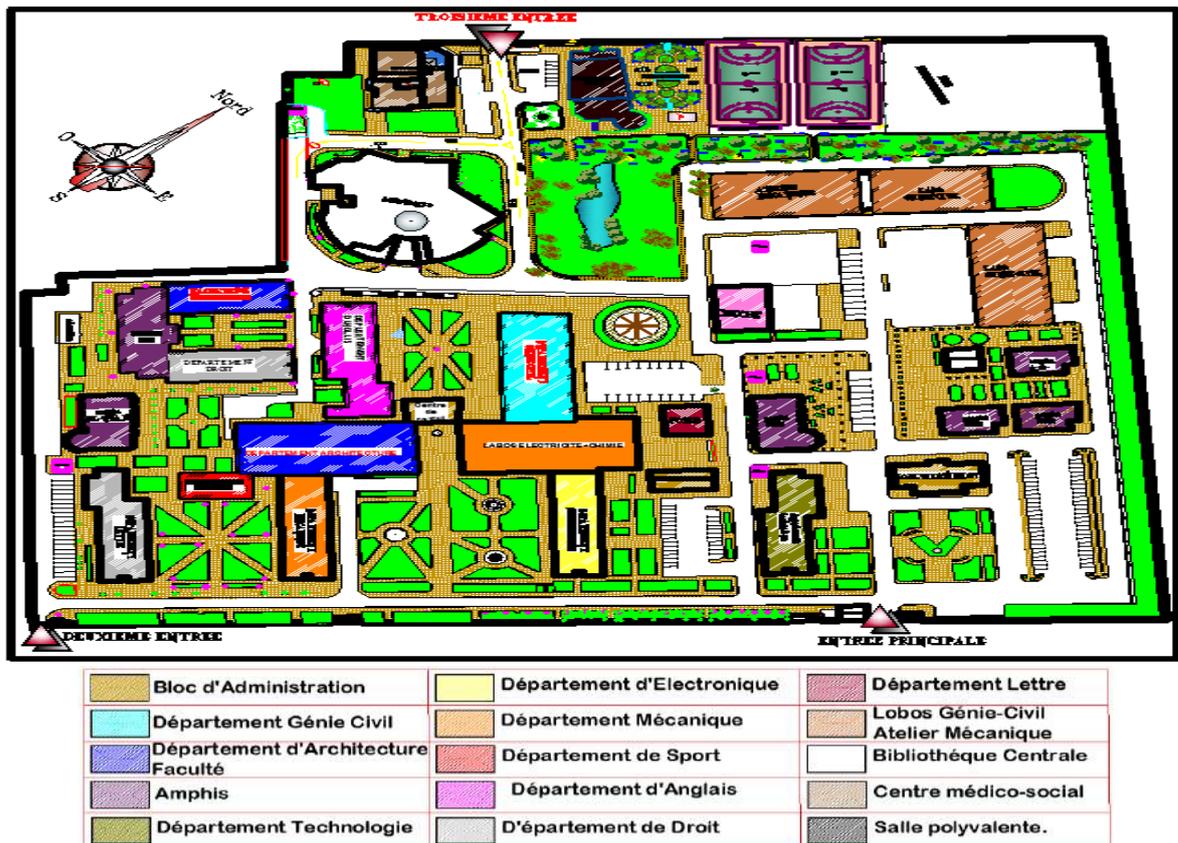


Figure. IV.7 : plan de masse de l'université de Laghouat.

Source : direction de l'urbanisme et de la construction. Laghouat.

- L'université de Laghouat (la faculté centrale) est créée le 18 septembre 2001, elle est divisée en 03 parties :

- La partie administrative + les laboratoires,

- La partie d'étude : qui regroupe dix (10) départements +5 amphis.

- La Bibliothèque centrale + un centre médico-social + une salle polyvalente.
- Elle est accessible par un accès principal qui aide directement vers la partie administrative et deux accès secondaires, qui facilitent la circulation vers les autres parties.

II.1.1. Aperçu sur le type d'éclairage naturel utilisé au niveau de l'université de Laghouat :

99% des espaces intérieurs de l'université de Laghouat sont éclairés par un système d'éclairage latéral ce qui implique le plus fort usage de ce type dans la conception architecturale. Comme montre la Figure IV.8 les espaces intérieurs sont ouverts à l'extérieur qui engendre des problèmes d'éclairage naturel d'ordre qualitatif et quantitatif.



Figure IV.8 : Type d'éclairage naturel utilisé au niveau de l'université de Laghouat. **Source :** Auteur.

II.2. Choix des blocs d'étude :

Généralement les blocs de différents départements sont en forme d'une barre la Figure.IV.7, disposée soit sur leur largeur ou sur leur longueur. Cette organisation nous donne pratiquement deux 02 différentes orientations des espaces intérieures pour chaque disposition comme suivant :

1. Les blocs de départements de : lettre, anglais, mécanique, technologie, génie civil, électronique et français avec une orientation Nord-Est et Sud-Ouest
2. Les blocs de : Faculté de la science et de technologie, département droit avec une orientation Sud-Est et Nord-Ouest.

-Pour notre étude nous avons choisi deux bloc représentatif qui sont : le bloc Faculté de la science et de technologie (ou se situer les salles de classe de département d'architecture) et de génie civil car :

- Leur configuration proche facilite le déplacement l'heure de prise des mesures, photos..
- Les salles de classe sont situées au niveau RDC ce qu'il facilite l'accessibilité et le travail.
- les blocs sont orientés sur orientation différentes.



Photo. IV.9 : Département de de génie civil.
Source : Auteur.



Photo. IV.10 : Faculté des sciences et de technologie. Source : Auteur.

II.3. Choix de classe d'étude :

- Le département d'architecture se compose de 03 unités qui sont : bloc d'atelier, bloc d'administration et bloc des classes (qui sont situées au niveau du bloc de la faculté des sciences et de technologie).
- Les salles de classe (la partie qui concerne notre étude), elles sont situées au niveau RDC de la faculté de technologie. Il se compose de 08 salles de classe (figure III.11) qui se caractérise par une organisation linéaire autour un couloir. Les différentes salles de classe sont éclairées unilatéralement par un système d'éclairage unilatéral (fenêtres).

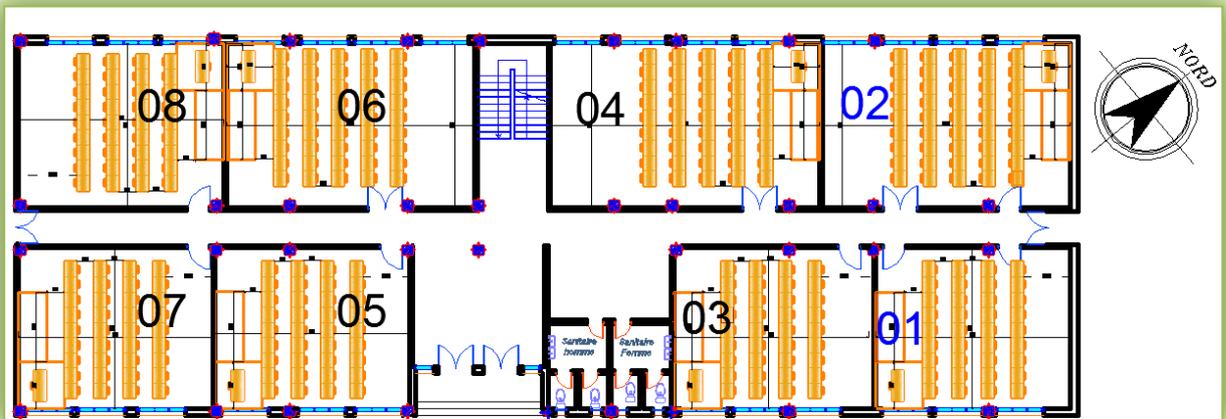


Figure IV.11 : Extrait du plan de faculté des sciences et de technologie niveau RDC. Source : Auteur.

Le département de génie civil se compose de deux niveaux

Le RDC : est composée de trois salles de classe et des bureaux des enseignants.

L'étage R+1 : il est composé de : bureaux d'administration et les salles d'informatiques...

Les trois salles de classe sont organisées linéairement autour un couloir et sont éclairées unilatéralement par un système d'éclairage unilatéral (fenêtres).

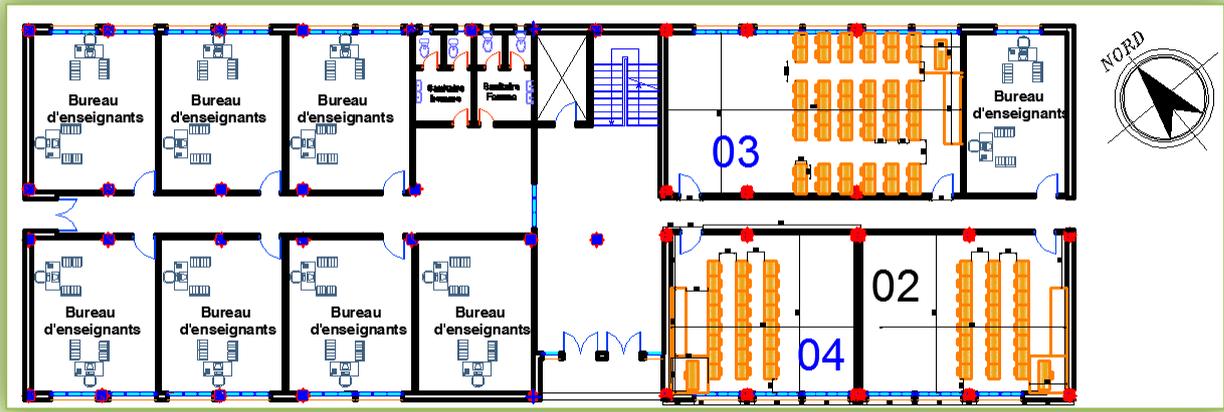


Figure IV.12 : Extrait du plan de département de génie civil niveau RDC. Source : Auteur.

Pour notre étude, nous avons choisi quatre (04) salles de classe représentatives de l'ensemble des salles de classe de l'université de Laghouat, qui sont les salles de classe n°01 et n°02 situent au niveau de département d'architecture (qui sont situées au niveau du bloc de la faculté des sciences et de technologie et les salles de classe n°03 et n°04 situent au niveau de département de génie civil (figure VI.11 et figure VI.12).

1. Orientation : les salles de classe sont orientées sur 04 différentes orientations.
2. les salles de classe sont éclairées par un système d'éclairage latéral similaire.

II.4. Description des locaux types :

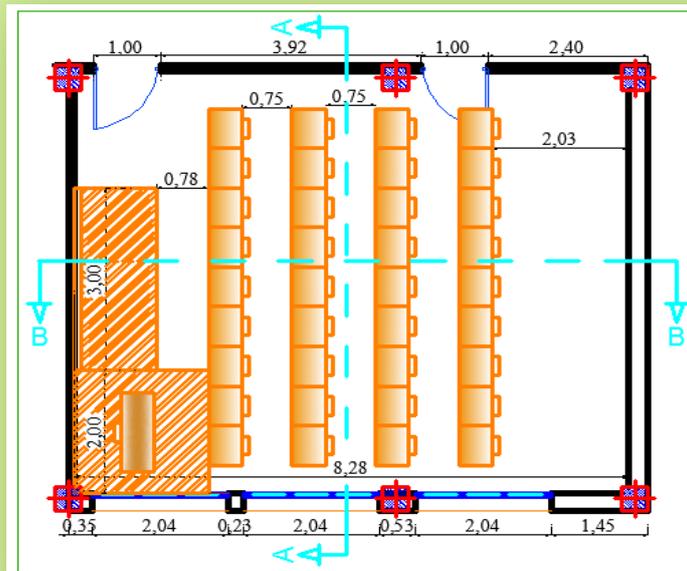
II.4. 1. Salle de classe N° 01 Simple de trois mm orientée Sud - Est :

Orientation	Sud-Est.	Type de vitrage	simple de trois (03) mm
Dimensions	8,28x 6,90 m	Hauteur de mur d'allège	1,00m
Dimensions de fenêtres	1.65x2.04 m	Hauteur sous plafond	3.20m
Nombre de fenêtres	trois (03)	Nombre d'étudiants	36 étudiants

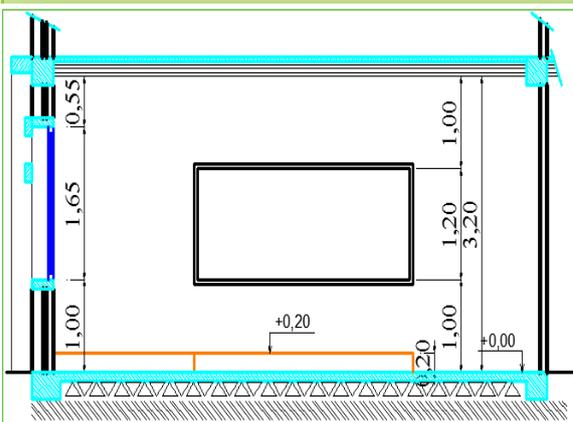
Tableau IV.2 : caractéristiques de la salle classe N° 01, orientée Sud – Est. Source : Auteur.

La salle de classe n°01 est de forme rectangulaire, plus profonde que large (P=8,28m, L= 6,90m) et de 57,132 m² de surface. Sa hauteur sous plafond est de 3,20 m. Elle comporte trois systèmes d'éclairage unilatéral (trois fenêtres opté d'un vitrage type simple de trois 3mm) inscrite sur un mur d'allège de 1,00 m, orientées vers le Sud-Est de 4.02m x 1.65m de dimensions, et positionnés verticalement au tableau. La surface totale du vitrage (S_v) est égale à (1,90 x 03) =5,70m². Le tableau de la salle est accroché sur la paroi interne Sud-Ouest.

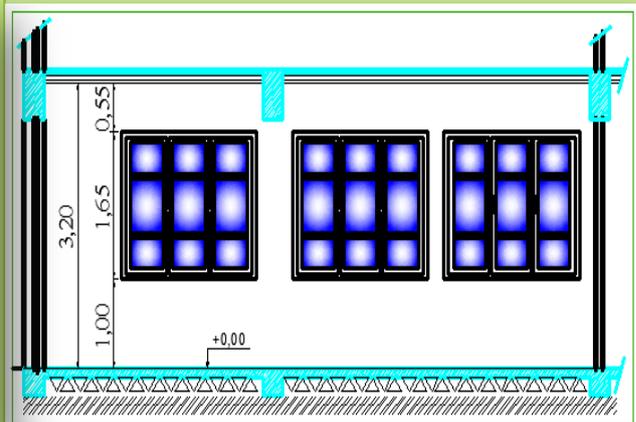
Données techniques de la salle N° 01 Orientée : Sud-Est



Extrait du plan



Coupe A-A



Coupe B-B



Façade Sud-Est



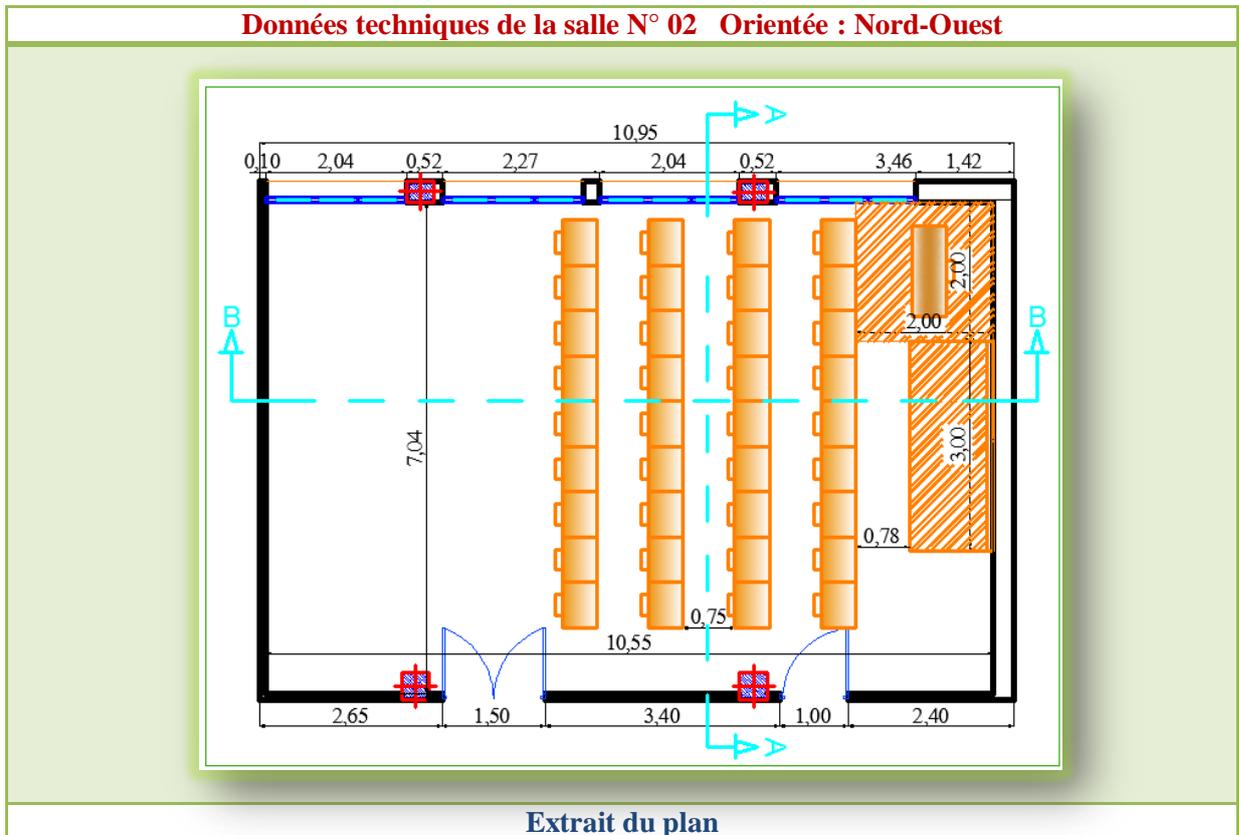
vue intérieure

Tableau IV.3 : Données techniques de la salle classe N° 01, orientée Sud – Est. Source : Auteur.

Orientation	Nord-Ouest	Type de vitrage	simple de trois (03) mm
Dimensions	10,55x 7,04m	Hauteur de mur d'allège	1,00m
Dimensions de fenêtres	1.65x2.04	Hauteur sous plafond	3.20m
Nombre de fenêtres	quatre (04)	Nombre d'étudiants	36 étudiants

II.4.2. Salle de classe N° 2 orientée Nord-Ouest:

La salle de classe n°02 est de forme rectangulaire, plus profonde que large (P=10,55m, L= 7,04m) et de 74,272 m² de surface. Sa hauteur sous plafond est de 3,20 m. Elle est type simple de trois (3mm) inscrite sur un mur d'allège de 1,00 m, orientées vers Nord-Ouest de 4.02 m x 1.65m de dimensions, et positionnés verticalement au tableau. La surface totale du vitrage (S_v) est égale à (1,90 x 04) =7,60m². Le tableau de la salle est accroché sur la paroi interne : Nord-Est.



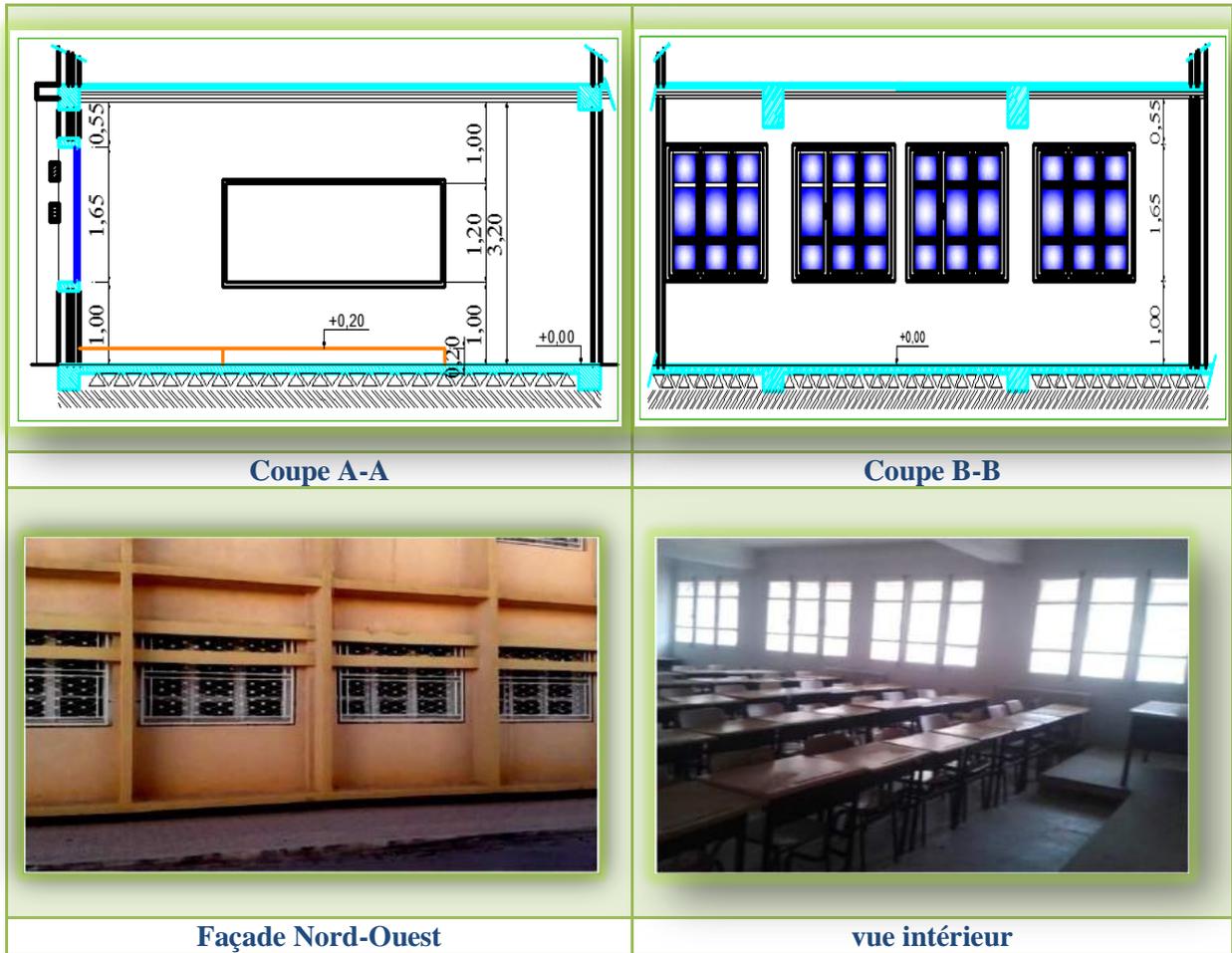


Tableau IV.5 : Données techniques de la salle classe N° 02 orientée Nord-Ouest. Source : Auteur.

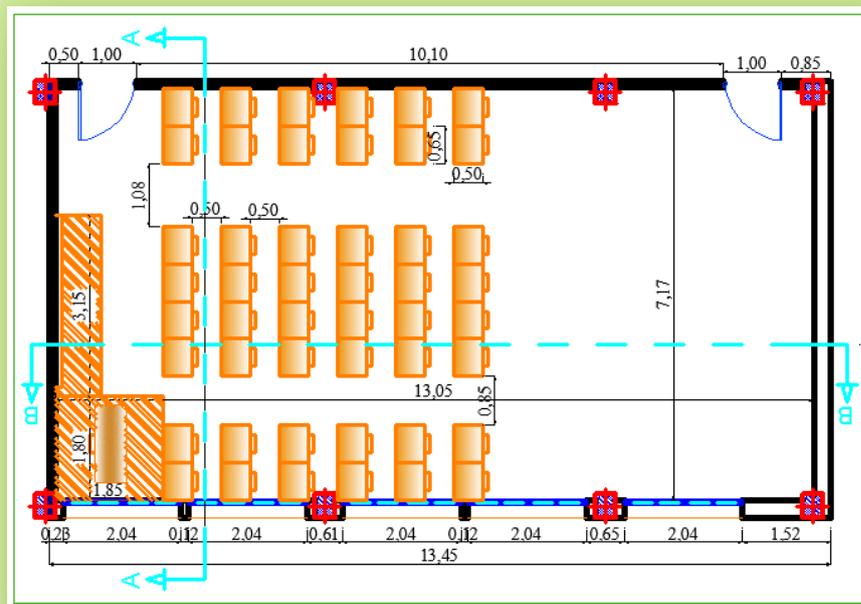
II.4.3. Salle de classe N° 03 orientée Nord –Est :

Orientation	Nord -Est	Type de vitrage	simple de trois (03) mm
Dimensions	13,05x 7,17m	Hauteur de mur d'allège	1,00m
Dimensions de fenêtres	1.65 x 2.04	Hauteur sous plafond	3.20m
Nombre de fenêtres	cinq (05)	Nombre d'étudiants	48 étudiants

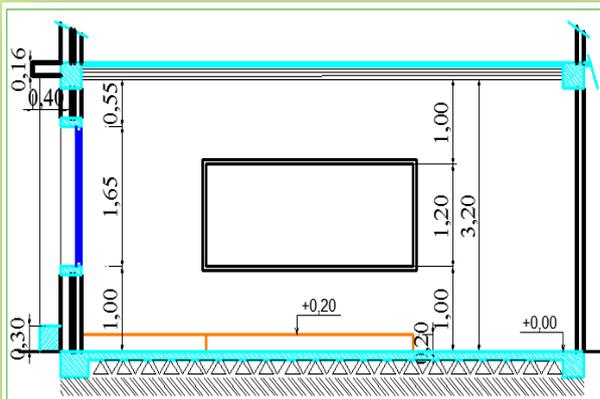
Tableau IV.6 : caractéristiques de la salle classe N° 03 orientée Nord-Est. Source : Auteur.

La salle de classe n°03 est de forme rectangulaire, plus profonde que large (P=13,05m, L= 7,17m) et de 93,57 m² de surface. Sa hauteur sous plafond est de 3,20 m. Elle comporte cinq systèmes d'éclairage unilatéral (cinq fenêtres opté d'un vitrage type simple de trois 3mm) inscrite sur un mur d'allège de 1,00 m, orientées Nord -Est de 4.02 m x 1.65m de dimensions, et positionnés verticalement au tableau. La surface totale du vitrage (S_v) est égale à (1,90 x 05) =9,50m. Le tableau de la salle est accroché sur la paroi interne Sud-Est.

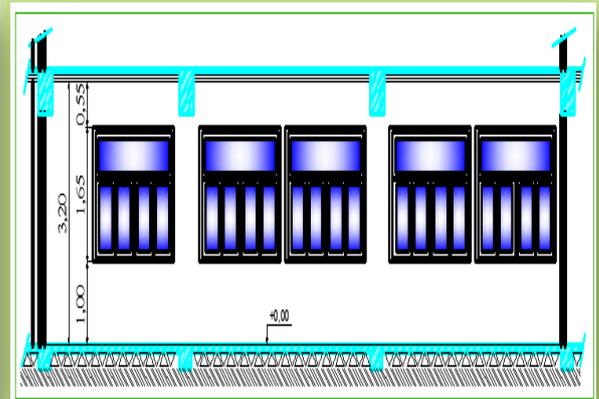
Données techniques de la salle N° 03 Orientée : Nord-Est



Extrait du plan



Coupe A-A



Coupe B-B



Façade Nord-Est



vue intérieur

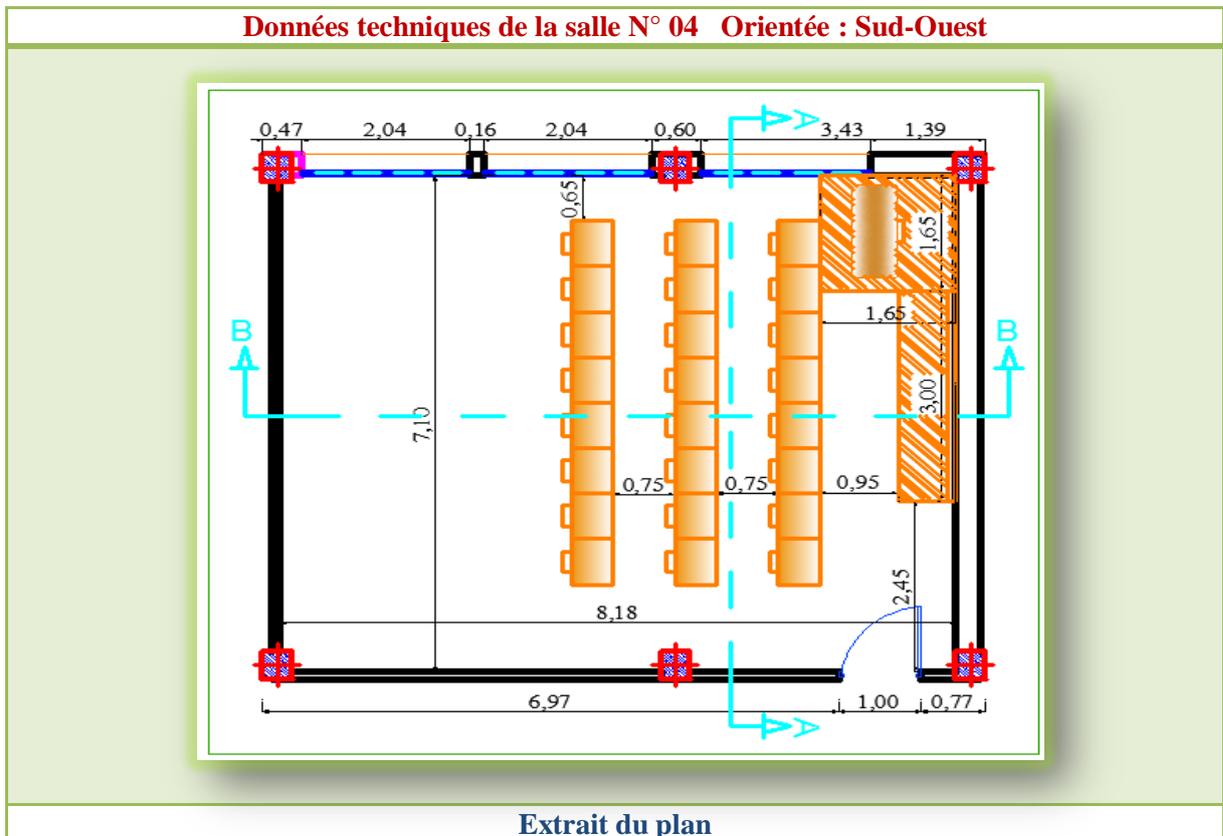
Tableau IV.7 : Données techniques de la salle classe N° 03 orientée Nord-Est. Source : Auteur.

II.4.4. Salle de classe N° 04 orientée Sud-Ouest :

Orientation	Sud-Ouest	Type de vitrage	simple de trois (03) mm
Dimensions	8.18x 7,10m	Hauteur de mur d'allège	1,00m
Dimensions de fenêtres	1.65 x 2.04	Hauteur sous plafond	3.20m
Nombre de fenêtres	trois (03)	Nombre d'étudiants	24 étudiants

Tableau IV.8 : caractéristiques de la salle classe N° 04 orientée Sud-Ouest. Source : Auteur.

La salle de classe n°04 est de forme rectangulaire, plus profonde que large (P=8,18m, L= 7,10m) et de 58,078 m² de surface. Sa hauteur sous plafond est de 3,20 m. Elle comporte cinq systèmes d'éclairage unilatéral (trois fenêtres opté d'un vitrage type simple de trois 3mm) inscrite sur un mur d'allège de 1,00 m, orientées vers Sud-Ouest de 4.02 m x 1.65m de dimensions, et positionnés verticalement au tableau. La surface totale du vitrage (S_v) est égale à (1,90 x 03) =5,70m² et l'indice de vitrage (I_v) représente 42%. Le tableau de la salle est accroché sur la paroi interne Nord-Ouest.



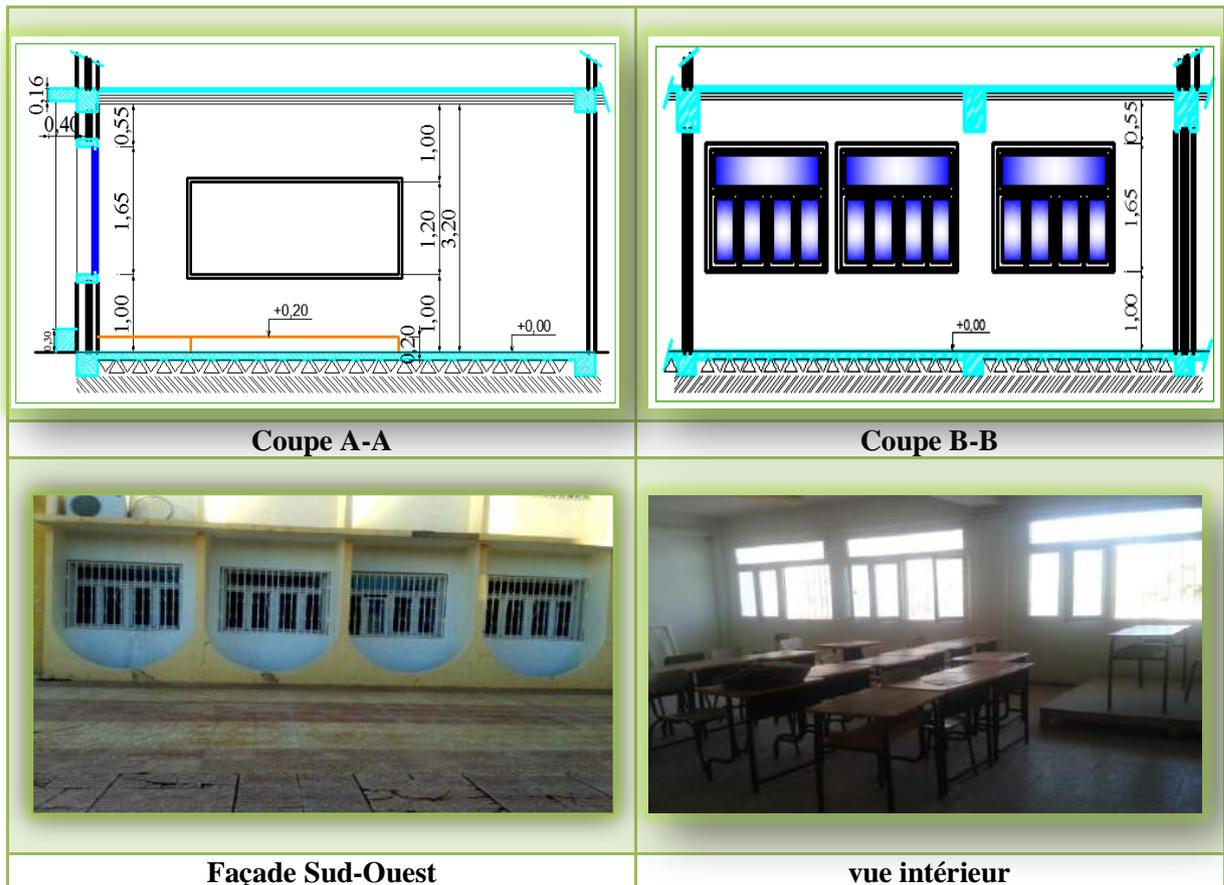


Tableau IV.9 : Données techniques de la salle classe N° 04 orientée Sud-Ouest. Source : Auteur.

II.5. Description photométrique des espaces :

Les murs sont peints en gris clair (facteur de réflexion approximatif=0,30) tandis le plafond est peint également en blanc (facteur de réflexion approximatif=0,8). Le revêtement du sol est exécuté en carrelage de couleur blanc cassé .Quant au mobilier, il est en général de couleur de bois marron clair.

III. Aperçu préliminaire sur les conditions d'éclairage :

Le tableau ci-dessous, récapitule les données essentielles concernant les salles de classe :

Désignation	Dimensions	Hauteur	Orientation	Type d'éclairage
Classe 01	8,28x 6,90m	3.40m	Sud-Est	unilatéral
Classe 02	10,55x 7,04m	3.40m	Nord-Ouest	unilatéral
Classe 03	13,05x 7,17m	3.40m	Nord -Est	unilatéral
Classe 04	8,18x 7,10m	3.40m	Sud-Ouest	unilatéral
Désignation	Rapport Vit/sur	Peinture	Fenêtre	Dominance
Classe 01	1/10	claire	2.04x1.65m	extérieur
Classe 02	1/10	claire	2.04x1.65m	extérieur
Classe 03	1/10	claire	2.04x1.65m	extérieur
Classe 04	1/10	claire	2.04x1.65m	extérieur

Tableau IV.10 : données techniques des salles de classe. Source : Auteur.

Conclusion :

La ville de Laghouat positionnée dans les moyennes latitudes, c'est une ville représentative des zones à climat aride en Algérie, elle est soumise à des conditions climatiques de type saharien se caractérisant par forte amplitudes entre l'hiver et l'été qui bénéficie d'un potentiel considérable en lumière naturelle qui devrait être exploité d'une manière optimum pour favoriser l'économie d'énergie. Ce potentiel se traduit essentiellement par l'importance du rayonnement solaire direct et indirect, mais qui peut être également à l'origine d'inconfort visuel et thermique.

L'étude des conditions de nébulosité dans la région, apparait clairement que le ciel clair est le plus fréquent à travers les saisons mais aussi le plus stable, pour cette raison les mesures d'éclairage concernant la partie expérimentale seront effectuées sous un ciel clair.

Compte tenu de ces spécificités du climat lumineux de la région, les procédés d'éclairage naturel direct, sont plus appropriés à l'usage pour éclairer les différents équipements, ce qui est clairement apparu par le fort usage des systèmes d'éclairage unilatérale pour l'éclairage des différentes blocs universitaire.

Concernant le cas d'étude, les salles de classe sont caractérisées par son forme rectangulaire avec une variété surfacique selon leur capacité. Elles sont éclairées par un système d'éclairage unilatéral de trois à cinq fenêtres selon les dimensions de chaque salle de classe. Ces fenêtres ne dotent pas une occultation par rideau ce qui permet la pénétration des rayons solaires directs à l'intérieur des salles de classe.

Face à notre objectif qui vise à évaluer qualitativement et quantitativement, les performances lumineuses des systèmes conventionnels d'éclairage latéral des salles de classe type, nous avons eu recours à la méthodologie mentionnée dans les chapitres qui suivants.

Introduction :

Dans les locaux d'enseignement, 65 % de l'information passent par la vision donc la qualité et la quantité de l'éclairage doit retenir l'attention de tous : gestionnaires, architectes..... Face à notre objectif de recherche qui vise à évaluer quantitativement et qualitativement le système d'éclairage latéral naturel des salles de classe de l'université de Laghouat selon leur orientation nous avons procédé à une méthodologie mixte qui nous permet à combiner les techniques de recherches d'évaluations qualitatives et quantitatives dans le but d'approfondir la compréhension et la corroboration des résultats d'évaluation.

Dans ce chapitre nous avons recours à l'usage de deux différentes techniques d'investigation : le questionnaire et l'observation pour évaluer qualitativement le système d'éclairage latéral naturel des salles de classe. Ces évaluations seront présentées par des chiffres, des graphes et des photos et commentaires par l'auteur.

I. Evaluation qualitative de l'éclairage naturel dans les salles de classe : technique de questionnaire :**I.1. Définition du « questionnaire »:**

Le questionnaire est défini comme étant « un instrument de prise de l'information, basé sur l'observation et l'analyse des réponses à une série de questions posées. Cette technique constitue un raccourci précieux quand l'observation directe trop coûteuse ou insuffisante.»

Technique directe d'investigation scientifique utilisée auprès d'individus, qui permet de les interroger de façon directive et de faire un prélèvement quantitatif en vue de trouver des relations mathématiques et de faire des comparaisons chiffrées (Farhi, A.,2014).

I.2. Echantillon de questionnaire:

Elle est définie par (ROSENTAL,C. MURPHY C, F., 2001) comme étant « l'ensemble sur lequel portent les observations ». Le nombre exact ainsi que le choix des personnes concernées par le questionnaire, n'obéissent pas à des règles strictes. Il est simplement recommandé d'inclure le plus de participants possible afin d'éviter des erreurs relevant de la subjectivité des réponses.

Pour notre cas d'étude, nous avons réparti notre échantillon en quatre groupes comportant (15) usagers de différentes salles de classe. Le choix d'échantillon (étudiant et enseignants)

a été fait selon les critères suivant : sexe, l'âge, durée d'occupation des occupants (qui sont présentés dans la première partie de questionnaire).

I.3. La description du questionnaire:

Le choix s'est fait sur un échantillon de 60 personnes entre étudiants et enseignants, reparti en quatre groupes, chaque groupe comporte 15 échantillons qui présentent une des quatre salles de classe type. Le questionnaire contient globalement 17 questions qui sont divisées en deux :

-La première partie: contient des questions présentent les critères de choix d'échantillon : sexe l'âge, groupe d'usages, durée d'occupation.

La deuxième partie : contient des questions qui touchent la qualité d'éclairage dans les salles : la présence des taches solaires, le gêne à cause de l'éblouissement..... entre:

- Des questions fermés: concernent les renseignements personnelles exemple : âge, sexe, durée d'occupation . etc. ou bien des questions de confirmations ou non ou nous avons jugé que ce sont des facteurs susceptibles d'influencer le comportement et l'appréciation de la population étudiée.

- Des questions ouvertes: réunit les informations sur la présence de l'éclairage naturel et les éventuels problèmes d'inconfort .des questions ouvertes pour offrir au gens la possibilité de s'exprimer plus librement (voir l'annexe I).

I.4. Présentation et interprétation :

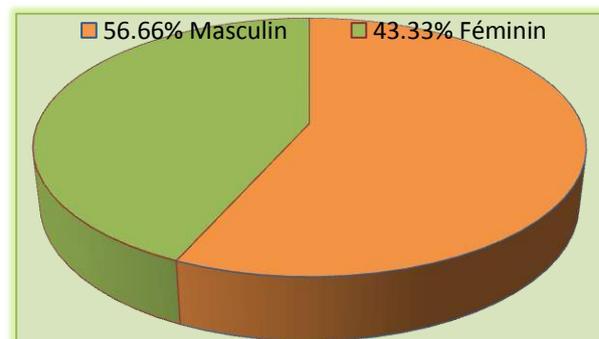
Nous allons présenter les réponses subjectives apportées par les quatre groupes usagers interrogés qui passent leur étude dans les quatre salles de classe type. Cette présentation s'effectue en comparant les réponses des groupes d'occupants de chaque salle de classe.

I.4.1. Présentation d'échantillon (critère de choix des occupants) :

Question1: Sexe

Sexe	Féminin		Masculin	
	N	%	N	%
Classe 01	6	40	9	60
Classe 02	6	40	9	60
Classe 03	8	53.33	7	46.66
Classe 04	6	40	9	60

Tableau V.1: Répartition des occupants selon le sexe. **Source :** Auteur.



Graph V.1: Répartition des occupants globale selon le sexe. **Source :** Auteur.

Le graph V.1 indique la répartition des occupants(60) selon leur sexe.

Question 2 : l'âge.

Age (ans)	17 - 21		22 -25		26 - 31		32 - 35		36 - 40		+ 40	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Classe 01	7	46.66	5	33.33	2	13.33	-	-	1	6.66	-	-
Classe 02	7	46.66	5	33.33	-	-	-	-	3	20	-	-
Classe 03	2	13.33	2	13.33	4	26.66	3	20	1	6.66	3	20
Classe 04	3	20	9	60	-	-	-	-	2	13.33	1	6.66

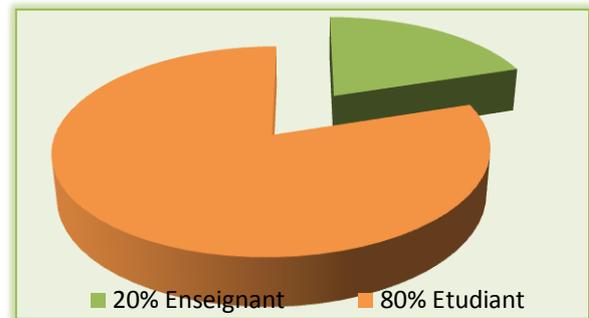
Tableau IV.2: Répartition des occupants selon la tranche d'âge. **Source :** Auteur.

Le graphe V.2 montre les différentes tranches d'âge qui occupe chaque classe ou l'échantillon choisi a touché les différents niveaux pédagogiques de 1^{er} année licence de 17-21 ans jusqu'à la 2^{ème} année master de 22 -31, sans oublier la tranche d'âge des enseignants de 26 - +40.

Question 3 : groupe d'usages

Groupe d'usage	Enseignant	Etudiant
Nombre de groupe	03	12
%	20	80
Nombre total	12	48
%	20	80

Tableau V.3: Répartition des occupants selon le groupe d'usages. **Source :** Auteur.



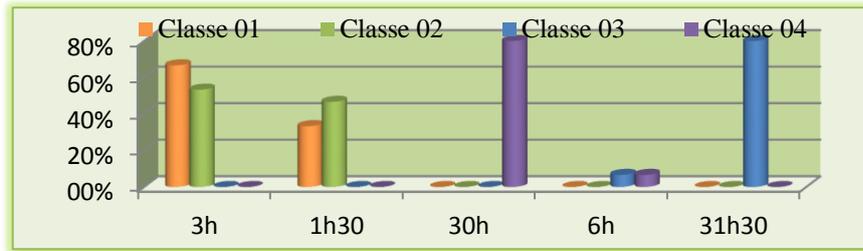
Graphe V.2: Répartition des occupants selon le groupe d'usages. **Source :** Auteur.

Le Tableau V.3 présente la répartition des occupants selon le groupe d'usages ou le nombre des étudiants plus de celle des enseignants car les étudiants sont nombreux et ils passent plus de temps dans la classe (d'après l'emploi de temps des salles de classe type). Donc pour notre échantillon on a choisi un personnage de 20% d'enseignants et 80% d'étudiants.

Question 4 : durée d'occupation des salles de classe.

Durée (Semaine/jour)	3h		1h30		30h		9h		6h		31h30	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Classe 01	10	66.66	5	33.33	-	-	-	-	-	-	-	-
Classe 02	8	53.33	7	46.66	-	-	-	-	-	-	-	-
Classe 03	-	-	-	-	-	-	2	13.33	1	6.66	12	80
Classe 04	-	-	-	-	12	80	2	13.33	1	6.66	-	-

Tableau V.4: Répartition des occupants selon leurs durées d'occupation des classes. **Source :** Auteur.



Graph V.3: Répartition des occupants selon leurs durées d'occupation des classes. Source : Auteur.

Le graphe V.3 montre que les occupants de département d'architecture passent une durée de 1h30 à 3h par jour car ils passent quelque module hors les salles de classe, par contre les occupants de département de génie civil passent une longue durée de 6h à 31h30/ semaine.

I.4.2. Présentation et interprétation des résultats du questionnaire:

Question 5 : Position des occupants par rapport la fenêtre.

Position	A proximité		Eloigner	
	N	%	N	%
Classe 01	8	53.33	7	46.66
Classe 02	11	73.33	4	26.66
Classe 03	5	33.33	10	66.66
Classe 04	7	46.66	8	53.33

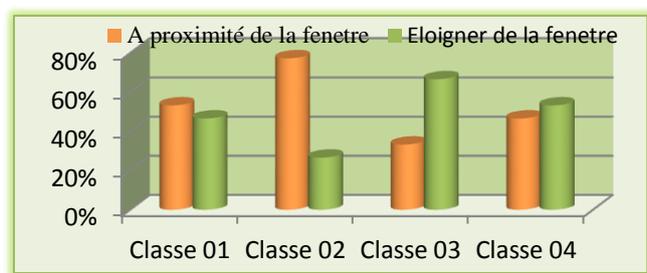


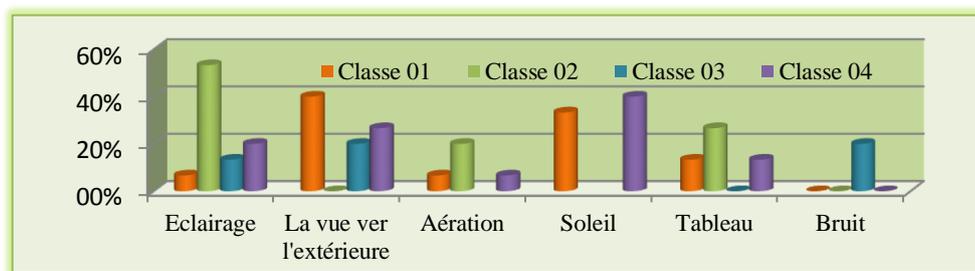
Tableau V.5: Répartition des occupants selon leur position par rapport la fenêtre. Source : Auteur.

Graph V.4: Répartition des occupants selon leur position par rapport la fenêtre. Source : Auteur.

Le graphe V.4 indique que la plupart des occupants des classes 01, 02 d'une orientation Sud-Est et Nord-Ouest préfèrent la place à côté de la fenêtre, tandis que les occupants des classes 03, 04 d'une orientation Nord-Est et Sud-Ouest préfèrent une place éloignée.

Justification	Eclairage		La vue ver l'extérieure		Aération		Soleil		Tableau		Bruit	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Classe 01	1	6.66	6	40	1	6.66	5	33.33	2	13.33	0	-
Classe 02	8	53.33	0	-	3	20	0	-	4	26.66	0	-
Classe 03	2	13.33	3	20	0	-	7	-	0	-	3	20
Classe 04	2	20	4	26.66	1	6.66	6	40	2	13.33	0	-

Tableau V.6: Répartition des occupants selon la justification de leur position par rapport la fenêtre. Source : Auteur.



Graph V.5: Répartition des occupants selon la justification de leur position par rapport la fenêtre. Source : Auteur.

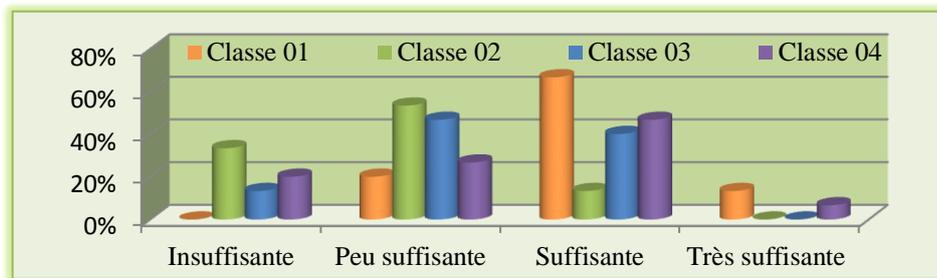
Les occupants des classes qui ont préférés une place à proximité de la fenêtre, leurs justifications étaient pour des raisons d'intensité d'éclairage, la vue vers l'extérieur et l'aération, temps que la plus part des occupants des classes qui ont préférés une place éloigner de la fenêtre leurs justifications étaient pour des raisons le bruit et la pénétration directe du soleil à proximité de la fenêtre qui gêne la vision vers le tableau .

Question 6 : Taux de luminosité dans les salles de classe en hiver :

Lumière naturelle en hiver	Insuffisante		Peu suffisante		Suffisante		Très suffisante	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Classe 01	0	0	3	20	10	66.66	2	13.33
Classe 02	5	33.33	8	53.33	2	13.33	0	0
Classe 03	2	13.33	7	46.66	6	40	0	0
Classe 04	3	20	4	26.66	7	46.66	1	6.66

Tableau V.7: Répartition des occupants selon le taux de luminosité dans les salles de classe en hiver.

Source : Auteur.



Graphique V.6: Répartition des occupants selon le taux de luminosité dans les salles de classe type en hiver. Source : Auteur.

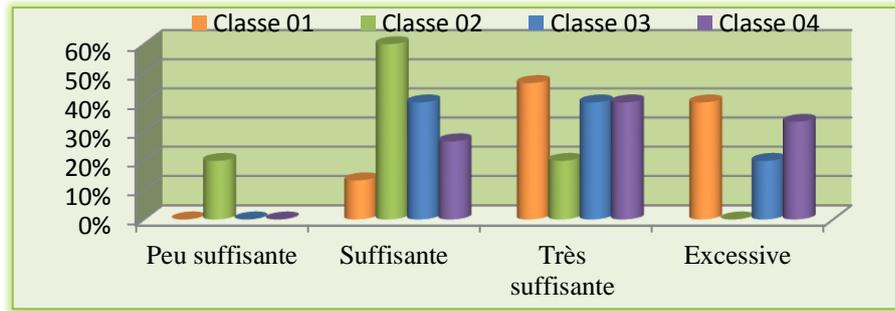
Le graphique V.6 indique que les occupants des deux salles de classe 01, 04 orientées Sud-Est et Sud-Ouest ont trouvés qu'en hiver la lumière naturelle est : suffisante avec un pourcentage de 66.66% pour la salle 01 et 46.66%, et très suffisante avec un pourcentage de 13.33% (Salle 01) et 6.66% (Salle 04).

Tandis que les occupants des deux salles de classe 02, 03 orientées Nord – Ouest, Nord – Est ont trouvés qu'en hiver la lumière naturelle est : peu suffisante avec un pourcentage de 53.33% (Salle 02) et 46.66% (Salle 03), et insuffisante avec un pourcentage de 33.33% (Salle 02) et 13.33% (Salle 03)

Question 7: Taux de luminosité dans les salles de classe en été :

Lumière naturelle en été	Peu suffisante		Suffisante		Très suffisante		Excessive	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Classe 01	-	-	2	13.33	7	46.66	6	40
Classe 02	3	20	9	60	3	20	-	-
Classe 03	-	-	6	40	6	40	3	20
Classe 04	-	-	4	26.66	6	40	5	33.33

Tableau IV.8: Répartition des occupants selon le taux de luminosité dans les salles de classe type en été. Source : Auteur.



Graphique V.7: Répartition des occupants selon le taux de luminosité dans les salles de classe type en été. **Source :** Auteur.

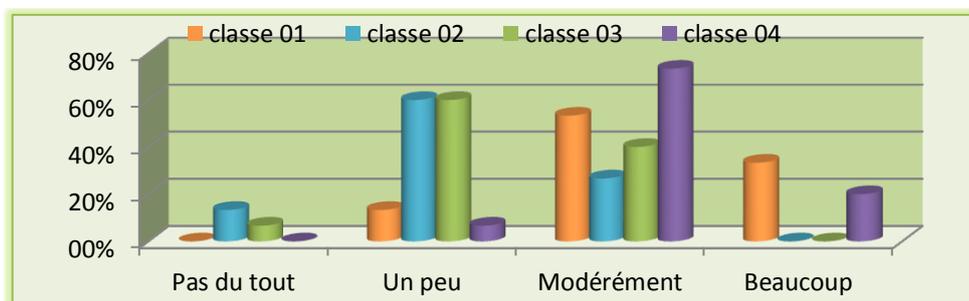
Le tableau V.8 indique que 95% des occupants des classes type ont trouvés qu'en été la lumière naturelle est suffisante et 5% l'ont trouvés peu suffisante ce qui indique que l'éclairage naturel est optimum pendant la période estivale.

La comparaisant des résultats des quatre classes type indique que les occupants des trois salles de classe 01, 03 et 04 ont trouvés qu'en été la lumière naturelle est très suffisante voir excessive avec un pourcentage de 86.66% pour la salle 01, 60% pour la salle 03 et 73.33% pour la salle 04 .Tandis que les occupants de la salle 02 orientée Nord – Ouest ont la trouvés suffisante avec un pourcentage de 60% et de 20% Peu suffisante.

Question 8 : le taux d'ensoleillement direct dans les salles de classe :

Lumière solaire directe	Pas du tout		Un peu		Modérément		Beaucoup	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Classe 01	-	-	2	13.33	8	53.33	5	33.33
Classe 02	2	13.33	9	60	4	26.66	0	-
Classe 03	1	6.66	9	60	6	40	0	-
Classe 04	-	-	1	6.66	11	73.33	3	20

Tableau V.9: Répartition des occupants selon le taux d'ensoleillement direct dans les salles de classe type. **Source :** Auteur.



Graphique V.8: Répartition des occupants selon le taux d'ensoleillement direct dans les salles de classe type. **Source :** Auteur.

Le tableau V.9 indique que 40% des occupants des classes type apprécient peu ou pas du tout la présence de la lumière solaire directe dans leur champ de vision, alors que 60% apprécient ce genre de phénomène d'inconfort visuel. Ou les occupants des deux classes

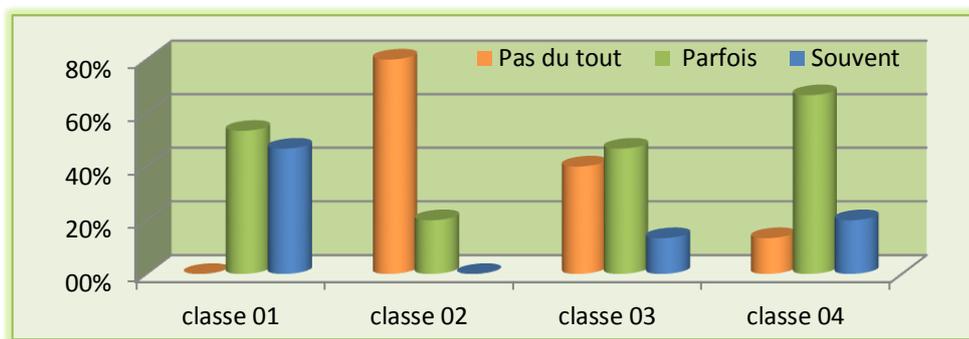
01, 04 orientent Sud-Est et Sud –Ouest indiquent sont les plus beaucoup gênés par présence de la lumière solaire directe par un pourcentage de 33.33% (salle 01) et 20% (salle 04).

Question 9 : Présence rapportée des taches solaires sur le plan de travail :

Lumière solaire directe	Pas du tout		Parfois		Souvent	
	N	%	N	%	N	%
Classe 01	-	-	8	53.33	7	46.66
Classe 02	12	80	3	20	-	-
Classe 03	6	40	7	46.66	2	13.33
Classe 04	2	13.33	10	66.66	3	20

Tableau V.10: La présence des taches solaires rapportée sur le plan de travail.

Source : Auteur.



Graphique V.9: La présence des taches solaires rapportée sur le plan de travail. Source : Auteur.

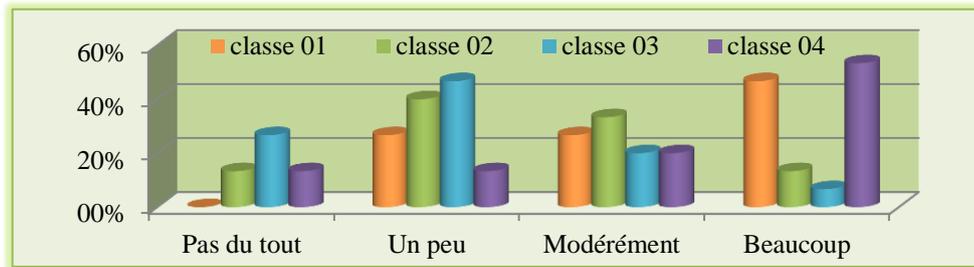
Les résultats obtenus montrent que 66.66% des occupants des trois salles de classe 01, 03 et 04 sont touchés par la présence des taches solaires sur leurs plans utiles ce qui indique que le soleil pénètre dans ses salles de classe type mais d'une manière différent selon leurs orientation sans oublier bien sûr que la plus part des occupants de ses classe type préfèrent une place à côté de la fenêtre, ou :

La salle 01 orientée Sud-Est présente un pourcentage de 46.66% souvent touchés et 53.33% parfois touchés par la tâche solaire, la salle 04 orientée Sud-Ouest présente un pourcentage de 20% souvent touchés et 66.66% parfois touchés par la tâche solaire, ensuite la salle 03 Nord – Est qui présente un pourcentage de de 13.33% souvent touchés et 46.66% parfois touchés par la tâche solaire. Par contre la salle 02 orientée Nord– Ouest présente un pourcentage de 80% pas du tout touchés et 20% parfois touchés par la tâche solaire qui indique que la salle est rarement touchée par la pénétration des rayons solaire vue leur orientation.

Question 10 : Le gêne à cause de réflexion des rayons solaires ou diffus sur le tableau :

réflexion des rayons solaires ou diffus	Pas du tout		Un peu		Modérément		Beaucoup	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Classe 01	-	-	4	26.66	4	26.66	7	46.66
Classe 02	2	13.33	6	40	5	33.33	2	13.33
Classe 03	4	26.66	7	46.66	3	20	1	6.66
Classe 04	2	13.33	2	13.33	3	20	8	53.33

Tableau V.11: Le gêne rapporté à cause de réflexion des rayons solaires ou diffus sur le tableau. **Source :** Auteur.



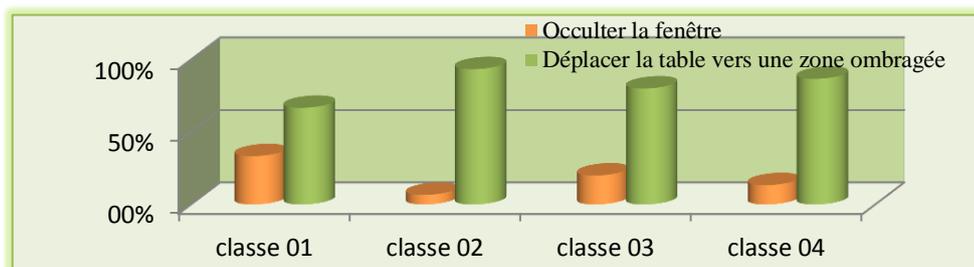
Graphique V.10: Le gêne rapporté à cause de réflexion des rayons solaires ou diffus sur le tableau. **Source :** Auteur.

Le graphique V.10 montre que les occupants des classe 01 et 04 sont les plus beaucoup gênés par la réflexion des rayons solaires ou diffus sur le tableau avec un pourcentage de 46.66% (salle 01) et 53.33% (salle 04) vu la pénétration directe des rayons solaires compte à leur orientation. Tandis que les occupants des classe 02 et 03 déclarent qu'ils sont un peu et parfois pas du tout gênés par la réflexion des rayons solaires ou diffus sur le tableau avec un pourcentage de 46.66% un peu et 26.66% pas du tout gênés au niveau de la classe 03 et 40% un peu et 13.33% pas du tout gênés au niveau de la classe 02.

Question 11: Réaction contre l'intensité des rayons solaires :

Solution contre l'intensité des rayons solaires	Oculter la fenêtre		Déplacer la table vers une zone ombragée	
	N	%	N	%
Classe 01	5	33.33	10	66.66
Classe 02	1	6.66	14	93.33
Classe 03	3	20	12	80
Classe 04	2	13.33	13	86.66

Tableau V.12: Répartition des occupants selon leurs réactions aux rayons solaires intenses. **Source :** Auteur.



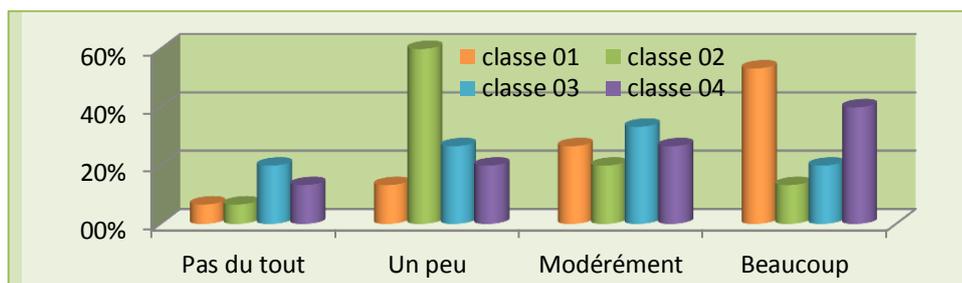
Graphique V.11: Répartition des occupants selon leurs réactions aux rayons solaires intenses. **Source :** Auteur.

81.66% des occupants des classes type ont recours à déplacer leurs tables vers une zone ombragée à cause des manques d'une occultation par rideau quand les rayons solaires sont intenses. Un pourcentage de 33.33% (salles 01), 20% (salles 03) et 13.33 (salle 04) des occupants ont recours a acculer les fenêtres l'observation au niveau de ses classe type montre que les étudiants d'architecture utilisent leurs feuilles d'affichage pour occulter la fenêtre comme solution contre intensité des rayon solaires hourque les étudiants de génie civil utilisent leurs vêtements. En effet d'autres réactions sont envisagées tel que protéger par la partie apparente des poteaux, se protéger avec les mains.

Question 12 : Gêne à cause de l'éblouissement:

Eblouissement des rayons solaires	Pas du tout		Un peu		Modérément		Beaucoup	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Classe 01	1	6.66	2	13.33	4	26.66	8	53.33
Classe 02	1	6.66	9	60	3	20	2	13.33
Classe 03	3	20	4	26.66	5	33.33	3	20
Classe 04	2	13.33	3	20	4	26.66	6	40

Tableau V.13: Répartition des occupants selon leurs degrés de gêne à l'éblouissement.
Source : Auteur.



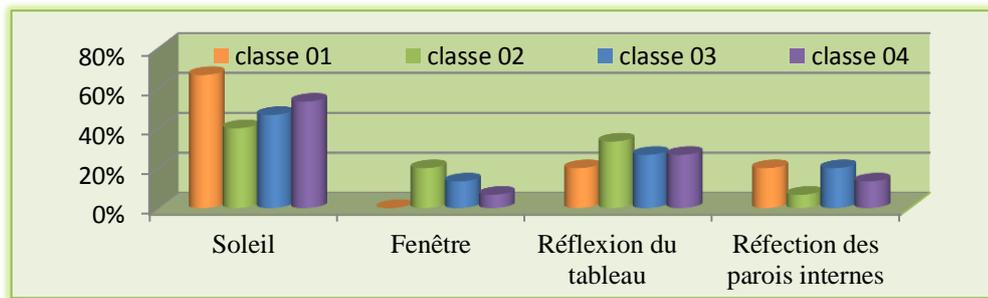
Graphique V.12: Répartition des occupants selon leurs degrés de gêne à l'éblouissement.
Source : Auteur.

Le graphe V.12 montre que le taux le plus élevé des occupants gênés par l'éblouissement est celui des salles de classe 01, 03 et 04 qui sont orientées Sud-Est, Nord- Est et Sud –Ouest tandis que la salle 02 orienté Nord- Ouest présente un pourcentage de 80% d'occupants un peu gênés par l'éblouissement.

Question 13 : les sources d'éblouissement gênent.

Source d'éblouissement	Soleil		Fenêtre		Réflexion du tableau		Réflection des parois internes	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Classe 01	9	66.66	0	0	3	20	3	20
Classe 02	6	40	3	20	5	33.33	1	6.66
Classe 03	7	46.66	2	13.33	4	26.66	2	13.33
Classe 04	8	53.33	1	6.66	4	26.66	2	13.33

Tableau V.14: Répartition des occupants selon les sources d'éblouissement.
Source : Auteur.



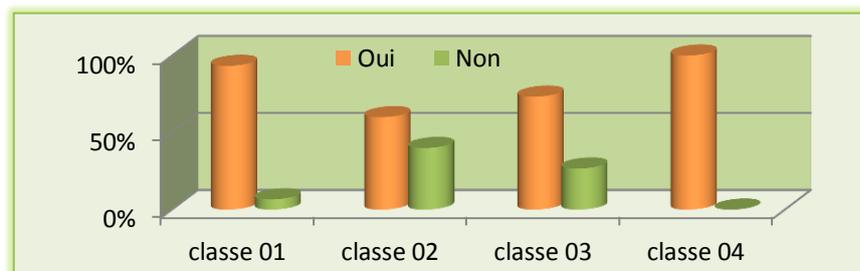
Graphique V.13: Répartition des occupants selon les sources d'éblouissement. **Source :** Auteur.

50% des occupants des classes types indiquent que le facteur soleil est le premier source d'éblouissement, alors que la réflexion du tableau éblouit 26.66% des occupants et 13.33% par la réflexion des parois intérieures tandis que les fenêtres 10% des occupants.

Question 14 : Le contrôler de la pénétration des rayons solaires à l'aide d'une protection solaire

Contrôle la pénétration des rayons solaires	Oui		Non	
	N	%	N	%
Classe 01	14	93.33	1	6.66
Classe 02	9	60	6	40
Classe 03	11	73.33	4	26.66
Classe 04	15	100	-	-

Tableau V.15: Répartition des occupants selon leur besoin de protection solaire. **Source :** Auteur.



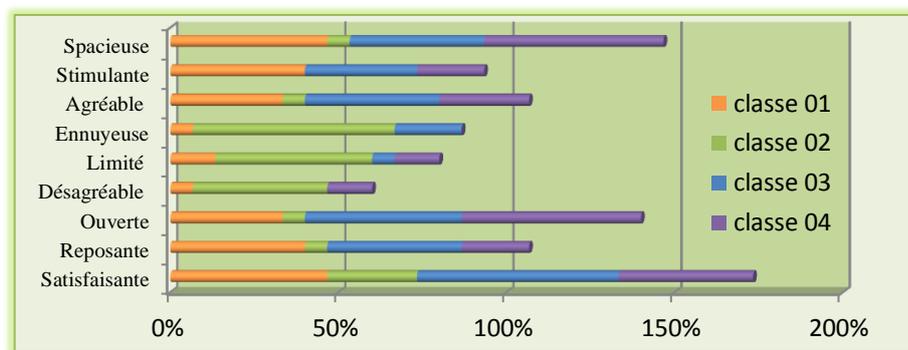
Graphique V.14: Répartition des occupants selon leur besoin de protection solaire. **Source :** Auteur.

Les résultats d'interrogation indiquent que 81.66% des occupants ont répondu qu'ils ont besoins d'une protection solaire car d'après l'observation on a remarqué que les salles ne contiennent pas un système de protection solaire, alors que 18.33% répondent par la négation, avec un pourcentage de 40% au niveau de la salle de classe 02 ou le soleil rarement pénètre.

Question 15 : Qualification de la vue vers l'extérieur :

Caractéristiques de la vue vers l'extérieur	Classe 01		Classe 02		Classe 03		Classe 04	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Satisfaisante	7	46.66	4	26.66	9	60	6	40
Reposante	6	40	1	6.66	6	40	4	20
Ouverte	5	33.33	1	6.66	7	46.66	8	53.33
Désagréable	1	6.66	6	40	0	0	2	13.33
Limité	2	13.33	7	46.66	1	6.66	2	13.33
Ennuyeuse	1	6.66	9	60	3	20	0	0
Agréable	5	33.33	1	6.66	6	40	4	26.66
Stimulante	6	40	0	0	5	33.33	3	20
Spacieuse	7	46.66	1	6.66	6	40	8	53.33

Tableau V.16: Répartition des occupants selon leurs qualifications de la vue vers l'extérieur. Source : Auteur.



Graphique V.15: Répartition des occupants selon leurs qualifications de la vue vers l'extérieur. Source : Auteur.

D'après les avis des occupants indiquent dans le tableau V.16 on peut qualifier la vue vers l'extérieur de chaque classe type comme suivant :

Salle 01 : Satisfaisante, Reposante, Ouverte, Stimulante, Agréable, Spacieuse.

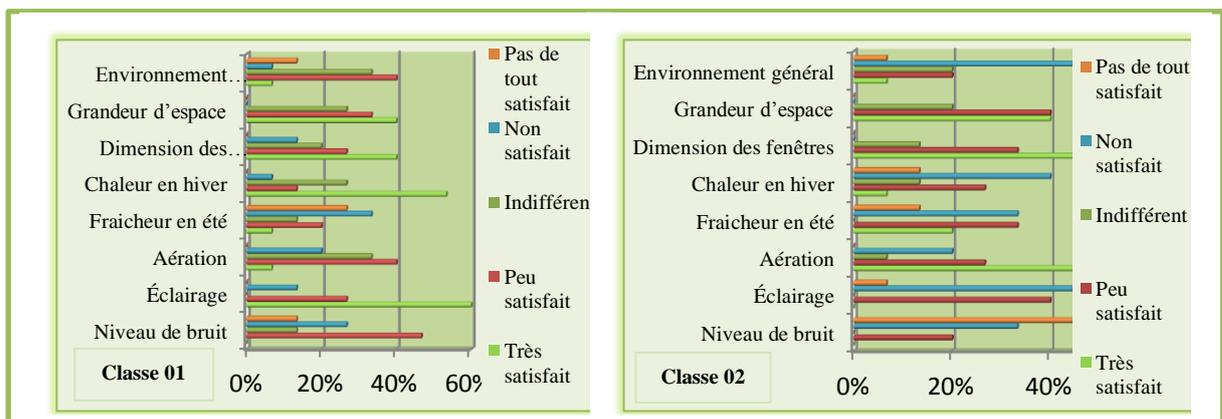
Salle 02 : Désagréable, Limité, Ennuyeuse.

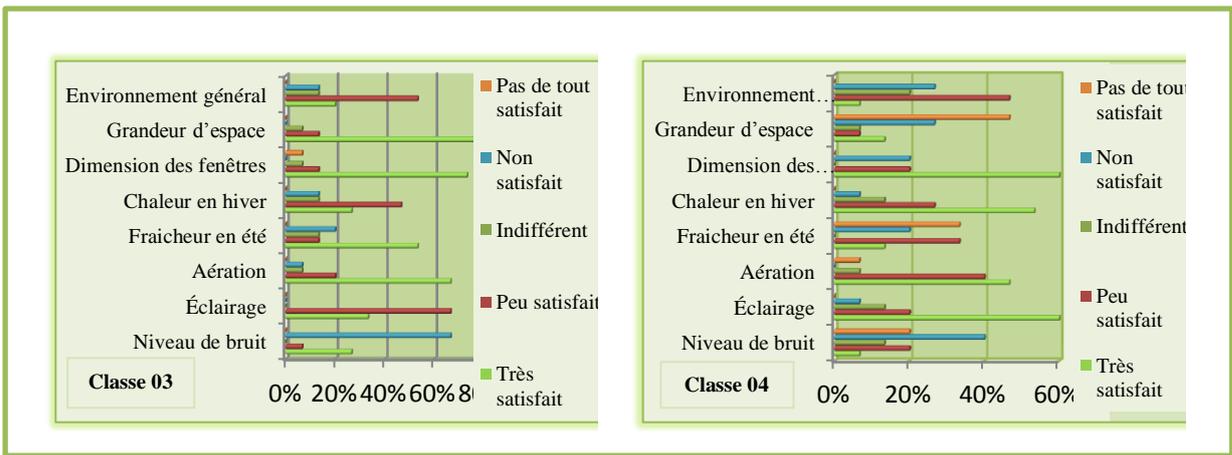
Salle 03: Satisfaisante, Reposante, Ouverte, Agréable, Spacieuse.

Salle 04: Satisfaisante, Ouverte, Spacieuse.

Donc : Pratiquement tous les occupants sont satisfaits de la vue vers l'extérieur à part celui de la classe 02 car la vue est fermée par une obstruction (un mur) qui limite le contact vers l'extérieur.

Question 16 : Caractéristiques des salles de classe :





Graph V.16: Répartition des occupants selon leurs degrés de satisfaction. Source : Auteur.

Le graphe V.16 montre que :

Les occupants des salles de classe orientées Sud-Est et Sud-Ouest sont satisfait caractéristiques suivantes : éclairage, car les salles ont un taux de luminosité élevé (voir la question 06 et 07) et Chaleur en hiver car en générale l'orientation Sud capte le maximum des rayons solaires. Tandis qu'ils sont non satisfaits et à la fois pas du tout satisfaits de fraîcheur en été à cause de surchauffe du a la pénétration directe de soleil et l'absence des protections solaires.

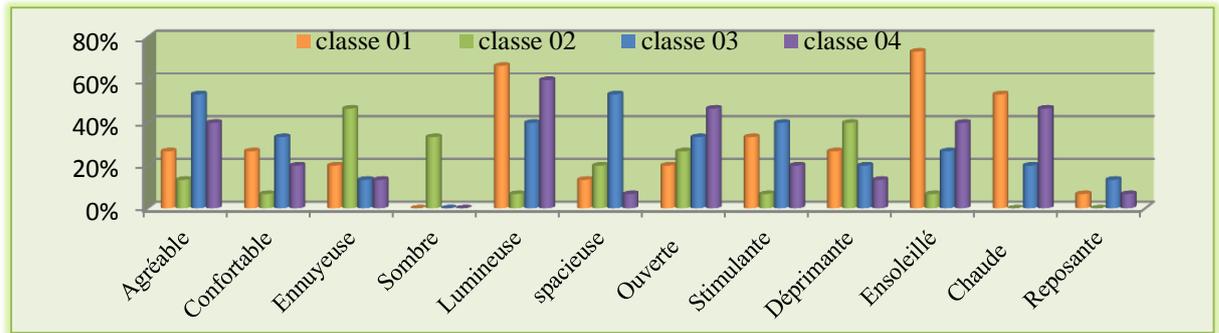
Les occupants des salles de classe orientées Nord-Est et Nord-Ouest sont satisfait des caractéristiques suivantes : Aération, dû à la grandeur des dimensions des fenêtres et la fraîcheur en été car l'orientation Nord est moins exposée au soleil. Tandis qu'ils sont non satisfaits et à la fois pas du tout satisfaits de Chaleur en hiver car l'orientation Nord est la direction des vents froid et elle moins exposée au soleil.

Généralement les occupants des salles de classe type sont satisfaits de : Dimension des fenêtres, Grandeur d'espace sauf la classe 04.

Question 17: l'impression des occupants vis à vis de leurs classes :

Caractéristiques des salles de classe type	Classe 01		Classe 02		Classe 03		Classe 04	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Agréable	4	26.66	2	13.33	8	53.33	6	40
Confortable	4	26.66	1	6.66	5	33.33	3	20
Ennuyeuse	3	20	7	46.66	2	13.33	2	13.33
Sombre	0	0	5	33.33	0	0	0	0
Lumineuse	10	66.66	1	6.66	6	40	9	60
spacieuse	2	13.33	3	20	8	53.33	1	6.66
Ouverte	3	20	4	26.66	5	33.33	7	46.66
Stimulante	5	33.33	1	6.66	6	40	3	20
Déprimante	4	26.66	6	40	3	20	2	13.33
Ensoleillé	11	73.33	1	6.66	4	26.66	6	40
Chaude	8	53.33	0	0	3	20	7	46.66
Reposante	1	6.66	0	0	2	13.33	1	6.66

Tableau V.17: Répartition des occupants selon la description de leurs classes. Source : Auteur.



Graphique V.17: Répartition des occupants selon la description de leurs classes. **Source :** Auteur.

Le tableau V.18 montre que :

Le groupe d'occupants ont qualifiés leurs salles de classe par les expressions suivantes :

Les salles de classe orientées Sud-Est et Sud-Ouest : Lumineuse, Stimulante, Agréable, Ouverte : car les deux salles ont un taux de luminosité élevé et une vue ouverte et belle vers l'extérieur.

Ensoleillé et Chaude à cause de surchauffe due à la pénétration directe de soleil et l'absence des protections solaires.

La salle orientée Nord-Est : Agréable, Confortable, Lumineuse, Spacieuse, Ouverte, Stimulante : car la salle a un taux de luminosité satisfaisant et une vue très ouverte et belle vers l'extérieur et une grandeur d'espace très satisfaisante.

La salle orientée Nord-Ouest : Ennuyeuse, Sombre, Déprimante : car la salle a un taux de luminosité faible et une vue limitée vers l'extérieur (l'existence d'un mur qui limite la vue vers l'extérieur).

I.4.3. Synthèse :

L'enquête par questionnaire est un outil d'investigation qui nous a permis de collecter les avis des occupants sur leurs salles de classe.

Les réponses des étudiants montrent clairement que les conditions d'éclairage naturel se différencient d'une classe type à une autre, ou ils les ont qualifiées comme suit :

- La salle N01 et N04 orientée Sud-Est et Sud-Ouest : la présence de lumière est suffisante voire très suffisante en hiver tandis qu'en été elle est très suffisante voire excessive. Les étudiants sont gênés par la présence des taches solaires sur leurs tables, d'éblouissement, la réflexion des rayons solaires et la surchauffe d'été, tandis qu'ils qualifient leurs classes par les expressions : Lumineuse, Ensoleillé et Chaude.

La salle N02 orientée Nord-Ouest: la présence de lumière est insuffisante en hiver tandis qu'en été elle est suffisante. Les étudiants sont gênés parfois par la réflexion des rayons

solaires, d'éblouissement et la froid d'hiver, tandis qu'ils qualifient leur classe par les expressions : Ennuyeuse, Sombre, Déprimante.

La salle N03 orientée Nord-Est: la présence de lumière est peut suffisante en hiver tandis que en été elle très suffisante. Les étudiants sont gênés parfois par la présence des taches solaires sur leurs tables, d'éblouissement et la chaleur en hiver, tandis qu'ils qualifient leurs classes par les expressions : Agréable, Confortable, Lumineuse, Spacieuse, Ouverte, Stimulante.

Les réponses des usagers n'ont pas suffisantes pour bien qualifier l'éclairage et l'ambiance lumineuse dans les salles de classe types, car elles peuvent être influencé par des critères subjective (ce qui on a remarqué à travers les discussions avec les étudiants et l'interprétation des résultats). Donc pour diversifier et certitude notre résultat recherche concernant la qualité d'éclairage dans les salles de classe type on va utiliser une autre technique de recherche qui est : l'observation

II. Evaluation qualitative de l'éclairage naturel dans les salles de classe : technique d'observation :

II.1. Définition d'observation :

Une technique de recherche scientifique qui permet d'observer un groupe de façon non directive pour faire un prélèvement qualitatif en vue de comprendre des attitudes et des comportements (Farhi, A.,2014).

L'observation directe est décrite comme une observation où le chercheur est présent sur le terrain. A partir d'une grille d'observation, il note, décrit les comportements des acteurs au moment où ils se produisent, tels que les conduites des élèves et des enseignants en classe. L'observation consiste donc à regarder se dérouler sur une période de temps donnée des comportements ou des événements et à les enregistrer (Paul N'DAn., 2002).

II.2. Travail sur terrain :

Le but de recours à l'utilisation de la technique d'observation, étant d'arriver à une description qui permettrait de caractériser l'ambiance visible dans l'environnement lumineuse des salles de classe type, représentée sur une image photographique ainsi la prise des notes à partir d'une grille d'observation. L'observation a déroulé sur une période de sept mois comme suivant :

II.2.1. Le choix des saisons et les mois d'observation : le choix a été fait correspondant au choix des mois de prise des mesures d'éclairage inclus dans la partie expérimentale comme suivant :

- Hiver : les mois de Décembre - Janvier - Février. - Printemps : les mois de Mars – Avril.
- Eté : les mois de Mai – Juin.

II.2.2. Le choix des heures :

Après le recours à l'emploi du temps de chaque classe type on a remarqué que les étudiants occupent les salles de classe le matin de 8 :00h à 12 :45h et le soir de 14 :20h à 15 :50h. Donc on a choisi de prendre les photos et les observations au milieu de chaque séance d'étude comme suivant :

La matinée à : 8 :30 h, 10:00h et 11:30h pour avoir les différents changements apparents au temps dans l'environnement lumineux.

Le soir à : 15 :00h le choix a été fait correspondant au choix d'heure des mesures.

II.2.3. La prise des notes sur terrain à partir d'une grille d'observation :

Plusieurs investigations ont eu pour objectif de caractériser verbalement un environnement lumineux, tel que les études de Nakamura et Inui, Loe et al (COUTELIER, B., 2006) qui ont trouvé un lien entre l'aspect perçu d'un environnement lumineux et la répartition de ses luminances pour décrire l'ambiance lumineuse dans un espace.

En anglais		En français	
spacious	Cramped	spacieux	étroit
Bright	Dark	lumineux	sombre
Open	Closed	ouvert	fermé
Natural	Unnatural	Naturel	artificiel
Soft	Hard	Doux	Difficile
Unified	Incoherent	uniforme	Incohérent
Stable	Disturbing	Stable	Troublant
varied	Monotonous	varié	monotone

Tableau V.18 : Echelles sémantiques utilisées par Nakamura et Inui. **Source :** COUTELIER, B., 2006.

En anglais		En français	
Uniform	Non-uniform	uniforme	no uniforme
Interesting	Uninteresting	Intéressant	ennuyeux
Pleasant	Unpleasant	Agréable	désagréable
Comfortable	Uncomfortable	Confortable	inconfortable
Stimulating	Subduing	Stimuler	soumettant
Radiant	Gloomy	radiante	Sombre
Tense	Relaxed	tendu	Détendu
Dramatic	diffuse	Dramatique	diffuser
Spacious	Confined	spacieux	étroit

Tableau V.19 : Echelles sémantiques utilisées par Loe et al. **Source :** COUTELIER, B., 2006.

En effet la recherche établie par le groupe de recherche Salma Chaabouni, Jean-Claude Bignon et Gilles Halin (Chaabouni S. Halin G. Bignon J,C., 2007) a pour but d'arriver à une définition qui permettrait de caractériser une ambiance visible, représentée sur une image photographique.

Ils distinguèrent une « ambiance lumineuse vécue » (perçue dans un espace construit) et une « ambiance lumineuse vue » (représentée / perçue à partir d'une image photographique).

De ce fait l'individu n'est plus un sujet qui interagit avec l'espace réel mais avec l'espace représenté. Ils caractérisent donc une ambiance lumineuse vue comme le résultat d'une interaction entre un individu, un usage connu ou supposé et une lumière naturelle et un espace qui sont représentés

D'une ambiance lumineuse « représentée » lorsque les interactions suivantes sont réunies et visibles :

- Lumière naturelle / Usage : concerne la qualité et la quantité de la lumière.
- Lumière naturelle / Espace : concerne les effets de la lumière.
- Espace / Usage : concerne les dispositifs lumineux; les configurations formelles et spatiales.

A la base de ces études ainsi les paramètres de confort visuel (voir le chapitre III) nous avons mené une réflexion sur les différents termes utilisés couramment pour aboutir à une grammaire descriptive dédiée à décrire l'environnement lumineux dans les salles de classe type, ce qui nous permis d'évaluer qualitativement par heures, mois et saison l'ambiance lumineuse de l'environnement d'étude.

Caractéristiques qualificatives de l'environnement lumineux			
Tache solaire	Réflexion des rayons solaires		Ensoleillé
Eblouissement	Eclairée	Sombre	Stimulante
absence d'éblouissement	Contrastée	Uniformité	Rendu de couleur

Tableau V.20 : Caractéristiques qualificatives de l'environnement lumineux des salles de classe.
Source : Auteur.

II.3. Présentation et interprétation de l'environnement lumineux du cas d'étude

Classe 01 orienté Sud-Est la période : Décembre - Janvier	
8 :30 h	 <p>Eclairage naturel distincts durant la période matinale.</p>
10:00 h	 <p>la pénétration directe du soleil a créé un rapport entre des zones lumineuses et autre ombragée, la photo montre des contrastes excessifs de luminance dans l'espace qui a produit d'éblouissement au niveau de plan de travail et les surfaces intérieur.</p>
11:30 h	 <p>la présence de la lumière a divisée l'espace en deux :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la zone proche de la fenêtre caractérisée par une luminance excessive + la présence de quelque tache solaire qui a créée des zones d'éblouissements. - zone éloignée de la fenêtre caractérisée par une luminance réduite sans risque d'éblouissement.
15:00 h	 <p>les deux photos sont prises dans des conditions de ciel différentes.</p> <ul style="list-style-type: none"> - la première présente un état de ciel dégagé, elle est caractérisée par la présence d'une lumière harmonieuse no éblouissante avec un bon rendu de couleur. - la deuxième présente un état de ciel couvert, elle est caractérisée par la présence d'une lumière faible qui rende la salle un peu sombre avec une sensation ennuyeuse.

Classe 02 orienté Nord-Ouest la période : Décembre - Janvier

8 :30
h



la classe est totalement sombre qui montre un manque de présence de la lumière à l'intérieur de l'espace et donne une sensation de calme, pénombre.

10:00
h



la salle reste un peu sombre avec la présence d'un peu de lumière.

11:30
h



La salle est rendue :

- claire et lumineuse par un rendu de couleur plus ou moins bon.
- la présence de la réflexion des rayons solaires au niveau des parois et les tables qui sont proches de la fenêtre sans oublier l'éblouissement de la paroi parallèle au tableau

15:00
h



la salle est plus claire et lumineuse avec l'augmentation des risques d'éblouissement et la réflexion des parois.

Classe 03 orienté Nord-Est la période : Décembre - Janvier

8 :30
h



la classe est sombre avec des zones un peu éclairé proche de la fenêtre qui présente l'effet de réflexion des rayons solaires sur le tableau et les parois intérieurs.

10:00
h



Les deux photos sont prises dans des conditions de ciel différentes.

- La première présente un état de ciel couvert, elle est caractérisée par la présence d'une lumière faible qui rende la salle un peu sombre avec e une sensation ennuyeuse.
- La deuxième présente un état de ciel dégagé, elle est caractérisée par la présence d'une lumière avec un degré de luminance différent augmente proche de la fenêtre avec un grand effet d'éblouissement au niveau des parois et le tableau et se diminue loin à se dernière.

11:30
h



la présence de la lumière d'une manière plus au moins homogène avec un degré de luminosité équilibré.

15:00
h



L'augmentation du degré de luminosité a subdivisé l'espace en deux :

- Une zone plus éclairé proche de la fenêtre ou il apparut l'effet d'éblouissement sur les tables et les parois interne et le tableau.
- Une zone un peu sombre au profond de la salle.

Classe 04 orienté Sud-Ouest la période : Décembre - Janvier	
8 :30 h	 <p>la salle est un peu éclairée d'une manière uniforme sans éblouissement.</p>
10:00 h	 <p>la salle est bien éclairée, on observe la présence de réflexion des rayons directs dans la partie proche de la fenêtre.</p>
11:30 h	 <p>l'augmentation de l'intensité de la lumière par conséquent la présence d'éblouissement gênant sur le tableau et les tables.</p>
15:00 h	 <p>La pénétration directe du soleil a créé un rapport entre des zones éclairées et autre ombragée, la photo montre des contrastes de luminance excessifs dans l'espace. donc l'espace est divisé en deux :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la partie ensoleillée proche de la fenêtre qui est caractérisée par la présence des taches solaires sur les tables. - la partie ombragée éloignée de la fenêtre caractérisée par la présence d'une lumière homogène.

Tableau V.21 : interprétation des photos pris la période : Décembre - Janvier. **Source** : Auteur.

Classe 01 orienté Sud-Est la période : Mars - Avril

8 :30
h



la présence des taches solaires sur les tables et le bureau qui a engendré d'éblouissement direct sur la paroi de tableau, en effet l'espace est divisé en deux parties d'une luminosité différente :

- Une partie ensoleillée et moins occupée proche de la fenêtre.
- Une partie ombragée et plus occupée éloignée de la fenêtre.

10:00
h



L'augmentation de la pénétration des rayons solaires directs qui a amplifié le contraste de luminance excessive dans l'espace et l'éblouissement direct.

11:30
h



La diminution de la pénétration de soleil avec la présence d'éblouissement au niveau de plafond qui a engendré la présence d'une lumière presque homogène avec un bon rendu de couleur, ou les occupants ont occupés l'arrière d'espace pour leurs études.

15:00
h



L'absence totale des taches solaires et d'éblouissement avec la présence d'une lumière homogène d'une luminosité uniforme.

Classe 02 orienté Nord-Ouest la période : Mars - Avril	
<p>8 :30 h</p>	 <p data-bbox="341 600 1428 636">La classe est totalement sombre qui montre la présence d'une pénombre profonde.</p>
<p>10:00 h</p>	 <p data-bbox="341 967 1428 1151">La pénétration de la lumière d'une manière hétérogène qui a divisé l'espace comme suivant : - Une partie éclairée proche de la fenêtre avec un peu de réflexion des rayons solaire sur paroi et tables et tableau, la présence de l'ombre gênons sur tableau. - Une partie sombre éloigne de la fenêtre.</p>
<p>11:30 h</p>	 <p data-bbox="341 1518 1428 1590">La lumière inonde tout l'espace d'une luminosité différente avec la présence d'effet de réflexion des rayons directs éblouissant.</p>
<p>15:00 h</p>	 <p data-bbox="341 1921 1428 2020">La salle est plus éclairée dans la partie proche de la fenêtre avec la présence de réflexion des rayons solaires directs éblouissant, et d'une luminosité uniforme éloigne de la fenêtre.</p>

Classe 03 orienté Nord-Est la période : Mars - Avril

8 :30
h



la salle est éclairée par la présence d'une lumière uniforme mais on remarque la présence de réflexion des rayons sur les tables et le tableau qui engendré d'éblouissement et d'ombre gênons au niveau de ce dernier.

10:00
h



la luminosité est augmentée avec l'effet d'éblouissement sur les tables et les parois.

11:30
h



la présence des taches solaires a créé un éblouissement gênant sur les tables et la paroi dans la partie proche de la fenêtre avec la présence d'une lumière uniforme non éblouissante dans la partie éloigné de la fenêtre.

15:00
h



les deux photos sont prises dans un état de ciel différent :

- la première photo montre : la présence d'éblouissement sur les tables et le tableau ou il est apparu deux parties selon la luminosité de la lumière une plus lumineuse proche de la fenêtre et autre un peu sombre éloigné de se dernière.
- La deuxième photo montre : la présence d'une lumière uniforme non éblouissante.

Classe 04 orienté Sud-Ouest la période : Mars - Avril	
8 :30 h	
<p>- La salle est éclairée par une lumière uniforme non éblouissante avec un bon rendu de couleur, sous un état de ciel courent.</p> <p>- La salle est un peu sombre avec la présence de réflexion des rayons sur tables, sous un état de ciel serein.</p>	
10:00 h	
<p>La salle est rendu plus éclairée avec la présence de réflexion des rayons solaires et l'éblouissement sur tableau, en effet les occupants se sont éloignés de la fenêtre ou il présent une partie éclairée no éblouissante confortable visuellement.</p>	
11:30 h	
<p>la luminosité a augmentée et l'effet de réflexion a un peu diminuée, avec une luminosité plus au moins uniforme et un bon rendu de couleur qui donne une sensation stimulante.</p>	
15:00 h	
<p>la présence des petites taches solaire au niveau du rangé situé à proximité de la fenêtre mais généralement la salle est lumineuse et la lumière est présenté d'une manière uniforme et homogène avec un bon rendu de couleur qui donne une sensation stimulante.</p>	

Tableau V.22 : Interprétation des photos pris la période : Mars - Avril. **Source :** Auteur.

Classe 01 orienté Sud-Est la période : Mai - Juin

8 :30
h



la présence des taches solaires sur les tables et le bureau qui a engendré d'éblouissement direct sur le tableau et la paroi de tableau par conséquence des contrastes de luminance excessifs dans l'espace qui a le divisé en deux parties d'une luminosité différente :

- Une partie ensoleillée et moins occupée proche de la fenêtre qui donne une sensation inconfortable ennuyeuse et chaleureuse qui gêne la vision.
- Une partie claire et lumineuse confortable plus occupée éloignée de la fenêtre.

10:00
h



la diminution des taches solaires a engendré une diminution partielle d'effet d'éblouissement avec une répartition lumineuse plus au moins uniforme de la lumière.

11:30
h



une absence totale des taches solaires a rendu l'espace confortable, plus clair, d'une lumière uniformément répartie avec un bon rendu de couleur.

15:00
h



la présence de la lumière d'une manière harmonieuse et uniforme qui a rendu la salle agréable, confortable et stimulante avec un bon rendu de couleur.

Classe 02 Orienté Nord-Ouest la période : Mai - Juin

8 :30
h



La salle semble être sombre qui donne une sensation d'une calme pénombre.

10:00
h



la pénétration de la lumière d'une manière non homogène qui a divisé l'espace comme suivant :

- une partie éclairée proche de la fenêtre avec un peu de réflexion des rayons solaires sur paroi et tables et le panneau d'affichage.
- Une partie sombre éloignée de la fenêtre.

11:30
h



la lumière inonde tout l'espace d'une luminosité différente avec la présence d'effet de réflexion des rayons directs proche de la fenêtre.

15:00
h



- Au niveau proche de la fenêtre : une forte luminosité avec quelque tache solaire, la réflexion des rayons solaires directs, un peu d'éblouissement sur les tables.
- Au niveau éloigné de la fenêtre: une luminosité uniforme confortable avec un bon rendu de couleur.

Classe 03 orienté Nord-Est la période : Mai - Juin

**8 :30
h**



la présence des taches solaires sur les tables, le bureau et la paroi de bureau qui a engendré un grand effet d'éblouissement direct par conséquent des contrastes de luminance excessifs dans l'espace qui a le divisé en deux parties d'une luminosité totalement différente:

- Une partie ensoleillée et moins occupée proche de la fenêtre qui donne une sensation inconfortable, ennuyeuse et chaleureuse qui gêne la vision.
- Une partie claire, lumineuse, confortable et non éblouissante plus occupée éloignée de la fenêtre.

**10:00
h**



la diminution graduelle des taches solaires a diminué partiellement l'effet d'éblouissement, la présence d'une luminosité presque uniforme dans l'espace sauf les deux rangées proches de la fenêtre où il existe quelques taches solaires.

**11:30
h**



la présence de la lumière d'une manière homogène et uniforme du à l'absence des taches solaires qui a rendu la salle confortable et stimulante avec un bon rendu de couleur.

**15:00
h**



la présence de la lumière d'une manière harmonieuse et uniforme qui a rendu la salle confortable et stimulante avec un bon rendu de couleur.

Classe 04 orienté Sud-Ouest la période : Mai - Juin	
8 :30 h	 <p>la présence excessive d'éblouissement sur : le tableau, le plan utile et les copies d'examen gênes, perturbe la vision et créé des nuisances visuelles.</p>
10:00 h	 <p>l'effet d'éblouissement est diminué et la distribution de la lumière a devenue uniforme, lumineuse et stimulante avec un bon rendu de couleur.</p>
11:30 h	 <p>l'augmentation de l'intensité de la lumière a créé un environnement lumineux confortable et stimulant avec un bon rendu de couleur.</p>
15:00 h	 <p>une distribution de lumière uniformément répartie non éblouissante qui a créé un environnement lumineux agréable, confortable et stimulant avec un bon rendu de couleur.</p>

Tableau V.23 : Interprétation des photos pris la période : Mai - Juin. **Source :** Auteur.

II.4. Lecture morphologique de l'environnement lumineux du cas d'étude :

Classe N° 01 orientée : Sud - Est												
Caractéristiques	Décembre - Janvier				Mars - Avril				Mai - Juin			
	8 h 30	10h	11h 30	15h	8 h 30	10h	11h 30	15h	8 h 30	10h	11h 30	15h
Tache solaire												
Eblouissement												
Absence d'éblouissement												
Réflexion des rayons solaires												
Ensoleillé												
Eclairée												
Sombre												
Contraste												
Uniformité												
Stimulante												
Rendu de couleur												
Classe N° 02 orientée : Nord - Ouest												
Caractéristiques	Décembre - Janvier				Mars - Avril				Mai - Juin			
	8 h 30	10h	11h 30	15h	8 h 30	10h	11h 30	15h	8 h 30	10h	11h 30	15h
Tache solaire												
Eblouissement												
Absence d'éblouissement												
Réflexion des rayons solaires												
Ensoleillé												
Lumineuse												
Sombre												
Contraste												
Uniformité												
Stimulante												
Rendu de couleur												
Classe N° 03 orientée : Nord - Est												
Caractéristiques	Décembre - Janvier				Mars - Avril				Mai - Juin			
	8 h 30	10h	11h 30	15h	8 h 30	10h	11h 30	15h	8 h 30	10h	11h 30	15h
Tache solaire												
Eblouissement												
Absence d'éblouissement												
Réflexion des rayons solaires												
Ensoleillé												
Lumineuse												
Sombre												
Contraste												
Uniformité												
Stimulante												
Rendu de couleur												

Classe N° 04 orientée : Sud - Ouest												
Caractéristiques	Décembre - Janvier				Mars - Avril				Mai - Juin			
	8 h 30	10h	11h 30	15h	8 h 30	10h	11h 30	15h	8 h 30	10h	11h 30	15h
Tache solaire												
Eblouissement												
Absence d'éblouissement												
Réflexion des rayons solaires												
Ensoleillé												
Eclairé												
Sombre												
Contraste												
Uniformité												
Stimulante												
Rendu de couleur												

Tableau V.24 : Caractéristiques des salles de classe type. Source : Auteur.

II.4.1. Synthèse des résultats :

Classe N01 : Trois aspects sont produits au même temps : taches solaires, éblouissement, réflexions des rayons solaires la matinée durant toute l'année scolaire, qui sont considéré comme des phénomènes participants de production d'inconfort visuel des occupants.

Pratiquement la salle est éclairée durant toute l'année sauf la période hivernal à 8h30 ou elle est sombre au on a remarqué l'usage d'éclairage artificiel.

La salle reçoit une lumière uniforme et confortable durant l'après-midi.

Classe N02 : La salle reçoit une faible quantité de lumière qui rendre la salle sombre durant : décembre-Janvier qui implique l'usage d'éclairage artificiel

- l'éblouissement et la réflexion des rayons solaires sont produits durant l'après-midi, pratiquement la salle reçoit une lumière d'une luminosité fréquemment changeable.

Classe N03 : la salle reçoit des taches solaires durant la période : Mars-Juin durant la matinée qui produit d'éblouissement et la réflexion des rayons solaires sur tableau et au niveau de paroi de tableau durant les deux premier sciences (période de lever de soleil).

- la salle est éclairée presque durant toute l'année où elle reçoit une lumière uniforme stimulante l'après-midi sauf la période hivernale à 8h30 elle reçoit une quantité faible de lumière que la a rendu un peu sombre.

Classe N04 : la salle reçoit des taches solaires durant l'après-midi de Décembre à Avril, dont elles produisent un environnement contrasté caractérisé par la présence d'éblouissement et la réflexion des rayons solaires.

La salle est éclairée durant toute l'année où elle reçoit une lumière uniforme stimulante la matinée sauf la période hivernale à 8h30 où la salle reçoit une faible lumière que la a rendu un peu sombre.

Conclusion :

Dans ce chapitre on a recourir à l'usage de deux technique de recherche qui sont : le questionnaire et l'observation dont notre but est d'évalué qualitativement les salles de classe type.

La technique de questionnaire est axée sur le recueil des informations qui sont à la base des avis des occupants dont ils sont considère comme des repenses subjectif, par conséquent on essaye de vérifier et comparer les résultats obtenu par la technique de questionnaire avec celle obtenue par la technique d'observation.

Donc l'analyse des données illustrent d'après l'usage de ses deux techniques nous a permet d'évaluer qualitativement l'environnement lumineux de chaque salle de classe type selon leur orientation comme suivant:

pour des orientations : Nord-Est, Nord- Ouest et Sud- Ouest la présence de lumière dans les salles de classe est faible la matinée durant la période hivernale qui crée un environnement sombre insuffisamment éclairé, mal réparti dans l'espace ou dont le spectre lumineux est mal adapté à la sensibilité de l'œil ou à la vision des couleurs, provoque à plus ou moins longue échéance une fatigue, voire même des troubles visuels, accompagnés d'une sensation d'inconfort et d'une performance visuelle réduite, qui indique un besoin de l'usage d'éclairage artificiel.

Tandis que pour une orientation Sud- Est la présence de lumière dans la salle de classe est très suffisante, d'une répartition hétérogène qui crée un environnement contrasté non confortable.

En effet au printemps le soleil pénètre dans les classes qui dont une orientation Nord-Est, et Sud-Est la matinée et au Sud-Ouest l'après-midi ce qui crée un environnement contrasté d'une lumière excessive caractérisé par la présence des taches solaires et d'éblouissement gênant, tandis que l'absence de la pénétration de soleil crée un environnement stimulante et confortable d'une lumière homogène.

Durant la période estivale la pénétration de soleil est diminuée dont la surface des taches solaire se diminue et l'environnement lumineux devient moins contrasté.

Pour une orientation Nord- Ouest le soleil ne pénètre pas dans la salle de classe le long de l'année universitaire sauf le moins de juin à 15h.

On note aussi que le problème d'éblouissement et la pénétration directe des rayons solaires sont pratiquement présent dans les classes orientées Nord-Est, Sud-Est la matinée et Nord-Ouest l'après-midi, malgré le ciel au Nord-Ouest avec sa relativement faible luminosité, peut encore créer des conditions d'éblouissement dans les salles de classe, ce que crée des états d'inconfort non préférable et un environnement visuel potentiellement difficile.

L'ambiance lumineuse se change fréquemment durant l'heur et la saison selon les conditions dont la lumière est présente dans l'espace, tandis que les conditions dont la lumière est présentées dans l'espace ce change d'une orientation a une autre.

Donc on peut conclus qu'il existe de profondes différences entre l'orientation Nord-Est, Nord-Ouest, Sud-Est et Sud-Ouest à propos de lumière en terme de : qualité, quantité, rendu de couleur, distribution et direction.

Introduction :

Plusieurs études ont montrées les dangers d'un éclairage inadapté au travail, en milieu scolaire un niveau d'éclairage préconisé bien adapté garantir une bonne efficacité lumineuse de l'éclairage et préservant le confort visuel des occupants, car la quantité de l'éclairage influe sur l'attention et la compréhension des étudiants.

L'objectif de ce chapitre c'est d'analyser quantitativement le système d'éclairage naturel latéral dans les différentes salles de classe type à l'aide : d'une étude expérimentale basé sur une campagne de mesures ainsi que une évaluation numérique à l'aide d'un logiciel de simulation : Ecotect 2011 et radianc 2011, Ces évaluations seront présentées par des chiffres, des graphes et des photos et commentaires par l'auteur.

I. Evaluation quantitative de l'éclairage naturel dans les salles de classe types à l'aide d'une simulation numérique (simulation numérique de niveau d'éclairage) :

Dans ce chapitre, nous avons évalué à travers une simulations numérique le niveau d'éclairage sur le plan quantitatif dans les salles de classe type et son effet sur le confort visuel, et par conséquent une vérification des résultats obtenus à l'aide de luxmètre.

I.1. Définition : On entend par logiciel de simulation de la lumière un outil informatique qui permet de simuler la propagation de la lumière dans un milieu donné. Cette propagation est caractérisée par un certain nombre d'aspects d'ordre physique.

Pour établir cette numérisation, nous avons eu recours à deux logiciels afin d'atteindre des résultats précis. Le premier logiciel est ECOTECT, dans sa version la plus récente 2011, via lequel nous avons réalisé une simulation des niveaux d'éclairage intérieurs, le second logiciel est RADIANCE β2 2011, qui traite les mêmes aspects, ceci sous un état de ciel clair car d'après les données climatique présentées dans le chapitre IV, la zone de Laghouat se caractérise par un ciel clair régnant pendant presque toute l'année. La simulation d'éclairage lumineux a été effectuée durant : les solstices d'hiver (21 Décembre, durant laquelle le soleil est le plus bas dans le ciel) et d'été (21 Juin, durant laquelle le soleil est le plus haut dans le ciel), et l'équinoxe du printemps (21 Mars, où les rayons solaires sont perpendiculaires à l'équateur). Dans chaque saison, deux séries de mesures sont effectuées par jour pour chaque salle de classe. Une se déroulera la matinée à 09h00, et l'autre a eu lieu à 15h00, heure choisie comme médiane de la période de l'après-midi.

I.2. Présentation et discussion de différents résultats :

I.2.1. Période de simulation : 9h00 et 15h00 journée du 21 /12/2014 :

1. Salles de classe N°01 orientée Sud – Est et N°02 orientée Nord-Ouest:

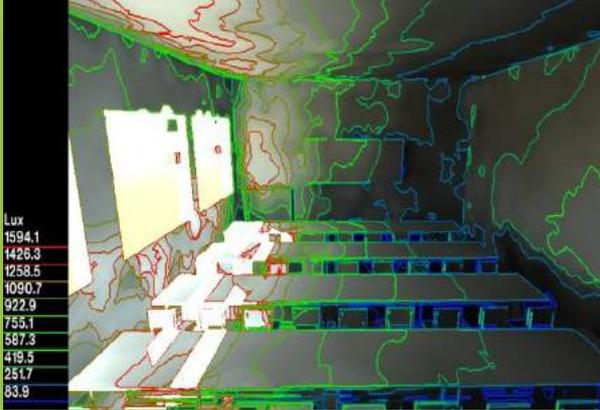
Salle de classe N°01 orientée Sud – Est : Simulation de niveau d'éclairagement	
à 09:00h	à 15:00h
 <p>Lux 1594.1 1428.3 1258.5 1090.7 922.9 755.1 587.3 419.5 251.7 83.9</p>	 <p>Lux 855 765 675 585 495 405 315 225 135 45</p>
<p>Les résultats de la simulation indiquent que : le niveau d'éclairagement intérieur attendre des valeurs qui sont variées entre 1594.1 lux proche de la fenêtre dû aux taches solaires présentes sur quelques plans utiles et sur le mur et 419.5 lux au niveau des tables éloignées de la fenêtre.</p> <ul style="list-style-type: none"> - la présence des taches solaires sur les trois rangés pré de la fenêtre du a la pénétration directe de soleil. 	<p>Le soir les valeurs d'éclairagement affichent des diminutions dues à l'absence des taches solaires, on remarque que : les valeurs sont variées entre 855 lux près de la fenêtre et 315 lux loin de la fenêtre.</p> <ul style="list-style-type: none"> - la présence des taches éblouissantes au niveau de mur Sud –Ouest.
Salle de classe N°02 orientée Nord-Ouest : Simulation de niveau d'éclairagement	
à 09:00h	à 15:00h
 <p>Lux 760 680 600 520 440 360 280 200 120 40</p>	 <p>Lux 1054.5 943.5 832.5 721.5 610.5 499.5 388.5 277.5 166.5 55.5</p>
<p>La validation numérique des conditions d'éclairagement intérieur indique des valeurs d'éclairagement faibles à la norme recommandée (300 lux) qui sont variées entre 120 lux et 200 lux qui rendre la salle sombre.</p>	<p>Le soir la validation numérique des conditions d'éclairagement intérieur indique une augmentation des valeurs d'éclairagement ou elles sont variées entre 166.5 lux et 277.5 lux mais elle reste faible.</p>

Tableau VI.1: Simulation d'éclairagement intérieur dans les salles de classe N°01 et 02 à 9h et 15h le 21 Décembre 2014. Source : Auteur.

2. Salles de classe N°03 orientée Nord – Est et N°04 orientée Sud-Ouest:

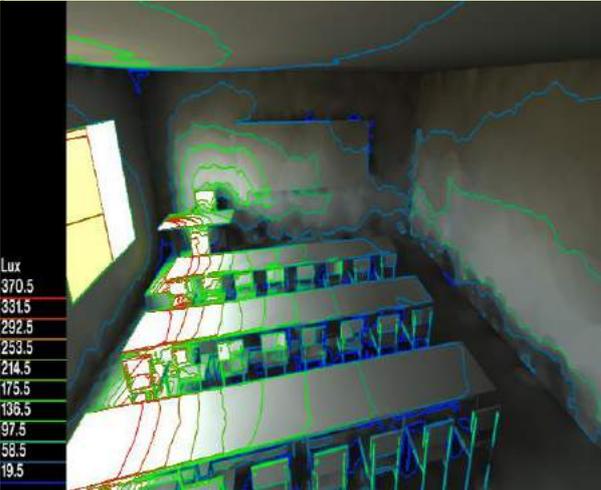
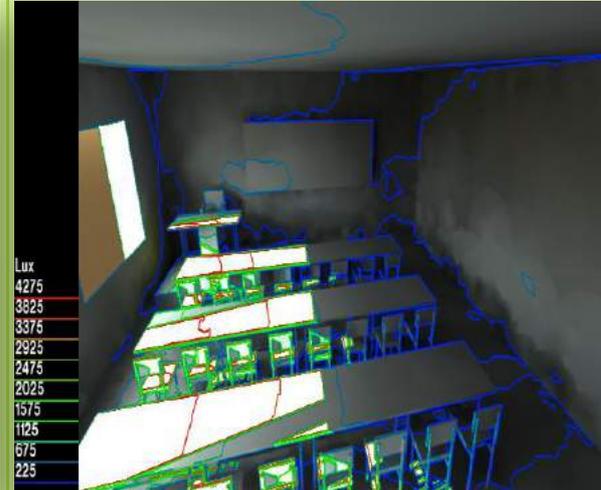
Salle de classe N°03 Nord – Est : Simulation de niveau d'éclairage	
à 09:00h	à 15:00h
 <p>Lux 427.5 382.5 337.5 292.5 247.5 202.5 157.5 112.5 67.5 22.5</p>	 <p>Lux 532 476 420 364 308 252 196 140 84 28</p>
<p>La validation numérique montre que les valeurs d'éclairage partagent l'espace en deux zones ou elles varient entre : 202.5 et 427.5lux proche de la fenêtre ou se présentent des taches brillantes et entre 67.5 à 157.5lux éloigné de la fenêtre, ce qui montre la présence de contrast qui divise la salle en deux environnements lumineux l'un éclairé et l'autre sombre et c'est dû à la profondeur de la salle où la lumière est d'une faible pénétration.</p>	<p>Le soir les valeurs d'éclairage sont un peu augmentées, ou elles varient entre 532 lux au niveau de deux rangées proches de la fenêtre et 140 lux éloigné de la fenêtre mais elles restent faibles d'une répartition non homogène qui a divisé la salle de classe en deux zones l'une éclairée caractérisée par la présence d'éblouissement au niveau de mur orienté Sud-Est et l'autre sombre.</p>
Salle de classe N°04 Sud-Ouest : Simulation de niveau d'éclairage	
à 09:00h	à 15:00h
 <p>Lux 370.5 331.5 292.5 253.5 214.5 175.5 136.5 97.5 58.5 19.5</p>	 <p>Lux 427.5 382.5 337.5 292.5 247.5 202.5 157.5 112.5 67.5 22.5</p>
<p>La validation numérique des conditions d'éclairage intérieur indique des valeurs d'éclairage faibles à la norme recommandée qui sont variées entre 331.5 lux au niveau de deux rangées près de la fenêtre ou se présentent des taches éclairées et 58.5 lux au fond de la salle.</p>	<p>Le soir les valeurs d'éclairage affichent des augmentations dues à la présence de taches solaires qui rendent la salle ensoleillée. On remarque que : les valeurs sont variées entre 202.5 lux près de la fenêtre et 112.5 lux loin de la fenêtre.</p>

Tableau VI.2: Simulation d'éclairage intérieur dans les salles de classe N°03 et 04 à 9h et 15h le 21 Décembre 2014. Source : Auteur.

I.2.2. Période de simulation : 9h00 et 15h00 journée du 21 /03/2015 :

1. Salles de classe N°01 orientée Sud – Est et N°02 orientée Nord-Ouest:

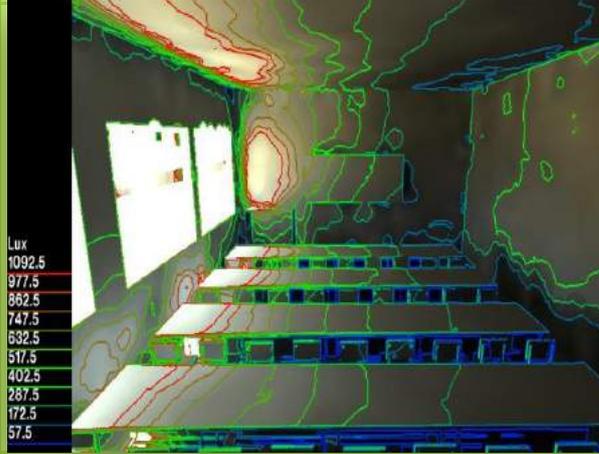
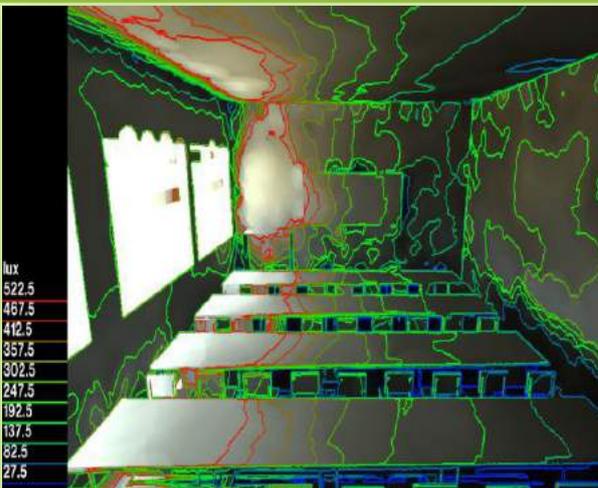
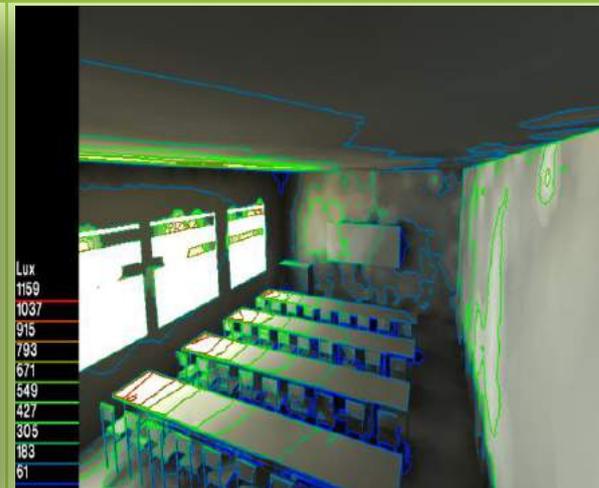
Salle de classe N°01 Sud – Est : Simulation de niveau d'éclairément	
à 09:00h	à 15:00h
	
<p>l'augmentation de la pénétration de soleil a engendré une augmentation des valeurs d'éclairément qui sont variée entre : 1050 et 2250 lux et de contraste qui a divisé la salle en deux zone une ensoleillée et l'autre éclairée.</p>	<p>La diminution de la présence des taches solaire du a l'absence de la pénétration de soleil qui a engendré une diminution des valeurs d'éclairément qui sont variées entre : 402.5 et 977.5 lux. - la présence des taches éclairées au niveau de 1^{er} rangé et le mur Sud-Est.</p>
Salle de classe N°02 Nord-Ouest: Simulation de niveau d'éclairément	
à 09:00h	à 15:00h
	
<p>La validation numérique des conditions d'éclairément intérieur indique des valeurs d'éclairément qui sont variées entre 247.5 lux éloigne de la fenêtre et 457.5 lux près de la fenêtre ou se présent quelque taches éclairées sur les plans utile et le mur orientée Nord-Est.</p>	<p>l'augmentation des valeurs d'éclairément dû à la position de soleil, qui sont variées entre : 305 et 793 lux d'une répartition non uniforme et faible au profond de la salle de classe.</p>

Tableau VI.3: Simulation d'éclairément intérieur dans les salles de classe N°01 et 02 à 9h et 15h le 21Mars 2015. Source : Auteur.

2. Salles de classe N°03 orientée Nord – Est et N°04 orientée Sud-Ouest:

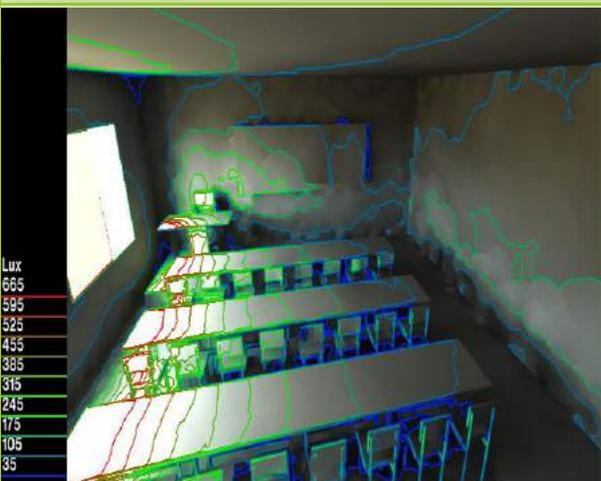
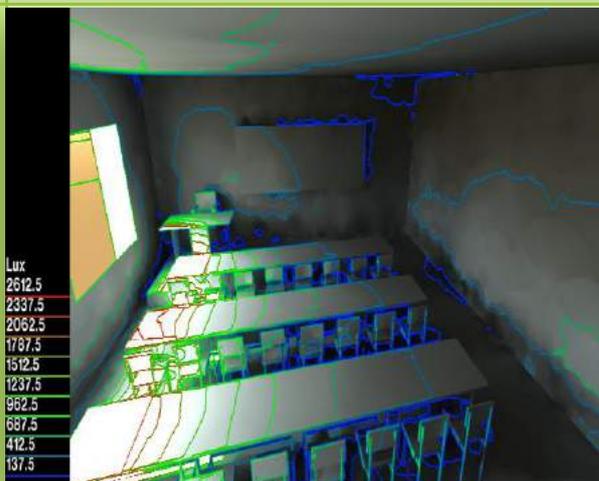
Salle de classe N°03 Nord – Est : Simulation de niveau d'éclairément	
à 09:00h	à 15:00h
 <p>Lux 1463 1309 1155 1001 847 693 539 385 231 77</p>	 <p>Lux 902.5 807.5 712.5 617.5 522.5 427.5 332.5 237.5 142.5 47.5</p>
<p>la pénétration directe des rayons solaires a créé un contraste et divise la salle en deux parties : la 1er ensoleillé caractérisé par un éclairément excessif et la présence d'éblouissement. la 2ème éclairé caractérisé par un éclairément suffisant et l'absence d'éblouissement. Généralement la validation numérique des conditions d'éclairément intérieur indique des valeurs d'éclairément qui sont variées entre : 593 et 1309 lux.</p>	<p>l'absence de la pénétration du soleil a diminué l'effet de contraste, ou en remarque une diminution des valeurs d'éclairément qui sont variées entre : 427.5 et 712.5 lux. la présence des taches éclairées au niveau de deux rangés près de la fenêtre et le mur orienté Sud-Est.</p>
Salle de classe N°04 Sud-Ouest : Simulation de niveau d'éclairément	
à 09:00h	à 15:00h
 <p>Lux 665 595 525 455 385 315 245 175 105 35</p>	 <p>Lux 2612.5 2337.5 2062.5 1787.5 1512.5 1237.5 962.5 687.5 412.5 137.5</p>
<p>La validation numérique des conditions d'éclairément intérieur indique des valeurs d'éclairément qui sont variées entre : 315et 525 lux d'une répartition uniforme. - la présence d'un environnement lumineux suffisamment éclairé caractérisé par l'absence d'éblouissement.</p>	<p>l'augmentation de la pénétration de soleil a engendré une augmentation des valeurs d'éclairément qui sont variée entre : 412.5 et 2337.5 lux et de contraste qui a divisé la salle en deux zone une ensoleillée, éblouissante et l'autre éclairée.</p>

Tableau VI.4: Simulation d'éclairément intérieur dans les salles de classe N°03 et 04 à 9h et 15h le 21Mars 2015. Source : Auteur.

I.2.2. Période de simulation : 9h00 et 15h00 journée du 21 /06/2015 :

1. Salles de classe N°01 orientée Sud – Est et N°02 orientée Nord-Ouest:

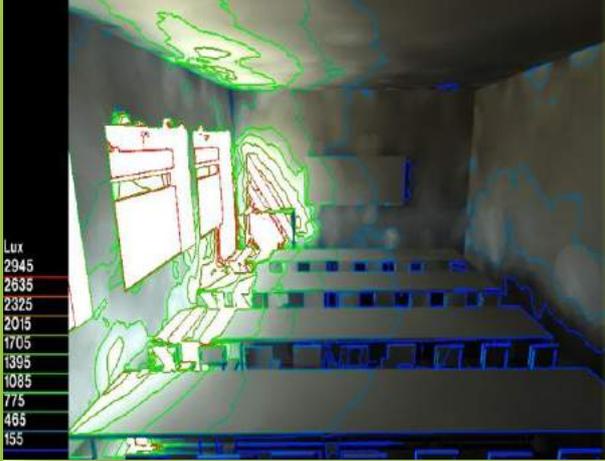
Salle de classe N°01 Sud – Est : Simulation de niveau d'éclairage	
à 09:00h	à 15:00h
 <p>Lux 2945 2635 2325 2015 1705 1395 1085 775 465 155</p>	 <p>Lux 2508 2244 1980 1716 1452 1188 924 660 396 132</p>
<p>La diminution de la pénétration de soleil du à la position haute de soleil a engendré une diminution des valeurs d'éclairage par apport à celles mesurées le 21/03/2015, qui sont variées entre : 465 et 2325 lux.</p> <ul style="list-style-type: none"> - la présence des taches solaires et d'éblouissement au niveau de 1^{er} rangé et le mur Sud-Ouest. 	<p>L'absence des taches solaires a engendré une diminution des valeurs d'éclairage qui ont variées entre : 395 et 924 lux d'une répartition uniforme.</p> <ul style="list-style-type: none"> - la présence d'un environnement lumineux suffisamment éclairé caractérisé par l'absence d'éblouissement.
Salle de classe N°02 Nord-Ouest : Simulation de niveau d'éclairage	
à 09:00h	à 15:00h
 <p>Lux 997.5 892.5 787.5 682.5 577.5 472.5 367.5 262.5 157.5 52.5</p>	 <p>Lux 1615 1445 1275 1105 935 765 595 425 255 85</p>
<p>La validation numérique des conditions d'éclairage intérieur indique des valeurs d'éclairage qui sont variées entre : 367.5 et 892.5 lux.</p> <ul style="list-style-type: none"> - la présence des taches éclairées au niveau des rangés d'un éclairage excessif près de la fenêtre peut engendrer d'éblouissement. 	<p>La validation numérique des conditions d'éclairage intérieur indique une augmentation des valeurs d'éclairage qui sont variées entre 425 et 935 lux.</p> <ul style="list-style-type: none"> -la présence d'une tache éblouissante au niveau de mur orienté Nord-Est qui gêne la vision vers le tableau.

Tableau VI.5: Simulation d'éclairage intérieur dans les salles de classe N°01et 02 à 9h et 15h le 21Jun 2015. Source : Auteur.

2. Salles de classe N°03 orientée Nord – Est et N°04 orientée Sud-Ouest:

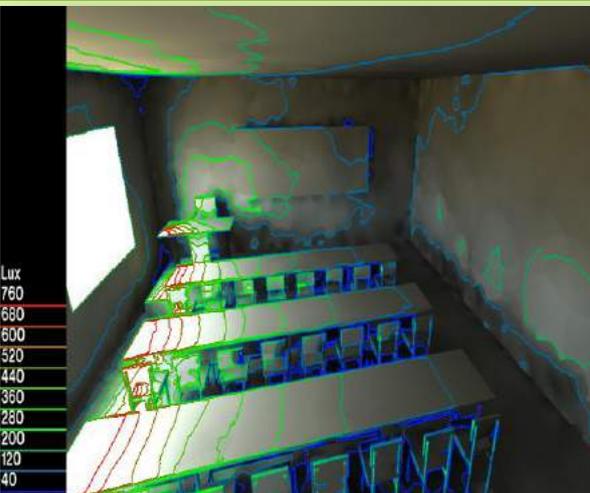
Salle de classe N°03 Nord – Est : Simulation de niveau d'éclairément	
à 09:00h	à 15:00h
 <p>Lux 2949.75 2639.25 2328.75 2018.25 1707.75 1397.25 1086.75 776.25 465.75 155.25</p>	 <p>Lux 1415.5 1266.5 1117.5 968.5 819.5 670.5 521.5 372.5 223.5 74.5</p>
<p>l'augmentation de la pénétration directe de soleil qui a engendré une augmentation des valeurs d'éclairément, la présence des taches solaires le contacte et l'éblouissement. les valeurs d'éclairément sont variées entre : 1525 et 2328.75 lux.</p>	<p>l'absence des taches solaires a engendré une diminution des valeurs d'éclairément qui sont variées entre : 521.5 et 1266.5 lux et une absence d'éblouissement. la présence d'un environnement lumineux suffisamment éclairé caractérisé par l'absence d'éblouissement.</p>
Salle de classe N°04 Sud-Ouest : Simulation de niveau d'éclairément	
à 09:00h	à 15:00h
 <p>Lux 760 680 600 520 440 360 280 200 120 40</p>	 <p>Lux 2850 2550 2250 1950 1650 1350 1050 750 450 150</p>
<p>La validation numérique des conditions d'éclairément intérieur indique des valeurs d'éclairément qui sont variées entre : 360et 560 lux d'une répartition uniforme. La présence d'un environnement lumineux suffisamment éclairé caractérisé par l'absence d'éblouissement.</p>	<p>La diminution de la pénétration de soleil du à la position haute de soleil a engendré une diminution des valeurs d'éclairément par apport à celles mesurées le 21/03/2015, qui sont variées entre : 450 et 1950 lux. La présence des taches solaires et d'éblouissement au niveau de 1^{er} rangé et le mur Sud-Est.</p>

Tableau VI.6: Simulation d'éclairément intérieur dans les salles de classe N°03et 04 à 9h et 15h le 21Jun 2015. Source : Auteur.

I.2.4. Synthèse :

Classe	Eclairément	21/12/2014	21/03/2015	21/06/2015
Classe 01 orienté Sud - Est	E simulé à 9h	419.5 < E < 1594.1	1050 < E < 2250	465 < E < 2325
	E simulé à 15h	315 < E < 855	402.5 < E < 977.5	395 < E < 924
Classe 02 orienté Nord - Ouest	E simulé à 9h	120 < E < 200	247.5 < E < 457.5	367.5 < E < 892.5
	E simulé à 15h	166.5 < E < 277.5	305 < E < 793	425 < E < 935
Classe 03 orienté Nord- Est	E simulé à 9h	67,5 < E < 427,5	593 < E < 1309	1525 < E < 2328.75
	E simulé à 15h	140 < E < 532	427.5 < E < 712.5	521.5 < E < 1266.5
Classe 04 orienté Sud - Ouest	E simulé à 9h	58,5 < E < 313,5	315 < E < 525	360 < E < 560
	E simulé à 15h	1125 < E < 2025	412.5 < E < 2337.5	450 < E < 1950

Tableau VI.7: Comparaison entre les valeurs d'éclairément intérieur simulées dans les salles de classe type. **Source** : Auteur.

Le tableau VI.26 montre que la validation numérique des conditions d'éclairément intérieur attendent des valeurs moins que la norme recommandée durant la matinée en l'hiver pour une orientation : Nord- Est et Sud- Ouest qui s'augment le soir. Tandis que la salle orientée Nord-Ouest les valeurs d'éclairément sont moins de 300 lux durant toute la journée ce qu'il a créé un environnement sombre.

Durant le printemps et l'été, Les valeurs d'éclairément simulées augmentent ou elles eurent des valeurs plus que la norme recommandée.

Les salles de classe orientées : Sud–Est, Sud-Ouest et Nord-Est attendent des valeurs d'éclairément excessif, ce qu'il engendre la présence des problèmes d'éblouissement et de réflexion des rayons solaires.

La simulation reste un outil informatique d'évaluation de la lumière naturelle. On peut donc confirmer les résultats obtenus de cet outil par l'usage d'une campagne de mesure (luxmètre), en effet ses résultats présentent la réalité.

II. Evaluation quantitative de l'éclairage naturel dans les salles de classe types à l'aide d'une étude expérimentale (mesure d'éclairement par un luxmètre) :

II.1 Définition de technique d'expérimentation :

Technique directe d'investigation scientifique utilisée généralement auprès d'individus dans le cadre d'une expérience menée de façon directive qui permet un prélèvement quantitatif en vue d'expliquer statiquement des phénomènes (Farhi, A.,2014).

II.2. Travail sur terrain:

II.2.1. Période des mesures : Les mesures d'éclairement lumineux ont été effectuées à l'aide d'un luxmètre durant : les solstices d'hiver (21 Décembre, durant laquelle le soleil est le plus bas dans le ciel) et d'été (21 Juin, durant laquelle le soleil est le plus haut dans le ciel), et l'équinoxe du printemps (21 Mars, où les rayons solaires sont perpendiculaires à l'équateur). Dans chaque saison, deux séries de mesures sont effectuées par jour pour chaque salle de classe. Une se déroulera la matinée à 09h00, et l'autre a eu lieu à 15h00, heure choisie comme médiane de la période de l'après-midi.

II.2.2. Choix des points de mesures :

- Les mesures d'éclairement horizontal sont effectuées au niveau de chaque axe de table (h=0.70m) et le bureau (h=0.90m).
- Les mesures d'éclairement vertical sont effectuées à la base de trois points sur tableau ou h=1.60m (les trois points présentent les axes de tableau)
- Pour les différents graphes effectués sont à la base des valeurs mesurées au niveau des points résultantes de l'intersection de maillage des axes : AL (Axe longitudinal) et AT (Axe Transversale).
- Les graphes d'éclairement moyen sont effectués à la base de schéma énoncé ci-dessous

II.2.3. Instrumentation : Les mesures des niveaux d'éclairement lumineux sont réalisées à l'aide d'un « luxmètre » LX105 : Luxmètre digital de précision avec grand LCD au contraste réglable. Mesure de l'éclairement lumineux jusqu'à 50000 lux. Capable de mesurer l'intensité lumineuse de la lumière du jour, du tungstène, fluorescente et du mercure en lux ou en pieds-bougies. D'une plage de mesure qui varient entre : 0 à 1 999 lux, 2000 à 19 990 lux, 20 000 à 50 000 lux, dont ayant une réponse spectrale correspondant à la sensibilité spectrale photopique moyenne de l'œil, définie par la Commission Internationale de l'Eclairage (publication C.I.E. n° 18, 1970).



Figure VI.1: Le luxmètre utilisé durant l'étude expérimentale. Source : Auteur.

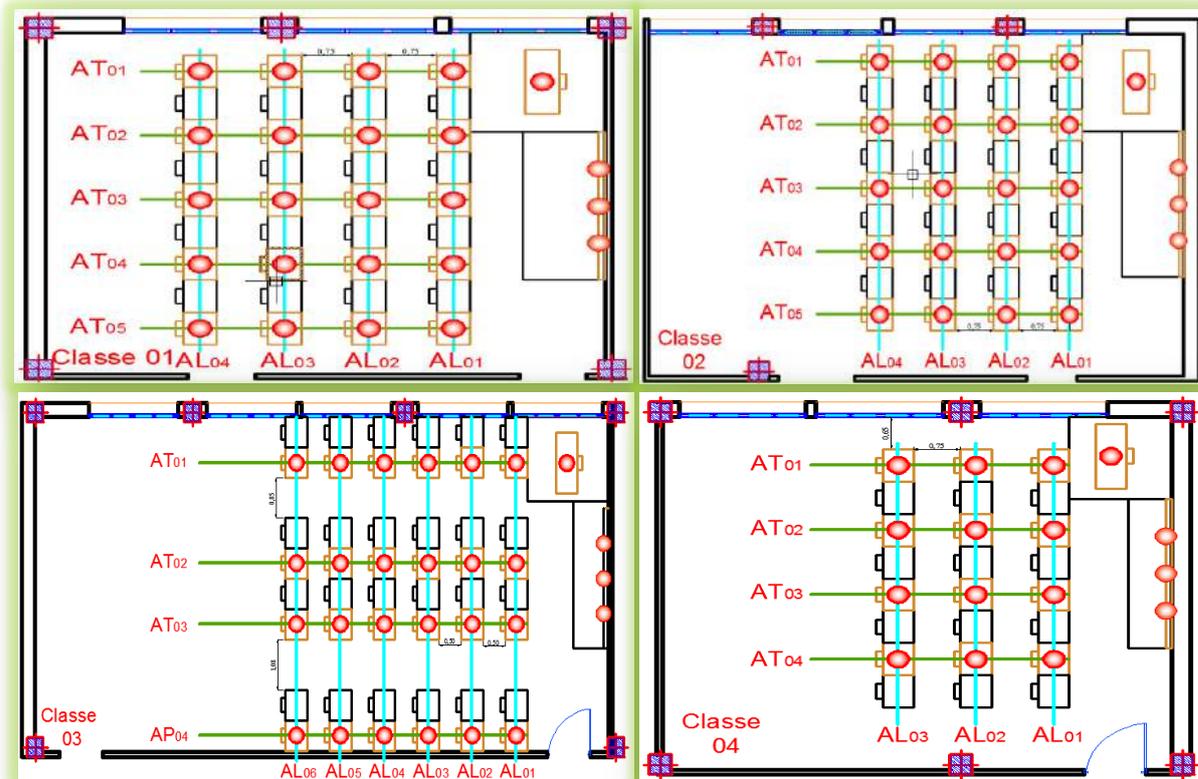


Figure VI.1: Schéma présentatif de la répartition des points de mesure d'éclairage moyen. Source : Auteur.

II.2.4. Protocole de mesures :

Condition de ciel : les mesures sont effectuées sous ciel clair (voir le chapitre IV).

Période et temps de mesures : le solstice d'hiver : 21 Décembre 2014, l'équinoxe du printemps : 21 Mars et le solstice d'été : 21 Juin 2015 à 9h et 15h.

Hauteur de plan de travail : pour les tables $h = 0.70$ m, pour le bureau $h=0.90$ m et le tableau $h= 1.60$ m.

Plage de mesure du luxmètre trois (03) plages qui varient entre : 0 à 1 999 lux, 2000 à 19 990 lux, 20 000 à 50 000 lux

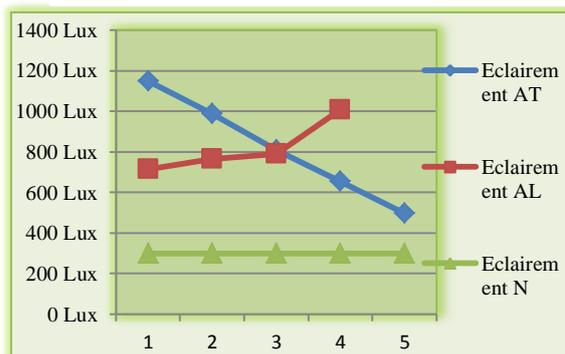
II.3. Présentation et discussion de différents résultats :

II.3.1. Période de mesure : 9h00 et 15h00 journée du 21 /12/2014 :

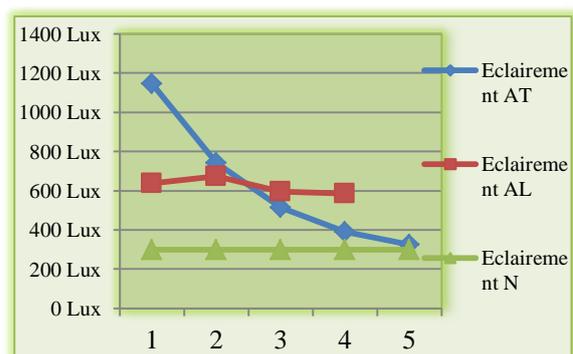
1. Salle de classe N°01 orientée Sud – Est :

Classe de classe N°01 orientée Sud – Est								
Axe P	l'éclairage intérieur (lux) mesuré à 09h00				l'éclairage intérieur (lux) mesuré à 15h00			
	AP01	999	1190	922	1482	1128	1325	1011
	980	1210	982	1304	948	1022	865	908
AP02	920	900	995	1139	783	764	752	673
	980	776	1173	1093	632	622	623	569
AP03	659	690	816	1070	537	533	512	477
	725	2390	1156	2414	455	457	433	396
AP04	518	572	726	810	405	411	384	356
	505	481	537	623	365	352	340	314
AP05	474	480	496	537	337	341	318	300
Axe L	AL01	AL02	AL03	AL04	AL01	AL02	AL03	AL04
Tableau	644		500	450	657		526	498
Bureau	2340		E _{moyen}	936.77	1158		E _{moyen}	604.58

Tableau VI.8 : Mesure in-situ d'éclairage intérieur dans la salle de classe N°01 le 21 Décembre 2014. Source : Auteur.



Graph VI.1: Variation d'éclairage moyen dans la salle de classe N°01 à 9h le 21 Décembre 2014. Source : Auteur.



Graph VI.2: Variation d'éclairage moyen dans la salle de classe N°01 à 15h le 21 Décembre 2014. Source : Auteur.

Le Graphe VI.1 indique un changement graduel des valeurs d'éclairage moyen qui sont élevées par rapport à la valeur d'éclairage normatif ou les valeurs d'éclairage moyen sont incluses entre : $497 < ET_{moy} < 1148$ et $714 < EL_{moy} < 1007$ à cause de la pénétration des rayons solaires qu'ils ont créés des taches solaires sur les tables du a une orientation Sud – Est, la courbe décroissante montre la présence d'un état d'inconfort visuel.

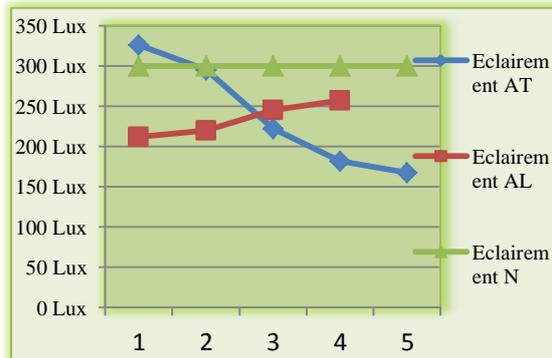
Le Graphe VI.2 indique une diminution des valeurs d'éclairage moyen par rapport aux valeurs marquent à 9h qui sont incluses entre $324 < ET_{moy} < 743$ et $584 < EL_{moy} < 638$ à cause de l'absence des taches solaires du a la position de soleil dans l'oraion à 15h, on remarque que la courbe pris sur l'axe longitudinale est linéaire ou les valeurs enregistrées sont plus de celle normatif montre la présence d'un état de confort visuel. Les deux graphes montrent que les rangés proches de la fenêtre bénéficient une valeur

d'éclairage moyen plus élevé et les rangé proche de tableau reçoivent une lumière faible par rapport aux celles loin.

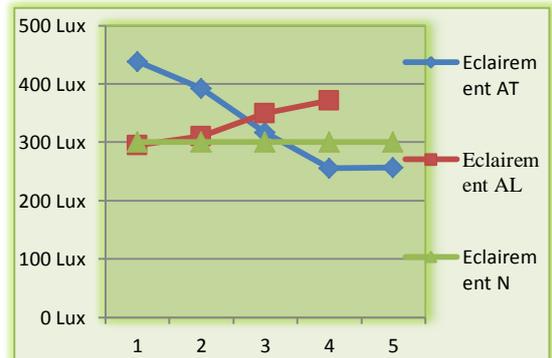
2. Salle de classe N°02 orientée Nord – Ouest :

Classe de classe N°02 orientée Nord – Ouest								
Axe P	l'éclairage intérieur (lux) mesuré à 09h00				l'éclairage intérieur (lux) mesuré à 15h00			
AP01	315	358	314	316	435	372	470	474
	280	313	332	388	377	417	463	500
AP02	242	290	305	345	316	386	422	444
	217	249	269	278	381	350	381	393
AP03	190	215	238	245	265	300	344	359
	176	195	215	219	248	281	318	320
AP04	159	175	192	201	231	250	242	302
	156	170	174	193	230	256	271	300
AP05	152	163	175	180	227	243	275	283
Axe L	AL01	AL02	AL03	AL04	AL01	AL02	AL03	AL04
Tableau	177	166	156		320	281	261	
Bureau	243	E _{moyen}	238.72		318	E _{moyen}	336.83	

Tableau VI.9 : Mesure in-situ d'éclairage intérieur dans la salle de classe N°02 le 21 Décembre 2014. Source : Auteur.



Graphe VI.3: Variation d'éclairage moyen dans la salle de classe N°02 à 9h le 21 Décembre 2014. Source : Auteur.



Graphe VI.4: Variation d'éclairage moyen dans la salle de classe N°02 à 15h le 21 Décembre 2014. Source : Auteur.

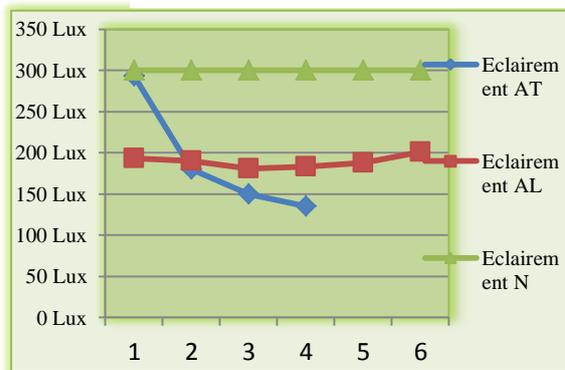
Le Graphe VI.3 indique que les valeurs moyennes d'éclairage sont moins de celles recommandées, ou les valeurs d'éclairage moyen sont incluses entre $167 < ET_{moy} < 326$ et $212 < EL_{moy} < 257$ du a l'orientation Nord – Ouest et a l'obstruction extérieur qui rendre la salle sombre et inconfortable.

Le Graphe VI.4 montre une augmentation des valeurs moyennes d'éclairage par rapport aux celles pris à 9h ou on remarque que les rangés proche de la fenêtre ont marqués des valeurs incluent dans un intervalle proche de la valeur recommandée 300 Lux par contre les rangés qui sont loin ont marqués des valeurs moins de celles recommandées comme suivant $257 < ET_{moy} < 438$ et $295 < EL_{moy} < 372$.

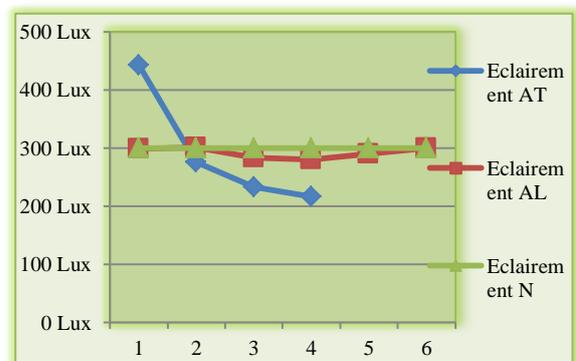
3. Salle de classe N°03 orientée Nord – Est :

Salle de classe N°03 orientée Nord – Est												
Axe P	l'éclairage intérieur (lux) mesuré à 09h00						l'éclairage intérieur (lux) mesuré à 15h00					
		268	243	316	220	263	256	413	381	314	327	387
AP01	337	293	262	265	281	322	484	466	408	393	441	465
	198	203	189	190	200	207	311	324	294	304	311	311
AP02	174	181	174	179	183	188	276	283	268	274	274	284
	145	166	161	163	162	165	249	257	248	250	250	250
AP03	133	155	151	154	152	156	229	239	234	233	230	233
	132	135	140	139	141	141	211	218	225	222	221	219
AP04	129	132	138	137	139	140	207	217	222	220	217	218
Axe L	AL01	AL02	AL03	AL04	AL05	AL06	AL01	AL02	AL03	AL04	AL05	AL06
Tableau	268		245		232		382		335		219	
Bureau	270		E _{moyen}		189.54		510		E _{moyen}		289.06	

TableauVI.10: Mesure in-situ d'éclairage intérieur dans la salle de classe N°03 le 21Décembre 2014. Source : Auteur.



GraphVI.5: Variation d'éclairage moyen dans la salle de classe N°03 à 9h le 21 Décembre 2014. Source : Auteur.



GraphVI.6: Variation d'éclairage moyen dans la salle de classe N°03 à 15h le 21 Décembre 2014. Source : Auteur.

Le GrapheVI.5 indique que les valeurs moyennes d'éclairage sont un peu proche de celles recommandées, ou les valeurs d'éclairage moyen sont incluses entre $135 < ET_{moy} < 293$ et $193 < EL_{moy} < 201$ du a l'orientation Nord – Est et la position le temps de levé de soleil.

Le GrapheVI.6 montre une augmentation des valeurs moyennes d'éclairage par rapport aux celles pris à 9h ou on remarque que les rangés horizontale suivant l'axe AL ont marqués des valeurs presque identique de la valeur recommandée 300 Lux, temps qu'il y a une différence entre les valeurs pris sur les rangés perpendiculaires suivants l'axe AT ou on a marqués que les rangés proche de la fenêtre reçoivent une éclairage moyen plus de celles recommandées tandis que les rangés loin ont reçu des valeurs moins de celles recommandées car la salle est plus profond.

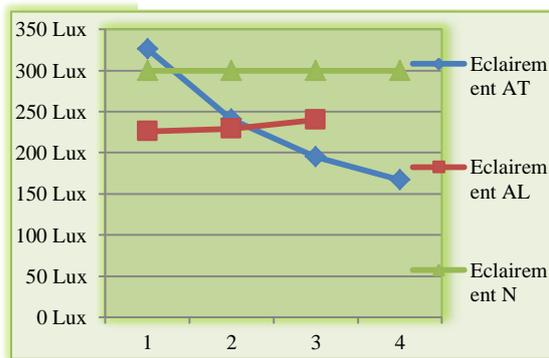
Les valeurs d'éclairage moyen obtenues sont comme suivant $217 < ET_{moy} < 442$ et $280 < EL_{moy} < 300$.

Généralement les deux graphes présentent une fonction linéaire qui montre un état de distribution uniforme de la lumière naturelle du a une orientation Nord – Est.

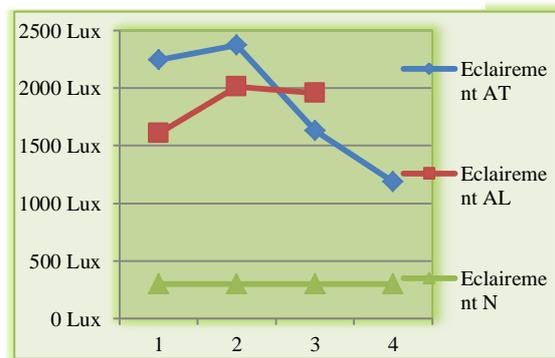
4. Salle de classe N°04 orientée Sud – Ouest :

Classe de classe N°02 orientée Sud – Ouest						
Axe P	l'éclairage intérieur (lux) mesuré à 09h00			l'éclairage intérieur (lux) mesuré à 15h00		
AP01	330	312	335	1430	2760	2543
	280	292	285	2433	5382	2438
AP02	230	245	247	2311	2458	2358
	205	219	223	1908	2100	2285
AP03	186	195	205	1562	1643	1690
	169	179	187	1303	1392	1438
AP04	160	167	175	1139	1186	1241
	154	163	167	1049	1093	1153
Axe L	AL01	AL02	AL03	AL01	AL02	AL03
Tableau	289	260	240	1650	1530	1366
Bureau	320	E_{moyen}	221.25	5419	E_{moyen}	1928.958

TableauVI.11: Mesure in-situ d'éclairage intérieur dans la salle de classe N°04 le 21décembre 2014. Source : Auteur.



GrapheVI.7: Variation d'éclairage moyen dans la salle de classe N°04 à 9h le 21Décembre 2014. Source : Auteur.



GrapheVI.8: Variation d'éclairage moyen dans la salle de classe N°04 à 15h le 21Décembre 2014. Source : Auteur.

Le GrapheVI.7 indique que les valeurs moyennes d'éclairage sont un peu proche de celles recommandées, ou les valeurs d'éclairage moyen sont incluses entre $167 < ET_{moy} < 326$ et $226 < EL_{moy} < 240$ du a l'orientation Sud – Ouest et la position, temps de levé de soleil.

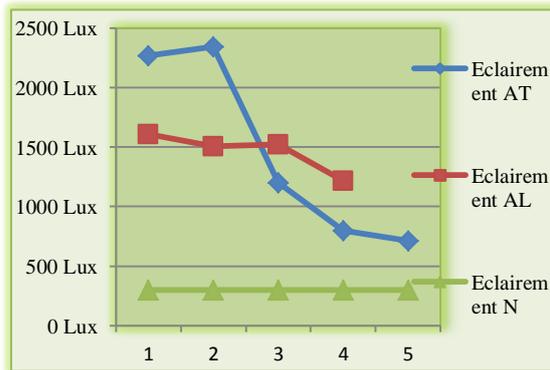
Le GrapheVI.8 présente les valeurs d'éclairage moyen qui sont incluses entre : $1188 < ET_{moy} < 2244$ et $1610 < EL_{moy} < 2012$ qu'il montre un changement graduel des valeurs d'éclairage moyen par rapport à celles pris à 9h au même temps plus excessif par rapport la norme recommandée à cause de présence des taches solaires du a une orientation Sud – Ouest ou les rayons solaires sont excessif et pénètrent dans la salle de classe.

II.3.2. Période de mesure : 9h00 et 15h00 journée du 21 /03/2015 :

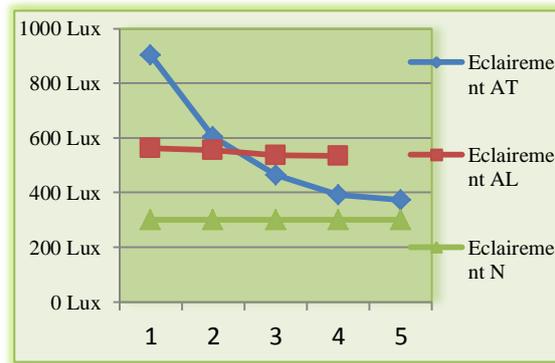
1. Salle de classe N°01 orientée Sud – Est :

Classe de classe N°01 orientée Sud – Est								
Axe P	l'éclairage intérieur (lux) mesuré à 09h00				l'éclairage intérieur (lux) mesuré à 15h00			
	AP01	2676	2477	2308	1608	953	927	844
	2489	2517	2360	2656	729	750	716	732
AP02	2330	2327	2395	2310	612	600	610	600
	2323	1214	2285	1415	515	550	529	520
AP03	1367	1185	1337	925	469	486	462	436
	1056	902	1030	770	427	425	417	415
AP04	917	800	830	648	396	397	399	375
	800	790	733	609	379	380	373	363
AP05	761	750	730	590	379	372	371	370
Axe L	AL01	AL02	AL03	AL04	AL01	AL02	AL03	AL04
Tableau	1120		925	831	608	548	304	
Bureau	2600		E _{moyen}	1478.33	693	E _{moyen}	532.30	

TableauVI.12: Mesure in-situ d'éclairage intérieur dans la salle de classe N°01 le 21 Mars 2015. Source : Auteur.



GrapheVI.9: Variation d'éclairage moyen dans la salle de classe N°01 à 9h le 21 Mars 2015. Source : Auteur.



GrapheVI.10: Variation d'éclairage moyen dans la salle de classe N°01 à 15h le 21 Mars 2015. Source : Auteur.

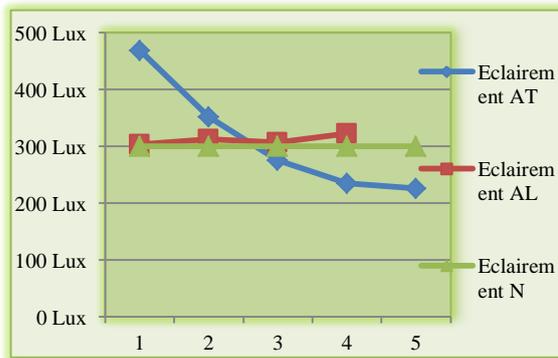
Le GrapheVI.9 indique une augmentation graduelle des valeurs d'éclairage moyen par rapport à celles obtenus durant la période hivernale dû à l'augmentation de la surface des taches solaires qui induit un risque d'éblouissement et engendre un état d'inconfort. Les valeurs moyennes sont incluses entre : $710 < ET_{moy} < 2340$, $1216 < EL_{moy} < 1610$.

Le GrapheVI.10 indique une diminution des valeurs d'éclairage moyen comparant à celles mesuré à 9h ou on a marqué des valeurs inclus entre $373 < ET_{moy} < 902$, $533 < EL_{moy} < 562$.

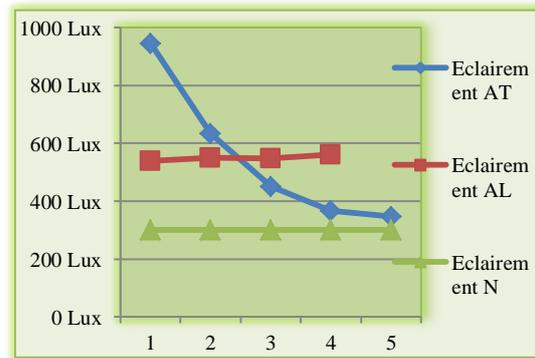
2. Salle de classe N°02 orientée Nord – Ouest :

Classe de classe N°02 orientée Nord – Ouest								
Axe P	l'éclairage intérieur (lux) mesuré à 09h00				l'éclairage intérieur (lux) mesuré à 15h00			
AP01	462	459	458	497	975	906	949	954
	372	400	411	433	815	777	765	822
AP02	335	360	343	371	630	648	624	640
	293	304	305	304	500	525	513	522
AP03	267	280	277	281	421	462	454	467
	242	246	249	251	378	400	391	415
AP04	230	238	232	242	336	363	366	409
	228	230	231	234	350	383	367	340
AP05	225	229	226	224	332	377	342	337
Axe L	AL01	AL02	AL03	AL04	AL01	AL02	AL03	AL04
Tableau	244		220		412		301	
Bureau	459		E moyen 304.69		863		E moyen 534.86	

TableauVI.13: Mesure in-situ d'éclairage intérieur dans la salle de classe N°02 le 21Mars 2015. Source : Auteur.



GrapheVI.11: Variation d'éclairage moyen dans la salle de classe N°02 à 9h le 21 Mars 2015. Source : Auteur.



GrapheVI.12: Variation d'éclairage moyen dans la salle de classe N°02 à 15h le 21 Mars 2015. Source : Auteur.

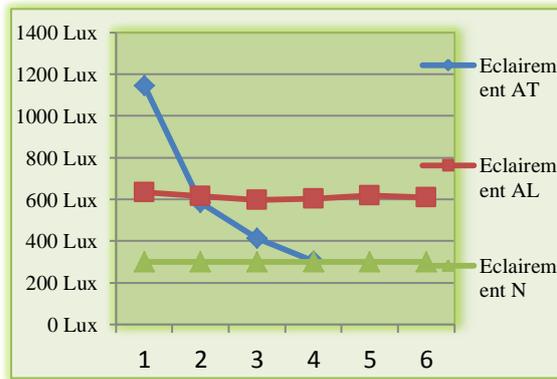
Le GrapheVI.11 indique une augmentation des valeurs d'éclairage moyen par rapport à celles obtenus durant la période hivernale, ou les valeurs sont variées d'une façon convergente comme la montre le graphe linéaire tant que les valeurs d'éclairage moyen des 05 derniers tables de chaque rangé sont moins de celles normative comme suivant : $226 < ET_{moy} < 469$, $304 < EL_{moy} < 223$.

A 15h comme le indique le GrapheVI.12 les valeurs sont augmentées ou on a marqué des valeurs d'éclairage moyen qui sont inclus entre $347 < ET_{moy} < 946$, $539 < EL_{moy} < 561$.

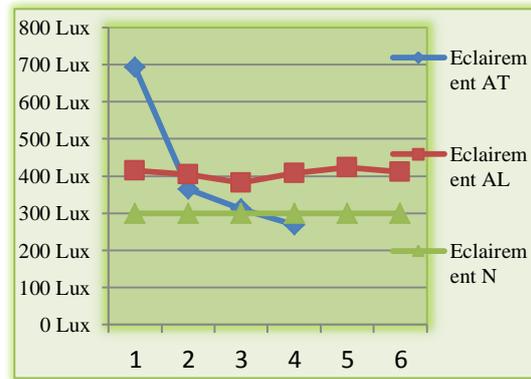
3. Salle de classe N°03 orientée Nord – Est :

Salle de classe N°03 orientée Nord – Est												
Axe P	l'éclairage intérieur (lux) mesuré à 09h00						l'éclairage intérieur (lux) mesuré à 15h00					
		1220	1214	1054	1155	1536	1208	642	724	620	715	650
AP01	1285	1206	1040	1071	1158	1114	720	720	600	690	720	713
	734	735	753	681	644	605	476	402	421	424	460	405
AP02	626	527	589	593	593	590	381	339	356	378	365	370
	521	500	490	486	461	485	318	319	310	324	360	338
AP03	322	434	450	434	418	431	308	295	301	296	356	310
	315	310	313	315	322	321	260	273	284	270	250	255
AP04	300	301	305	309	302	298	252	266	271	264	250	254
Axe L	AL01	AL02	AL03	AL04	AL05	AL06	AL01	AL02	AL03	AL04	AL05	AL06
Tableau	524		448		393		335		290		274	
Bureau	1267		E _{moyen}		647.37		690		E _{moyen}		416.27	

TableauVI.14: Mesure in-situ d'éclairage intérieur dans la salle de classe N°03 le 21Mars 2015. Source : Auteur.



Graph VI.13: Variation d'éclairage moyen dans la salle de classe N°03 à 9h le 21 Mars 2015. Source : Auteur.



Graph VI.14: Variation d'éclairage moyen dans la salle de classe N°03 à 15h le 21 Mars 2015. Source : Auteur.

Le GrapheVI.13 indique une augmentation graduelle des valeurs d'éclairage moyen par rapport à celles obtenus durant la période hivernale, ou on a marqué trois différentes gammes d'éclairage comme les montres le graphe décroissent qui a divisé l'espace en trois : 1040 <E< 1536 au niveau de deux rangés proche de la fenêtre, 500 <E< 753 au milieu de la classe 298 <E< 490 et d'un éclairage moyen qui compris entre : 302 < ET_{moy}< 1146, 602 < EL_{moy}< 633 du a la présence des taches solaires à l'intérieur de classe.

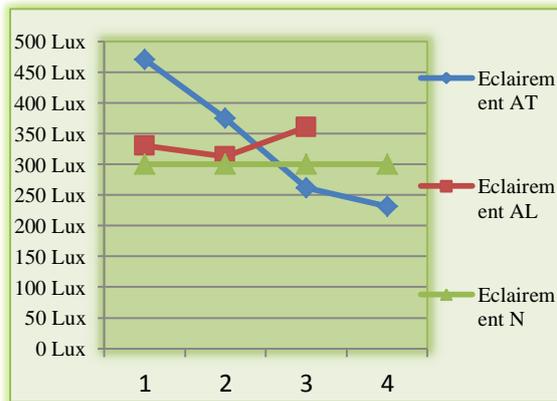
A 15h comme le montre le GrapheVI.14: du ou position de soleil on a marqué une diminution des valeurs d'éclairage mais elles restent plus de celles mesurées dans la période hivernal comme suivant : 269 < ET_{moy}< 694 et 423 < EL_{moy}< 382.

Le milieu de la classe reçoit des valeurs presque uniforme tandis que les deux dernier rangés reçoivent une quantité faible et bas par rapport la norme du ou profondeur de la classe.

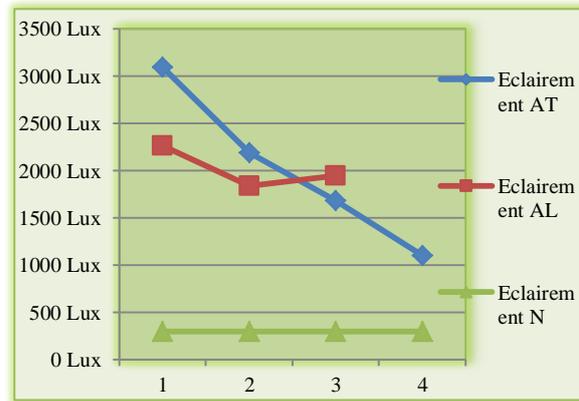
4. Salle de classe N°04 orientée Sud – Ouest :

Classe de classe N°02 orientée Sud – Ouest						
Axe P	l'éclairage intérieur (lux) mesuré à 09h00			l'éclairage intérieur (lux) mesuré à 15h00		
AP01	500	398	514	4261	2385	2640
	420	362	541	3320	2330	2400
AP02	336	352	438	2281	1943	2330
	284	319	272	1962	1605	2310
AP03	256	277	254	1475	1804	1758
	221	250	257	1236	1385	1425
AP04	229	227	241	1023	1215	1058
	219	219	232	947	1052	1030
Axe L	AL01	AL02	AL03	AL01	AL02	AL03
Tableau	335	314	305	1310	1175	1022
Bureau	543	E_{moyen}	317.41	2486	E_{moyen}	1882.29

TableauVI.15: Mesure in-situ d'éclairage intérieur dans la salle de classe N°04 le 21Mars 2015. Source : Auteur.



GrapheVI.15: Variation d'éclairage moyen dans la salle de classe N°04 à 9h le 21 Mars 2015. Source : Auteur.



GrapheVI.16: Variation d'éclairage moyen dans la salle de classe N°04 à 15h le 21 Mars 2015. Source : Auteur.

Malgré l'augmentation des valeurs d'éclairage comparant au période hivernal, les trois dernières tables reçoivent une quantité de lumière moins de celle normative mais elles varient d'une façon convergente comme le montre le GrapheVI.15 les valeurs d'éclairage moyen mesurent sont compris entre : $232 < ET_{moy} < 471$ et $361 < EL_{moy} < 313$

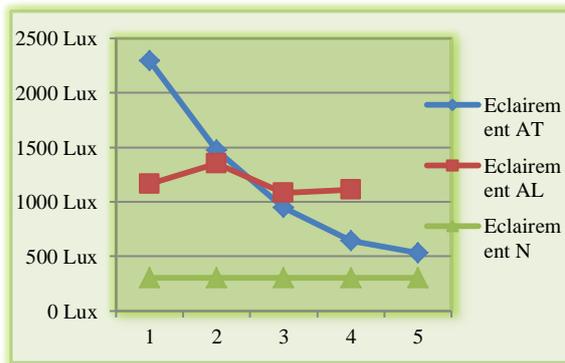
Le GrapheVI.16 montre un changement graduelle des valeurs d'éclairage qui sont variées entre : $947 < E < 4261$ et d'un éclairage moyen compris entre : $1098 < ET_{moy} < 3095$ et $1837 < EL_{moy} < 2260$, la variation excessive non uniforme crée un contraste dans l'environnement lumineuse dans la salle de classe et c'est dû à la présence des taches solaires d'une façon no uniforme à l'intérieur de la salle.

II.3.3. Période de mesure : 9h00 et 15h00 journée du 21 /06/2015 :

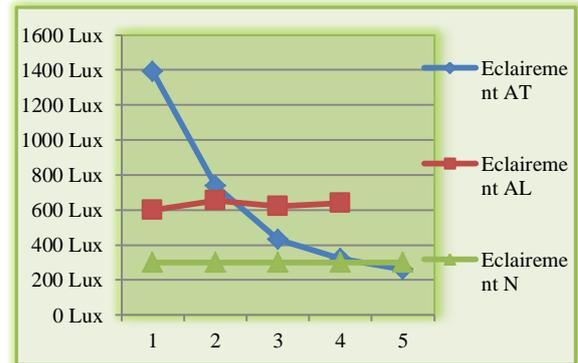
1. Salle de classe N°01 orientée Sud – Est :

Classe de classe N°01 orientée Sud – Est								
Axe P	l'éclairage intérieur (lux) mesuré à 09h00				l'éclairage intérieur (lux) mesuré à 15h00			
	AP01	2400	2460	1990	2335	1380	1467	1263
	1795	1900	1526	1793	927	1008	1019	1005
AP02	1275	1930	1385	1299	647	771	785	749
	1017	1446	1131	1016	514	580	552	536
AP03	962	1133	902	800	406	451	457	415
	978	888	729	693	364	378	383	364
AP04	626	738	615	600	308	324	336	320
	523	510	597	586	279	276	290	271
AP05	571	511	520	532	260	257	264	262
Axe L	AL01	AL02	AL03	AL04	AL01	AL02	AL03	AL04
Tableau	807		630		422		311	
Bureau	2300		E _{moyen} 1130.88		1060		E _{moyen} 592.30	

TableauVI.16: Mesure in-situ d'éclairage intérieur dans la salle de classe N°01 le 21Jun 2015. Source : Auteur.



GrapheVI.17: Variation d'éclairage moyen dans la salle de classe N°01 à 9h le 21 Juin 2015. Source : Auteur.



GrapheVI.18: Variation d'éclairage moyen dans la salle de classe N°01 à 15h le 21 Juin 2015. Source : Auteur.

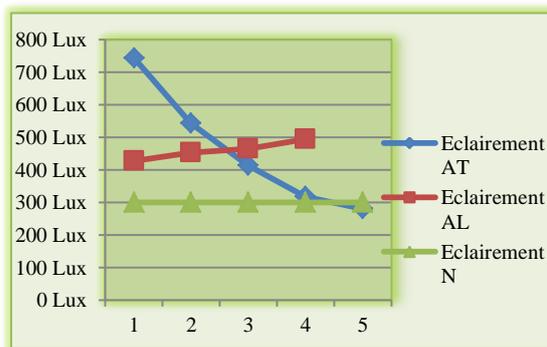
Le GrapheVI.17 montre une diminution des valeurs d'éclairage comparant de celles marquée durant le 21 mars tandis qu'elles restent plus des valeurs marquent durant la période hivernal, du ou diminution des surfaces de tache solaire (le soleil est plus haut dans l'oraison). Ou on a marqué des valeurs d'éclairage moyen qui compris entre : $533 < ET_{moy} < 2296$ et $1082 < EL_{moy} < 1354$.

A 15h comme le montre le GrapheVI.18 les valeurs mesurant sont diminuées par apport la matinée mais elles restent plus des celles mesurent durant le 21 décembre et le 21 mars. Ou on a marqué des valeurs d'éclairage moyen qui compris entre : $261 < ET_{moy} < 1391$ et $600 < EL_{moy} < 654$.

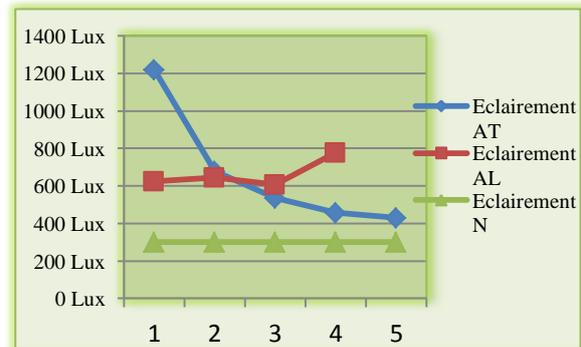
2. Salle de classe N°02 orientée Nord – Ouest :

Classe de classe N°02 orientée Nord – Ouest								
Axe P	l'éclairage intérieur (lux) mesuré à 09h00				l'éclairage intérieur (lux) mesuré à 15h00			
AP01	738	759	716	760	1150	1193	1000	1535
	596	659	628	741	821	874	830	1030
AP02	524	542	550	560	596	650	577	886
	448	512	500	505	535	553	605	620
AP03	356	403	406	486	513	524	538	560
	310	343	370	401	457	486	505	500
AP04	277	305	341	350	435	428	488	481
	256	260	321	327	424	430	450	454
AP05	245	249	311	314	420	428	439	430
Axe L	AL01	AL02	AL03	AL04	AL01	AL02	AL03	AL04
Tableau	521		491		434		377	
Bureau	665		E _{moyen} 454.69		1290		E _{moyen} 634.58	

TableauVI.17: Mesure in-situ d'éclairage intérieur dans la salle de classe N°02 le 21Juin 2015. Source : Auteur.



GrapheVI.19: Variation d'éclairage moyen dans la salle de classe N°02 à 9h le 21 Juin 2015. Source : Auteur.



GrapheVI.20: Variation d'éclairage moyen dans la salle de classe N°02 à 15h le 21 Juin 2015. Source : Auteur.

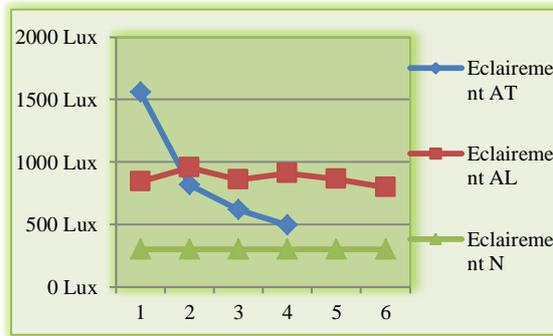
D'après le GrapheVI.19 on remarque une augmentation des valeurs d'éclairage moyen comparant de celles mesurent le 21 décembre et le 21 mars avec un éclairage moyen à 9h qui varie entre : $280 < ET_{moy} < 743$ et $428 < EL_{moy} < 494$ et un éclairage moyen à 15h qui varie entre $429 < ET_{moy} < 1219$ et $608 < EL_{moy} < 778$

Durant la période matinal les valeurs sont variés de façon convergente et basses de celles mesurent le soir ou elles sont excessive proche de la fenêtre entre $828 < E < 1535$ et convergentes entre $428 < E < 650$ éloigne de la fenêtre.

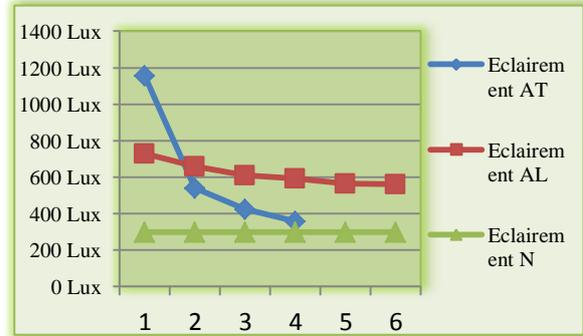
3. Salle de classe N°03 orientée Nord – Est :

Salle de classe N°03 orientée Nord – Est												
Axe P	l'éclairage intérieur (lux) mesuré à 09h00						l'éclairage intérieur (lux) mesuré à 15h00					
	2290	2302	1780	2332	2320	1730	1482	1304	1145	1320	1163	1160
AP01	1292	1772	1503	1760	1600	1410	1480	1240	1108	1080	1000	1020
	1094	1078	946	914	860	850	753	718	624	599	569	525
AP02	927	878	829	781	761	740	623	595	524	510	505	475
	720	713	726	675	660	620	545	495	477	450	435	421
AP03	668	651	608	621	619	554	455	450	434	417	400	400
	510	546	527	508	500	500	380	398	377	386	366	360
AP04	491	520	504	487	482	479	355	350	374	360	355	351
Axe L	AL01	AL02	AL03	AL04	AL05	AL06	AL01	AL02	AL03	AL04	AL05	AL06
Tableau	977		735		630		567		480		450	
Bureau	1880		E _{moyen}		971.62		1370		E _{moyen}		652.35	

TableauVI.18: Mesure in-situ d'éclairage intérieur dans la salle de classe N°03 le 21Jun 2015. Source : Auteur.



GrapheVI.21: Variation d'éclairage moyen dans la salle de classe N°03 à 9h le 21 Juin 2015. Source : Auteur.



GrapheVI.22: Variation d'éclairage moyen dans la salle de classe N°03 à 15h le 21 Juin 2015. Source : Auteur.

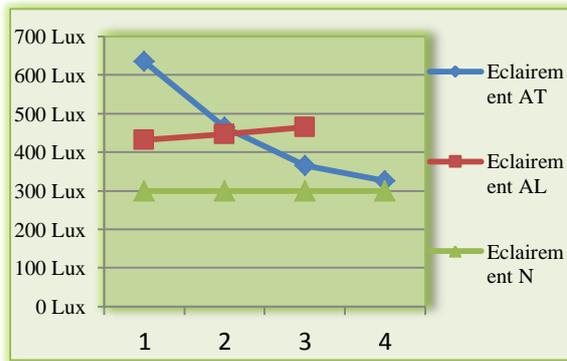
Le GrapheVI.21 indique une augmentation graduelle des valeurs d'éclairage par rapport à celles obtenus durant le 21 décembre et le 21 mars, qui a créé un contraste dans l'environnement lumineuse de la salle de classe du aux différenciations des valeurs d'éclairage excessive mesurent entre l'espace proche et éloigne de la fenêtre comme le indique le tableau. Ou les valeurs d'éclairage moyen sont variées entre : $494 < ET_{moy} < 1556$ et $796 < EL_{moy} < 955$.

A 15h comme le montre le GrapheVI.22 : on remarque une diminution des valeurs d'éclairage qui sont excessive proche de la fenêtre et varient d'une façon convergente comme suivant : $357 < ET_{moy} < 1155$ et $561 < EL_{moy} < 728$.

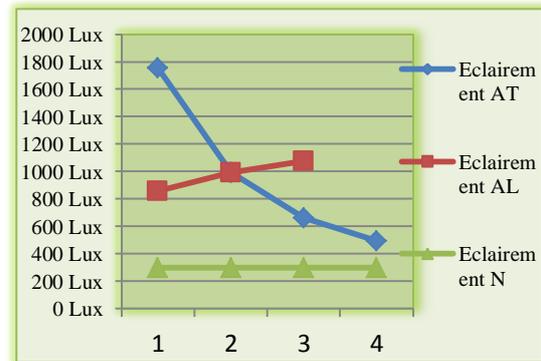
4. Salle de classe N°04 orientée Sud – Ouest :

Classe de classe N°02 orientée Sud – Ouest						
Axe P	l'éclairage intérieur (lux) mesuré à 09h00			l'éclairage intérieur (lux) mesuré à 15h00		
AP01	640	610	656	1500	1701	2063
	505	541	453	1103	1408	1430
AP02	417	500	477	868	1052	1050
	350	412	420	696	866	698
AP03	340	370	386	598	711	670
	357	328	362	510	577	601
AP04	329	308	337	455	511	515
	320	300	323	445	440	465
Axe L	AL01	AL02	AL03	AL01	AL02	AL03
Tableau	321	308	275	474	427	370
Bureau	475	E_{moyen}	418.37	1545	E_{moyen}	872.20

TableauVI.19: Mesure in-situ d'éclairage intérieur dans la salle de classe N°04 le 21Juin 2015. Source : Auteur.



GrapheVI.23: Variation d'éclairage moyen dans la salle de classe N°04 à 9h le 21 Juin 2015. Source : Auteur.



GrapheVI.24: Variation d'éclairage moyen dans la salle de classe N°04 à 15h le 21 Juin 2015. Source : Auteur.

Le GrapheVI.23 indique une augmentation graduelle des valeurs d'éclairage par rapport à celles obtenus durant le 21 décembre et le 21 mars qui sont marquées au-dessus de la ligne de 300 lux comme suivant : $325 < ET_{moy} < 635$ et $447 < EL_{moy} < 431$.

Tandis que à 15h comme le montre le GrapheVI.24 les valeurs d'éclairage moyen sont diminuées graduellement par rapport les mesures obtenues le 21 mars comme suivant : $494 < ET_{moy} < 1755$ et $855 < EL_{moy} < 1477$ du a l'absence des taches solaires.

II.3.4. Synthèse :

Classe	Eclairage moyen	21/12/2014	21/03/2015	21/06/2015
Classe 01 orienté Sud - Est	E _{moyen} mesuré à 9h	497 < ET _{moy} < 1148	710 < ET _{moy} < 2267	533 < ET _{moy} < 2296
		714 < EL _{moy} < 1007	1216 < EL _{moy} < 1610	1082 < EL _{moy} < 1354
	E _{moyen} mesuré à 15h	324 < ET _{moy} < 743	373 < ET _{moy} < 902	261 < ET _{moy} < 1391
		584 < EL _{moy} < 638	533 < EL _{moy} < 562	600 < EL _{moy} < 654
Classe 02 orienté Nord - Ouest	E _{moyen} mesuré à 9h	167 < ET _{moy} < 326	226 < ET _{moy} < 469	280 < ET _{moy} < 743
		212 < EL _{moy} < 257	304 < EL _{moy} < 323	428 < EL _{moy} < 494
	E _{moyen} mesuré à 15h	257 < ET _{moy} < 438	347 < ET _{moy} < 946	429 < ET _{moy} < 1219
		295 < EL _{moy} < 372	539 < EL _{moy} < 561	608 < EL _{moy} < 778
Classe 03 orienté Nord - Est	E _{moyen} mesuré à 9h	135 < ET _{moy} < 293	302 < ET _{moy} < 1146	494 < ET _{moy} < 1556
		193 < EL _{moy} < 201	602 < EL _{moy} < 633	796 < EL _{moy} < 955
	E _{moyen} mesuré à 15h	217 < ET _{moy} < 442	269 < ET _{moy} < 694	357 < ET _{moy} < 1155
		280 < EL _{moy} < 300	382 < EL _{moy} < 423	561 < EL _{moy} < 728
Classe 04 orienté Sud - Ouest	E _{moyen} mesuré à 9h	167 < ET _{moy} < 324	232 < ET _{moy} < 471	325 < ET _{moy} < 635
		226 < EL _{moy} < 240	313 < EL _{moy} < 361	431 < EL _{moy} < 447
	E _{moyen} mesuré à 15h	1188 < ET _{moy} < 2244	1098 < ET _{moy} < 3095	494 < ET _{moy} < 1755
		1610 < EL _{moy} < 2012	1837 < EL _{moy} < 2260	855 < EL _{moy} < 1477

Tableau VI.20 : Comparaison entre les mesures in-situ d'éclairage moyen intérieur dans les salles de classe type. **Source** : Auteur.

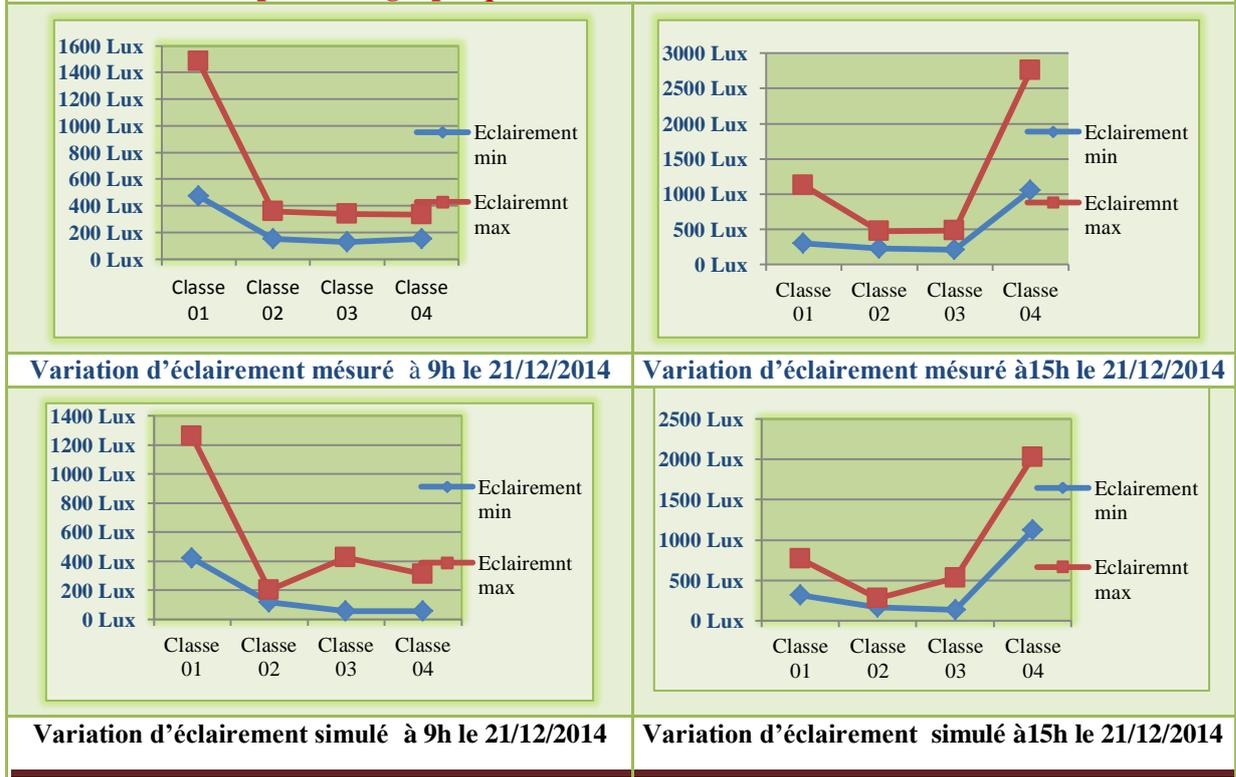
Le tableau VI.20 indique que les valeurs d'éclairage moyen mesurées sont variées selon l'orientation des salles de classe et la période des mesures, ou elles attendent des valeurs moins que la norme recommandée durant la matinée en l'hiver pour une orientation : Nord-Ouest, Nord- Est et Sud- Ouest, qui s'augmentent le soir. Temps qu'elles augmentent durant le printemps et l'été, ou elles eurent des valeurs plus que la norme recommandée.

Les salles de classe orientées : Sud - Est et Sud- Ouest attendent des valeurs d'éclairage moyen excessif durant toute l'année (la matinée la matinée pour la salle orientée Sud – Est et le soir pour la salle orientée Sud- Ouest).

III. Comparaison des résultats :

Comparaison numérique des résultats de niveau d'éclairement				
Classe	Eclairement	21/12/2014	21/03/2015	21/06/2015
Classe 01 orienté Sud - Est	les valeurs d'éclairement intérieur mesurées			
	E mesuré à 9h	474 < E < 1482	590 < E < 2676	511 < E < 2460
	E mesuré à 15h	300 < E < 1128	370 < E < 953	257 < E < 1467
	les valeurs d'éclairement intérieur simulées			
	E simulé à 9h	419.5 < E < 1258.5	1050 < E < 2250	465 < E < 2325
	E simulé à 15h	315 < E < 765	402.5 < E < 977.5	395 < E < 924
Classe 02 orienté Nord - Ouest	les valeurs d'éclairement intérieur mesurées			
	E mesuré à 9h	152 < E < 358	224 < E < 497	249 < E < 760
	E mesuré à 15h	227 < E < 474	332 < E < 975	420 < E < 1535
	les valeurs d'éclairement intérieur simulées			
	E simulé à 9h	120 < E < 200	247.5 < E < 457.5	367.5 < E < 892.5
	E simulé à 15h	166.5 < E < 277.5	305 < E < 793	425 < E < 935
Classe 03 orienté Nord - Est	les valeurs d'éclairement intérieur mesurées			
	E mesuré à 9h	129 < E < 337	300 < E < 1536	479 < E < 2332
	E mesuré à 15h	207 < E < 484	254 < E < 724	350 < E < 1482
	les valeurs d'éclairement intérieur simulées			
	E simulé à 9h	67,5 < E < 427,5	593 < E < 1309	1525 < E < 2328.75
	E simulé à 15h	140 < E < 532	427.5 < E < 712.5	521.5 < E < 1266.5
Classe 04 orienté Sud - Ouest	les valeurs d'éclairement intérieur mesurées			
	E mesuré à 9h	154 < E < 335	219 < E < 541	300 < E < 656
	E mesuré à 15h	1049 < E < 2760	947 < E < 2640	440 < E < 2063
	les valeurs d'éclairement intérieur simulées			
	E simulé à 9h	58,5 < E < 313,5	315 < E < 525	360 < E < 560
	E simulé à 15h	1125 < E < 2025	412.5 < E < 2337.5	450 < E < 1950

Comparaison graphique des résultats de niveau d'éclairement



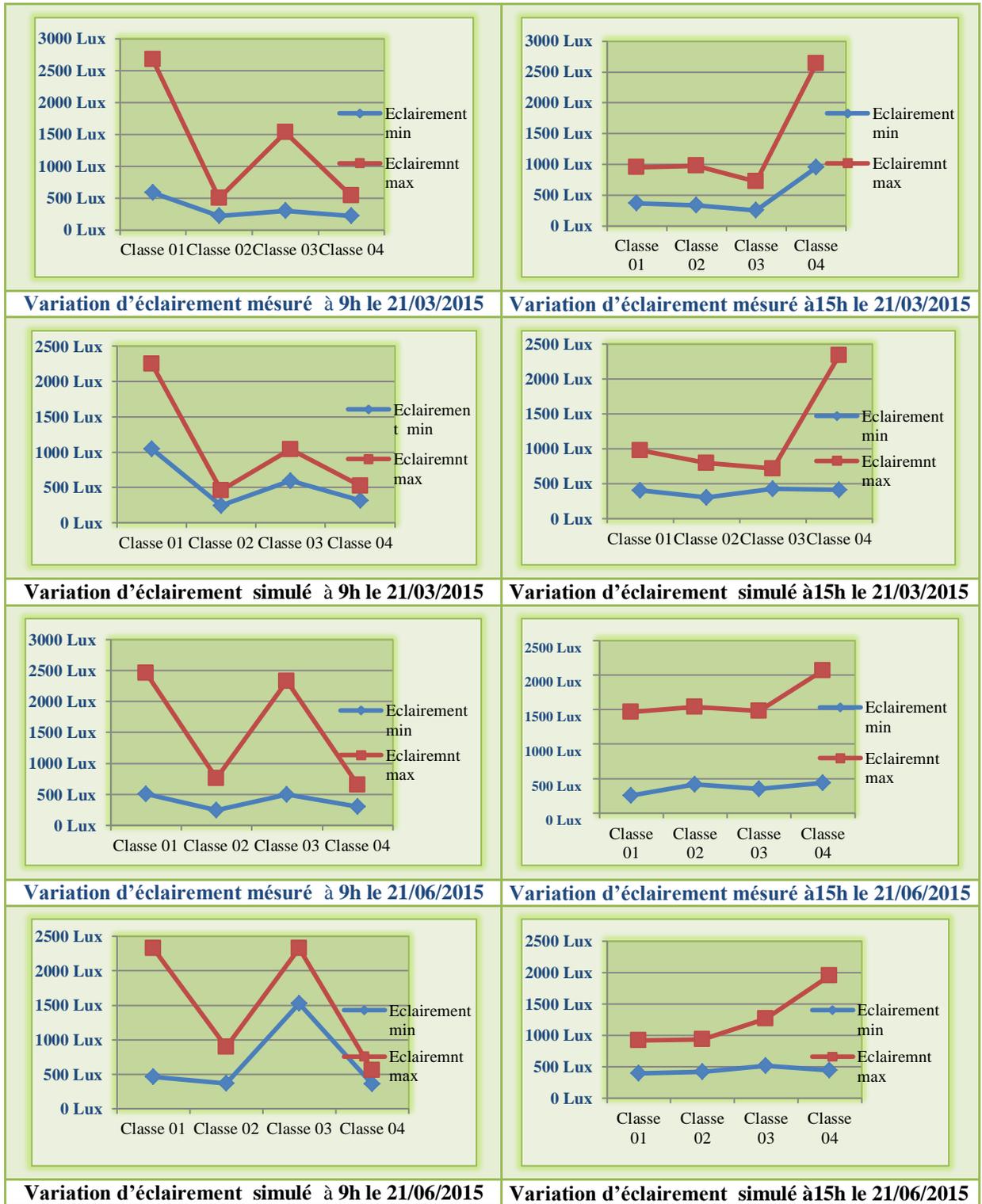


Tableau VI.21: Comparaison entre les valeurs d'éclairage intérieur simulées et mesurées dans les salles de classe type. Source : Auteur.

Le tableau VI.21 montre que les valeurs d'éclairage intérieur sont trop rapprochées, excepté pour la salle de classe N° 03, là où on remarque une différence remarquable. Cette différence est due peut être à l'heure de mesure entre le luxmètre et le logiciel Radiance car la salle de classe N° 03 est la dernière salle où se déroulent les dernières mesures.

Conclusion :

L'évaluation quantitative d'éclairage naturel à l'aide d'une étude expérimentale et une simulation numérique nous a permis de comparer les résultats obtenus de niveau d'éclairage et leur répartition dans les salles de classe type, pour but d'illustrer les caractéristiques de chaque orientation du point de vue quantité et répartition d'éclairage reçu, qui ont une importance primordiale dans les processus d'apprentissage et les paramètres liés à la santé et au confort offerts aux étudiants.

En effet on peut caractériser la quantité de lumière reçue par chaque orientation comme suit :

Une fenêtre orientée Sud-Est : en hiver reçoit un éclairage excessif d'une répartition hétérogène la matinée et une quantité très suffisante l'après-midi, tandis que la quantité d'éclairage eut sa valeur maximale durant le printemps d'une répartition uniforme l'après-midi qui se diminue en été ou elle reçoit sa valeur minimale. Car elle bénéficie d'une lumière plus facile à contrôler et d'un ensoleillement maximal en hiver et minimal en été. En effet, en hiver, le soleil bas pénètre profondément dans la salle de classe tandis qu'en été, la hauteur solaire est plus élevée et la pénétration du soleil est donc moins profonde.

Une fenêtre orientée Nord-Ouest : en hiver reçoit un éclairage faible d'une répartition uniforme la matinée et une quantité très suffisante d'une répartition hétérogène l'après-midi, tandis que la quantité d'éclairage augmente en été ou elle reçoit sa valeur maximale d'une répartition hétérogène. Car une fenêtre orientée Nord-Ouest reçoit très peu de rayonnement solaire en hiver, un peu plus en demi-saison, et un maximum en été.

Une fenêtre orientée Nord-Est : en hiver reçoit un éclairage faible d'une répartition uniforme la matinée et une quantité peu suffisante l'après-midi, tandis qu'il augmente en été ou elle reçoit une valeur maximale la matinée d'une répartition hétérogène, dont elle devient uniforme durant l'après-midi. Car les apports solaires sont maximaux en matinée dus à la faible hauteur du soleil ou les rayons sont bas sur l'horizon

Une fenêtre orientée Sud-Ouest : en hiver reçoit un éclairage faible d'une répartition uniforme la matinée et une quantité excessive l'après-midi d'une répartition hétérogène, ou elle se diminue en été et eut sa valeur maximale d'une répartition hétérogène l'après-midi durant le printemps. Car en hiver, le soleil bas pénètre profondément dans la salle de classe tandis qu'en été, la hauteur solaire est plus élevée et la pénétration du soleil est donc moins profonde.

Ci en relie les repenses des étudiants concernant leur avis de point de vu le taux de luminosité dans les salles de classe type et les différentes observations de l'environnement lumineux avec les l'évaluation de différentes valeurs d'éclairage lumineux obtenues par l'expérimentation et la simulation on peut qualifier les valeurs d'éclairage par une vocabulaire (Eclairage : faible, suffisant, très suffisant, excessif) qui présente l'effet de chaque gamme d'éclairage sur l'exécution de différentes taches visuelle et l'environnement lumineux comme suivant :

Si $0 < E < 300 \text{ lux}$ ➡ Eclairage faible : présenté par un environnement sombre qui nécessite l'utilisation d'éclairage artificiel et un niveau d'éclairage moins de la norme recommandé par CIE (300lux).

Si $300 < E < 600 \text{ lux}$ ➡ Eclairage suffisant : la quantité de lumière est suffisante pour l'exécution des taches visuelle, présenté par un environnement éclairée.

Si $600 < E < 900 \text{ lux}$ ➡ Eclairage très suffisant : la quantité de lumière est très suffisante pour l'exécution des taches visuelle, présenté par un environnement bien éclairée avec l'existence de quelque tache solaire et le risque de présence d'éblouissement.

Si $900 < E < 5000 \text{ lux}$ ➡ Eclairage excessif : la quantité de lumière est excessive gênante l'exécution des taches visuelle, présenté par un environnement contrasté et éblouissant caractérisé par la présence des tache solaires.

D'après les ces résultat on peut établir une échelle qui nous permet qualifier le niveau d'éclairage comme suivant :

0 <E <300 lux Eclairage faible	300<E <600 lux Eclairage suffisant	600<E <900 lux Eclairage très suffisant	900<E <5000 lux Eclairage excessif

Tableau VI.22: Echelle d'évaluation de niveau d'éclairage. **Source :** Auteur.

Introduction :

Si l'étudiant est, d'une manière générale, beaucoup plus attentif et beaucoup plus confiant en sa vue qu'en ses quatre autres sens réunis (80 % de nos impressions sensorielles sont de nature optique), le confort visuel reste quant à lui une notion assez subjective dans leur environnement universitaires.

L'évaluation de la quantité et la quantité de lumière nécessaire pour effectuer une activité universitaire dans des conditions optimales et confortable d'éclairage est un aspect assez bien défini aujourd'hui, dont il est l'objectif essentiel de notre recherche, pour cela nous avons recouru à la méthodologie de travail (indiqué ci-dessous) qui rassemble est analyse les donnée quantitative et qualitative mentionnées dans le chapitre V et VI comme suivante :

1. l'évaluation quantitative qui comporte :

- **l'éclairage moyen** : la moyenne entre les résultats d'éclairage obtenu par la technique d'expérimentation et l'évaluation numérique.
- **l'indice d'uniformité** : calculés par l'équation suivante $I_u = E_{\min} / E_{\text{moy}} \dots I$.
- **Schéma simplifiée** : qui présente la répartition d'éclairage dans les salles de classe type dessiné a la base des données mentionnées dans le chapitre V.
- **Synthèse** : qualifie les valeurs obtenues de ses indicateurs mentionnées au-dessus.

0 < E < 300 lux Eclairage faible	300 < E < 600 lux Eclairage suffisant	600 < E < 900 lux Eclairage très suffisant	900 < E < 5000 lux Eclairage excessif

Tableau VII.1: Echelle d'évaluation de niveau d'éclairage. **Source :** Auteur.

2. l'évaluation qualitative qui comporte :

- **Photo représentative de l'environnement lumineux** : prise durant la période d'évaluation.
- **Schéma simplifiée** : caractérise l'ambiance lumineuse de chaque salle de classe type durant la période d'évaluation (le détail de schéma est présenté dans le chapitre V).
- **Synthèse** : caractérise l'environnement et l'ambiance lumineuse dans la salle de classe type a évaluée.

I.1. Analyse et discussion de différents résultats de journée 21 /12/2014 :

I.1.1. Salle de classe N°01 orientée Sud – Est :

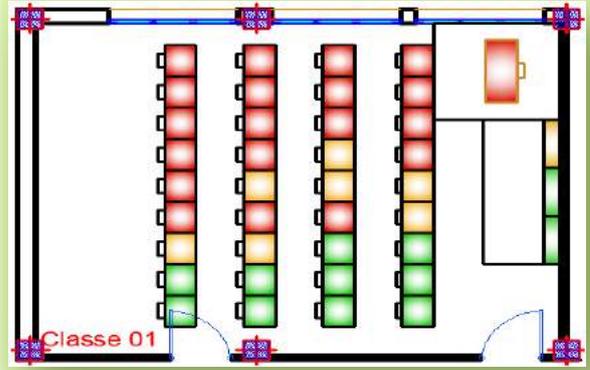
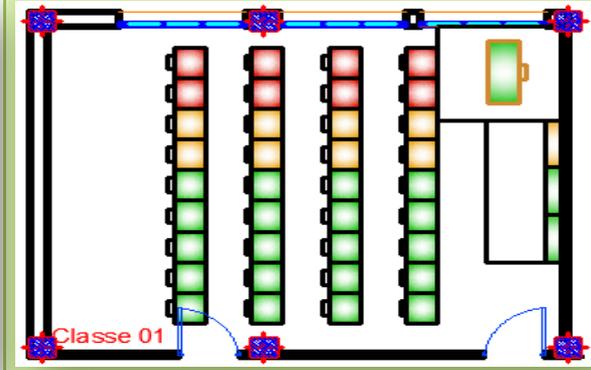
Evaluation des données obtenues à 9h				Evaluation des données obtenues à 15h			
Evaluation quantitative							
Eclairage moyen		Indice d'uniformité		Eclairage moyen		Indice d'uniformité	
447 < EL _{mov} < 1370		0.5		310 < EL _{mov} < 947		0.49	
							
0 < E < 300 lux Eclairage faible		300 < E < 600 lux Eclairage suffisant		600 < E < 900 lux Eclairage très suffisant		900 < E < 5000 lux Eclairage excessif	
- Un éclairage excessif avec une répartition différente. - Un indice d'uniformité moins de la norme recommandé qui indique que l'environnement est contrasté.				- Un éclairage très suffisant avec une répartition différente. - Un indice d'uniformité moins de la norme recommandé qui indique que l'environnement est contrasté.			
Evaluation qualitative							
							
Tache solaire	Eblouissement	Absence d'éblouissement		Tache solaire	Eblouissement	Absence d'éblouissement	
Réflexion des rayons solaires	Eclairée	Sombre	Contrastée	Réflexion des rayons solaires	Eclairée	Sombre	Contrastée
Uniformité	Stimulante	Ensoleillé	Rendu de couleur	Uniformité	Stimulante	Ensoleillé	Rendu de couleur
l'existence des taches solaires a crée un environnement lumineux éblouissant et un contraste trop important dans le champ visuel qui indique un état d'éclairage très suffisant avec des conditions inconfortables.				un environnement lumineux éclairé caractérisé par la présence d'éblouissement avec une répartition d'éclairage non homogène qui n'assure pas les paramètres d'un éclairage confortable.			

Tableau VII.2: Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans la salle de classe N°01 durant le 21 /12/2014. Source : Auteur.

I.1.2. Salle de classe N°02 orientée Nord – Ouest :

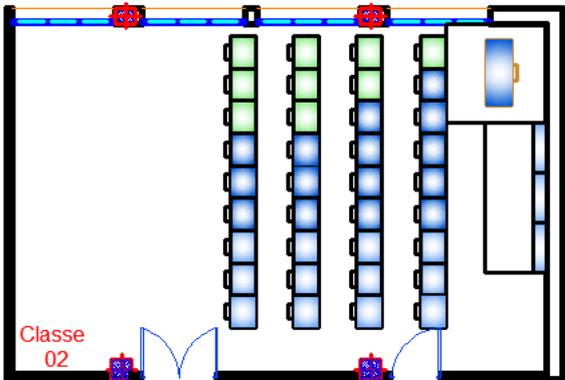
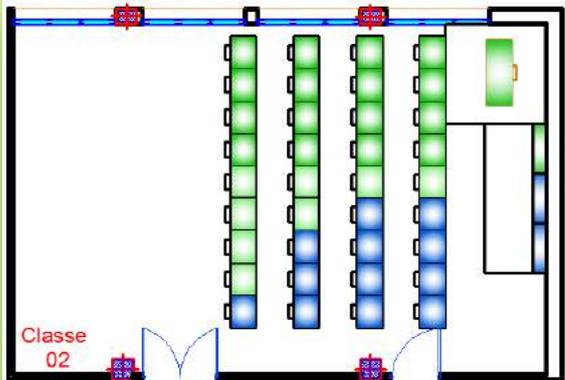
Evaluation des données obtenues à 9h				Evaluation des données obtenues à 15h			
Evaluation quantitative							
Eclairage moyen		Indice d'uniformité		Eclairage moyen		Indice d'uniformité	
136 < EL _{moy} < 279		0.63		197 < EL _{moy} < 376		0.69	
							
0 < E < 300 lux Eclairage faible		300 < E < 600 lux Eclairage suffisant		600 < E < 900 lux Eclairage très suffisant		900 < E < 5000 lux Eclairage excessif	
- Un éclairage faible avec une répartition uniforme. - L'indice d'uniformité est conforme à la norme recommandée qui indique que l'environnement est uniformément éclairé.				- Un éclairage suffisant avec une répartition différente. - L'indice d'uniformité est plus que la norme recommandée qui n'assure pas un éclairage homogène et uniforme.			
Evaluation qualitative							
							
Tache solaire	Eblouissement	Absence d'éblouissement		Tache solaire	Eblouissement	Absence d'éblouissement	
Réflexion des rayons solaires	Eclairée	Sombre	Contrastée	Réflexion des rayons solaires	Eclairée	Sombre	Contrastée
Uniformité	Stimulante	Ensoleillé	Rendu de couleur	Uniformité	Stimulante	Ensoleillé	Rendu de couleur
un environnement lumineux sombre caractérisé par l'absence d'éblouissement qui n'assure pas l'exécution facile des tâches visuelles.				un environnement lumineux éclairé caractérisé par la présence d'éblouissement avec une répartition d'éclairage non homogène qui n'assure pas les paramètres d'un éclairage confortable.			

Tableau VII.3: Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans la salle de classe N°02 durant le 21 /12/2014. Source : Auteur.

I.1.3. Salle de classe N°03 orientée Nord – Est :

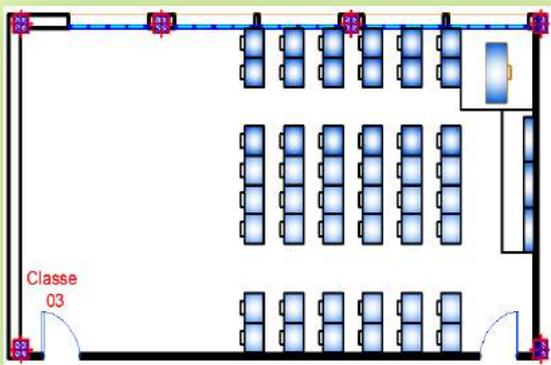
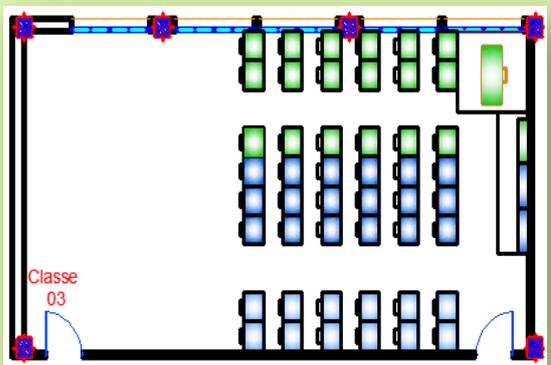
Evaluation des données obtenues à 9h				Evaluation des données obtenues à 15h			
Evaluation quantitative							
Eclairage moyen		Indice d'uniformité		Eclairage moyen		Indice d'uniformité	
100 < EL _{moy} < 382		0.65		174 < EL _{moy} < 508		0.71	
							
0 < E < 300 lux Eclairage faible		300 < E < 600 lux Eclairage suffisant		600 < E < 900 lux Eclairage très suffisant		900 < E < 5000 lux Eclairage excessif	
- Un éclairage faible avec une répartition uniforme. - L'indice d'uniformité est conforme à la norme recommandée qui indique une répartition homogène et uniforme des niveaux d'éclairage.				- Un éclairage un peu suffisant avec une répartition différente. - L'indice d'uniformité est plus que la norme recommandée qui indique un état d'éclairage hétérogène.			
Evaluation qualitative							
							
Tache solaire	Eblouissement	Absence d'éblouissement		Tache solaire	Eblouissement	Absence d'éblouissement	
Réflexion des rayons solaires	Eclairée	Sombre	Contrastée	Réflexion des rayons solaires	Eclairée	Sombre	Contrastée
Uniformité	Stimulante	Ensoleillé	Rendu de couleur	Uniformité	Stimulante	Ensoleillé	Rendu de couleur
un environnement lumineux sombre caractérisé par l'absence d'éblouissement qui n'assure pas l'exécution facile des tâches visuelles.				un environnement lumineux éclairé caractérisé par la présence d'éblouissement qui gêne la vision avec une répartition d'éclairage non homogène qui n'assure pas les paramètres d'un éclairage confortable.			

Tableau VII.4: Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans la salle de classe N°03 durant le 21 /12/2014. Source : Auteur.

I.1.4. Salle de classe N°04 orientée Sud – Ouest :

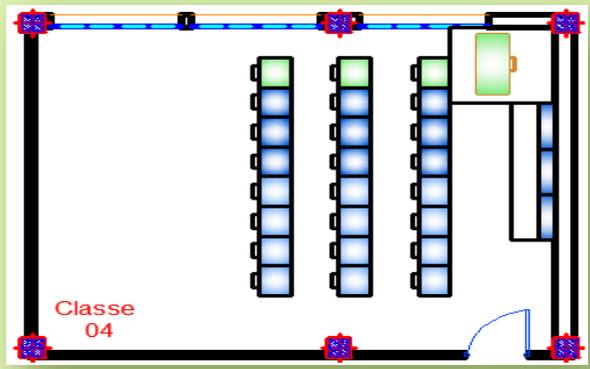
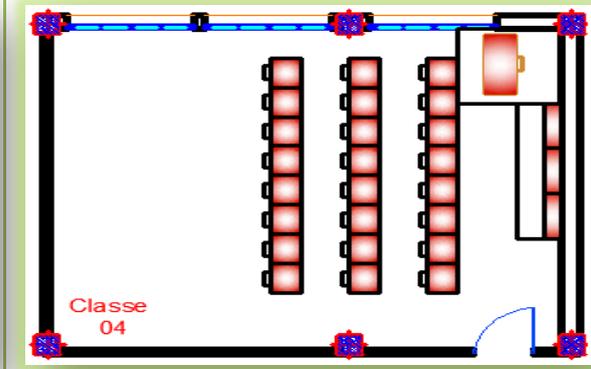
Evaluation des données obtenues à 9h				Evaluation des données obtenues à 15h			
Evaluation quantitative							
Eclairage moyen		Indice d'uniformité		Eclairage moyen		Indice d'uniformité	
106 < EL _{mov} < 324		0.66		1087 < EL _{mov} < 2393		0.54	
							
0 < E < 300 lux Eclairage faible		300 < E < 600 lux Eclairage suffisant		600 < E < 900 lux Eclairage très suffisant		900 < E < 5000 lux Eclairage excessif	
- Un éclairage faible avec une répartition uniforme. - L'indice d'uniformité est conforme à la norme recommandée qui indique une répartition homogène et uniforme des niveaux d'éclairage.				- Un éclairage excessif. - Un indice d'uniformité moins que la norme recommandée qui indique que l'environnement est contrasté.			
Evaluation qualitative							
							
Tache solaire	Eblouissement	Absence d'éblouissement		Tache solaire	Eblouissement	Absence d'éblouissement	
Réflexion des rayons solaires	Eclairée	Sombre	Contrastée	Réflexion des rayons solaires	Eclairée	Sombre	Contrastée
Uniformité	Stimulante	Ensoleillé	Rendu de couleur	Uniformité	Stimulante	Ensoleillé	Rendu de couleur
un environnement lumineux très sombre caractérisé par l'absence d'éblouissement qui n'assure pas l'exécution facile des tâches visuelles.				l'existence des taches solaires a créé un environnement lumineux éblouissant et un contraste trop important dans le champ visuel qui indique un état d'éclairage très suffisant avec des conditions inconfortables qui peut induire une fatigue visuelle.			

Tableau VII.5: Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans la salle de classe N°04 durant le 21 /12/2014. Source : Auteur.

I.2. Analyse et discussion de différents résultats de journée 21 /03/2015 :

I.2.1. Salle de classe N°01 orientée Sud – Est :

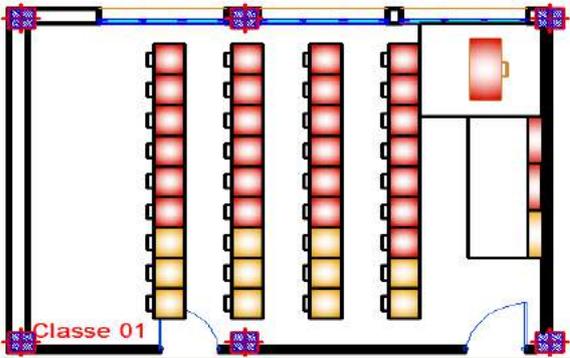
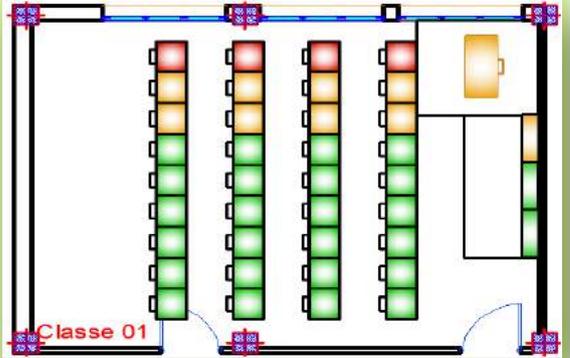
Evaluation des données obtenues à 9h		Evaluation des données obtenues à 15h					
Evaluation quantitative							
Eclairage moyen	Indice d'uniformité	Eclairage moyen	Indice d'uniformité				
820 < EL _{moy} < 2463	0.39	386 < EL _{moy} < 965	0.66				
							
0 < E < 300 lux Eclairage faible	300 < E < 600 lux Eclairage suffisant	600 < E < 900 lux Eclairage très suffisant	900 < E < 5000 lux Eclairage excessif				
<ul style="list-style-type: none"> - Un éclairage excessif avec une répartition différente. - Un indice d'uniformité moins que la norme recommandé qui indique que l'environnement est contrasté. 		<ul style="list-style-type: none"> Un éclairage suffisant avec une répartition uniforme - L'indice d'uniformité est conforme à la norme recommandé qui assure un éclairage homogène et uniforme 					
Evaluation qualitative							
							
Tache solaire	Eblouissement	Absence d'éblouissement		Tache solaire	Eblouissement	Absence d'éblouissement	
Réflexion des rayons solaires	Eclairée	Sombre	Contrastée	Réflexion des rayons solaires	Eclairée	Sombre	Contrastée
Uniformité	Stimulante	Ensoleillé	Rendu de couleur	Uniformité	Stimulante	Ensoleillé	Rendu de couleur
La diffusion des taches solaires a créé un déséquilibre au niveau d'éclairage sur les tables et d'éblouissement dans le champ visuel qui a rendu la classe plus contrastée et ensoleillée ou en marque un état d'éclairage excessif avec des conditions inconfortables.				Un environnement lumineux éclairé caractérisé par l'absence des sources d'éblouissement et une répartition homogène et uniforme de lumière qui assure les paramètres d'un éclairage confortable.			

Tableau VII.6: Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans la salle de classe N°01 durant le 21 /03/2015. Source : Auteur.

I.2.2. Salle de classe N°02 orientée Nord – Ouest :

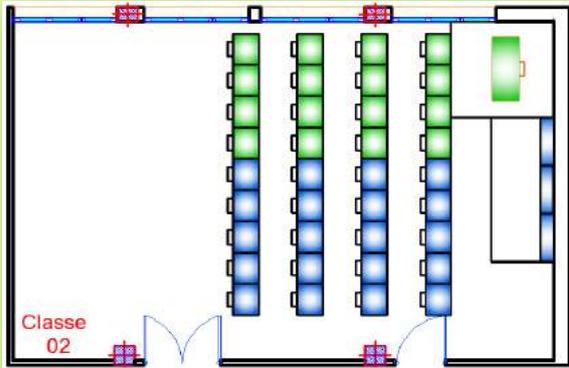
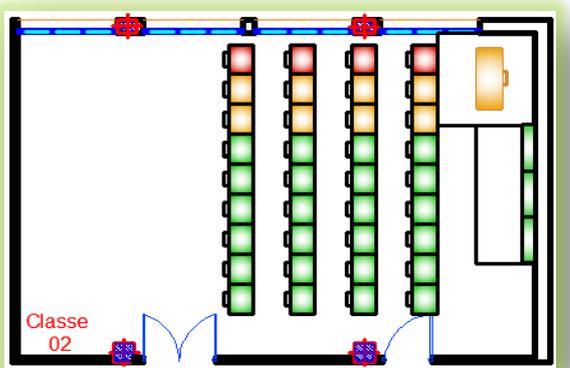
Evaluation des données obtenues à 9h				Evaluation des données obtenues à 15h			
Evaluation quantitative							
Eclairage moyen		Indice d'uniformité		Eclairage moyen		Indice d'uniformité	
236 < EL _{moy} < 477		0.63		319 < EL _{moy} < 884		0.62	
							
0 < E < 300 lux Eclairage faible		300 < E < 600 lux Eclairage suffisant		600 < E < 900 lux Eclairage très suffisant		900 < E < 5000 lux Eclairage excessif	
<ul style="list-style-type: none"> - Un éclairage un peu suffisant avec une répartition uniforme. - L'indice d'uniformité est plus que la norme recommandé qui assure un éclairage homogène et uniforme. 				<ul style="list-style-type: none"> - Un éclairage suffisant avec une répartition uniforme - L'indice d'uniformité est conforme à la norme. recommandé qui assure un éclairage homogène et uniforme. 			
Evaluation qualitative							
							
Tache solaire	Eblouissement	Absence d'éblouissement		Tache solaire	Eblouissement	Absence d'éblouissement	
Réflexion des rayons solaires	Eclairée	Sombre	Contrastée	Réflexion des rayons solaires	Eclairée	Sombre	Contrastée
Uniformité	Stimulante	Ensoleillé	Rendu de couleur	Uniformité	Stimulante	Ensoleillé	Rendu de couleur
un environnement lumineux un peu éclairé caractérisé par l'absence des sources d'éblouissement et une répartition homogène et uniforme de la lumière qui assure les paramètres d'un éclairage confortable.				un environnement lumineux bien éclairé caractérisé par la présence d'éblouissement au niveau des rangés proche de la fenêtre et une répartition uniforme et homogène de la lumière au milieu de la classe qui assure certain confort visuel aux étudiants.			

Tableau VII.7: Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans la salle de classe N°02 durant le 21 /03/2015. Source : Auteur.

I.2.3. Salle de classe N°03 orientée Nord – Est :

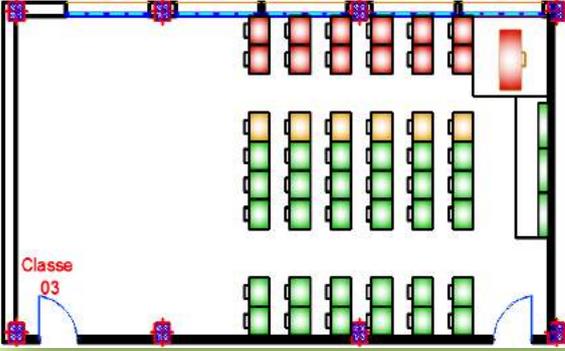
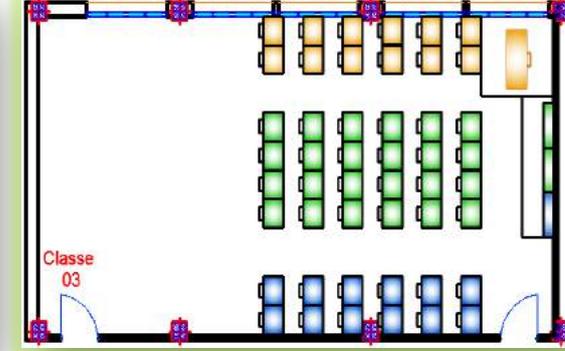
Evaluation des données obtenues à 9h				Evaluation des données obtenues à 15h			
Evaluation quantitative							
Eclairage moyen		Indice d'uniformité		Eclairage moyen		Indice d'uniformité	
447 < EL _{moy} < 1423		0.46		341 < EL _{moy} < 718		0.60	
							
0 < E < 300 lux Eclairage faible		300 < E < 600 lux Eclairage suffisant		600 < E < 900 lux Eclairage très suffisant		900 < E < 5000 lux Eclairage excessif	
<ul style="list-style-type: none"> - Un éclairage très suffisant avec une répartition différente. - L'indice d'uniformité est moins que la norme recommandé qui indique que l'environnement est contrasté. 				<ul style="list-style-type: none"> - Un éclairage suffisant avec une répartition uniforme - L'indice d'uniformité est conforme à la norme recommandé qui assure un éclairage homogène et uniforme 			
Evaluation qualitative							
							
Tache solaire	Eblouissement	Absence d'éblouissement		Tache solaire	Eblouissement	Absence d'éblouissement	
Réflexion des rayons solaires	Eclairée	Sombre	Contrastée	Réflexion des rayons solaires	Eclairée	Sombre	Contrastée
Uniformité	Stimulante	Ensoleillé	Rendu de couleur	Uniformité	Stimulante	Ensoleillé	Rendu de couleur
la présence des taches solaires au niveau de deux rangés a créé une source d'éblouissement dans le champ visuel qui a rendu l'environnement lumineux inconfortable et contrasté avec une répartition hétérogène de la lumière qui n'assure pas l'exécution des tâches sans fatigue visuelle exagérée.				un environnement lumineux bien éclairé caractérisé par l'absence des sources d'éblouissement et une répartition homogène et uniforme de la lumière qui assure les paramètres d'un éclairage confortable.			

Tableau VII.8: Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans la salle de classe N°03 durant le 21 /03/2015. Source : Auteur.

I.2.4. Salle de classe N°04 orientée Sud – Ouest :

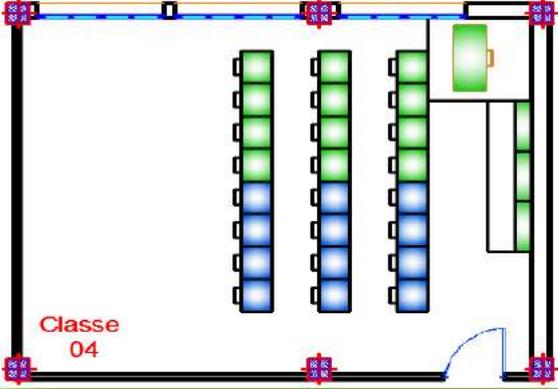
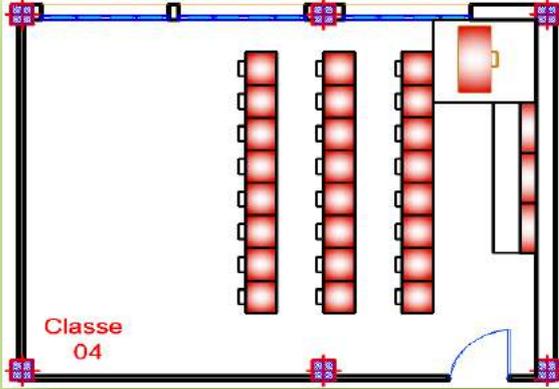
Evaluation des données obtenues à 9h				Evaluation des données obtenues à 15h			
Evaluation quantitative							
Eclairage moyen		Indice d'uniformité		Eclairage moyen		Indice d'uniformité	
267 < EL _{moy} < 533		0.63		680 < EL _{moy} < 1437		0.5	
							
0 < E < 300 lux Eclairage faible		300 < E < 600 lux Eclairage suffisant		600 < E < 900 lux Eclairage très suffisant		900 < E < 5000 lux Eclairage excessif	
- Un éclairage suffisant avec une répartition uniforme. - L'indice d'uniformité est conforme à la norme recommandée qui assure un éclairage homogène et uniforme.				- Un éclairage excessif avec une répartition différente. - L'indice d'uniformité est moins que la norme recommandée qui indique que l'environnement est contrasté.			
Evaluation qualitative							
							
Tache solaire	Eblouissement	Absence d'éblouissement		Tache solaire	Eblouissement	Absence d'éblouissement	
Réflexion des rayons solaires	Eclairée	Sombre	Contrastée	Réflexion des rayons solaires	Eclairée	Sombre	Contrastée
Uniformité	Stimulante	Ensoleillé	Rendu de couleur	Uniformité	Stimulante	Ensoleillé	Rendu de couleur
un environnement lumineux bien éclairé caractérisé par l'absence des sources d'éblouissement et une répartition homogène et uniforme de la lumière qui assure les paramètres d'un éclairage confortable.				La diffusion des taches solaires a créé un déséquilibre au niveau d'éclairage sur les tables et d'éblouissement dans le champ visuel qui a rendu la classe plus contrastée et ensoleillée ou en marque un état d'éclairage excessif avec des conditions inconfortables.			

Tableau VII.9: Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans la salle de classe N°04 durant le 21 /03/2015. Source : Auteur.

I.3. Analyse et discussion de différents résultats de journée 21 /06/2015 :

I.3.1. Salle de classe N°01 orientée Sud – Est :

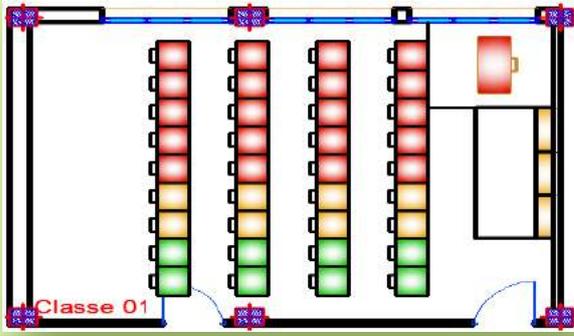
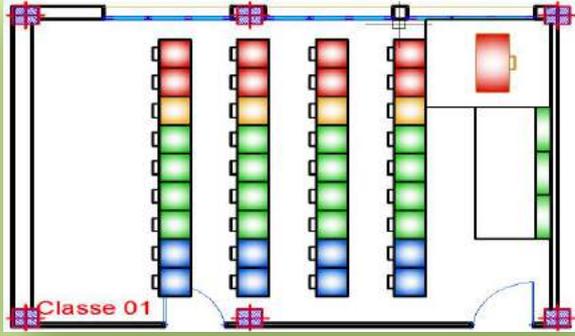
Evaluation des données obtenues à 9h				Evaluation des données obtenues à 15h			
Evaluation quantitative							
Eclairage moyen		Indice d'uniformité		Eclairage moyen		Indice d'uniformité	
488 < EL _{moy} < 2393		0.45		326 < EL _{moy} < 1196		0.6	
							
0 < E < 300 lux Eclairage faible		300 < E < 600 lux Eclairage suffisant		600 < E < 900 lux Eclairage très suffisant		900 < E < 5000 lux Eclairage excessif	
<ul style="list-style-type: none"> - Un éclairage excessif avec une répartition différente. - L'indice d'uniformité est moins que la norme recommandé qui indique que l'environnement est contrasté. 				<ul style="list-style-type: none"> - Un éclairage très suffisant avec une répartition uniforme. - L'indice d'uniformité est conforme à la norme recommandé qui assure un éclairage homogène et uniforme. 			
Evaluation qualitative							
							
Tache solaire	Eblouissement	Absence d'éblouissement		Tache solaire	Eblouissement	Absence d'éblouissement	
Réflexion des rayons solaires	Eclairée	Sombre	Contrastée	Réflexion des rayons solaires	Eclairée	Sombre	Contrastée
Uniformité	Stimulante	Ensoleillé	Rendu de couleur	Uniformité	Stimulante	Ensoleillé	Rendu de couleur
un environnement lumineux contrasté caractérisé par la présence de quelque tache solaire d'une répartition différente et hétérogène de la lumière qui a créé une source d'éblouissement dans le champ visuel avec des conditions inconfortable d'éclairage.				un environnement lumineux bien éclairé caractérisé par l'absence des sources d'éblouissement et une répartition homogène et uniforme de la lumière qui assure les paramètres d'un éclairage confortable.			

Tableau VII.10: Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans la salle de classe N°01 durant le 21 /06/2015. Source : Auteur.

I.3.2. Salle de classe N°02 orientée Nord – Ouest :

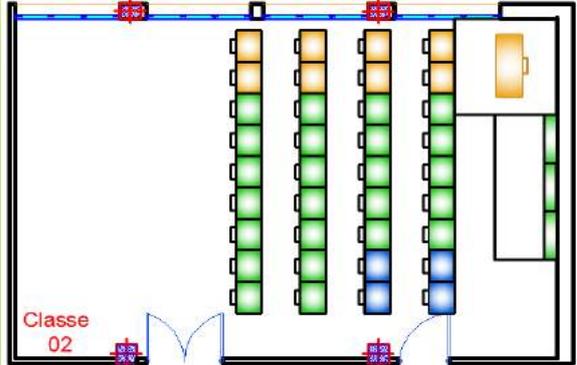
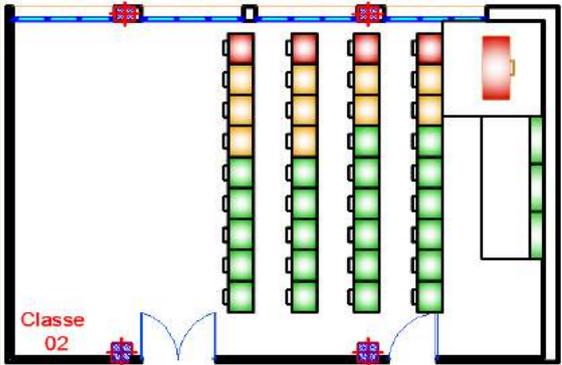
Evaluation des données obtenues à 9h				Evaluation des données obtenues à 15h			
Evaluation quantitative							
Eclairage moyen		Indice d'uniformité		Eclairage moyen		Indice d'uniformité	
308 < ET _{moy} < 826		0.6		423 < EL _{moy} < 1235		0.69	
							
0 < E < 300 lux Eclairage faible		300 < E < 600 lux Eclairage suffisant		600 < E < 900 lux Eclairage très suffisant		900 < E < 5000 lux Eclairage excessif	
<ul style="list-style-type: none"> - Un éclairage suffisant avec une répartition uniforme. - L'indice d'uniformité est conforme à la norme recommandé qui assure un éclairage homogène et uniforme. 				<ul style="list-style-type: none"> - Un éclairage très suffisant avec une répartition différente. - L'indice d'uniformité est plus que la norme recommandé qui indique que l'environnement est contrasté. 			
Evaluation qualitative							
							
Tache solaire	Eblouissement	Absence d'éblouissement		Tache solaire	Eblouissement	Absence d'éblouissement	
Réflexion des rayons solaires	Eclairée	Sombre	Contrastée	Réflexion des rayons solaires	Eclairée	Sombre	Contrastée
Uniformité	Stimulante	Ensoleillé	Rendu de couleur	Uniformité	Stimulante	Ensoleillé	Rendu de couleur
un environnement lumineux bien éclairé caractérisé par l'absence des sources d'éblouissement et une répartition homogène et uniforme de la lumière qui assure les paramètres d'un éclairage confortable.				un environnement lumineux bien éclairé caractérisé par la présence d'éblouissement au niveau des rangés proche de la fenêtre du au taches solaires et une répartition uniforme et homogène de la lumière au milieu de la classe qui assure certaine confort visuel au étudiants.			

Tableau VII.11: Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans la salle de classe N°02 durant le 21 /06/2015. Source : Auteur.

I.3.3. Salle de classe N°03 orientée Nord – Est :

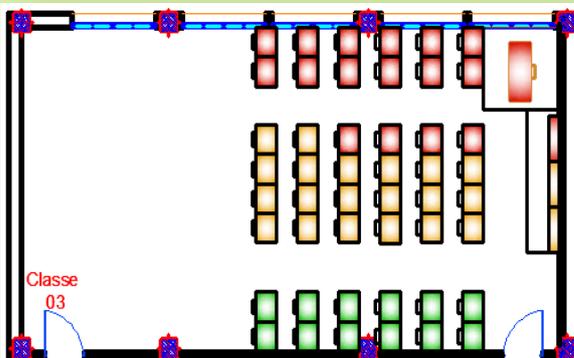
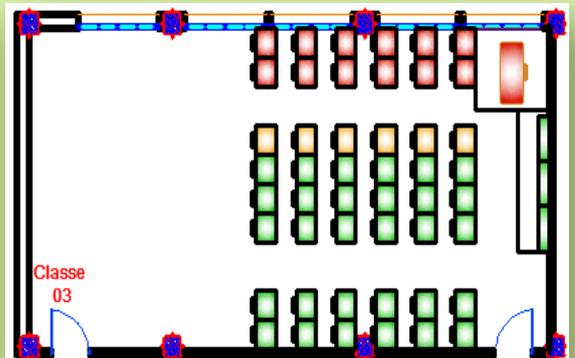
Evaluation des données obtenues à 9h				Evaluation des données obtenues à 15h			
Evaluation quantitative							
Eclairage moyen		Indice d'uniformité		Eclairage moyen		Indice d'uniformité	
1002 < EL _{moy} < 2330		0.50		436 < EL _{moy} < 1374		0.61	
							
0 < E < 300 lux Eclairage faible		300 < E < 600 lux Eclairage suffisant		600 < E < 900 lux Eclairage très suffisant		900 < E < 5000 lux Eclairage excessif	
- Un éclairage très suffisant avec une répartition différente. - L'indice d'uniformité est moins que la norme recommandé qui indique que l'environnement est contrasté.				- Un éclairage très suffisant avec une répartition uniforme. - L'indice d'uniformité est conforme à la norme recommandé qui assure un éclairage homogène et uniforme.			
Evaluation qualitative							
							
Tache solaire		Eblouissement		Absence d'éblouissement		Absence d'éblouissement	
Réflexion des rayons solaires		Eclairée		Sombre		Contrastée	
Uniformité		Stimulante		Ensoleillé		Rendu de couleur	
La diffusion des taches solaires a créé un déséquilibre au niveau d'éclairage au niveau de deux rangés près de la fenêtre et d'éblouissement dans le champ visuel qui a rendu la classe plus contrastée ou en marque un état d'éclairage excessive avec des conditions inconfortables.				un environnement lumineux bien éclairé caractérisé par l'absence des sources d'éblouissement et une répartition homogène et uniforme de la lumière qui assure les paramètres d'un éclairage confortable.			

Tableau VII.12: Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans la salle de classe N°03 durant le 21 /06/2015. Source : Auteur.

I.3.4. Salle de classe N°04 orientée Sud – Ouest :

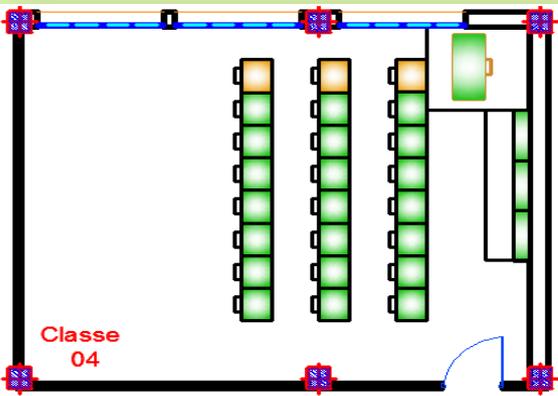
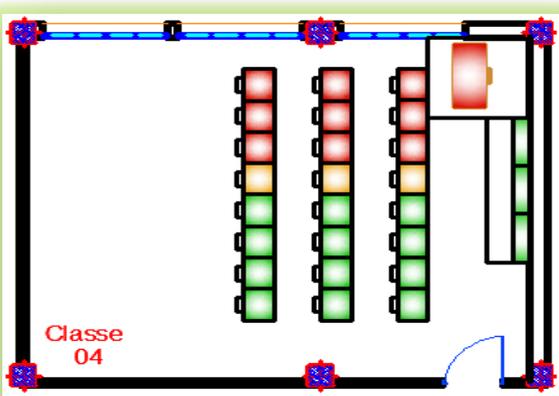
Evaluation des données obtenues à 9h				Evaluation des données obtenues à 15h			
Evaluation quantitative							
Eclairage moyen		Indice d'uniformité		Eclairage moyen		Indice d'uniformité	
330 < EL _{moy} < 608		0.61		445 < EL _{moy} < 2007		0.5	
							
0 < E < 300 lux Eclairage faible		300 < E < 600 lux Eclairage suffisant		600 < E < 900 lux Eclairage très suffisant		900 < E < 5000 lux Eclairage excessif	
- Un éclairage suffisant avec une répartition uniforme. - L'indice d'uniformité est conforme à la norme recommandée qui assure un éclairage homogène et uniforme.				- Un éclairage très suffisant avec une répartition différente. - L'indice d'uniformité est moins que la norme recommandée qui indique que l'environnement est contrasté.			
Evaluation qualitative							
							
Tache solaire	Eblouissement	Absence d'éblouissement		Tache solaire	Eblouissement	Absence d'éblouissement	
Réflexion des rayons solaires	Eclairée	Sombre	Contrastée	Réflexion des rayons solaires	Eclairée	Sombre	Contrastée
Uniformité	Stimulante	Ensoleillé	Rendu de couleur	Uniformité	Stimulante	Ensoleillé	Rendu de couleur
un environnement lumineux bien éclairé caractérisé par l'absence des sources d'éblouissement et une répartition homogène et uniforme de la lumière qui assure les paramètres d'un éclairage confortable.				un environnement lumineux bien éclairé caractérisé par la présence d'éblouissement au niveau des rangés proche de la fenêtre et une répartition uniforme et homogène de la lumière au milieu de la classe qui assure certain confort visuel aux étudiants.			

Tableau VII.13: Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans la salle de classe N°04 durant le 21 /06/2015. Source : Auteur.

II. Comparaison de différent résultat :

II.1. La période hivernale 21/12/2014:

Evaluation Qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans les salles de classe type durant le 21 /12/2014			Orientation Nord-Est		Orientation Sud-Est		Orientation Sud-Ouest		Orientation Nord- Ouest	
			9:00 h	15:00 h	9:00 h	15:00 h	9:00 h	15:00 h	9:00 h	15 :00 h
Evaluation Quantitative	Quantité de lumière	Faible	■	■			■		■	
		suffisante								■
		Très suffisante				■				
		Excessive			■			■		
	Répartition	uniforme	■				■		■	
		hétérogène		■	■	■		■		■
Evaluation Qualitative	Tache solaire				■			■		
	Eblouissement			■	■	■	■	■		■
	Absence d'éblouissement		■						■	
	Réflexion des rayons solaires				■			■		■
	Ensoleillé				■			■		
	Eclairée			■	■	■		■		■
	sombre		■				■		■	
	contraste			■	■			■		■
	Stimulante									
	Rendu de couleur			■		■				
Etat de confort visuel	confortable									
	inconfortable		■	■	■	■	■	■	■	■

Tableau VII.14: Résultat d'évaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans les salles de classe type durant le 21 /12/2014. **Source :** Auteur.

Remarque :

l'état de confort signalé dans ce cas est inconfortable sachant qu'on a travaillé dans des conditions extreme (a 9h00 et 15h00) mais hors ses conditions on peut avoir des état confortable, ce qui on a remarqué a travers l'observation de l'environnement lumineux.

Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans les salles de classe: 21/12/2014 à 9h					
Caractéristique d'orientation : Sud- Ouest			Caractéristique d'orientation : Nord- Ouest		
Un éclairement faible d'une répartition uniforme			Un éclairement faible d'une répartition uniforme.		
Absence d'éblouissement.		Sombre	Absence d'éblouissement		Uniformité Sombre
0 <E <300 lux Eclairage faible					
300<E <600 lux Eclairage suffisant					
600<E <900 lux Eclairage très suffisant					
900<E <5000 lux Eclairage excessif					
Caractéristique d'orientation : Sud-Est			Caractéristique d'orientation : Nord-Est		
Un éclairage excessif et contrasté			Un éclairement faible d'une répartition uniforme.		
Tache solaire		Réflexion des rayons solaires	Absence d'éblouissement		
Eblouissement	Contrastée	Ensoleillée	Eclairée	Sombre	
Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans les salles de classe:21/12/2014 à 15h					
Caractéristique d'orientation : Sud- Ouest			Caractéristique d'orientation : Nord- Ouest		
Un éclairage excessif et contrasté			Un éclairage très suffisant -contrasté		
Tache solaire		Réflexion des rayons solaires	Réflexion des rayons solaires	Eblouissement	
Eblouissement	Eclairée	Contrastée	Ensoleillée	Contrastée	Eclairée
0 <E <300 lux Eclairage faible					
300<E <600 lux Eclairage suffisant					
600<E <900 lux Eclairage très suffisant					
900<E <5000 lux Eclairage excessif					
Caractéristique d'orientation : Sud-Est			Caractéristique d'orientation : Nord-Est		
Un éclairage très suffisant et contrasté			Un éclairage un peu suffisant d'une répartition différente		
Eblouissement		Contrasté	Eblouissement		Contrasté
Eclairée		Rendu de couleur	Eclairée		Rendu de couleur

Tableau VII.15: Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans les salles de classe type durant le 21 /12/2014. Source : Auteur.

II.1.1. Synthèse :**La matinée :**

Les classes orientées **Nord-Est, Sud-Ouest et Nord- Ouest** reçoivent une quantité de lumière faible d'une répartition uniforme, ce qui confirme la vis des occupants par un pourcentage de 86.66% à 60% qui ont déclarés que l'éclairage durant la période hivernal est insuffisant voir peu suffisante, et un environnement lumineux sombre caractérisé par l'absence d'éblouissement qui n'assure pas l'exécution facile des taches visuelles.

- Par contre la classe orientée **Sud-Est** reçoit une quantité excessive d'une répartition différente, exprimée par l'avis d'occupants d'un pourcentage de 80% qui ont déclarés que l'éclairage est suffisant avoir très suffisant. Elle est caractérisée par l'existence des taches solaires qui a crée un environnement lumineux éblouissant et un contraste trop important dans le champ visuel qui indique un etat d'éclairage très suffisant avec des conditions inconfortables.

Le soir : la quantité de lumière reçue augmente et les classes ont devenues bien éclairer ou on a remarqué que :

Les classes orientées : **Sud-Est et Nord- Ouest** reçoivent une quantité de lumière très suffisant d'une répartition différente d'un environnement lumineux éclairé caractérisé par la présence d'éblouissement avec une répartition d'éclairage non homogène qui n'assure pas les paramètres d'un éclairage confortable.

La classe orientée : **Sud-Ouest** reçoit une quantité de lumière excessive d'une répartition différente avec les mêmes caractéristiques de l'environnement lumineux de la classe orientée **Sud-Est** durant la matinée

Tandis que, la classe orientée : **Nord-Est** reçoit une quantité de lumière un peu suffisant d'une répartition différente et non homogène, d'un environnement lumineux caractérisé par la présence d'éblouissement qui gêne la vision avec des conditions d'éclairage qui n'assure pas les paramètres d'un éclairage confortable.

II.2. La période équinoxiale 21/03/2015:

Evaluation Qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans les salles de classe type durant le 21 /03/2015			Orientation Nord-Est		Orientation Sud-Est		Orientation Sud-Ouest		Orientation Nord- Ouest	
			9:00 h	15:00 h	9:00 h	15:00 h	9:00 h	15:00 h	9:00 h	15 :00 h
Evaluation Quantitative	Quantité de lumière	Faible								
		suffisante								
		Très suffisante								
		Excessive								
	Répartition	uniforme								
		hétérogène								
Evaluation Qualitative	Tache solaire									
	Eblouissement									
	Absence d'éblouissement									
	Réflexion des rayons solaires									
	Ensoleillé									
	Eclairée									
	sombre									
	contraste									
	Stimulante									
	Rendu de couleur									
Etat de confort visuel	confortable									
	inconfortable									

Tableau VII.16: Résultat d'évaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans les salles de classe type durant le 21 /03/2015. **Source** : Auteur.

II.2.1. Synthèse :

On remarque que durant la période d'équinoxe la quantité de lumière qui pénètre dans les salles de classe type a augmenté par rapport à celle mesurée durant la période hivernale :

La matinée : la classe orientée **Sud-Ouest** reçoit une quantité de lumière suffisante d'une répartition uniforme avec un environnement lumineux bien éclairé caractérisé par l'absence des sources d'éblouissement et une répartition homogène et uniforme de la lumière qui assure les paramètres d'un éclairage confortable.

Temps que pour une orientation **Nord-Est et Sud-Est** les classes reçoivent une quantité de lumière excessive d'une répartition différente, qui a engendré un environnement lumineux caractérisé par la diffusion des taches solaires qui ont créés un déséquilibre au niveaux d'éclairement sur les plans utiles et d'éblouissement dans le champ visuel ou la classe a rendre plus contrastée et ensoleillée ou en marque un état d'éclairage excessif avec des conditions inconfortables.

Tandis que pour une orientation **Nord- Ouest** la salle reçoit une quantité de lumière un peu suffisant d'une répartition uniforme, dont elle est caractérisée par un environnement lumineux un peu éclairé caractérisé par l'absence des sources d'éblouissement et une répartition homogène et uniforme de la lumière mais elle n'assure pas tous les paramètres d'un éclairage confortable

Le soir on a remarqué que :

- Pour une orientation **Nord-Est et Sud-Est**, la quantité de lumière reçue a diminuée, ou les salles classes reçoivent une quantité de lumière suffisante d'une répartition uniforme, qui a engendré un environnement lumineux éclairé caractérisé par l'absence des sources d'éblouissement et une répartition homogène et uniforme de lumière et un bon rendu de couleur qui assure les paramètres d'un éclairage confortable.

- la classe orientée **Nord- Ouest** est devenue plus éclairé, ou elle reçoit une quantité de lumière suffisante, dont elle est caractérisée par un environnement lumineux bien éclairé marqué par la présence d'éblouissement proche de la fenêtre et une répartition uniforme et homogène de la lumière au milieu de la classe qui assure certaine confort visuel aux étudiants.

- la classe orientée **Sud-Ouest** reçoit une quantité de lumière excessive avec les mêmes caractéristiques que les classes orientées **Nord-Est et Sud-Est** durant la matinée.

II.3. La période estivale 21/06/2015:

Evaluation Qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans les salles de classe type durant l'été		Orientation Nord-Est		Orientation Sud-Est		Orientation Sud-Ouest		Orientation Nord- Ouest	
		9:00 h	15:00 h	9:00 h	15:00 h	9:00 h	15:00 h	9:00 h	15 :00 h
Evaluation Quantitative	Quantité de lumière	Faible							
		suffisante							
		Très suffisante							
		Excessive							
	Répartition	uniforme							
		hétérogène							
Evaluation Qualitative	Tache solaire								
	Eblouissement								
	Absence d'éblouissement								
	Réflexion des rayons solaires								
	Ensoleillé								
	Eclairée								
	sombre								
	contraste								
	Stimulante								
	Rendu de couleur								
Etat de confort visuel	confortable								
	inconfortable								

Tableau VII.18: Résultat d'évaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans les salles de classe type durant le 21 /06/2015. Source : Auteur.

Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans les salles de classe : 21/06/2015 à 9h							
Caractéristique d'orientation : Sud-Ouest				Caractéristique d'orientation : Nord-Ouest			
Un éclairage suffisant avec une répartition uniforme				Un éclairage suffisant d'une répartition uniforme			
Absence d'éblouissement		Eclairée		uniformité		Rendu de couleur	
Stimulante		Rendu de couleur		Absence d'éblouissement		Eclairée	
0 < E < 300 lux Eclairage faible		300 < E < 600 lux Eclairage suffisant		600 < E < 900 lux Eclairage très suffisant		900 < E < 5000 lux Eclairage excessif	
Caractéristique d'orientation : Sud-Est				Caractéristique d'orientation : Nord-Est			
Un éclairage excessif avec une répartition différente				Un éclairage très suffisant d'une répartition différente			
Tache solaire		Réflexion des rayons solaires		Eclairée		Eblouissement	
Eblouissement		Eclairée		Contrastée		Ensoleillée	
				Tache solaire		Contrastée	
Evaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans les salles de classe : 21/06/2015 à 15h							
Caractéristique d'orientation : Sud-Ouest				Caractéristique d'orientation : Nord-Ouest			
Un éclairage très suffisant et contrasté				Un éclairage très suffisant d'une répartition uniforme			
Eblouissement		Réflexion des rayons solaires		Tache solaire		Réflexion des rayons solaires	
Contrastée		Eclairée		Rendu de couleur		Eblouissement	
						Eclairée	
						Contrastée	
						Rendu de couleur	
0 < E < 300 lux Eclairage faible		300 < E < 600 lux Eclairage suffisant		600 < E < 900 lux Eclairage très suffisant		900 < E < 5000 lux Eclairage excessif	
Caractéristique d'orientation : Sud-Est				Caractéristique d'orientation : Nord-Est			
Un éclairage très suffisant d'une répartition uniforme				Un éclairage très suffisant d'une répartition uniforme			
uniformité		Absence d'éblouissement		Absence d'éblouissement		uniformité	
Eclairée		Stimulante		Rendu de couleur		Eclairée	
						Stimulante	
						Rendu de couleur	

Tableau VII.19: Résultat d'évaluation qualitative et quantitative d'éclairage naturel dans les salles de classe type durant le 21 /06/2015. Source : Auteur.

III.3.1. Synthèse :

On note dans cette période l'augmentation de la quantité de lumière reçue dont les occupants ont déclaré que l'éclairage naturel en été est très suffisant voir excessif avec un pourcentage de 73.33% à 86.66%, et l'existence des mêmes remarques signalé durant la période d'équinoxe avec quelque changement comme suivant :

La classe orientée **Nord- Ouest** durant la matinée est devenue plus éclairé ce qui confirme l'avis des occupants avec un pourcentage de 60% dis que l'éclairage est suffisant, ou on a marqué que les deux classes orientées **Sud-Ouest et Nord- Ouest** reçoivent une quantité de lumière suffisante d'une répartition uniforme, avec un environnement lumineux bien éclairé et stimulante caractérisé par l'absence des sources d'éblouissement et une répartition homogène et uniforme de la lumière qui assure les paramètres d'un éclairage confortable.

- Pour une orientation **Nord-Est, Sud-Est** la matinée et Nord- Ouest le soir la diminution de la pénétration des taches solaires qui engendrée une diminution d'effet de contraste.

- l'existence des taches solaires le soir dans la classe orientée **Nord- Ouest** qui a augmenté l'effet de contraste et engendre d'éblouissement et la réflexion des rayons solaires proche de la fenêtre.

III.4. Evaluation de confort :

Durant la période hivernale la quantité de lumière reçus est faible beaucoup plus durant la matinée ce qui influe sur l'environnement lumineux dans les salles de classe orientés **Nord-Est, Sud-Ouest et Nord- Ouest** et les rendre sombre et inconfortable.

On note que pour une orientation **Sud-Ouest et Nord- Ouest** la matinée presque tous les paramètres de confort sont confirmés mais la quantité faible de lumière forme un handicap contre la présence d'un environnement confortable, ce qu'on peut le rattrapé par l'usage d'éclairage artificiel.

Durant la période d'équinoxe et estivale on remarque l'existence des états de confort la matinée pour les classes de classe orientés **Sud-Ouest et Nord- Ouest**, le soir pour les classes de classe orientés **Nord-Est et Sud-Est**, ou les paramètres de confort et la quantité de lumière sont confirmés.

II.5. Evaluation d'inconfort :

La plus part des états d'inconforts sont signalés dans les salles de classes : orientées Nord-Est, Sud-Est durant la matinée et l'orientées Sud-Ouest le soir du à cause de la pénétration directe des rayons solaires directe qui produit des taches solaires sur les plans utiles, ce qui confirme le résultat d'avis des occupants qui ont déclarés qu'ils sont touchés par la présence des taches solaires sur leurs plans utiles d'un pourcentage qui varie entre 66.66% par fois touchés et 46.66% souvent touchés. Ce qui engendre un environnement contrasté caractérisé par la présence d'un éclairage excessif d'une répartition différente qui produit d'éblouissement, conséquence d'un flux de lumière trop élevé pour le niveau d'adaptation de l'œil qui diminue le confort visuel et conduit à une baisse des performances visuelles.

D'après le résultat de questionnaire on a signalé que 66.66% à 80% modérément voir beaucoup gênant par la présence d'éblouissement et ils déclarent que le facteur soleil est la première source d'éblouissement avec un pourcentage de 53.33% à 66.66%, temps qu'ils ont les qualifiées par les expressions suivantes : lumineuse, stimulante, ensoleillé et chaude. Ou 88.88% déclarent qu'ils ont besoin d'une protection solaire

Le tableau ci-dessous présente quelque environnement lumineux inconfortable du a la présence d'éblouissement selon leur orientation :



		
<p>Le probleme d'éblouissement se pose au niveau de : mur Sud-ouest et les tables</p>	<p>Le probleme d'éblouissement se pose au niveau : de mur Sud-Est, le tableau , les deux rangées proche de la fenetre et le plafond</p>	<p>Le probleme d'éblouissement se pose au niveau : les tables et le tableau</p>

Tableau VII.20: Photos présentatives d'état d'inconfort dans les salles de classe orientées Sud-Est, Nord-Est et Sud-Ouest. **Source :** Auteur.

Donc on peut assurer le confort visuel dans ses classes type durant les états d'inconfort par l'intégration d'un système de contrôle solaire au niveau des ouvertures, dont elles conviennent avec les caractéristiques de chaque orientation.

Pour une orientation Nord- Ouest on a remarqué que la matinée l'environnement lumineux caractérisé par la présence d'une quantité de lumière faible qui la rendre sombre ou 86.66% des occupants ont déclarés que la lumière naturelle en hiver est insuffisante voir peu suffisante pour cela ils ont préfères une position à côté de la fenêtre, tandis que le soir il est gênant par la réflexion des rayons solaires et l'éblouissement.



Tableau VII.21: Photos présentatives d'état d'inconfort dans les salles de classe orientées Nord-Ouest. **Source :** Auteur.

II.6. Vérification des hypothèses :

1- La similarité dans la conception du dispositif d'éclairage naturel d'un système conventionnel d'éclairage latéral qui ne tient pas compte de l'effet de l'orientation dans les salles de classe n'assure pas le même degré de confort visuel des occupants dans les salles de cours sous le climat lumineux particulier de la région de Laghouat.

L'analyse de différents résultats obtenus montre clairement que chaque orientation a son spécifique environnement lumineux qui se caractérise par leur quantité et qualité d'éclairage et qu'il se change par heurs, saison.

2- les différentes orientations des ouvertures d'un système conventionnel d'éclairage latéral ne produisent pas la même efficacité pour l'éclairage des salles de classe sous le climat lumineux de Laghouat.

Les différents schémas comparatifs montrent l'efficacité d'éclairage de chaque ouverture selon leur orientation dont elles présentent la déférence entre chaque environnement produit selon leur orientation.

3- les dimensions des ouvertures et l'orientation ont un impact sur l'efficacité d'un système conventionnel d'éclairage latéral et le confort visuel des usagers.

D'après la recherche on a remarqué que : la quantité de lumière reçue à travers des ouvertures orientées Sud-Est et Sud-Ouest est excessive qu'elle produit un environnement contrasté qui pose le problème d'éblouissement tans dis que pour celles orientées Nord-Ouest elles reçoivent une quantité faible voir suffisante selon la saison qu'elle produit un environnement sombre qui pose un problème de fatigue visuel, donc pour une standard dimension des ouvertures qui ont des orientation différentes on a obtenu des différents environnements lumineux qui sont caractérisent par leurs qualité et quantité d'éclairage naturel.

Donc si on optimise les dimensions des ouvertures on prend en considération les caractéristiques qualitative et quantitatives d'un environnement lumineux qui se produisent selon leur orientation des ouvertures on aura un environnement confortable et soins pour nos étudiant.

Conclusion :

Pour les locaux d'enseignement la lumière permet de voir, de trouver, d'observer. Par ailleurs trop de lumière, une lumière mal adaptée, mal placée et mal orientée peut s'avérer gênante. Il s'agit donc d'avoir la bonne lumière au bon endroit pour but de répondre aux exigences de confort des étudiants et enseignants. En effet un mauvais éclairage naturel engendre à plus ou moins long terme, une fatigue voire même des troubles et une sensation forte d'inconfort.

Dans cette étude, on a touché le principal facteur à prendre en compte l'heure de la conception d'une salle de classe qui est l'orientation, ou on a montré que l'orientation a un effet sur le confort visuel des étudiants et enseignants, dont chaque orientation est désignée un environnement lumineux spécifique caractérisée par son qualité et quantité de lumière.

L'aspect quantitatif et qualitatif de la conception de l'éclairage est plus important pour avoir une ambiance lumineuse bien conçu aux étudiants, dont la fonction principale de l'éclairage des salles de classe est de fournir un éclairage nécessaire à l'exécution rapide et précise de tâches visuelles, donc les paramètres quantitatifs et qualitatifs de l'éclairage doivent toujours être rapportés aux exigences visuelles de la tâche.

Donc pour la réalisation d'un bon éclairage l'heure de la conception des futures salles de classe, on adresse quelque recommandation illustré d'après notre étude :

1- La quantité de lumière reçue pendant la période hivernale est faible qui provoque une fatigue visuelle accrue, car l'œil de l'occupant fournit un effort important pour exécuter les tâches visuelles requises donc il fallait recours à un éclairage mixte par l'usage de deux types éclairage naturel et artificiel.

2- La pénétration des rayons solaires directe qui engendre l'existence des taches solaires sur les plans outils se produit dans un environnement orienté Nord-Est et Sud-Est durant la matinée, ouest et sud-ouest le soir, donc durant la conception d'un système d'éclairage latéral il est d'un ordre impératif de l'associé par un système de contrôle solaire qui tient compte la spécifié de chaque orientation comme suivant :

- Placer des protections solaires telles que des avancées latérales et stores extérieurs, brise-soleil verticaux extérieurs, stores à lames verticales côté Est et Ouest : à l'Est et à l'Ouest, le soleil est rasant en été lorsque les apports solaires risquent de générer de la surchauffe et le problème d'éblouissement. De ce fait, seuls les stores extérieurs et dans une certaine mesure les avancées latérales permettent de l'éviter.

- Placer des protections solaires telles que les auvents fixes ou avancées architecturales (balcon, corridor, corniche etc.) et les brise-soleils horizontaux extérieurs ou les stores à lames horizontales côté Sud : Au sud, le soleil est haut en été lorsque les apports solaires risquent de générer de la surchauffe et le problème d'éblouissement et bas en hiver lorsque les apports solaires sont plutôt bénéfiques mais génère même le problème d'éblouissement.

- On peut aussi intervenir sur la qualité de verre utilisé tel que : l'utilisation d'un double vitrage ou l'utilisation des nouveaux types de verre comme par exemple le verre sérigraphique : C'est un vitrage décoré par impression numérique céramique, les motifs sérigraphiques permettent de réduire les apports solaires, l'éblouissement et de créer de l'intimité. Le verre sérigraphique est compatible avec les couches haute-performance et de contrôle solaire ainsi qu'avec les systèmes de vitrages standards.

- Pour une orientation Nord on n'a pas besoin d'un système de protection solaire, car au Nord les ouvertures bénéficient d'une lumière égale et du rayonnement solaire diffus qu'on peut le profiter par l'utilisation d'un verre de facteur de transmission lumineuse grand.

3- La dimension des ouvertures a un impact sur l'efficacité de l'éclairage selon leurs orientations car ces caractéristiques vont influencer les conditions de la lumière naturelle à l'intérieur des salles de classes comme suivant :

Pour des orientations : Nord, Nord-Est et Nord-Ouest la lumière se propage d'une manière faible dans l'espace, donc c'est mieux d'augmenter les dimensions des ouvertures pour avoir une grande quantité de lumière.

Pour des orientations : Sud, Sud-Est et Sud-Ouest, les salles de classe reçoivent une quantité excessive de lumière, c'est mieux de diminuer les dimensions des ouvertures pour contrôler la quantité pénétrant.

4- La propagation de la lumière naturelle dans les salles de classe orientées Nord-Est et Nord-Ouest est faible dont on a signalé que la quantité de la lumière reçue au niveau des dernières rangées est moins de la norme recommandée car ces classes type est plus large est ne conforme pas la règle de puce donc il est recommandé d'assurer durant la conception d'appliquer de cette règle pour avoir une bonne répartition de lumière dans un ordre qualitatif et quantitatif.

5- l'aménagement des salles de classe d'une surface brillante (table, bureau, tableau) produit d'éblouissement lorsqu'elle reçoit des taches solaires (leur facteur de réflexion est grand), ceci

est particulièrement vrai pour les revêtements de sol (l'œil est plus sensible aux fortes luminances dans la partie basse du champ visuel), donc il est préférable d'utiliser des aménagements qui dotent des surfaces d'un facteur de réflexion faible.

Conclusion générale :

Les établissements universitaires représentent une large part du patrimoine des collectivités territoriales. Afin d'être des outils pédagogiques efficaces et de remplir leur mission. Dans ces locaux, est amené à séjourner un nombre important des étudiants où ils passent de très nombreuses heures à capter, à retenir et à assimiler une multitude d'informations, dont 65% sont visuelles. Elles doivent offrir un environnement lumineux confortable adéquat pour l'apprentissage des tâches visuelles le long de sa durée de vie qu'elle sera souvent très longue.

En effet la lumière naturelle stimule, accroît largement le bien-être, l'activité et la capacité de rendement des étudiants. Elle a en outre une influence positive sur la santé, est capable de soutenir et d'influencer des processus biologiques.

Par ailleurs la lumière du jour peut fournir le confort visuel des étudiants dans les salles de classe par un éclairage approprié et nécessaire pour effectuer les tâches universitaires dans des bonnes conditions lumineuses, dont caractérisée par un quantité et qualité adéquat qui offrent un l'ambiance lumineuse stimulante pour étudier.

Dans ce sens, les fenêtres ont pour but principal de permettre la pénétration de lumière naturelle à l'intérieure des salles de classe, mais il faut garder à l'esprit que créer un environnement visuellement plaisant est également important afin de créer un sentiment de bien-être. l'excès d'éclairage ou l'absence de contrôle peut provoquer des effets négatifs, tels que : la présences des taches solaires gênants, l'éblouissement et la réflexion des rayons solaires. La façon dont la lumière naturelle est fournie par les ouvertures est donc déterminante de la qualité des milieux universitaires. C'est en ce sens que l'intégration des concepts du confort visuel dans le processus de conception architecturale et de réalisation de ces établissements devient de plus en plus inévitable.

La vue à travers une fenêtre, ou comment percevoir le monde extérieur, est une expérience dynamique associée aux changements climatiques. A un autre niveau, la vue sur l'extérieur satisfait un besoin physiologique et psychologique pour les étudiants. La taille, la forme la position et l'orientation des fenêtres auront un impact direct sur la vue extérieur et la qualité dont la lumière naturelle est présente à l'intérieur de milieu universitaire.

A travers notre étude on a visé à évaluer qualitativement et quantitativement la performance d'un système d'éclairage latéral du point de vue éclairage dans les salles de classe sur

différente orientation et sous un climat chaud et aride tel que celui de la ville de Laghouat, à l'aide d'une méthodologie mixte qui nous a permis de combiner des techniques de recherche comme suivant:

- Des techniques d'un prélèvement qualitatif, dont une enquête par questionnaire qui était recueillies auprès des étudiants et enseignants par le biais de différents entretiens et une observation sur terrain par la prise des notes et des photos aux différentes heures de la journée et à différentes périodes de l'année pour qualifier l'environnement lumineux.
- Des techniques d'un prélèvement quantitatif, dont une étude expérimentale basée sur une campagne de mesures visant à déterminer les taux d'éclairages directement in situ aux différentes heures de la journée et à différentes périodes de l'année grâce à un luxmètre, ainsi que une évaluation numérique à l'aide d'un logiciel de simulation numérique en vue de compléter ceux de la campagne de mesure.

A l'aide des techniques d'ordre qualitatif on a essayé d'établir un vocabulaire qui permettrait de caractériser l'ambiance visible dans l'environnement lumineuse des salles de classe type, tandis qu'à travers les techniques d'ordre quantitatif on a essayé d'évaluer la quantité et la répartition de lumière reçue par les fenêtres et classée suivant des gammes selon la valeur d'éclairage. La combinaison des différents résultats obtenus nous a permis de proposer une stratégie d'éclairage naturel dans les salles de classe selon la variation de quatre différentes orientations et sous un climat chaud et aride.

A travers notre recherche on a conclu que la position de soleil dans l'orientation dont il est la source de lumière, désigne l'ambiance lumineuse dans les salles de classe qui se change par saison et par heures de la journée à travers différentes orientations des ouvertures sous un climat lumineux dont influence le potentiel en éclairage naturel.

Sous différentes orientations une salle de classe située dans un milieu chaud et aride peut obtenir un divers environnement lumineux qui se caractérise par son qualité et quantité d'éclairage comme suivant :

- Une orientation Nord-Est : en hiver, offre une quantité de lumière faible qui rend l'environnement lumineux sombre, durant le printemps et l'été la quantité de lumière et la pénétration des rayons de soleil s'augmente ce qui engendra un environnement lumineux contrasté caractérisé par la présence des taches solaires, la réflexion des rayons solaires et d'éblouissement.
- Des orientations Sud-Est et Sud-Ouest : l'environnement lumineux qui se produit au Sud-Est la matinée, il se reproduit au Sud-Ouest l'après-midi. Généralement en hiver ses orientations

offrent une quantité de lumière excessive qui engendre un environnement lumineux contrasté caractérisé par la pénétration directe de soleil qui engendre des taches solaires sur les plans utiles, ce qui rend la salle ensoleiller, influencer par la présence d'éblouissement gênants. En été la pénétration du soleil à l'intérieur de la salle ce qu'il engendre un environnement lumineux moins contrasté par la diminution d'effet des taches solaires et l'éblouissement.

- Une orientation Nord-Ouest : en hiver et printemps, offre une quantité de lumière faible qui rendre l'environnement lumineux sombre, en été la quantité lumière s'augmente et l'environnement lumineux devient éclairé et souvent présenté par l'éblouissement.

Le résultat obtenu montre la faible performance de l'usage d'un système d'éclairage latéral dans les milieux chaud et aride en termes de qualité et de quantité d'éclairage fourni par ce système, dont elle n'assure pas le confort visuel des étudiants, ce qui est clairement apparente dans les états d'inconfort signé dans la stratégie développé à travers notre recherche.

L'intégration d'un système de contrôle solaire d'une part est l'un des solutions pour améliorer la performance d'un système d'éclairage latéral on tenant compte la spécifié de leur orientation, d'autre part l'utilisation de la typologie architecturale des villes d'un climat chaud et aride peut être une solution de double intérêt la première l'augmentation de la performance de ses système et la deuxième intérêt l'identité locale de ses type d'établissement sans oublier l'intégration des neveux technique tel que le types de verre.

D'après les solutions recommandées, une orientation Sud-Est, Sud-Ouest et Nord-Est peuvent être acceptables en termes de qualité et quantité de lumière le long de l'année universitaire.

En fin pour la réalisation d'un bon éclairage dans les établissements universitaires, il est essentiel dès la phase d'esquisse d'assuré la présence d'une lumière, dont eut un éclairement suffisant et homogène caractérisé par l'absence d'éblouissement, par l'usage d'une simulation d'éclairage naturel qui permettant l'expression, par le concepteur, de ses intentions d'ambiance lumineuse dès les prémisses de la conception.

A travers notre recherche on a touché que le coté confort visuel à travers une orientation d'une fenêtre dans les salles de classe sachant que le coté thermique est aussi important, car les fenêtres / orientation d'une fenêtre présentent un point faible qui crée les ponts thermiques, ce qu'il peut être un autre sujet de recherche future.

I. Axes de recherche :

La caractérisation de la qualité d'éclairage d'un environnement lumineux se limite généralement à l'examen de certaines conditions de confort visuel. Cette notion de qualité faisait appel à de nombreuses autres dimensions perceptives.

L'aspect quantitatif et qualitatif de la conception de l'éclairage est plus important pour avoir une ambiance lumineuse bien conçue aux étudiants, dont la fonction principale de l'éclairage des salles de classe est de fournir un éclairage nécessaire à l'exécution rapide et précise de tâches visuelles, donc les paramètres quantitatifs et qualitatifs de l'éclairage sont toujours rapportés aux exigences visuelles de la tâche.

En effet nous avons mené une réflexion sur les différents termes utilisés couramment pour aboutir à une grammaire descriptive dédiée à décrire l'environnement lumineux dans les salles de classe type, ce qui nous a permis d'évaluer qualitativement par heures, mois et saison l'ambiance lumineuse de l'environnement d'étude.

Mais nous n'avons pas vraiment réussi à trouver une stratégie de l'éclairage naturel qui lie les données qualitatives illustrées des photos et l'observation de l'environnement lumineux avec celles quantitatives résultantes de l'étude expérimentale et de la simulation.

La qualité semble prévaloir sur la quantité en tant que facteur déterminant dans le processus de l'évaluation perceptive. Car au cours de notre recherche on a découvert beaucoup de vocabulaire qui on n'a pas parfois le quantifier tel que : un peu sombre, peu éclairé

Donc la question qui se pose est : Comment développer un prototype permettra de quantifier la qualité d'éclairage !! Sans recourir aux valeurs numériques d'éclairage, indice d'uniformité..... Qui permet aux architectes :

- De concevoir des espaces architecturaux avec des ambiances lumineuses adéquates à l'exécution des tâches visuelles avant d'être construits.
- D'imaginer et de projeter des ambiances lumineuses qui apporteront une qualité sensible aux espaces tout en satisfaisant les exigences d'éclairage liées aux différents usages de ces espaces.
- Avoir une conception architecturale d'une salle de classe qui peut assurer le confort visuel et thermique sans oublier une bonne qualité de l'air pour assurer un environnement sain et confortable pour notre étudiant.

1. Ouvrage:

- DE HERDE, A. A, LIEBARD.,** (2005). Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques, Observatoire des énergies renouvelables, Paris.
- DENIS, J. THIERRY, C. OLIVIER, R.,** (2013). Confort d'été : orientation/ implantation, Marseille.
- BENEDICTE, Collard. FABRICE, Derny.,** (2011). L'éclairage dans les écoles Fascicule technique. Le Ministère de la Région Wallonne.
- BERNSTEIN, D. CHAMPETIER, JP. HAMAYON, L. MUDRI, L.,** (2007). Traité de construction durable. Editions, Le Moniteur.
- BODART, M. DE HERDE A.,** (1999). guide d'aide à l'utilisation de l'éclairage artificiel en complément à l'éclairage naturel, Ministère de la région de WALONNE, Belgique.
- BODART, Magali. DENEYER, Arnaud.,** (2002). Guide d'aide à l'interprétation et à l'amélioration des résultats des mesures sous les ciels et soleil artificiels du CSTC. [En ligne], URL:<http://www-energie.arch.ucl.ac.be/eclairage/documents%20pdf/Guide-evaluation-resultats.pdf>.
- BOUVIER, F.,** (2008). Eclairage naturel, Techniques de l'Ingénieur, C3 315v2, 2, Editions TI, Paris.
- BOUVIER, F.,** (1981). « Eclairage naturel », Technique de l'ingénieur, Vol. C6, n° C 3 315, Paris.
- CHAUVEL, P et DERIBERE, M.,** (1968). L'éclairage naturel et artificiel dans le bâtiment. Paris: Eyrolles.p61.
- CIBSE.,** (1987). THE CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS. Applications manual : Window design. London : CIBSE. p38.
- DELETRE, J,J.,** (2003). Mémento de prise de jour et protections solaires. Grenoble. Ecole d'architecture de Grenoble.
- DENOEUD, B.,** (2003). Ergonomie B1 : L'éclairage, Paris : Conservatoire National des Arts et Métiers.
- FLETCHER, D.,** (1983). Effects of Classroom Lighting on the Behavior of Exceptional Children, Exceptional Education Quarterly; v4 n2 , p75-89.
- FISEKIS, K. ET AL.,** (2003). Prediction of discomfort glare from windows, Lighting Research and Technology, vol. 35, no. 4, pp. 360-371.

- FLORU, R.,** (1996). Éclairage et vision, INRS, Institut National de Recherche et Sécurité, Document NS 149, p43.
- GIVONI, B.,** (1978): L'homme, l'architecture et le climat: Editions des Moniteurs, Paris.
- GROUPE HESCHONG MAHON.,** (1999). Daylighting in schools : An Investigation into the Relationship Between Daylighting and Human Performance, Californie : Pacific Gas and Electric Company, p 35, 48, 54.
- HESCHONG, L. WRIGHT R.L. AND OKURA, S.,** (2002). Daylighting impacts on human performance in school, Journal of the Illuminating Engineering Society, Vol. 31(2), p101-114.
- HETZEL, J.,** (2003). Haute qualité environnementale du cadre bâti : enjeux et pratiques. Paris: AFNOR.
- HUMANERGY, B.,** (2012). La lumière pour l'éducation et le savoir. [En ligne] www.zumtobel.com/education.
- ICEB.,** (2014) : L'éclairage naturel, ouvrage réalisé à la suite d'un groupe de travail de l'ICEB, coordonné par Yannick, ARENE Île-de-France.
- IZARD, J.L.,** (1994). Maîtrise des ambiances : contrôle de l'ensoleillement et de la lumière en architecture. Marseille : Ecole d'Architecture de Marseille-Luminy.
- IZARD, J. L. GUYOT, A.,** (1979). « Archi Bio » Editions Parenthèses, Roquevaire.
- LA TOISON, M.,** (1982). Introduction à l'éclairagisme, Paris : Eyrolles.
- MARTY, C. ET AL.,** (2003). User assessment of visual comfort : review of existing methods, p86.
- MAZOUZ, S.,** (2004). Eléments de conception architecturale. Paramètres conceptuels. OPU. Alger.
- MAZRIA, E.,** (1981). Le guide de l'énergie solaire passive. Paris : Parenthèses, 1981.
- MUDRI, L.,** (2002). De l'hygiène au bien-être, du développement sans frein au développement durable: ambiances lumineuses. Paris. Ecole d'architecture de Paris-Belleville. Novembre, p 1-9.
- O'Connor, J.,** (1997). Tips for daylighting with windows The Integrated Approach, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, USA.
- OLGYAY, V.,** (1967). Design with climate.
- Olgyay, v et Olgyay, A.,** (1973). Design with climate - bioclimatic approach to architectural regionalism some chapters based on cooperative research with aladar olgyay. Princeton, N.J: Princeton University Press.

- PASINI, I.,** (2002). Daylighting guide for Canadian commercial buildings, Ontario : Travaux Publics et Services Gouvernementaux. Canada.
- PAUL, N'dan.,** (2002). Méthodologie de la recherche de la problématique à la discussion des résultats, Abidjan.
- PEREZ.,** (1993). All weather model for sky luminance distribution – preliminary configuration and validation. Perez R, Seals R, Michalsky J., Solar Energy, 50 (3) pp. 235-245.
- PERRAUDEAU, M.,** (1981). Lumière et couleur, Technique de l'Ingénieur, Vol. C6.
- QUENTIN, M., FLORENT, L.,** (2013). CONNECTEZ-VOUS AU SOLEIL, Belgique.[En ligne], URL: <http://www.construction21.org/belgique/data/sources/users/555/docs/plaquette-globale-echy-light1.pdf>.
- REA M.S.,** (2000). The IESNA lighting handbook : reference & application, Illuminating Engineering Society of North America.
- ROBERTO,G et J, HABERMANN.,** (2006). Architecture et Efficacité énergétique.
- ROBERTSON, K.,** (2003). Guide sur l'éclairage naturel des bâtiments, Ontario : SCHL-CMHC, p 13.
- ROSENTAL, C. MURPHY, C, F.,** (2001). Introduction aux méthodes quantitatives en sciences sociales, Collection « Psycho sup », Paris : Dunod, 176p.
- SCHILER, M.,** (1992). Simplified design of building lighting. New York: Wiley.
- SIGRID, R. De HERDE, A.,** (2001). L'éclairage naturel des bâtiments. Ministère de la région de WALONNE, Université catholique de Louvain, Belgique.
- VANDENPLAS, A.,** (1964). Comité National Belge de l'Eclairage- Commission de l'Eclairage Naturel, L'éclairage naturel et ses applications. Bruxelles : S.I.C.
- VELDS, M.,** (2002). User acceptance studies to evaluate discomfort glare in daylight rooms, Solar Energy, vol. 73, pp. 95-103.

2. Thèses de doctorat:

- BODART, M.,** (2002). Création d'un outil au choix optimisé du vitrage du bâtiment, selon des critères physique, économiques et écologiques, pour un confort visuel et thermique. Université catholique de Louvain, Belgique.
- COUTELIER, B.,** (2006). Caractérisation de la qualité d'un environnement lumineux à l'aide d'outils de mesure vidéo-photométriques et de simulations en milieux virtuels.

-Margarita., (2004) : Développement des systèmes et stratégies de contrôle de régulation d'un vitrage Electrochromique pour des applications de bâtiment .Institut national de sciences appliquées de Lyon.

-SAFFIDINE, Djamilia., (2001). Sunlight problems within new primary school classrooms in Constantine. Université Mentouri de Constantine.

-ZEMMOURI, Noureddine., (2005). Daylight availability intergrated modelling and evaluation: A Fuzzy logic based approach. Université Farhat Abbas de Sétif.

3. Mémoires de Magister:

-BENARFA, Kamel., (2007). L'occupation de l'îlot en zone aride pour une protection contre le rayonnement solaire direct. Cas de la ville de LAGHOUAT. Université Ammar Thelidji. Laghouat.

-BENCHEIKH, A., (2007). Le confort visuel dans les établissements scolaires en climat aride. Université Mohamed Khider, Biskra.

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

-ZEMMOURI, Noureddine., (1987). Daylight optimasation for energy conservation in building: with reference to Algeria, University of bath. School of architecture and building engineering.

4. Revues et articles scientifiques :

-AFE., (1987). Association Française de l'Eclairage : Association Française de l'Eclairage. Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires, Paris : LUX.

-Association Promotelec., (2002): Association Promotelec. Label Promotelec : éclairage salles de classe. Paris : Promotelec.

- BAKER, N. STEEMERS, K., (2002). Daylight design of building, publié par : James & James (science publishers) LTD, 35-37 Williams Road, London, NW1 3ER, UK.

-BAKER, N. STEEMERS et al., (2002). The daylight design of spaces in Daylight Design of Buildings, James and James, London, H & Y Printing Ltd.

-BODART, M., (2002) : AMCO 2362, Principes de base de l'éclairage naturel et des études en modèles réduits.

-CHAABOUNI, S. HALIN, G. BIGNON J,C., (2007). Première étape vers une navigation référentielle par l'image pour l'assistance à la conception des ambiances lumineuses, Hammamet, Tunisie, 29-31 octobre.

- CCRC.,** (2007). Le spectre lumineux selon le centre canadien de télédétection, [En ligne], URL : http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/stereo/chap5/chapter5_4_f.php.
- CLAUDE, Gronfier.,** (2013). LUMIERE, L'influence de l'éclairage sur l'apprentissage [En ligne], URL : <http://www.afe-eclairage.com.fr/docs/10304-ext.pdf>.
- J, BELL& W, BURT in ROUAG, D.,** (2001). « A case study of improvement of sunlight classrooms environment in Constantine Algeria».
- Healthy Schools Network.,** (2012) : Healthy Schools Network, 2012, [En ligne], URL : <http://www.healthyschools.org/downloads/Daylighting.pdf>.
- Impact of daylighting on student and teacher performanc.,** (2013) : Impact of daylighting on student and teacher performanc,2013, [En ligne], URL : http://wjeis.org/FileUpload/ds217232/File/01a._demir.pdf.
- KULLER, R et LINDSTEN, C.,** (1992). Health and Behavior of Children in Classrooms with and without Windows, Journal of Environmental Psychology, n. 12, Suede.
- MARZOUGUI, Antar., HAMD, Salima.,** (2004). Partenariat Université-Entreprise : état des lieux et perspectives de renforcement.
- MINIER, F.,** (2001). Hygiène et sécurité, note d'information. N=20, Académie d'Orléans tours.
- NARBONI, R.,** (2006). Lumière et ambiances : concevoir des éclairages pour l'architecture et la ville, Paris, Le Moniteur.
- OSRAM. CTPNA.,** (2011). les effets biologiques de la lumière. [En ligne], URL : http://www.osram.fr/osram_fr/actualites-et-savoir-faire/les-effets-biologiques-de-la-lumiere---la-lumiere-est-synonyme-de-qualite-de-vie/etudes-scientifiques-sur-les-effets-biologiques-de-la-lumiere/etude-sur-leffet-de-la-lumiere-sur-les-performances-des-etudiants/index.jsp.
- ROULET CLAUDE-ALAIN.,** Energétique du bâtiment : Prestations du bâtiment, bilan énergétique global.
- S. Reiter, A. De Herde.,** (2004). L'éclairage naturel des bâtiments, Presses universitaires de Louvain. [En ligne], URL : www.energie.arch.ucl.ac.be/eclairage/publications.htm.
- The Chartered.,** (1987). Institutions of Building Services Engineers. Applications manual .Windows design. London.CIBSE.
- VERONIQUE, Maribon, Ferret.,** (2014) : Le bon éclairage pour bien travailler Quatre scénarios qui influencent l'apprentissage à lécole, [En ligne], URL : <http://www.leparisien.fr/informations/le-bon-eclairage-pour-bien-travailler-quatre-scenarios-qui-influencent-l-apprentissage-a-lecole-14-05-2014-3838341.php#xtref=http%3A%2F%2Fwww.afe-eclairage.fr%2Fblogdelafe%2Flumiere-et-sante-les-effets-de-la-lumiere-sur-lhomme-les-dernieres-etudes%2F>.

-W. C. BROWN et K. RUBERG., (1988) : W. C. BROWN et K. RUBERG. «RSB 88 : Facteurs de performance des fenêtres ». Canada.1988. [En ligne], URL : <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/bsi/rsb>.

-WSU Spokane's Daylighting et Integrated Design Lab., (2014) North V South The Impact of Orientation in Daylighting School Classrooms. [En ligne], URL : https://www.academia.edu/8568609/North_V._South_The_Impact_of_Orientation_in_Daylighting_School_Classrooms.

5. Documents gouvernementaux:

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

6. Autres sources (Cours, Outils numériques et encyclopédies) :

-CIE 117., (1995) : [En ligne], URL : <http://leclairage.fr/ugr/>.

-C,TERRIER et B,VANVYVER., (1999). "L'éclairage naturel", fiche pratique de sécurité, Paris : ED 82, Travail et Sécurité

-EN 12464-1., (2011). La norme EN 12464-1, Éclairage des lieux de travail intérieurs.

-ENCARTA CORPORATION., (2010). Microsoft Encarta, Les sources primaires et les sources secondaires de la lumière » dans Encyclopédie ENCARTA, Paris: Encyclopédie.

-Farhi, A., (2014) : Cours de méthodologie de recherche, Post-graduation en architecture à l'Université Mohammed Khider Biskra.

-GARCIA, M., Eclairage naturel dans le bâtiment. Marseille: Ecole d'Architecture de Marseille- Luminy, p5.

-(G.R.P.A.C.A: Guide Pour La Région Provence Alpes Coté D'AZUR., (1988). « Conception Thermique De L'habitat »EDISUD. France.

-Groupe ABC., [En ligne], URL : <http://www.marseille.archi.fr/~abc/Textes/ProtecSolWeb>.

-IZARD. J.L et GUYOT. A., (1979). Archi Bio.Editions Parenthèses, Roquevaire.

-Journal Officiel du Grand-duché de Luxembourg., (25 Mai 1990). Journal officiel du grand-duché Luxembourg. Recueil de législation, construction scolaires. N°24.

-Littlefair., (2002). layout planning for daylight and sunlight: a guide to good practice. Littlefair P.J. BRE Press.

-RNCan : Guide de l'éclairage naturel pour les immeubles commerciaux canadiens., (2002). [En ligne], URL : <https://www.cmhc-schl.gc.ca/en/inpr/bude/himu/coedar/upload/Daylighting-Guide-for-Buildings.pdf>.

-**ROGER, Bruno.**, (2007). Pour un nouveau campus intégré, rassembleur et adaptable a Outremont.2007. présentation. [En ligne], URL : <http://www2.ville.montreal.qc.ca/ocpm/pdf/p16/9c4.pdf>.

-**SAFFIDINE, D.**, (2006). Cours de P.G Département d'Architecture, Université Ammar THELIDGI - Laghouat, 2005/2006.

-**SUZEL,B.**, (2007). stratégie de la lumière naturel : l'éclairage naturel 2eme partie :stratégie et prédétermination.

7. Site internet :

-**AUDIENCE.**, Perception visuelle & Confort visuel, [En ligne], URL : www.audience.cerma.archi.fr/cerma/pageweb/theorie/eclairage.

-**BOYCE et al.**, (2003). Daylighting Resources – Health. [En ligne], URL : http://www.lrc.rpi.edu/programs/daylighting/dr_health.asp

-**CSTB.**, (1986). [En ligne], URL : <http://www.cstb.org>.

-**CBD-192-F.**, Éclairage intérieur et économie de l'énergie, [En ligne] : www.nrcnrc.gc.ca/fra/idp/irc/dcc/digest-construction-192.html.

-**DE HERDE, A & al.**, Le confort visuel, Université Catholique de Louvain La Neuve, Belgique. [En ligne], URL : www-energie.arch.ucl.ac.be.

-**DE HERDE, A et al.**, Mesure du niveau d'éclairement, Université Catholique de Louvain La Neuve, Belgique, [En ligne], URL : www-energie.arch.ucl.ac.be.

-**DE HERDE, A et al.**, Le choix de la fenêtre comme capteur de lumière naturelle, Université Catholique de Louvain La Neuve, Belgique, [En ligne], URL : www-energie.arch.ucl.ac.be.

-**E-light.**, (2013). [En ligne], URL : http://www.uncg.edu/iar/elight/learn/record/lc_sub/location.html.

-**ENERTECH.**, Etude de solutions de maîtrise de la demande d'électricité pour l'éclairage des lycées, Mars 2001, [En ligne], URL : www.enertech.fr

-**INRS.**, <http://www.inrs.ca>. Éclairage et vision.

-**MILLER, François.**, L'éclairage des lieux de travail : Notions de base, AIMT du Bas-Rhin- France, [en ligne], URL : « www.sdv.fr ».

-**SDL : SYNDICAT DE L'ECLAIRAGE.**, L'éclairage et le confort visuel, Paris, [En ligne], URL : www.syndicat-eclairage.com».

-**U.S. department of energy.**, <http://www.rebuild.org>.

- Velux Daylight Symposium.**, (2015). [En ligne], URL :
http://www.architectura.be/fr/newsdetail.asp?id_tekst=11480&content=6e+Velux+Daylight+Symposium+%3A+la+lumi%C3%A8re+du+jour+en+architecture.
- WIKIPEDIA.**, <http://fr.wikipedia.org/wiki/Confort>.
- <https://www.google.dz/search?hl&sitesysteme+terre%>.
- <https://www.google.dz/search?hlghp&tbm=isch&source1430&bih=745&q=+systeme+terre%>.
- www.squ1.com.
- <http://users.skynet.be/becaspr1/Solairethermique.html>.
- <http://www.commercialwindows.org/orientation.php>.
- <https://www.cmhc-schl.gc.ca/en/inpr/bude/himu/coedar/upload/Daylighting-Guide-for-Buildings.pdf>.
- <http://agora.qc.ca/dossiers/Universite>
- www.mauriceblanchot.net.
- <https://ssa.uqam.ca/salles-de-cours/types-de-salles-de-cours.html>.
- <https://ssa.uqam.ca/salles-de-cours/types-de-salles-de-cours.html>.
- [www.Daylighting classroom buildings.com](http://www.Daylighting_classroom_buildings.com).
- <http://www.inrp.fr/edition-electronique/lodel/dictionnaire-ferdinand-buisson/document.php?id=2612>.
- http://www.ummt0.dz/IMG/pdf/ALILI_Sonia.pdf
- <http://thesis.univ-biskra.dz/1126/4/CHAPITRE%20II.pdf>.
- www.mem-algeria.org.
- www.naza.cov.
- www.satel-light.com.
- www.google.fr/earth
- <http://jevisitelalgerie.com/index.php/m-les-wilayas/112-free-music-app-brings-top-youtube-songs-to-your-iphone>.
- <https://dynamiques.hypotheses.org>.

Formulaire de questions

Date : Laghouat, le...../...../2015

Salle de classe N° :

Heure :

1-Généralités :

1- Sexe : Féminin. Masculin.

2-Age :

17 - 22 ans. 31-35 ans.
 22-26 ans. 36-40 ans.
 26-31 ans. +40 ans.

3-Groupe d'usagers :

Etudiant (e) Enseignant(e)

4-Combien d'heures passez-vous dans la salle de classe

Heure/jour ou Heure/semaine

5-Vous préférez qu'elle position dans la classe ?

A Proximité de la fenêtre Eloignée de la fenêtre

Pour quoi ?

.....
.....
.....

2- Ambiance lumineuse :

6-En hiver, trouvez-vous que la lumière naturelle disponible dans votre salle de classe en hiver est :

Insuffisante (salle de classe sombre)
 Peu suffisante (salle de classe peu éclairé)
 Suffisant (salle de classe claire)
 Très suffisant (salle de classe très claire)

7-En été, trouvez-vous que la lumière naturelle disponible dans votre salle de classe est :

- Insuffisante (salle de classe sombre)
- Peu suffisante (salle de classe peu éclairé)
- Suffisant (salle de classe claire)
- Très suffisant (salle de classe très claire)

8- Appréciez-vous la présence de la lumière solaire directe dans votre salle de classe

- Pas du tout
- Un peu
- Modérément
- Beaucoup

9- Recevez-vous des taches solaires sur votre plan de travail ?

- Pas du tout Parfois Souvent

10- Etes-vous gêné par la présence taches solaires sur votre plan de travail ?

- Pas du tout
- Un peu
- Modérément
- Beaucoup

11- Etes-vous gêné par la réflexion des rayons solaires ou diffuses sur le tableau ?

- Pas du tout
- Un peu
- Modérément
- Beaucoup

12- Lorsque les rayons solaires sont intenses dans votre salle de classe, que faites-vous ?

- Occulter la fenêtre
- Déplacer la table de classe vers une zone ombragée
- Sortir de la salle de classe
- Autres réactions

.....
.....

13- Souffrez-vous de l'éblouissement des rayons solaires ?

Pas du tout

Un peu

Modérément

Beaucoup

14- Quelle sont les sources d'éblouissement qui vous gênent ?

Soleil

Réfection des parois internes

Fenêtre

Réflexion du tableau

Autres

15- Aimeriez-vous contrôler la pénétration des rayons solaires dans la salle à l'aide d'un système de protection solaire ?

Oui

Non

Si oui, quel type de protection vous préférez ?

16- Dans votre lieu de travail, êtes-vous satisfais des caractéristiques suivantes ?

	Très satisfait	Peu satisfait	Indifférent	Non satisfait	Pas de tout satisfait
Niveau de bruit	<input type="checkbox"/>				
Éclairage	<input type="checkbox"/>				
Odeur	<input type="checkbox"/>				
Aération	<input type="checkbox"/>				
Fraicheur en été	<input type="checkbox"/>				
Chaleur en hiver	<input type="checkbox"/>				
Dimension des fenêtres	<input type="checkbox"/>				
Grandeur d'espace	<input type="checkbox"/>				
Vue vers l'extérieur	<input type="checkbox"/>				
Environnement général (Couleur, sol ...)	<input type="checkbox"/>				

17- Comment qualifier vous la vue que vous sur l'extérieur ?

- Satisfaisante Reposante Ouverte Désagréable Limité Sombre
 Claire Ennuyeuse Agréable Stimulante spacieuse Simple

18- Quelle est l'impression que vous avez de la salle de classe ?

- Agréable Confortable Ennuyeuse Sombre Lumineuse
 Ouverte Laide Stimulante Approprié Déprimante
 Belle Chaude Reposante Exigüe Sans éblouissement
 Spacieuse Ensoleillé

Réglementation relative à l'éclairage des salles de classe

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

En ce qui concerne les établissements d'enseignement, le guide publié par le Ministère de l'Education Nationale sur les constructions scolaires, évoque les caractéristiques géométriques des classes, l'orientation et l'indice de vitrage recommandés. Mais aucune indication n'est donnée sur les exigences de l'éclairage en matière d'éclairement lumineux, d'uniformité...etc. Dans ce domaine, la réglementation algérienne est très pauvre par rapport aux réglementations étrangères (République Algérienne. Codes du foncier et de l'urbanisme : recueil de textes législatifs et réglementaires de la République Algérienne. BERTI Editions. 2001-2002).

L'éclairement de n'importe quel espace est lié à l'activité et à la précision de la tâche visuelle exercée. Autrement dit, tous les types d'éclairage naturel, artificiel et mixte, peuvent être utilisés dans la mesure où ils conviennent, mais ils doivent répondre aux paramètres suivants fournir : (*Liébard, A. et De Hherde, A., 2005*):

- Le niveau d'éclairement de la tâche visuelle.
- La répartition de la lumière dans l'espace.
- Les rapports de luminance dans le local.
- L'absence d'ombres gênantes.
- La mise en valeur du relief et du modelé des objets.
- Le rendu des couleurs.
- La teinte de la lumière.
- L'absence d'éblouissement.

I. Niveaux d'éclairement :

Sous un ciel standard, les niveaux d'éclairement minimaux à atteindre sont les mêmes que ceux recommandés pour l'éclairage artificiel (*CIE, 1986*). Afin d'améliorer les conditions générales, il est indispensable de séparer le niveau d'éclairement moyen du niveau d'éclairement de la tâche. Ce dernier doit présenter au moins 0.8 de l'éclairement moyen dans n'importe quel poste de travail (*Saffidine, D., 2001*).

Les tableaux suivant représentent respectivement les niveaux d'éclairage exigés selon le type d'espace et l'activité par différente association d'éclairage.

I.1. Recommandations de l'A.F.E :

Espace	Niveau d'éclairage recommandé par AFE (lux)
Salles de classes	325
Tableau	425
Amphithéâtres	325
Laboratoires	625
Bibliothèque, tables de lecture	425

Tableau II.1 : Niveaux d'éclairage moyen recommandés par l'A.F.E Enseignement du premier et second degré. **Source** : A.F.E, 1987.

I.2. Recommandations du ministère de l'éducation nationale française :

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

Tableau II.2: Niveaux d'éclairage en service exigés dans les salles de cours par le Ministère de l'Education Nationale. **Source** : B.O. n°15 du 22 avril 1965.

I.3. Recommandations de l'association Promotelec

1. Eclairage Général

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

2. Eclairage des tableaux

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 de l'apport de l'éclairage général.

I.4. La réglementation belge :

Les valeurs d'éclairage recommandées sont indiquées dans la norme belge NBN L13-006: Eclairage des lieux de travail et dans l'article 62 du titre II du Règlement Général pour la Protection du Travail

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

Tableau II.3: Eclairements lumineux recommandés dans les salles de classe. **Source** : Article 62 du titre II du RGPT. [www-energie.arch.ucl.ac.be].

L'éclairage naturel peut être unilatéral, bilatéral ou multilatéral. Dans les 3 cas il faut fournir les niveaux d'éclairement exigés, alors que la difficulté est plus grande dans le premier cas (unilatéral). Afin de résoudre ce problème, il faut établir une conception qui tient compte des règles de profondeur, (figure II.1).

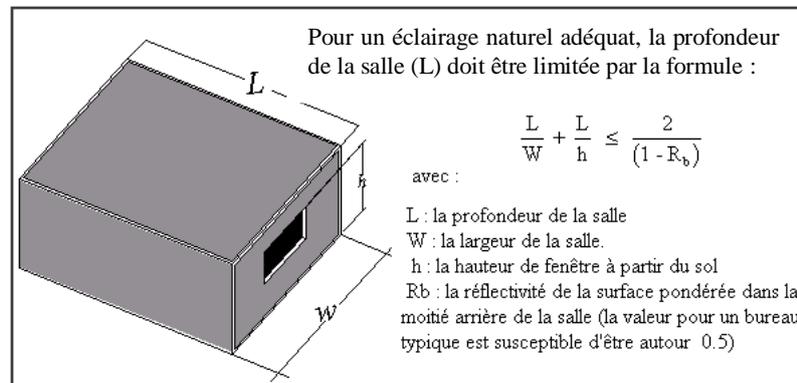


Figure II.1: la règle de la limite de profondeur. Source : CIBSE, 1987.

II. Uniformité de l'éclairage :

II.1. D'après l'A.F.E :

L'indice d'uniformité (I_u) calculé pour le plan de travail ne doit pas être inférieur à 0,8. Quant au rapport des niveaux d'éclairement moyen entre la salle de classe et les locaux contigus en communication avec celle-ci, il doit être compris entre 1 et 5. Concernant l'éclairage vertical des tableaux, le rapport de l'éclairement minimal à l'éclairement maximal ne doit pas être inférieur à 0,5.

II.2. D'après la réglementation belge :

	<p>(2) $E_{\min \text{ classe}} / (1) E_{\text{moy classe}} > 0,8$</p> <p>Ce critère garantit qu'aucun élève ne dispose d'éclairement inférieur à 80 % de la moyenne.</p>
	<p>(4) $E_{\min \text{ tableau}} / (3) E_{\text{moy tableau}} > 0,5$</p>
	<p>(5) $E_{\text{moy couloir}} / (1) E_{\text{moy classe}} > 0,2$</p>

Tableau II.2: Eclairages lumineux recommandés dans les salles de classe.

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

I.3. Recommandations de la Commission Internationale de l'Eclairage CIE

Pour notre travail on a comparé les résultats des valeurs d'éclairage et l'indice d'uniformité obtenus (voir le chapitre VI et VII) avec celle recommandée par la CIE.

Espace	Niveau d'éclairage recommandé par (lux)
Salles de classes	300
Tableau	425
le rapport de l'éclairage minimal à l'éclairage maximal I_u ne doit pas être inférieur à 0,6	

Tableau II.4: Eclairages lumineux et indice d'uniformité recommandés dans les salles de classe.
Source : CIE., 1995.

III. Contraste et éblouissement :

La qualité de la lumière naturelle dans les espaces intérieurs a une grande importance, surtout l'uniformité de la distribution et la direction. Pour cela, quatre principes doivent être pris en considération :

Le premier : concerne la direction. La lumière du jour devrait être fournie à côté du travailleur (le côté gauche est plus préférable);

Le deuxième : est la position de la source lumineuse (dans ce cas : le soleil et le ciel) ne devraient pas être dans le champ visuel immédiat car le contraste excessif produit l'éblouissement ;

Le troisième : est la valeur du facteur de la lumière du jour. Sa valeur détermine le besoin de l'utilisation d'un éclairage artificiel supplémentaire ; par exemple : Si la quantité de la lumière du jour est fournie avec un facteur de lumière de jour $\geq 5\%$, aucune lumière artificielle est exigée (CIBSE., 1987).

Le quatrième : est le rapport entre l'éclairage général et l'éclairage de tâche. Dans un lieu de travail, l'éclairage moyen généralement recommandé pour un plan de travail, ne devrait pas être inférieur à 200lx (souvent 300lx), mais le secteur de la tâche ne peut pas être isolé de l'entourage immédiat et l'uniformité d'éclairage dans ces deux secteurs est très importante. Cette uniformité est assurée par le rapport (formule 1) (Saffidine, D., 2001) :

$$\frac{\text{éclairage minimum}}{\text{éclairage de tâche}} \geq 0.8 \dots\dots\dots(1) \text{ (Saffidine, D., 2001)}$$

Pour empêcher ou diminuer le contraste excessif entre l'intérieur et la vue vers l'extérieur, les murs où se trouvent les fenêtres devraient être de couleurs claires (haute réflectivité) et non pas brillants. Ainsi, l'éblouissement du ciel évident ou de surfaces externes peut être également empêché en augmentant la luminance sur les fenêtres par la lumière provenant des autres fenêtres ou par la lumière électrique supplémentaire. Pour la même raison, d'autres solutions sont recommandées telles que l'évasement de la fenêtre (figureII.3) ou l'utilisation des stores translucides, rideaux,..., etc. (O'Connor, J. et al ., 2000)

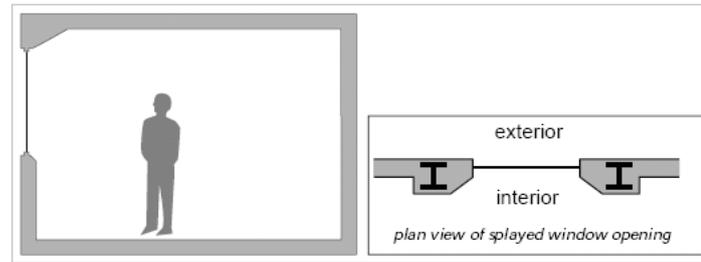


Figure II.3: L'évasement de fenêtre pour diminuer le contraste entre la fenêtre et les surfaces intérieures, et ce afin d'éviter l'éblouissement ou de le rendre non évident. **Source:** O'Connor, J. et al., 2000

Par ailleurs, la réflectivité de différentes surfaces intérieures contribue largement à la qualité de l'environnement lumineux. Pour le plafond, une réflectivité élevée (mates pour réduire l'éblouissement direct) donne une apparence de clarté pour répartir la lumière naturelle uniformément. L'IESNA recommande une réflectivité de 75 % à 90 % pour les plafonds (IESNA., 2000). Pour les murs, la CIBSE recommande: les murs avec fenêtres devraient avoir une réflectivité d'au moins 60 %, tandis que les murs sans fenêtres devraient l'avoir entre 30% et 70% (CIBSE., 1994). La différence des réflectivités des murs tend à réduire le contraste entre la fenêtre éclairée et le mur adjacent.

1. Indice de rendu des couleurs :

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

Tableau II.5 : Indices de rendu de couleur recommandés dans les salles de cours.
Source : NBN L 13-006 [www-energie.arch.ucl.ac.be]

2. Facteurs de réflexion

Surface	Facteur de réflexion
Plafonds	0,75 à 0,85
Murs au voisinage des foyers lumineux	0,60 à 0,70
Murs éloignés des foyers lumineux	0,40 à 0,50
Dessus des tables de travail	0,40 à 0,50
Sols	0,20 à 0,30

Tableau II.6 : Facteurs de réflexion recommandés par le Ministère de l'Education Nationale.
Source : B.O.E.N n°15 du 22 avril 1965.

Surface	Facteur de réflexion
Plafonds	0,7
Murs	0,5
Plan utile	0,3

Tableau II.7 : Facteurs de réflexion recommandés par l'Association Promotelec.
Source : Association Promotelec, 2002.

IV. Caractéristiques de fenêtres:

D'un point de vue historique et réglementaire, deux exigences pour la conception des fenêtres dans les locaux du travail sont indispensables (Brown, W.C. et Ruberg, K., 1988) :

- La première concerne la lumière naturelle : les fenêtres doivent être conçues d'une manière permettant à la lumière naturelle d'être utilisée pour l'éclairage, sauf dans les cas où la nature technique des activités s'y oppose.
- La deuxième concerne la vue vers l'extérieur : les locaux de travail doivent comporter des baies transparentes permettant la vue vers l'extérieur, sauf dans les cas d'incompatibilité avec la nature des activités envisagées.

Tous les autres critères de performance doivent être subordonnés à ces deux exigences. Ces dernières contribuent à la détermination de ses différentes caractéristiques : la taille, la position et l'orientation, qui doivent être planifiées pour accomplir les diverses fonctions. Enfin, pour la conception d'une fenêtre, il faut respecter quelques mesures :

- L'allège de la fenêtre devrait être au-dessous de la hauteur de l'œil en position d'assise.
- Le linteau de la fenêtre devrait être au-dessus de la hauteur de l'œil en position debout.
- le quadrillage de la fenêtre devrait être conçu de sorte qu'il ne constitue pas une obstruction
- La taille et la proportion des dimensions devraient être en fonction de l'espace, la vue requise, la tâche visuelle à exécuter et de la position d'occupants et du mobilier. Le tableau donne les surfaces minimales de verre nécessaires pour la vue vers l'extérieur ;
- Une vue vers l'extérieur devrait être fournie indépendamment de sa qualité pour tous les occupants, même lorsque le facteur de jour est moins de 2%.
- Les positions de fenêtres devraient être selon les préférences des occupants.
- Une harmonie entre la vue à l'extérieur et la vue à l'intérieure doit être réalisée de sorte que l'intimité d'occupant ne soit pas offensée.

Minimum du fond d'espace (distance du mur de fenêtre)	Minimal de la surface de fenêtre (du côté intérieur)
< 8m	20% du mur de fenêtre
8 - 11m	25% -
11 - 14m	30% -
> 14m	35% -

Tableau 3.5. Le minimum de surface de verre nécessaire pour la vue, quand les fenêtres sont unilatérales. **Source:** BS daylight code, 1992, Saffidine, D., 2001.