

République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Abderrahmane Mira – Bejaia



Faculté de Technologie
Département d'Architecture

Thème :

Le confort visuel dans les salles de dessin des écoles d'architecture.

Cas d'étude : Les salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.

**Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master II en Architecture
« Spécialité Architecture »**

Préparé par :

Mlle AZIBI Ceryna

Dr. BOUNOUNI Sofiane	Département architecture de Bejaia	Président de jury
Dr. OUARET LADJOUZE Manel	Département architecture de Bejaia	Rapporteur
Dr. BADIS Abderrahmane	Département architecture de Bejaia	Examineur

Année Universitaire 2020 – 2021.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

A ma chère mère,

Pour qui, les paroles ne sauront décrire ma reconnaissance envers toi. Ton affection me comble, ta bienveillance me guide et ta force m'inspire à atteindre mes objectifs.

A mon cher père,

Qui a toujours été mon pilier et mon repère dans la vie, tu n'as jamais cessé de croire en moi, de me soutenir et de m'encourager dans mes études.

A ma chère sœur et mon cher frère,

Pour leur soutien indéfectible et leur patience inouïe.

Je dédie également ce travail à la mémoire de ma défunte tante, de qui je tiens ma détermination et mon courage.

CERYNA

Remerciements

*Je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donné la force et la volonté
d'entamer et de terminer ce mémoire.*

*Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à mes deux encadreurs Mr ALLOUACHE Samir
ainsi que Dr KHADRAOUI Mohamed Amine, enseignants à l'université de Béjaia
pour leur aide, leurs conseils avisés et leur patience.*

*Mes remerciements vont également à l'enseignant Mr MELLANI Halim, enseignant à
l'université de Bejaia, envers qui je manifeste un grand respect, il a su m'encourager et
être la pour moi durant tout mon cursus universitaire.*

*Enfin, je remercie tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin qui ont contribué à la
réalisation de ce mémoire.*

CERYNA

Résumé

Avec la lancée fulgurante du développement durable dans le monde, le secteur du bâtiment doit désormais répondre à des exigences environnementales afin de maîtriser ses impacts et minimiser sa consommation énergétique. Ce dernier doit également assurer un confort intérieur optimal et une ambiance lumineuse agréable pour ses occupants.

Dans les bâtiments éducatifs, il se révèle plus que nécessaire d'assurer un environnement éducatif confortable et approprié, compte tenu du rôle de l'éducation dans le développement personnel et social. En effet, le confort visuel est l'un des principaux paramètres qui contribuent à créer un environnement propice à l'éducation. Celui-ci doit être donc pris en compte dès la phase initiale de la conception.

L'objectif de ce mémoire est d'évaluer quantitativement et qualitativement les performances lumineuses des systèmes d'éclairage et de définir les paramètres à optimiser afin d'assurer le confort visuel à l'intérieur des salles de dessin des écoles d'architecture. Notre travail est structuré sur les notions de base de l'éclairage naturel et de ses dispositifs ainsi que sur l'étude des paramètres du confort visuel et des ambiances lumineuses.

Dans le but d'atteindre ces objectifs, notre étude a été fondée sur l'approche empirique, et cela à travers des prises de mesure in situ des éclairagements lumineux au sein des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia, qui représente notre cas d'étude, ainsi que le recueil des appréciations subjectives des occupants, de l'ambiance lumineuse des espaces étudiés à travers la distribution d'un questionnaire, enfin nous avons utilisé la technique de la simulation numérique via le logiciel ArchiWIZARD afin d'évaluer les aspects du confort visuel et confirmer les résultats obtenus en amont.

Finalement les résultats ont confirmé que le type de dispositif d'éclairage, en plus d'autres paramètres, sont représentatifs du confort visuel. Des choix appropriés sont nécessaires afin d'améliorer ce dernier dans les salles de dessin des écoles d'architecture.

Mots clés : Éclairage naturel, dispositif zénithaux, dispositifs latéraux, confort visuel, ambiance, salle de dessin.

Abstract

With the meteoric momentum of sustainable development around the world, the building sector must now meet environmental requirements in order to control its impacts and minimize its energy consumption. The latter must also ensure optimal interior comfort and a pleasant light atmosphere for its occupants for its occupants.

In educational buildings, it is more than necessary to ensure a comfortable and appropriate educational environment, taking into account the role of education in personal and social development. Indeed, visual comfort is one of the main parameters that help create an environment conducive to education. This must therefore be taken into account from the initial design phase.

The objective of this dissertation is to quantitatively and qualitatively assess the luminous performance of lighting systems and to define the parameters to be optimized in order to ensure visual comfort inside the drawing workshops of schools of architecture. Our work is structured on the basics of natural lighting and its devices as well as on the study of visual comfort parameters and light atmospheres.

In order to achieve these objectives, our study was based on the empirical approach, and this through in situ measurements of the light illuminations in the drawing workshops of the architecture block of the University of Bejaia, which represents our case study, as well as the collection of the subjective appreciations of the occupants, of the luminous atmosphere of the spaces studied through the distribution of a questionnaire, finally we used the technique of digital simulation via the software ArchiWIZARD in order to assess the aspects of visual comfort and confirm the results obtained upstream.

Finally, the results confirmed that the type of lighting device, in addition to other parameters, are representative of visual comfort. Appropriate choices are necessary in order to improve the latter in the drawing workshops of schools of architecture.

Keywords: Natural lighting, zenithal device, lateral devices, visual comfort, atmosphere, drawing workshops.

Table des matières

Dédicace.....	i
Remerciements.....	ii
Résumé.....	i
Table des matières.....	iii
Tables des figures	vii
Liste des tableaux.....	x
Nomenclature.....	xi

Chapitre introductif.

Introduction générale :	1
Problématique :	2
Hypothèses :	3
Contexte et objectifs :	3
Analyse conceptuelle :	4
Méthodologie de recherche :	4
Structure du mémoire :	5

Partie 01 : « Partie théorique »

Chapitre 01 : L'éclairage naturel au sein de l'espace architectural.

1 Définition de l'éclairage naturel :	8
2 Les sources de l'éclairage naturel :	8
2.1 Sources lumineuses diurnes directes:	9
2.1.1 Source primaire:	9
2.2 Sources lumineuses diurnes indirectes:	10
2.3 Principes physiques de base :	10
2.3.1 Unités et grandeurs fondamentales (Grandeurs photométrique) :	10
2.3.1.1 Flux lumineux :	10
2.3.1.2 Intensité lumineuse :	11
2.3.1.3 Éclairement :	11
2.3.1.4 La Luminance :	11
2.3.2 Le Facteur de Lumière de Jour (FLJ):	12

2.3.3	Le rayonnement électromagnétique :.....	12
2.3.4	Le spectre visible :	12
3	Le climat lumineux :	13
3.1	Mouvement annuel de la terre autour du soleil :.....	13
3.2	Influence de la latitude sur les conditions d'ensoleillement :	14
3.3	Influence de l'orientation sur les conditions d'ensoleillement :	15
3.4	Modèles de ciel :	16
3.4.1	Le ciel uniforme :.....	16
3.4.2	Le ciel couvert :	16
3.4.3	Le ciel clair sans soleil :.....	17
3.4.4	Le ciel clair avec soleil :	17
3.4.5	Influence de la couverture nuageuse sur l'éclairage naturel :.....	17
4	Types d'éclairage naturel :	18
4.1	Éclairage latéral :.....	18
4.1.1	Éclairage unilatéral :.....	18
4.1.2	Éclairage bilatéral :.....	20
4.1.3	Éclairage multilatéral :.....	21
4.2	Les paramètres influençant l'éclairage latéral :.....	21
4.2.1	La dimension des ouvertures latérales :.....	21
4.2.2	La forme et la position des ouvertures latérales :	22
4.2.3	Obstructions extérieures :	23
4.3	Éclairage zénithal :.....	23
4.3.1	Dispositifs d'éclairage zénithal direct :.....	24
4.3.1.1	Les tabatières (ou skylights) :.....	24
4.3.1.2	Les dômes :.....	26
4.3.1.3	Les verrières :	26
4.3.2	Systèmes d'éclairage zénithal indirect :.....	27
4.3.2.1	Toitures en dents de scie (ou sheds) :.....	27
4.3.2.2	Lanterneaux :.....	29
4.3.2.3	Puits de jour :.....	30
4.3.2.4	Conduits de lumière ou « Light pipes » :.....	31
5	Les protections solaires :	32
5.1	Les protections solaires environnantes :.....	32

5.2	Les éléments architecturaux :.....	33
5.3	Les protections ajoutées :.....	33
5.4	Les vitrages protecteurs :.....	34

Chapitre 02 : Le confort visuel et les ambiances lumineuses dans les salles de dessin.

1	Impact de la lumière naturelle en milieu éducatif :.....	37
2	Tâches visuelles dans les salles de dessin des écoles d'architecture :.....	39
3	Le confort visuel dans les salles de dessin :	39
3.1	Définition du « confort » :.....	39
3.2	Définition du confort visuel :	40
3.3	Les éléments du confort visuel dans les salles de dessin :	40
3.4	Niveau d'éclairage lumineux :.....	41
3.4.1	Facteur humain :	41
3.4.2	Facteur d'ambiance:.....	42
3.4.2.1	Couleur des parois internes :	42
3.4.2.2	Couleur des plans de travail :	42
3.4.3	Uniformité de l'éclairage :	43
3.4.4	Uniformité de l'éclairage :.....	43
3.4.5	Uniformité de la luminance :	44
3.4.6	L'Éblouissement :.....	44
3.4.6.1	Types d'éblouissement :	45
3.4.6.1.1	L'éblouissement direct :	45
3.4.6.1.2	Éblouissement indirect :	45
3.4.6.2	Évaluation de l'éblouissement d'inconfort:.....	46
3.4.6.3	Contrôle de l'éblouissement :	47
3.4.7	Les ombres portées :	47
3.4.8	Rendu de couleur:	48
4	L'ambiance lumineuse:.....	50
4.1	Définition de l'ambiance lumineuse:	50
4.2	Les paramètres de l'ambiance lumineuse:	50
4.3	Les types d'ambiances lumineuses :	51

Partie 2 : « Partie pratique »

Chapitre 3: Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.

1	Présentation du cas d'étude « Le bloc Architecture du campus universitaire Targua Ouzemour :.....	55
2	Le choix des salles :.....	56
3	Description des salles types :.....	57
4	Dispositif d'éclairage des salles :	58
5	L'évaluation quantitative et qualitative des salles de dessin du bloc architecture :	58
5.1	L'évaluation quantitative:	58
5.1.1	Le choix des points de mesure:.....	59
5.1.2	Protocole de la prise de mesure :	60
5.1.2.1	Instrumentation:.....	63
5.1.3	Résultats et interprétation :	64
5.1.4	Comparaison des résultats entre les deux salles types :.....	73
5.2	L'évaluation qualitative :	75
5.2.1	Définition du questionnaire :	75
5.2.2	La description et le déroulement du questionnaire:	75
5.2.3	Résultat et interprétation :.....	76

Chapitre 4: Etude et optimisation du confort visuel par la simulation numérique.

1	Présentation du logiciel utilisé :.....	93
2	Les étapes de travail :	94
3	Résultats et interprétation	98
4	L'optimisation du confort visuel:	106
	Conclusion générale :.....	111
	Recommandations :.....	112
	Limites de la recherche :.....	112
	Perspectives de recherche :	112
	Références bibliographiques	114
	Annexes.....	118

Tables des figures

Chapitre introductif :

Figure 1: Analyse conceptuelle.....	4
Figure 2: La structure du mémoire.....	6

Chapitre 1 : L'éclairage naturel au sein de l'espace architectural.

Figure 1. 1: Les sources de lumière diurnes.	9
Figure 1.2: Définition de facteur de lumière de jour.	12
Figure 1. 3: Le spectre visible.....	13
Figure 1. 4: Mouvement annuel de la terre autour du soleil.	14
Figure 1. 5: Le ciel uniforme.	16
Figure 1. 6: Le ciel couvert.	16
Figure 1. 7: Le ciel clair (sans soleil).....	17
Figure 1. 8: Le ciel clair (avec soleil).	17
Figure 1. 9: Performances lumineuses d'un dispositif d'éclairage unilatéral.	19
Figure 1. 10: Pénétration de la lumière dans un local.....	19
Figure 1. 11: Pénétration approximative de la lumière naturelle avec l'usage d'un « light shelf ».....	20
Figure 1. 12: Dispositif anidolique.	20
Figure 1. 13: L'éclairage bilatéral.....	21
Figure 1. 14: Les dimensions des ouvertures latérales.	21
Figure 1. 15: Performance lumineuse des ouvertures latérales en fonction de leur position.	22
Figure 1. 16: Performance lumineuse des ouvertures latérales.....	23
Figure 1. 17: Les tabatières (Skylights)	24
Figure 1. 18: Performances lumineuses des tabatières.	25
Figure 1. 19: Inclinaison recommandée des tabatières.	25
Figure 1. 20: Critères d'uniformité pour les tabatières.	26
Figure 1. 21: Dispositifs d'éclairage zénithal direct.	27
Figure 1. 22: Composantes des sheds (Collège d'Estagel, France).....	27
Figure 1. 23: Effet directif des sheds.	28
Figure 1. 24: Critères d'uniformité pour les sheds.	28
Figure 1. 25: Types de lanterneaux.....	29
Figure 1. 26: Performances lumineuses des lanterneaux.	29
Figure 1. 27: Performances lumineuses du puits de jour.....	30
Figure 1. 28: Ratio optimal de la hauteur sur largeur du puits de jour.	31
Figure 1. 29: Composants d'un conduit de lumière (Ecole maternelle de Collioure en France).	32

Figure 1. 30: Les protections solaires ajoutées.	34
---	----

Chapitre 2 : Le confort visuel et les ambiances lumineuses dans les salles de dessin.

Figure 2. 1: Les éléments du confort visuel.	40
Figure 2. 2: L'acuité visuelle.	41
Figure 2. 3: Les zones du champ visuel.	44
Figure 2. 4: Cas d'éblouissement indirect dans une salle de cours.	46
Figure 2. 5: Usage d'éclairage mixte pour réduire les zones d'ombre.	48
Figure 2. 6: Le diagramme de Kruithof.	50
Figure 2. 7: Représentation schématique de l'ambiance lumineuse.	50
Figure 2. 8: The Church of light (Tadao Ando, 1989).	52

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.

Figure 3. 1: Façade Sud-ouest du bloc d'architecture.	55
Figure 3. 2: Vue en plan du rez-de-chaussée du bloc d'architecture.	56
Figure 3. 3: Ecran végétal arborant la façade Sud-ouest du bloc architecture.	56
Figure 3. 4: La salle n° 09.	57
Figure 3. 5: La salle n°05.	57
Figure 3. 6: Les dimensions de la baie vitrée des salles.	58
Figure 3. 7: La baie vitrée des salles n°05 et n°09.	58
Figure 3. 8: Situation de la salle n°05.	61
Figure 3. 9: La grille de mesure de la salle n°05.	62
Figure 3. 10: Situation de la salle n°09.	62
Figure 3. 11: La grille de mesure de la salle n°09.	63
Figure 3. 12: Le luxmètre utilisé pour la prise de mesure.	64
Figure 3. 13: L'éclairement lumineux de la salle n°05 à 09hGMT.	65
Figure 3. 14: L'éclairement lumineux de la salle n°05 à 12hGMT.	66
Figure 3. 15: L'éclairement lumineux de la salle n°05 à 15hGMT.	68
Figure 3. 16: L'éclairement lumineux de la salle n°9 à 09hGMT.	69
Figure 3. 17: L'éclairement lumineux de la salle n°9 à 12hGMT.	71
Figure 3. 18: L'éclairement lumineux de la salle n°9 à 15hGMT.	72
Figure 3. 19: Répartition des occupants selon le sexe.	76
Figure 3. 20: Répartition des occupants selon l'âge.	77
Figure 3. 21: Répartition des occupants selon le groupe d'utilisateur.	78
Figure 3. 22: Répartition des occupants selon le degré d'appréciation de la lumière naturelle dans les salles de dessin.	79

Figure 3. 23: Répartition des usagers selon la disponibilité de la lumière naturelle dans les salles de dessin en hiver.	80
Figure 3. 24: Répartition des usagers selon la disponibilité de la lumière naturelle dans les salles de dessin en été.	81
Figure 3. 25: Répartition des occupants selon leur appréciation de la lumière solaire directe.....	82
Figure 3. 26: Répartition des occupants selon leur réception de tâches solaires sur leur plan de travail.....	83
Figure 3. 27: Répartition des occupants selon leur gêne ressentie dans leur travail à cause de la présence des rayons solaires directs.	84
Figure 3. 28: Répartition des occupants selon leurs actions lorsque la lumière solaire est intense sur leur plan de travail.	85
Figure 3. 29: Répartition des occupants selon leur gêne causée par la réflexion des rayons solaires sur le tableau.	86
Figure 3. 30: Répartition des occupants selon leur volonté d’avoir une protection solaire.	87
Figure 3. 31: Répartition des occupants selon le degré d’éblouissement.	88
Figure 3. 32: Répartition des occupants selon les sources d’éblouissement qui les gênent.	89
Figure 3. 33: Répartition des occupants selon leur choix de couleur concernant le revêtement intérieur de la salle de dessin.	90

Chapitre 4 : Etude et optimisation du confort visuel par une simulation numérique.

Figure 4. 1: Propriétés du logiciel ArchiWIZARD.	93
Figure 4. 2: Modélisation du projet sur le logiciel ARCCICAD.	94
Figure 4. 3: Importation du modèle 3D.	95
Figure 4. 4: Insertion de l’imagerie solaire.	96
Figure 4. 5: La configuration du type de calcul.	96
Figure 4. 6: Insertion de la carte d’éclairage de la salle n°05 et n°09.	97
Figure 4. 7: Lancer la simulation.	97
Figure 4. 8: La production du rapport en PDF.	98
Figure 4. 9: Répartition de l’éclairage dans la salle à 09h.	99
Figure 4. 10: Répartition de l’éclairage dans la salle à 12h.	100
Figure 4. 11: Répartition de l’éclairage dans la salle à 15h.	101
Figure 4. 12: Répartition de l’éclairage dans la salle à 09h.	102
Figure 4. 13: Répartition de l’éclairage dans la salle à 12h.	104
Figure 4. 14: Répartition de l’éclairage dans la salle à 15h.	105

Liste des tableaux

Chapitre 2 : Le confort visuel et les ambiances lumineuses dans les salles de dessin.

Tableau 2. 1 : Les réactions subjectives selon l'indice d'inconfort.	46
Tableau 2. 2: La température de couleur.	49

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.

Tableau 3. 1: Détermination du nombre minimal de points de mesure en fonction de l'indice du local K.....	60
---	----

Nomenclature

Abréviations

- CIE** Commission International de l'Éclairage
- CIBSE** Chartered Institution of Building Services Engineers
- UGR** Unified Glare Rating
- ICEB** L'Institut pour la Conception Écoresponsable du Bâti

Indices

- I** L'intensité lumineuse (cd)
- E** L'éclairement (lux)
- L** La luminance (cd/m²)
- S** La surface (m²)
- FLJ** Facteur lumière du jour (%)
- f** La fréquence (Hertz)
- Tc** La température de couleur (K)
- h** Hauteur solaire (°)
- RB** Réflectance moyenne du local

Symboles

- θ** Flux lumineux (lm)
- λ** Longueur d'onde (m)
- φ** Latitude (°)
- δ** Déclinaison du soleil (°)
- ω** Angle horaire (°)

Chapitre introductif

Chapitre introductif

Introduction générale :

« *NOS YEUX SONT FAITS POUR VOIR DES FORMES SOUS LA LUMIERE* ». **Le corbusier**

De tous les types d'énergies naturelles que les humains peuvent utiliser, la lumière est la plus conséquente. Effectivement, elle représente un élément nécessaire à la vision, et fondamental à l'appréciation de l'espace, la forme, la couleur, la structure, et l'ambiance. La lumière naturelle est le mode d'éclairage le plus agréable, le plus performant et le plus économique, son utilisation judicieuse est un atout majeur pour développer les qualités architecturales, énergétiques et environnementales d'un bâtiment. En effet, l'intégration de l'éclairage naturel dans le domaine de l'architecture, se voit de plus en plus présente, et le secteur du bâtiment se doit d'être en concordance avec les préoccupations croissantes du développement durable, et les aspirations écologiques.

La lumière naturelle permet de réaliser une ambiance lumineuse agréable, elle contribue également à l'état psychique et physique des êtres humains et assure le confort visuel aux occupants d'un espace, ce confort, dépend d'une combinaison de paramètres physiques auxquels s'ajoutent des caractéristiques propres à l'environnement et à la tâche visuelle à accomplir (Liébard & De Herde, 2005). La notion de confort visuel est subjective et multicritère, en l'améliorant, on atténue la fatigue qui est l'une des premières causes d'accident du travail et on améliore ainsi la productivité (Le GIF-Lumière, 2011)

Certains usages, requièrent une quantité et une qualité de lumière spécifique. En effet, dans les édifices liés à l'enseignement, le confort visuel représente l'une des caractéristiques majeures qui contribuent à l'élaboration d'un environnement propice à l'éducation et à la productivité, notamment dans les écoles d'architectures, puisque ce travail consiste à capter, à retenir et à assimiler une multitude d'informations, dont 65% sont visuelles (Association Française de l'Eclairage, 1987). C'est pourquoi l'objet d'étude sera orienté vers le confort visuel dans les écoles d'architectures, plus précisément, dans les ateliers de dessins où se fait la majeure partie des travaux des étudiants, et cela à travers la compréhension et la résolution de l'optimisation de l'éclairage naturel et la réduction de la consommation énergétique.

Chapitre introductif

Problématique :

Depuis des temps immémoriaux, l'Homme a toujours été dépendant de la lumière naturelle qui lui sert non seulement d'éclairage mais lui offre également des repères temporels et spatiaux. Avec la mise en marche de la lampe à Tungstène par l'américain Thomas Alva Edison en 1879 et son succès commercial fulgurant dès le début du 20^{ème} siècle, l'éclairage électrique a profondément bouleversé les techniques de construction et a considérablement atténué le besoin de recourir à la lumière naturelle. Mais aujourd'hui, l'énergie électrique commence à poser de sérieux problèmes en Algérie à cause de la forte demande suscitée. Il est donc primordial d'inciter les citoyens à l'utiliser avec parcimonie aussi bien dans les espaces domestiques que les espaces de loisir, de travail, d'enseignement...etc.

Ceci dit, il est désormais impératif dans la lancée du « développement durable » de se tourner vers l'énergie solaire qui présente à la fois un facteur de performance écologique et économique, effectivement, d'une part c'est une source renouvelable et durable, d'une autre part, l'éclairage naturel permet une réduction de 30 à 50 % des charges liées à l'éclairage artificiel et permet l'amélioration des rendements des travailleurs (Namias, 2007).

Actuellement, la lumière naturelle semble être au cœur de l'attention, elle occupe un grand espace dans les évènements scientifiques, conférences et congrès, laboratoires de recherche... etc. Pour les architectes, ils lui confèrent un grand intérêt lors du processus de la conception architecturale, où elle contribue grandement à la génération d'une ambiance intérieure attrayante. Liébard et De Herde (2005) avancent à ce sujet que la lumière naturelle produit un meilleur confort visuel que celui apporté par l'éclairage artificiel, de part sa variabilité et ses nuances qui permettent d'amener une harmonie avec l'environnement extérieur, et créer par la même occasion une ambiance intérieure plus chaleureuse.

Pour ces diverses raisons, de nombreuses recherches se sont intéressées à l'effet de la lumière naturelle dans les locaux d'enseignement et toutes ont conclu que l'éclairage naturel dans les salles de classe participe à l'amplification des performances intellectuelles des élèves, à la conception d'un environnement intérieur sain, et à la diminution de l'absentéisme des élèves et des enseignants (UPMC, 2016). Il faut toutefois souligner que l'admission de la lumière naturelle dans ce type de locaux doit assurer le confort visuel des usagers qui ne peut être obtenu qu'après une bonne conception architecturale, une bonne

Chapitre introductif

intégration des matériaux et des couleurs, et un choix judicieux de la stratégie d'éclairage naturelle, qu'elle soit latérale et ou zénithale.

Pour toutes ces raisons, ce travail s'inscrit dans une optique globale de recherche sur l'optimisation qualitative et quantitative du confort visuel dans les des écoles d'architecture, plus précisément dans les salles de dessins, qui représentent l'endroit essentiel où les étudiants, guidés par leurs enseignants, mettent en pratique leurs perceptions et leurs pré acquis, de ce fait, il est nécessaire d'assurer le confort visuel de ces espaces afin d'offrir aux étudiants et aux enseignants les meilleures conditions de travail pour un rendement optimal. Il est donc nécessaire de se pencher sur cet espace pédagogique si particulier dans l'établissement de formation en architecture, en nous posons la question suivante :

Quels sont les paramètres à optimiser en vue de favoriser le confort visuel des salles de dessins des écoles d'architectures?

Hypothèses :

Afin de répondre à la problématique posée précédemment, on a émis les hypothèses suivantes:

La qualité de l'environnement lumineux dépend de la configuration architecturale du bâtiment.

- Le choix judicieux de la stratégie d'éclairage naturelle favorise le confort visuel.
- Le choix judicieux de la dimension et du type d'ouverture favorisent le confort visuel.
- La couleur des surfaces internes des salles de dessin a un impact important sur les conditions d'éclairage naturel.

Contexte et objectifs :

En effectuant cette recherche, notre objectif principal est d'améliorer le confort visuel des salles de dessin prévues pour la matière projet dans les écoles d'architecture, et cela en déterminant les paramètres à prendre en considération lors de la conception architecturale.

Mais aussi :

- Diversifier les ambiances lumineuses et améliorer leur rendu.
- Mettre en place des stratégies d'éclairage afin d'améliorer la qualité de l'environnement lumineux.

Chapitre introductif

- Minimiser la consommation énergétique.

Analyse conceptuelle :

L'analyse conceptuelle nous amène à émettre les concepts suivant que nous allons concrétiser et phénomènes mesurables et quantifiables (Figure 2).

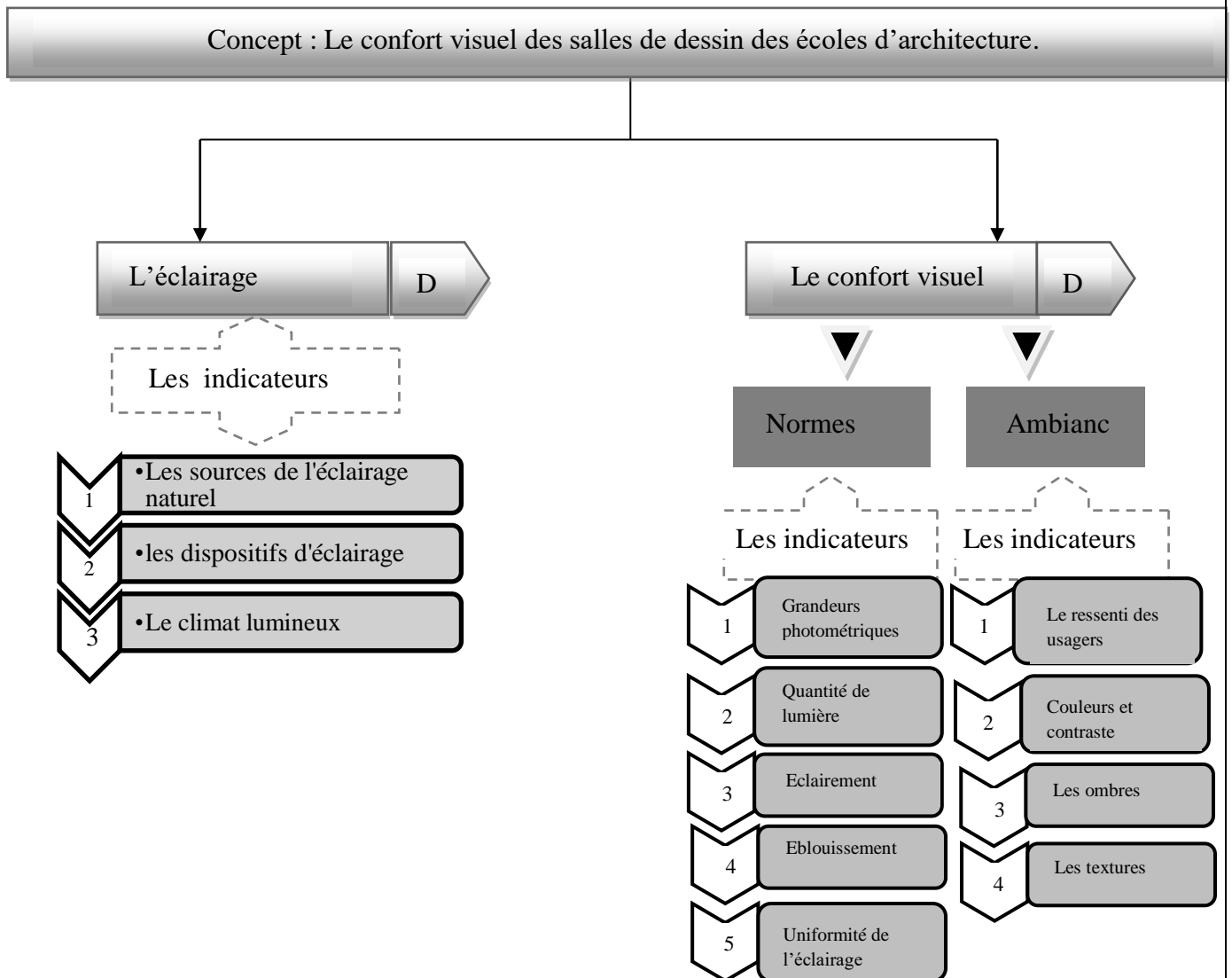


Figure 1: Analyse conceptuelle.

(Source : Auteur, 2021).

Méthodologie de recherche :

Pour atteindre les objectifs ciblés, nous avons structuré notre étude en deux parties distinctes :

Chapitre introductif

La première partie de notre démarche sera **théorique** : elle consistera à effectuer une recherche bibliographique à travers la collecte d'une documentation ayant pour objectifs de cerner et de comprendre tous les éléments théoriques de base en rapport avec le sujet de recherche ainsi que les notions de base liées à la lumière naturelle, le confort visuel et les ambiances lumineuses dans les salles de dessin des écoles d'architecture.

La deuxième partie de cette démarche sera consacrée à **l'approche empirique**, et cela à travers des prises de mesure effectuées sur notre cas d'étude, par la suite nous effectuerons une simulation d'évaluation quantitative des conditions de confort visuel et de la lumière naturelle dans les salles de dessin notamment grâce à l'outil numérique, en utilisant le logiciel ArchiWIZARD, puis nous procéderons à une enquête de satisfaction sous forme de questionnaire, adressée aux usagers de salles types afin de recueillir leur appréciation subjective des conditions d'éclairage naturel de leur environnement de travail.

Structure du mémoire :

Dans le but de répondre à la problématique précédente, nous avons structuré notre recherche en deux (02) parties distinctes, la première partie va traiter les notions théoriques de l'éclairage naturel ainsi que du confort visuel et les ambiances lumineuses dans les salles de dessin des écoles d'architecture. Cette partie sera composée de deux (02) chapitres :

Le premier traitera le sujet de l'éclairage naturel dans sa globalité mais aussi du climat lumineux.

Le deuxième chapitre traitera les paramètres du confort visuel ainsi que des ambiances lumineuses dans les salles de dessins des écoles d'architecture.

La deuxième partie de ce mémoire sera dédiée à l'approche empirique, cette partie sera composée de deux (02) chapitres :

Dans le premier chapitre nous allons effectuer une évaluation quantitative et qualitative de la lumière naturelle dans notre cas d'étude.

Le deuxième chapitre sera consacré à la simulation numérique de la lumière naturelle grâce à l'outil numérique dans notre cas d'étude.

Nous avons récapitulé cela dans la figure suivante :

Chapitre introductif

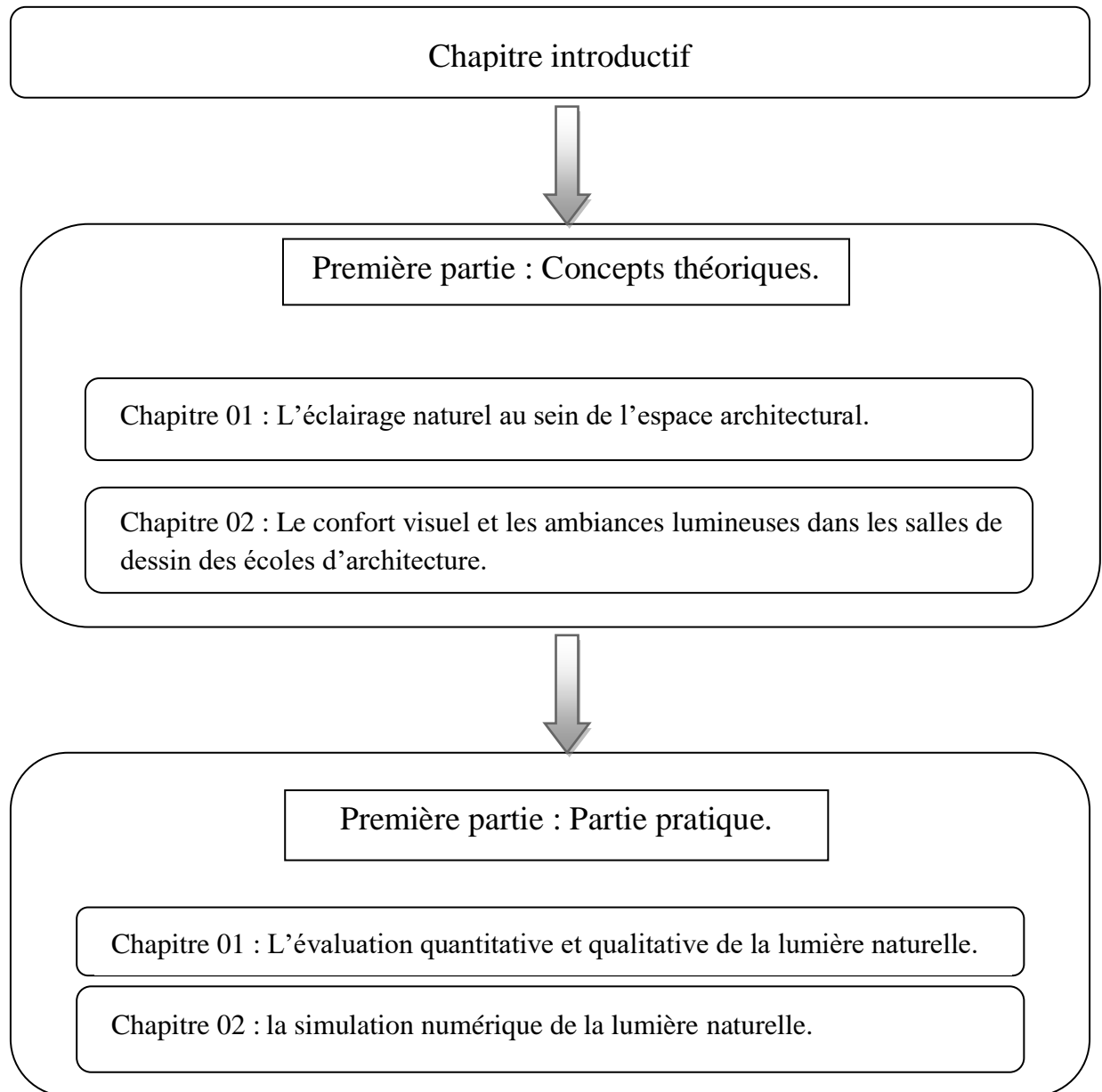


Figure 2: La structure du mémoire.

(Source : Auteur, 2021)

Partie 01 : « Partie théorique »
**Chapitre 1 : L'éclairage naturel au sein de l'espace
architectural.**

Chapitre 1 : L'éclairage naturel au sein de l'espace architectural.

Introduction :

La lumière naturelle apparaît comme un moyen architectural particulièrement riche et est un élément incontournable dans l'amélioration du confort visuel des usages. Cependant la conception en architecture des ambiances lumineuses confortables en tenant compte de l'éclairage naturel, exige une compréhension des différentes variables qui influent sur la qualité et la quantité de lumière pénétrante dans l'espace.

Dans ce chapitre nous allons définir le concept de l'éclairage naturel et ses sources, puis nous aborderons les types de ciels ainsi que leurs caractéristiques, enfin nous énumérerons les différents dispositifs de l'éclairage naturel en plus des performances de chacune des techniques, leurs avantages et leurs inconvénients.

1 Définition de l'éclairage naturel :

D'une manière générale, l'éclairage naturel est défini selon Brown et Ruberg (1988) comme étant « *L'utilisation de la lumière du jour pour éclairer les tâches à accomplir* »

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

2 Les sources de l'éclairage naturel :

Dans son environnement, l'Homme est exposé à une grande variété de sources d'énergie naturelles qui émettent un rayonnement sur plusieurs bandes du spectre électromagnétique. Il est donc indispensable de les classer. Effectivement, il existe des « sources lumineuses nocturnes », qui émettent un rayonnement électromagnétique durant la nuit et sont à l'origine de la vision dite « scotopique » tel que la lune et les étoiles, il existe également des « sources lumineuses diurnes » qui émettent un rayonnement électromagnétique pendant la journée et sont à l'origine de la vision dite « photopique ».

Dans notre étude, nous aborderons uniquement les définitions relatives aux sources lumineuses diurnes, qui permettent à l'être humain la bonne perception de son environnement et l'accomplissement de ses différentes activités quotidiennes. Ainsi, nous avons classé les sources de la lumière diurne en deux catégories distinctes : les sources directes et les sources indirectes.

Chapitre 1 : L'éclairage naturel au sein de l'espace architectural.

La lumière naturelle reçue à l'intérieur d'un bâtiment n'est que le résultat de la combinaison de trois éléments : les rayons solaires directs, la lumière diffuse du ciel et la lumière réfléchiée par les façades et de l'environnement.

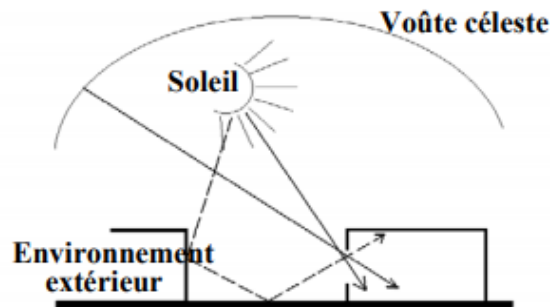


Figure 1. 1: Les sources de lumière diurnes.

(Source : Belakhal & Tabet Aoul, 2003).

La figure 1.1 montre les trois composantes de la lumière à l'intérieur d'un local.

2.1 Sources lumineuses diurnes directes:

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

2.1.1 Source primaire:

C'est une source de lumière qui émet de la lumière qu'elle a elle-même produite. 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 Bell et Burt (2001) 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* ». L'arrivée et le contact d'un rayonnement solaire avec un point donné sur la surface de la terre est défini par : l'angle d'incidence, l'azimut et la hauteur du soleil.

2.1.2 Source secondaire :

Une source secondaire c'est une source 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%), est absorbée et réémise par

Chapitre 1 : L'éclairage naturel au sein de l'espace architectural.

l'atmosphère et constitue ce que les spécialistes appellent **la lumière diffuse du ciel**. Selon Bell et Burt (2001) : « *la lumière du ciel est la partie de l'irradiation solaire qui atteint la surface terrestre et qui résulte de la diffusion par l'atmosphère* ».

L'avantage de la lumière diffuse du ciel est qu'elle est disponible dans toutes les directions, suscite peu d'éblouissement et ne provoque pas de surchauffe.

2.2 Sources lumineuses diurnes indirectes:

Les corps environnement ne sont pas visibles par œil et n'émettent pas de rayonnement visibles à moins qu'ils soient exposés à de hautes températures ou si ils reflètent, diffusent ou diffractent les rayonnements visibles qui les éclairent.

Tous les corps opaques à l'exception des 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. En ce qui concerne la couleur de la lumière réémise, elle équivaut à la couleur de l'objet (dans le cas où l'objet est éclairé en lumière blanche).

2.3 Principes physiques de base :

Afin d'étudier la complexité de la lumière, il est important de connaître certaines notions physiques de base :

2.3.1 Unités et grandeurs fondamentales (Grandeurs photométrique) :

Pour définir la lumière et son ressenti par l'œil, on utilise les grandeurs suivantes :

2.3.1.1 Flux lumineux :

Le flux lumineux représente la quantité de lumière totale émise par une source lumineuse.

$\theta = E.S$ Avec :

- θ en Lumen (lm)
- S : Surface en m²
- E : Eclairement en lux

Chapitre 1 : L'éclairage naturel au sein de l'espace architectural.

2.3.1.2 Intensité lumineuse :

L'intensité lumineuse représente la quantité de lumière émise dans une direction particulière. Elle permet de caractériser les luminaires en indiquant sur un graphe leur intensité lumineuse dans les différentes directions et est représentée par la courbe photométrique (C.P).

$I = L.S$ Avec :

- I : en candelas (cd)
- L : Luminance en cd/m^2
- S : Surface en m^2

2.3.1.3 Éclairement :

L'éclairement représente la quantité du flux lumineux en un point d'une surface.

$E = \theta/S$ Avec

- E : en lumen par m^2 ou lux
- θ : Flux lumineux en lumens
- S : Surface en m^2

2.3.1.4 La Luminance :

C'est la seule grandeur photométrique perçue par l'œil humain, elle est relative à l'impression de luminosité reçue d'une source d'éclairage. Cependant, cette impression dépend fortement du facteur de réflexion (couleur et surface).

$L = I/S$ Avec :

- L : en candelas par m^2 (cd/m^2)
- I : Intensité lumineuse en candelas
- S : Surface en m^2

Chapitre 1 : L'éclairage naturel au sein de l'espace architectural.

2.3.2 Le Facteur de Lumière de Jour (FLJ):

Le facteur de jour (FLJ) est le rapport entre l'éclairement horizontal intérieur y compris les réflexions internes, au niveau du plan de travail, et l'éclairement horizontal extérieur dû à la voûte du ciel.

Ce facteur, indépendant des conditions extérieures, est lié uniquement aux caractéristiques géométriques des vitrages et à la réflectance des parois internes du local en cause (Figure 1.2).

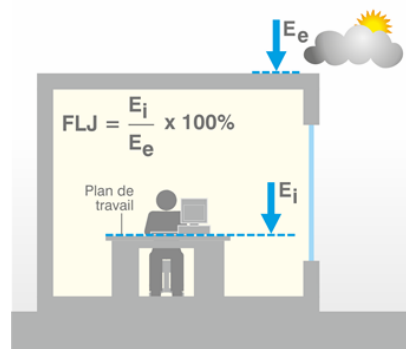


Figure 1.2: Définition de facteur de lumière de jour.

(Source : <https://energieplus-lesite.be/>).

2.3.3 Le rayonnement électromagnétique :

Le rayonnement électromagnétique correspond à l'ensemble des radiations émises par une source d'énergie et ce sous forme d'ondes électromagnétiques ou de particules élémentaires appelées : les photons. Ce spectre se caractérise par sa fréquence (f en Hertz) et sa longueur d'onde (λ en mètre).

On distingue deux types principaux de sources de rayonnement visibles : les sources agissant par décharges et les sources thermiques, ces dernières sont celles considérées en architecture.

2.3.4 Le spectre visible :

Le spectre visible est la région du spectre électromagnétique que l'œil humain est capable de percevoir, elle situe entre 380 et 780 nanomètres (nm) selon le domaine de vision et les conditions de la mesure (Figure 1.3).

Chapitre 1 : L'éclairage naturel au sein de l'espace architectural.

La lumière ne se résume pas seulement à son aspect énergétique, mais elle possède également une couleur en fonction des longueurs d'onde qu'elle comporte dans le domaine visible, en effet chaque longueur d'onde du spectre visible correspond à une couleur différente.

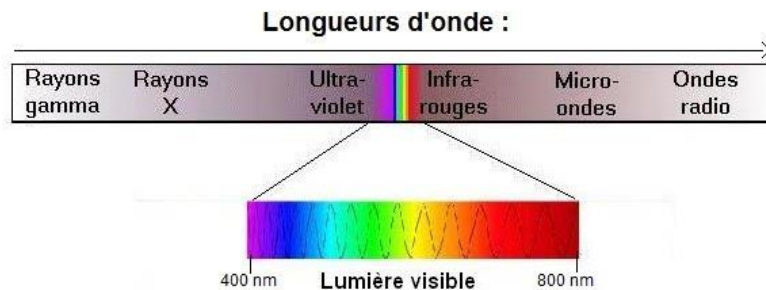


Figure 1. 3: Le spectre visible.

(Source : <https://sites.google.com>).

- **La température de couleur (Tc) :** La température de couleur s'exprime en Kelvins (K) et sert à qualifier la couleur de la lumière. En effet, si l'on parle de teinte chaude, sa température est inférieure à 3000 K et plus on se dirigera vers une teinte froide, la température augmentera, et sera supérieure à 3000 K.

3 Le climat lumineux :

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

3.1 Mouvement annuel de la terre autour du soleil :

En raison du mouvement annuel de la terre autour du soleil (Figure 1.4), l'angle d'incidence des rayons solaires parallèles varient 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 de manière différente au rayonnement direct.

Chapitre 1 : L'éclairage naturel au sein de l'espace architectural.

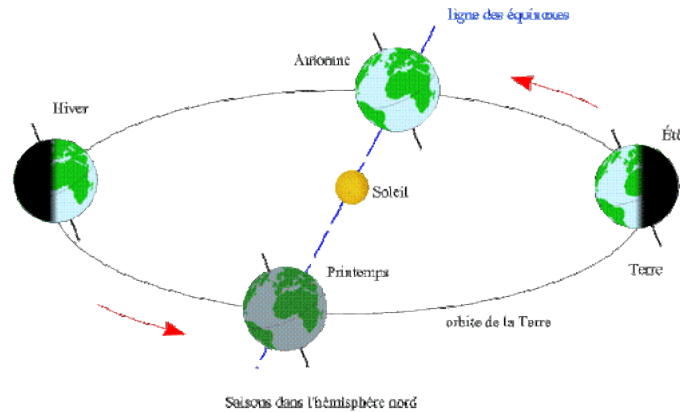


Figure 1. 4: Mouvement annuel de la terre autour du soleil.

(Source : <http://joho.p.free.fr/>).

L'étude des propriétés géométriques de ce mouvement de la terre, a permis de déterminer que la déclinaison varie tout au long de l'année, ces variations démontrent une sinusoïde dont le sens est déterminé selon quatre positions clés, qui correspondent aux :

- a. **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 éclairagements lumineux directs durant cette période sont au minimum et les altitudes solaires sont basses.
- b. **Equinoxes de printemps (21 mars) et d'automne (21 septembre)** : les rayons solaires se situent dans le plan de l'équateur et la déclinaison est de 0° . Cette position se caractérise par l'égalité des jours et des nuits, où le soleil se lève en plein Est et se couche en plein Ouest.
- c. **Solstice d'été (21 juin)** : la position de la terre se trouve opposée à celle du 21 décembre et le soleil est dirigé vers l'hémisphère Nord avec un angle maximum de déclinaison égal à $+23^{\circ}27'$. Durant cette période le soleil se lève au Nord-est et se couche au Nord-ouest ce qui explique le fait que le jour est plus long que la nuit. Les éclairagements lumineux directs durant cette période sont intenses et les altitudes solaires sont considérables.

3.2 Influence de la latitude sur les conditions d'ensoleillement :

La position géographique d'un lieu sur la terre est déterminée par sa latitude. En fonction de la latitude des lieux, les périodes d'ensoleillement seront différentes.

Chapitre 1 : L'éclairage naturel au sein de l'espace architectural.

Pour chaque latitude, nous pouvons déterminer à partir des deux formules suivantes avec précision les coordonnées horizontales du soleil correspondantes (Bouvier, 1981):

$$\text{Sin azimuth solaire} = (\sin \omega \times \cos \delta) / \cos h$$

$$\text{Sin hauteur solaire} = (\sin \varphi \times \sin \delta) + (\cos \varphi \times \cos \omega \times \cos \delta)$$

Où :

φ : latitude du lieu (°).

δ : déclinaison du soleil (°).

ω : angle horaire (°).

h : hauteur solaire (°).

3.3 Influence de l'orientation sur les conditions d'ensoleillement :

L'orientation des baies détermine le flux lumineux de cette manière :

- **Orientation Nord** : Les pièces bénéficient toute l'année d'une lumière similaire et d'un rayonnement solaire diffus. Pendant l'été, il se peut qu'il y ait le phénomène d'éblouissement en raison de la position basse du soleil. Il est judicieux de placer des ouvertures vers le nord lorsque le local nécessite une lumière homogène et invariable notamment pour certaine activité telle qu'un atelier de dessin.
- **Orientation Est** : Les pièces profitent du soleil pendant la matinée, mais le rayonnement solaire est difficilement maîtrisable en raison des rayons solaires qui les bas sur l'horizon. En hiver, l'exposition solaire y est faible, mais elle permet d'apporter de la lumière à un moment crucial de la journée. Par contre, en été, l'orientation présente une exposition solaire supérieure à l'orientation sud, ce qui risque produire une surchauffe du local.
- **Orientation Ouest** : Les vitrages tournés vers l'ouest apportent des gains solaires l'après-midi. Toutefois, le risque d'éblouissement et de surchauffe est présent. Il est cependant très intéressant d'orienter à l'ouest les locaux où l'on souhaite un éclairage doux et chaleureux.
- **Orientation Sud** : En hiver, le soleil est relativement bas et permet de faire pénétrer la lumière profondément dans la pièce tandis qu'en été, la pénétration du soleil est moins dominante car la hauteur solaire est plus élevée. De plus, les pièces orientées au sud bénéficient d'une lumière naturelle facilement contrôlable.

Chapitre 1 : L'éclairage naturel au sein de l'espace architectural.

3.4 Modèles de ciel :

Les phénomènes climatiques ne peuvent être prévisibles que statistiquement à travers l'établissement de relevés météorologiques qui peuvent déterminer les probabilités d'un type de ciel, donc la qualité et la quantité de lumière diffuse émise par la voûte céleste restent instables et approximatives. La CIE (Commission International de l'Éclairage) propose aujourd'hui 15 modélisations types de ciels (Perez, 1993).

3.4.1 Le ciel uniforme :

Le modèle le plus basic est le ciel uniforme. « Cette situation correspond à un ciel couvert d'une couche épaisse de nuages laiteux ou à une atmosphère, pleine de poussières, dans lequel le soleil n'est pas visible » (<https://sites.uclouvain.be>).



Figure 1. 5: Le ciel uniforme.

(Source : https://sites.uclouvain.be/eclairage-naturel/guide_sources.htm).

3.4.2 Le ciel couvert :

Le second type est le ciel couvert correspond « à un ciel de nuages clairs cachant le soleil » pour lequel « la luminance en un point varie en fonction de sa position sur la voûte céleste » (<https://sites.uclouvain.be>)



Figure 1. 6: Le ciel couvert.

(Source : https://sites.uclouvain.be/eclairage-naturel/guide_sources.htm).

Chapitre 1 : L'éclairage naturel au sein de l'espace architectural.

3.4.3 Le ciel clair sans soleil :

Le ciel clair « émet un rayonnement diffus qui dépend de la variation de la position du soleil, mais n'intègre pas le rayonnement solaire direct » (<https://sites.uclouvain.be>).

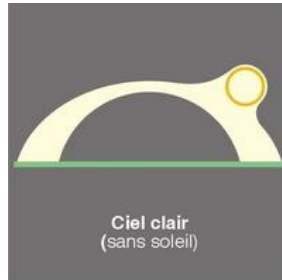


Figure 1. 7: Le ciel clair (sans soleil).

(Source : https://sites.uclouvain.be/eclairage-naturel/guide_sources.htm).

3.4.4 Le ciel clair avec soleil :

Le ciel clair avec soleil prend en compte « son rayonnement global, c'est-à-dire la somme des rayonnements directs et diffus » (<https://sites.uclouvain.be>). Ce type de ciel correspond à un ciel serein au sein duquel le soleil brille.



Figure 1. 8: Le ciel clair (avec soleil).

(Source : https://sites.uclouvain.be/eclairage-naturel/guide_sources.htm).

3.4.5 Influence de la couverture nuageuse sur l'éclairage naturel :

Les nuages qui sont des formations non uniformes et variables du point de vue surface, forme et luminosité, agissent comme un facteur dynamique dans la redistribution de l'énergie du spectre solaire. Cette redistribution dépend à la fois du mouvement du soleil et des évolutions des nuages qui relèvent du calcul météorologique de ce que les spécialistes appellent la « nébulosité » évaluée en « Octas ».

Chapitre 1 : L'éclairage naturel au sein de l'espace architectural.

4 Types d'éclairage naturel :

Le type d'éclairage naturel est déterminé par l'emplacement des ouvertures. Elles peuvent être placées en façade (éclairage latéral) ou en toiture (éclairage zénithal) ou les deux à la fois.

4.1 Éclairage latéral :

L'éclairage latéral est le dispositif le plus commun, il répond aux trois besoins fondamentaux: la lumière, la vue et la ventilation. Cependant, il faut savoir que l'éclairage naturel latéral entraîne l'effet du contraste, qu'on peut diminuer soit en ayant recours à l'éclairage bilatéral ou grâce à d'autres moyens tels que la taille des ouvertures, leurs dispositions...etc

L'éclairage latéral est l'un des moins performants du point de vue éclairage par la lumière du jour, en particulier dans les cas où il y a un masque extérieur. C'est pourtant l'un des plus utilisés, notamment dans les constructions scolaires, pour des raisons pratiques mais aussi parce qu'il permet la vue vers l'extérieur (Deletre, 2003).

Cependant, il existe plusieurs types d'éclairage latéral :

4.1.1 Éclairage unilatéral :

Il s'agit d'un éclairage fourni par une ou plusieurs ouvertures verticales disposées sur une même façade d'une orientation donnée. Ce type d'éclairage est à l'origine de nombreux reliefs laissant apparaître des contrastes au sein de l'espace.

L'inconvénient que présente ce type de système d'éclairage naturel est la possibilité d'ombres gênantes, surtout si les parois du local sont sombres. Mais le défaut majeur est la non uniformité de l'éclairage intérieur comme l'indique la figure 1.9, car il est dépendant de la profondeur du local.

Chapitre 1 : L'éclairage naturel au sein de l'espace architectural.

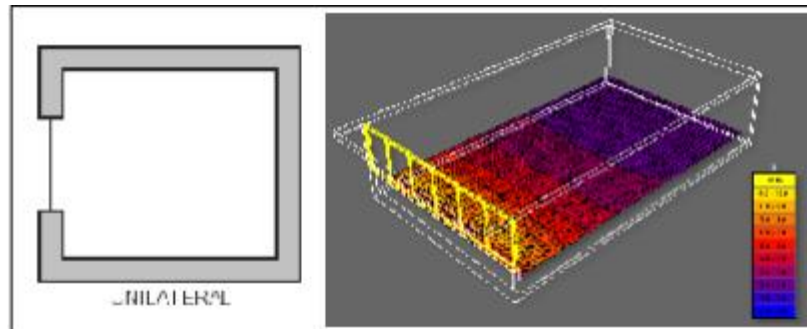


Figure 1. 9: Performances lumineuses d'un dispositif d'éclairage unilatéral.

(Source : www.squ1.com).

Une lumière du jour suffisante pénètre sur une distance d'une fois et demie la hauteur de l'ouverture au dessus du plancher (Figure 1.10) bien que cette distance puisse atteindre deux fois cette hauteur sous ensoleillement direct (Robertson, 2003).

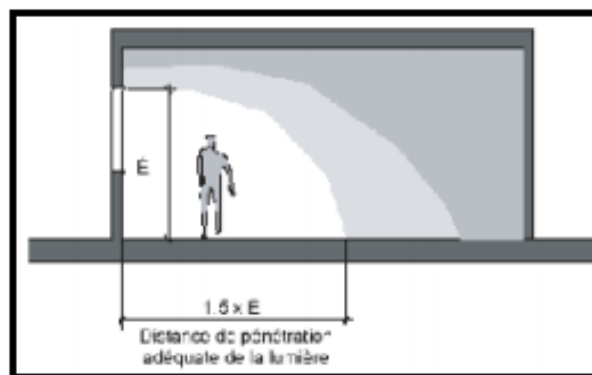


Figure 1. 10: Pénétration de la lumière dans un local.

(Source : Robertson, 2003).

Pour cela, Vandenplas (1964), recommande de limiter la profondeur des pièces éclairées unilatéralement par des fenêtres classiques à verre transparent à deux fois la hauteur du plafond au dessus du plan utile

Le British Research Establishment (1987), propose une méthode plus précise qui prend en compte la réflectance moyenne des parois intérieures et qui s'exprime par la relation suivante:

$$(P/L + P/H) < 2 / (1-RB) \quad \text{Où :}$$

P : profondeur du local.

Chapitre 1 : L'éclairage naturel au sein de l'espace architectural.

L : largeur du local.

H: hauteur sous linteau de l'ouverture.

RB: réflectance moyenne du local.

Toutefois, la pénétration ainsi que l'uniformité de l'éclairage naturel unilatéral peuvent être améliorées par l'utilisation de dispositifs de déviation de la lumière naturelle tels que : **les bandeaux lumineux « light shelves »** (Figure 1.11), **les dispositifs anidoliques** (Figure 1.12), ou bien les verres prismatiques qui, grâce à leurs propriétés physiques, dirigent une partie de la lumière du jour vers le plafond du local qui va à son tour la diffuser vers le fond du local. Nous pouvons aussi jouer sur la réflectivité des surfaces intérieures de l'espace.

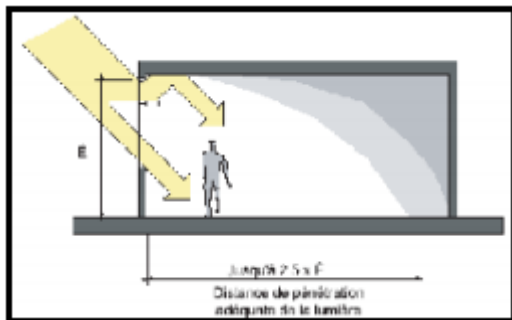


Figure 1. 11: Pénétration approximative de la lumière naturelle avec l'usage d'un « light shelf ».

(Source : Robertson, 2003).

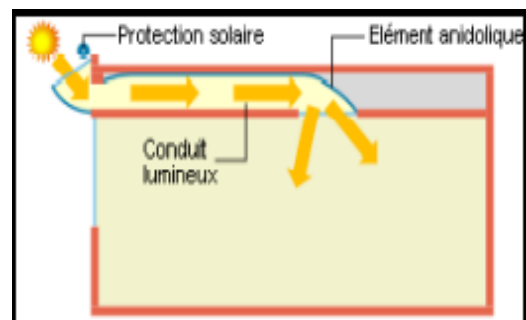


Figure 1. 12: Dispositif anidolique.

(Source : <https://energieplus-lesite.be/>).

4.1.2 Éclairage bilatéral :

L'éclairage bilatéral consiste à avoir des ouvertures verticales sur deux murs parallèles ou perpendiculaires, d'un même local (Figure 1.13).

Ce type d'éclairage représente une solution concrète aux problèmes liés à l'éclairage unilatéral. En effet, la profondeur des pièces éclairées par un dispositif bilatéral peut atteindre facilement quatre fois la distance entre le plafond et le plan utile. En effet, ce dispositif est une solution efficace aux problèmes liés au contraste et à l'éblouissement permettant ainsi un éclairage harmonieux (Vandenplas, 1964).

Chapitre 1 : L'éclairage naturel au sein de l'espace architectural.

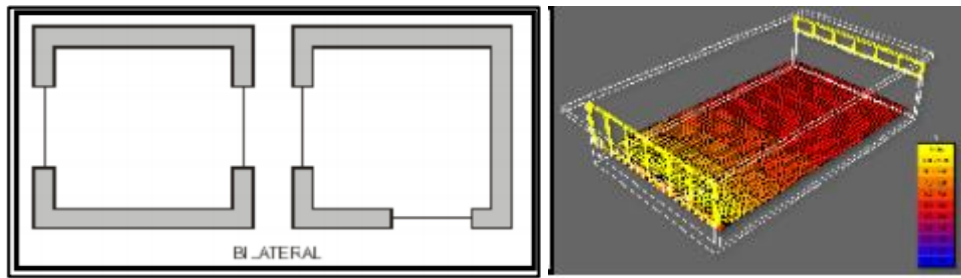


Figure 1.13: L'éclairage bilatéral.

(Source : www.squ1.com).

4.1.3 Éclairage multilatéral :

L'éclairage multilatéral peut avoir de nombreux avantages, on cite :

Multiplier la ventilation naturelle transversale du local.

Les ouvertures réduisent les ombres gênantes et le risque d'éblouissement.

Mais il présente aussi des inconvénients tels que l'augmentation des risques de surchauffe en été ainsi que les déperditions de chaleur en hivers.

4.2 Les paramètres influençant l'éclairage latéral :

Plusieurs paramètres influencent l'éclairage naturel latéral, à savoir :

4.2.1 La dimension des ouvertures latérales :

La surface du vitrage des ouvertures latérales nécessaire pour procurer un facteur de lumière de jour ciblé est à déterminer en amont selon les besoins en éclairage de la pièce.

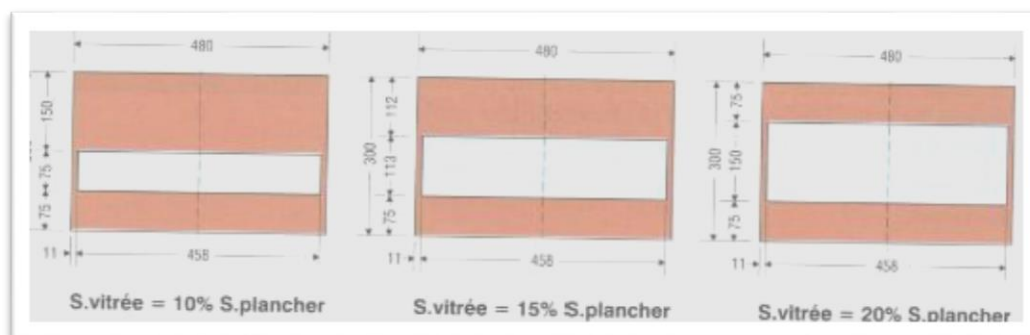


Figure 1.14: Les dimensions des ouvertures latérales.

(Source : Liébard et De Herde 2005).

Chapitre 1 : L'éclairage naturel au sein de l'espace architectural.

Selon Liébard et De Herde (2005), lorsque la surface vitrée représente 10% de la surface du plancher l'éclairage au fond du local est de 200 lux, lorsque la surface vitrée représente 15% de la surface du plancher l'éclairage au fond du local est de 400 lux, cependant la surface vitrée représente 20% de la surface du plancher, l'éclairage au fond du local est de 600 lux. Donc plus la surface vitrée est importante plus l'éclairage lumineux au fond du local est important.

4.2.2 La forme et la position des ouvertures latérales :

Selon Liébard et De Herde (2005) une ouverture horizontale (ou carrée) placée le plus haut possible apporte plus de lumière du jour qu'une fenêtre de même forme placée au niveau du plan utile, car la valeur du facteur lumière du jour s'accroît au fur et à mesure de la journée résultant la luminance du ciel qui s'accroît de l'horizon vers le zénith (Figure 1.15).



Figure 1. 15: Performance lumineuse des ouvertures latérales en fonction de leur position.

(Source : Liébard et De Herde 2005).

En effet, lorsqu'on passe de la baie horizontale placée au niveau du plan utile à la baie horizontale placée le plus haut possible, l'éclairage du fond est augmenté de 50%. De même, en passant de la baie carrée placée au niveau du plan utile à la même baie carrée placée le plus haut possible, l'éclairage du fond augmente de 22%.

En ce qui concerne la forme de l'ouverture, la fenêtre classique verticale est plus performante en matière d'apport de lumière naturelle qu'une baie horizontale (ou carrée)

Chapitre 1 : L'éclairage naturel au sein de l'espace architectural.

placée au niveau du plan utile de même surface (Figure 1.15), mais elle est moins performante qu'une baie horizontale (ou carrée) haute.

Toutefois, les fenêtres rondes et 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, 2003).

4.2.3 Obstructions extérieures :

Comme le montre la (Figure 1.16), la valeur de l'angle d'obstruction (défini comme étant l'angle sous lequel l'obstacle extérieur est vu depuis le centre de la fenêtre) représente un facteur déterminant pour la disponibilité des rayons lumineux dans un local.

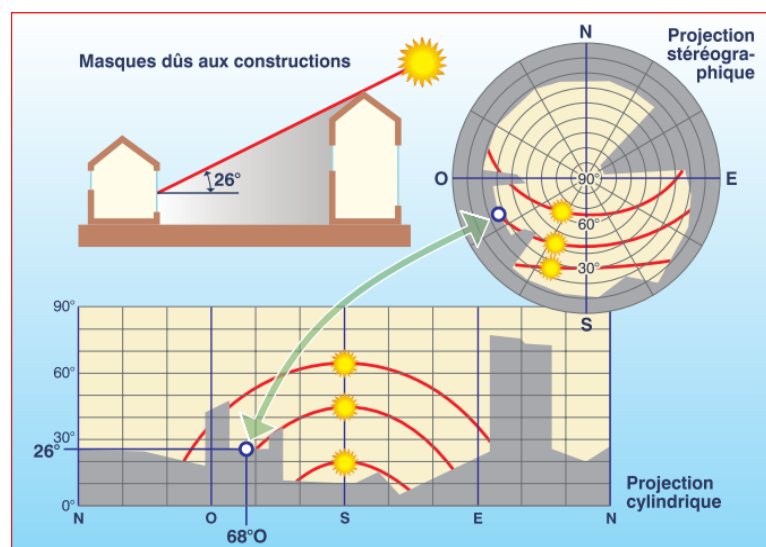


Figure 1. 16: Performance lumineuse des ouvertures latérales.

(Source : Liébard & De Herde, 2005).

D'après la figure 1.16, nous affirmons que les valeurs du facteur de lumière du jour à l'intérieur d'un local diminuent considérablement avec l'augmentation de l'angle d'obstruction.

4.3 Éclairage zénithal :

D'après Terrier et Vandevyver (1999), recourir à l'utilisation de l'éclairage zénithal se montre indispensable pour les locaux dont la hauteur sous plafond est supérieure à 4,50 mètres. Quant aux locaux de hauteur variantes entre 3 mètres et 4,50 mètres, le choix dépend d'autres caractéristiques telles que : la profondeur, la largeur et la forme du bâtiment.

Chapitre 1 : L'éclairage naturel au sein de l'espace architectural.

Les systèmes d'éclairage zénithal peuvent produire de la lumière naturelle de deux manières : directe ou indirecte. Pour ce qui est du système d'éclairage zénithal direct, il s'agit uniquement d'une ouverture percée dans la toiture du local, tandis qu'un système d'éclairage zénithal indirect est composé à la fois d'une ouverture destinée à capter la lumière naturelle et d'un système de distribution lumineux qui réfléchit ou diffuse cette lumière.

4.3.1 Dispositifs d'éclairage zénithal direct :

Les dispositifs d'éclairage zénithal direct sont nombreux, on peut citer :

4.3.1.1 Les tabatières (ou skylights) :

Selon Deletre (2003), la tabatière (Figure 1.17) est le système d'éclairage naturel direct le plus performant : elle procure de 3 à 5 fois plus de lumière qu'un vitrage vertical car vu sa disposition horizontale, elle est exposée à une plus grande portion du ciel visible sans aucune obstruction. Elle procure également, un éclairage intérieur uniforme.



Figure 1. 17: Les tabatières (Skylights) .

(Source : www.squ1.com).

La figure 1.18, indique clairement que les valeurs de facteurs de lumière du jour obtenues grâce à ce dispositif sont très élevées et sont enregistrées à la surface du plancher se situant directement sous les prises de jour, tandis que les plans verticaux des deux extrémités du local sont moins éclairés.

Chapitre 1 : L'éclairage naturel au sein de l'espace architectural.

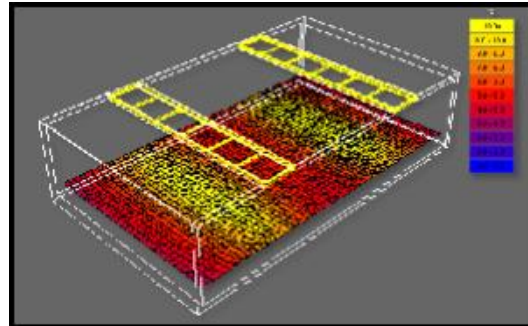


Figure 1. 18: Performances lumineuses des tabatières.

(Source : www.squ1.com).

Elle favorise également les déperditions de chaleur par convection et par conduction pendant la nuit et en hiver plus que les autres systèmes d'éclairage. Pour remédier à cela, il est important d'intégrer une protection solaire notamment dans les zones chaudes, afin d'éviter les surchauffes en été et la pénétration des rayons solaires directes provoquant l'éblouissement.

En inclinant les vitrages vers le Nord ou vers le Sud, cela nous permet de collecter plus de lumière l'hiver et moins en été, en sachant que pour une orientation Sud, l'inclinaison doit être supérieure à la latitude du site + 23,5° (Figure 1.17) (Pasini et al., 2002).

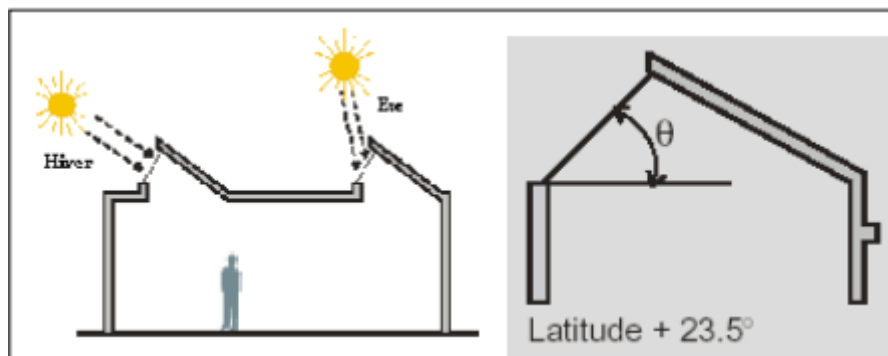


Figure 1. 19: Inclinaison recommandée des tabatières.

(Source : Pasini et al., 2002.)

Pour des raisons d'uniformité de l'éclairage, l'espacement des tabatières doit être égal à la hauteur sous plafond du local (Figure 1.20).

Chapitre 1 : L'éclairage naturel au sein de l'espace architectural.

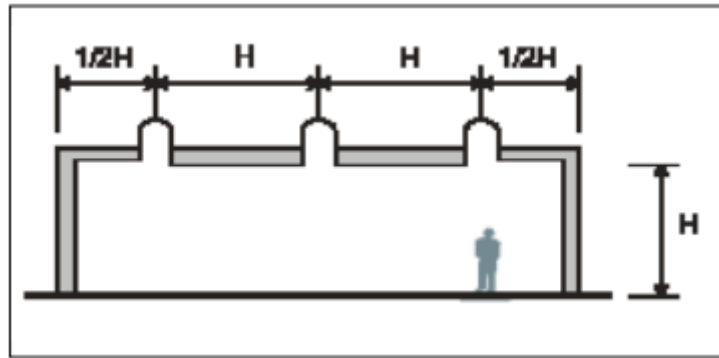


Figure 1. 20: Critères d'uniformité pour les tabatières.

(Source : Pasini et al., 2002).

Il faut signaler aussi que ce système d'éclairage naturel est le système le plus coûteux et à la fois le moins isolant, à cause des exigences du montage: ce paramètre joue un rôle très important dans leur performance.

4.3.1.2 Les dômes :

Économiques, les dômes ne nécessitent pas de structure lourde et ils permettent d'atteindre l'objectif en termes de facteur de lumière du jour direct avec une surface d'environ 10 % d'indice de vitrage (Terrier, 1993). Par contre, le phénomène d'éblouissement est toujours persistant, et afin de l'éviter les dômes ne doivent pas être dans un angle de 30° au-dessus de l'horizontale (Terrier, 1993). Les gains de chaleur ainsi que les déperditions calorifiques sont également très importants, des systèmes protection solaire adéquats sont donc nécessaires.

4.3.1.3 Les verrières :

L'architecture moderne utilise abondamment les verrières, notamment pour les halls d'accueil et les grandes surfaces. Elles peuvent être horizontales ou inclinées et sont économiques à la construction. Elles sont recommandées particulièrement dans le cas où il y'a des obstacles extérieurs qui gêneraient la pénétration de la lumière naturelle à l'intérieur de l'espace intérieur (Figure 1.21).

Chapitre 1 : L'éclairage naturel au sein de l'espace architectural.

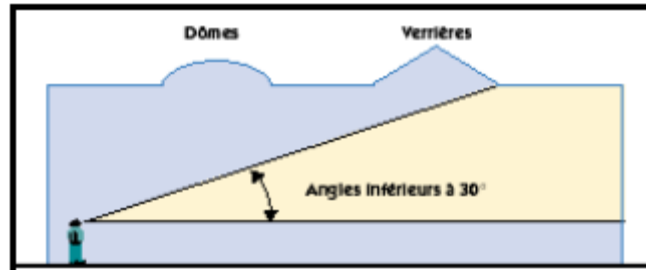


Figure 1. 21: Dispositifs d'éclairage zénithal direct.

(Source : Terrier & Vandevyver, 1999).

4.3.2 Systèmes d'éclairage zénithal indirect :

Il existe de plus en plus de types d'éclairage zénithal indirect, on cite :

4.3.2.1 Toitures en dents de scie (ou sheds) :

Les sheds sont beaucoup utilisés dans les constructions scolaires, effectivement ce type d'éclairage procure de la lumière indirectement en conciliant un éclairage suffisant, homogène et une limitation des apports solaires en tenant compte de l'orientation et l'inclinaison du vitrage. Les vitrages des sheds peuvent être verticaux ou inclinés (à 45° ou à 60°) par rapport à l'horizontale. D'après Terrier et Vandevyver (1999), une inclinaison de 60° permet d'éviter le rayonnement solaire direct, même en. Tandis qu'une inclinaison de 45° est acceptable, mais moins favorable que la première à cause du rayonnement direct du soleil au zénith, en été.

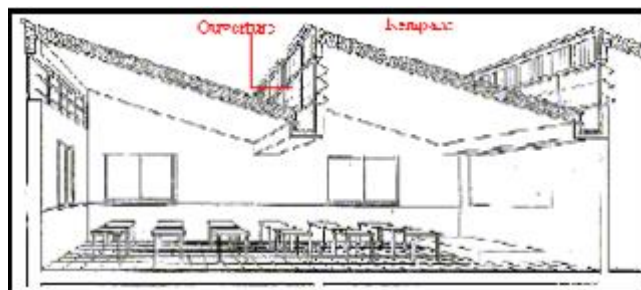


Figure 1. 22: Composantes des sheds (Collège d'Estagel, France).

(Source : www.outilssolaires.com).

L'inconvénient majeur des sheds, réside dans la directivité prononcée de la lumière du jour, effectivement, les rayons lumineux se propagent dans une seule direction déterminée par la forme du shed (Figure 1.23).

Chapitre 1 : L'éclairage naturel au sein de l'espace architectural.

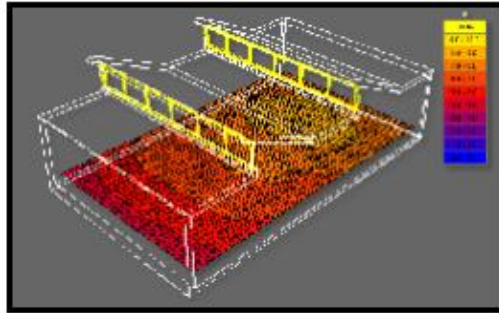


Figure 1. 23: Effet directif des sheds.

(Source : www.squ1.com).

Or, pour réduire au maximum les effets directs de la lumière du jour, Vandenplas (1964) souligne que le vitrage des sheds doit de préférence être orienté au Nord afin de procurer de la lumière diffuse du ciel sans aucune pénétration solaire directe. Une autre solution consiste à utiliser près des murs, dans le sens de la longueur, là où l'éclairage est plus faible, des vitrages latéraux ou bien de petites ouvertures percées dans la partie opaque du shed. Si cela n'est pas possible, les vitrages doivent être inclinés de 60° sur l'horizontale pour recevoir plus de lumière. En ce qui concerne l'effet des ombres portées sur les plans de travail, il peut être atténué en utilisant des verres diffusants et en peignant les rampants des sheds de couleur claire.

D'autre part le dimensionnement correct des Shed, se révèle être une étape importante dans la conception de ce type d'éclairage zénithal comme l'illustre la figure 1.24.

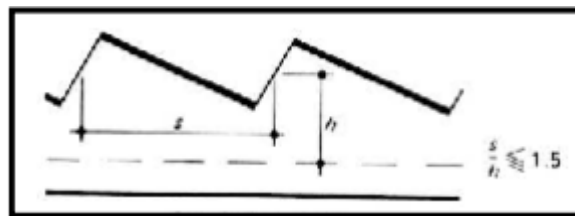


Figure 1. 24: Critères d'uniformité pour les sheds.

(Source : Szokolay, 1980).

Szokolay (1980) indique que le rapport du pas des sheds (S), à la hauteur moyenne des vitrages (h), doit être inférieur ou égale à 1,5.

Chapitre 1 : L'éclairage naturel au sein de l'espace architectural.

4.3.2.2 Lanterneaux :

Les lanterneaux sont composés de toitures surélevées, ils peuvent se présenter sous différentes formes (Figure 1.23) tels que: le lanterneau symétrique vertical, le lanterneau asymétrique, le lanterneau symétrique incliné...etc.

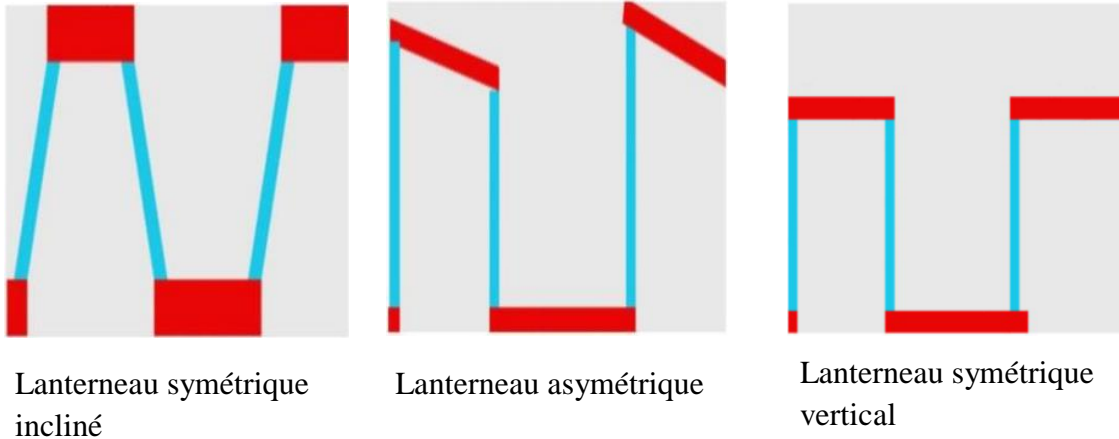


Figure 1. 25: Types de lanterneaux.

(Source : Liébard & De herde, 2005).

L'avantage de ce type de système d'éclairage naturel indirect c'est qu'il évite l'effet d'éblouissement et permet une distribution harmonieuse de la lumière au sein de l'espace.

Le centre du local enregistre les valeurs maximales de FLJ et les deux extrémités sont éclairées à peu près de la même manière car elles reçoivent toutes les deux la lumière directe du ciel à travers les deux vitrages, en plus des réflexions internes des parois opaques.

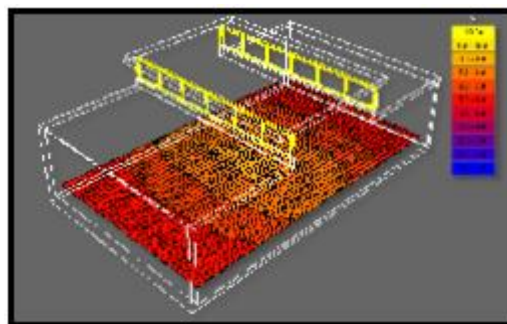


Figure 1. 26: Performances lumineuses des lanterneaux.

(Source : www.squ1.com).

Chapitre 1 : L'éclairage naturel au sein de l'espace architectural.

Une orientation préférentielle Nord-Sud et l'usage de matériaux diffusants auront pour avantage de réduire les effets thermiques et des saillies du côté Sud peuvent être utilisées pour le contrôle solaire en été.

Pour éviter les zones sombres sur les parties opaques des lanterneaux, il est recommandé de peindre les parties opaques de la toiture et le sol avec des couleurs claires. Il faut également éviter l'ensoleillement direct des parties vitrées afin d'éviter le phénomène d'éblouissement en considérant que les sources lumineuses ne doivent pas être situées dans des angles inférieurs à 30° de la direction naturelle du regard.

Pour des exigences d'uniformité de l'éclairage, Vandenplas (1964) a établi les recommandations suivantes : la hauteur du lanterneau doit être égale à la moitié de sa largeur (w); et son pas (e) ne doit pas dépasser le double de sa largeur, avec une hauteur sous plafond (H) supérieure à sa largeur (w). D'autre part, Bouvier (1981) indique que : « le rapport du pas des lanterneaux (e), à la hauteur moyenne des vitrages (h) doit être inférieur ou égale à 2 ».

4.3.2.3 Puits de jour :

Selon Belakehal et Tabet Aoul (2003), la performance énergétique de ce dispositif est complexe car elle dépend de nombreux facteurs tels que : sa géométrie (forme, rapport entre la hauteur et la largeur), des propriétés de sa surface verticale et horizontale (surtout la couleur), de la proportion de fenêtres dans les murs de séparation, de son orientation et de la qualité du vitrage utilisé (soit pour la couverture ou bien pour les fenêtres latérales).



Figure 1. 27: Performances lumineuses du puits de jour.

(Source : www.squ1.com).

Chapitre 1 : L'éclairage naturel au sein de l'espace architectural.

Par contre leur inconvénient réside dans le fait que la quantité de lumière naturelle disponible aux niveaux des différents étages organisés autour d'eux, diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'ouverture du ciel, comme l'indique la figure 1.28.

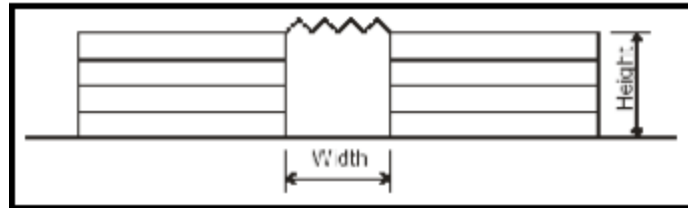


Figure 1. 28: Ratio optimal de la hauteur sur largeur du puits de jour.

(Source : Pasini et al., 2002).

En ce qui concerne leur dimensionnement, Pasini et al. (2002) recommande une largeur plus ou moins égale à la hauteur de la pièce à éclairer.

4.3.2.4 Conduits de lumière ou « Light pipes » :

Les conduits de lumière sont le système d'éclairage naturel le plus sophistiqué à cause des longues distances sur lesquelles ils peuvent opérer. Leur principe consiste à collecter, diriger et canaliser la lumière solaire vers n'importe quel espace intérieur. Ce système est constitué de trois composants principaux (Figure 1.29):

1. Collecteur/concentrateur, connu sous le nom d'« héliostat ».
2. Un transporteur, avec des surfaces internes d'une grande réflectivité.
3. Un émetteur.

Chapitre 1 : L'éclairage naturel au sein de l'espace architectural.

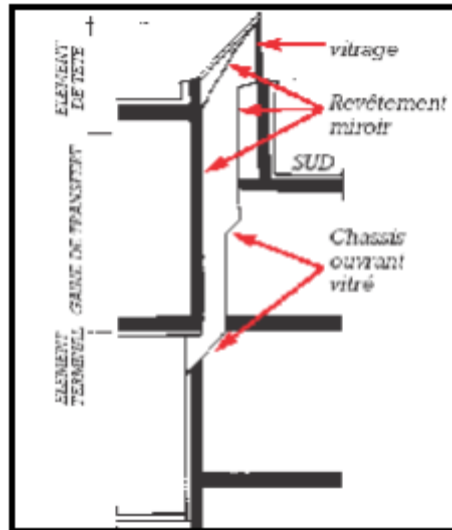


Figure 1. 29: Composants d'un conduit de lumière (Ecole maternelle de Collioure en France).

(Source : Agence Méditerranéenne de l'Environnement, 2002).

Leur efficacité est toutefois réduite par l'absorption au niveau des parois du système de transport (tuyau) car la lumière est réfléchi plusieurs fois lors de son parcours dans ce dernier. Pour être un véritable système d'éclairage, les collecteurs doivent être orientés du côté du soleil et capter directement la lumière solaire, ils sont donc plus efficaces dans des régions où le ciel reste clair relativement une grande partie de l'année.

5 Les protections solaires :

Le type de protection solaire idéal pour un projet particulier dépend de nombreux facteurs, tels que la latitude du lieu considéré, l'orientation de la baie vitrée, le type de contact recherché ou encore l'occupation de la pièce. D'autres critères peuvent être ajoutés pour influencer le choix de la protection, comme la résistance mécanique, l'entretien, le coût, ou encore la possibilité d'ouvrir les fenêtres pour créer une ventilation naturelle du bâtiment.

Cependant, il existe plusieurs types de protections solaires :

5.1 Les protections solaires environnantes :

La végétation peut être utilisée pour réduire l'exposition des fenêtres au soleil. Les plantes doivent être sélectionnées avec soin, compte tenu de leur taille et de leur type, ce choix affectera la quantité d'ombre qu'elles produisent en été et en hiver. Les bâtiments voisins

Chapitre 1 : L'éclairage naturel au sein de l'espace architectural.

forment eux aussi un écran fixe pour le voisinage et peuvent également servir de protection solaire.

5.2 Les éléments architecturaux :

La forme du bâtiment a une influence considérable sur l'ombrage du bâtiment. Les éléments de façade peuvent servir également de protection solaire tels que : les surplombs de toiture, les débordements latéraux, les balcons, les arcades ...etc.

5.3 Les protections ajoutées :

Les lightshelves sont un dispositif qui protège le bâtiment et réfléchit la lumière vers le fond de la pièce (Figure 1.30a).

- **Le brise-soleil** : il est constitué de lamelles disposées sur un châssis. Son efficacité dépendra de l'orientation de ses lamelles et de l'espacement entre elles (Figure 1.30b).
- **La jalousie** : c'est élément externe ou interne constitué d'écrans à lamelles placées devant toute l'ouverture. Elle contrôle la lumière directe du soleil et permet en même temps à la lumière de passer indirectement (Figure 1.30c).
- **Les stores vénitiens** : ils sont constitués de lamelles mobiles, grâce au système de câble (Figure 1.30d).
- **Les persiennes** : elles sont constituées d'une série de lames extérieures fixes ou mobiles posées sur la façade (Figure 1.30e).
- **Les stores enroulables** : ils sont constitués d'une toile qui se déroule devant la fenêtre, selon les besoins d'apport solaire (Figure 1.30f).
- **Les marquises** : elles sont constituées d'éléments souples et modulables, opaques ou diffus, pour ombrager la pièce tout en laissant une vue possible vers l'extérieur (Figure 1.30g).
- **Les stores à l'italienne** : ils combinent les caractéristiques des protections solaires à enroulement vertical et des protections solaires horizontales (Figure 1.30h).

Chapitre 1 : L'éclairage naturel au sein de l'espace architectural.

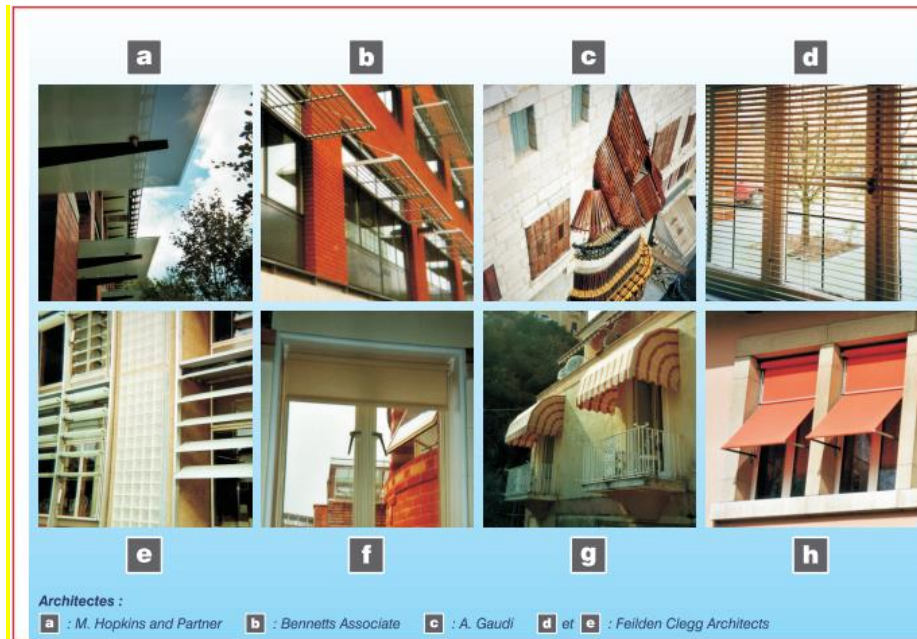


Figure 1. 30: Les protections solaires ajoutées.

(Source : Liébard & De Herde, 2005).

La figure ci-dessous illustre les différents types de protections solaires ajoutées.

5.4 Les vitrages protecteurs :

L'utilisation de verres absorbants ou réfléchissants de la lumière, est un moyen de réduire de manière stable la transmission solaire tout au long de l'année. En effet, lorsque les systèmes d'écrans permanents ou amovibles sont difficiles à réaliser, ce verre spécial peut apporter une solution concrète.

Conclusion :

Les ouvertures zénithales s'ouvrent sur la totalité de la voûte céleste, elles permettent d'avoir une distribution lumineuse homogène, de plus la lumière pénètre dans les locaux par le plafond, ce qui limite considérablement le phénomène d'éblouissement. Par contre, par ciel clair serein, les dispositifs d'éclairage zénithal directs captent mal les rayons solaires d'hiver alors qu'ils laissent largement pénétrer le soleil d'été, ce qui implique un mauvais comportement thermique.

Les ouvertures latérales ne voient qu'une moitié du ciel, par ciel couvert, ces ouvertures verticales ont des performances lumineuses nettement inférieures que les ouvertures

Chapitre 1 : L'éclairage naturel au sein de l'espace architectural.

zénithales, sans négliger également le fait que la lumière pénètre latéralement dans les locaux, ce qui peut créer des problèmes d'éblouissement à proximité des fenêtres

Cependant, les ouvertures latérales en façade Sud permettent de faire pénétrer un maximum de rayons solaires en hiver, ce qui favorise les gains solaires, tout en limitant les surchauffes en saisons estivales. Les ouvertures latérales et les ouvertures zénithales ont donc un comportement différent en ce qui concerne les pénétrations solaires, cependant le choix entre ces deux types d'éclairage naturel lors d'une conception architecturale doit dépendre principalement du « climat lumineux » de la région. Une fois le climat lumineux de la région identifié, le choix du type de dispositif d'éclairage naturel dépendra en second lieu de la destination et du type de local à éclairer.

Dans notre étude, il s'agira d'identifier les exigences de l'éclairage intérieur des salles de dessin qui assureront le « confort visuel » de ses occupants, à savoir les étudiants et les enseignants.

**Chapitre 2 : Le confort visuel et les ambiances lumineuses des
salles de dessin des écoles d'architecture.**

Chapitre 2 : Le confort visuel et les ambiances lumineuses des salles de dessin.

Introduction :

Les conditions de travail dans les salles de dessin des écoles d'architecture, doivent être assurées dans un environnement confortable, favorisé notamment par un bon éclairage.

Cependant, les étudiants et les enseignants, tous cycles confondus, travaillent souvent dans des conditions de confort visuel peu satisfaisantes. En Algérie, des milliers d'étudiants en architecture étudient pendant 5ans, durant 8 mois de l'année, 2 jours par semaine et près de 8h par jour dans leurs salles de dessin, il est donc primordial de leur assurer des conditions de travail optimales, afin qu'ils puissent voir tous les objets nettement et sans fatigue, dans une ambiance colorée agréable.

Ce chapitre a pour but non seulement de démontrer l'impact de la lumière naturelle sur les performances intellectuelles des étudiants, mais également d'identifier les exigences d'un environnement visuel confortable dans les salles de dessin.

1 Impact de la lumière naturelle en milieu éducatif :

De nombreux travaux et recherches ont été effectués dans ce sens, nous allons présenter quelques recherches qui ont contribué à démontrer l'importance de l'éclairage naturel sur les performances intellectuelles en milieu éducatif :

L'étude conduite par Hathaway et al. (1992) pour le Département de l'Éducation de l'Alberta, au Canada, a examiné l'impact de quatre différents systèmes d'éclairage artificiels sur les résultats scolaires, la santé et l'assiduité à l'école chez les élèves de l'élémentaire. L'hypothèse de départ était que le type de lumière n'influçait pas les résultats scolaires des élèves, mais l'étude a démontré que sous la lumière à spectre complet se rapprochant le plus de la lumière naturelle avec des traces d'ultraviolet, les élèves ont:

- Appris plus vite.
- Mieux réussis.
- Grandis plus vite.
- Eu 1/3 moins d'absences dues à la maladie.
- Eu 2/3 moins de caries dentaires.

Une autre recherche entreprise en Suède, conduite par Kuller et Lindsten (1992), a revu l'impact de la lumière du jour sur le comportement d'écoliers élémentaires. Ces chercheurs

Chapitre 2 : Le confort visuel et les ambiances lumineuses des salles de dessin.

ont suivi la santé, le comportement et le niveau d'hormone de 88 écoliers de huit ans, dans quatre classes, au cours d'une année scolaire. Ces classes avaient des conditions d'éclairage naturel et d'éclairage électrique très différentes : deux avaient de la lumière du jour, deux n'en n'avaient pas; deux avaient des lampes fluorescentes blanches chaudes (3000K), deux avaient des lampes fluorescentes très froides (5500K). Les résultats ont démontré qu'il y'avait une corrélation entre la lumière du jour et les niveaux d'hormones des élèves et leur comportement.

Aux Etats-Unis, les établissements scolaires ont lutté pour trouver une solution à la triste performance des étudiants aux examens en essayant de nombreuses alternatives. Ils se sont intéressés par la suite à l'espace physique et se sont orientés vers l'éclairage des salles de cours. Pour répondre à cette question, l'étude du groupe Heshong Mahon (1999) fut la première à évaluer l'impact de la lumière du jour sur l'apprentissage. A cet effet, ils ont apporté aux statisticiens, à des fins d'analyse, des résultats de test de plus de 21.000 élèves d'écoles élémentaires dans trois districts d'école de l'ouest: Capistrano en Californie, Fort Collins au Colorado et Seattle à Washington. L'étude a utilisé une méthode statistique sophistiquée appelée « *analyse de régression* ». Les résultats furent déconcertants :

Au Capistrano Unified School District, une comparaison entre 750 classes a montré le plus d'amélioration dans celles qui disposaient le plus de lumière du jour. Les élèves des classes avec l'éclairage naturel ont progressé 20% plus vite aux tests de mathématiques et 26% plus vite aux tests de lecture par rapport aux classes sans la lumière naturelle. Similairement, les élèves des classes avec des surfaces de fenêtres plus grandes ont progressé 15% plus vite en mathématiques et 23% plus vite en lecture.

À Seattle et à Fort Collins, les élèves des classes bénéficiant le plus de l'éclairage du jour ont eu des résultats plus élevés de 7% à 18% que ceux qui étaient le moins exposés.

D'après Kenneth (1999), la principale théorie qui explique le résultat de cette recherche est que la lumière naturelle augmente l'apprentissage en stimulant la vue, l'humeur et la santé des élèves et des professeurs.

Chapitre 2 : Le confort visuel et les ambiances lumineuses des salles de dessin.

Boyce et al. (2003) a montré qu'une table située près d'une fenêtre reçoit généralement cinq fois plus de lumière à partir de la lumière du jour que d'un éclairage électrique seul.

Selon Véronique et al. (2014) : «*On travaille mieux avec la lumière blanche du matin, plus riche énergétiquement, qu'avec la lumière du soir.....Elle améliore significativement les taches cognitives d'apprentissage et le temps de réaction.*»

2 Tâches visuelles dans les salles de dessin des écoles d'architecture :

Les étudiants sont confrontés à diverses tâches visuelles dans une salle de dessin d'une école d'architecture, on cite :

- Etablir des dessins, des croquis, des plans à la main.
- Lire ou écrire des documents se trouvant sur le plan utile.
- Lire ce qui est écrit au tableau.
- Travailler sur un ordinateur.
- Visualiser des films et des diapositives.

A travers ces données, nous constatons que le caractère principal de la tâche visuelle dans les salles de dessin consiste à alterner entre une vision rapprochée et une vision éloignée.

3 Le confort visuel dans les salles de dessin :

3.1 Définition du « confort » :

Selon le dictionnaire Larousse (2020), le terme confort fait allusion à « *l'ensemble des commodités, des agréments qui produit le bien-être matériel* ». Selon Roulet (1987), le confort est « *une sensation subjective fondée sur un ensemble de stimuli* », le critère de confort correspond donc à la satisfaction des occupants.

Nous pouvons constater que les termes employés pour définir le « confort » (bien être, sentiment, sensation...) et se relèvent du caractère subjectif de ce concept. Les facteurs internes et externes susceptibles de provoquer cette sensation restent indéterminés car la définition du confort dépend de l'appréciation personnelle de chaque individu : ce qui est « confortable » pour certains, peut ne pas l'être pour d'autres (Roulet, 1987).

Chapitre 2 : Le confort visuel et les ambiances lumineuses des salles de dessin.

3.2 Définition du confort visuel :

Selon le Syndicat de l'Eclairage de France (www.syndicatéclairage.com), le confort visuel fait référence aux « *conditions d'éclairage nécessaires pour accomplir une tâche visuelle déterminée sans entraîner de gêne pour l'œil* ».

Le confort visuel relève du pouvoir de percevoir les objets et la lumière sans être ébloui, ainsi que de créer une certaine ambiance mêlant couleurs et textures, il est nettement ciblé dans les établissements d'enseignement, la où l'éclairage naturel joue un rôle primordial dans les performances intellectuelles des étudiants.

3.3 Les éléments du confort visuel dans les salles de dessin :

Selon Hetzel (2003), afin d'assurer le confort il est impératif de :

- Assurer la lumière du jour dans les zones se trouvant fond de la pièce.
- Rechercher l'équilibre satisfaisant des luminances en éclairage naturel.
- Éviter l'éblouissement de type direct ou indirect.
- Profiter des vues dégagées et agréables ouvertes sur l'extérieur.
- Utiliser des revêtements clairs afin de décorer les parois intérieures.
- Assurer l'intimité de certaines zones.

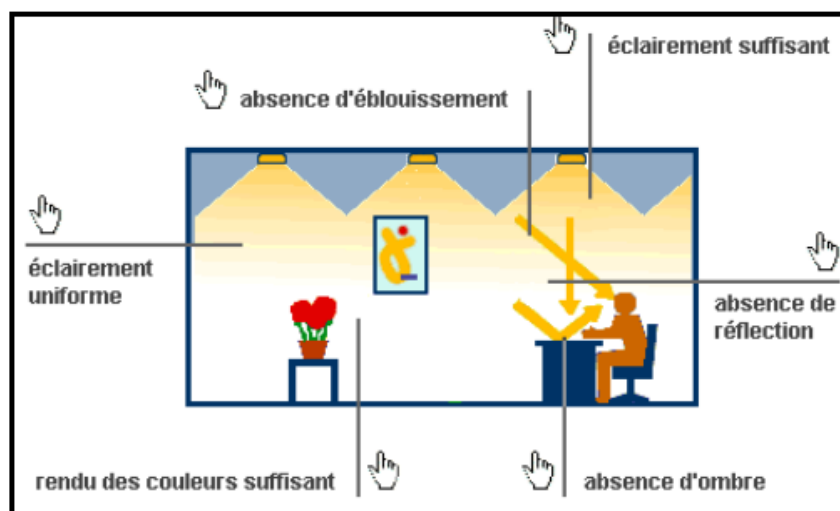


Figure 2. 1: Les éléments du confort visuel.

(Source : De Herde et al., 2005).

La figure ci-dessous illustre les éléments qui constituent le confort visuel (Figure 3.1).

Chapitre 2 : Le confort visuel et les ambiances lumineuses des salles de dessin.

3.4 Niveau d'éclairage lumineux :

Les locaux d'enseignement, plus particulièrement les salles de dessin, doivent bénéficier d'un niveau d'éclairage lumineux adéquat pour l'exécution des différentes tâches visuelles nécessaires. Selon l'Association Française de l'Eclairage (2004), la valeur d'éclairage dans une salle d'enseignement dépend de nombreux facteurs humains : tels que l'âge des occupants et les problèmes liés à la vision, mais également de facteurs d'ambiance : telle que la couleur des parois du local et du mobilier, et enfin de facteurs économiques tels que le coût de l'installation de l'éclairage, les dépenses d'entretien... en plus de la difficulté de la tâche visuelle accomplie.

3.4.1 Facteur humain :

L'œil change à mesure que nous prenons de l'âge et ces changements réduisent notre perception des détails, la différenciation des couleurs, et la vitesse de traitement des sensations visuelles. Il faut savoir que les capacités visuelles de l'homme évoluent au fil des années: elles sont optimales vers 20 ans et se dégradent ensuite lentement (AFE, 2004).

Ce facteur « âge » affecte d'une part, le pouvoir d'accommodation, qui atteint son apogée à 5 ans pour commencer à décroître jusque vers 50 ans. D'autre part, la diffusion de la lumière dans l'œil augmente avec l'âge, altérant ainsi la visibilité des objets. Quant à l'acuité visuelle, qui est un paramètre important de la vision en milieu scolaire, elle croît en moyenne avec l'âge (Figure 3.2), et augmente encore plus, lorsque l'éclairage lumineux croît (Minier, 2001).

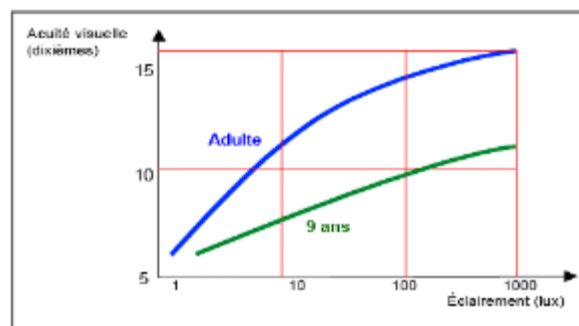


Figure 2. 2: L'acuité visuelle.

(Source : Minier, 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 à accomplir augmente. Les performances

Chapitre 2 : Le confort visuel et les ambiances lumineuses des salles de dessin.

visuelles des étudiants 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 altérées à cause de la fatigue générée par l'effort visuel. Seul un éclairage lumineux suffisant augmentera leurs performances et compensera la dégradation de la vision liée à l'âge.

3.4.2 Facteur d'ambiance:

Ce facteur dépend de la couleur des parois internes du local ainsi que de la couleur des plans de travail :

3.4.2.1 Couleur des parois internes :

La luminance d'une surface mate est proportionnelle à l'éclairage qu'elle reçoit par son « *facteur de réflexion* » (AFE, 2004). Ainsi, pour augmenter la luminance d'un local dont les parois internes sont de couleur sombre (ce qui est relatif à un facteur de réflexion faible), l'éclairage lumineux doit être plus important que si les parois sont de couleurs claires (avec facteur de réflexion élevé). Généralement, que ce soit avec éclairage direct ou indirect, les parois de couleurs claires et mates sont à favoriser, et ce afin de bien diffuser la lumière sans former de reflets brillants et éviter un fort contraste.

Quant à la couleur du plafond, son rôle n'est pas décisif lorsque le dispositif d'éclairage est direct. Mais son rôle devient primordial lorsqu'il s'agit de l'éclairage indirect car le plafond sert de diffuseur à la lumière ; il doit donc toujours avoir le coefficient de réflexion le plus élevé. En ce qui concerne le plancher, il est rarement complètement libre et dégagé : le mobilier y représente souvent une surface importante. La seule recommandation est que la luminance du sol soit inférieure à celle des plans de travail (AFE, 2004).

3.4.2.2 Couleur des plans de travail :

La clarté du plan de travail est un élément propice au confort visuel de la salle de dessin, car réduire le contraste entre le support papier et la table réduira l'effort d'adaptation des yeux à chaque mouvement. De plus, il est recommandé d'utiliser un revêtement mate sur les plans de travail et les tables dans le but de limiter le risque d'éblouissement indirect causé par une luminosité et des reflets excessifs.

Chapitre 2 : Le confort visuel et les ambiances lumineuses des salles de dessin.

3.4.3 Uniformité de l'éclairage :

Si le niveau d'éclairage et la luminance varient dans le champ visuel, une adaptation de l'œil est nécessaire lorsque le regard se déplace entraînant ainsi une fatigue visuelle. Pour l'éviter, il faut donc respecter une certaine homogénéité dans les conditions d'éclairage.

3.4.4 Uniformité de l'éclairement :

Selon De Herde et al. (2004), la répartition lumineuse ou l'uniformité des niveaux d'éclairement (exprimée par l'indice d'uniformité I_{μ}) est définie comme étant « *le rapport entre l'éclairement minimum (E_{min}) et l'éclairement moyen (E_{moy}) observé dans la zone de travail* ».

$$I_{\mu} = E_{min} / E_{moy}$$

Dans les salles de dessin, la zone de travail est représentée par la surface d'un bureau ou d'une table à une hauteur de 0.75 mètre, la surface d'un tableau vertical... Généralement, pour obtenir un éclairage uniforme, l'éclairage maximum (E_{max}) et l'éclairage minimum (E_{min}) relevés dans un local ne doivent pas s'éloigner de plus du 1/6 de l'éclairage moyen (E_{moy}) (Denoeud, 2003). Un éclairage uniforme dans une salle de dessin est nécessaire afin d'éviter des adaptations fatigantes des yeux et pour garantir une qualité d'éclairage semblable dans toute la salle

De plus, une certaine uniformité de couleur entre l'environnement et la tâche visuelle est préférable :

- Entre le support papier et le plan de travail.
- Entre le plan de travail et les parois de la salle.

Pour garantir l'uniformité de l'éclairement, on adopte les dispositions suivantes : Lorsque l'éclairage de la zone où s'exercera 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 (Ffloru, 1996).

Chapitre 2 : Le confort visuel et les ambiances lumineuses des salles de dessin.

3.4.5 Uniformité de la luminance :

En ce qui concerne l'uniformité de la luminance, elle dépend de la répartition des sources lumineuses et de la réflexion des parois, elle se distingue notamment lorsque les réflexions des parois sont importantes et réparties de manière uniforme (couleurs uniformes). Il est primordial de maintenir les rapports de luminance entre les différentes zones du champ visuel dans des proportions définies.

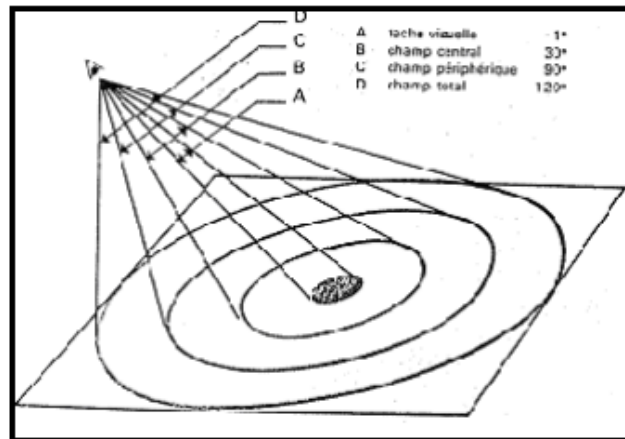


Figure 2. 3: Les zones du champ visuel.

(Source: AFE, 1987).

3.4.6 L'Éblouissement :

L'éblouissement est représenté par des conditions de vision altérées, dans lesquelles l'individu subit une réduction remarquable de sa capacité à percevoir les objets, pouvant même mener jusqu'à un aveuglement temporaire. Selon la définition de l'AFE, l'éblouissement correspond aux conditions de vision dans lesquelles on éprouve une gêne ou une réduction de l'aptitude à distinguer de petits objets due à une répartition non uniforme des luminances ou d'un contraste excessif, c'est-à-dire le passage rapide d'un lieu obscur à un endroit fortement éclairé ou bien la perception d'une source lumineuse particulièrement intense sur un tende sombre (AFE, 2004).

Le prévenir ou le réduire au minimum est extrêmement important, non seulement du point de vue du confort visuel, mais aussi de la sécurité. Ce dernier, s'il est excessif, direct ou indirect, notamment dans les espaces éducatifs, il peut causer de la fatigue, des dommages de la vue et peut réduire considérablement la concentration. La

Chapitre 2 : Le confort visuel et les ambiances lumineuses des salles de dessin.

prévention de l'éblouissement fait donc partie des tâches de base du concepteur lors de la planification de la solution d'éclairage (Humanergy, 2012).

3.4.6.1 Types d'éblouissement :

Suivant son origine, nous pouvons distinguer deux types d'éblouissement : l'éblouissement **direct** et l'éblouissement **indirect**.

3.4.6.1.1 L'éblouissement direct :

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

- **L'éblouissement d'inconfort** : L'éblouissement d'inconfort résulte de la vue en permanence de sources de luminances relativement élevées (soleil ou ciel par exemple). D'après La Toison (1982), cet éblouissement peut créer de l'inconfort sans pour autant empêcher la vue de certains objets ou détails. Des expériences ont montré que l'éblouissement d'inconfort produit, doit être évalué lorsque la luminance moyenne du ciel excède 8900 cd/m^2 , ce qui correspond à un éclairage total du ciel de 28000 lux (CIBSE, 1987).
- **L'éblouissement invalidant ou perturbateur** : L'éblouissement invalidant est provoqué par la vue d'une luminance très élevée pendant un temps très court. D'après La Toison (1982) celui-ci peut empêcher la vision de certains objets pendant un court laps de temps, sans pour autant créer une sensation d'inconfort. Nous pouvons apercevoir ce cas dans les salles de sport, par exemple, où l'axe de vision d'un sportif est constamment en mouvement.

3.4.6.1.2 Éblouissement indirect :

L'éblouissement indirect (Figure 3.4) est produit par des réflexions de sources lumineuses sur des surfaces brillantes (écrans d'ordinateur, plan de travail, tableau ...).

Lorsque la lumière se réfléchit dans le champ visuel, les contrastes sont réduits entraînant ainsi des réflexions inconfortables. La présence de ces reflets peut rendre impossible la lecture de certaines passages d'un message qu'il soit écrit ou dessiné.

Chapitre 2 : Le confort visuel et les ambiances lumineuses des salles de dessin.



Réflexions sur le plan de travail.



Réflexions sur les écrans d'ordinateur.



Réflexions sur les tableaux de présentation.

Figure 2. 4: Cas d'éblouissement indirect dans une salle de cours.

(Source : www.energie.arch.ucl.ac.be).

3.4.6.2 Évaluation de l'éblouissement d'inconfort:

Le taux d'éblouissement unifié (Unified Glare Rating - UGR) est utilisé pour une qualification unifiée du taux de l'éblouissement défini par la Commission Internationale de l'Eclairage. La norme européenne EN 12464-1(2011) détermine l'UGR au maximum à 16 pour les espaces éducatifs avec une forte demande de la précision (la géométrie, par exemple), pour des salles de classe ordinaires, des salles de conférence, des salles des enseignants et des bureaux l'UGR est de 19. Mais selon Marty et al (2003), aucun des indices existants ne peut prédire avec une précision satisfaisante le niveau d'éblouissement subi par les occupants d'un espace éclairé naturellement.

Tableau 2. 1 : Les réactions subjectives selon l'indice d'inconfort.

(Source : <http://leclairage.fr/ugr>).

Critères d'éblouissement (sensation 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

Chapitre 2 : Le confort visuel et les ambiances lumineuses des salles de dessin.

Le tableau 2.1 ci-dessous résume les réactions subjectives probables à certain niveau d'indice d'éblouissement.

3.4.6.3 Contrôle de l'éblouissement :

Pour éviter l'éblouissement produit par les ouvertures il est souvent nécessaire de réduire leur luminance excessive par rapport à celle de la tâche visuelle en adoptant des systèmes appropriés tels que :

- Mettre en place une grande fenêtre plutôt que plusieurs petites fenêtres, ça évitera nettement l'éblouissement.
- Adopter une couleur claire et mate pour les cadres des fenêtres afin d'éviter le contraste entre le mur et l'hubriserie.
- Opter pour un système de protection solaire adéquat.
- Utiliser des fenêtres avec des verres ayant une basse transmission.
- Réduire la luminance du ciel soit en apportant de la sobriété à la fenêtre grâce à un élément déflecteur, soit en mettant en place une cours intérieure ou un atrium qui sont moins lumineux que l'extérieur.

Il ne faut cependant pas oublier de mentionner que ces moyens de contrôle de l'éblouissement, applicables aussi bien pour l'éclairage latéral que pour l'éclairage zénithal réduisent en même temps la vue sur l'extérieur.

3.4.7 Les ombres portées :

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

- Quand les droitiers reçoivent de la lumière du côté droit ou quand les gauchers reçoivent de la lumière du côté gauche.
- Quand les occupants reçoivent de la lumière dans le dos.

La présence d'ombres sur le plan de travail en classe, perturbe la lecture, l'écriture et le dessin conduisant ainsi à une mauvaise position de travail. C'est le cas généralement lorsque la lumière solaire pénètre directement dans un espace. A l'inverse, une lumière non directionnelle, donc diffuse, créée avec un éclairage purement indirect, rendra difficile la perception des reliefs.

Chapitre 2 : Le confort visuel et les ambiances lumineuses des salles de dessin.

Afin de réduire les risques d'ombre gênante dans les salles disposant d'un système d'éclairage unilatéral, l'Association Française de l'Eclairage (2004) recommande que la direction principale du regard soit parallèle au vitrage et celui-ci doit être positionné du côté gauche des élèves car la majorité écrit avec la main droite. Une autre solution consiste à mettre en place une rangée de luminaires disposée parallèlement aux ouvertures à certains moments de la journée afin réduira les ombres gênantes des mains pour les gauchers (Figure 3.5). Par contre, dans le cas de l'éclairage bilatéral, le problème d'ombres gênantes ne se pose pas.

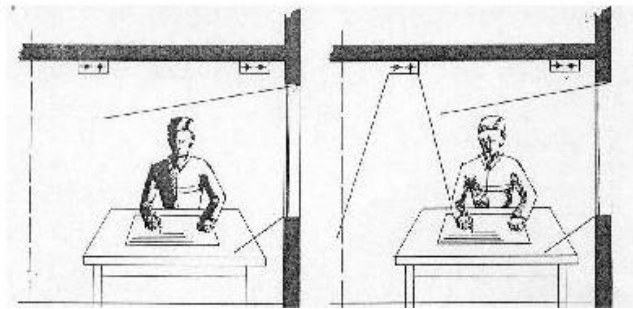


Figure 2. 5: Usage d'éclairage mixte pour réduire les zones d'ombre.

(Source : AFE, 1987).

3.4.8 Rendu de couleur:

Chaque source lumineuse est caractérisée par un spectre lumineux propre à elle. Le mélange des diverses radiations qui constituent ce spectre, forme la lumière blanche. C'est la seule qui permet une appréciation juste de la couleur des objets et de leurs nuances.

Étant donné que l'œil est conçu pour apprécier la lumière du jour, la lumière émise par les sources artificielles doit avoir une composition spectrale similaire à celle du soleil pour ne pas altérer la vision. Le système visuel regroupe ces différentes radiations réfléchies et donne une sensation de couleur. La couleur ainsi perçue est donc intimement dépendante du spectre lumineux émis, c'est-à-dire de « l'indice de rendu de couleur ».

D'après Perraudeau (1981), on appelle le "rendu des couleurs" l'aptitude de la « lumière à restituer les couleurs ». La lumière permet de distinguer les couleurs et elle est caractérisée par deux mesures essentielles :

- **Température de couleur:** mesurée en degrés Kelvin, elle désigne la teinte de la lumière émise par un corps en fonction de sa température (plus

Chapitre 2 : Le confort visuel et les ambiances lumineuses des salles de dessin.

elle est élevée, plus la lumière considérée une quantité importante de couleurs) (<http://leclairage.fr/ugr>).

- **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 (<http://leclairage.fr/ugr>).

Le tableau 2.2 illustre les différentes températures de couleur :

Tableau 2. 2: La température de couleur.

(Source: <http://leclairage.fr/ugr>).

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

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 (<http://leclairage.fr/ugr>).

On remarque 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 jaune) est celle du confort. On peut donc affirmer que 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 3.6) met en relation ces deux paramètres et fait apparaître une zone d'éclairage confortable (<http://leclairage.fr/ugr>).

Chapitre 2 : Le confort visuel et les ambiances lumineuses des salles de dessin.

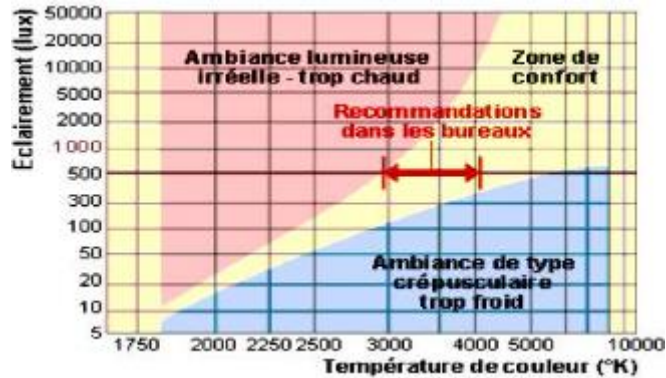


Figure 2. 6: Le diagramme de Kruithof.

(Source: <http://leclairage.fr/ugr>).

4 L'ambiance lumineuse:

4.1 Définition de l'ambiance lumineuse:

On peut définir une ambiance lumineuse comme la façon dont affecte l'ensemble des composantes d'un environnement lumineux un occupant. Cette ambiance est constituée par trois dimensions : La lumière, l'objet architectural et le sujet. Pour Narboni (2006), une ambiance lumineuse est définie comme étant « *le résultat d'une interaction entre une ou des lumières, un individu, un espace, et un usage* ».

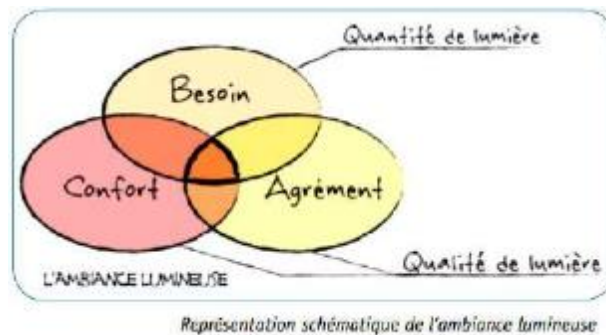


Figure 2. 7: Représentation schématique de l'ambiance lumineuse.

(Source: L'Institut pour la Conception Écoresponsable du Bâti, 2014).

4.2 Les paramètres de l'ambiance lumineuse:

De manière générale, lorsque l'on parle de besoin quantitatif en termes de lumière pour effectuer une tâche particulière dans des conditions satisfaisantes, nous avons pas mal de points objectifs et normatifs pour évaluer cet aspect. Cependant, lorsque l'on parle de la

Chapitre 2 : Le confort visuel et les ambiances lumineuses des salles de dessin.

qualité de l'ambiance lumineuse, la question reste plutôt ambiguë car il s'agit d'un sentiment subjectif propre à chacun et dépendant de plusieurs paramètres.

D'après l'extrait de la norme 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 au sein de l'espace.
- L'éblouissement.
- Le rendu de couleur et sa température.
- Les matériaux : Afin de comprendre le comportement de la lumière dans un espace, les matériaux jouent un rôle fondamental à cet effet, ils affectent directement les caractéristiques de la lumière. Les matériaux ont deux caractéristiques principales: leurs finitions (mattes ou brillants) et leurs couleurs (claires ou foncées).

4.3 Les types d'ambiances lumineuses :

Selon la luminosité de l'espace intérieur, nous pouvons regrouper les ambiances lumineuses en trois catégories distinctes :

- **La pénombre** : Selon Reiter et De Herde (2004) : « *la pénombre : dialogue entre l'ombre et une lumière «solide » qui la transperce par endroits* ». Elle représente une rupture totale avec l'extérieur et ce dû au contraste marqué entre l'intérieur du local et l'environnement extérieur. Cette rupture provoque des sensations et nous renvoie vers une dimension spirituelle, d'ailleurs cette ambiance est omniprésente dans les lieux de culte. Cette dimension est appuyée par l'utilisation de matériaux bruts tels que le béton.



Figure 2. 8: The Church of light (Tadao Ando, 1989).

(Source : www.archdaily.com).

- **L'ambiance luminescente** : Selon Reiter et De Herde (2004) : « *Une ambiance luminescente: clarté ambiante, omniprésente d'une lumière qui tend à disparaître parce qu'elle est partout* », c'est une ambiance où la lumière domine l'espace. Selon Ciriani (1991), cet effet de « lumière-éclairage est issu du Nord, où l'on tend à trouver à l'intérieur les conditions lumineuses de l'extérieur » amène à provoquer une liaison directe entre l'extérieur et l'intérieur de l'espace. Grâce à l'évolution des techniques de construction, les architectes ont réussi à supprimer les murs épais et massifs, laissant place à de grandes baies vitrées permettant la pénétration de la lumière naturelle au sein de l'espace. Ce type d'ambiance est idéal pour la lecture et le dessin, on y trouve une lumière harmonieuse tout le long de l'espace et l'absence d'ombres gênantes. On rencontre ce genre d'ambiance notamment dans les salles de dessins, où cette ambiance est défendue pour son caractère neutre qui n'a pas d'influence sur les couleurs des œuvres.
- « **L'ambiance inondée** »: Selon Reiter et De Herde (2004) l'ambiance inondée est une : « *Exaltation de la lumière qui embrase tout l'espace, trop plein de lumière envahissante et parfois écrasante* ». Cette ambiance telle que son nom l'indique inonde l'espace intérieur en le rendant plus artistique mais elle est très souvent écrasante.

Conclusion:

La sensation de confort est une notion subjective à chaque individu. Elle est procurée par notre environnement visuel. Cette sensation est fortement liée au fait de pouvoir voir les objets nettement et sans fatigue dans une ambiance colorée agréable. Les recherches confirment que la lumière naturelle crée une atmosphère de communication positive entre l'enseignant et l'étudiant. Cette dernière peut influencer positivement sur l'efficacité des performances intellectuelles et la capacité de concentration et d'apprentissage des étudiants ainsi qu'assurer la perception correcte des objets.

Le confort visuel dépend d'une combinaison de facteurs physiologiques liés à l'individu mais également de facteurs physiques liés à l'espace. Ainsi, pour un environnement lumineux adéquat à l'apprentissage, la lumière doit être fournie en

Chapitre 2 : Le confort visuel et les ambiances lumineuses des salles de dessin.

quantité suffisante, mais 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 et ce, sans oublier la présence d'une ambiance lumineuse agréable et adéquate à la tâche visuelle.

Partie 2 : « Partie pratique »

**Chapitre 3: Evaluation quantitative et qualitative de la lumière
naturelle.**

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.

Introduction :

Dans le but d'avoir une idée claire sur le confort visuel des salles de dessin, nous avons choisi d'effectuer une étude sur les salles de dessin du bloc architecture de l'université de Bejaia. Pour cette étude, nous avons réparti le travail en deux parties. La première étant de recueillir les données quantitatives à travers la prise de mesure, la deuxième partie est dédiée à l'aspect qualitatif du confort visuel en établissant un questionnaire qui servira à recueillir les appréciations des occupants.

1 Présentation du cas d'étude « Le bloc Architecture du campus universitaire

Targua Ouzemour :

Le bloc Architecture dont nous avons étudié le système d'éclairage naturel, est situé dans le campus universitaire Targua Ouzemour, à Béjaia. Ce dernier est un volume compact de forme parallélépipède, mesurant 42 mètres de long et 20 mètres de large. Il est composé d'un rez-de chaussée et d'un étage où se trouvent les salles de dessin annexées de part et d'autres à un hall central.



Figure 3. 1: Façade Sud-ouest du bloc d'architecture.

(Source : Auteur, 2021).

Le bloc Architecture se trouve sur est l'axe Nord-est – Sud-ouest. Les façades principales où se trouvent les ouvertures, sont exposées vers le Nord-est (314°) et vers Sud-ouest (104°).

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.

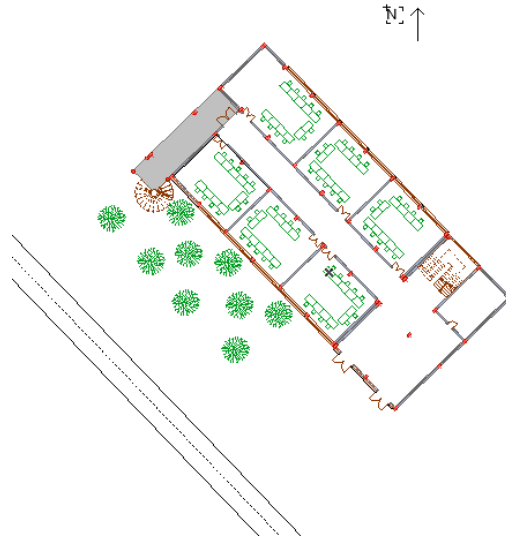


Figure 3. 2: Vue en plan du rez-de-chaussée du bloc d'architecture.

(Source : Auteur, 2021).

Ce bloc est bordé du Sud-ouest par une voie mécanique et un écran végétal au feuillage persistant d'environ 6 mètres de hauteur (Photo 3.4).



Figure 3. 3: Ecran végétal arborant la façade Sud-ouest du bloc architecture.

(Source : Auteur, 2021).

2 Le choix des salles :

Pour notre étude, nous avons choisi deux (02) salles de dessin représentatives de l'ensemble des salles du bloc d'architecture. Ces deux salles sont les salles de dessin n°05 (Photo 3.5) et n°09 (Photo 3.6).

Les critères de choix de ces locaux types sont :

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.

- La différence d'orientation des ouvertures : Nord-est ou Sud-ouest.
- La présence ou non de masques solaires.



Figure 3. 4: La salle n° 09.

(Source : Auteur, 2021).



Figure 3. 5: La salle n°05.

(Source : Auteur, 2021).

3 Description des salles types :

Les deux salles choisies, présentent les caractéristiques suivantes :

- **La salle de dessin n°05** : est de forme rectangulaire, plus profonde que large (P=8.7m, L=6.9 m) et de 60m² de surface. Sa hauteur sous plafond est de 3,06m. Elle comporte des ouvertures latérales orientées vers le Sud-ouest et le tableau de la salle est accroché sur la paroi Sud-est interne. La surface totale du vitrage (SV) est égale à 8m². Les parois intérieures de la salle sont de couleur beige clair, quant au plancher, il est recouvert de carrelage granite de couleur beige également. Pour ce qui est du mobilier il est en bois massif non peint. Elle présente un masque solaire important composée d'une végétation dense et d'un escalier extérieur disposé en face de l'ouverture.
- **La salle de cours n°09** : est de forme rectangulaire, plus profonde que large (P=8.7m, L=6.9 m) et de 60m² de surface. Sa hauteur sous plafond est de 3,06m. Elle comporte des ouvertures latérales orientées vers le Nord-est et le tableau de la salle est accroché sur la paroi Sud-est interne. La surface totale du vitrage (SV) est égale à 8m². Les parois intérieures de la salle sont de couleur beige clair, quant au plancher, il est recouvert de carrelage granite de couleur beige également. Pour ce qui est du mobilier il est en bois massif non peint. Elle ne présente pas de masque solaire.

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.

4 Dispositif d'éclairage des salles :

Les salles de dessin étudiées sont dotées d'un dispositif d'éclairage unilatéral composé d'une baie vitrée comportant deux (02) séries horizontales de quatre (04) fenêtres chacune et séparées d'un cadre en aluminium. Le verre de chaque fenêtre est teinté en bleu. (Photo 3.8). La hauteur sous linteau de ces ouvertures est égale à 1,11m.



Figure 3. 7: La baie vitrée des salles n°05 et n°09.

(Source : Auteur, 2021).

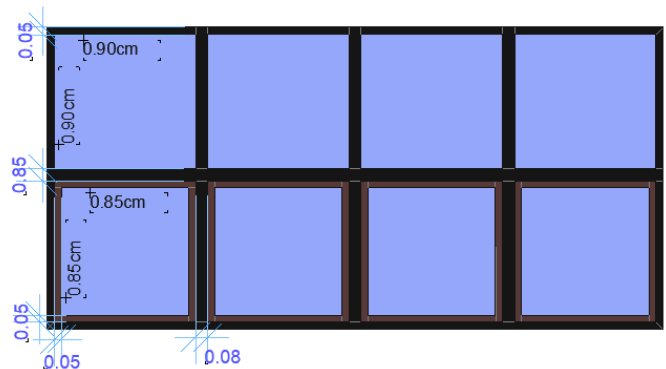


Figure 3. 6: Les dimensions de la baie vitrée des salles.

(Source : Auteur, 2021).

5 L'évaluation quantitative et qualitative des salles de dessin du bloc architecture :

Afin d'obtenir des informations sur les performances des salles de dessin du bloc d'architecture, en termes d'éclairage naturel et d'ambiance lumineuse, nous avons effectué des prises de mesures en utilisant l'instrumentation, mais nous avons également établi un questionnaire de satisfaction permettant de recueillir l'appréciation subjective des usagers concernant la qualité de la lumière naturelle dans l'espace.

L'objectif de cette évaluation est d'analyser la performance du système d'éclairage unilatéral dans les salles de dessin.

5.1 L'évaluation quantitative:

En ce qui concerne l'évaluation quantitative de la lumière naturelle présente dans les salles, nous avons pris des mesures des éclairagements lumineux horizontaux à l'intérieur des deux salles (Ei). Les mesures sont prises à de différents points de chaque salle, et ce à la hauteur du plan utile (tables de dessin) situé à 75cm du niveau du plancher.

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.

5.1.1 Le choix des points de mesure:

Pour évaluer les conditions d'éclairage ainsi que la quantité de lumière dans une salle, il est impératif d'effectuer plusieurs mesures d'éclairement à de différents points, obéissant à une grille préétablie pour chaque salle.

Il est important de mentionner que le nombre de points constituant le grille de prise de mesures, n'est pas déterminé arbitrairement, mais selon une méthodologie précise. Dans notre cas, nous avons suivi la méthodologie utilisée par la norme belge NBN L 14-002 (2011) «*Méthodes de prédétermination des éclairagements, des luminances et des indices d'éblouissement en éclairage artificiel d'espaces clos* », ainsi que par la norme française NF C 71-121 (CIBSE, 1987) «*Méthodes recommandées pour la photométrie des lampes et des appareils d'éclairage*» en ce qui concerne l'éclairage artificiel.

Selon ces deux normes, nous pouvons déterminer le nombre minimal de points de mesure suivant « l'indice de local » K, qui dépend des caractéristiques géométriques de l'espace, tels que ses dimensions et sa hauteur. Cet indice est donné par la formule suivante :

$$K = (a \times b) / h (a + b) \dots \text{(De Herde et al., <http://www-energie.arch.ucl.ac.be/>)}$$

a et b : largeur et longueur du local.

h : hauteur du local.

A partir de cette valeur, on détermine le nombre minimal des points de mesure. Dans notre cas les salles ont les mêmes mesures donc l'indice K est les suivants:

$$K \text{ salles 5 et 9} = (8.7 \times 6.9) / 3.06 (8.7 + 6.9) = 1.26$$

La valeur de K est comprise entre 1 et 1.26 à, donc le nombre minimum de points de mesure est égal à 9 (voir tableau 3.1).

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.

Tableau 3. 1: Détermination du nombre minimal de points de mesure en fonction de l'indice du local K.

(Source : A.F.E, 1987).

K	Nbre minimum de points de mesure
Moins de 1	4
1 ... 1.9	9
2 ... 2.9	16
3 et plus	25

Le choix des points de mesure à l'intérieur des salles de cours se fait selon une grille établie qui respecte un nombre minimal de points. Nous avons choisi dans notre cas, 48 points de mesure pour les deux salles et la distance entre chaque point est de 1m.

5.1.2 Protocole de la prise de mesure :

La mesure in situ des éclairagements intérieurs des salles de dessin s'est fait pendant trois (03) jours consécutifs, à savoir le 13,14 et 15 avril 2021, sous ciel clair et ensoleillé.

Pendant chaque journée de prise de mesure, nous avons effectué les mesures à trois horaires différents de la journée : à 09h GMT, à 12h GMT et à 15h GMT et ce dans le but d'évaluer le changement de lumière solaire au cours de la journée selon la position du soleil.

En premier lieu nous avons pris des mesures de l'éclairage lumineux à l'extérieur des salles. En second lieu, nous avons effectué les mesures d'éclairages horizontaux à l'intérieur des salles de dessins n°05 et n°09.

Pour ce qui est des mesures à l'intérieur des salles, nous avons mesuré l'éclairage lumineux à chaque point de la grille préétablie (chaque 1m), et à différents moments de la journée dans les deux salles sur le plan utile situé à 75 cm du niveau du plancher en ouvrant les fenêtres et en fermant la porte pour obtenir les résultats des éclairages lumineux résultant des fenêtres. Les mesures ont par la suite été rapportées sur le plan de chaque salle. A chaque heure, les mesures duraient approximativement 50min dans chaque

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.

salle. Ces dernières n'ont donc pas pu se faire simultanément du au fait qu'on ne disposait que d'un seul luxmètre.

La salle n°05 :

La salle N°05 est située au rez-de-chaussée du bloc d'architecture comme le montre le plan suivant:

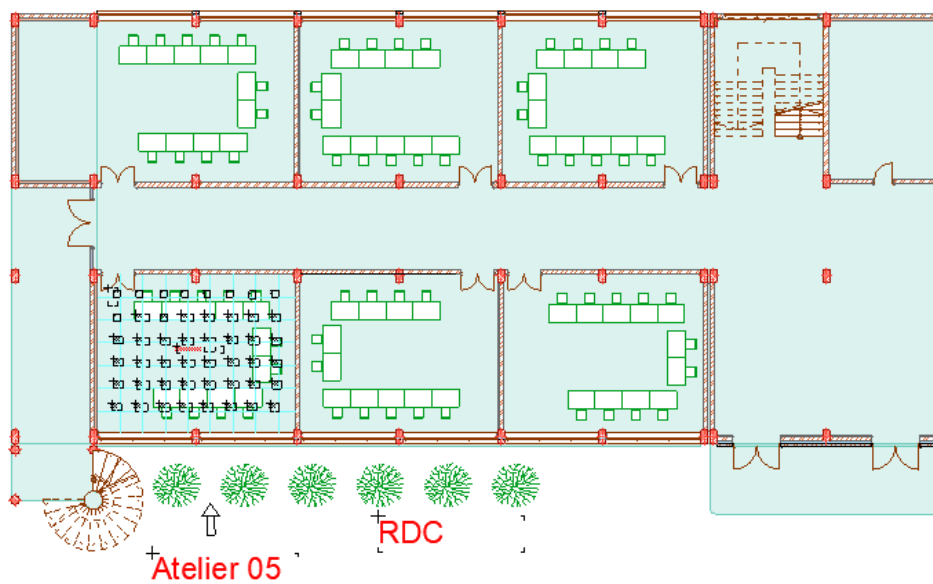


Figure 3. 8: Situation de la salle n°05.

(Source : Auteur, 2021).

Les mesures ont été effectuées à chaque point de la grille se trouvant sur le plan suivant:

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.

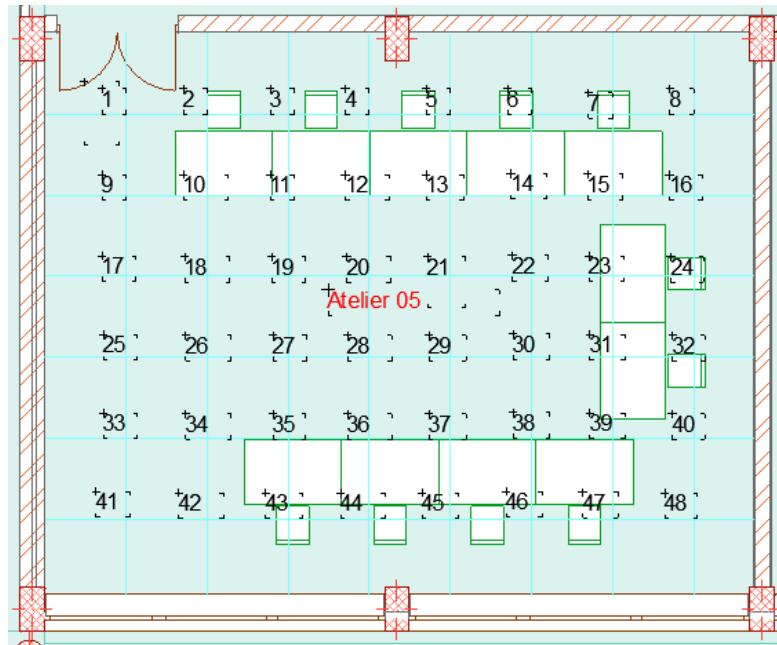


Figure 3. 9: La grille de mesure de la salle n°05.

(Source : Auteur, 2021).

Salle 09:

La salle N°09 est située au premier étage du bloc d'architecture comme le montre le plan suivant :

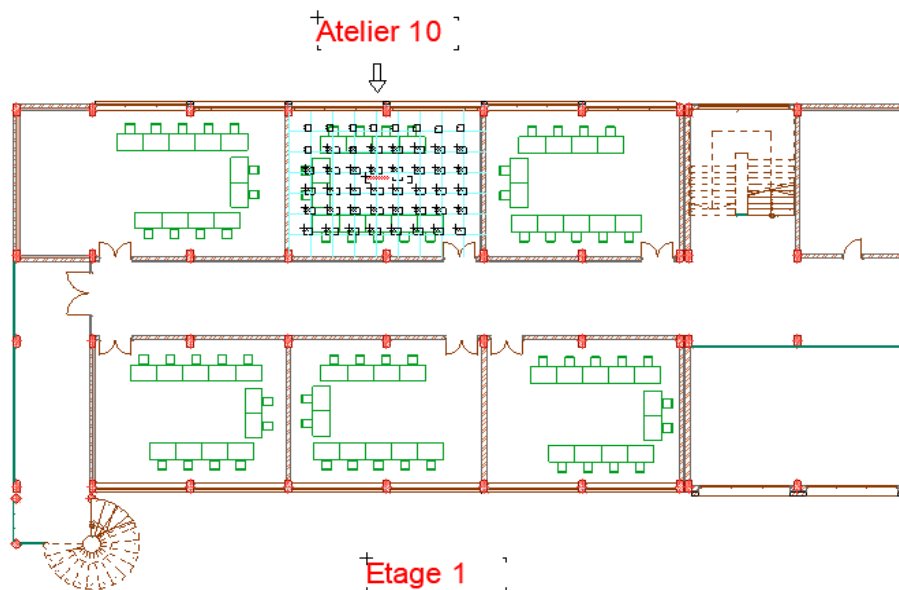


Figure 3. 10: Situation de la salle n°09.

(Source : Auteur, 2021).

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.

Les mesures ont été effectuées à chaque point de la grille se trouvant sur le plan suivant:

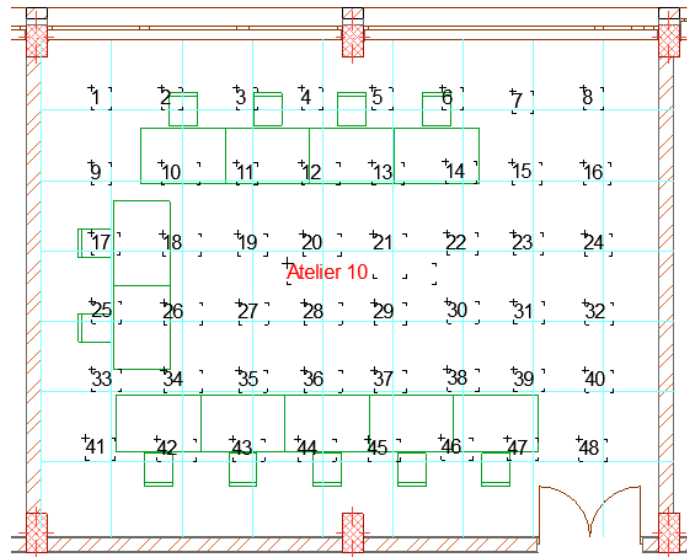


Figure 3. 11: La grille de mesure de la salle n°09.

(Source : Auteur, 2021).

5.1.2.1 Instrumentation:

Les mesures des différents éclairagements lumineux ont été pris avec un appareil dédié à cet effet, appelé un « luxmètre ». Dans notre étude, nous avons utilisé un luxmètre IHM 1308 SI, dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Dimensions de l'appareil : 165x76x43 mm.
- Poids de l'appareil : 440g.
- Plage de mesure : jusqu'à 400 000 Lux.
- Précision de mesure $\pm 5\%$.
- Extinction automatique.
- Unités Lux / FC au choix.

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.



Figure 3. 12: Le luxmètre utilisé pour la prise de mesure.

(Source : Auteur, 2021).

5.1.3 Résultats et interprétation :

Pour l'interprétation des résultats, nous avons choisi une seule journée représentative parmi les trois journées où ont été effectuées les prises de mesure. Cette journée est la première, à savoir le 13 avril 2021.

Salle n°05 :

Après avoir pris les mesures dans cette salle nous avons obtenu les résultats suivants :

9h GMT :

La figure ci-dessous montre les résultats obtenus lors de la prise de mesure des éclairagements dans la salle à 09h00 :

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.

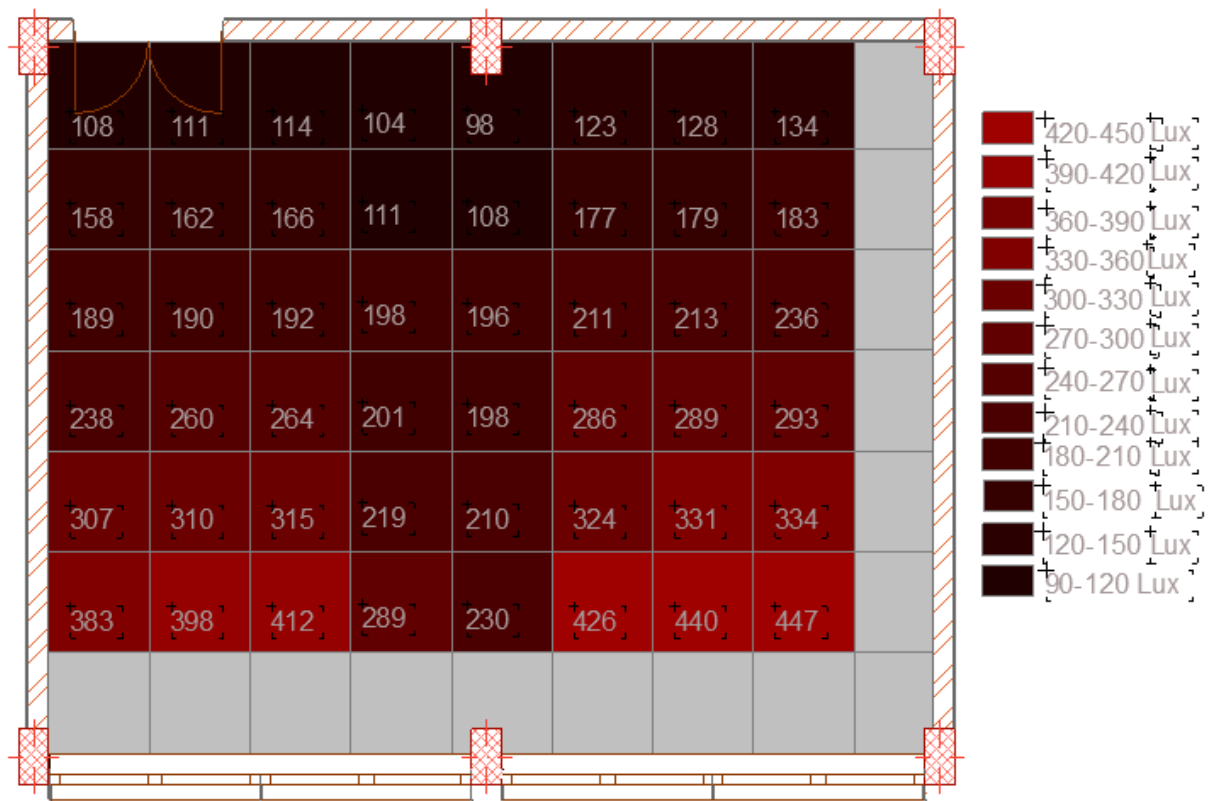


Figure 3. 13: L'éclairage lumineux de la salle n°05 à 09hGMT.

(Source : Auteur, 2021).

Les prises de mesures étant en période qu'équinoxe, l'azimut du soleil au lever est égal à l'est, les ouvertures de la salle étant orientées au sud-ouest, la quantité de lumière disponible le matin n'est pas à son maximum. De plus, le masque solaire imposant se trouvant à l'extérieur de la salle, représenté par des arbres à feuillage dense et l'escalier extérieur se trouvant en face de l'ouverture, ne permettent pas la pénétration totale de cette lumière.

Nous remarquons sur la figure 3.13 que les valeurs de l'éclairage lumineux varient entre 98 lux au Nord-est et 447 lux au Sud-ouest. Effectivement, la paroi intérieure Sud-ouest est directement ensoleillée, cela est du à la position du soleil et à l'effet directif des ouvertures unilatérales verticales se trouvant le long des parois, et plus nous nous éloignons de cette paroi, plus les valeurs de l'éclairage lumineux atteignent le minimum laissant place à une zone sombre. Par conséquent, nous pouvons affirmer qu'il y'a une distribution asymétrique de la lumière.

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.

Ainsi, lorsque nous comparons ces valeurs aux normes d'éclairage dans les salles de dessins dictant impérativement une norme de 300 à 500 lux, nous constatons que plus de la moitié de la salle ne reçoit pas une quantité suffisante de lumière. Seulement un tiers (1/3) de la salle bénéficie d'une quantité de lumière pouvant permettre aux étudiants d'exécuter leurs tâches sans engendrer de fatigue visuelle.

Ajoutons à cela que le tableau se trouvant dans la paroi Sud-est, est directement ensoleillé, et peut être la cause d'éblouissement indirect des occupants.

12h GMT :

La figure ci-dessous montre les résultats obtenus lors de la prise de mesure des éclairagements dans salle à 12h00 :

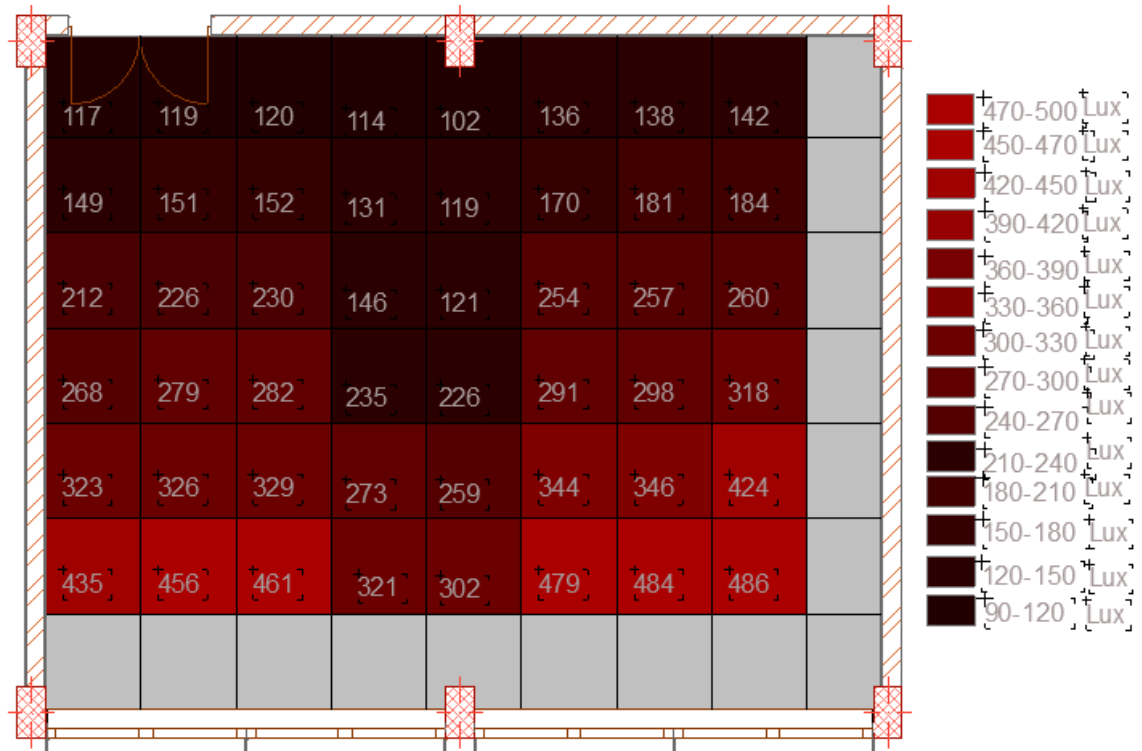


Figure 3. 14: L'éclairage lumineux de la salle n°05 à 12hGMT.

(Source : Auteur, 2021).

A cette heure ci, le soleil se situe au Sud et permet de faire pénétrer une quantité importante de lumière, cependant elle est légèrement supérieure à la matinée, de plus le masque solaire imposant se trouvant à l'extérieur de la salle, représenté par des arbres à

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.

feuillage dense et l'escalier extérieur se trouvant en face de l'ouverture, ne permettent pas la pénétration totale de cette lumière.

Nous remarquons sur la figure 3.14 que les valeurs de l'éclairage lumineux varient entre 102 lux au Nord-est et 487 lux au Sud-ouest, ces valeurs sont légèrement plus élevées qu'à 09h du matin. Cependant la distribution de la lumière solaire est tout autant asymétrique dû au dispositif d'éclairage unilatéral présent dans la salle : la paroi intérieure Sud-ouest est directement ensoleillée, et plus nous nous éloignons de cette paroi, plus les valeurs de l'éclairage lumineux atteignent le minimum laissant place à une zone sombre. Notons également que le centre de la salle présente des valeurs d'éclairage lumineux relativement très basses à cause du poteau en sailli se trouvant dans le mur de fenestration séparent les grandes baies latérales en deux.

Ainsi, lorsque nous comparons ces valeurs aux normes d'éclairage dans les salles de dessins dictant impérativement une norme de 300 à 500lux, nous constatons que plus de la moitié de la salle ne reçoit pas une quantité suffisante de lumière. Seulement un tiers (1/3) de la salle reçoit une lumière bénéficie d'une quantité de lumière pouvant permettre aux étudiants d'exécuter leurs tâches sans engendrer de fatigue visuelle.

Ajoutons à cela que le tableau se trouvant dans la paroi Sud-est, est directement ensoleillé, et peut être la cause d'éblouissement indirect des occupants.

15h GMT :

La figure ci-dessous montre les résultats obtenus lors de la prise de mesure des éclairages dans salle à 15h00 :

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.

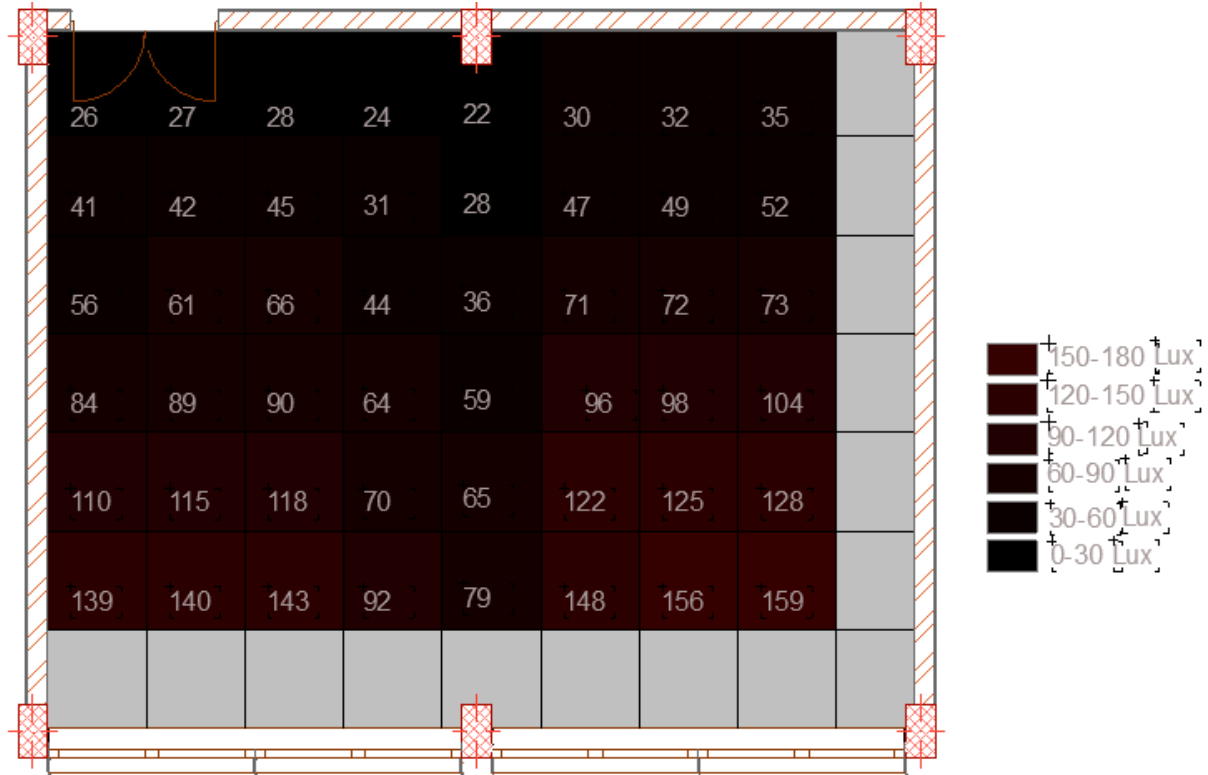


Figure 3. 15: L'éclairage lumineux de la salle n°05 à 15hGMT.

(Source : Auteur, 2021).

Durant l'après midi, la quantité de lumière disponible dans le ciel est nettement inférieure, nous remarquons sur la figure 3.15 que les valeurs de l'éclairage lumineux varient entre 22 lux au Nord-est et 159 lux au Sud-ouest, ces valeurs sont très basses comparées aux valeurs enregistrés lors de la prise de mesure de 09h du matin et de midi.

Cependant la distribution de la lumière solaire est tout autant asymétrique dû au dispositif d'éclairage unilatéral présent dans la salle : la paroi intérieure Sud-ouest est directement ensoleillée, et plus nous nous éloignons de cette paroi, plus les valeurs de l'éclairage lumineux atteignent le minimum. Notons également que le centre de la salle présente des valeurs d'éclairage lumineux plus basses à cause du poteau en sailli se trouvant dans le mur de fenestration séparent les grandes baies latérales en deux.

Ainsi, lorsque nous comparons ces valeurs aux normes d'éclairage dans les salles de dessins dictant impérativement une norme de 300 à 500lux, nous constatons que la salle ne reçoit clairement pas une quantité suffisante de lumière naturelle pouvant permettre aux

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.

étudiants d'exécuter leurs tâches sans engendrer de fatigue visuelle et le recours à l'éclairage électrique se montre nécessaire.

Ajoutons à cela que le tableau se trouvant dans la paroi Sud-est, est directement ensoleillé, et peut être la cause d'éblouissement indirect des occupants.

Salle n°09:

Après avoir pris les mesures dans cette salle nous avons obtenu les résultats suivants :

9h GMT :

La figure ci-dessous montre les résultats obtenus lors de la prise de mesure des éclairagements dans salle à 09h00 :

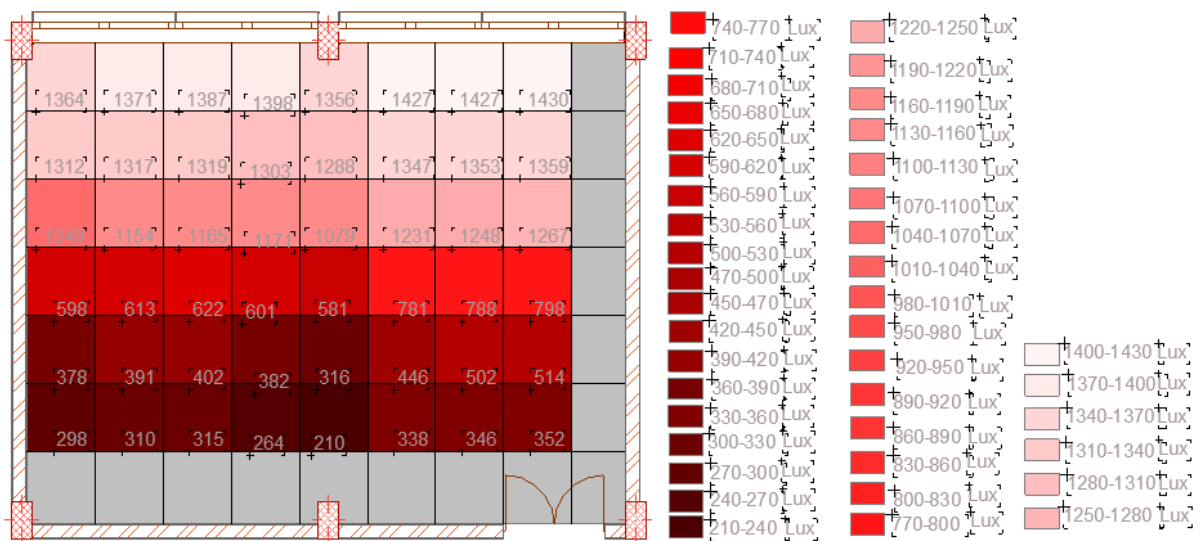


Figure 3. 16: L'éclairage lumineux de la salle n°9 à 09hGMT.

(Source : Auteur, 2021).

Les prises de mesures étant en période qu'équinoxe, l'azimut du soleil au lever est égal à l'est, les ouvertures de la salle étant orientées au Nord-est, la quantité de lumière disponible le matin est à son maximum.

Nous remarquons sur la figure 3.16 que les valeurs de l'éclairage lumineux varient entre 210 lux au Sud-ouest et 1430 lux au Nord-est. Effectivement, la paroi intérieure Nord-est est directement ensoleillée, cela est du à la position du soleil et à l'effet directif des ouvertures unilatérales verticales se trouvant le long des parois, et plus nous

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.

nous éloignons de cette paroi, plus les valeurs de l'éclairage lumineux atteignent le minimum laissant place à une zone sombre. Par conséquent, nous pouvons affirmer qu'il y'a une distribution asymétrique de la lumière.

Ainsi, lorsque nous comparons ces valeurs aux normes d'éclairage dans les salles de dessins dictant impérativement une norme de 300 à 500lux, nous constatons que pratiquement moitié de la salle reçoit une quantité suffisante mis à part la zone du fond, seulement, la partie de la salle se situant sous la trajectoire de la lumière directe, affiche des valeurs d'éclairage excessives pouvant causer un inconfort visuel, cela est entièrement dû au type d'ouverture (large et unilatéral) non muni d'une protection solaire pouvant contrer les rayons lumineux intenses.

Cependant, le dispositif d'éclairage unilatéral présent dans ces salles permet de faire pénétrer une lumière directe non uniforme. D'un côté, cette lumière directionnelle disant trouvant derrière dos des étudiants, peut provoquer des ombres sur les plans de travail qui risquent de les gêner dans l'exécution de leurs différentes tâches. D'un autre côté, ces ouvertures sont également situées dans le champ de visions d'autres étudiants pouvant provoquer un éblouissement direct. Ajoutons à cela que le tableau se trouvant dans la paroi Sud-est, est directement ensoleillé, et peut être la cause d'éblouissement indirect des occupants.

12h GMT :

La figure ci-dessous montre les résultats obtenus lors de la prise de mesure des éclairagements dans salle à 12h00 :

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.

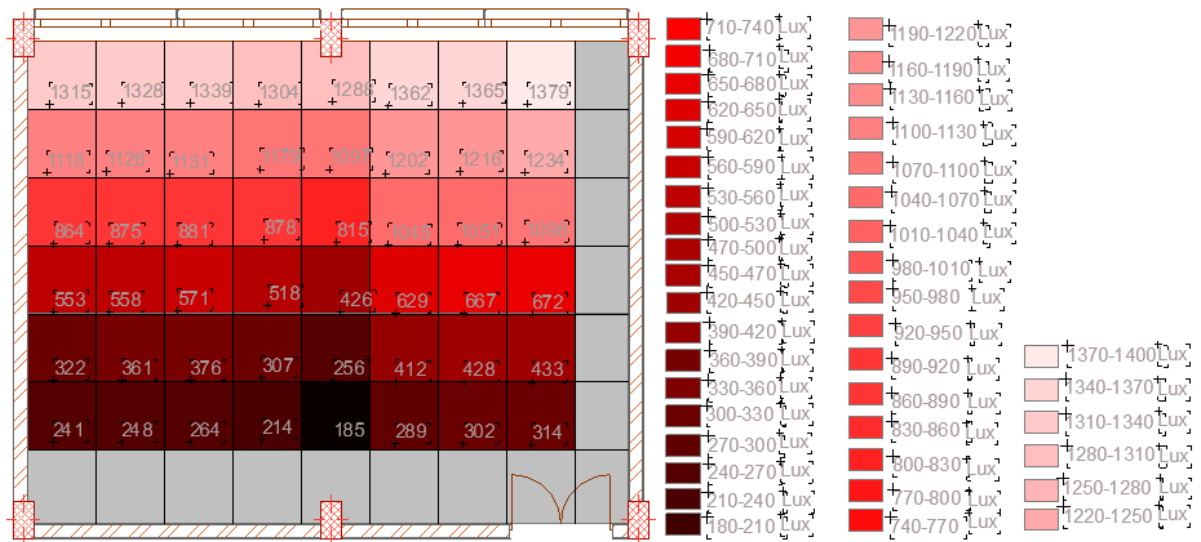


Figure 3. 17: L'éclairage lumineux de la salle n°9 à 12hGMT.

(Source : Auteur, 2021).

A cette heure ci, le soleil se situe au Sud, les ouvertures de la salle étant orientées au Nord-est, une quantité importante de lumière est pénétré dans la salle, cependant elle est légèrement inférieure à celle de la matinée.

Nous remarquons sur la figure 3.17 que les valeurs de l'éclairage lumineux varient entre 185 lux au Nord-est et 1379 lux au Sud-ouest, ces valeurs sont légèrement moins élevées qu'à 09h du matin. Cependant la distribution de la lumière solaire est tout autant asymétrique dû au dispositif d'éclairage unilatéral présent dans la salle : la paroi intérieure Sud-ouest est directement ensoleillée, et plus nous nous éloignons de cette paroi, plus les valeurs de l'éclairage lumineux atteignent le minimum laissant place à une zone sombre. Notons également que le centre de la salle présente des valeurs d'éclairage lumineux relativement très basses à cause du poteau en sailli se trouvant dans le mur de fenestration séparent les grandes baies latérales en deux.

Ainsi, lorsque nous comparons ces valeurs aux normes d'éclairage dans les salles de dessins dictant impérativement une norme de 300 à 500 lux, nous constatons que pratiquement toute la salle reçoit une quantité suffisante mis à part la zone du fond, seulement, la partie de la salle se situant sous la trajectoire de la lumière directe, affiche des valeurs d'éclairage excessives pouvant causer un inconfort visuel, cela est entièrement dû au type d'ouverture (large et unilatéral) non muni d'une protection solaire pouvant contrer les rayons lumineux intenses.

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.

Cependant, le dispositif d'éclairage unilatéral présent dans ces salles permet de faire pénétrer une lumière directe non uniforme. D'un côté, cette lumière directionnelle se trouvant derrière le dos des étudiants, peut provoquer des ombres sur les plans de travail qui risquent de les gêner dans l'exécution de leurs différentes tâches. D'un autre côté, ces ouvertures sont également situées dans le champ de visions d'autres étudiants pouvant provoquer un éblouissement direct. Ajoutons à cela que le tableau se trouvant dans la paroi Sud-est, est directement ensoleillé, et peut être la cause d'éblouissement indirect des occupants.

15h GMT :

La figure ci-dessous montre les résultats obtenus lors de la prise de mesure des éclairagements dans salle à 15h00 :

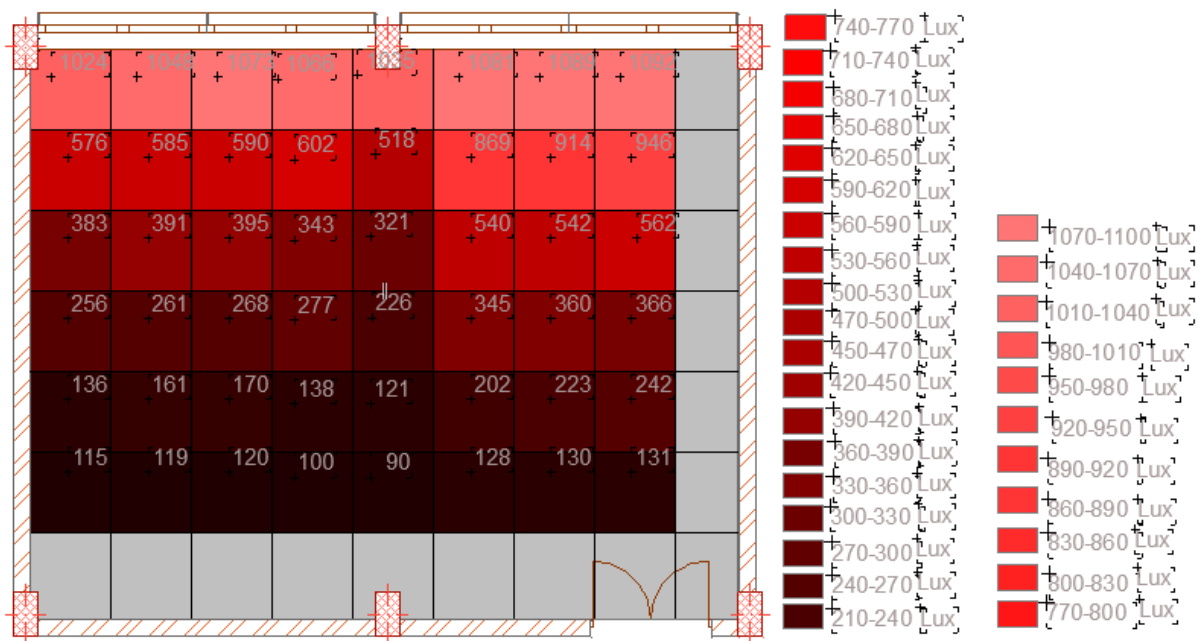


Figure 3. 18: L'éclairage lumineux de la salle n°9 à 15hGMT.

(Source : Auteur, 2021).

Durant l'après midi, la quantité de lumière disponible dans le ciel est nettement inférieure, nous remarquons sur la figure 3.18 que les valeurs de l'éclairage lumineux varient entre 90 lux au Nord-est et 1092 lux au Sud-ouest, ces valeurs sont très basses comparées aux valeurs enregistrés lors de la prise de mesure de 09h du matin et de midi.

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.

Cependant la distribution de la lumière solaire est tout autant asymétrique dû au dispositif d'éclairage unilatéral présent dans la salle : la paroi intérieure Nord-est est directement ensoleillée, et plus nous nous éloignons de cette paroi, plus les valeurs de l'éclairage lumineux atteignent le minimum. Notons également que le centre de la salle présente des valeurs d'éclairage lumineux plus basses à cause du poteau en sailli se trouvant dans le mur de fenestration séparent les grandes baies latérales en deux.

Ainsi, lorsque nous comparons ces valeurs aux normes d'éclairage dans les salles de dessins dictant impérativement une norme de 300 à 500 lux, nous constatons que plus de la moitié de la salle se situant face à la paroi Nord-est reçoit une quantité de lumière excessive pouvant causer l'éblouissement, notamment à cause de l'absence de protections solaire et du type d'ouverture. Quant à l'autre partie de la salle, elle ne reçoit pas une quantité suffisante de lumière naturelle pouvant permettre aux étudiants d'exécuter leurs tâches sans engendrer de fatigue visuelle.

Ajoutons à cela que le tableau se trouvant dans la paroi Sud-est, est directement ensoleillé, et peut être la cause d'éblouissement indirect des occupants.

5.1.4 Comparaison des résultats entre les deux salles types :

La comparaison des résultats obtenus lors de l'évaluation quantitative se révèle importante afin de valider les hypothèses émises.

9h GMT :

La salle n°05 dispose d'ouvertures unilatérales orientées vers le Sud-ouest, et à l'extérieur de la salle on retrouve un masque solaire important représenté par des arbres à feuillage dense ainsi qu'un escalier extérieur donnant directement vers l'intérieur de la salle, tandis que la salle n°09 dont les ouvertures unilatérales sont orientées vers le Nord-est ne dispose pas de masque solaire. Les valeurs d'éclairage lumineux sont donc plus importantes dans la salle n°09.

Cependant nous constatons que les deux salles ont une distribution asymétrique de la lumière avec un risque d'éblouissement et d'ombres gênantes.

12h GMT :

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.

La salle n°05 dispose d'ouvertures unilatérales orientées vers le Sud-ouest, et à l'extérieur de la salle on retrouve un masque solaire important représenté par des arbres à feuillage dense ainsi qu'un escalier extérieur donnant directement vers l'intérieur de la salle, tandis que la salle n°09 dont les ouvertures unilatérales sont orientées vers le Nord-est ne dispose pas de masque solaire.

Les valeurs d'éclairage lumineux sont donc plus importantes dans la salle n°09, effectivement toute la salle reçoit une quantité de lumière suffisante voir excessive, comparé à la salle n°05 dans laquelle seulement un tiers seulement reçoit une lumière suffisante à l'exercice des tâches par les étudiants..

Cependant nous constatons que les deux salles ont une distribution asymétrique de la lumière avec un risque d'éblouissement et d'ombres gênantes.

15h GMT :

La salle n°05 dispose d'ouvertures unilatérales orientées vers le Sud-ouest, et à l'extérieur de la salle on retrouve un masque solaire important représenté par des arbres à feuillage dense ainsi qu'un escalier extérieur donnant directement vers l'intérieur de la salle, tandis que la salle n°09 dont les ouvertures unilatérales sont orientées vers le Nord-est ne dispose pas de masque solaire.

Les valeurs d'éclairage lumineux sont donc plus importantes dans la salle n°09, effectivement plus de la moitié de cette salle reçoit une quantité de lumière suffisante comparé à la salle n°05 dans laquelle il n'y a aucune lumière suffisante à l'exercice des tâches par les étudiants. Cependant nous constatons que les deux salles ont une distribution asymétrique de la lumière avec un risque d'ombres gênantes et d'éblouissement pour la salle n°09.

Après avoir interprété les résultats de la prise de mesure, nous pouvons affirmer que le dispositif d'éclairage unilatéral a de nombreux désavantages, ce dernier est responsable de l'éblouissement et des zones d'ombre dans la pièce. Les masques solaires également empêchent la pénétration de la lumière naturelle, et créent un inconfort visuel pour les occupants. La lumière naturelle directe peut être évitée, en ayant recours à des protections

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.

solaires car cette dernière est désagréable pour les occupants de l'espace et ne permet pas l'exécution des tâches correctement.

5.2 L'évaluation qualitative :

La requête des observations, de la perception ainsi que de la satisfaction subjective des occupants des salles du bloc d'architecture est primordiale afin d'évaluer qualitativement ces espaces. Pour cela, nous avons eu recours à l'utilisation d'un questionnaire.

5.2.1 Définition du questionnaire :

Le questionnaire est un instrument essentiel à la recherche. Il contribue à recueillir des informations et des données quantifiables qu'on pourra analyser par la suite à l'aide de tableaux ou de graphes. Selon Combessie, « *Le questionnaire a pour fonction principale de donner à l'enquête une extension plus grande et de vérifier statistiquement jusqu'à quel point sont généralisables les informations et hypothèses préalablement constituées* ». (Combessie, 2007)

5.2.2 La description et le déroulement du questionnaire:

Après avoir effectué de nombreuses recherches concernant notre thématique de recherche, nous avons pu rédiger un questionnaire qui englobait les différentes questions qui nous permettront d'évaluer qualitativement le confort visuel des salles de dessin.

Ce questionnaire est destiné à un groupe fermé de personnes, à savoir les étudiants et les enseignants fréquentant les salles de dessin du bloc d'architecture de façon fréquente. Nous avons donc créé un questionnaire à partir du site internet « *Dragnsurvey* » (<https://www.dragnsurvey.com/>), ensuite nous avons communiqué le lien du questionnaire en ligne aux usagers de ces salles.

Dans ce questionnaire, nous avons réparti les différentes questions en trois (03) catégories :

La première catégorie : Elle est constituée de trois (03) questions de type signalétiques qui permettent d'indiquer le sexe, l'âge et le groupe d'utilisateur. Il est utile de souligner que ces facteurs ont une influence sur l'appréciation subjective des occupants.

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.

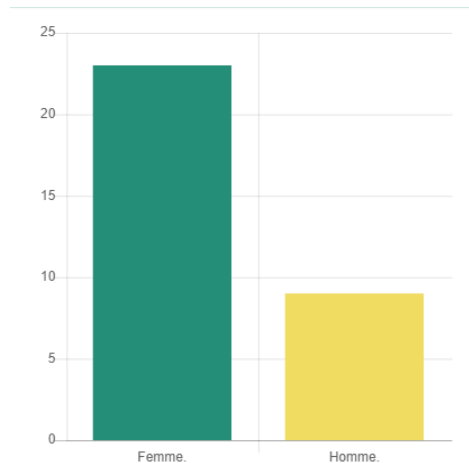
La deuxième catégorie : Elle est constituée de (03) questions de type qualitatives à réponse unique. Ces questions traitent les conditions d'éclairage naturel dans les salles de dessin qu'ils fréquentent pendant l'été et l'hiver.

La troisième catégorie : Elle est constituée de dix (10) questions de type qualitatives à réponses uniques ou multiples. Ces questions traitent notamment les problèmes liés à la lumière solaire directe ainsi qu'à l'éblouissement. La dernière question étant une question textuelle ouverte, permettant à ceux qui répondent au questionnaire d'exprimer leur opinion de manière générale sur le confort visuel des salles de dessin.

5.2.3 Résultat et interprétation :

La lecture et l'interprétation des résultats obtenue suite au questionnaire établi, est une étape primordiale afin d'avoir une idée sur le confort visuel de manière qualitative dans les salles de dessin du bloc architecture. Il est important de souligner que le site internet « *Dragsurvey* » utilisé pour établir le questionnaire effectue automatiquement le traitement statistique des données.

usagers de l'espace.



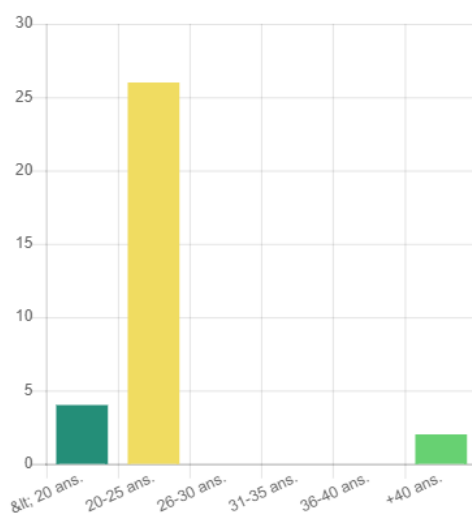
Intitulé des réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Femme.	23	71.88 %
Homme.	9	28.13 %

Figure 3. 19: Répartition des occupants selon le sexe.

(Source : Auteur, 2021).

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.

La figure 3.19 indique que l'échantillon interrogé est constitué de 71,88% d'étudiants et d'enseignants et 28.13% d'étudiantes et d'enseignantes.



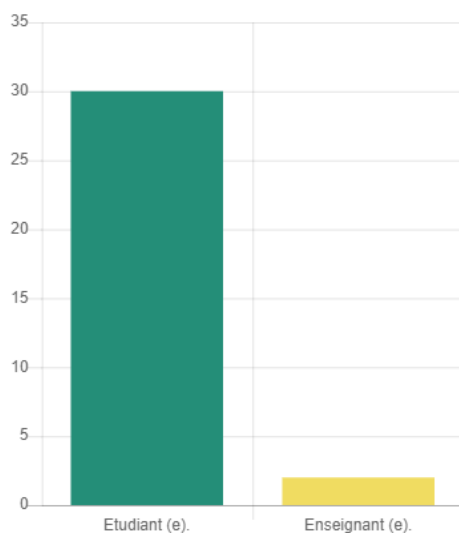
Intitulé des réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
< 20 ans.	4	12.5 %
20-25 ans.	26	81.25 %
26-30 ans.	0	0 %
31-35 ans.	0	0 %
36-40 ans.	0	0 %
+40 ans.	2	6.25 %

Figure 3. 20: Répartition des occupants selon l'âge.

(Source : Auteur, 2021).

Pour ce qui est de l'âge des personnes interrogés, 12.5% ont moins de 20 ans, 81.25% ont entre 20 et 25 ans, 2% ont plus de 30 ans (enseignants).

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.



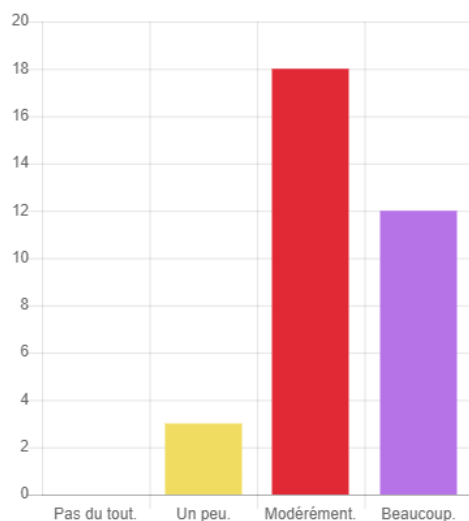
Intitulé des réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Etudiant (e).	30	93.75 %
Enseignant (e).	2	6.25 %

Figure 3. 21: Répartition des occupants selon le groupe d'utilisateur.

(Source : Auteur, 2021).

La figure 3.21 indique que l'échantillon de personnes interrogé est constitué de 93,73% d'étudiants et 6,25% d'enseignants.

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.



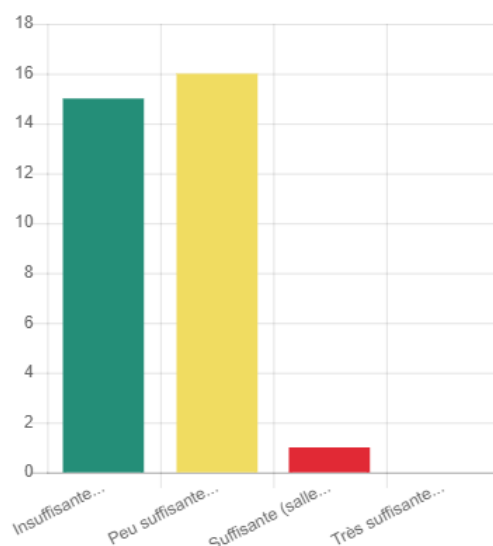
Intitulé des réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Pas du tout.	0	0 %
Un peu.	3	9.09 %
Modérément.	18	54.55 %
Beaucoup.	12	36.36 %

Figure 3. 22: Répartition des occupants selon le degré d'appréciation de la présence de la lumière naturelle dans les salles de dessin.

(Source : Auteur, 2021).

La figure 3.22 montre que 90.91% des sujets interrogés apprécient la présence de la lumière naturelle dans les salles de dessin, tandis que 9,09% apprécient peu ou pas du tout cette lumière.

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.



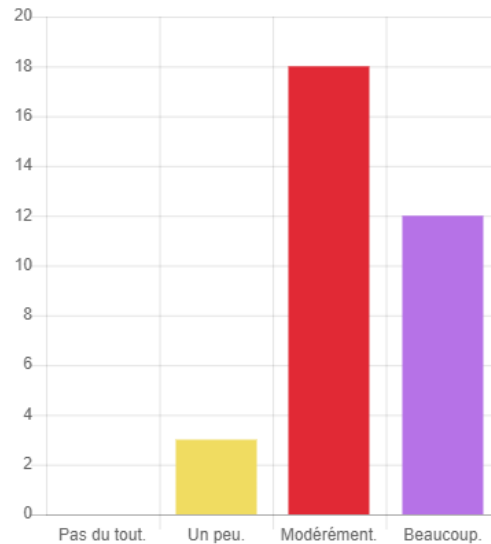
Intitulé des réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Insuffisante (salle sombre).	15	46.88 %
Peu suffisante (salle peu éclairée).	16	50 %
Suffisante (salle claire).	1	3.13 %
Très suffisante (salle très claire).	0	0 %

Figure 3. 23: Répartition des usagers selon la disponibilité de la lumière naturelle dans les salles de dessin en hiver.

(Source : Auteur, 2021).

Selon la figure 3.23, 96,88% de l'ensemble des usagers trouvent la lumière naturelle insuffisante ou peu suffisante dans les salles de dessin du bloc d'architecture pendant la période hivernale. Seulement 3,13% la trouve suffisante. Effectivement certaines salles orientées vers le Nord-est peuvent montrer une quantité de lumière naturelle suffisante pendant l'hiver, cependant le reste des salles notamment celles orientées vers le Sud-ouest ne disposent pas de lumière naturelle suffisante pendant cette période.

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.



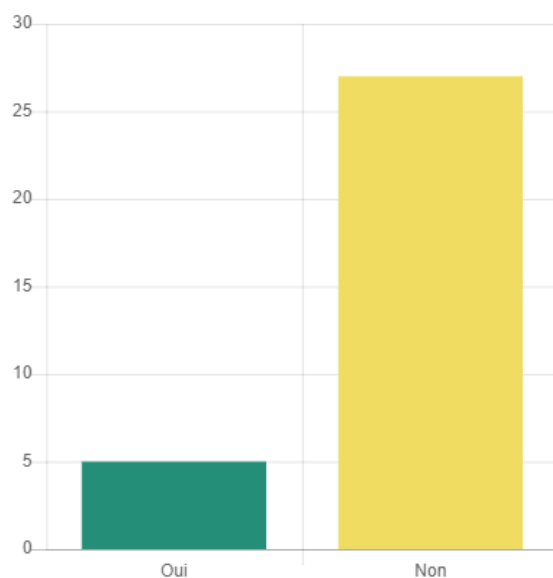
Intitulé des réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Insuffisante (salle sombre).	2	6.25 %
Peu suffisante (salle peu éclairée).	1	3.13 %
Suffisante (salle claire).	9	28.13 %
Très suffisante (salle très claire).	9	28.13 %
Excessive.	11	34.38 %

Figure 3. 24: Répartition des usagers selon la disponibilité de la lumière naturelle dans les salles de dessin en été.

(Source : Auteur, 2021).

Selon la figure 3.24, 56,26% % de l'ensemble des usagers trouvent que la lumière naturelle disponible dans les salles de dessin du bloc d'architecture suffisante ou très suffisante en période estivale. Tandis que 34,38% d'entre eux la trouve plutôt excessive. Seuls 3,13% la trouve peu suffisante et 6,25% insuffisante. Effectivement certaines salles orientées vers le Nord-est peuvent montrer une quantité de lumière naturelle suffisante voir excessive pendant l'été, cependant le reste des salles notamment celles orientées vers le Sud-ouest disposent de quantité de lumière moins importante mais tout en étant suffisante.

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.



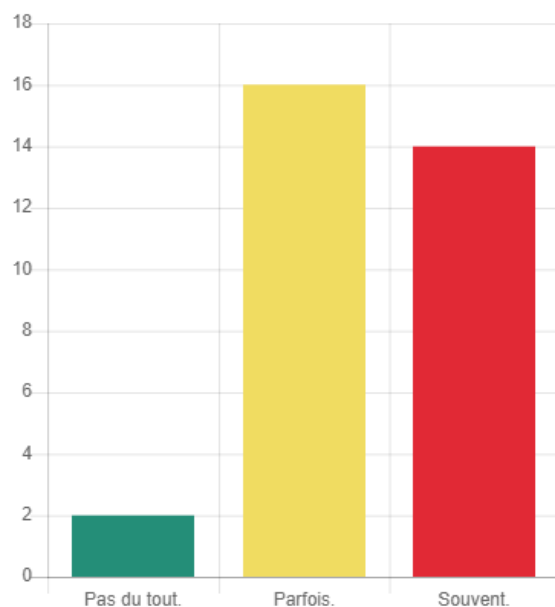
Intitulé des réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Oui	5	15.63 %
Non	27	84.38 %

Figure 3. 25: Répartition des occupants selon leur appréciation de la lumière solaire directe.

(Source : Auteur, 2021).

Selon la figure 3.25, 84,38% des sujets interrogés n'apprécient pas du tout la présence de la lumière solaire directe dans leur champ visuel. Effectivement cette lumière directe est source d'éblouissement et d'inconfort visuel.

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.



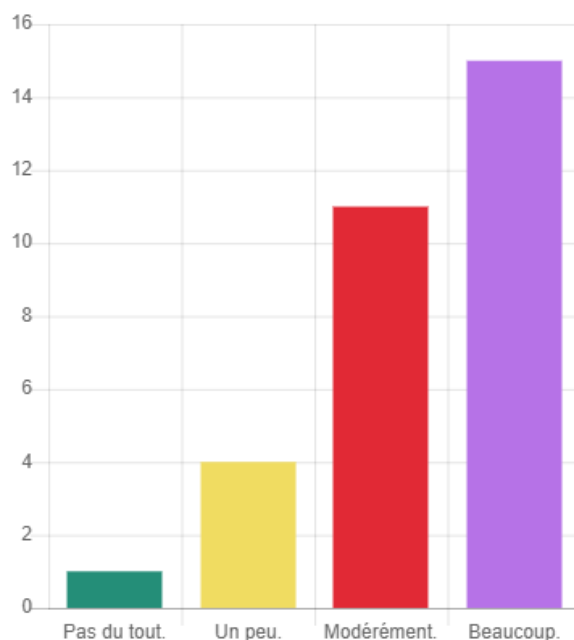
Intitulé des réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Pas du tout.	2	6.25 %
Parfois.	16	50 %
Souvent.	14	43.75 %

Figure 3. 26: Répartition des occupants selon leur réception de tâches solaires sur leur plan de travail.

(Source : Auteur, 2021).

La figure 3.26 indique que 43,75% de l'ensemble des usagers interrogés reçoivent souvent des tâches solaires sur leurs tables de travail, 50% déclarent les recevoir parfois et 6,25% affirment qu'ils n'en reçoivent pas du tout. Ces résultats dépendent en majeure partie de l'aménagement intérieur de ces salles de la position des plans de travail par rapport aux ouvertures.

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.



Intitulé des réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Pas du tout.	1	3.23 %
Un peu.	4	12.9 %
Modérément.	11	35.48 %
Beaucoup.	15	48.39 %

Figure 3. 27: Répartition des occupants selon leur gêne ressentie dans leur travail à cause de la présence des rayons solaires directs.

(Source : Auteur, 2021).

La figure 3.27 indique que 83,87% de l'ensemble des usagers interrogés ressentent beaucoup de gêne dans leur travail à cause de la présence des rayons solaires directs. 16,13% déclarent ressentir un peu de gêne. Seuls 3,23% affirment qu'ils ne ressentent pas du tout de gêne dans leur travail. Ces résultats confirment que les rayons solaires directs sont source d'inconfort visuel dans les salles de dessins.

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.

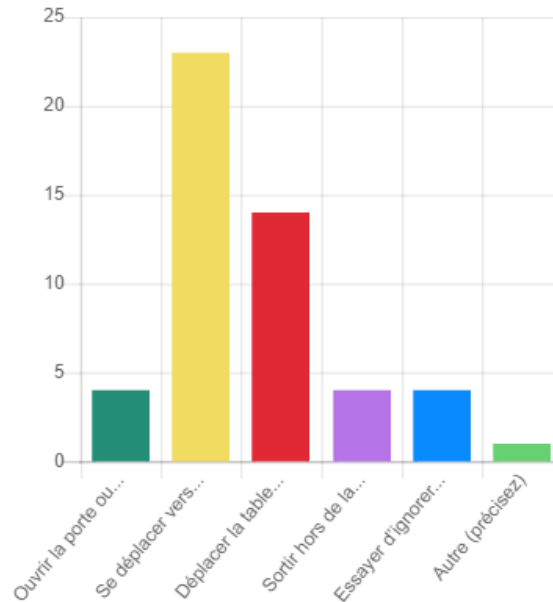


Figure 3. 28: Répartition des occupants selon leurs actions lorsque la lumière solaire est intense sur leur plan de travail.

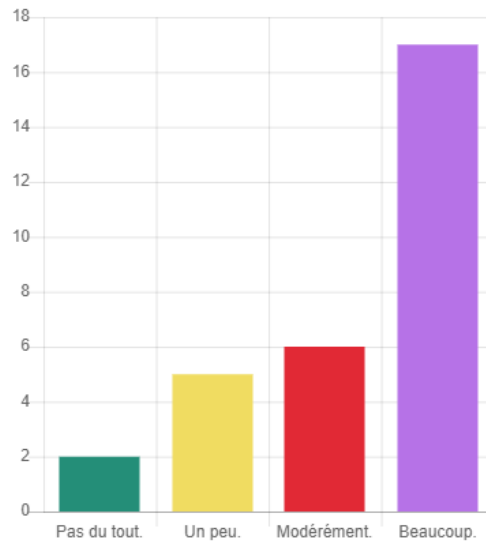
(Source : Auteur, 2021).

Le comportement des occupants lorsque la lumière solaire est intense sur leur plan de travail se traduit par la majorité par :

- Leur déplacement vers une autre table plus confortable dans la salle.
- Le déplacement de la table dans une zone ombrée de la salle.

En effet, l'action majeure des occupants lorsqu'ils ressentent cet inconfort est le déplacement afin de l'éviter.

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.



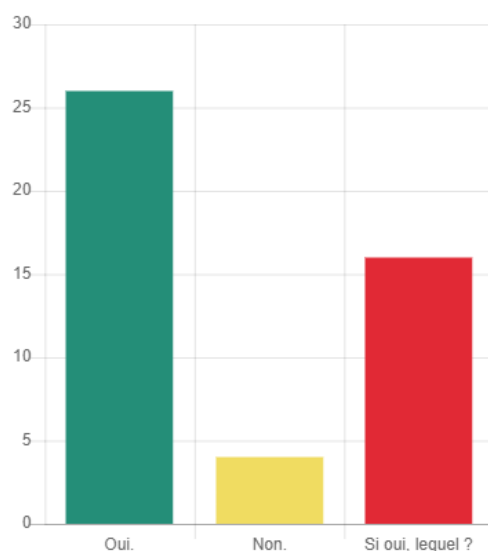
Intitulé des réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Pas du tout.	2	6.67 %
Un peu.	5	16.67 %
Modérément.	6	20 %
Beaucoup.	17	56.67 %

Figure 3. 29: Répartition des occupants selon leur gêne causée par la réflexion des rayons solaires sur le tableau.

(Source : Auteur, 2021).

La figure 3.29 indique que 76,67% de l'ensemble des occupants interrogés déclarent ressentir beaucoup de gêne causée par la réflexion des rayons solaires sur le tableau. Tandis que 16,67% ressentent un peu de gêne et 6,67% affirment ne pas l'être du tout. Ces résultats confirment que la réflexion des rayons solaires est source d'inconfort visuel dans les salles de dessins, cela est en raison de la pénétration de la lumière solaire directe à travers les ouvertures unilatérales de la salle.

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.



Intitulé des réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Oui.	26	86.67 %
Non.	4	13.33 %
Si oui, lequel ?	16	53.33 %

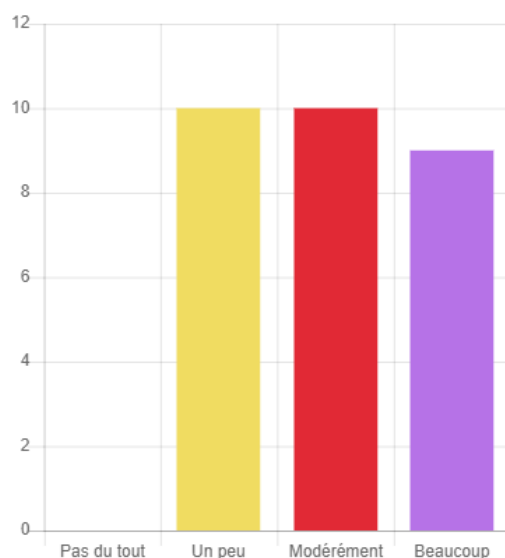
Figure 3. 30: Répartition des occupants selon leur volonté d'avoir une protection solaire.

(Source : Auteur, 2021).

Selon la figure 3.30, 86,67% de l'ensemble des sujets interrogés voudraient avoir un système de contrôle solaire afin de contrôler la pénétration des rayons solaires. Parmi leurs propositions on cite : Stores plissés, des rideaux, un auvent, le moucharabieh, des vitres teintées.

Effectivement, l'utilisation de protections solaires est nécessaire, notamment dans les salles avec des éclairagements lumineux excessifs.

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.



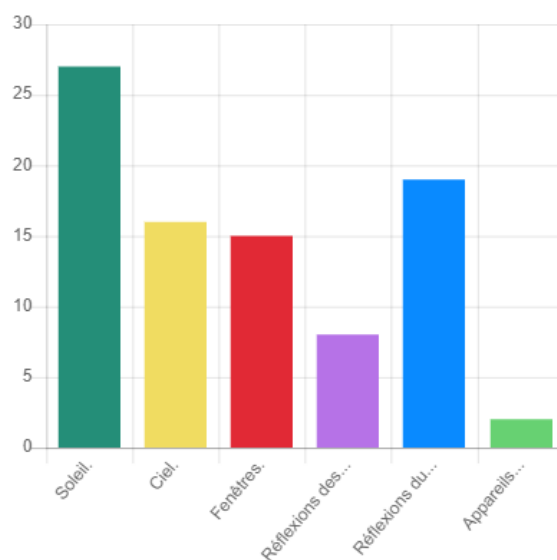
Intitulé des réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Pas du tout	0	0 %
Un peu	10	34.48 %
Modérément	10	34.48 %
Beaucoup	9	31.03 %

Figure 3. 31: Répartition des occupants selon le degré d'éblouissement.

(Source : Auteur, 2021).

D'après la figure 3.31, 31,03% de l'ensemble des usagers interrogés souffrent beaucoup du phénomène d'éblouissement, 34,48% en souffrent modérément, 34,48% en souffrent un peu de l'éblouissement. Selon les sujets interrogés, le phénomène d'éblouissement est courant. Il est directement lié au dispositif d'éclairage unilatéral qui permet de faire pénétrer de la lumière naturelle directe dans le champ de visions des occupants.

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.



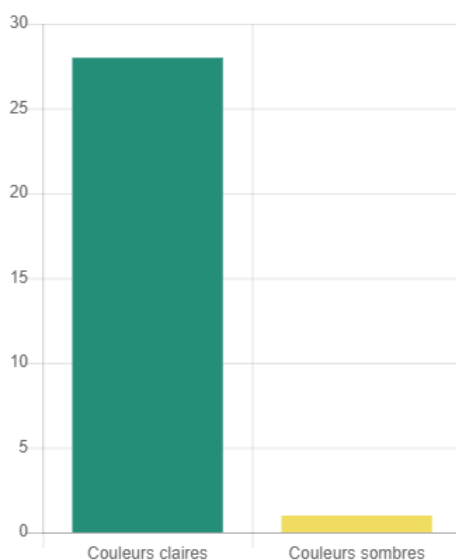
Intitulé des réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Soleil.	27	93.1 %
Ciel.	16	55.17 %
Fenêtres.	15	51.72 %
Réflexions des parois internes.	8	27.59 %
Réflexions du tableau.	19	65.52 %
Appareils d'éclairage électrique.	2	6.9 %

Figure 3. 32: Répartition des occupants selon les sources d'éblouissement qui les gênent.

(Source : Auteur, 2021).

D'après la figure 3.32, les sources de l'éblouissement selon les sujets interrogés sont, par ordre: le soleil, les réflexions du tableau, le ciel, les fenêtres, les réflexions des parois internes et enfin les appareils d'éclairage électrique.

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.



Intitulé des réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Couleurs claires	28	96.55 %
Couleurs sombres	1	3.45 %

Figure 3. 33: Répartition des occupants selon leur choix de couleur concernant le revêtement intérieur de la salle de dessin.

(Source : Auteur, 2021).

Selon la figure 3.33, 96,55% des usagers des salles de dessin du bloc d'architecture souhaiteraient avoir des couleurs claires en ce qui concerne le revêtement intérieur de ces salles. En effet, les parois de couleurs claires et mates sont à favoriser, et ce afin de bien diffuser la lumière, sans former de reflets brillants et éviter un fort contraste.

Pour ce qui est de la dernière question, c'est une question ouverte qui demande aux usagers de proposer des solutions afin d'améliorer le confort visuel des salles de dessins du bloc d'architecture, les réponses ont été comme suit :

- L'utilisation des stores.
- L'élimination des arbres, utilisation des brise-soleil, la recherche de l'éclairage zénithal.
- Par l'exploitation des murs avec de multiples dessins, et l'utilisation d'une lumière artificielle qui peut être contrôlée selon les besoins du propriétaire, et enfin

Chapitre 3 : Etude empirique du confort visuel des salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia.

l'installation des systèmes de protection solaire et mieux aménager l'extérieur des salles avec des jardins et des pergolas.

- En mettant des protections solaires et en embellissant l'espace avec des couleurs ainsi que des vues extérieures agréables.
- Une protection solaire adaptée comme une façade à double peau.

Après avoir recueilli les réponses des usagers des salles de dessin du bloc d'architecture, nous pouvons dire que les sujets interrogés ont confirmé les résultats obtenus lors des prises de mesure, en effet des problèmes d'éblouissement, de zones d'ombre, et de lumière naturelle excessive.

Conclusion:

Pour conclure, nous pouvons dire que le dispositif d'éclairage utilisé pour éclairer une salle est très important, en l'occurrence, dans notre cas, la présence de l'éclairage unilatéral a eu d'énormes répercussions sur la quantité des éclairagements lumineux présents dans les salles.

D'une part, la directivité des rayons solaires générée par ce genre de dispositif, cause le phénomène de l'éblouissement, d'une autre part, la présence de zones d'ombres causée par les rayons lumineux qui parviennent derrière le dos des occupants selon l'aménagement intérieur des salles, se révèle être synonyme d'inconfort visuel.

L'orientation des ouvertures joue également un rôle important dans la disponibilité et la gestion de la lumière naturelle, dans le cas où l'orientation cause des éclairagements lumineux intenses, il est recommandé d'utiliser des protections solaires afin de limiter les excès de rayons solaires.

Nous pouvons également mentionner que les réponses du questionnaire de satisfaction confirme les résultats obtenus par les prises de mesures, effectivement la majorité des sujets interrogés révèlent des problèmes d'éblouissement, de tâches solaires, de lumière excessive en été en insuffisante en hiver, et préconisent l'utilisation de protections solaires adaptées.

**Chapitre 4: Étude et optimisation du confort visuel par la
simulation numérique.**

Chapitre 4 : Etude et optimisation du confort visuel par la simulation numérique.

Introduction :

Les techniques de simulation numérique de la performance d'un bâtiment en termes d'éclairage naturel ou artificiel, sont de plus en plus répandues durant ces dernières années. En effet, le recours vers ce genre de techniques est indispensable dans le domaine de la recherche. En ce qui concerne l'éclairage naturel, les outils de simulation numérique nous offre la possibilité de déterminer un dimensionnement optimal ainsi qu'une stratégie d'éclairage adéquate pour un local neuf ou existant, et ce à travers des calculs rapides et peu onéreux. Ces calculs dépendent de l'interaction de plusieurs paramètres tels que l'horaire, les conditions climatiques de la région, la couleur et la réflexion des parois et du type de dispositifs d'éclairage...

Dans notre cas, nous avons utilisé le logiciel ArchiWIZARD afin de vérifier les résultats obtenus lors de l'évaluation quantitative.

1 Présentation du logiciel utilisé :

Le logiciel Archiwizard est un logiciel de simulation produit par la société RAYCREATIS. Ce logiciel permet d'effectuer des simulations numériques ainsi que des bilans énergétiques. Il cible plusieurs aspects du confort tels que le confort lumineux, le confort thermique ainsi que la qualité bioclimatique.

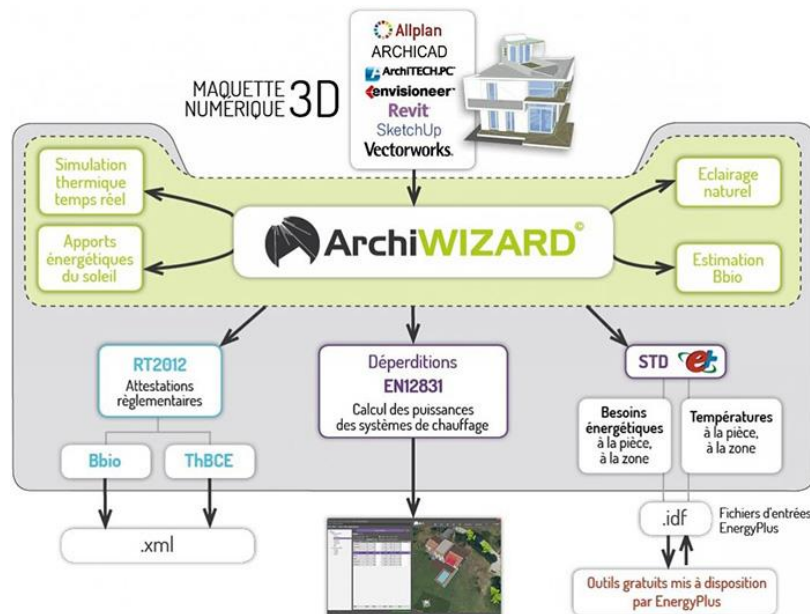


Figure 4. 1: Propriétés du logiciel ArchiWIZARD.

(Source : <https://fr.graitec.com/archiwizard/overview/>)

Chapitre 4 : Etude et optimisation du confort visuel par la simulation numérique.

Concernant le confort lumineux, ArchiWIZARD permet d'analyser avec parcimonie tout ce qui est relatif à l'ensoleillement et à l'irradiation solaire afin d'évaluer les performances d'un local et d'optimiser l'utilisation de l'énergie solaire. Parmi les opportunités que nous offre ce logiciel :

- La réalisation d'une cartographie solaire 3D.
- Indiquer les zones d'ombres selon des horaires définies.
- Présenter un support pour le dimensionnement des ouvertures et le choix de protections solaires.
- Analyse en détail le rayonnement solaire.

2 Les étapes de travail :

Les étapes du travail de simulation via le logiciel de simulation ArchiWIZARD, sont les suivantes :

- Tout d'abord nous allons commencer par la modélisation de notre projet sur le logiciel ARCHICAD :

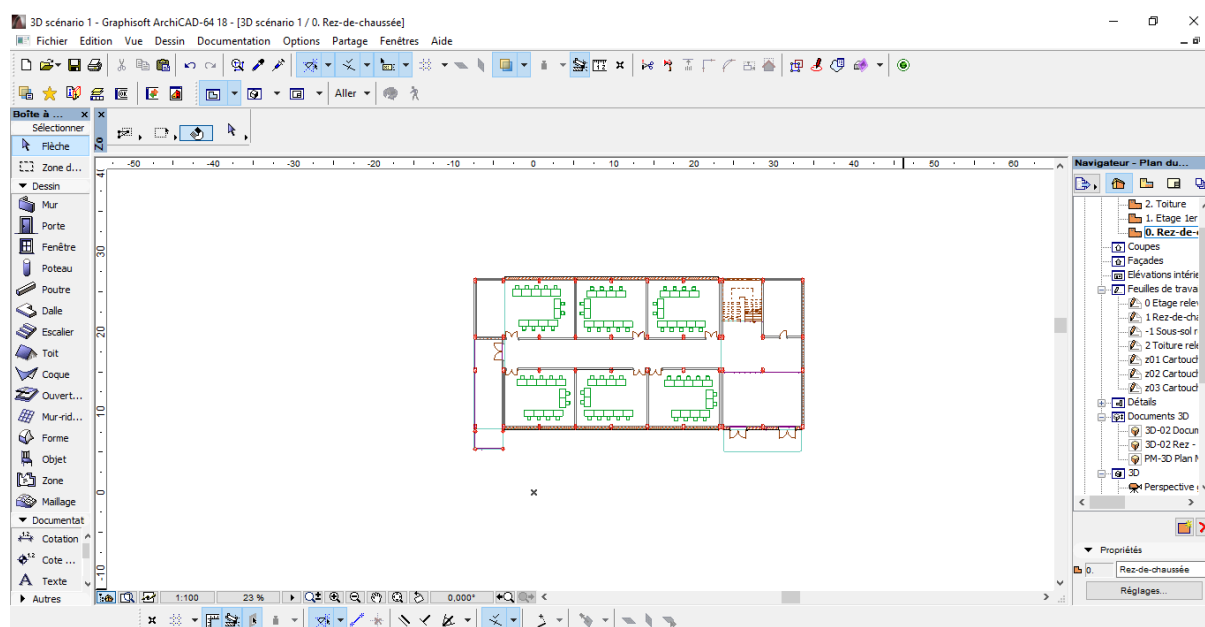


Figure 4. 2: Modélisation du projet sur le logiciel ARCHICAD.

(Source : Auteur, 2021.)

- Nous allons ensuite importer notre fichier 3D, enregistré sous format « skp » :

Chapitre 4 : Etude et optimisation du confort visuel par la simulation numérique.

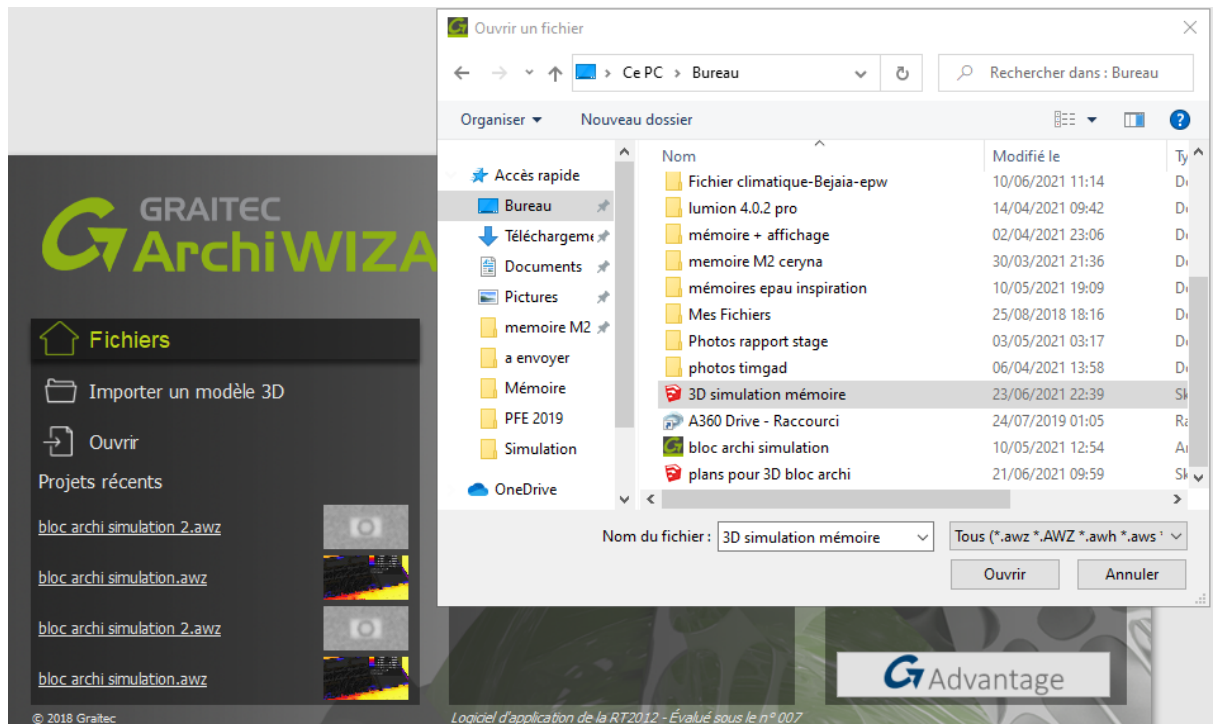


Figure 4. 3: Importation du modèle 3D.

(Source : Auteur, 2021.)

- On sélectionne le fichier climatique de la région.
- On définit la date de construction et l'usage du bâtiment.
- On vérifie la catégorie ArchiWIZARD des éléments 3D importés.
- On définit l'échelle de la scène correspondante.
- On règle la date et l'heure de la simulation.
- On règle l'orientation du bâtiment.
- On configure les différentes pièces du local.
- On configure les zones.
- On définit le besoin d'éclairage de chaque zone.
- On vérifie la configuration des parois.
- On vérifie la configuration des baies.
- On insère les ombres portées.

Chapitre 4 : Etude et optimisation du confort visuel par la simulation numérique.

- On insère l'imagerie solaire.

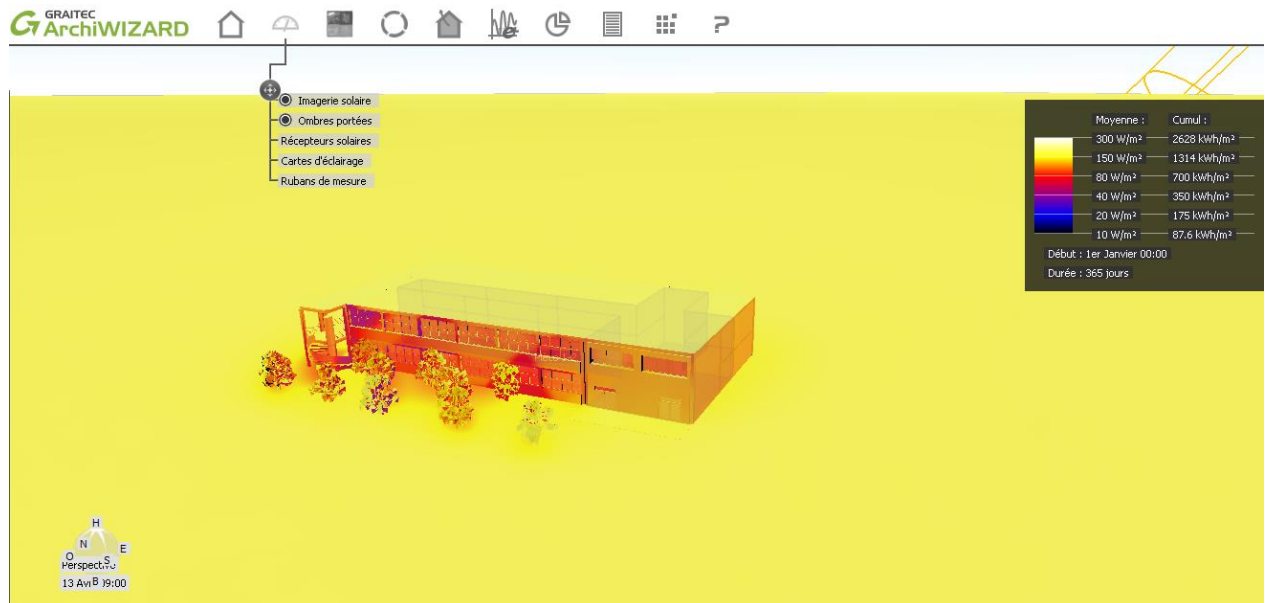


Figure 4. 4: Insertion de l'imagerie solaire.

(Source : Auteur, 2021.)

- On configure le type de calcul, ici on choisit l'exposition au soleil :

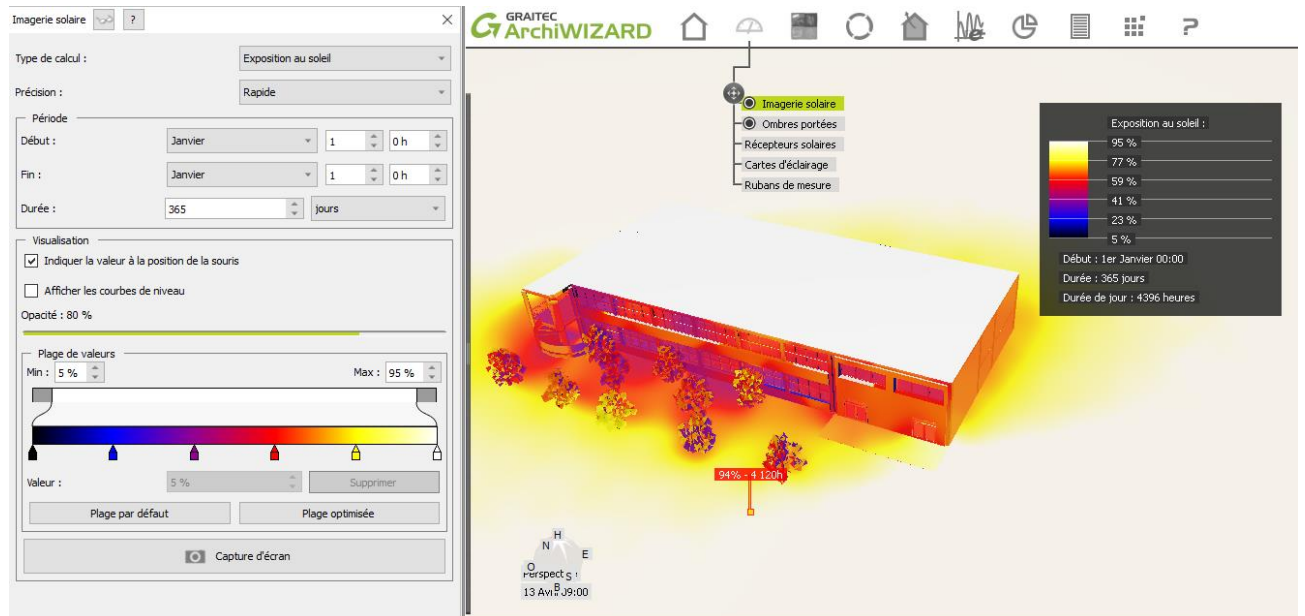


Figure 4. 5: La configuration du type de calcul.

(Source : Auteur, 2021.)

Chapitre 4 : Etude et optimisation du confort visuel par la simulation numérique.

- On insère la carte d'éclairage pour la salle n°05 ainsi que pour la salle n°09 (on règle les dimensions et la hauteur du plan utile) :

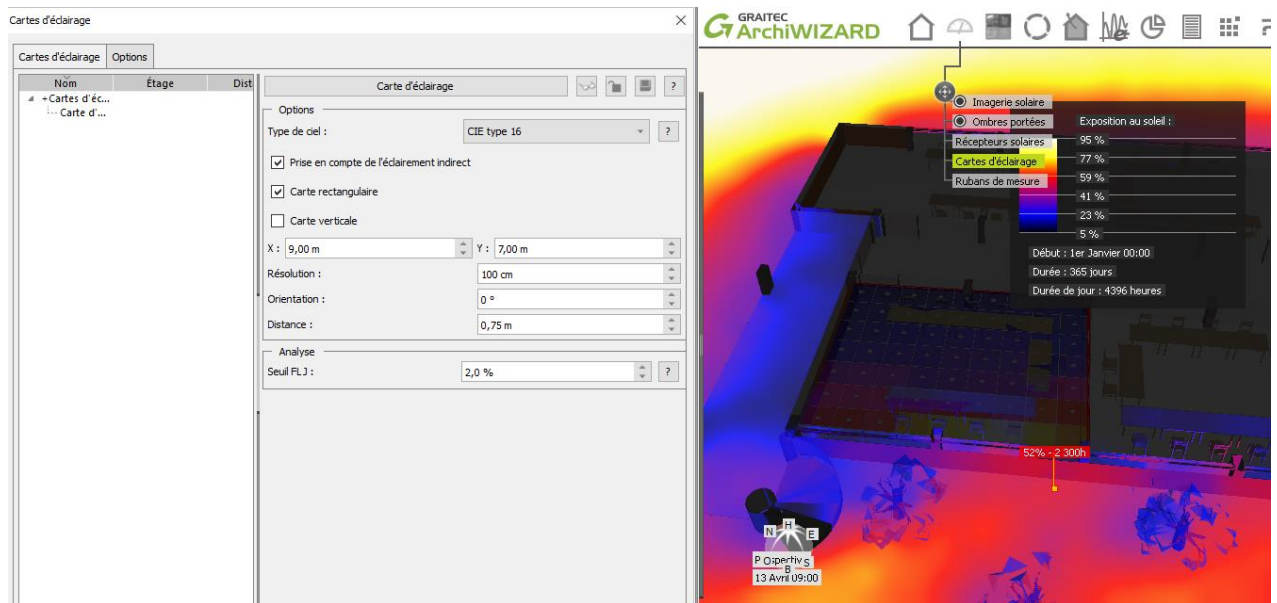


Figure 4. 6: Insertion de la carte d'éclairage de la salle n°05 et n°09.

(Source : Auteur, 2021.)

- On lance la simulation :

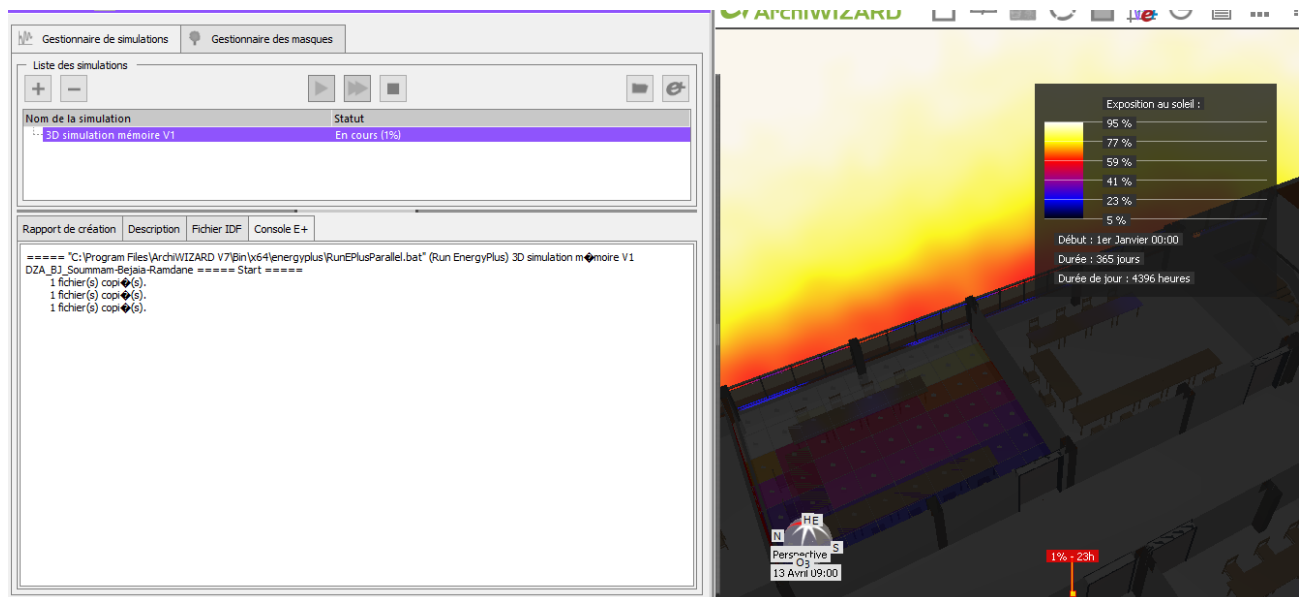


Figure 4. 7: Lancer la simulation.

(Source : Auteur, 2021.)

Chapitre 4 : Etude et optimisation du confort visuel par la simulation numérique.

- On produit le rapport des résultats en PDF :

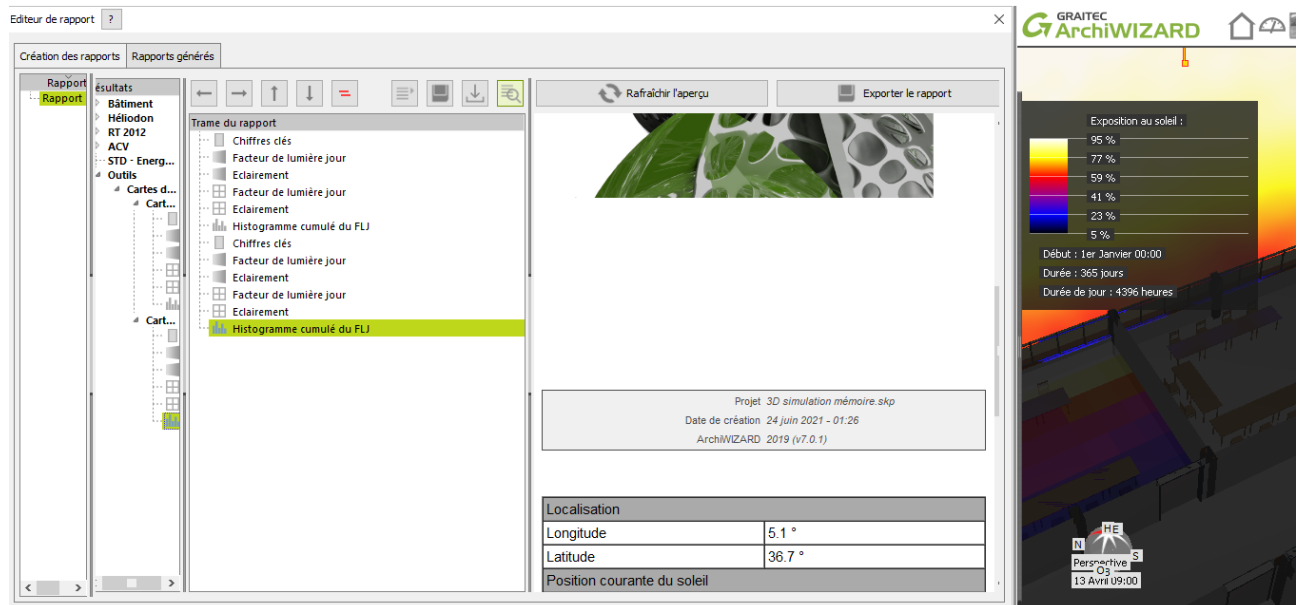


Figure 4. 8: La production du rapport en PDF.

(Source : Auteur, 2021.)

3 Résultats et interprétation

Après avoir effectué la simulation numérique, nous avons obtenus les résultats suivants :

Salle n°05 :

Après avoir effectué la simulation de la lumière naturelle dans la salle 05 nous avons obtenu les résultats suivants :

09h GMT :

La figure ci-dessous illustre les résultats obtenus lors de la prise de mesure des éclaircissements dans salle à 09h00 :

Chapitre 4 : Etude et optimisation du confort visuel par la simulation numérique.

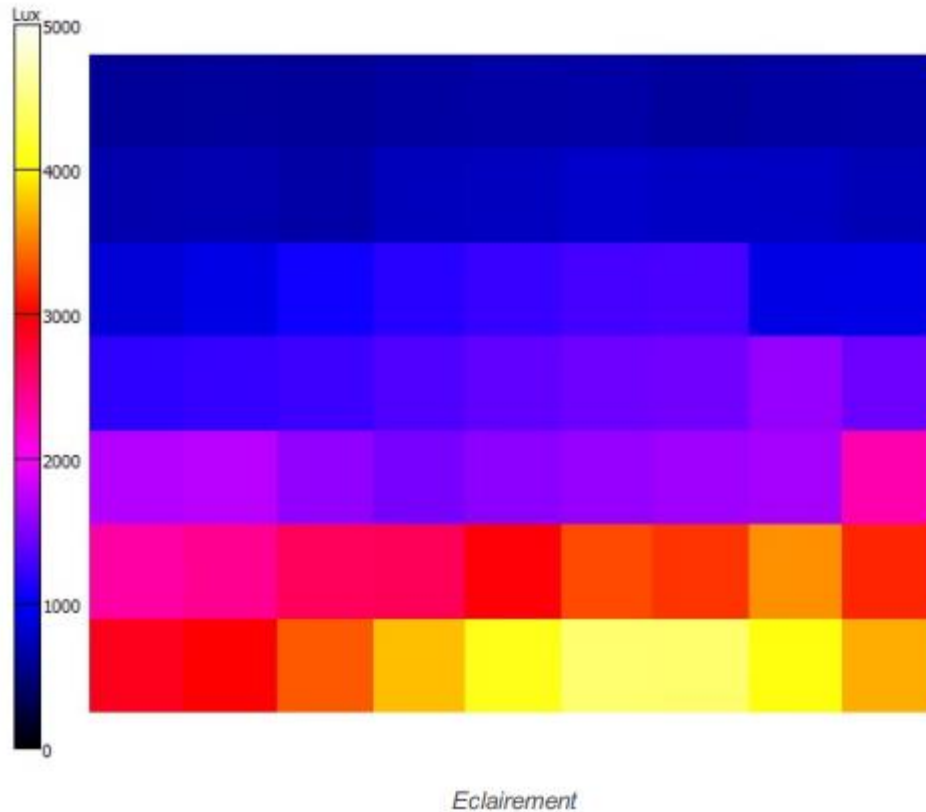


Figure 4. 9: Répartition de l'éclairage dans la salle à 09h.

(Source : Auteur, 2021.)

La simulation a été effectuée selon le même jour de la prise de mesure, cette journée étant en période d'équinoxe, l'azimut du soleil au lever est égal à l'est. Les ouvertures de la salle étant orientées au sud-ouest, la quantité de lumière disponible le matin n'est pas à son maximum. De plus, le masque solaire imposant se trouvant à l'extérieur de la salle, représenté par des arbres à feuillage persistant dense ne permet pas la pénétration totale de cette lumière.

La figure 4.9 nous renseigne sur la distribution et répartition de l'éclairage lumineux dans la salle. Effectivement, la paroi intérieure Sud-ouest est directement ensoleillée, cela est dû à la position du soleil et à l'effet directif des ouvertures unilatérales verticales se trouvant le long des parois, et plus nous nous éloignons de cette paroi, plus les valeurs de l'éclairage lumineux atteignent le minimum. Par conséquent, nous pouvons affirmer qu'il y a une distribution asymétrique de la lumière. Ajoutons à cela que le tableau se trouvant dans la paroi Sud-est, est directement ensoleillé, et peut être la cause d'éblouissement indirect des occupants.

Chapitre 4 : Etude et optimisation du confort visuel par la simulation numérique.

12h GMT :

La figure ci-dessous montre les résultats obtenus lors de la prise de mesure des éclairagements dans la salle à 12h00 :

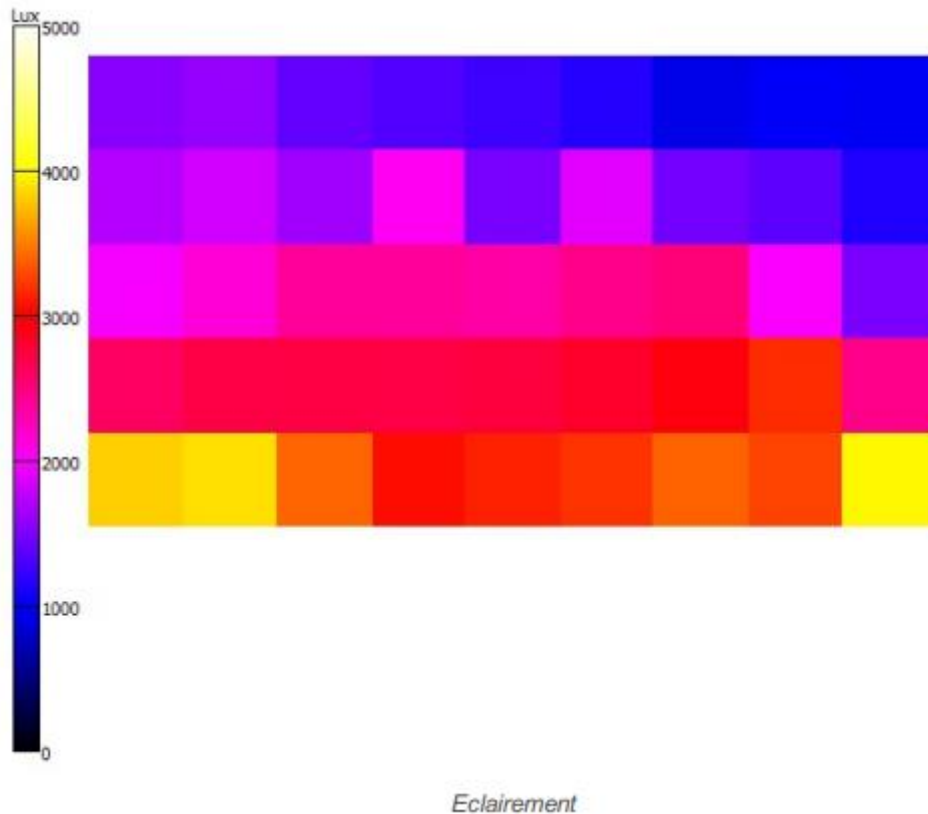


Figure 4. 10: Répartition de l'éclairément dans la salle à 12h.

(Source : Auteur, 2021.)

A cette heure ci, le soleil se situe au Sud et permet de faire pénétrer une quantité importante de lumière, cependant elle est légèrement supérieure à la matinée, de plus le masque solaire imposant se trouvant à l'extérieur de la salle, représenté par des arbres à feuillage dense ne permet pas la pénétration totale de cette lumière.

Nous remarquons sur la figure 4.10 que les valeurs de l'éclairément lumineux sont légèrement plus élevées qu'à 09h du matin. Cependant la distribution de la lumière solaire est tout autant asymétrique dû au dispositif d'éclairage unilatéral présent dans la salle : la paroi intérieure Sud-ouest est directement ensoleillée, et plus nous nous éloignons de cette paroi, plus les valeurs de l'éclairément lumineux atteignent le minimum. Ajoutons à cela

Chapitre 4 : Etude et optimisation du confort visuel par la simulation numérique.

que le tableau se trouvant dans la paroi Sud-est, est directement ensoleillé, et peut être la cause d'éblouissement indirect des occupants.

15h GMT :

La figure ci-dessous montre les résultats obtenus lors de la prise de mesure des éclairagements dans salle à 15h00 :

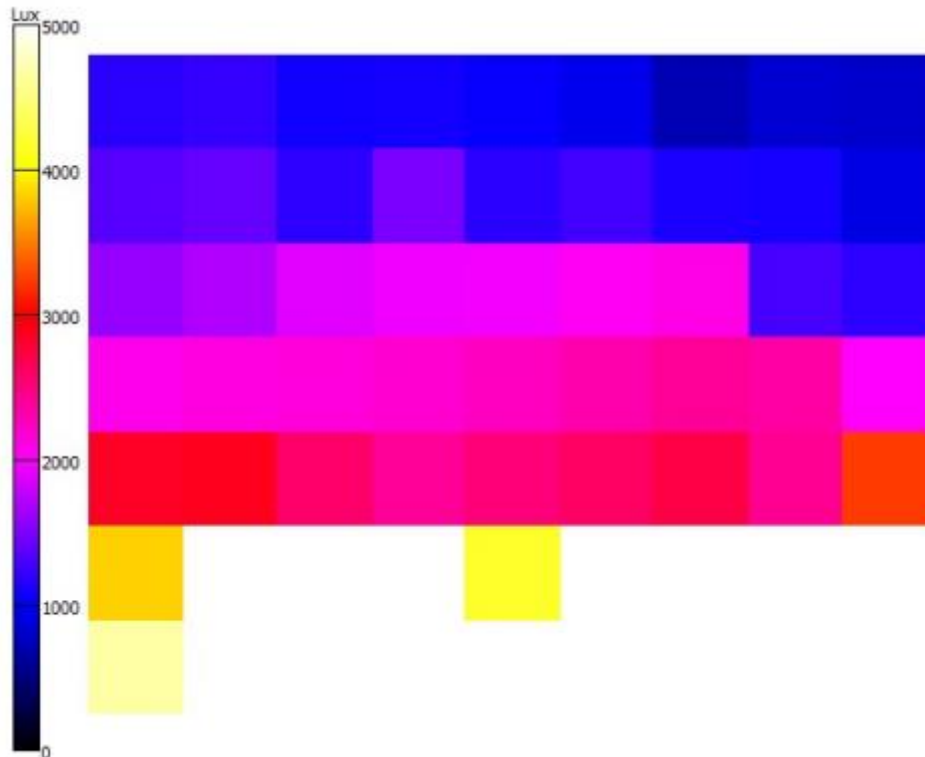


Figure 4. 11: Répartition de l'éclairément dans la salle à 15h.

(Source : Auteur, 2021.)

Selon la figure 4.11, nous constatons le même problème de la distribution asymétrique de la lumière solaire en raison du dispositif d'éclairage unilatéral présent dans la salle, en effet, la paroi intérieure Sud-ouest est directement ensoleillée, et plus nous nous éloignons de cette paroi, plus les valeurs de l'éclairément lumineux atteignent le minimum. Ajoutons à cela que le tableau se trouvant dans la paroi Sud-est, est directement ensoleillé, et peut être la cause d'éblouissement indirect des occupants.

Chapitre 4 : Etude et optimisation du confort visuel par la simulation numérique.

Salle n°09 :

Après avoir effectué la simulation de la lumière naturelle dans la salle 09 nous avons obtenu les résultats suivants :

09h GMT :

La figure ci-dessous montre les résultats obtenus lors de la prise de mesure des éclairagements dans salle à 09h00 :

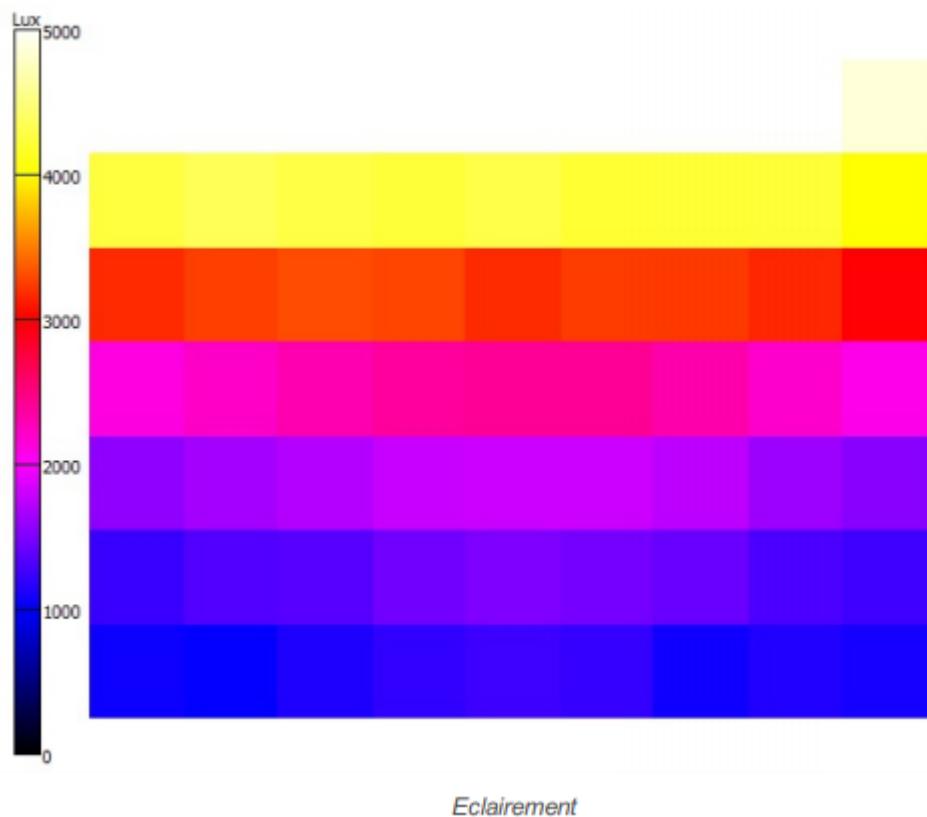


Figure 4. 12: Répartition de l'éclairagement dans la salle à 09h.

(Source : Auteur, 2021.)

La simulation a été effectuée selon le même jour de la prise de mesure, cette journée étant en période d'équinoxe, l'azimut du soleil au lever est égal à l'est. Les ouvertures de la salle étant orientées au sud-ouest, la quantité de lumière disponible le matin est à son maximum. De plus, le masque solaire imposant se trouvant à l'extérieur de la salle, représenté par des arbres à feuillage dense ne permet pas la pénétration totale de cette lumière.

Chapitre 4 : Etude et optimisation du confort visuel par la simulation numérique.

La figure 4.12 nous renseigne sur la distribution et répartition de l'éclairement lumineux dans la salle. Effectivement, la paroi intérieure Nord-est est directement ensoleillée, cela est dû à la position du soleil et à l'effet directif des ouvertures unilatérales verticales se trouvant le long des parois, et plus nous nous éloignons de cette paroi, plus les valeurs de l'éclairement lumineux atteignent le minimum laissant place à une zone sombre. Par conséquent, nous pouvons affirmer qu'il y'a une distribution asymétrique de la lumière.

La partie de la salle se situant sous la trajectoire de la lumière directe, affiche des valeurs d'éclairement excessives pouvant causer un inconfort visuel, cela est entièrement dû au type d'ouvertures (larges et unilatérales) non muni d'une protection solaire pouvant contrer les rayons lumineux intenses.

Le dispositif d'éclairage unilatéral présent dans ces salles permet de faire pénétrer une lumière directe non uniforme. D'un côté, cette lumière directionnelle se trouvant derrière le dos des étudiants, peut provoquer des ombres sur les plans de travail qui risquent de les gêner dans l'exécution de leurs différentes tâches, d'un autre côté, ces ouvertures sont également situées dans le champ de visions d'autres étudiants pouvant provoquer un éblouissement direct. Ajoutons à cela que le tableau se trouvant dans la paroi Sud-est, est directement ensoleillé, et peut être la cause d'éblouissement indirect des occupants.

12h GMT :

La figure ci-dessous montre les résultats obtenus lors de la prise de mesure des éclairagements dans salle à 12h00 :

Chapitre 4 : Etude et optimisation du confort visuel par la simulation numérique.

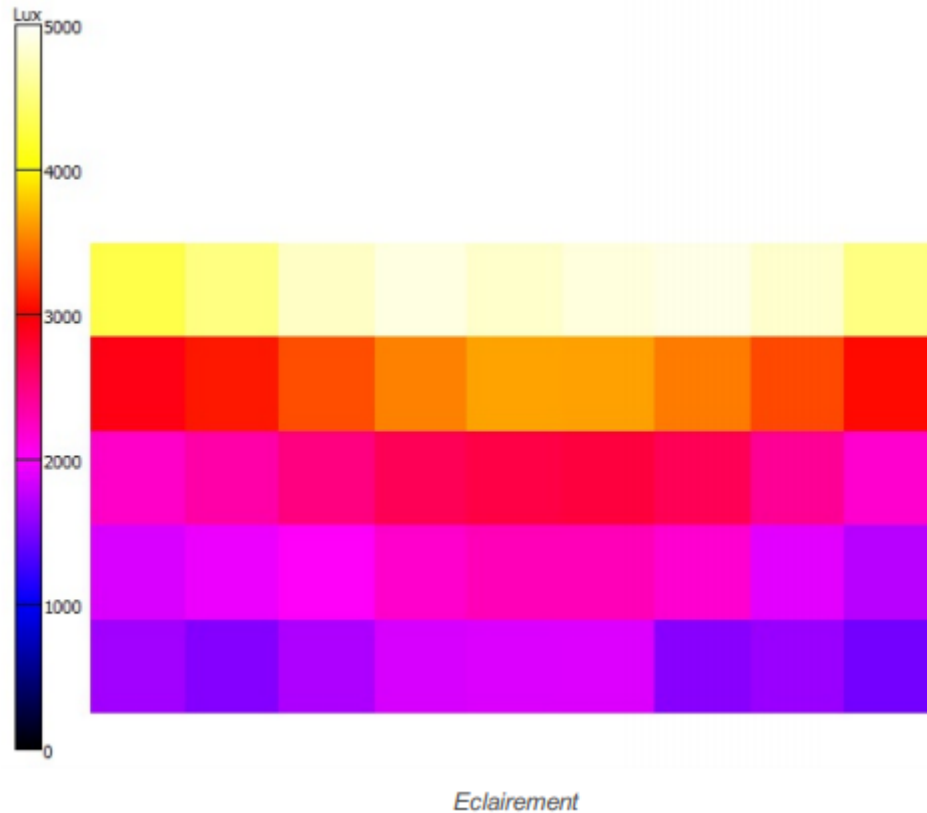


Figure 4. 13: Répartition de l'éclairage dans la salle à 12h.

(Source : Auteur, 2021.)

A cette heure ci, le soleil se situe au Sud, les ouvertures de la salle étant orientées au Nord-est, permet de faire pénétrer une quantité importante de lumière, cependant elle est légèrement supérieure à la matinée.

Cependant la distribution de la lumière solaire est tout autant asymétrique dû au dispositif d'éclairage unilatéral présent dans la salle : la paroi intérieure Sud-ouest est directement ensoleillée, et plus nous nous éloignons de cette paroi, plus les valeurs de l'éclairage lumineux atteignent le minimum. La partie de la salle se situant sous la trajectoire de la lumière directe, affiche des valeurs d'éclairage excessives pouvant causer un inconfort visuel, cela est entièrement dû au type d'ouvertures (larges et unilatérales) non muni d'une protection solaire pouvant contrer les rayons lumineux intenses.

Le dispositif d'éclairage unilatéral présent dans ces salles permet de faire pénétrer une lumière directe non uniforme. D'un côté, cette lumière directionnelle se trouvant derrière le dos des étudiants, peut provoquer des ombres sur les plans de travail qui risquent de les

Chapitre 4 : Etude et optimisation du confort visuel par la simulation numérique.

gêner dans l'exécution de leurs différentes tâches, d'un autre côté, ces ouvertures sont également situées dans le champ de visions d'autres étudiants pouvant provoquer un éblouissement direct. Ajoutons à cela que le tableau se trouvant dans la paroi Sud-est, est directement ensoleillé, et peut être la cause d'éblouissement indirect des occupants.

15h GMT :

La figure ci-dessous montre les résultats obtenus lors de la prise de mesure des éclairagements dans salle à 15h00 :

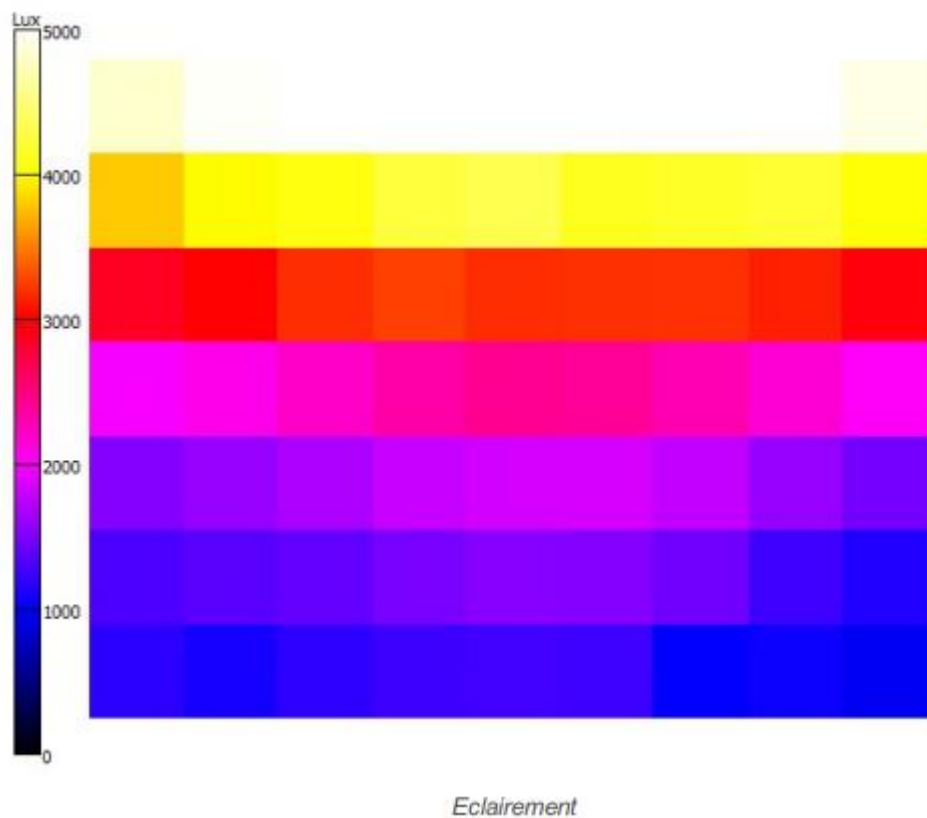


Figure 4. 14: Répartition de l'éclairage dans la salle à 15h.

(Source : Auteur, 2021.)

Durant l'après midi, la quantité de lumière disponible dans le ciel est nettement inférieure que les valeurs enregistrées plutôt dans la journée.

Cependant la distribution de la lumière solaire est tout autant asymétrique dû au dispositif d'éclairage unilatéral présent dans la salle : la paroi intérieure Nord-est est

Chapitre 4 : Etude et optimisation du confort visuel par la simulation numérique.

directement ensoleillée, et plus nous nous éloignons de cette paroi, plus les valeurs de l'éclairement lumineux atteignent le minimum. La partie de la salle se situant sous la trajectoire de la lumière directe, affiche des valeurs d'éclairement excessives pouvant causer un inconfort visuel, cela est entièrement dû au type d'ouvertures (larges et unilatérales) non muni d'une protection solaire pouvant contrer les rayons lumineux intenses.

Ajoutons à cela que le tableau se trouvant dans la paroi Sud-est, est directement ensoleillé, et peut être la cause d'éblouissement indirect des occupants.

Après avoir interprété les résultats de la simulation numérique, nous pouvons affirmer les résultats obtenus lors de l'évaluation quantitative et qualitative, en effet, la simulation nous mène à la même déduction, à savoir que le dispositif d'éclairage unilatéral a de nombreux désavantages, ce dernier est responsable de l'éblouissement et des zones d'ombre dans la pièce. Les masques solaires également empêchent la pénétration de la lumière naturelle, et créent un inconfort visuel pour les occupants. La lumière naturelle directe peut être évitée, en ayant recours à des protections solaires car cette dernière est désagréable pour les occupants de l'espace et ne permet pas l'exécution des tâches correctement.

4 L'optimisation du confort visuel:

Suite aux résultats obtenus lors de l'évaluation quantitative, qualitative et la simulation numérique, nous avons noté de nombreux problèmes liés à l'éclairage naturel des salles, nous avons donc décidé de modifier quelques paramètres et d'apporter des solutions, permettant d'optimiser le confort visuel dans les salles de dessin du bloc d'architecture :

- Nous avons proposé d'éliminer l'escalier extérieur ainsi que la végétation dense qui présentait un masque solaire important.
- Nous avons opté pour des débordements de dalle comme protection solaire.

Après avoir effectué ces changements voici les résultats obtenus :

Chapitre 4 : Etude et optimisation du confort visuel par la simulation numérique.

Salle 05 :

Après avoir optimisé les paramètres cités précédemment, dans la salle 05 nous avons obtenu les résultats suivants :

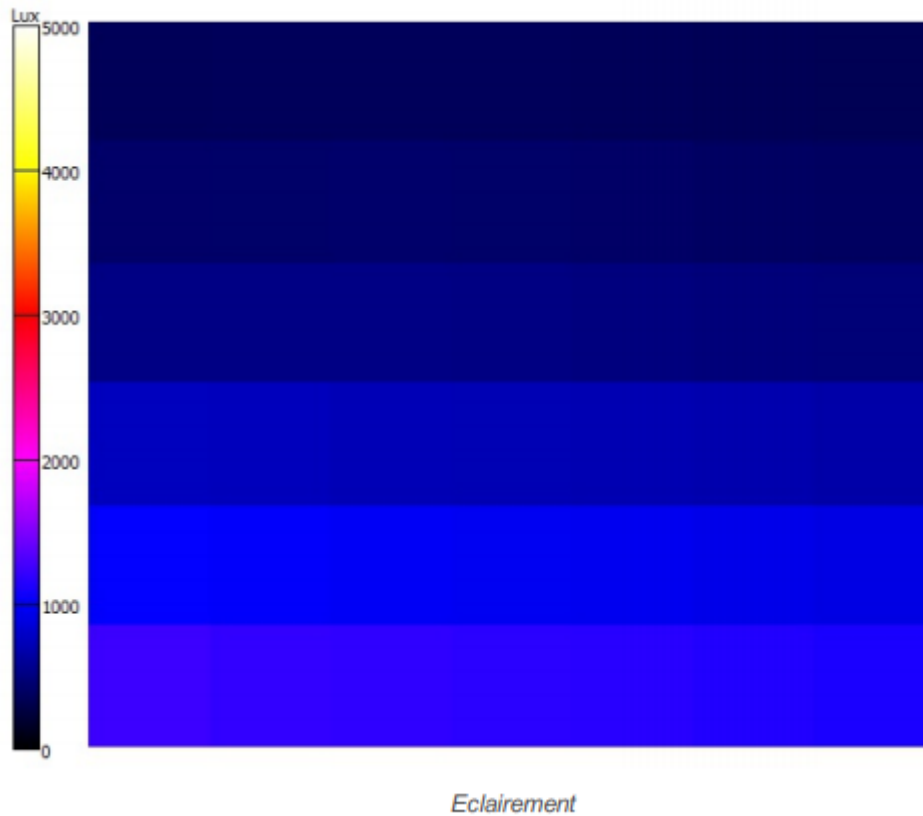


Figure 4. 15: La répartition de l'éclairage dans la salle 05 à 9h après optimisation.

(Source : Auteur, 2021).

Dans le but d'optimiser le confort visuel dans cette salle, nous avons opté pour des stratégies passives : nous avons éliminé les masques solaires denses représentés par la végétation et l'escalier extérieur, cependant nous avons opté pour une protection solaire représentée par un débordement de la dalle, qui évitera la pénétration de la lumière trop excessive dans la salle.

La figure ci-dessous, révèle un éclairage plus uniforme, et des valeurs beaucoup moins importantes qu'avant l'optimisation.

Salle 09 :

Après avoir optimisé les paramètres cités précédemment, dans la salle 05 nous avons obtenu les résultats suivants :

Chapitre 4 : Etude et optimisation du confort visuel par la simulation numérique.

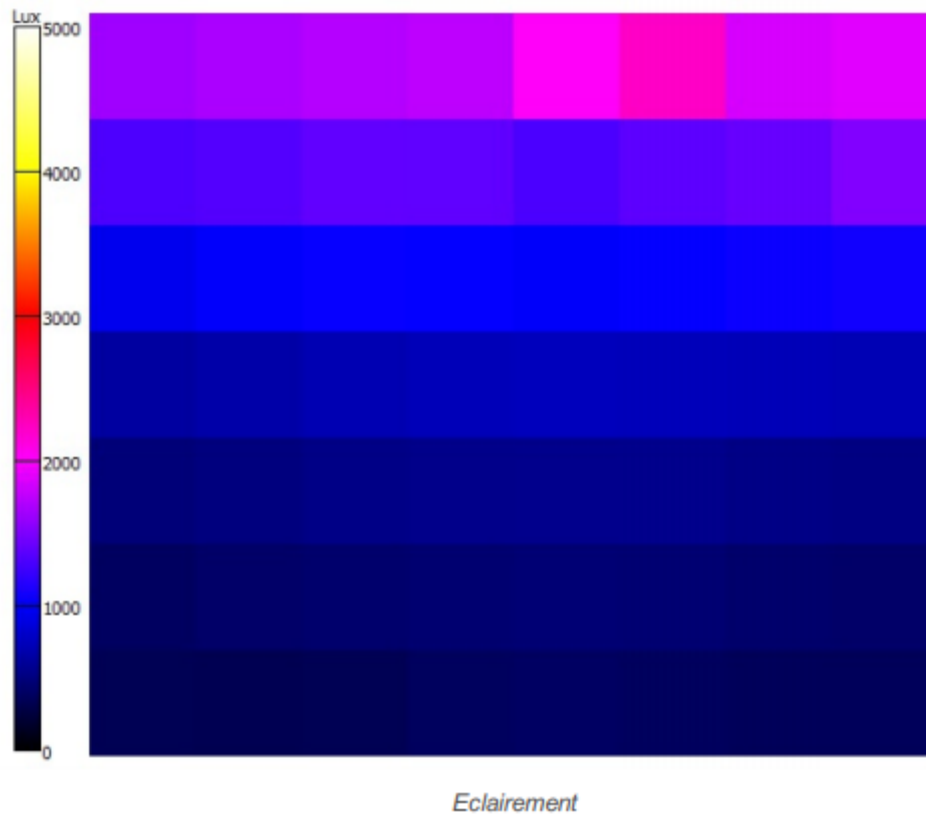


Figure 4. 16: La répartition de l'éclairage dans la salle 09 à 9h après optimisation.

(Source : Auteur, 2021).

Dans le but d'optimiser le confort visuel dans cette salle, nous avons opté pour une stratégie passive : nous avons mis en place une protection solaire représentée par un débordement de la dalle, qui évitera la pénétration de la lumière trop excessive dans la salle.

La figure ci-dessous, révèle un éclairage plus uniforme, et des valeurs beaucoup moins importantes qu'avant l'optimisation.

Conclusion :

Pour conclure, nous pouvons affirmer que la simulation numérique se révèle être un outil indispensable à la recherche, en plus d'être peu coûteuse, elle permet de changer plusieurs paramètres à la fois et d'effectuer de nombreuses manipulations.

A l'issue de cette simulation, nous avons pu confirmer les résultats obtenus lors de la prise, en effet l'éclairage unilatéral représente de nombreux désavantages, cependant il est possible d'optimiser la qualité de l'éclairage naturel à travers des solutions passives tels

Chapitre 4 : Etude et optimisation du confort visuel par la simulation numérique.

que l'élimination des masques responsable de l'obstruction et l'utilisation de protections solaires adéquate comme dans notre cas : le débordement de dalle, qui est à la fois efficace et simple à réaliser.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale :

Tout au long de notre mémoire nous nous sommes penchés sur la question de l'éclairage naturel et de ses avantages environnementaux ainsi que de ses nombreux bienfaits sur l'état psychique des étudiants. En effet, la présence de lumière naturelle est un est un facteur déterminant du confort visuel, cependant le dispositif d'éclairage doit être conçu parfaitement pour répondre aux besoins de la salle à éclairer.

Dans notre cas d'étude, qui représente les salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia, nous avons évalué quantitativement et qualitativement le confort visuel ainsi que la présence de la lumière naturelle au sein de ces espaces.

En ce qui concerne l'évaluation quantitative des éclairements lumineux disponibles dans les salles de dessin, il nous a été révélé que le dispositif d'éclairage unilatéral présent dans les salles ne permet pas d'obtenir un éclairage uniforme dans toute la pièce : la zone du fond demeure moins éclairée que la zone se situant près de la fenêtre. De plus l'orientation des ouvertures a influencé quantitativement la pénétration de ces éclairements lumineux, en effet, les salles dont les ouvertures sont orientées vers le nord-est reçoivent plus de lumière naturelle que les salles dont les ouvertures sont orientées vers le sud-ouest.

De plus l'éclairage unilatéral est à l'origine de la pénétration des rayons lumineux directs, qui créent de nombreux phénomènes d'inconfort visuel, tel que l'éblouissement, les zones d'ombres et les éclairements lumineux excessifs, notamment en été, il est donc nécessaire de le recourir vers des protections solaires adéquates afin de réduire ces problèmes. Il est également important de mentionner que les masques solaires et la couverture nuageuse, sont des paramètres importants à prendre en compte lors de la phase initiale de la conception d'un système d'éclairage naturel, en vue de leur influence sur le confort visuel des espaces.

D'une autre part, nous avons évalué qualitativement l'ambiance lumineuse de ces salles à travers la distribution d'un questionnaire aux usagers de l'espace, ce qui nous a permis de confirmer les constatations précédentes, et d'affirmer qu'une ambiance lumineuse agréable et uniforme, se révèle être essentielle au bien être des occupants et participe à leur productivité.

Conclusion générale

Recommandations :

Après avoir interprété les résultats de l'étude quantitative et qualitative, nous avons pu émettre les recommandations suivantes afin d'optimiser le confort visuel dans les salles de dessin des écoles d'architecture :

- Choisir une orientation vers le nord ou vers le nord-est afin de profiter d'une lumière naturelle agréable pendant toute la journée.
- Opter pour des protections solaires mobiles à l'intérieur de l'espace, tels que les stores vénitiens, afin de réduire l'éblouissement.
- Prévoir des protections solaires tels que des débords de toiture, afin d'éviter les rayonnements solaires excessifs.
- Employer des couleurs claires et mates à l'intérieur de la salle afin d'éviter les réflexions intérieures.
- Opter pour un aménagement intérieur et un mobilier adéquat.
- Eliminer les masques solaires.

Ces recommandations aideront les concepteurs à optimiser le confort visuel des salles de dessin.

Limites de la recherche :

Le manque de moyens matériel est considéré comme une limite, car cela ne nous a pas permis d'effectuer l'expérimentation par des modèles test, à une échelle réelle ou réduite et d'évaluer avec précision le confort visuel. Le manque d'instruments a entravé la recherche, en effet, ne disposant que d'un seul luxmètre, nous n'avons pas pu effectuer les mesures à la même heure pour chaque salle de dessin.

Il y'a également le fait que nous avons voulu étudié le confort visuel d'une salle qui présente des obstructions visuelles, cette dernière était aménagée comme une salle de TD et non d'un atelier. Nous n'avons pas pu étudier un élément contribuant au confort visuel : les saisons, et ce par manque de temps.

Malheureusement, il n'ya pas de dispositif d'éclairage zénithal au sein du bloc d'architecture étudié. Autrement il aurait été intéressant d'en étudier les différents aspects.

Perspectives de recherche :

Nous avons remarqué lors de notre recherche que dans les salles de dessin du bloc d'architecture de l'université de Bejaia, des désagréments liés à d'autres aspects du confort,

Conclusion générale

à savoir le confort thermique et le confort acoustique, et peuvent faire l'objet de recherches futures dans le cadre de l'évaluation post occupation. L'étude ne se limitera donc à l'éclairage naturel, mais permettra aux usagers de participer plus largement à l'amélioration de leur environnement de travail.

Références bibliographiques

Bibliographie

Bibliographie

Agence Méditerranéenne de l'environnement et Ordre des architectes du Languedoc Roussillon. (2002). *Qualité environnementale des bâtiments en Languedoc Roussillon*, Montpellier: La Charité.

Association Française de l'Eclairage. (1987). *Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires*, Paris : LUX.

Association HQE. (2004). *Bâtiment et démarche HQE*, Valbonne : ADEME.

The Chartered Institution of Building Services Engineers. (1987). *Applications manual: Window design*, London: CIBSE.

Angers, M. (1997). *Initiation pratique à la méthodologie des sciences humaines*, Alger : Casbah Université.

Baker, N., & Steemers, K. (2002). *Daylight design of buildings*. London: James & James.

Belakehal, A., & Tabet Aoul, K. (2003). *L'éclairage naturel dans le bâtiment, référence aux milieux arides à climat chaud et sec*. Biskra: Université Mohamed Khider.

Chauvel, P., & Deribere, M. (1968). *L'éclairage naturel et artificiel dans le bâtiment*, Paris: Eyrolles.

Collins, B. (1975). *Windows and People: a Literature Survey, Psychological Reaction to Environments With and Without Windows*, USA: National Bureau of Standards.

De Brigode, G. (1996). *L'architecture scolaire*, Paris: Presses universitaires de France.

Deletre, J.J. (2003). *Mémento de prises de jour et protections solaires*, Grenoble: Ecole d'Architecture de Grenoble.

Deneyer, A., & Moenssens, N. (2004). *Les doubles façades ventilées : aspects liés à l'éclairage naturel et au confort visuel*, Bruxelles: Centre Scientifique et Technique de la Construction.

Dictionnaire encyclopédique Larousse. (2020), Paris : Larousse.

Givoni, B. (1978). *L'homme, l'architecture et le climat*, Paris: Le Moniteur.

Grawitz, M. (1990). *Méthodes des sciences sociales*, Paris : Dalloz.

Groupe Heschong Mahon. (1999). *Daylighting in schools: An Investigation into the Relationship Between Daylighting and Human Performance*, U.S.A: Pacific Gas and Electric Company.

Bibliographie

Hathaway, W., Hargreaves, A., Thompson, W., Novitsky, D. (1992). *A Study Into the Effects of Light on Children of Elementary School*, Edmonton: Alberta Education. ISBN : 0-7732-0724-4.

Hetzel, J. (2003). *Haute qualité environnementale du cadre bâti : enjeux et pratiques*, Paris: AFNOR.

Izard, J., & Guyot, A. (1979). *Archi bio*, Paris: Edition Parenthèses.

Izard, J. (1993). *Architecture d'été : construire pour le confort d'été*, Aix-en-Provence: Edisud.

Izard, J. (1994). *Maîtrise des ambiances : contrôle de l'ensoleillement et de la lumière en architecture*, Marseille: Ecole d'Architecture de Marseille-Luminy.

Kuller, R., & Lindsten, C. (1992). *Health and Behavior of Children in Classrooms with and without Windows*, Suède: Journal of Environmental Psychology.

Larson, T. (1965). *The Effect of Windowless Classrooms on Elementary School Children*. Michigan: The Architectural Research Laboratory, Département d'Architecture, Université de Michigan.

La Toison, M. (1982). *Introduction à l'éclairagisme*, Paris : Eyrolles.

Liébard, A., De Herdé, A. (2005). *Traité de l'architecture bioclimatique*, Paris : Observ'ER.

Energy plus. « *Le confort visuel* ». <https://energyplus.net/> (page consultée le 06 décembre 2020).

Mazria, E. (1981). *Le guide de l'énergie solaire passive*, Paris : Parenthèses.

Millet, M., Larkin, J., Moore, J. (1981). *Light without heat: Daylight and shading*. International passive and hybrid cooling conference, Miami: American Section, International Solar Energy Society.

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.

Pasini, M., Atienitis, A., Charron, R. (2002). *Daylighting guide for Canadian commercial buildings*, Ontario: Travaux Publics et Services Gouvernementaux.

Robert, M. (1988). *Fondements et étapes de la recherche scientifique en psychologie*, Paris: 3è Ed, Maloine.

Robertson, K. (2003). *Guide sur l'éclairage naturel des bâtiments*, Ontario: SCHLCMHC.

Bibliographie

Rouag, Dj. (2001). Sunlight problems within new primary school classrooms in Constantine, Thèse d'état, Constantine: Université Mentouri de Constantine, Avril 2001.

Roulet, C.A. (1987), *Energétique du bâtiment énergétique global.* Lausanne: Presses Polytechniques Romandes.

Syndicat de l'éclairage. « *L'éclairage et le confort visuel* ». www.syndicat-eclairage.com

Szokolay, S. (1980). *Environmental science handbook: for architects and builders,* New York: The Construction Press.

Terrier, Ch et Vandevyver, B. (1999). "*L'éclairage naturel*", *fiche pratique de sécurité,* Paris : ED 82, Travail et Sécurité.

Vandenplas, A. (1964). *L'éclairage naturel et ses applications,* Bruxelles: S.I.C.

Vandeplanque, P. (1984). *L'éclairage : notions de base, projets d'installations,* Paris: Lavoisier.

Zemmouri, N. (2005). *Daylight availability intergrated modelling and evaluation: A Fuzzy logic based approach* (Thèse de Doctorat), Sétif : Université Farhat Abbas.

Annexes

Annexes

Annexes

Annexe A :

Nous avons pris des mesures de l'éclairage lumineux à l'intérieur des salles selon la grille préétablie et nous avons obtenu les résultats suivants :

Jour 1 : 13/04/2021

Durant ce jour, nous avons pris les mesures des éclairages intérieur à chaque point de la grille.

Salle 05 :

Dans cette salle, nous avons pris des mesures à de différents moments de la journée.

A 9h :

La tableau ci-dessous indique les résultats obtenus à 9h.

Tableau A. 1: Les valeurs des éclairages durant le jour 1 dans la salle 05 à 9h.

(Source : Auteur, 2021)

/	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H= 0.75m	100	111	114	98	104	123	128	134	158
/	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H= 0.75m	162	166	108	111	177	179	183	189	190
/	19	20	21	22	23	24	25	26	27
H= 0.75m	192	196	198	211	213	236	238	260	264
/	28	29	30	31	32	33	34	35	36
H= 0.75m	198	201	286	289	302	307	310	315	210
/	37	38	39	40	41	42	43	44	45
H= 0.75m	219	324	331	334	383	398	412	230	289
/	46	47	48	/	/	/	/	/	/
H= 0.75m	426	440	447	/	/	/	/	/	/

Les valeurs de l'éclairage sont mesurées en (lux).

A 12h :

La tableau ci-dessous indique les résultats obtenus à 12h.

Annexes

Tableau A. 2 : Les valeurs des éclairagements durant le jour 1 dans la salle 05 à 12h.

(Source : Auteur, 2021).

/	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H= 0.75m	117	119	120	102	114	136	138	142	149
/	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H= 0.75m	151	152	119	131	170	181	184	212	226
/	19	20	21	22	23	24	25	26	27
H= 0.75m	230	121	146	254	257	260	268	279	282
/	28	29	30	31	32	33	34	35	36
H= 0.75m	226	235	291	298	318	323	326	329	259
/	37	38	39	40	41	42	43	44	45
H= 0.75m	273	344	346	424	4235	456	461	302	321
/	46	47	48	/	/	/	/	/	/
H= 0.75m	479	484	486	/	/	/	/	/	/

Les valeurs de l'éclairage sont mesurées en (lux).

A 15h :

La tableau ci-dessous indique les résultats obtenus à 15h.

Tableau A. 3: Les valeurs des éclairagements durant le jour 1 dans la salle 05 à 15h.

(Source : Auteur, 2021).

/	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H= 0.75m	26	27	28	22	24	30	32	36	40
/	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H= 0.75m	42	45	28	31	47	49	52	56	61
/	19	20	21	22	23	24	25	26	27
H= 0.75m	66	36	44	71	72	73	84	89	90
/	28	29	30	31	32	33	34	35	36
H= 0.75m	59	64	96	98	104	110	115	118	65
/	37	38	39	40	41	42	43	44	45
H= 0.75m	70	122	125	128	139	140	143	79	92
/	46	47	48	/	/	/	/	/	/
H= 0.75m	148	156	159	/	/	/	/	/	/

Les valeurs de l'éclairage sont mesurées en (lux).

Jour 2 : 14/04/2021

Durant ce jour, nous avons pris les mesures des éclairagements intérieur à chaque point de la grille.

A 9h :

Annexes

La tableau ci-dessous indique les résultats obtenus à 9h.

Tableau A. 4: Les valeurs des éclairagements durant le jour 2 dans la salle 05 à 09h.

(Source : Auteur, 2021).

/	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H= 0.75m	130	131	135	104	113	147	153	158	162
/	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H= 0.75m	163	165	107	116	179	182	185	189	192
/	19	20	21	22	23	24	25	26	27
H= 0.75m	194	123	129	225	227	231	239	259	261
/	28	29	30	31	32	33	34	35	36
H= 0.75m	205	218	229	289	321	329	335	338	244
/	37	38	39	40	41	42	43	44	45
H= 0.75m	259	364	379	402	429	431	443	326	365
/	46	47	48	/	/	/	/	/	/
H= 0.75m	443	451	459	/	/	/	/	/	/

Les valeurs de l'éclairément sont mesurées en (lux).

A 12h :

La tableau ci-dessous indique les résultats obtenus à 12h.

Tableau A. 5: Les valeurs des éclairagements durant le jour 2 dans la salle 05 à 12h.

(Source : Auteur, 2021).

/	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H= 0.75m	153	155	158	110	118	162	164	172	175
/	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H= 0.75m	181	183	112	126	186	190	193	197	205
/	19	20	21	22	23	24	25	26	27
H= 0.75m	210	126	134	212	218	226	264	275	278
/	28	29	30	31	32	33	34	35	36
H= 0.75m	138	144	292	298	306	314	316	338	210
/	37	38	39	40	41	42	43	44	45
H= 0.75m	225	356	387	398	436	442	447	338	372
/	46	47	48	/	/	/	/	/	/
H= 0.75m	458	462	465	/	/	/	/	/	/

Les valeurs de l'éclairément sont mesurées en (lux).

A 15h :

La tableau ci-dessous indique les résultats obtenus à 15h.

Annexes

Tableau A. 6: Les valeurs des éclairagements durant le jour 2 dans la salle 05 à 15h.

(Source : Auteur, 2021).

/	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H= 0.75m	36	42	45	28	31	50	52	55	57
/	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H= 0.75m	63	66	34	43	67	68	70	71	73
/	19	20	21	22	23	24	25	26	27
H= 0.75m	76	48	55	78	82	85	88	92	98
/	28	29	30	31	32	33	34	35	36
H= 0.75m	60	66	96	97	102	105	106	110	78
/	37	38	39	40	41	42	43	44	45
H= 0.75m	83	127	129	130	132	134	144	119	128
/	46	47	48	/	/	/	/	/	/
H= 0.75m	154	156	162	/	/	/	/	/	/

Les valeurs de l'éclairage sont mesurées en (lux).

Jour 3 : 15/04/2021

Durant ce jour, nous avons pris les mesures des éclairagements intérieur à chaque point de la grille.

A 9h :

La tableau ci-dessous indique les résultats obtenus à 9h.

Tableau A. 7: Les valeurs des éclairagements durant le jour 3 dans la salle 05 à 09h.

(Source : Auteur, 2021).

/	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H= 0.75m	121	124	128	97	104	132	136	138	145
/	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H= 0.75m	146	147	112	129	172	176	187	192	196
/	19	20	21	22	23	24	25	26	27
H= 0.75m	199	158	172	219	226	234	241	248	261
/	28	29	30	31	32	33	34	35	36
H= 0.75m	184	193	283	289	292	330	341	352	236
/	37	38	39	40	41	42	43	44	45
H= 0.75m	278	389	393	399	406	408	412	373	384
/	46	47	48	/	/	/	/	/	/
H= 0.75m	428	436	442	/	/	/	/	/	/

Les valeurs de l'éclairage sont mesurées en (lux).

Annexes

A 12h :

La tableau ci-dessous indique les résultats obtenus à 9h.

Tableau A. 8: Les valeurs des éclairagements durant le jour 3 dans la salle 05 à 12h.

(Source : Auteur, 2021).

/	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H= 0.75m	132	134	137	108	119	140	142	144	146
/	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H= 0.75m	147	149	124	135	157	160	161	167	172
/	19	20	21	22	23	24	25	26	27
H= 0.75m	173	150	166	193	198	212	255	264	272
/	28	29	30	31	32	33	34	35	36
H= 0.75m	212	249	287	295	306	334	356	361	288
/	37	38	39	40	41	42	43	44	45
H= 0.75m	302	380	385	387	400	412	419	359	376
/	46	47	48	/	/	/	/	/	/
H= 0.75m	431	444	456	/	/	/	/	/	/

Les valeurs de l'éclairage sont mesurées en (lux).

A 15h :

La tableau ci-dessous indique les résultats obtenus à 9h.

Tableau A. 9: Les valeurs des éclairagements durant le jour 1 dans la salle 05 à 15h.

(Source : Auteur, 2021).

/	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H= 0.75m	31	34	36	27	30	46	52	55	56
/	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H= 0.75m	59	62	43	54	65	69	70	72	74
/	19	20	21	22	23	24	25	26	27
H= 0.75m	75	60	73	80	81	83	85	88	89
/	28	29	30	31	32	33	34	35	36
H= 0.75m	75	86	96	97	102	110	114	116	94
/	37	38	39	40	41	42	43	44	45
H= 0.75m	108	136	139	151	152	154	158	115	136
/	46	47	48	/	/	/	/	/	/
H= 0.75m	165	170	172	/	/	/	/	/	/

Les valeurs de l'éclairage sont mesurées en (lux).

Salle 09 :

Dans cette salle, nous avons pris des mesures à de différents moments de la journée

Annexes

Jour 1 : 13/04/2021

Durant ce jour, nous avons pris les mesures des éclairagements intérieur à chaque point de la grille.

A 9h :

La tableau ci-dessous indique les résultats obtenus à 9h.

Tableau A. 10: Les valeurs des éclairagements durant le jour 1 dans la salle 09 à 09h.

(Source : Auteur, 2021).

/	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H= 0.75m	241	248	264	185	214	289	302	314	322
/	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H= 0.75m	331	376	256	307	412	428	433	553	558
/	19	20	21	22	23	24	25	26	27
H= 0.75m	571	426	518	629	667	672	864	875	881
/	28	29	30	31	32	33	34	35	36
H= 0.75m	815	898	1045	1051	1098	1118	1126	1131	1097
/	37	38	39	40	41	42	43	44	45
H= 0.75m	1179	1202	1216	1234	1315	1328	1339	1288	1304
/	46	47	48	/	/	/	/	/	/
H= 0.75m	1362	1365	1379	/	/	/	/	/	/

Les valeurs de l'éclairage sont mesurées en (lux).

A 12h :

La tableau ci-dessous indique les résultats obtenus à 9h.

Tableau A. 11: Les valeurs des éclairagements durant le jour 1 dans la salle 09 à 12h.

(Source : Auteur, 2021).

/	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H= 0.75m	298	310	315	185	214	338	346	352	378
/	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H= 0.75m	391	402	256	307	446	502	514	598	613
/	19	20	21	22	23	24	25	26	27
H= 0.75m	622	426	518	781	788	798	1049	1154	1165
/	28	29	30	31	32	33	34	35	36
H= 0.75m	815	898	1231	1248	1267	1312	1317	1319	1097
/	37	38	39	40	41	42	43	44	45
H= 0.75m	1179	1347	1353	1359	1364	1371	1387		
/	46	47	48	/	/	/	/	/	/
H= 0.75m	1427	1432	1443	/	/	/	/	/	/

Annexes

Les valeurs de l'éclairage sont mesurées en (lux).

A 15h :

La tableau ci-dessous indique les résultats obtenus à 9h.

Tableau A. 12: Les valeurs des éclairagements durant le jour 1 dans la salle 09 à 15h.

(Source : Auteur, 2021).

/	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H= 0.75m	115	119	120	92	100	128	130	131	136
/	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H= 0.75m	161	170	121	138	202	223	242	256	261
/	19	20	21	22	23	24	25	26	27
H= 0.75m	268	226	277	345	360	366	383	391	395
/	28	29	30	31	32	33	34	35	36
H= 0.75m	321	343	540	542	562	576	585	590	518
/	37	38	39	40	41	42	43	44	45
H= 0.75m	602	869	914	946	1024	1048	1073	1035	1066
/	46	47	48	/	/	/	/	/	/
H= 0.75m	1081	1089	1092	/	/	/	/	/	/

Les valeurs de l'éclairage sont mesurées en (lux).

Jour 2 : 14/04/2021

Durant ce jour, nous avons pris les mesures des éclairagements intérieur à chaque point de la grille.

A 9h :

La tableau ci-dessous indique les résultats obtenus à 9h.

Annexes

Tableau A. 13: Les valeurs des éclairagements durant le jour 2 dans la salle 09 à 09h.

(Source : Auteur, 2021).

/	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H= 0.75m	289	291	301	198	221	329	335	341	346
/	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H= 0.75m	372	381	236	302	421	436	449	547	561
/	19	20	21	22	23	24	25	26	27
H= 0.75m	578	448	482	638	672	683	879	886	892
/	28	29	30	31	32	33	34	35	36
H= 0.75m	775	814	957	1063	1110	1136	1149	1153	1105
/	37	38	39	40	41	42	43	44	45
H= 0.75m	1174	1210	1221	1248	1318	1336	1349	1310	1343
/	46	47	48	/	/	/	/	/	/
H= 0.75m	1369	1372	1387	/	/	/	/	/	/

Les valeurs de l'éclairage sont mesurées en (lux).

A 12h :

La tableau ci-dessous indique les résultats obtenus à 12h.

Tableau A. 14: Les valeurs des éclairagements durant le jour 2 dans la salle 09 à 12h.

(Source : Auteur, 2021).

/	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H= 0.75m	302	319	325	263	315	349	356	371	391
/	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H= 0.75m	397	412	322	396	455	496	517	601	618
/	19	20	21	22	23	24	25	26	27
H= 0.75m	631	510	597	792	802	826	1054	1161	1178
/	28	29	30	31	32	33	34	35	36
H= 0.75m	1069	1141	1249	1261	1287	1326	1339	1347	1278
/	37	38	39	40	41	42	43	44	45
H= 0.75m	1313	1364	1372	1381	1389	1392	1405	1379	1410
/	46	47	48	/	/	/	/	/	/
H= 0.75m	1451	1459	1461	/	/	/	/	/	/

Les valeurs de l'éclairage sont mesurées en (lux).

A 15h :

La tableau ci-dessous indique les résultats obtenus à 15h.

Annexes

Tableau A. 15: Les valeurs des éclairagements durant le jour 2 dans la salle 09 à 15h.

(Source : Auteur, 2021).

/	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H= 0.75m	121	130	132	102	112	145	156	161	168
/	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H= 0.75m	173	182	141	169	216	234	255	264	270
/	19	20	21	22	23	24	25	26	27
H= 0.75m	279	206	274	336	368	377	398	414	429
/	28	29	30	31	32	33	34	35	36
H= 0.75m	347	459	562	568	579	588	587	596	514
/	37	38	39	40	41	42	43	44	45
H= 0.75m	577	895	938	972	1014	1044	1066	1008	1059
/	46	47	48	/	/	/	/	/	/
H= 0.75m	1088	1091	1093	/	/	/	/	/	/

Les valeurs de l'éclairage sont mesurées en (lux).

Jour 3 : 15/04/2021

Durant ce jour, nous avons pris les mesures des éclairagements intérieur à chaque point de la grille.

A 9h :

La tableau ci-dessous indique les résultats obtenus à 9h.

Tableau A. 16: Les valeurs des éclairagements durant le jour 3 dans la salle 09 à 09h.

(Source : Auteur, 2021).

/	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H= 0.75m	293	298	306	204	256	333	346	352	358
/	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H= 0.75m	386	390	342	379	431	439	450	563	572
/	19	20	21	22	23	24	25	26	27
H= 0.75m	589	467	539	642	680	696	888	899	904
/	28	29	30	31	32	33	34	35	36
H= 0.75m	831	902	963	1096	1124	1144	1167	1171	1070
/	37	38	39	40	41	42	43	44	45
H= 0.75m	1159	1229	1233	1245	1327	1339	1353	1229	1233
/	46	47	48	/	/	/	/	/	/
H= 0.75m	1377	1380	1395	/	/	/	/	/	/

Les valeurs de l'éclairage sont mesurées en (lux).

A 12h :

Annexes

La tableau ci-dessous indique les résultats obtenus à 12h.

Tableau A. 17: Les valeurs des éclairements durant le jour 3 dans la salle 09 à 12h.

(Source : Auteur, 2021).

/	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H= 0.75m	316	321	336	272	310	359	367	374	396
/	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H= 0.75m	386	438	382	402	469	503	521	614	622
/	19	20	21	22	23	24	25	26	27
H= 0.75m	644	581	679	798	814	831	1066	1176	1181
/	28	29	30	31	32	33	34	35	36
H= 0.75m	1159	1175	1238	1274	1287	1341	1356	1360	1338
/	37	38	39	40	41	42	43	44	45
H= 0.75m	1355	1376	1381	1393	1402	1408	1412	1398	1419
/	46	47	48	/	/	/	/	/	/
H= 0.75m	1459	1465	1479	/	/	/	/	/	/

Les valeurs de l'éclairément sont mesurées en (lux).

A 15h :

La tableau ci-dessous indique les résultats obtenus à 15h.

Tableau A. 18: Les valeurs des éclairements durant le jour 3 dans la salle 09 à 15h.

(Source : Auteur, 2021).

/	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H= 0.75m	119	124	134	96	108	150	158	162	167
/	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H= 0.75m	178	183	145	166	219	243	256	269	271
/	19	20	21	22	23	24	25	26	27
H= 0.75m	278	224	282	364	378	386	401	396	398
/	28	29	30	31	32	33	34	35	36
H= 0.75m	375	389	537	554	576	583	592	624	595
/	37	38	39	40	41	42	43	44	45
H= 0.75m	687	879	954	969	1010	1055	1074	1015	1043
/	46	47	48	/	/	/	/	/	/
H= 0.75m	1088	1092	1098	/	/	/	/	/	/

Les valeurs de l'éclairément sont mesurées en (lux).

Annexes

Annexe B :

Le questionnaire :

Nous avons distribué le questionnaire suivant :

LE CONFORT VISUEL DANS LES SALLES DE DESSIN DU BLOC D'ARCHITECTURE DE L'UNIVERSITE DE BEJAIA

Dans le cadre de mon Master, je m'intéresse au confort visuel des salles de dessin du point de vue qualitatif et quantitatif.

Ce questionnaire est destiné aux usagers des salles de dessins du bloc Architecture de l'université de Bejaia, à savoir les étudiants et les enseignants. Il a pour objectif d'estimer le confort visuel de ces salles en termes d'éclairage naturel et d'ambiance lumineuse.

Merci d'avance à tous ceux qui prendront 15 minutes de leur temps pour y répondre.

I- Généralités.

1) Sexe :

- Femme.
- Homme.

2) Age :

- <20 ans.
- 20-25ans.
- 26-30ans.
- 31-35ans.
- 36-40ans.
- +40 ans.

3) Groupe d'usagers :

- Étudiant (e).
- Enseignant (e).

II- La pénétration de la lumière naturelle dans les salles de dessin :

4) Appréciez-vous la présence de la lumière naturelle dans les salles de dessin?

- Pas du tout.
- Un peu.
- Modérément.
- Beaucoup.

Annexes

5) En Hiver, trouvez vous que la lumière naturelle disponible dans la salle de dessin est:

- Insuffisante (salle sombre).
- Peu suffisante (salle peu éclairée).
- Suffisante (salle claire).
- Très suffisante (salle très claire).

6) En été, trouvez vous que la lumière naturelle disponible dans la salle de dessin est:

- Insuffisante (salle sombre).
- Peu suffisante (salle peu éclairée).
- Suffisante (salle claire).
- Très suffisante (salle très claire).
- Excessive.

III - Lumière solaire directe et éblouissement :

7) Appréciez-vous la présence de la lumière solaire directe dans votre champ de vision ?

- Oui.
- Non.

8) Recevez-vous des tâches solaires sur votre table ?

- Pas du tout.
- Parfois.
- Souvent.

9) Etes vous gêné(e) dans votre travail par la présence des rayons solaires directs?

- Pas du tout.
- Un peu.
- Modérément.
- Beaucoup.

10) Lorsque les rayons solaires sont intenses sur votre table, que faites-vous ?

- Ouvrir la porte ou les fenêtres.
- Se déplacer vers une autre table plus confortable dans la salle.
- Déplacer la table dans une zone ombrée de la salle.
- Sortir hors de la salle.
- Essayer d'ignorer tout inconfort et se concentrer sur votre travail.
- Autres (précisez)

11) La réflexion des rayons solaires sur le tableau gêne-t-elle votre vision ?

Annexes

- Pas du tout.
- Un peu.
- Modérément.
- Beaucoup.

12) Aimeriez-vous contrôler la pénétration des rayons solaires dans la salle à l'aide d'un système de protection solaire ?

- Oui.
- Non.
- Si oui, lequel ?

13) Souffrez-vous de l'éblouissement (Trouble de la vue causé par une lumière trop forte) des rayons solaires ?

- Pas du tout.
- Un peu.
- Modérément.
- Beaucoup.

14) Quelles sont les sources d'éblouissement (Trouble de la vue causé par une lumière trop forte) qui vous gênent?

- Ciel.
- Soleil.
- Fenêtres.
- Réflexion des parois internes.
- Réflexion du tableau.
- Appareil d'éclairage électrique.

15) Quelles couleurs de revêtement intérieur souhaiteriez-vous dans vos ateliers ?

- Couleurs claires.
- Couleurs sombres.

16) Pour finir, selon vous, comment améliorer le confort visuel des salles de dessin de notre bloc d'architecture ?

Annexes

Annexe C :

Projet de fin d'étude :

Analyse du site :

Potentialités du site :

- Présence de multitudes points de repères qui renforcent l'image du site.
- le site occupe une position stratégique, à une proximité immédiate d'un pôle universitaire.
- Il est facilement accessible.
- Présence de nombreuses ambiances végétales.
- Présence des percées visuelles vers la mer.

Faiblesses :

- Possibilité de présence de nuisances sonores (la route nationale à flux important) et l'aéroport.



Figure A. 1: Analyse du site.

(Source : Auteur, 2021).

Annexes



Figure A. 2: Les équipements présents dans le site.

(Source : Auteur, 2021).



Figure A. 2: Analyse du terrain.

(Source : Auteur, 2021).

Le terrain fait 2.5 hectares, il est de forme trapézoïdal, annexé à l'université Abd Arahmane Mira. Il est bordé par la route national N09, ainsi que deux trançons non goudronnés sur les cotés.

Analyse des exemples :

Nous avons analysé deux écoles école d'architecture afin de reperer les caractéristiques de chacune d'entres elles

Annexes

La première : se situant au niveau national à Alger, conçu par l'architecte Oscar Niemeyer.
La deuxième école analysée est : l'école d'architecture de Porto, située au Portugal, conçue par l'architecte Siza.

Tableau A. 19: Les caractéristiques de l'EPAU.

(Source : Auteur, 2021).



L'école polytechnique d'architecture et d'urbanisme d'Alger (Oscar Niemeyer)		
Paramètres relatifs à l'environnement immédiat	Paramètres relatifs à l'édifice.	
Le site	L'ouverture	Les salles de dessin
<p>Les ateliers sont disposés par assemblage d'un modèle répétitif autour des salles de classe.</p>  <p>L'orientation des ateliers est vers le nord et l'est.</p>	<p>Grandes baies vitrées (plus de 50% de la surface du mur) donnant vers un espace extérieur agrémenté de végétation.</p> 	<p>Couleur : A l'extérieur : l'utilisation de matériaux bruts. A l'intérieur : Couleur grise.</p> <p>Dimensions : Salle : 17.52m x 12.64m. Patio : 4m x 3.6 m.</p> 

Tableau A. 20: Les caractéristiques des salles de dessin de l'EPAU.

(Source : Auteur, 2021).









Les salles de dessin				
Mobilier	Espace d'affichage	Espace de rangement	Espace de circulation	Espace de travail
<p>Des tables</p>  <p>Des chaises</p> 	<p>L'affichage se fait accroché au mur.</p> 	<p>Une annexe pour la conservation du matériel s'ouvre sur la salle.</p> <p>Les salles ne disposant pas d'annexes, elles ont des casiers en métal.</p> 	<p>L'espace de circulation est réduit.</p> 	<p>Les tables sont organisées sous forme de rangées verticales.</p> 

Tableau A. 21: Les caractéristiques des salles de dessin l'école d'Architecture de Porto (Siza).






(Source : Auteur, 2021).

L'école d'Architecture de Porto (Siza).		
Paramètres relatifs à l'environnement immédiat	Paramètres relatifs à l'édifice.	
Le site	L'ouverture	Les salles de dessin
<p>Les salles de dessins sont disposés dans des tours, espacés les une des autres, et sont alignés suivant une ligne continue. Ils referment ainsi leur cour centrale tout en laissant des interstices pour laisser passer la lumière.</p> 	<p>Des fenêtres rectangulaires, sont placées au centre du mur à une hauteur intermédiaire. Elles sont orientées au nord (lumière diffuse)</p> 	<p>Couleur : De l'intérieur comme de l'extérieur, la couleur du revêtement est le blanc.</p>

Annexes

Tableau A. 22: Les caractéristiques des salles de dessin de l'école d'Architecture de Porto (Siza).

(Source : Auteur, 2021).

Les salles de dessin				
Mobilier	Espace d'affichage	Espace de rangement	Espace de circulation	Espace de travail
<p>Les meubles sont conçus spécialement pour la salle.</p> <p>Tabouret :</p>  <p>Table :</p> 	<p>L'affichage se fait accroché au mur.</p> 	<p>Les salles disposent d'armoires de rangement.</p> 	<p>L'espace de circulation est réduit.</p>	<p>Les tables sont organisées sous forme de rangées verticales.</p> 

Le programme proposé :

A l'issue de l'analyse du programme nous avons proposé le programme suivant :

Tableau A. 21: Le programme proposé.

(Source : Auteur, 2021).

Espace	Nombre	Surface
Amphithéâtre de 200 places	02	520m²
Salles :	/	/
Salles de TD de 30 places	15	900m²
Salle de conférence de 300 places	01	390m²

Annexes

Bibliothèque de 150 places :	01	1825m²
Salle de lecture de 150 places	01	270m²
Salle de lecture pour enseignants	01	150m²
Espace internet	01	150m²
Salle de revue et périodique	01	375m²
Salle de stockage des livres	01	225m²
Espace internet	01	50m²
Bureaux de gestionnaires	02	50m²
Banque de prêt des livres et revues	01	135m²
Circulation et sanitaires (30%)	/	420m²
Laboratoires de 30 postes	10	975m²
Ateliers matière projet de 15 places	18	720m²
Ateliers matière projet de 15 places	08	320m²
Ateliers spécialisés en Design environnemental de 15 places	08	320m²
Atelier maquette	01	100m²
Circulation et sanitaires (30%)		700m²
Salle d'exposition	01	320m²
Bloc administratif	/	/

Annexes

Bureau de 12m ²	10	120 m²
Bureau de 16m ²	3	48m²
Bureau du directeur	01	25m²
Salle de réunion et archive	01	336m²
Bloc des enseignants	/	/
Bureau de 12m ²	20	240m²
Espace internet	01	50m²
Foyer	01	50m²
Structure annexe	/	/
Foyer pour étudiant	01	100m²
Locaux techniques	/	/
Stockage et maintenance	01	150m²
Poste transformateur, chaufferie, gaz, bache à eau, loge du gardien	01	150m²
Surface totale		8103m²