



THÈSE

En vue de l'obtention du Diplôme de Doctorat en Sciences

Présenté par : NADJI ISMAHAN

**Intitulé: « Contribution à l'étude de l'éclairage naturel dans
l'habitat collectif en Algérie: cas de la cité 865 logements
Soumaa Blida »**

<i>Faculté</i>	:Architecture et Génie Civil
<i>Département</i>	:Architecture
<i>Spécialité</i>	:Architecture
<i>Option</i>	:Architecture

Soutenu le 16-11-2020

Devant le Jury Composé de :

<i>Membres de Jury</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Domiciliation</i>
KERDAL Djamel Eddine	Professeur	Président	USTO MB
MOKHTARI Abderrahmane	Professeur	Directeur de thèse	USTO MB
OUISSI Mohamed Nabil	Professeur	Examineur	U/Tlemcen
ABDESSAMED FOUFA Amina	Professeur	Examinatrice	Université de Blida 1
MEGHFOUR KACEMI Malika	MCA	Examinatrice	USTO MB
KAZIAOUAL Fatima	MCA	Examinatrice	ENPO

Résumé

La présente étude vise à évaluer l'éclairage naturel dans les logements collectifs occupés dans le contexte de construction algérienne initié par l'Agence pour l'amélioration et le développement du logement (AADL). Elle vise aussi à analyser les facteurs susceptibles d'intervenir pour l'abaissement de la consommation d'énergie dans les logements collectifs, tout en soulignant le rôle de la conception architecturale dans l'atteinte du confort visuel. Pour réaliser cette évaluation post-occupation, une enquête et des mesures sur site ont été utilisées. L'enquête auprès des occupants confirme le manque d'éclairage naturel dans les logements et a permis de relever trois indicateurs influents : l'orientation, les masques et le niveau du logement. En vue d'une confrontation avec les résultats de l'enquête, une étude expérimentale basée sur des mesures in situ, a été investie pour évaluer le niveau d'éclairage naturel. Par ailleurs, le niveau d'éclairement naturel a été simulé en utilisant le logiciel de modélisation et d'animation 3DSMax où les données obtenues ont été traitées avec le logiciel Matlab. Cela nous a permis de comparer les niveaux d'éclairage entre expérience et simulation pour un échantillon de jours représentatifs d'une année à différentes heures et à différentes positions du soleil journalier. Une base de données a été formée avec 67032 points de mesure suffisants pour analyse globale d'éclairage naturel dans les logements. La méthodologie proposée dans le cadre de cette recherche permet de calculer le pourcentage de points entrant dans la zone de confort. Cela nous a permis de déceler les facteurs déterminants (orientation, niveau d'étage) et d'identifier les erreurs de conception (Masques, positions et taille des ouvertures), pour proposer des améliorations et de conclure en démontrant l'impact de la conception architecturale sur le niveau d'éclairage naturel. L'analyse des résultats montre l'effet des facteurs déterminants sur le confort visuel dans l'espace d'habitation et l'importance d'utiliser les simulations comme outils d'aide à la décision pour concevoir un logement confortable et énergétiquement économique.

Mots-clés : habitat collectif ; logement ; éclairage naturel ; post occupation méthode ; simulation d'éclairage ; confort visuel ; optimisation.

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الإضاءة الطبيعية في المساكن الجماعية في فترة ما بعد الإشغال في سياق البناء الجزائري الذي بدأته وكالة AADL لتحسين وتطوير الإسكان. كما تهدف إلى تحليل العوامل التي يحتمل أن تتدخل لخفض استهلاك الطاقة في المساكن المشتركة, مع التأكيد على دور التصميم المعماري في تحقيق الراحة البصرية. لإجراء هذا التقييم بعد الإشغال (POM), تم استخدام التحقيق وقياسات في الموقع. يؤكد التحقيق مع السكان على عدم وجود إضاءة طبيعية كافية في المساكن ويميز ثلاثة مؤشرات: اتجاه الواجهة والأقنعة (المشكلة من طرف البنايات المجاورة) ومستوى السكن (الطابق). من أجل مواجهة نتائج التحقيق, تم استثمار دراسة تجريبية تعتمد على قياسات في الموقع لتقييم مستوى الإضاءة الطبيعية. علاوة على ذلك, تم محاكاة مستوى الإضاءة باستخدام برنامج 3DS Max للنمذجة ثلاثية الأبعاد حيث تمت معالجة البيانات التي تم الحصول عليها باستخدام برنامج Matlab . سمح لنا ذلك بمقارنة مستويات الإضاءة بين التجربة والمحاكاة لعينة من الأيام التمثيلية من السنة في أوقات مختلفة وفي مواضع مختلفة من الشمس اليومية. تم إنشاء قاعدة بيانات تحتوي على 67032 نقطة قياس كافية للتحليل الشامل للإضاءة الطبيعية في المساكن. سمح لنا هذا بتحديد العوامل المحددة (الاتجاه, الطابق) وتحديد أخطاء التصميم, واقتراح التحسينات والختام من خلال إظهار تأثير التصميم المعماري على مستوى الإضاءة الطبيعية. يوضح تحليل النتائج تأثير العوامل المحددة على الراحة البصرية في السكن وأهمية استخدام المحاكاة كأداة لصنع القرار لتصميم سكن مريح و مقتصد للطاقة.

الكلمات المفتاحية :

الإسكان المشترك, السكن, الإضاءة الطبيعية, التقييم بعد الإشغال (POM), محاكاة الإضاءة, الراحة البصرية, الأمثلة.

Abstract

The present study aims to evaluate natural lighting in the collective housing in the new Algerian building context initiated by the Agency for the Improvement and Development of Housing (AADL). It also aims to analyze the factors likely to intervene for the lowering of energy consumption in collective housing, while highlighting the role of architectural design in achieving visual comfort. To achieve this post-occupancy assessment, a survey and on-site measurements were used. The occupant survey confirms the lack of natural lighting in housing units and three influential indicators: orientation, masks and the level of housing. In order to confront the results of the survey, an experimental study based on in situ measurements was invested to evaluate the level of natural lighting. Furthermore, the level of natural lighting was simulated using 3DSMax modeling and animation software where the data obtained were processed with the Matlab software. This allowed us to compare the lighting levels between experiment and simulation for a sample of representative days of a year at different times and at different positions of the daily sun. A database was formed with 67032 measurement points sufficient for global analysis of natural lighting in housing. The methodology proposed in this research allows us to calculate the percentage of points entering the comfort zone, identify the determining factors (orientation, floor level) and design errors, to propose improvements and to conclude by demonstrating the impact of the architectural design on the level of natural lighting. The analysis of the results shows the effect of the determining factors on visual comfort in the living space and the importance of using simulations as decision-making tools to design a comfortable and energy-efficient housing.

Keywords: collective housing, apartment; natural lighting; post-occupancy method; lighting simulation; visual comfort, Optimization.

Table des matières

Résumé.....	II
ملخص.....	III
Abstract	IV
Table des illustrations :	X
Figures	X
Tableaux	XV
Equations	XVII
Liste des abréviations	XVIII
 Introduction générale	 1
Introduction	1
Problématique	3
Hypothèses de recherche	4
Objectifs	4
Méthodologie	5
Structure du travail	5
1 ^{ère} Partie : Etude bibliographique.....	6
2 ^{ème} Partie : Etude expérimentale et par simulation	7
Conclusion générale.....	8
 Chapitre 1 : Lumière naturelle Généralités.....	 9
Introduction	10
1. Définitions	10
1.1.La lumière	10
1.2. La lumière naturelle	10
1.3. Éclairage naturel	11
2. Les caractéristiques physiques de la lumière	11
2.1. Diffraction	11
2.2. Dispersion et absorption	11
2.2. Optique	12

3. La propagation de la lumière	12
3.1. Absorption.....	13
3.2. Réflexion	13
3.3. Transmission.....	13
4. Les Grandeurs et unités photométrique	14
4.1. Le flux lumineux	14
4.2. L'intensité lumineuse	14
4.3. L'éclairement lumineux (en un point d'une surface).....	14
4.4. La luminance lumineuse	15
4.5. les méthodes de calcul de l'éclairage naturel	16
5. La disponibilité de la lumière diurne	19
5.1. Les sources de lumière Diurne	19
6. Modification du ciel dans la journée et dans l'année	27
6.1. Modification de l'éclairement dans la journée	27
7. Ce qui influence l'éclairage naturel	29
7.1. Le site.....	30
7.2. Caractéristiques du local.....	31
8. Le niveau d'éclairement d'un local	32
8.1. Variation du facteur de lumière du jour dans un local	34
8.2. Prise de jour des ouvertures	34
9. Perception et confort visuel	36
9.1. la perception visuelle	37
10. Lumière et confort	41
10.1. Le confort visuel	41
11. Lumière naturelle et santé	45
11.1. La lumière et le système endocrinien de l'être humain	46
11.2. troubles liées à la carence de lumière naturelle	47
Conclusion	48
 Chapitre 2 : Eclairage naturel et architecture	49
Introduction	50
1. Historique	50
2. Stratégie de l'éclairage naturel	59
2.1. Capter	59

2.2. Transmettre	62
2.3. Distribuer	70
2.4. Distribuer	71
2.5. Se protéger	73
2.6. Contrôler	75
Conclusion	76
Chapitre 3 : Etat de l'art de la simulation numérique de l'éclairage naturel	77
Introduction.....	78
1. Evaluation de l'éclairage naturel	78
2. Étude de l'éclairage	78
2.1. Mesure sur site	79
2.2. Méthodes simplifiées	79
2.3. Mesures sur modèles réduits (méthode expérimentale).....	81
2.4. Simulations numérique	82
3. L'enjeu de la simulation dynamique pour l'éclairage naturel	84
4. Logiciels de simulation numérique de l'éclairage	85
4.1 Les outils numériques de simulation de la lumière naturelle	86
5. Certification des logiciels de simulation	88
5.1. Systèmes d'évaluation des bâtiments écologique	88
5.2. Certification des logiciels de simulation	90
6. Domaine d'utilisation de la simulation d'éclairage naturel	92
7. Présentation des outils choisis dans le cadre de cette étude	93
7.1. Présentation des outils de simulation	93
7.2. Modélisation	96
Conclusion :	100
Chapitre 4 : Méthodologie de recherche	101
Introduction	102
1. L'évaluation post occupation (P.O.E)	102
1.1. Objectifs de l'évaluation post occupation	102
1.2. Types d'évaluation post occupation.....	103
2. Méthodologie	104
3. Présentation du cas d'étude	108

4. Enquête	109
4.1. L'univers de l'enquête	109
4.2. Présentation des outils d'investigation	109
4.3. Questionnaire	110
4.4. Résultat de l'enquête	111
4.5. Conclusion de l'enquête	
5. Mesures sur site	120
6. Simulation	124
6.1. Espaces concernés par l'étude	124
6.2. critères de choix du type de ciel	125
6.3. Simulation :127	
7. Traitement des données	129
7.1. Evaluation du confort	129
7.2. Présentation des indicateurs	132
Conclusion	133

Chapitre 5 : Evaluation du confort et facteurs déterminants du niveau d'éclairement : ...134

Introduction	135
1. Evaluation du confort avec l'indicateur FLJ	135
1.1. Rappel FLJ	135
1.2. Calcul FLJ_{moy}	136
1.3. Synthèse FLJ.....	137
2. Résultats des simulations	138
2.1. Résultats des simulations sous Ciel couvert	138
2.1.2.3. Zone de valeurs supérieure à 300 lux Ciel couvert 5e étage	142
2.1.3.1. Zone de confort 9e étage ciel couvert	142
2.2. Résultats des simulations sous Ciel clair	145
2.3 Synthèse simulations.....	149
3. Facteurs determinant les niveaux d'eclairement	150
3.1. Facteur Orientation	150
3.1.2. Comparaison des mesures obtenue grace au fichiers CVS	152
3. Facteur Etage	161
3.2.2.4. Synthèse indicateur Etage	174
3.3. Synthèse générale	175

Conclusion	178
Chapitre 6 : Propositions d'amélioration.....	179
Introduction	180
1.Modification Cuisine	180
1.1. Obstruction (masque extérieur)	181
1.3. Obstruction + Taille de l'ouverture	193
1.1.3. Evaluation de l'amélioration du confort pour les différentes modifications apportées	197
2. Modification Séjour	198
2.1. Rendus photomètre	198
2.2. Evaluation de l'amélioration par modélisation des données sous Matlab	199
3. Synthèse Améliorations	204
3.1. Cuisine	204
3.2. Séjour	206
4. Analyse de la consommation électrique en matière d'éclairage	206
4.1. La consommation électrique des ménages en matière d'éclairage	206
4.2 Analyse de la consommation électrique d'un appartement témoin	207
Conclusion	210
Conclusion Générale	211
Bibliographie	217
Annexes	I
Annexe 1 : Questionnaire enquête	II
Annexe 2 : Base de données (résultat).....	III

Table des illustrations :

Figures :

Figure 1 : Structure de la thèse (Source : auteur)	6
Figure 1.1 : Rayonnement électromagnétique visibles (Source : A. Liébard, A.De Herde, 2005).....	10
Figure 1.2: Propagation de la lumière (Source : Liébard A., De Herde A. 2005)	12
Figure 1.3: Modes de réflexion de la lumière (Source : Liébard A., De Herde A. 2005)	13
Figure 1.4 : Modes de transmission de la lumière (Source : A. Liébard, A.De Herde 2005)	14
Figure 1.5 : Valeurs de l'éclairement lumineux en fonction des sources.....	15
Figure 1.6 : Grandeurs photométriques (Source : guide_bio_tech_eclairage_naturel.pdf, https://www.arec-idf.fr/fileadmin/DataStorageKit/AREC/Etudes/pdf/guide_bio_tech_eclairage_naturel.pdf)	16
Figure 1.7 : Composantes du Facteur de lumière du jour (Source : Paule B.)	17
Figure 1.8 : Calcul du Facteur de lumière du jour (Source : https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=10719#c21017583).....	17
Figure 1.9 : Longueurs d'onde électromagnétique (Source : Reiter , De Herde 2004)	19
Figure 1.10 : Mouvement de la terre autour du soleil (Source : Foundations of Earth Science 1996 (Source : https://planet-terre.ens-lyon.fr/article/solstice.xml)	20
Figure 1.11 : Angles d'incidence des rayons solaire (Source : Seille P., ENS INSA Lyon, 2000).....	21
Figure 1.12 : Trajectoire apparente du soleil. (Source : Mazria, 1981.)	22
Figure 1.13 : Rayonnement électromagnétique (Source : https://sites.uclouvain.be/eclairage-naturel/guide_sources.htm#ancree01)	23
Figure 1.14 : Répartition des luminances pour un ciel couvert uniforme (Source : Liébard, De Herde 2005).....	25
Figure 1.15 : Répartition des luminances pour un ciel couvert C.I.E. (Source : Liébard, De Herde 2005)	25
Figure 1.16 : Répartition des luminances pour un ciel clair C.I.E. (Source : Liébard, De Herde 2005)..	26
Figure 1.17 : Répartition des luminances pour un ciel clair avec soleil C.I.E. (Source : Liébard, De Herde 2005).....	27
Figure 1.18 : Variation de l'éclairement durant la journée	28
Figure 1.19 : Variation de l'angle d'incidence du soleil en fonction des saisons (Source : Liébard, De Herde 2005).....	28
Figure 1.20 : Influence du moment de l'année (Source : Balez 2008)	29
Figure 1.21 : Profondeur de l'éclairage à l'intérieur du local (Source : auteur).....	32
Figure 1.22 : Variation de l'éclairement selon la profondeur du local en fonction de la position de l'ouverture (Source : https://sites.uclouvain.be/eclairage-naturel/documents%20pdf/presentation-guide.pdf)	34
Figure 1.23 : Schéma illustrant les effets des emplacements et dimensions des ouvertures sur la lumière du jour (Source : Osbourn 1985 in S.Mazouz 2014)	35
Figure 1.24 : Biologie de l'œil (Source : https://sites.uclouvain.be/eclairage-naturel/guide_perception.htm)	37
Figure 1.25 : Courbe de sensibilité spectrale de l'œil humain en vision nocturne et diurne (Source : https://sites.uclouvain.be/eclairage-naturel/guide_perception.htm)	38
Figure 1.26 : Effet de contraste (Source : http://www-energie.arch.ucl.ac.be)	39
Figure 1.27 : Courbe spectrale de sensibilité de l'œil humain en vision diurne (Source : Liébard, De Herde 2005).....	40
Figure 1.28 : Source lumineuse de haute luminance (Source : http://www-energie.arch.ucl.ac.be) .	40

Figure 1.29 : Eléments influençant le confort visuel dans un local (Source : Liébard, De Herde 2005).	43
Figure 1.30 : Diagramme de Kruithof (Source : Liébard, De Herde 2005).....	45
Figure 1.31 : Trajet de la lumière externe vers le cerveau (Source : Lavoie, Hébert 2007)	46
Figure 1.32 : Hormones sécrétées grâce à la lumière (Source : Lavoie, MHébert 2007).....	47
Figure 2.1 : Le sanctuaire d'Abou Simbel (Source : http://www.passion-egyptienne.fr/Abou%20Simbel.htm)	51
Figure 2.2 : (a) Photo d'une scène du quotidien d'un groupe de femmes tlemcénienues (source ancienne carte postale) (b) Le Shin (Source : Ravereau,1989)	52
Figure 2.3 : West ed-dar (Source : Ravereau 1987)	52
Figure 2.4 : Vues intérieure et extérieure sur un petit "Chebeq" (Source : Ravereau, 1987).....	52
Figure 2.5 : Fenêtres du Mirador d'Alhambra (Source : http://commons.wikimedia.org/wiki/)	53
Figure 2.6 : Palais du Calife hammadite el-Mansûr (Source : http://www.fonduk.com/doc/le-palais-al-mansour-a-bougie/)	53
Figure 2.7 : Vitraux de la cathédrale des Saints-Michel-et-Gudule, Bruxelles, vitraux des XVI et XVIIe siècles, cathédrale gothique du XIIIe siècle, remaniée jusqu'au XVIIe. (Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Cath%C3%A9drale_Saints-Michel-et-Gudule_de_Bruxelles)	54
Figure 2.8 : Villa Savoye, Le Corbusier (Source : © Fondation Le Corbusier)	54
Figure 2.9 : Institut du monde arabe : Façade sud (Paris) 1987 (Source : Collection Encarta 2005) ...	55
Figure 2.10 : Eglise de lumière, Tadao Ando (Source : http://fr.wikiarquitectura.com).....	56
Figure 2.11 : Cour intérieure de la mosquée de Gournah, Vue depuis le sommet du minaret (Source : http://archnet.org/library/images/thumbnails)	56
Figure 2.12 : Hassan Fethy, technique de La lumière empruntée, Mosquée de Gournah (Source : http://archnet.org/library/images/thumbnails)	57
Figure 2.13 : Hassan Fethy, technique de l'axe de lumière, Mosquée de Gournah (Source : http://archnet.org/library/images/thumbnails)	57
Figure 2.14 : Hassan Fethy, technique de la lumière rayonnée, Mosquée de Gournah (Source : http://archnet.org/library/images/thumbnails)	58
Figure 2.15 : Hassan Fethy, technique de la lumière modelée, Mosquée de Gournah (Source : http://archnet.org/library/images/thumbnails)	58
Figure 2.16 : Impact de masque crée par les bâtiments voisins (Source : Liébard, De Herde 2005)....	60
Figure 2.17 : Angle d'incidence du soleil en fonction du rapport (hauteur bâti / largeur rue). (Source : Liébard, De Herde, 2005)	60
Figure 2.18 : Exemple d'un Masque proche (Source : Liébard, De Herde, 2005)	61
Figure 2.19 : Influence de l'albédo sur l'éclairement intérieur d'un local (Source : Liébard, De Herde, 2005).....	61
Figure 2.20 : Modern Art Muséum (Fort Worth, Etat-Unis) Tadao Ando :2002(Source : https://www.archdaily.com/213084/flashback-modern-art-museum-of-fort-worth-tadao-ando)....	62
Figure 2.21 : Eclairement intérieur en fonction de la répartition des ouvertures (Source : Liébard, De Herde, 2005).....	63
Figure 2.22 : Eclairement d'un local éclairé zénithalement (Source : Liébard, De Herde, 2005).....	63
Figure 2.23 : Comportement des ouvertures verticale et zénithale (Source : Liébard, De Herde, 2005)	64
Figure 2.24 : Angle d'incidence du soleil selon la saison et l'heure (Source : http://arkitekto.net/P2_solaire.htm)	65
Figure 2.25 : Schéma illustrant les effets des emplacements et dimensions des ouvertures sur la lumière du jour Source : (Osbourne,1985 In S. Mazouz,2014)	65

Figure 2.26 : Influence de la forme et dimension de l'ouverture sur l'éclairage d'un local (Source : Liébard, De Herde 2005)	66
Figure 2.27 : Incidence de la menuiserie sur l'éclairage du local (Source : Liébard, De Herde, 2005)	68
Figure 2.28 : Caractéristique de transmission lumineuse simple vitrage (Source : Energie+ le site, https://sites.uclouvain.be/energie-plus/index.php?id=11259)	68
Figure 2.29 : Relation entre la forme et la distribution de la lumière naturelle (Source : auteur)	69
Figure 2.30 : Influence du facteur de réflexion des parois sur l'éclairage intérieur du local (Source : Liébard, De Herde, 2005)	69
Figure 2.31 : Coupe illustrant la répartition de la lumière naturelle dans le local avec réflecteur (Source : www.outilssolaires.com)	70
Figure 2.32 : Positions des atriums (Source : Liébard, De Herde, 2005)	71
Figure 2.33 : Atrium (Source : Liébard, De Herde, 2005)	71
Figure 2.34 : 1 Le panthéon Rome, 2 Maison pléiade à Louvain la neuve, 3 Puits de lumière dans un couloir. (Source : Liébard, De Herde, 2005)	72
Figure 2.35 : Principe de fonctionnement d'un conduit de lumière naturelle (Source : ADME, 2003) .	73
Figure 2.36 : Débord de toiture : La maison Robie à Chicago Frank Lloyd Wright (Illinois 1909) (Source : https://www.pinterest.com/pin/519251032022326697/)	73
Figure 2.37 : Arcades, West edar (Source : Ravéreau, 1989)	74
Figure 2.38 : Brise soleil, Lycée Polyvalent à FREJUS, Norman FOSTER (France 1993) (Source : www.bordeaux.archi.fr .)	74
Figure 2.39 : Exemples de protections solaires (Source : Liébard, De Herde, 2005)	74
Figure 2.40 : Système de diaphragmes Institut du monde arabe (Source : www.archdaily.com)	75
Figure 2.41 : Stores réfléchissants (Source : Liébard, De Herde, 2005)	76
Figure 3.1 : Schéma de principe – coupe verticale (Source : BRE Digest 309)	80
Figure 3.2 : Model réduit sous ciel artificiel ou réel (Source : Liébard , De Herde 2005)	82
Figure 3.3 : Principe de l'algorithme de Radiosité (Source : Deroisy, Deneyer, 2011)	83
Figure 3.4 : Principe de la méthode du lancer de rayon (Source : Deroisy, Deneyer, 2011)	83
Figure 3.5 : Principe de la méthode du photon mapping (Source : Deroisy, Deneyer, 2011)	84
Figure 3.6 : © Deloitte -Répartitions des certifications Breeam, Leed ou HQE (Source : Leysens 2012).	89
Figure 3.7 : © Deloitte - Pour les immeubles de bureaux, évolution du nombre de certifications cumulées par chacun des 3 labels. Le premier pourcentage représente la part réalisée dans le pays d'origine du label (Source : Leysens 2012)	89
Figure 3.8 : Résultats de simulation Produite par 3ds Max Design 2012 (Source : auteur)	94
Figure 3.9 : Eclairage d'une chambre (lux) traité avec Matlab (Source : auteur)	96
Figure 3.10 : Modélisation de la cité (source : auteur)	97
Figure 3.11 : Modélisation de l'immeuble et des appartements (Source : auteur)	97
Figure 3.12 : Choix des matériaux (Source : auteur)	98
Figure 3.13 : Situation géographique (Source : auteur)	98
Figure 3.14 : Réglage date et heure (Source : auteur)	99
Figure 3.15 : Position du photomètre et choix du rendu (Source : auteur)	100
Figure 4.1 : Méthodologie générale (Source : auteur)	106
Figure 4.2 : Méthodologie d'évaluation du confort et des facteurs déterminant le niveau d'éclairage (Source : auteur)	107
Figure 4.3 : Méthodologie d'optimisation de l'éclairage (Source : auteur)	107
Figure 4.4 : (a) Situation de la commune de Soumaa Wilaya de Blida (Google Earth), (b) Vue de la citée AADL Soumaa, (c) Plan de masse (Source : auteur)	108

Figure 4.5 : Plan d'étage avec configuration des logements (Source : auteur)	110
Figure 4.6 : Position de l'appartement 2 et 4 (Source : auteur).....	112
Figure 4.7 : Les pièces les mieux éclairées selon les enquêtés (source : auteur)	112
Figure 4.8 : Cuisine Appartement 1 (Source : auteur).....	113
Figure 4.9 : Les Pièces les moins éclairées selon les enquêtés (Source : auteur)	114
Figure 4.10 : 1 Plan, 2 et 3 Vues sur la cuisine, loggia et cours (Source : auteur)	114
Figure 4.11 : Appréciation de la lumière naturelle par les habitants (Source : auteur).....	115
Figure 4.12 : Pièces ou l'éclairage naturel est utilisé systématiquement (Source : auteur)	116
Figure 4.13 : Pièces ou l'éclairage naturel est insuffisant selon les enquêtés (Source : auteur)	117
Figure 4.14 : Modifications proposées par les enquêtés (Source : auteur)	118
Figure 4.15 : Rôle de l'éclairage naturel selon les enquêtées (Source : auteur).....	119
Figure 4.16 : Appréciation de l'éclairage naturel par les habitants (Résultats enquête) (Source : auteur).....	120
Figure 4.17 : Luxmètre numérique utilisé pour les mesures Velleman version DVM1300.....	121
Figure 4.18 : Position des points de mesure(a) et photomètre dans la pièce(b) (Source : auteur)....	121
Figure 4.19 : Comparaison de mesures d'éclairement entre relevées sur site et simulation 22 Sept 8h (Source : auteur).....	122
Figure 4.20 : Comparaison de mesures d'éclairement entre relevée sur site et simulation 22 Sept 12h (Source : auteur).....	122
Figure 4.21 : Comparaison de mesures d'éclairement entre relevées sur site et simulation 22 Sept 17h (Source : auteur).....	123
Figure 4.22 : Erreur relative au Nombre de rebonds diffus 3DS Max design (Source : Haubruge, Bodart, 2012).....	124
Figure 4.23 : 1,2 Présentation du bâtiment de référence (Source : auteur).....	125
Figure 4.24 : Disponibilité de la lumière naturelle en Algérie. (Source : ZEMMOURI, 2005.).....	126
Figure 4.25 : Répartition mensuelle des conditions extrêmes du ciel. (Source : ROUAG, 2001).....	127
Figure 4.26 : : Les douze simulations par appartement (Source : auteur)	127
Figure 4.27 : Répartition des pièces (Source : auteur)	129
Figure 5.1 : Comparatif des éclairagements résultants sous ciel couvert (Source : auteur)	143
Figure 5.2 : Pourcentage des valeurs entrant dans la zone de confort (60 à 300 lux) sous ciel couvert (Source : auteur).....	144
Figure 5.3 : Pourcentage des valeurs supérieures à 300 lux sous ciel couvert (Source : auteur)	145
Figure 5.4 : Comparatif des éclairagements résultants sous ciel clair (Source : auteur)	147
Figure 5.5 : Pourcentage des valeurs entrant dans la zone de confort (60 à 300 lux) sous ciel clair (Source : auteur).....	148
Figure 5.6 : Pourcentage des valeurs supérieures à 300 lux sous ciel clair (Source : auteur).....	149
Figure 5.7 : Niveau d'éclairement lumineux en lux pour le séjour – Sept – 8h sous ciel clair (Source : auteur).....	154
Figure 5.8 : Niveau d'éclairement lumineux en lux pour le séjour – Sept – 12h sous ciel clair (Source : auteur).....	154
Figure 5.9 : Niveau d'éclairement lumineux en lux pour le séjour – Sept – 17h sous ciel clair (Source : auteur).....	155
Figure 5.10 : Niveau d'éclairement lumineux en lux pour le séjour – Sept – 8h sous ciel couvert (Source : auteur).....	155
Figure 5.11 : Niveau d'éclairement lumineux en lux pour le séjour – Sept – 12h sous ciel couvert (Source : auteur).....	156
Figure 5.12 : Niveau d'éclairement lumineux en lux pour le séjour – Sept – 17h sous ciel couvert (Source : auteur).....	156

Figure 5.13 : Course du soleil selon les saisons.....	158
Figure 5.14 : Position des appartements vis-à-vis de la course du soleil (Source : auteur).....	158
Figure 5.15 : Valeurs supérieures à 300lux pour les séjours par saison (Source : auteur)	160
Figure 5.16 : Position des pièces étudiées (Source : auteur)	161
Figure 5.17 : Position du séjour (Source : auteur).....	162
Figure 5.18 : Niveaux d'éclairement en Lux Séjour Appartement 3 pour les différents niveaux simulés sous ciel clair (Source : auteur)	164
Figure 5.19 : Niveaux d'éclairement en Lux Séjour Appartement 3 pour les différents niveaux simulés sous ciel couvert (Source : auteur).....	165
Figure 5.20 : Zone de choix raisonnable pour ciel clair A3 Sept sous ciel clair (Source : auteur)	167
Figure 5.21 : Zone de choix raisonnable pour ciel clair A3 Sept sous ciel couvert (Source : auteur)..	168
Figure 5.22 : Photos représentant la Chambre 3 Appartement 2 Dans la matinée, sous ciel clair (Source : auteur).....	169
Figure 5.23 : Schéma représentant l'impact de la mitoyenneté sur le rayonnement incident (Source : auteur).....	170
Figure 5.24 : Niveaux d'éclairement en Lux chambre 3 Appartement 2 pour les différents niveaux simulés sous ciel clair	171
Figure 5.25 : Niveaux d'éclairement en Lux chambre 3 Appartement 2 pour les différents niveaux simulés sous ciel couvert (Source : auteur).....	172
Figure 5.26 : Orientation des façades par appartement (Source : auteur).....	175
Figure 5.27 : Répartition de l'éclairement dans une pièce avec une ouverture excentrée (cas Appartement 4 , 9ème Etage par ciel clair 8h Septembre (Source : auteur).....	175
Figure 5.28 : Distribution de l'éclairage (Grille photomètre) durant la journée sous ciel clair pour le séjour (a) et la cuisine (b) (Source : auteur)	176
Figure 6.1 : Position de la cuisine (Source : auteur).....	180
Figure 6.2 : Position de l'appartement 5ème étage avec et sans obstruction (Source : auteur)	181
Figure 6.3 : Modifications cuisine (Source : auteur)	181
Figure 6.4 : Modification obstruction cuisine Appartement 3 (ciel clair) (Source : auteur)	183
Figure 6.5 : Cuisine avec et sans obstruction, Mars Ciel Clair (Source : auteur).....	184
Figure 6.6 : Cuisine avec et sans obstruction, Mars Ciel couvert (Source : auteur).....	185
Figure 6.7 : Cuisine avec et sans obstruction, Juin ciel clair (Source : auteur).....	185
Figure 6.8 : Cuisine avec et sans obstruction, Juin ciel couvert	186
Figure 6.9 : Cuisine avec et sans obstruction Septembre Ciel Clair (Source : auteur)	186
Figure 6.10 : Cuisine avec et sans obstruction Septembre Ciel Couvert (Source : auteur).....	187
Figure 6.11 : Cuisine avec et sans obstruction Décembre ciel clair (Source : auteur)	187
Figure 6.12 : Cuisine avec et sans obstruction Décembre Ciel couvert (Source : auteur)	188
Figure 6.13 : Position Ouverture cuisine (Source : auteur).....	189
Figure 6.14 : Cuisine changement taille fenêtre Mars clair (Source : auteur)	189
Figure 6.15 : Cuisine changement taille fenêtre Mars couvert (Source : auteur).....	190
Figure 6.16 : Cuisine changement taille fenêtre Juin clair (Source : auteur)	190
Figure 6.17 : Cuisine changement taille fenêtre Juin ciel couvert (Source : auteur)	191
Figure 6.18 : Cuisine changement taille fenêtre Septembre ciel clair (Source : auteur)	191
Figure 6.19 : Cuisine changement taille fenêtre Septembre ciel couvert (Source : auteur)	192
Figure 6.20 : Cuisine changement taille fenêtre Décembre ciel clair (Source : auteur).....	192
Figure 6.21 : Cuisine avec et sans obstruction Décembre ciel couvert (Source : auteur).....	193
Figure 6.22 : Cuisine avec et sans obstruction Mars Ciel Clair (Source : auteur).....	193
Figure 6.23 : Cuisine avec et sans obstruction Mars ciel couvert (Source : auteur)	194
Figure 6.24 : Cuisine avec et sans obstruction Juin ciel clair (Source : auteur).....	194

Figure 6.25 : Cuisine avec et sans obstruction Juin ciel couvert (Source : auteur)	195
Figure 6.26 : Cuisine avec et sans obstruction Septembre Ciel Clair (Source : auteur)	195
Figure 6.27 : Cuisine avec et sans obstruction Septembre ciel couvert (Source : auteur).....	196
Figure 6.28 : Cuisine avec et sans obstruction Décembre ciel clair (Source : auteur)	196
Figure 6.29 : Cuisine avec et sans obstruction Décembre ciel couvert (Source : auteur).....	197
Figure 6.30 : Position loggia (Source : auteur)	198
Figure 6.31 : Modification de la position de la porte fenêtre du séjour (a) avant, (b) après (Source : auteur).....	198
Figure 6.32 : Modification position Décembre ciel clair (Source : auteur)	200
Figure 6.33 : Modification position Décembre ciel couvert (Source : auteur)	201
Figure 6.34 : Modification position Juin ciel clair (Source : auteur)	201
Figure 6.35 : Modification position Juin ciel couvert (Source : auteur)	202
Figure 6.36 : Modification position Mars ciel clair	202
Figure 6.37 : Modification position Mars ciel couvert (Source : auteur)	203
Figure 6.38 : Modification position Septembre ciel clair (Source : auteur)	203
Figure 6.39 : Modification position Septembre ciel couvert.....	204
Figure 6.40 : Amélioration du pourcentage de valeurs entrant dans la zone de confort séjour (Source : auteur).....	206
Figure 6.41 : Exemple de consommation électrique pour un appartement F3,9 ^e Etage.....	208
Figure 6.42 : Estimation consommation électrique cité 865 logement	209

Tableaux :

Tableau 1.1 Les valeurs de l'éclairement lumineux en fonction des sources	15
Tableau 1.2 : Les valeurs de luminance en fonction de l'environnement (Source : S.Reiter, A.De Herde 2004).....	15
Tableau 1.3 : Indice d'ouverture et de profondeur par type de local (Source : ADEME 2003).....	30
Tableau 1.4 : Tableau d'Evans (1980) (Source : Mazouz 2014)	31
Tableau 1.5 : Facteur de lumière du jour par type de local (1) (Source : ADEME 2003).....	33
Tableau 1.6 : Evaluation des niveaux d'éclairement de confort dans les locaux en lux (Éclairement moyen en service) (Source : ADEME 2003)	34
Tableau 1.7 : Transmission lumineuse par type de vitrage (Source : Energie+ le site, https://energieplus-lesite.be/donnees/enveloppe44/enveloppe2/recapitulatif-des-caracteristiques-des-vitrages/).....	36
Tableau 1.8 :Eclairement moyen à maintenir en fonction de l'activité (Source : Association Française de l'Eclairage)	44
Tableau 2.1 : Règles empiriques pour la conception des ouvertures (Source : Mazouz , 2014)	67
Tableau 3.1 : Propriétés des principaux logiciels informatiques et leurs applications (Source : Deroisy, Deneyer 2011)	88
Tableau 3.2 : Exigences et critères de chaque certification (Source : http://lalettre.bureauveritas.fr).....	90
Tableau 3.3 : Crédits liés à l'usage de l'éclairage naturel (Source : LESAGE, 2013)	91
Tableau 3.4 : Model de fichier exploitable sur Excel (Source : auteur).....	95
Tableau 4.1 : Réponses à la question n° 4 (Source : auteur).....	111
Tableau 4.2 : Réponses à la question n° 5 (Source : auteur).....	112
Tableau 4.3 : Réponses question 6.....	113
Tableau 4.4 : Réponses à la question n° 7.....	115
Tableau 4.5 : Réponses à la question n° 8.....	116
Tableau 4.6 : Réponses à la question n° 9.....	117

Tableau 4.7 : Réponses à la question n° 10 (Source : auteur).....	118
Tableau 4.8 : Réponse à la question n° 11 (Source : auteur)	119
Tableau 4.9 : Feuille de calcul (Source : auteur)	128
Tableau 4.10 : Niveau d'éclairement de confort (lux) Qualité environnementale des bâtiments (Source : ADME 2003)	131
Tableau 5.1 : Facteur de Lumière du Jour et Eclairage > Valeurs recommandées (Source : http://hqe.guidenr.fr/cible-10-hqe/facteur-lumiere-jour-valeurs-recommandees.php)	135
Tableau 5.2 : Pourcentage Zone de confort (60 à 300lux) par ciel couvert 1er étage (Source : auteur)	139
Tableau 5.3 : Pourcentage Zone de choix raisonnable Séjour (200 à 300lux), Chambre (100 à 300lux), cuisine (200 à 300lux) par ciel couvert 1er étage (Source : auteur)	140
Tableau 5.4 : Pourcentage Zone (+ 300lux) par ciel couvert 1 ^{er} étage (Source : auteur).....	141
Tableau 5.5 : Rendu photomètre séjour pour la date des 22 Sept 5eme étages sous ciel Clair (Source : auteur).....	151
Tableau 5.6 : Rendu photomètre séjour pour la date des 22 Sept 5eme étages sous ciel Couvert (Source : auteur).....	152
Tableau 5.7 : Valeurs pour le séjour du 5eme Etage pour la date du 22 Septembre à 12h00 Sous ciel Clair (Source : auteur)	153
Tableau 5.8 : Pourcentage du niveau d'éclairement raisonnable pour les séjours du 5eme étage sous ciel clair.....	157
Tableau 5.9 : Pourcentage du niveau d'éclairement raisonnable pour les séjours du 5eme étage sous ciel couvert (Source : auteur)	159
Tableau 5.10 : Simulation Séjour appartement 3, 22 sept, ciel clair (Source : auteur)	162
Tableau 5.11 : Simulation Séjour appartement 3, 22 sept, ciel clair (source : auteur).....	163
Tableau 5.12 : Pourcentage points choix raisonnable pour les séjours Appartement 3 sur les trois niveaux par ciel clair (Source : auteur).....	166
Tableau 5.13 : Pourcentage de point raisonnable pour les séjours de l'appartement 3 sur les trois niveaux par ciel couvert (source : auteur).....	167
Tableau 5.14 : Simulation Chambre 3 appartements 2, 22 sept, ciel clair (Source : auteur).....	169
Tableau 5.15 : Simulation Chambre 3 appartement 2, 22 sept, ciel couvert (Source : auteur).....	170
Tableau 5.16 : Pourcentage point raisonnable pour les Chambre 3 Appartement 2 sur les trois niveaux par ciel clair (Source : auteur)	173
Tableau 5.17 : Pourcentage point raisonnable pour les Chambre 3 Appartement 2 sur les trois niveaux par ciel couvert (Source : auteur)	174
Tableau 5.18 : Photomètres représentant la chambre 3 appartement 2, pour le 1 ^{er} 5 ^e et 9 ^e étage, sept sous ciel clair	177
Tableau 6.1 : Simulation cuisine avec et sans obstruction par ciel clair (Source : auteur)	182
Tableau 6.2 : Simulation cuisine avec et sans obstruction par ciel couvert.....	182
Tableau 6.3 : Modification position séjour sous ciel couvert.....	199
Tableau 6.4 : Modification position séjour sous ciel clair	199
Tableau 6.5 : Amélioration du niveau d'éclairement pour la cuisine (Source : auteur)	205
Tableau 6.6 : Exemple de Consommation d'électricité d'un Appartement F3, 9 ^e Etage	207
Tableau A.1: Pourcentage Zone de confort (60 à 300lux) par ciel clair 1er étage	XI

Annexes :

Annexe 1 : Tableau pourcentage Zone de confort (60 à 300lux) par ciel couvert 1er étage.....	II
Annexe 2 : Tableau pourcentage Zone de choix raisonnable Séjour (200 à 300lux), Chambre (100 à 300lux), cuisine (200 à 300lux) par ciel couvert 1er étage.....	III
Annexe 3 : Tableau pourcentage Zone (+ 300lux) par ciel couvert 1er étage	IV
Annexe 4 : Tableau pourcentage Zone de confort (60à 300lux) par ciel couvert 5e étage	V
Annexe 5 : Tableau pourcentage Zone de choix raisonnable Séjour (200 à 300lux), Chambre (100 à 300lux), cuisine (200 à 300lux) par ciel couvert 5e étage	VI
Annexe 6 : Tableau pourcentage Zone (+ 300lux) par ciel couvert 5 ^e étage	VII
Annexe 7 : Tableau pourcentage Zone de confort (60à 300lux) par ciel couvert 9 ^e étage.....	VIII
Annexe 8 : Tableau pourcentage Zone de choix raisonnable Séjour (200 à 300lux), Chambre (100 à 300lux), cuisine (200 à 300lux) par ciel couvert 9 ^e étage.....	IX
Annexe 9 : Tableau pourcentage Zone (+ 300lux) par ciel couvert 9 ^e étage	X
Annexe 10 : Tableau pourcentage Zone de confort (60 à 300lux) par ciel clair 1er étage	XI
Annexe 11 : Tableau pourcentage Zone de choix raisonnable Séjour (200 à 300lux), Chambre (100 à 300lux), cuisine (200 à 300lux) par ciel clair 1 ^{er} étage	XII
Annexe 12 : Tableau pourcentage Zone (+ 300lux) par ciel clair 1 ^{er} étage	XIII
Annexe 13 : Tableau pourcentage Zone de confort (60à 300lux) par ciel clair 5 ^e étage	XIV
Annexe 14 : Tableau pourcentage Zone de choix raisonnable Séjour (200 à 300lux), Chambre (100 à 300lux), cuisine (200 à 300lux) par ciel clair 5 ^e étage	XV
Annexe 15 : Tableau pourcentage Zone (+ 300lux) par ciel clair 5 ^e étage	XVI
Annexe 16 :Tableau pourcentage Zone de confort (60à 300lux) par ciel clair 9 ^e étage	XVII
Annexe 17 : Tableau pourcentage Zone de choix raisonnable Séjour (200 à 300lux), Chambre (100 à 300lux), cuisine (200 à 300lux) par ciel clair 9 ^e étage	XVIII
Annexe 18 : Tableau pourcentage Zone (+ 300lux) par ciel couvert 9 ^e étage	XIX

Equations :

Équation 1.1 : Luminance	25
Équation 1.2 : Luminance L_p	26
Équation 3.1 : Facteur de lumière du jour moyen	81
Équation 4.1 : Erreur moyenne absolue.....	123
Équation 5.1 : Facteur de lumière du jour moyen	136

Liste des abréviations

OMS : Organisation mondiale de la santé

AADL : Agence nationale de l'amélioration et du développement du logement

CNERIB : Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment

APRUE : Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie

MEMA : Ministère de l'Energie et des Mines algérien

E.P.O : évaluation post-occupation (Post Occupancy Evaluation)

CIE : Commission internationale de l'éclairage

FLJ : Facteur de lumière du jour

ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie. (France)

AFE : Association française de l'éclairage

LEED® : Leadership in Energy and Environmental Design système (USA)

BREEAM : Building Research Establishment Environmental Assessment Method (UK)

HQE : Haute qualité environnementale (France)

DAO : Dessin assisté par ordinateur

Introduction générale

Introduction

A travers le monde les technologies de construction durables sont de plus en plus demandées, l'idéal tant convoité étant un mode de vie sain, et une économie des ressources naturelles.

A l'ère du développement durable l'architecte doit assurer l'abri et le confort de l'utilisateur tout en limitant l'impact du bâtiment sur l'environnement ; la réalisation des conditions de confort d'un bâtiment et l'utilisation d'énergies renouvelables exige entre autres aspect l'utilisation de l'éclairage naturel.

Bien que la prise en compte de l'éclairage naturel fasse partie de la pratique architecturale, elle se trouve bien souvent délaissée au profit d'un éclairage artificiel coûteux et inconfortable. De nombreuses études se sont intéressées à l'impact économique du recours systématique à l'éclairage artificiel ; dans les lieux de travail en particulier les bureaux (M. Bodart, A. De Herde, 2002), (Lim & Al, 2012), (Maltais, Gosselin, 2017), (Ahmad, Reffa 2018), sur la consommation énergétique et le rendement des occupants ; cependant le milieu résidentiel mérite aussi que l'on s'y intéresse.

« Le milieu résidentiel est sans doute le plus important des facteurs qui influent sur la santé, le comportement et la satisfaction des êtres humains, puisqu'ils y passent la plus grande partie de leur existence » (**Rapport de l'OMS in Surault. P, (1984)**)

L'optimisation de l'éclairage naturel dans l'habitat lors de la conception permettrait non seulement de réduire la consommation énergétique mais aussi d'améliorer les conditions de confort.

Dans le monde la tendance aujourd'hui est aux villes durables, aux éco quartiers et à l'architecture bioclimatique (Castel, 2016), (Doussard & Holden, 2019), (Kameni & AL, 2020), concepts qui, prennent une nouvelle dimension d'économie d'énergie et de rentabilité, tentent de s'intégrer dans une démarche plus généreuse liée à la notion globale d'éco-bâtiment ou éco construction. Le pari est de maîtriser naturellement les confort d'été et d'hiver, l'utilisation de l'éclairage naturel en privilégiant des solutions simples et de bon sens telles que : la bonne orientation, le choix judicieux du matériau, la prise en compte de l'environnement, la végétation, etc. L'Algérie, quant à elle continue de se débattre contre la crise du logement, pour y répondre l'état a mis en place différentes formules.

La conjoncture actuelle de construction massive de logements collectifs pour la plupart régit par l'état, la formule location-vente proposée par L'AADL (l'Agence nationale de l'amélioration et du développement du logement), sous l'égide du ministère de l'habitat, reste la plus importante nous assistons régulièrement à des annonces d'augmentations du nombre de logement à réaliser,

Dans l'ensemble 1.096.794 logements, toutes formules confondues ont été livrés durant le quinquennat 2010-2014, dont 10.516 en location-vente AADL, pour le quinquennat 2015-2019, 400.000 logements AADL sont prévus, plus de 235.000 unités sont distribués en 2018 avec la réception prévue en 2020 de quelque 160.000 logements AADL.

Il s'agit de millions de logements, qui viennent enrichir le parc de logement algérien, parc consommateur d'énergie. Dans ce cadre des organismes comme le CNERIB (Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment) ou l'APRUE (Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie), œuvrent pour la mise en place d'une conception énergétique, la mise en place de projets pilotes à travers le territoire nationale (11 wilayas représentant les trois zones climatiques), cependant ces recherches restent largement dominées par la thermique, et ne constitue qu'une goutte dans l'océan de la production nationale de logement.

La consommation d'électricité dans le secteur résidentiel a atteint 56079,86 MWh en 2016 (MEMA 2017), contre 9 385,41 MWh en 2005 (APRUE 2005), elle représente 40% de la consommation totale d'électricité. Ainsi, il représente le premier secteur grand consommateur d'énergie électrique au niveau national. Avec l'augmentation du parc de logement ces chiffres de la consommation augmentent.

Lors de nos recherches nous avons rencontré des travaux menés par des mécaniciens en mécanique des fluides, des physiciens du bâtiment, des ingénieurs en énergies renouvelables (C.Hamouda, A.Malek 2006) (M. Amirat, S.M.K. El Hassar 2005), qui axent leurs recherches sur l'emploi de matérielle électrique basse consommation ou d'énergie solaires photovoltaïque ou thermique (M.M. Aman & Al 2013) (R. SELLAMI & Al 2019). Les études menées par des architectes (A. Belakehal, K. Tabet Aoul 2003) présentent le plus souvent diverses techniques traditionnelles et contemporaines d'éclairage naturel en architecture, ou l'évaluation de l'éclairage naturel dans un contexte particulier, telles que les salles de classe (S. Benharkat 2006) ou les bureaux (P. Ihm & Al 2009) (M.A. Fasi, I.M. Budaiwi 2015).

L'objectif de cette étude est de mettre en évidence les éléments influençant l'éclairage naturel dans les logements, dans le but d'améliorer la conception des futurs bâtiments dans une

région où la consommation d'électricité est élevée tout en offrant des espaces de vie confortables et plus précisément un confort visuel.

Problématique

L'habitat représente une part importante de la consommation d'énergie en matière d'éclairage, un effort considérable et à entreprendre dans le secteur résidentiel en vue de diminuer les consommations d'énergie.

Une attention particulière doit être portée au logement social, ce parent pauvre du secteur résidentiel de par sa densité et ses budgets restreints, représente un coût considérable en matière de consommation d'énergie à long terme.

Dans un pays comme l'Algérie où la politique de logement est largement dominée par le logement social, promouvoir l'éclairage naturel peut avoir un impact considérable sur l'environnement, l'économie d'énergie et le confort des habitants. L'architecte a un rôle important à jouer en ce sens en prenant conscience de l'impact que peut avoir une intégration cohérente de la dimension énergie et confort dans le processus de conception, une étude critique de projets types menés à terme (en Algérie) permettra d'évaluer l'impact énergétique et d'identifier les besoins des utilisateurs.

En matière d'éclairage naturel, dans des projets à budget restreint comme le logement social, l'architecte doit puiser ses réponses dans des dispositifs architecturaux, afin d'optimiser le captage de la lumière naturelle tout en assurant le confort visuel des utilisateurs.

Pour répondre à cette problématique des questions se posent, dans un premier temps pour comprendre (identifier le problème), puis dans un deuxième temps agir (proposer des réponses) :

Le logement social tel qu'il est conçu aujourd'hui en Algérie répond-il aux normes de confort visuel, et comment peut-on améliorer ce confort tout en réduisant la consommation énergétique ?

- Quel impact à la conception des logements sur le confort visuel des utilisateurs ?
- Quel sont les facteurs influant sur le confort visuel dans le bâtiment ?
- Quels dispositifs architecturaux permettraient d'équilibrer entre qualité architecturale, composante énergétique et confort visuel ?
- Quel est l'impact énergétique de la consommation d'éclairage artificiel dans le logement social, quand celui-ci est lié à la disponibilité de l'éclairage naturel ?

Hypothèses de recherche :

Dans le souci de répondre rapidement à une demande croissante en matière de logement, l'approche quantitative de la politique adoptée se basant sur l'urgence et l'économie de moyens, a pour conséquence une consommation d'énergie considérable et une médiocrité en matière de confort.

1^{ère} hypothèse :

La conception des logements n'assure pas le confort visuel des occupants, et par conséquent affecte le degré de satisfaction qu'ils peuvent avoir de leur logement.

2^{ème} hypothèse :

Des dispositifs architecturaux judicieusement choisis peuvent tout en respectant les impératifs liés aux coûts et à la rapidité d'exécution propre aux logements sociaux, diminuer la consommation d'énergie, et améliorer le confort visuel.

3^{ème} Hypothèse :

Le logement social tel qu'il est conçu aujourd'hui, en matière d'éclairage naturel, en Algérie ne répond pas aux exigences liées au développement durable et a un impact direct sur la consommation d'énergie.

Objectifs :

L'Objectif de la recherche est :

- Dans un premier temps, constater l'appréciation qu'ont les occupants de l'éclairage naturel dans leurs logements et l'impact de celui-ci sur le confort.
- Confronter cette appréciation aux valeurs de confort réelles.
- Evaluer l'éclairage naturel dans les logements étudiés, et comprendre quels sont les éléments qui influencent le niveau et la qualité de l'éclairage reçu.
- Proposer des améliorations permettant d'optimiser la captation de l'éclairage naturel et donc l'économie d'énergie et l'amélioration du confort.
- De quantifier les consommations d'éclairage artificiel (coût énergétique) lorsque celui-ci est lié à la disponibilité d'éclairage naturel dans les logements étudiés.

Méthodologie

Pour atteindre les objectifs susmentionnés, deux techniques d'investigation différentes ont été utilisées : les mesures et le questionnaire. Cette approche est mieux connue sous le nom d'évaluation post-occupation (POE) (N. Baker & Al 2002) (M.B. Hirning & Al 2013). Dans le cadre de cette recherche, le POE est utilisé au niveau de base ; le niveau indicatif présente les principales forces et faiblesses d'un logement et fournit des données sur les besoins en matière d'évaluation plus approfondie. Ce processus simple à court terme comprend des entretiens, des questionnaires et une évaluation de documents (S. Mazouz, H. Mezrag 20013). La méthode POE ne représente que le point de départ de cette recherche car notre objectif n'est pas la rénovation, mais l'amélioration de la conception des futures constructions, en essayant de comprendre l'impact de certains choix de conception architecturale sur l'éclairage de la pièce. En milieu résidentiel, obtenir un grand échantillon n'est pas une tâche facile, car ces mesures doivent être prises dans chaque pièce à différents moments de la journée et à différents moments de l'année. Pour compenser cela, la simulation est considérée comme une technique inévitable ayant considérablement progressé ces dernières années, notamment dans la simulation de l'éclairage naturel (H. Wang, Z.J Zhai 2016). Il permet une vision globale indépendamment de la disponibilité des occupants et en tenant compte des conditions météorologiques. Ainsi, les appartements sont accessibles et peuvent être simulés sous un ciel dégagé ou couvert. Cependant, les mesures prises sur un appartement contrôlé (disponible) restent nécessaires pour la validation des résultats.

Structure du travail

Pour répondre à notre problématique et vérifier nos hypothèses de recherche notre travail sera structuré de la manière suivante (Fig 1) :

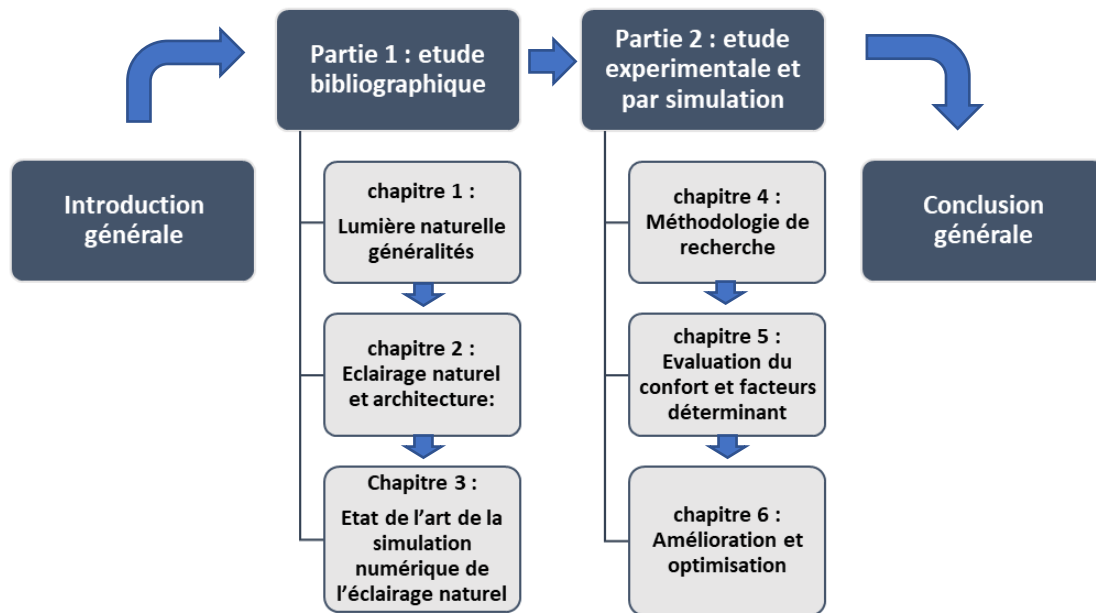


Figure 1 : Structure de la thèse (Source : auteur)

1^{ère} Partie : Etude bibliographique

Tout travail de recherche commence par une bonne connaissance du sujet, cette partie nous permet de développer nos connaissances et d'affiner notre méthodologie.

Chapitre 1 : Lumière naturelle généralités

Nous développerons dans ce chapitre tous les paramètres de base de la lumière en général et de la lumière naturelle, il s'agit de se familiariser avec ces caractéristiques physiques, et photométrique, et de sa disponibilité. Au-delà de caractéristiques physiques de la lumière, nous développerons aussi le processus d'interaction entre l'homme et son environnement, partant de l'aspect sensoriel lié à la vision, en passant par la perception sous toutes ces formes, aux notions de confort.

Chapitre 2 : Eclairage naturel et architecture

Pour notre profil d'architecte, la lumière peut constituer un matériau précieux à manipuler toute au long de la conception en vue d'assurer la fonctionnalité, le confort et l'esthétique de

notre ouvrage, dans ce chapitre nous développerons les différentes stratégies utilisées en architecture en matière d'éclairage naturel.

Chapitre 3 : Etat de l'art de la simulation numérique de l'éclairage naturel

L'évaluation de l'éclairage naturel dans les locaux peut se faire à l'aide de différentes méthodes, nous présenteront dans cette dernière étape de la partie théorique un échantillon de ces méthodes en insistant sur la simulation numérique, choisie pour l'étude, pour finir par la présentation de la méthode adoptée.

2^{eme} Partie : Etude expérimentale et par simulation

La partie bibliographique nous a permis de développer une méthode de travail que nous présentons puis appliquons dans cette partie en vue de répondre à notre problématique de recherche.

Chapitre 4 : Méthodologie de recherche

Pour être mené à bien tout travail de recherche repose sur une méthodologie, pour ce travail nous avons utilisé la méthode de « L'évaluation post occupation » (P.O.E) que nous avons associée à des simulations de l'éclairement dans le cas d'étude, cette méthode que nous proposons se déroule donc en trois phases : enquête, mesures, simulations.

Chapitre 5 : Evaluation du confort et facteurs déterminant

Dans le but de vérifier notre première hypothèse de recherche nous tenterons dans ce chapitre une évaluation du confort dans les logements de référence, en comparant les résultats des simulations aux normes en matière d'éclairement de confort.

Dans notre deuxième hypothèse nous évoquons la part de la conception architecturale dans l'atteinte du confort lumineux, partant des résultats des simulations, et se basant sur les notions recueillies dans le chapitre 2, nous évaluerons ici le caractère déterminant de deux facteurs l'orientation et l'étage.

Chapitre 6 : Amélioration et optimisation

La proposition de modifications pour les cas relevé comme étant les plus défavorables, nous permet de démontrer comment par des choix de conception simples nous pouvons améliorer les conditions d'éclairage.

En enfin pour revenir à la troisième hypothèse, concernant la consommation énergétique nous tentons une estimation de la dépense énergétique superflue, car issu d'une erreur de conception architecturale. Et ainsi démontrerons l'impact de la conception architecturale sur la consommation énergétique et par conséquent sur l'environnement.

Conclusion générale

Récapitulatif de la méthode utilisé et synthèse générale des résultats obtenus, suivie de recommandations pour les futures constructions, et de la présentation des limites et des perspectives de recherches.

CHAPITRE 1 : LUMIÈRE NATURELLE GÉNÉRALITÉS

Introduction

La lumière naturelle est l'origine de toute vie, elle est la source lumineuse de référence qui guide l'être humain tout au long de la journée, et lui permet de se situer dans le temps.

Dans ce chapitre nous allons nous intéresser à la lumière naturelle, pour mieux comprendre ses mécanismes, cela passe par la définition de ses caractéristiques physiques, et photométrique, puis par la détermination de sa disponibilité à travers la présentation des différentes sources de lumière diurne, qui permettent à l'être humain de percevoir son environnement, et d'accomplir les tâches et activités qui rythme sa vie.

1. Définitions

1.1. La lumière

Ensemble des rayonnements électromagnétiques visibles, c'est-à-dire susceptibles d'être perçus directement par un œil humain, dont les longueurs d'onde sont comprises entre 380 et 700 nm (Fig.1.1).

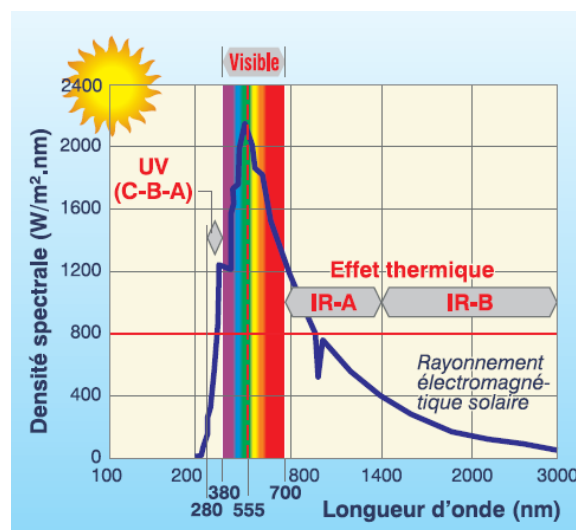


Figure 1.1 : Rayonnement électromagnétique visibles (Source : A. Liébard, A.De Herde, 2005)

1.2. La lumière naturelle

Par lumière naturelle on entend, lumière produite par le rayonnement solaire, que ce soit la lumière provenant directement du soleil ou celle réfléchiée par des surfaces ensoleillées.

1.3. Éclairage naturel

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 (L. MUDRI 2002).

Pendant longtemps, il a été omis de considérer dans les définitions et les calculs l'éclairage direct provenant du soleil, ne prenant en considération que la lumière diffuse du ciel. A l'instar de F. Bouvier qui le définit comme étant « l'éclairage produit par la voûte céleste et les réflexions de l'environnement, à l'exclusion de l'éclairement direct du soleil » (F. Bouvier 1981).

Cela pourrait être approuvé pour des régions caractérisées par un ciel couvert masquant le disque solaire, une bonne partie de l'année, mais ne pouvant être admis pour des régions tropicales et subtropicales et méditerranéennes, où le ciel clair est omniprésent (comme par exemple c'est le cas en Algérie).

2. Les caractéristiques physiques de la lumière

Dans la théorie électromagnétique, la lumière apparaît comme un phénomène ondulatoire périodique (car donnant lieu à des interférences) dont les longueurs d'onde sont de l'ordre de $0,5 \mu\text{m}$, pouvant se propager dans le vide avec une vitesse finie, et dont la nature électromagnétique a été établie par les travaux de James Maxwell. En tant qu'onde électromagnétique (onde transversale composée d'une onde de champ électrique et d'une onde de champ magnétique) de fréquence très élevée, la lumière voit sa propagation perturbée, aussi bien par la présence d'obstacles matériels (provoquant des réflexions, des diffractions, des interférences, des réfractions) que par celle de champs électriques ou magnétiques (polarisation rotatoire).

2.1. Diffraction

On dit qu'il y a *diffraction* quand, dans un milieu homogène et isotrope (même vitesse de propagation pour tous les rayons lumineux quelle que soit leur direction), la lumière ne se propage pas en ligne droite. Les phénomènes de diffraction ne se produisent que lorsque la lumière rencontre des trous ou des obstacles dont les dimensions sont de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde.

2.2. Dispersion et absorption

Suivant sa fréquence, un rayonnement électromagnétique interagit différemment avec la matière. Un des aspects de ce phénomène est la dispersion, c'est-à-dire la variation de l'indice

de réfraction de la substance en fonction de la longueur d'onde. L'observation des faisceaux colorés émergeant d'un prisme éclairé en lumière blanche s'interprète en admettant cette loi de variation.

2.2. Optique

L'optique, est la science dont l'objet est l'étude de la lumière et qui englobe toutes les techniques liées à son utilisation. Les difficultés conceptuelles soulevées depuis toujours par la compréhension de la nature de la lumière de la maîtriser. Passent par :

2.2.1. La Polarisation

Les phénomènes lumineux peuvent, selon la théorie électromagnétique (cf. lumière - Optique), être considérés comme liés à la propagation simultanée d'un champ électrique E et d'un champ magnétique H , constamment perpendiculaires entre eux ainsi qu'à la direction de propagation, et dont les valeurs sont des fonctions sinusoïdales du temps.

2.2.2. Réflexion et réfraction

Un rayon lumineux se propageant dans un milieu matériel (ou dans le vide) est généralement dévié lorsqu'il en rencontre un autre par diffusion, ou bien par réflexion ou par réfraction, selon qu'il reste ou non dans le premier milieu. Ces changements de direction obéissent aux lois de l'optique géométrique (Snell-Descartes).

3. La propagation de la lumière

Quelle que soit la couleur de la lumière émise les objets ne font que l'absorber, la réfléchir ou la transmettre sélectivement (Fig.1.2). Les effets produits par chacun de ces phénomènes dépendent de la longueur d'onde de la lumière (A. Liébard, A.De Herde 2005).

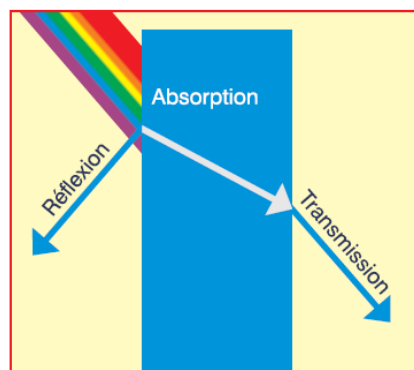


Figure 1.2: Propagation de la lumière (Source : Liébard A., De Herde A. 2005)

3.1. Absorption

Un objet éclairé par la lumière naturelle, en absorbe plus ou moins les composantes, s'il les absorbe toutes il apparaît noir, s'il les renvoie toutes, il apparaît blanc, s'il apparaît rouge par exemple c'est qu'il réfléchit la couleur rouge et absorbe toutes les autres couleurs du spectre lumineux.

3.2. Réflexion

Il existe quatre modes de réflexion de la lumière sur une surface (Fig.1.3) (A. Liébard, A. De Herde 2005) :

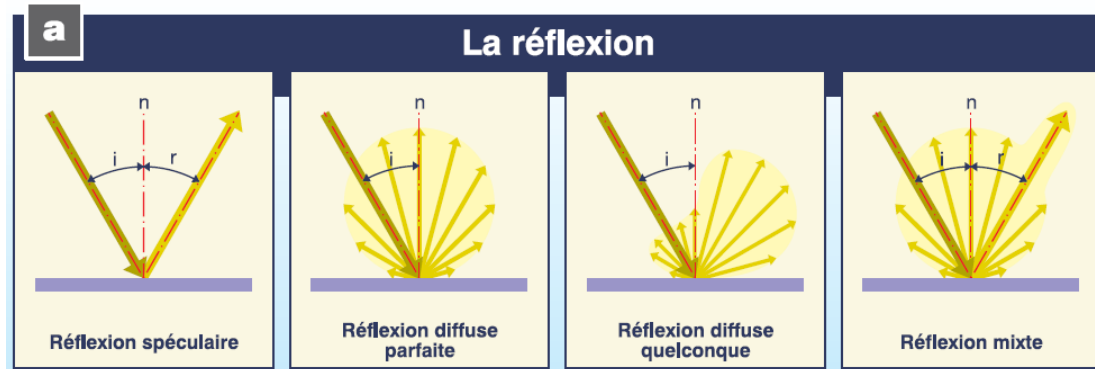


Figure 1.3: Modes de réflexion de la lumière (Source : Liébard A., De Herde A. 2005)

La réflexion spéculaire : la lumière est renvoyée selon un angle de réflexion égal à l'angle d'incidence du rayon lumineux.

La réflexion diffuse parfaite : la lumière réfléchie est distribuée dans toutes les directions.

La réflexion diffuse quelconque : la lumière se répartie de manière aléatoire.

La réflexion mixte : la lumière est réfléchie de manière diffuse, mais privilégie quand même une direction précise.

3.3. Transmission

Il existe quatre modes de réflexion de la lumière sur une surface (Fig.1.4) (A. Liébard, A. De Herde 2005) :

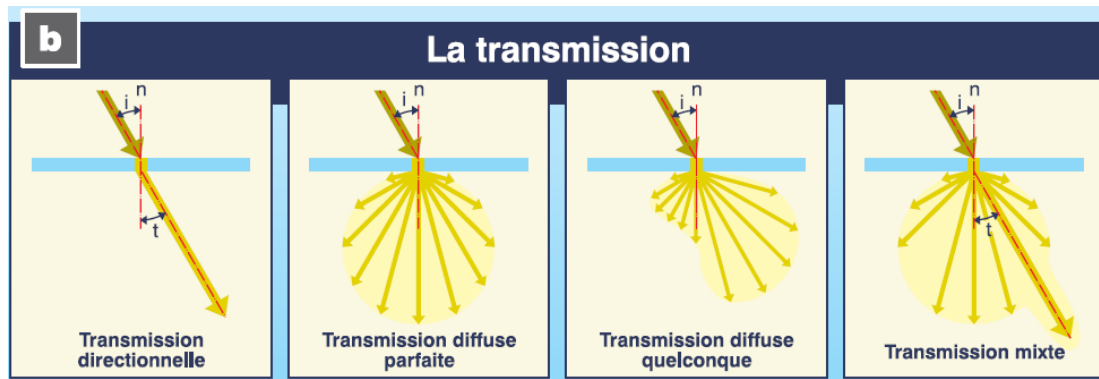


Figure 1.4 : Modes de transmission de la lumière (Source : A. Liébard, A.De Herde 2005)

La transmission directionnelle : la lumière est transmise selon un angle égal à l'angle d'incidence du rayon lumineux.

La transmission diffuse parfaite : la lumière transmise est distribuée dans toutes les directions.

La réflexion diffuse quelconque : la lumière se répartie de manière aléatoire.

La réflexion mixte : la lumière est transmise de manière diffuse, mais privilégie quand même une direction précise.

4. Les Grandeurs et unités photométrique

La photométrie est la science qui a trait à la mesure des lumières, elle permet d'assurer la mesure des grandeurs relatives au rayonnement évalué selon l'impression visuelle produite par celui-ci.

4.1. Le flux lumineux

Le flux lumineux d'une source dont le symbole est « ϕ » ou « F », est l'évaluation, selon la sensibilité de l'œil, de la quantité de lumière rayonnée dans tout l'espace par cette source. Il s'exprime en lumen (lm).

4.2. L'intensité lumineuse

L'intensité lumineuse, symbole « I » est le flux lumineux émis par unité d'angle solide dans une direction donnée. Elle se mesure en candéla, équivalent à 1 lm/sr.

4.3. L'éclairement lumineux (en un point d'une surface)

L'éclairement d'une surface « E » est le rapport du flux lumineux reçu à l'aire de cette surface. Son unité est le lux, ou le lumen/m² (lux « lx » équivalent à 1 lm/m²). Sa valeur varie selon la source (Tab.1.1, Fig.1.5).

Tableau 1.1 Valeurs de l'éclairement lumineux en fonction des sources

(A. Liébard, A.De Herde 2005)

Source lumineuse	Eclairement (Lux)
Pleine lune	0,2
Ciel couvert	5 000 à 20 000
Ciel clair (sans soleil)	7 000 à 24 000
Plein d'été	100 000

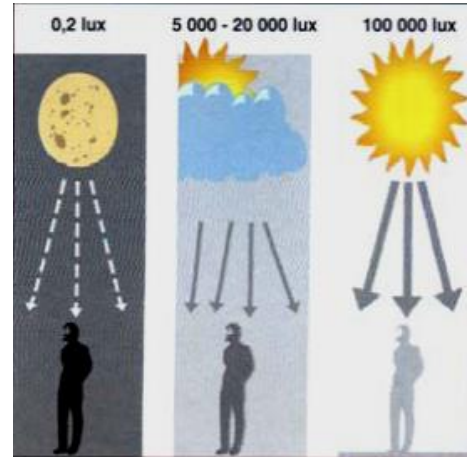


Figure 1.5 : Valeurs de l'éclairement lumineux en fonction des sources

(Source : A. Liébard, A.De Herde 2005)

4.4. La luminance lumineuse

La luminance d'une source « L » est le rapport entre l'intensité lumineuse émise dans une direction et la surface apparente de la source lumineuse dans la direction considérée (Fig.1.6). La luminance s'exprime en candélas par mètre carré (cd/m²).

Elle représente la quantité qui décrit la clarté d'une surface ; et varie en fonction de l'environnement (Tab.1.2), les mesure de luminances permettent ainsi de repérer les sources éventuelles d'éblouissement se trouvant dans le champ visuel d'un observateur (Eblouissement = Luminance trop importante) (M. Bodart ,A. Deneyer 2003)

Tableau 1.2 : Valeurs de luminance en fonction de l'environnement (Source : S.Reiter, A.De Herde 2004)

Environnement	Luminance (cd/m ²)
Paysage nocturne (limite de visibilité)	10 ⁻³
Paysage par pleine lune	10 ⁻² à 10 ⁻¹
Papier noir mat éclairé par 100 lux	1,5
Parois intérieures éclairées	25 à 250
Papier blanc mat éclairé par 100 lux	30
Paysage par ciel couvert	300 à 5 000
Paysage par ciel clair	500 à 25 000
Lune	2500
Papier blanc au soleil	~ 25 0000
Soleil	1,5 . 10 ⁹

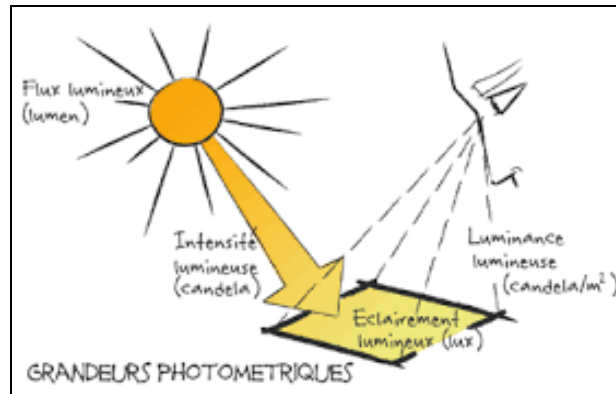


Figure 1.6 : Grandeurs photométriques (Source : [guide_bio_tech_eclairage_naturel.pdf](#), https://www.arec-idf.fr/fileadmin/DataStorageKit/AREC/Etudes/pdf/guide_bio_tech_eclairage_naturel.pdf)

4.5. les méthodes de calcul de l'éclairage naturel

4.5.1. Le facteur de lumière du jour

Il s'agit d'une méthode d'origine britannique et adoptée par la commission internationale de l'éclairage C.I.E, elle est issue de principes fondamentaux théorique (S.I.A 1999) et considère le rapport de l'éclairement naturel en un point d'un plan donnée (le plan donnée est horizontal sauf indication contraire) , dû à la lumière reçue directement ou indirectement d'un ciel dont la répartition des luminances est supposée ou connue, à l'éclairement sur un plan horizontal provenant ,sans obstruction, d'un hémisphère de ce ciel . La lumière naturelle directe est exclue de ces deux valeurs d'éclairement (M. Deribere, P. Chauvel 1968) (S.Reiter, De Herde 2004)

Le facteur de lumière du jour et ses trois composantes (Fig.1.7) sont des grandeurs spécifiques de l'éclairage naturel.

Lorsqu'on élabore les plans d'un bâtiment dans lequel on veut tirer profit de la lumière naturelle, on doit déterminer la mesure dans laquelle la lumière disponible à l'extérieur peut atteindre un emplacement déterminé à l'intérieur. Le "facteur de lumière du jour" qui est employé communément comme norme en Europe est une mesure de l'éclairage par la lumière du jour en un point. Elle est exprimée par rapport à l'éclairage sur un plan donné et à l'éclairage extérieur simultané sur un plan horizontal en un lieu sans obstacle (Fig.1.8). Par exemple si l'éclairage intérieur est de 10 lumens/ pied carré et l'éclairage extérieur sur un plan horizontal de 500 lumens/pied carré le facteur de lumière du jour est de 10/500 ou 2%.

Le facteur de lumière du jour peut être décomposé de la façon suivante :

Facteur de lumière du jour =
Composante du ciel + Composante réfléchie externe + Composante réfléchie interne.

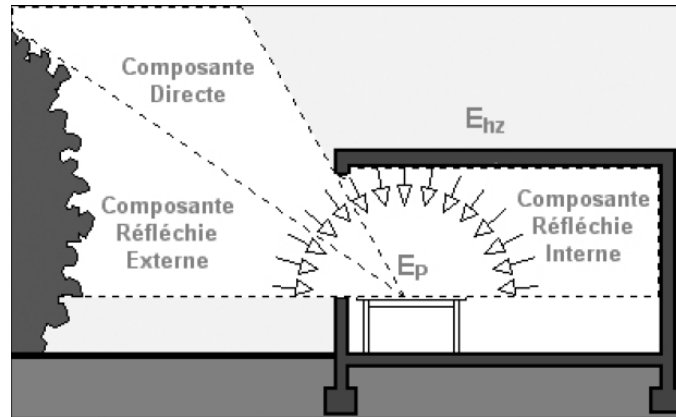


Figure 1.7 : Composantes du Facteur de lumière du jour (Source : Paule B.)

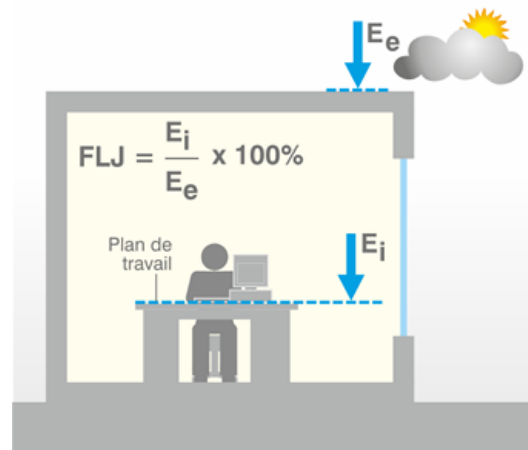


Figure 1.8 : Calcul du Facteur de lumière du jour (Source : <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=10719#c21017583>)

4.5.1.1. La composante du Ciel SC

Est la mesure de la lumière directe venant du ciel et atteignant le point intérieur considéré.

4.5.1.2. La composante réfléchie externe ERC

Est la mesure de la lumière qui atteint le point après réflexion sur des surfaces extérieures telles que les bâtiments opposés qui probablement obscurcissent une partie de la lumière directe en provenance du ciel.

3.5.1.3. La composante réfléchie interne IRC

Est la quantité de lumière atteignant le plan de travail après réflexion sur les murs, les plafonds et le toit. Dans de nombreux cas cette composante peut constituer une grande proportion de la lumière totale disponible. La grandeur de la composante réfléchie interne est établie en prenant en considération le facteur de réflexion moyen des surfaces intérieures et la dimension de la pièce et des fenêtres.

4.5.2. l'autonomie en lumière du jour

Le DA (Daylight Autonomy) est défini comme étant le pourcentage des heures occupées par an, où le niveau minimum d'éclairement requis peut être assuré par la seule lumière naturelle. Un objectif raisonnable est d'arriver à un temps d'utilisation de l'éclairage naturel d'au moins 50-60 % (pour un horaire de 8h00 à 18h00).

Une autonomie en lumière du jour de 60 % pour un lieu de travail occupé en semaine de 8 h à 18 h. et un éclairement minimum de 500 lux implique que l'occupant est en principe capable de travailler 60 % de l'année uniquement avec de l'éclairage naturel. (Energie+ <https://www.energieplus-lesite.be>)

Deux types d'autonomie en éclairage naturel doivent être distingués : l'autonomie statique et l'autonomie dynamique.

L'autonomie statique est basée sur l'évaluation du facteur de lumière du jour au point considéré et tient donc compte des conditions de ciel couvert. Elle ne considère ni le ciel clair ni intermédiaire, pas plus que les protections solaires.

Au contraire, l'autonomie dynamique en éclairage naturel est basée sur la prédiction de l'éclairement au point considéré, à chaque pas de temps (horaire ou inférieure) pour l'année entière. L'éclairement est donc prédit à partir d'un fichier météo.

4.5.3. Lumière naturelle utile (Useful Daylight Illuminance – UDI)

L'indicateur Useful Daylight Illuminance (UDI) ne prend en compte que les périodes où l'éclairage naturel sera utile aux occupants, autrement dit lorsque les conditions dans le local ne seront ni trop sombres (< 100 lux), ni trop lumineuses (> 2000 lux). Cet indicateur permet de considérer la lumière naturelle lorsqu'elle n'aura pas besoin d'être occultée pour des raisons d'éblouissement ou complétée par de la lumière électrique. (Energie + <https://www.energieplus-lesite.be>)

5. La disponibilité de la lumière diurne

L'*éclairage naturel* est difficile à quantifier et est qualifié de dynamique car il varie continuellement (le soleil se déplace, la couverture nuageuse varie, ...).

L'éclairage naturel à l'intérieur d'un bâtiment est donc fonction de plusieurs facteurs :

- Du type de ciel
- De la période de l'année
- De l'heure de la journée
- De la localisation géographique (latitude)
- Des ouvertures (orientation, forme, inclinaison, matériaux constitutifs, ...)
- Des alentours du bâtiment (masques, ombrages,)
- Du local (forme, coefficient de réflexion des parois, ...).

5.1. Les sources de lumière Diurne

Le rayonnement solaire est la seule énergie reçue par la terre, la terre et son enveloppe atmosphérique reçoivent en permanence un rayonnement solaire de 173 millions de milliards de watts (P. Bardou, V. Arzoumanian 1978) , une radiation électromagnétique émise par le soleil , l'œil n'est sensible qu'à une toute petite partie de ces radiations électromagnétiques : Le visible (la lumière)(Fig.1.9) , c'est un spectre électromagnétique dont les longueurs d'ondes ont le pouvoir d'exciter les cellules visuelles de l'œil $\lambda=0,38 \mu\text{m} < \text{Visible} < \lambda=0,78 \mu\text{m}$

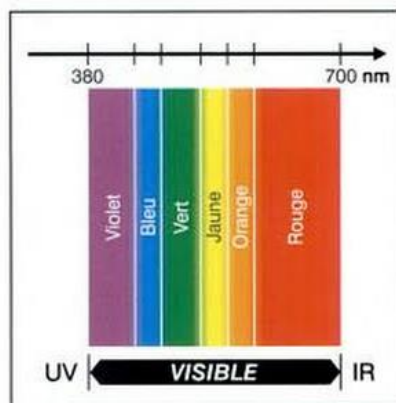


Figure 1.9 : Longueurs d'onde électromagnétique (Source : Reiter , De Herde 2004)

5.1.1. L'ensoleillement

L'ensoleillement renvoie à l'étude de la course du soleil, l'étude de la pénétration de la lumière naturelle dans un bâtiment (ou sur un espace public), l'étude du temps d'exposition dont bénéficie un local des rayons solaires, l'étude de protections solaires éventuelles, ...

Le soleil est considéré comme une source située à l'infini dont les rayons sont parallèles entre eux. Son flux varie selon quatre positions clés :

- 2 équinoxes (printemps et automne) : jour = nuit
- 2 solstices (21 juin et 21 Décembre) : jours les plus long et le plus court de l'année

En raison du mouvement annuel de la terre autour du soleil l'angle d'incidence des rayons solaires parallèles varient d'une saison à l'autre (Fig.1.10). Leur inclinaison par rapport au plan de l'équateur terrestre est représentée par un angle appelé « déclinaison », positive ou négative, suivant que le rayon principal frappe au-dessus, vers l'hémisphère Nord, ou au-dessous vers l'hémisphère Sud. Ainsi, au cours de l'année, les zones géographiques terrestres sont soumises différemment au rayonnement direct.

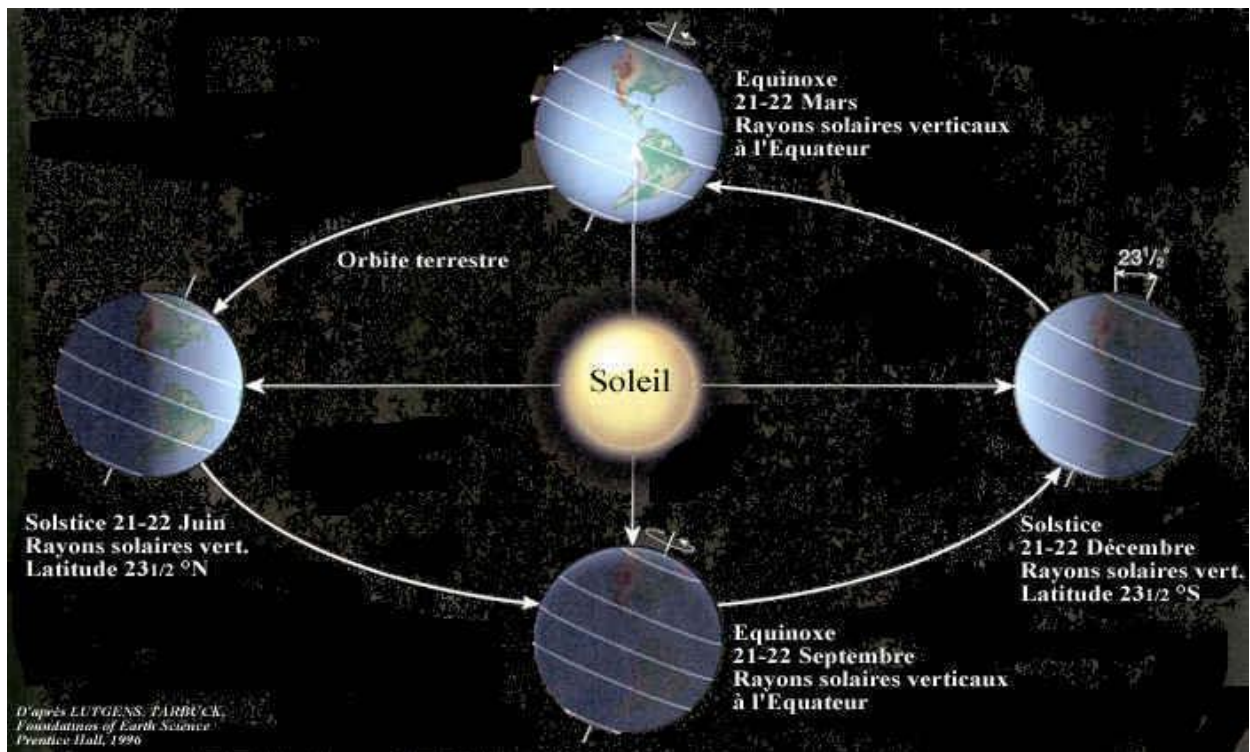


Figure 1.10 : Mouvement de la terre autour du soleil (Source : Foundations of Earth Science 1996 (Source : <https://planet-terre.ens-lyon.fr/article/solstice.xml>)

L'examen des propriétés géométriques de ce mouvement de la terre dans le plan de l'écliptique, a permis de déterminer que la déclinaison varie au cours de l'année de $-23^{\circ}27'$ à $+23^{\circ}27'$. Ces variations décrivent une sinusoïde dont le sens peut être appréhendé à travers quatre positions clés (Fig.1.11), qui correspondent respectivement :

- Au solstice d'hiver (21décembre à l'hémisphère Nord) : les rayons solaires sont perpendiculaires au tropique du capricorne avec un angle de déclinaison de $-23^{\circ}27'$.

Durant cette période, la nuit est plus longue que le jour car le soleil se lève au sud-est et se couche au sud-ouest. Les altitudes solaires sont basses et l'intensité des éclairagements lumineux directs est également minimale.

- Aux équinoxes de printemps (21 mars) et d'automne (22 septembre) : les rayons solaires sont dans le plan de l'équateur et la déclinaison mesure alors 0° . Cette position traduit l'égalité des jours et des nuits où le soleil se lève en plein Est et se couche en plein Ouest.
- Au solstice d'été (23 juin) : la position de la terre est opposée à celle du 21 décembre et le soleil frappe l'hémisphère Nord avec un angle maximum de déclinaison égal à $+23^\circ27'$. Durant cette période, le jour est plus long que la nuit car le soleil se lève au Nord-est et se couche au Nord-ouest. Les éclairagements lumineux directs sont intenses et les altitudes solaires sont importantes.

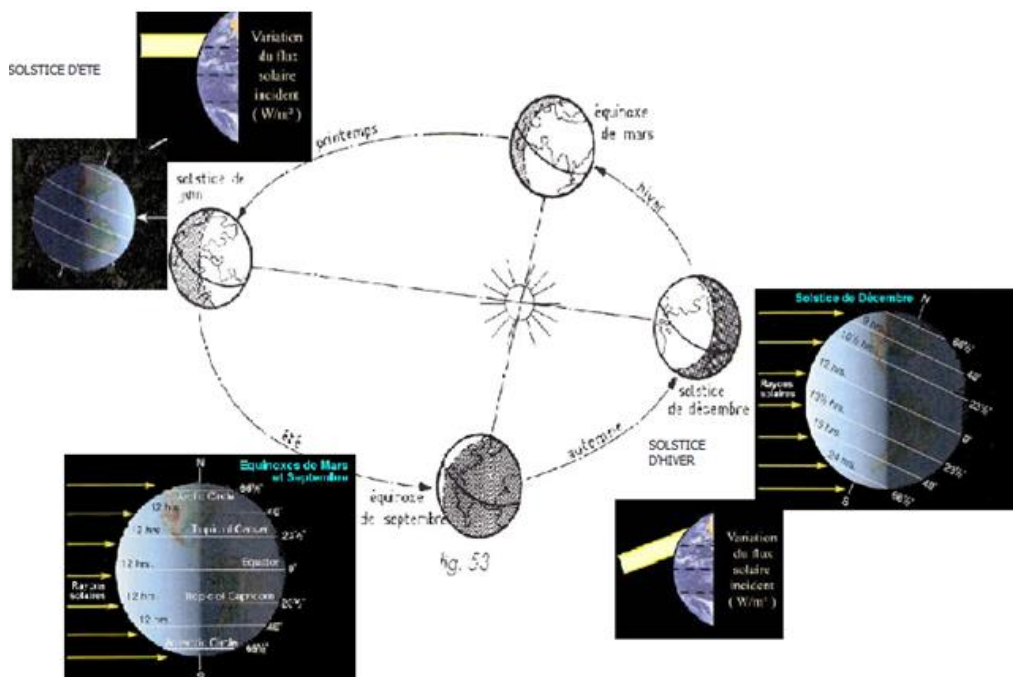


Figure 1.11 : Angles d'incidence des rayons solaire (Source : Seille P., ENS INSA Lyon, 2000)

<http://www.ens-lyon.fr/Planet Terre/Infosciences/Planetologie/Description/Articles/solstice.html>

5.1.1.1. Position du soleil dans le ciel

La position du soleil dans le ciel dépend de trois paramètres : la latitude, le moment de l'année et l'heure

5.1.1.2. La trajectoire solaire

La position du soleil dans l'hémisphère céleste à tout moment peut être déterminée en fonction de deux angles : l'altitude et l'azimut.

L'Azimut : étant l'angle formé par la trace du soleil sur le plan horizontal et la direction Nord (dans le sens des aiguilles d'une montre). Par commodité, on utilise l'azimut par rapport au sud (< 0 côté Est, > 0 côté Ouest).

L'altitude : est définie comme « l'angle compris entre la droite joignant le point considéré sur la terre et le centre de la terre avec le plan de l'équateur terrestre ». (CERMA [En ligne]

<http://audience.cerma.archi.fr/cerma/pageweb/theorie/solaire/.html>)

Selon (L. MUDRI 2002), les éclairagements lumineux directs seront aussi d'intensité variable à cause de l'épaisseur de la masse d'air (ou de la couche atmosphérique) traversée par les rayons solaires car plus la latitude est élevée, plus l'épaisseur de la masse d'air à traverser est importante et plus l'éclairement lumineux direct est faible.

B. GIVONI écrit : « En supposant que la terre est stable, le soleil suit sur la voûte céleste une trajectoire en forme de spirale. La ligne imaginaire tirée entre le soleil et la position de l'observateur terrestre (Fig.1.12), trace d'énormes cônes de révolution plats dont le sommet est occupé par l'observateur. En hiver, le cône de révolution est concave descendant vers le Sud et en été le cône concave est montant vers le Nord. Tandis qu'aux équinoxes, il est réduit à un disque » (B. Givoni 1978)

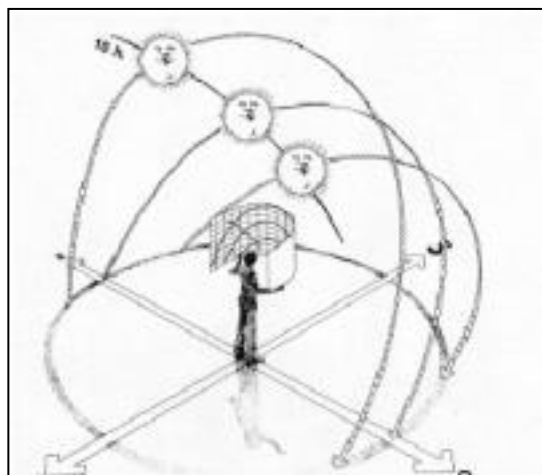


Figure 1.12 : Trajectoire apparente du soleil. (Source : Mazria, 1981.)

5.1.2. L'éclairage diffus

Selon J. Bell et W. Burt : « la lumière du ciel est la partie de l'irradiation solaire qui atteint la surface terrestre et qui résulte de la diffusion par l'atmosphère ». (J. Bell & W. Burt in D.Rouag 2001)

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

Selon L. Mudri, les répartitions spectrales de la lumière solaire et de la lumière diffuse par le ciel sont différentes à cause des composantes de ces deux sources. En effet, la voûte céleste est composée d'un voile plutôt uniforme et de nuages, qui sont des formations non uniformes et variables, qui sont à l'origine de la composition spectrale du rayonnement diffus. (L. Mudri 2002)

5.1.2.1. Le rayonnement électromagnétique

Le soleil émet un rayonnement électromagnétique qui dépend de la composition de l'atmosphère il est divisé en rayonnement direct et rayonnement diffus la somme de ces deux rayonnements est appelé rayonnement global (Fig.1.13), il est mesuré en Watt par mètre carrée ou également en watt-heure par mètre carré par mois, par jour ou par ans.

Le rayonnement diffus est la partie des rayons solaires réfléchis par les particules de poussières et les microgouttelettes d'eau présents dans l'atmosphère, le reste du rayonnement qui atteint directement la terre est le rayonnement direct.

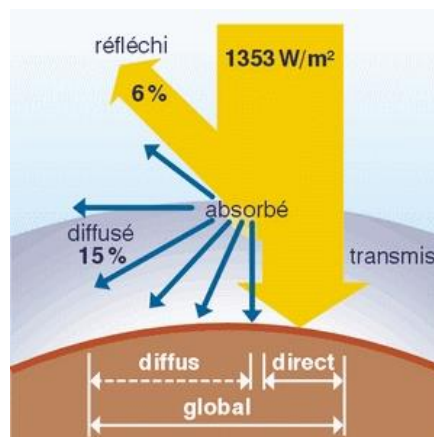


Figure 1.13 : Rayonnement électromagnétique (Source : https://sites.uclouvain.be/eclairage-naturel/guide_sources.htm#ancree01)

5.1.2.2. Le spectre solaire

Le rayonnement solaire ne correspond qu'à une partie du spectre des ondes électromagnétiques, Le spectre solaire se répartit selon trois types de rayonnement :

- Les ultraviolets (UVA et UVB) qui ont une longueur d'onde comprise entre 280 et 380 nm. Ils représentent environ 5 % de la quantité totale du rayonnement solaire.
- La partie visible du spectre. Il s'agit de la partie du rayonnement solaire compris entre 380 et 700 nm. C'est dans ce domaine visible que l'énergie solaire est la plus intense. Elle représente 50 % de la quantité totale du rayonnement solaire.
- Les infrarouges (IRA et IRB) qui correspondent aux longueurs d'ondes comprises entre 700 et 2 500 nm. Ils représentent environ 45 % du spectre solaire.

5.1.3. Le ciel

Ce qu'on appelle le ciel est la partie du rayonnement solaire qui est absorbée et réémise par l'atmosphère, nous avons déjà vu que la disponibilité de la lumière naturelle dépend de la position du soleil dans le ciel défini par l'heure et la position géographique, mais d'autres éléments liés aux conditions météorologique entre aussi en considération. C'est pour cela que pour simplifier les études d'éclairage naturel, des ciels standards ont été établis, Ces modèles standards de ciel permettent de représenter la distribution spatiale et temporelle des luminances de la voûte céleste. (L. Mudri 2002).

5.1.3.1. Les différents types de ciel

Le ciel Couvert

Le ciel couvert a longtemps été considéré comme représentant les conditions défavorables pour un éclairage naturel et a servi de base pour l'élaboration de méthodes d'évaluation des niveaux d'éclairement lumineux dans les locaux (P. Chauvel et M. Deribere 1968).

L. Mudri le définit comme étant « un ciel caractérisé par un soleil non visible et des nuages distribués entièrement sur toute la voûte céleste ». (L. Mudri 2002) Cependant, il existe deux types de ciel couverts : Le ciel couvert uniforme et le ciel couvert CIE.

a- Le ciel couvert uniforme : le ciel couvert uniforme correspond à un ciel très fortement couvert. Il s'agit du modèle de ciel le plus anciennement utilisé et c'est lui qui donne les calculs les plus simples pour l'établissement des abaques.

C'est le modèle le plus simple Sa *luminance* est indépendante des paramètres géométriques : elle est constante en tout point du ciel à un moment donné. 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.



Figure 1.14 : Répartition des luminances pour un ciel couvert uniforme (Source : Liébard, De Herde 2005)

Ce ciel n'a pas été retenu pour une normalisation internationale puisqu'on considère que tous les points de la voûte céleste ont la même luminance (Fig.1.14).

b- Le ciel couvert CIE : Le premier type de ciel normalisé en 1955 par la Commission Internationale de l'Eclairage fut un ciel couvert nuageux, appelé ciel C.I.E ou ciel « Moon et Spencer » (Fig.1.15). Ciel pour lequel la *luminance* en un point varie en fonction de sa position sur la voûte céleste, la luminance ici est calculé selon l'équation suivante :

$$L = L_z \frac{1+2 \sin \theta}{3}$$

Équation 1.1 : Luminance

Où L_z représente la luminance au zénith et θ la hauteur de la zone du ciel considérée

Ce modèle correspond à un ciel de nuages clairs cachant le soleil.



Figure 1.15 : Répartition des luminances pour un ciel couvert C.I.E. (Source : Liébard, De Herde 2005)

c- Ciel clair serein (ou ciel bleu) : Dix-huit ans après la normalisation du ciel couvert C.I.E, et compte tenu du fait que ce ciel ne peut être représentatif des conditions climatiques réelles de

beaucoup de régions à travers le monde, notamment dans les régions arides et semi arides, un autre modèle standard de la répartition de la luminance de la voûte céleste a été adopté par la C.I.E en 1973 : il s'agit du Ciel clair, pour lequel les valeurs de *luminance* varient en fonction de paramètres géométriques et de la position du soleil (Fig.1.16). 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. Ce modèle simule la composante diffuse de l'éclairement d'un ciel serein.



Figure 1.16 : Répartition des luminances pour un ciel clair C.I.E. (Source : Liébard, De Herde 2005)

Le modèle de ciel clair tient compte des conditions réelles moyennes et des relations de diffusion et de réfraction de la lumière solaire dans une atmosphère parfaitement claire et sans nuages (L. Mudri 2002). La relation suivante permet de calculer la luminance (L_p) de n'importe quel point sur le ciel clair CIE :

$$L_p = L_z \frac{(a + b e^{-3k} + c \cos^2(k))(1 - e^{-d \sec(z)})}{(a + b e^{-3zs} + c \cos^2(zs))(1 - e^{-d})}$$

Équation 1.2 : Luminance L_p

Où :

L_z : Luminance du ciel au zénith.

K : Angle (en radians) entre le point P (Point d'observation) et le soleil.

z : Angle entre le zénith et le point P.

zs : Angle entre le zénith et le soleil.

a, b, c, d sont des coefficients ajustables.

Selon la publication n° 22 de la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE [En ligne] www.squ1.com), "Standardization of Luminance Distrib :

$a = 0.91$; $b = 10.0$; $c = 0.45$; $d = 0.32$

La C.I.E a aussi standardisée le ciel clair pour les atmosphères polluées, en utilisant les coefficients suivants :

$$a = 0.856 ; b = 16.0 ; c = 0.30 ; d = 0.32$$

d- Ciel clair avec soleil :

Alors que les trois modèles précédents ne font intervenir que la composante diffuse du rayonnement solaire, le ciel clair avec soleil prend en compte son rayonnement global, c'est-à-dire la somme des rayonnements directs et diffus ; Ce ciel correspond à un ciel serein au sein duquel le soleil brille (Fig.1.17). Le ciel clair avec soleil offre la possibilité d'étudier les jeux d'ombres et de lumière ainsi que les risques d'éblouissement dus à la pénétration du soleil dans un bâtiment.



Figure 1.17 : Répartition des luminances pour un ciel clair avec soleil C.I.E. (Source : Liébard, De Herde 2005)

6. Modification du ciel dans la journée et dans l'année

Afin d'évaluer le degré d'ensoleillement des espaces intérieurs exposés aux différentes orientations, il est nécessaire de connaître la durée d'ensoleillement de l'espace, les taches d'ensoleillement et leurs incidences sur l'espace et ses occupants.

La position du soleil dans l'hémisphère céleste à tout moment peut être déterminée en fonction de 02 angles ; l'altitude et l'azimut.

Les diagrammes solaires sont disponibles pour les latitudes principales ; les angles solaires peuvent être lus directement sur ces diagrammes et diverses applications peuvent être réalisées comme le calcul de la période d'ensoleillement.

6.1. Modification de l'éclairement dans la journée

La répartition lumineuse varie au cours de la journée, la lumière disponible augmente jusqu'à la mi-journée, puis diminue progressivement.

La figure 1.18, représente la variation de l'éclairement (lux) à l'intérieur d'un local en fonction de l'heure.

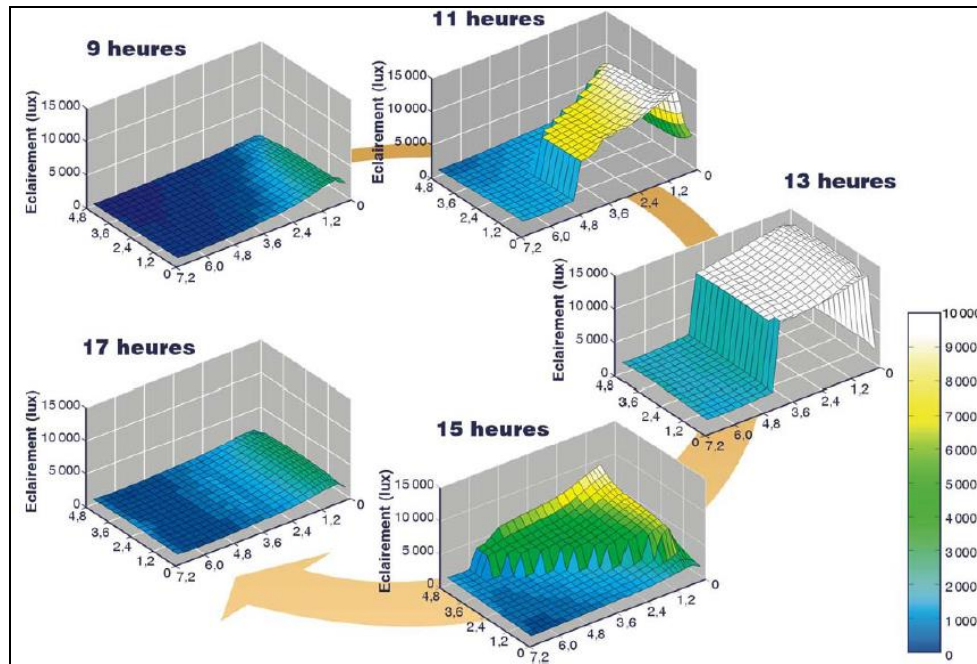


Figure 1.18 : Variation de l'éclairement durant la journée

(Source : <https://sites.uclouvain.be/eclairage-naturel/documents%20pdf/presentation-guide.pdf>)

6.2. L'influence des moments de l'année

La variation de l'azimut et de la hauteur du soleil varie en fonction de la période de l'année (Fig.1.19). Cette position variable du soleil en un jour et à une heure donnée influence l'éclairement à l'intérieur du local, un soleil d'été haut dans le ciel pénètre peu profondément dans le local bien qu'il fournisse un éclairement important, tandis qu'un soleil d'hiver moins intensif et plus bas pénètre profondément dans le local (Fig.1.20).

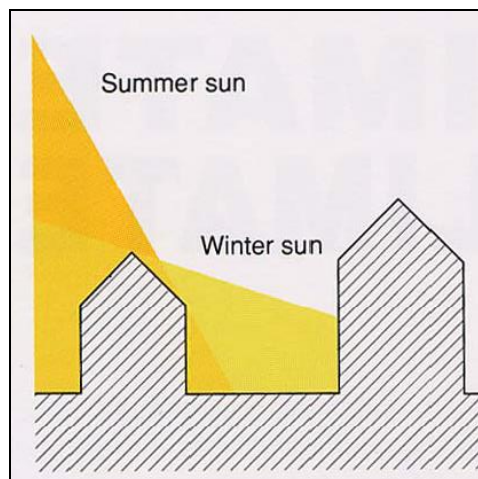


Figure 1.19 : Variation de l'angle d'incidence du soleil en fonction des saisons (Source : Liébard, De Herde 2005)

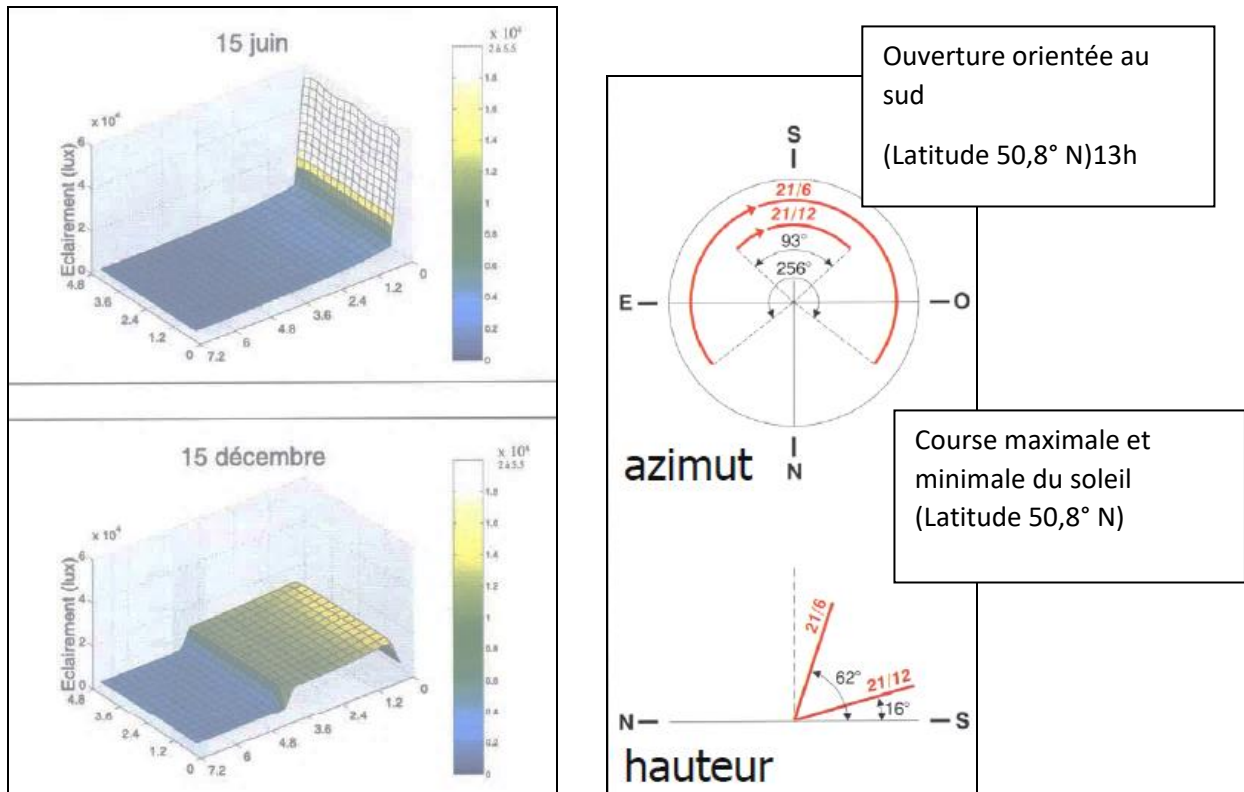


Figure 1.20 : Influence du moment de l'année (Source : Balez 2008)

7. Ce qui influence l'éclairage naturel

Le niveau d'éclairage naturel du bâtiment est influencé par plusieurs facteurs, la nature et la quantité des surfaces vitrées ainsi que de la profondeur des pièces en façades. Il s'exprime suivant deux indices :

- L'indice d'ouverture qui correspond au rapport de la surface de la baie (Tab.1.3) à la surface utile.
- Le niveau de solarisation du bâtiment correspond surtout à la cible énergétique. Il s'agit du rapport de la somme des surfaces de baies (Tab.1.3), pondérée par les orientations, à la surface utile.
- L'indice de vitrage et l'indice de vitrage corrigé prennent en compte l'épaisseur des menuiseries et le facteur de transmission lumineux du vitrage.
- L'indice de profondeur qui correspond au rapport de la profondeur du local à la hauteur utile sous linteau (Tab.3) (différence de hauteur entre le plan utile généralement situé à 0.80m et le linteau).

Tableau 1.3 : Indice d'ouverture et de profondeur par type de local (Source : ADEME 2003)

	Indice de profondeur	Indice d'ouverture		
		Base	Performant	Très performant
Chambres	< 2.6	16%	16%	30%
Séjours	< 3.0	16%	20%	30%
Cuisines	< 2.6	16%	25%	30%
Salle de classe	< 3.5	20%	30%	35%
Bureaux	< 2.6	20%	30%	35%

7.1. Le site

Pour favoriser les apports en lumière naturelle, l'implantation du bâtiment au sein de son site et son orientation doivent être étudiées afin d'optimiser l'ensoleillement mais aussi les vues. La typologie du site et la nécessité d'intégrer l'opération dans son environnement naturel ou bâti peuvent limiter ou guider les choix d'orientation.

L'analyse du contexte géographique, notamment en milieu naturel, permettra de définir les orientations principales, les éventuels masques solaires lointains (relief) et de proximité (végétation).

L'analyse du contexte climatique déterminera le type de climat (éventuelles surchauffe estivales) mais aussi l'ensoleillement (données Météo).

L'analyse du contexte réglementaire permettra de déceler d'éventuelles constructions futures pouvant établir un masque solaire.

7.1.1. Réflexion des parois extérieures

Le sol a un coefficient de réflexion appelé l'« Albédo », plus une surface est claire et réfléchissante plus elle peut capter la lumière (un plan d'eau par exemple) plus le coefficient de réflexion est élevé mieux le local est éclairé.

Ainsi l'utilisation de matériaux réfléchissant dans un bâtiment influence son exposition effective.

7.1.2. Les masques

Tout élément de l'environnement pouvant donner de l'ombre est considéré comme un masque (immeuble, arbres,...) empêchant les rayons solaire d'atteindre le bâtiment, donc il est

indispensable dans le processus de conception de prendre en considération l'effet de masquage produit par les bâtiments et autres masques de l'environnement, ceci est possible en utilisant la géométrie du solaire qui détermine l'ombrage créé par le masque à une heure et une journée donnée, calculé à partir des diagrammes solaire ou de logiciels de simulation d'ombre .

Les règles de prospect permettent de fixer les distances séparatives entre bâtiments adjacents et permettent à l'architecte à un stade précoce de la conception d'établir un plan d'ensemble qui ne prive pas certains espaces de lumière du jour.

De simples règles empiriques donnent pour chaque type de climat l'angle d'espacement minimal entre deux bâtiments opposés, Exemple règle empirique d'Evans (1980) (Tab.1.4).

Tableau 1.4 : Tableau d'Evans (1980) (Source : Mazouz 2014)

Climat	Latitude (°)	Angle d'espacement (°)
Chaud et humide	0-10	40
Composé	15	45
Composé/désert	20	50
Méditerranée désert	30	45
Méditerranéen	35	40
Méditerranée tempéré	40	35
Tempéré	45	30
Tempéré	50	25
Tempéré froid	60	22

Lire la latitude sur la colonne centrale (Cas de l'Algérie prendre de 20° à 35°), lire le climat correspondant ensuite lire sur la colonne trois la valeur de l'angle d'espacement.

7.2. Caractéristiques du local

Les proportions et dimensions et dimensions d'un local influent sur l'éclairement qu'il reçoit :

7.2.1. La profondeur

Il existe une règle selon laquelle la profondeur de pénétration de l'éclairage naturelle dans un local vaut 1,5 fois la hauteur du linteau de la fenêtre par rapport au sol pour une fenêtre classique (Liébard ,De Herde, 2004). Dans le cas d'une fenêtre orientée au sud et équipée

d'un lightshef, cette valeur peut atteindre deux fois la hauteur du linteau de la fenêtre par rapport au sol (Fig.1.21).

Pour un local profond l'éclairage sera moins important au fond.

L'**indice de profondeur I_p** est le rapport de la profondeur du local à la hauteur utile sous linteau, la hauteur utile étant la hauteur comprise entre le plan de travail et la sous face du linteau.

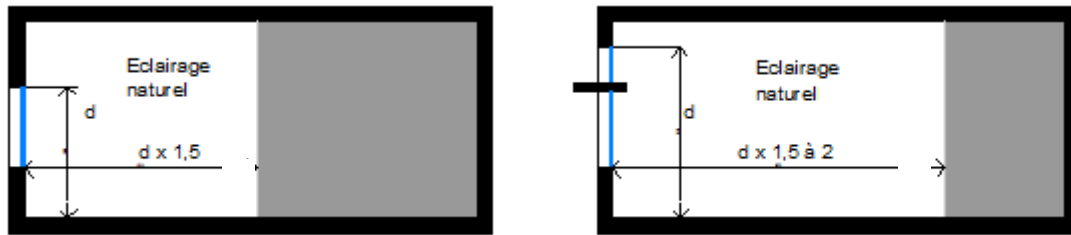


Figure 1.21 : Profondeur de l'éclairage à l'intérieur du local (Source : auteur)

7.2.2. Largeur

Plus un local est large plus l'éclairement sera important, à condition que le rapport de la surface vitrée sur la surface au sol soit constant.

7.2.3. Hauteur

Le facteur d'éclairement est légèrement plus élevé dans les locaux ayant un plafond bas.

7.2.4. Aménagement et couleur

Comme pour l'extérieur les obstacles et le coefficient de réflexion à l'intérieur d'un local influent sur l'éclairement. Ainsi des parois de couleurs claires, des surfaces brillantes, le type de mobilier tout comme son agencement peuvent avoir de grosses répercussions sur la distribution de la lumière dans l'espace et le confort des utilisateurs. Il faut donc positionner les éléments de manière à ce qu'ils ne fassent pas obstacle à la lumière naturelle d'une part, et placer les éléments nécessitant un éclairage important de manière judicieuse par rapport à la lumière naturelle d'autre part.

8. Le niveau d'éclairement d'un local

Le niveau d'éclairage naturel du bâtiment est exprimé par le facteur de lumière du jour (FJ ou FLJ), en % qui indique souvent l'exigence en lumière naturelle dans un local (Tab.1.5). Il représente la proportion de l'éclairement naturel extérieur (en lux) disponible sur le plan de travail le plus défavorisé du local ou de la zone spécifiée.

Tableau 1.5 : Facteur de lumière du jour par type de local (1) (Source : ADEME 2003)

	Base ⁽¹⁾	Performant		Très performant	
		Nord	Sud	Nord	Sud
Chambre ⁽²⁾	0.5%	1%		2%	1.5%
Séjour	1%	1.5%		2%	1.5%
Cuisine	1.5%	2%		2.5%	2%
Salle de classe ⁽³⁾	2%	2.5%	2%	3%	2.5%
Bureaux ⁽³⁾	2%	2.5%	2%	3%	2.5%

⁽¹⁾ Ces exigences peuvent être réduites à certaines zones de pièce, dont le mode d'occupation exige de l'éclairage naturel, par exemple la moitié de la pièce en résidentiel, une profondeur de 3 mètres en bureau, ' moins d'un mètre du fond de la classe en scolaire.

⁽²⁾ Des exigences plus fortes doivent être demandées dans des chambres d'enfant servant d'espace de travail

⁽³⁾ Des exigences plus faibles doivent être demandées pour les locaux où prime le travail sur écran, et pour lesquels il doit être possible de moduler la lumière naturelle

Le niveau d'éclairement d'un local est fixé en fonction de l'activité du local. Il s'agit de la quantité de lumière reçue sur une surface, le plan utile (généralement au niveau du plan de travail à 0.80m du sol). Selon l'occupation des locaux, les besoins en lumière et donc les niveaux d'éclairement ne sont pas les mêmes. L'éclairement se mesure en lux. Au cours d'une journée moyennement couverte, l'éclairement extérieur varie de 5000 à 20000 lux. Il peut atteindre 100000 lux en plein été à midi. L'éclairement nécessaire pour travailler varie de 200 à 800 lux, selon la précision requise. Un plan de travail horizontal nécessite un éclairement de 300 à 500 lux, un écran vertical de 100 à 200 lux. Il faut préciser que la plupart du temps ces niveaux d'éclairement sont atteints grâce à l'utilisation d'éclairage artificiel, seul garant de l'uniformité dans le temps d'un éclairement constant, synonyme de confort visuel.

Les valeurs des éclairagements moyens sont préconisées en France, par exemple, par l'Association Française de l'Eclairage (AFE) pour tous les types de locaux (Tab.1.6).

Tableau 1.6 : Evaluation des niveaux d'éclairage de confort dans les locaux en lux (Éclairage moyen en service)
(Source : ADEME 2003)

Secteur	Local	Plage de confort (Selon activité)	Choix courant (AFE)*	Choix raisonnable	
				Fond	Tache
Résidentiel	Séjour	60 à 300	300	200	300
	Chambre	60 à 300	200	100	300
	Cuisine	60 à 300	500	200	300
	Salle de bain	60 à 500	500	150	400
	Circulations	60 à 250	100	100	
Scolaire	Salles de classe	200 à 500	400	250	400
Bureaux	Bureaux	200 à 500	500	250	300

*Association française de l'éclairage

8.1. Variation du facteur de lumière du jour dans un local

Le facteur de lumière du jour n'est pas constant dans un local : il décroît très vite dès lors que l'on s'éloigne d'une prise de jour (Fig.1.22).

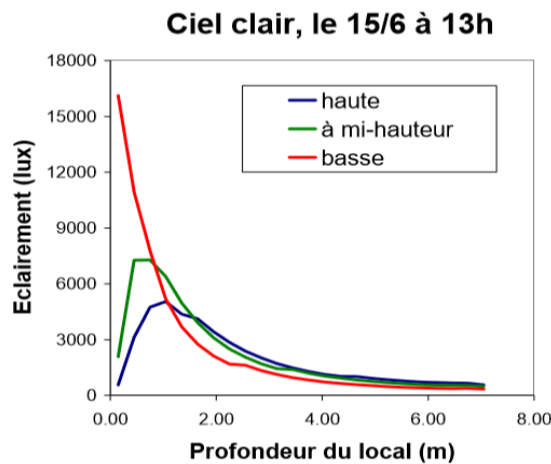


Figure 1.22 : Variation de l'éclairage selon la profondeur du local en fonction de la position de l'ouverture (Source : <https://sites.uclouvain.be/eclairage-naturel/documents%20pdf/presentation-guide.pdf>)

8.2. Prise de jour des ouvertures

La plupart des bâtiments ont des fenêtres, ceux sans fenêtres sont considérés comme inhabituels, et certains même comme néfastes (D.Canter 1975) , leurs tailles leurs formes influencent l'aspect de la façade, et comme la qualité de l'environnement intérieur dérivent généralement d'elles, les fenêtres influencent à la fois la forme du bâtiment et la manière dont les bâtiments sont disposés les uns à côté des autres.

La position, les dimensions et la configuration des ouvertures jouent un rôle important dans l'admission ou l'exclusion de la lumière du jour.

L'**indice d'ouverture I_o** est le rapport de la surface d'ouverture à la surface de la pièce. I_o s'exprime en %. L'indice d'ouverture n'est pas très exigeant, car ils doivent rester compatibles avec les exigences de confort thermique et de la performance énergétique.

La figure (1.23) montre que les fenêtres allant dans le sens de la longueur donnent de meilleurs niveaux d'éclairement en profondeur de la pièce si elles ne sont pas éloignées les unes des autres.

En revanche les ouvertures larges et hautes provoquent l'éblouissement. Le concepteur doit pouvoir concevoir les ouvertures en fonction d'un certain nombre de facteurs dont l'obstruction par les bâtiments voisins, les réflectances des surfaces.

Dans les espaces très profonds, l'éclairage zénithal peut s'avérer plus approprié.

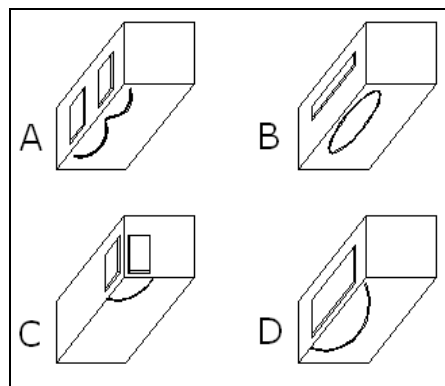


Figure 1.23 : Schéma illustrant les effets des emplacements et dimensions des ouvertures sur la lumière du jour (Source : Osbourn 1985 in S.Mazouz 2014)

8.2.1. Dimension

La taille des ouvertures détermine la quantité de lumière extérieure qui parvient à l'intérieur du local, le choix des châssis est aussi important, ils réduisent les surfaces vitrées et absorbent une partie de la lumière du jour.

8.2.2. Forme

Si une fenêtre large permet une répartition uniforme, une fenêtre haute éclaire plus en profondeur. Pour un éclairage uniforme et donc un meilleur confort visuel, pour une même surface de vitrage préférer une seule fenêtre large à deux fenêtres placées symétriquement.

8.2.3. Position

Plus une fenêtre est élevée, mieux le fond de la pièce est éclairé, et plus la zone éclairée naturellement est profonde.

8.2.4. Transparence

Une lumière qui rencontre un vitrage est transmise, absorbée est réfléchi. Le facteur de transmission lumineuse TL est le pourcentage du rayonnement visible transmis à travers la paroi.

Le choix du vitrage doit se faire sur base de ces considérations, en trouvant un compromis favorable entre transmission lumineuse et confort thermique (d'été et d'hiver).

Afin de pourvoir un éclairage naturel suffisant, les baies vitrées des chambres à coucher auront une superficie au minimum égale à 10% de la surface au sol et les 45° supérieurs de la voûte céleste seront dégagés de tout obstacle extérieur (habitations voisines, végétation, ...).

Comme on peut le voir sur le tableau (Tab.1.7) ci-dessous le type de vitrage affecte directement la transmission lumineuse :

Tableau 1.7 : Transmission lumineuse par type de vitrage (Source : Energie+ le site, <https://energieplus-lesite.be/donnees/enveloppe44/enveloppe2/recapitulatif-des-caracteristiques-des-vitrages/>)

Type de vitrage		Coefficient U (W/m ² K)	Transmission lumineuse TL %	Facteur solaire FS % (g)
Simple	clair (8 mm)	5,8	90	86
Double	clair	2,8	81	76
	clair + basse émissivité	1,6	70	55
	clair + absorbant	2,8	36 à 65	46 à 67
	clair + réfléchissant	2,8	7 à 66	10 à 66
	clair + basse émissivité et à contrôle solaire	1,6	71	40
	clair + basse émissivité + gaz isolant	1 à 1,3	70	55
	clair + basse émissivité et à contrôle solaire + gaz isolant	1 à 1,3	71	40
Triple	clair	1,9	74	68
	clair + basse émissivité + gaz isolant	0,6-0,8	65-75	50-70
	clair + basse émissivité (int) + contrôle solaire (ext) gaz isolant	0,6-0,8	60-70	30-40

9. Perception et confort visuel

9.1. la perception visuelle

« Nos yeux sont faits pour voir des formes sous la lumière » (Le Corbusier 1924)

9.1.1. La vision

L'œil nous permet de prendre connaissance de notre environnement en interprétant le flux lumineux qui le pénètre. Vu la grande vitesse de la propagation de la lumière, ce mode de perception à distance se fait pratiquement en temps réel, sauf pour les corps célestes éloignés ou lors de changements brutaux de niveaux d'éclairement.

Un rayon lumineux, qui atteint notre œil, traverse successivement :

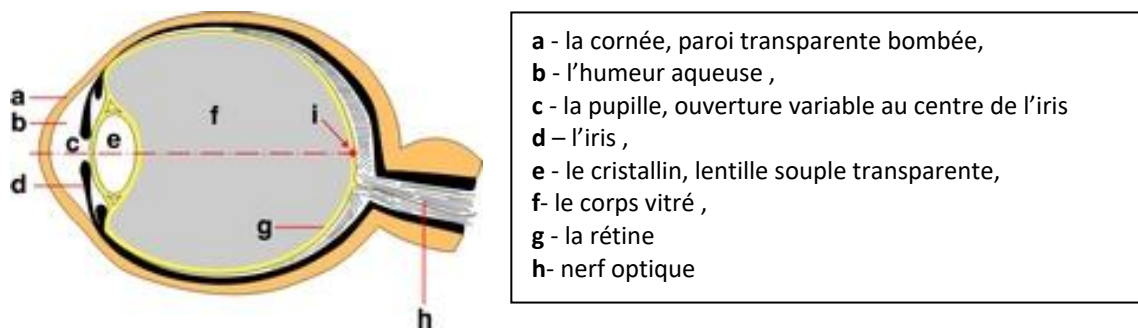


Figure 1.24 : Biologie de l'œil (Source : https://sites.uclouvain.be/eclairage-naturel/guide_perception.htm)

La sensation de perception visuelle implique la pénétration d'un rayon lumineux, en provenance d'une source de lumière directe ou indirecte, dans le globe oculaire et son absorption par la rétine, partie photosensible de l'œil. Les récepteurs photosensibles de la rétine transforment alors l'énergie lumineuse en un influx nerveux, qui est acheminé par le nerf optique (**h**) jusqu'au cerveau. Celui-ci procède à l'interprétation du signal reçu et reconstitue l'image d'origine.

Le contrôle de la quantité de lumière admise sur la rétine est possible grâce à la pupille, ce diaphragme d'ouverture variable. La réaction de l'œil face au flux de lumière reçu se manifeste également par une lente adaptation de la sensibilité de la rétine.

9.1.2. La perception de l'intensité lumineuse

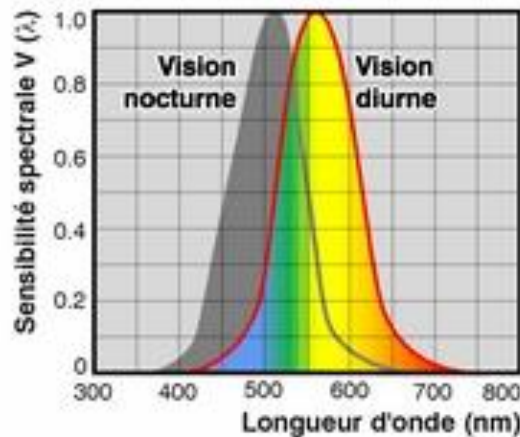


Figure 1.25 : Courbe de sensibilité spectrale de l'œil humain en vision nocturne et diurne (Source : https://sites.uclouvain.be/eclairage-naturel/guide_perception.htm)

Le seuil de perception de sensation lumineuse est de l'ordre de 10^{-6} cd/m^2 . Jusqu'à 10^{-3} cd/m^2 , il s'agit de la vision nocturne ; au-dessus de quelques cd/m^2 , de la vision diurne (Fig.1.25).

Le phénomène d'adaptation de l'œil dépend des luminances de départ et d'arrivée et de tout changement de brillance. Il est plus rapide lorsque la lumière est naturelle, ce qui met en évidence l'adéquation harmonieuse entre la lumière du jour et le système visuel.

L'adaptation complète de l'œil passant de la lumière du soleil à des luminances intérieures cent fois plus faibles, fournies par l'éclairage artificiel, demande environ 15 minutes, bien que 70% de l'adaptation soient réalisés après 90 secondes. Mais si l'espace intérieur est éclairé naturellement, l'adaptation est deux fois plus rapide.

9.2.3. La sensibilité aux contrastes

La sensibilité aux contrastes est l'aptitude à distinguer des différences de luminance. La présence de deux niveaux de luminance très différents, adjacents dans le champ visuel, est une source d'inconfort et diminue l'acuité visuelle.

L'homme est sensible aux contrastes de luminance : en un point, notre cerveau compare l'intensité lumineuse à celle qui existait antérieurement ainsi qu'à celles des régions voisines. De jour, cette analyse cérébrale ne constitue qu'un des éléments de la reconnaissance de notre environnement mais de nuit, en l'absence de la différenciation des couleurs, les contrastes de luminance deviennent des repères de perception très importants.

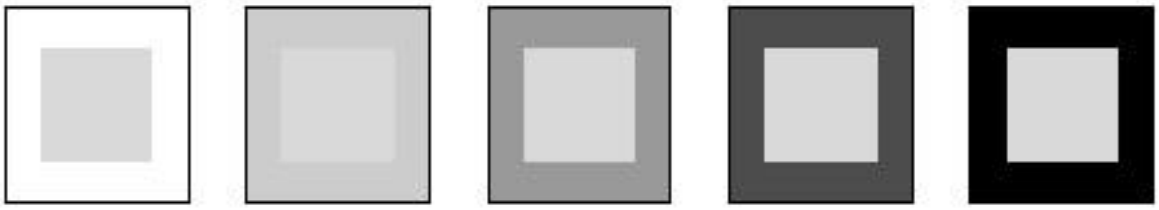


Figure 1.26 : Effet de contraste (Source : <http://www-energie.arch.ucl.ac.be>)

Par effet de contraste, le rectangle intérieur de la figure ci-dessus (Fig.1.26) paraît plus clair à l'extrême droite qu'à l'extrême gauche, alors qu'ils présentent tous la même couleur en réalité.

9.2.4. La perception des distances

La perception du relief, qui chez l'homme est dû au large secteur de superposition des deux yeux et donc de vision en trois dimensions, se révèle l'un des principaux facteurs qui concourent à son évaluation des distances. Grâce à la synthèse immédiate de toutes les informations transmises, nous situons en permanence l'éloignement des objets qui nous entourent, ou plutôt nous croyons les situer. En effet, le cerveau peut se tromper s'il est mis en présence de caractéristiques inhabituelles de dimensions ou de perspectives. La modification de certains paramètres, dont l'éclairage, peut également l'induire en erreur. Ainsi, dans un environnement obscur, un objet vivement éclairé paraît plus proche. Ces procédés sont bien connus en architecture.

9.2.5 La distinction des couleurs

La vision des couleurs a pour base une très légère diffusion de la lumière dans l'œil humain. Les trois types de cônes sensibles à la couleur ne voient que leur partie du spectre. Selon les longueurs d'onde qui les frappent, les récepteurs de la rétine envoient des messages sensoriels différents au cerveau. Celui-ci analyse la proportion des radiations que chaque type de cône reçoit et la synthétise en une sensation colorée.

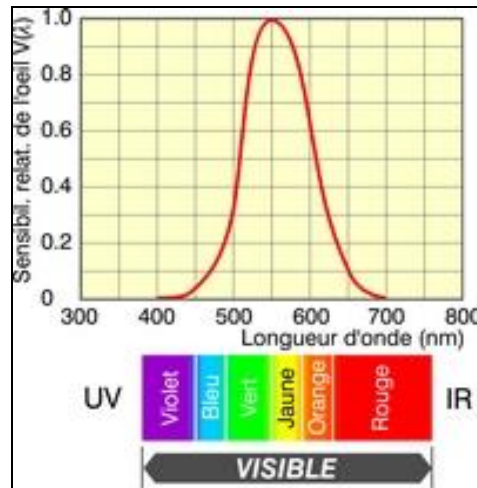


Figure 1.27 : Courbe spectrale de sensibilité de l'œil humain en vision diurne (Source : Liébard, De Herde 2005).

La courbe spectrale de sensibilité de l'œil (Fig.1.27), montre qu'un flux lumineux de couleur bleu foncé ou rouge moyen reçu par une surface doit être fourni par une source lumineuse de puissance environ 20 fois plus importante qu'un flux lumineux de couleur verte ou jaune pour produire la même sensation de luminosité.

9.2.6 L'éblouissement

L'éblouissement est dû à la présence, dans le champ de vision, de luminances excessives (sources lumineuses intenses) (Fig.1.28), ou de contrastes de luminance excessifs dans l'espace ou dans le temps.

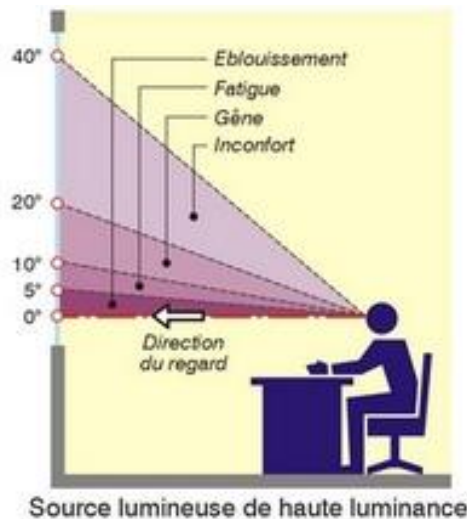


Figure 1.28 : Source lumineuse de haute luminance (Source : <http://www-energie.arch.ucl.ac.be>)

9.2.6.1. Types d'éblouissement

Suivant l'origine de l'éblouissement, on peut distinguer deux types :

- **L'éblouissement direct** produit par un objet lumineux (lampe, fenêtre, ...) situé dans la même direction que l'objet regardé ou dans une direction voisine.
- **L'éblouissement indirect** se présente sous deux formes : l'éblouissement par réflexion et l'éblouissement par effet de voile :
 - *L'éblouissement réfléchi* est produit par la réflexion, sur des surfaces brillantes ou spéculaires, de l'image d'une source de lumière vers l'œil de l'observateur.
 - *L'éblouissement de voile* apparaît lorsque des petites surfaces de la tâche visuelle réfléchissent la lumière provenant d'une source lumineuse et réduisent ainsi le contraste entre la tâche visuelle et son environnement immédiat.

9.2.6.2 L'éblouissement perturbateur et l'éblouissement invalidant

Selon son degré d'intensité, L'éblouissement est classé en deux types : l'éblouissement perturbateur (ou d'inconfort) et l'éblouissement aveuglant (ou invalidant).

- **L'éblouissement perturbateur** diminue la capacité de l'observateur à distinguer les détails. Si un objet lumineux est placé dans l'axe de la vision de quelqu'un, son œil doit constamment s'ajuster entre la luminance de l'objet lumineux et celle de la tâche visuelle à accomplir, au détriment de la perception des détails. Ce type d'éblouissement peut à la longue entraîner une fatigue.
- **L'éblouissement aveuglant** est tellement intense que l'observateur ne peut plus discerner aucun objet pendant un certain temps.

10. Lumière et confort

Un bon éclairage doit garantir à l'habitant qu'il puisse exercer ses activités le plus efficacement possible (performance visuelle), en assurant son bien-être (confort visuel) et en lui apportant un certain agrément visuel (lumière naturelle).

L'agrément visuel est une notion subjective qu'on associe généralement :

- À la présence de lumière naturelle (rendu des couleurs)
- À la variation dans le temps de cette lumière

10.1. Le confort visuel

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

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

La qualité lumineuse des espaces provient de l'adéquation entre l'activité définie d'un local, la quantité de la lumière, et la qualité de cette lumière : sa couleur, sa variabilité, les contrastes plus ou moins forts qu'elle crée, etc.

Dans une démarche de construction ou de rénovation l'architecte doit privilégier l'utilisation de la lumière naturelle à la place de l'éclairage artificiel. La qualité « spectrale » de la lumière naturelle ainsi que sa variabilité et ses nuances offre une perception optimale des formes et des couleurs. L'éclairage artificiel doit être donc considéré comme un complément de la lumière naturelle.

Le confort visuel dépend d'une combinaison de paramètres physiques (que nous avons vu dans le chapitre précédant) : l'éclairement, la luminance, le contraste, l'éblouissement et le spectre lumineux, auxquels s'ajoutent des caractéristiques propres à l'environnement et à la tâche visuelle à accomplir, comme la taille des éléments à observer et le temps disponible pour la vision, ajouter à tout cela les paramètres liés à l'individu lui-même qu'il soit d'ordre physiologique ou psychologique (A. Liébard, A. De Herde 2005).

10.1.2. Critères d'évaluation

1. Accès à la lumière naturelle (directe ou indirecte)
2. Vues sur l'extérieur
3. Facteur d'éclairage naturel
4. Effet d'éblouissement
5. Niveau de la qualité de la lumière

10.1.3. Modes de mesures

Deux types de mesure permettent l'évaluation de l'éclairage et par conséquent du confort visuel des mesures d'ordre technique liées au local et aux matériaux utilisés, et des mesures d'ordre physique liées à l'environnement.

10.1.3.1. Mesures d'ordre technique

- facteur de transmission des matériaux vitrés
- indice de réflexion des matériaux
- indice d'ouverture

- indice de profondeur
- position des ouvertures
- forme des ouvertures

10.1.3.2. Mesures d'ordre physique environnemental

- Facteur de lumière de jour (FLJ)
- Niveau d'éclairement des espaces
- Qualité spectrale de la lumière

10.1.4. Paramètres du confort visuel dans un local

De l'avis de Liébard et De Herde (A. Liébard, A. De Herde 2005), les paramètres de confort lumineux pour lesquels l'architecte joue un rôle prépondérant sont (Fig.1.29) :

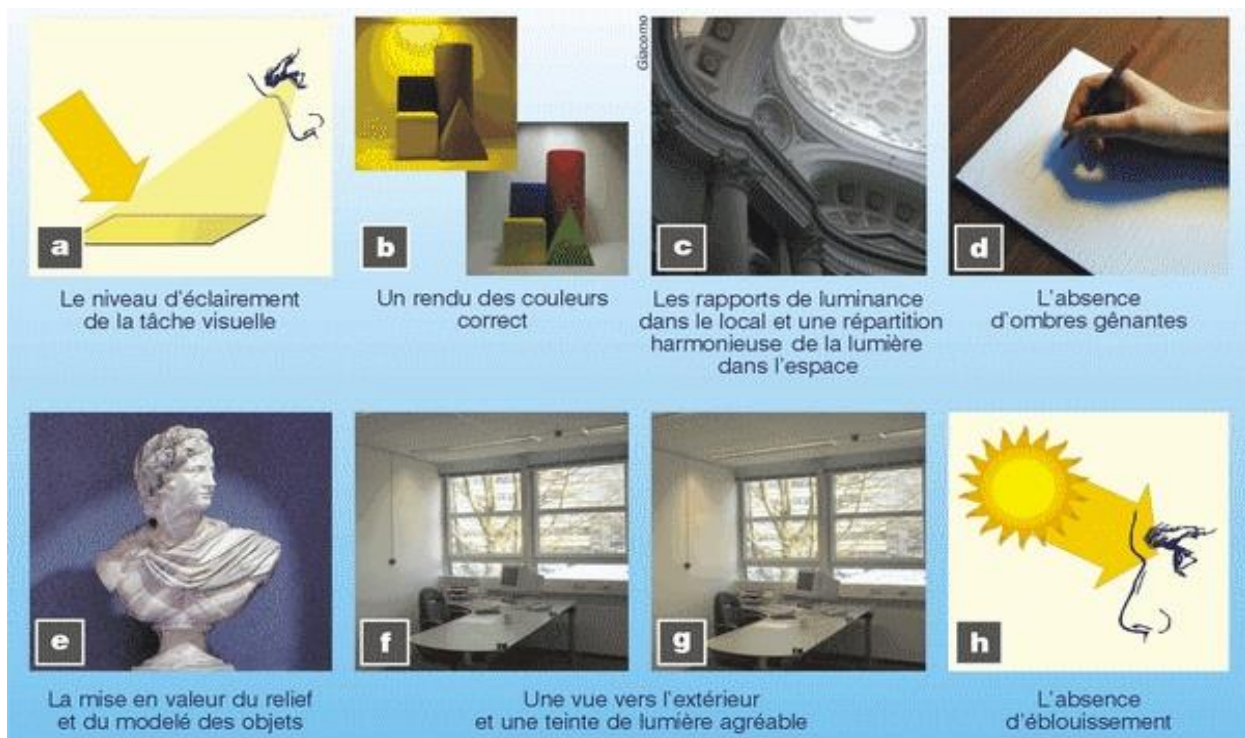


Figure 1.29 : Eléments influençant le confort visuel dans un local (Source : Liébard, De Herde 2005).

10.1.4.1. Le niveau d'éclairement de la tâche visuelle

L'éclairement moyen recommandé est généralement fixé selon le type et le niveau de précision de la tâche à accomplir (Tab.1.8).

Tableau 1.8 :Eclairage moyen à maintenir en fonction de l'activité (Source : Association Française de l'Eclairage)

Bureaux et locaux administratifs	Éclairage (lux)	Habitations	Éclairage (lux)
Bureaux de travaux généraux	425	(éclairage nécessaire pour les différentes activités)	
Dactylographie	425	Lecture	325
Salles de dessin	850	Travail d'écolier	325
		Couture	425 à 625
		Préparations culinaires et coin bricolage	425
Établissements d'enseignement			
Salles de classe	325		
Tableaux	425		
Amphithéâtres	325		
Laboratoires	625		
Bibliothèques, tables de lecture	425		
		Circulation	
		Couloirs, escaliers	80 à 250
Magasins		Hôtels	
Boutiques	200	Réception, halls	250
Self-services	300	Salles à manger	250
Grandes surfaces	500	Cuisines	425
		Chambres et annexes	250
Salles de spectacles		Bâtiments Industriels	
Foyer	125	Machines-outils et établis, soudure	250
Amphithéâtres	80	Travail de pièces moyennes	425
Salles de cinéma	40	Travail de petites pièces	625
Salles des fêtes	250	Travail très délicat ou très petites pièces	1250 à 1750

10.1.4.2. Une répartition harmonieuse de la lumière dans l'espace

Une répartition judicieuse de la lumière à l'intérieur de local, dépend aussi de l'aménagement de ce dernier, le mobilier doit être placé de telle sorte qu'il ne fasse pas écran, et les plans de travail doivent être placés de préférence près des ouvertures afin de bénéficier d'un maximum d'éclairage naturel.

10.1.4.3. Les rapports de luminances présents dans le local

Un bon rapport de distribution lumineuse, doit éviter les grandes différences de luminances dans le champ visuel. Un niveau de contraste optimal permet à la fois d'éviter la fatigue dû à l'adaptation de l'acuité visuelle tout en favorisant la perception du relief des objets.

10.1.4.4. L'absence d'ombre gênante

Les ombres gênantes sont le résultat de la présence d'un élément entre la source lumineuse et la tache visuelle, elles sont mauvaises pour la vision, car elles diminuent les contrastes.

10.1.4.5. La mise en valeur du relief et du modelé des objets

La perception du relief d'un objet dépend directement de la direction de la lumière qui l'atteint et de l'ombre qu'elle crée.

10.1.4.6. Une vue vers l'extérieur

L'éclairage naturel par sa variabilité et ses nuances permet une relation au monde extérieur, une vue vers l'extérieur quels qu'elle soit permet de se situer dans le temps et dans l'espace, elle permet de reposer le regard et offre une sensation agréable.

10.1.4.7. Un rendu des couleurs correct

La couleur de la lumière influence directement la perception de la couleur des objets et agit fortement sur la sensation de confort visuelle.

La couleur de la lumière doit être adaptée au niveau d'éclairement, quand celui-ci augmente, la température de couleur doit également s'élever. Le diagramme de Kruithof ci-dessous (Fig.1.30) donne à cet effet les valeurs recommandées en fonction de l'éclairement.

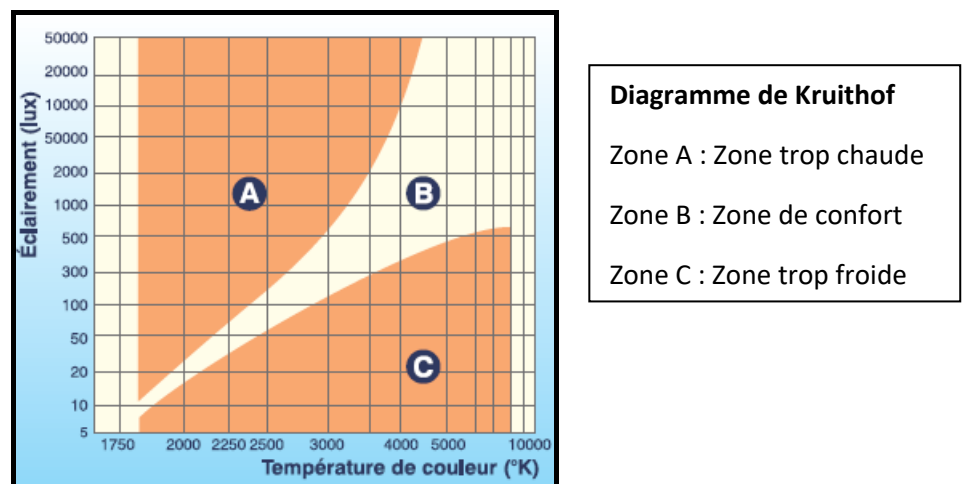


Figure 1.30 : Diagramme de Kruithof (Source : Liébard, De Herde 2005)

10.1.4.8. Une teinte de lumière agréable

10.1.4.9. L'absence d'éblouissement

11. Lumière naturelle et santé

La lumière naturelle a longtemps été associée à la santé, dans ses 10 livres d'architecture, Vitruve a été le premier à étudier les aspects qualitatifs et quantitatifs de l'éclairage naturel, proposant des règles explicites pour évaluer si un intérieur est bien éclairé. Parmi ses principes classiques, d'harmonie de proportion et de symétrie, Vitruve précise que l'architecte doit choisir un site sain pour son bâtiment, et que la conception soignée d'un bâtiment prévient des maladies, il est clair que quand il parle de site sain, Vitruve parle d'un site orienté de façon à bénéficier de la lumière naturelle (D. Phillips 2004).

Dans « *the turning Point* » (le moment décisif) FRITJOF CAPRA suggère que la santé de l'être humain est intégralement reliée à son environnement : « *notre expérience de bonne santé implique une sensation d'intégrité physique, psychologique et spirituelle, dans le sens d'un équilibre entre les différents composant de l'organisme, et entre l'organisme et son environnement* » (F. CAPRA In M. Guzowski 1999).

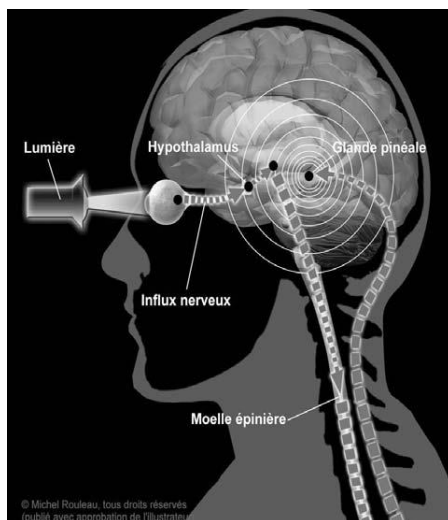
La lumière du jour est l'un des facteurs importants de santé environnementale ; c'est la raison pour laquelle des recherches médicales continuent à explorer les effets tangibles ou intangibles de la lumière solaire sur le corps et l'esprit de l'être humain.

Tous les chercheurs s'accordent sur le fait que notre sens de la santé et du bien-être ne dépend pas uniquement de notre condition physique ; nos émotions, attitudes, façon de vivre, et la qualité de l'environnement y contribuent aussi.

Qu'il s'agisse de traiter des maladies spécifiques ou de procurer un confort visuel, la lumière du jour est nécessaire pour obtenir à la fois des corps en bonne santé et un environnement sain.

11.1. La lumière et le système endocrinien de l'être humain

La lumière affecte notre corps de deux manières, en premier lieu à travers notre système visuel, arrivant jusqu'au cerveau (Fig.1.31), en second lieu, elle interagit avec notre peau par le moyen de la photosynthèse et produit de la vitamine D (M. Boubekri 2008).



Trajet de la lumière externe vers le cerveau : la lumière traverse les différentes couches de l'œil et atteint les cellules photoréceptrices de la rétine. Le message lumineux est alors transformé en influx nerveux qui est transmis vers le cerveau, via le nerf optique. Cependant, environ 1 % du message est transmis aux noyaux suprachiasmatiques (NSC) de l'hypothalamus, site de l'horloge biologique. Les NSC informent la glande pinéale de la présence de lumière et celle-ci inhibe la production de mélatonine.

Figure 1.31 : Trajet de la lumière externe vers le cerveau (Source : Lavoie, Hébert 2007)

Plusieurs fonctions vitales sont contrôlées par l'hypothalamus, une zone du cerveau en dessous du thalamus, nos yeux transmettent la lumière vers une région de l'hypothalamus (une partie du cerveau) appelée le noyau suprachiasmatique (NSC), ou horloge biologique. C'est

ainsi que sont sécrétées des hormones actives comme la sérotonine. Lorsque les yeux perçoivent l'obscurité, le cerveau sécrète des hormones nocturnes telles que la mélatonine, l'adénosine et les orexines. La lumière régule notre horloge biologique, entraînant la sécrétion d'hormones actives durant la journée (sérotonine) et d'hormones du sommeil durant la nuit (mélatonine) (Fig.1.32).

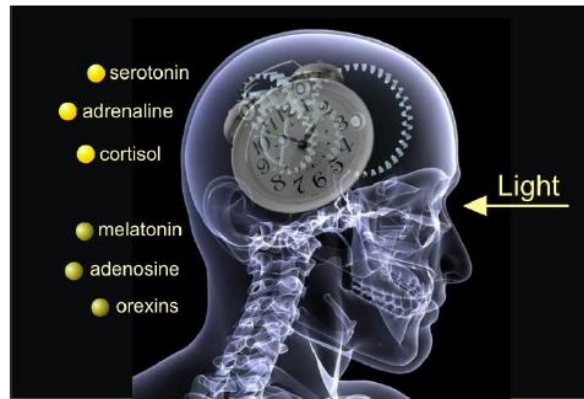


Figure 1.32 : Hormones sécrétées grâce à la lumière (Source : Lavoie, MHébert 2007)

Ce processus s'enclenche lorsque nos yeux perçoivent une baisse de l'intensité lumineuse et indiquent à l'horloge biologique d'arrêter la sécrétion d'hormones actives. Cela prend du temps, ce qui explique pourquoi nous sommes généralement fatigués et avons envie de dormir quelques heures après le coucher du soleil. Durant cette phase de transition, l'organisme commence à remplacer des hormones telles que la sérotonine par l'hormone nocturne, la mélatonine. Ce phénomène stimule également la sécrétion d'autres hormones du sommeil, telles que l'adénosine et les orexines.

11.2. troubles liés à la carence de lumière naturelle

Le lien entre l'occurrence des troubles de l'humeur et les saisons est un constat relaté dans des écrits datant d'aussi loin que 4 700 ans avant Jésus-Christ par Wong Tai ainsi que par Hippocrate le père de la médecine, 400 ans avant Jésus-Christ (Magnusson 2001).

Un syndrome a même été reconnu depuis les années 1980, liée directement au manque de lumière naturelle il s'agit du *Trouble affectif saisonnier* ou TAS, en anglais le *Seasonal Affective Disorder* ou SAD, terme utilisé pour la première fois par le Dr Norman E. Rosenthal en 1981 (M. Boubekri 2008). Plus spécifiquement, le TAS se définit par des symptômes de fatigue générale, un manque de motivation pour les activités sociales et le travail ainsi que des difficultés de concentration survenant de façon cyclique durant l'automne ou l'hiver. Dans certains cas, ce manque d'énergie amène des symptômes dépressifs, parfois des idées suicidaires et une baisse de libido (M.P. Lavoie, M. Hébert 2007). Syndrome touchant plus

particulièrement les personnes vivant dans les pays nordique, latitudes où le jour peut être très court, voir même inexistant, la vie moderne et le rythme de travail font qu'aujourd'hui ce symptôme peut toucher une population vivant sous des latitudes plus clémentes. De nombreuses études ont démontré qu'un éclairage électrique classique même bien conçu et adapté, ne remplace pas la lumière du jour. Une « Carence » de lumière vive entraîne des troubles de l'humeur et de la vigilance, incompatibles avec un bon rendement au travail. Ayant un impact sur la productivité et l'absentéisme, la qualité de l'environnement a des conséquences économiques non négligeables (Heerwagen,2008 & Thomson et Jonas,2008 In K. Lesage 2013).

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les paramètres physiques de l'éclairage naturel et les éléments influençant l'éclairement d'un local, nous avons constaté qu'au-delà des facteurs liés, au site et à sa situation géographique, à l'heure et à la saison, la part de la conception architecturale reste importante. Partant du choix de l'orientation des baies à leurs taille forme et position, toute conception architecturale devrait prendre en considération ces paramètres déterminant pour la perception visuelle en vue d'atteindre le confort, la lumière naturelle est indispensable au bien-être physiologique et psychologie de l'homme, elle est indispensable à son épanouissement et peut avoir des conséquences sur sa santé ; il est important de maîtriser son utilisation : pas assez présente elle a un impact sur le confort, la santé et le rendement, mais trop de lumière peut aussi être source de nuisance. Ainsi l'architecte doit en maîtriser l'utilisation, de tout temps les concepteurs ont utilisé des stratégies de captage et de maîtrise de l'éclairage naturel c'est ce que nous développerons dans le chapitre suivant.

CHAPITRE 2 : ECLAIRAGE NATUREL ET ARCHITECTURE

Pour Louis Kahn "Même une pièce qui doit être obscure a besoin au moins d'une petite fente pour qu'on se rende compte de son obscurité. Mais les architectes qui aujourd'hui dessinent des pièces ont oublié leur foi en la lumière naturelle. Assujettis à la facilité d'un interrupteur, ils se contentent d'une lumière statique et oublient les qualités infinies de la lumière naturelle grâce à laquelle une pièce est différente à chaque seconde de la journée."

(<http://www.aroots.org>)

Introduction

Nous avons vu dans le chapitre précédent l'importance de l'éclairage naturel dans le bâtiment, pour assurer confort, équilibre physiologique et psychologique. L'architecte joue un rôle déterminant dans la satisfaction de ces paramètres, pour ce faire il dispose de principes fondamentaux, qui intégré dans le processus de conception lui permettent d'assurer un niveau de confort optimum, et d'une multitude de solutions architecturale s'adaptant à la nature du projet et à l'ambiance qu'il veut y faire régner. Ce sont ces éléments à la disposition de l'architecte que nous allons développer dans ce chapitre en mettant l'accent sur les critères de choix de chaque méthode.

1. Historique

Selon Hassan Fethi « *Tout peuple qui a produit une architecture a dégagé ses lignes préférées qui lui sont aussi spécifiques que sa langue, son costume ou son folklore* » (F. Hassan 1996)

Les bâtiments de l'abri le plus primitif à la bâtisse la plus sophistiquée, résultent de l'interaction de l'homme, ses aspirations, sa conception du monde, son mode de vie, ses besoins physiologiques, psychologiques et sociaux, et de la nature avec ses aspects, physiques : paysage, site, matériaux, climat, ...

Dans ses premières constructions l'homme a créé délibérément des espaces de pénombre dans lesquels il peut donner libre cours à ses émotions, comme l'atteste les découvertes archéologiques.

« Ce lieu clos qui contrastait avec l'espace infini, où la lumière alternait naturellement avec l'obscurité, allait devenir l'abri de l'homme l'endroit où il exprimerait ses angoisses ». (P. De Bruyne, In M. Schofield 1980). Cet espace sombre ayant une fonction psychologique, symbolique, métaphysique et philosophique.

Le climat a toujours joué un rôle déterminant dans la création de la forme bâtie. Si l'architecture vernaculaire témoigne d'une réflexion profonde sur l'habitat local, le climat

n'est pas le seul moteur du mode de construction vernaculaire. Comme le montre A. Rapoport dans « *Pour une anthropologie de la maison* » (A. Rapoport 1972), le climat constitue un facteur important mais non déterminant, il apparaît aux côtés d'autres facteurs tout aussi importants : culturels, sociaux, économiques etc....

Dans l'Égypte ancienne l'utilisation de la lumière revêtait un caractère sacré, « *les architectes* » des pyramides en ont fait le moyen d'expression de leur talent, avant même les techniques de l'architecture moderne, Le sanctuaire d'Abou Simbel (Fig.2.1), est une démonstration du pouvoir de l'astre sacré. Dédié à Ramsès II, quatre statues gardent la porte d'entrée d'une pièce dédiée à cette barque solaire : Ptah, Amon, Ramsès divinisé et Rê, les quatre gardiens.

A chaque équinoxe, le soleil se lève à l'horizon dans l'axe même du temple de façon à ce que ses rayons pénètrent jusqu'au fond du sanctuaire (à 65m de profondeur) et réaniment les figures de trois des gardiens de la barque : Amon, Ramsès divinisé et Rê afin qu'ils accomplissent leur rôle sacré. Celle de Ptah, gardien des ténèbres, à gauche de l'entrée, demeure dans l'obscurité (S. SAVIC 2011).



Figure 2.1 : Le sanctuaire d'Abou Simbel (Source : <http://www.passion-egyptienne.fr/Abou%20Simbel.htm>)

L'architecture traditionnelle illustre parfaitement cette harmonie entre l'homme, ses croyances, son mode de vie, ses perceptions et l'espace bâti ; Lorsque le soleil se fait trop présent ou trop chaud, les ouvertures lui tournent le dos, l'ombre et les courants d'air sont recherchés. Les médinas des pays d'Afrique du Nord présentent des exemples remarquables de ce genre de configurations. Le patio « *West ed-dar* » (Fig.2.2,2.3,2.4) permet de répondre aux besoins en matière de lumière naturelle tout en respectant la nature conservatrice de la société, en la protégeant des regards étrangers. Que ce soit dans les maisons tlemcénienes à l'ouest de l'Algérie, à la casbah, ou dans la vallée du M'zab aux portes du Sahara, le patio prend des dimensions différentes afin de s'adapter au climat.

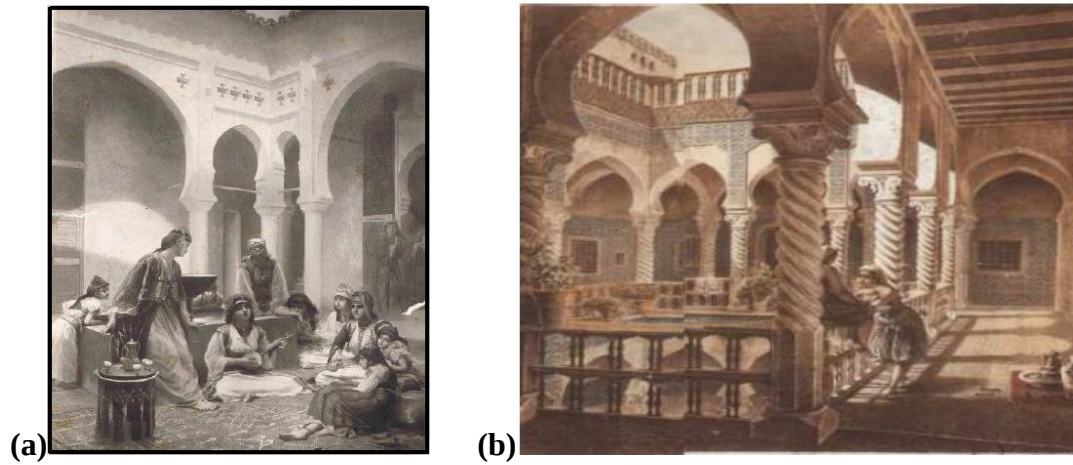


Figure 2.2 : (a) Photo d'une scène du quotidien d'un groupe de femmes tlemcéniennes (source ancienne carte postale) (b) Le Shin (Source : Ravereau, 1989)

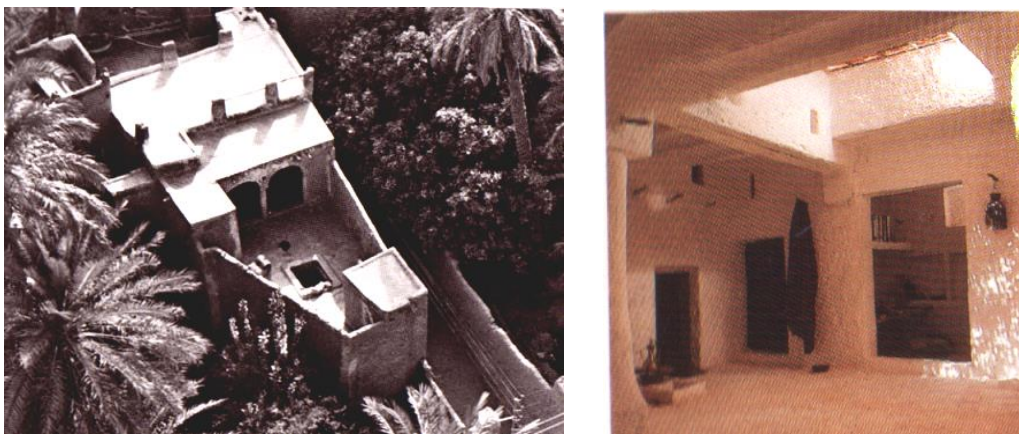


Figure 2.3 : West ed-dar (Source : Ravereau 1987)



Figure 2.4 : Vues intérieure et extérieure sur un petit "Chebeq" (Source : Ravereau, 1987)

De l'autre côté de la méditerranée la lumière s'exprime dans l'architecture de l'Alhambra (Fig.2.5)



Figure 2.5 : Fenêtres du Mirador d'Alhambra (Source : <http://commons.wikimedia.org/wiki/>)

Dans les zones de montagne, les constructions sont regroupées sur les versants Sud des coteaux pour bénéficier d'un maximum de lumière et de chaleur.

La lumière n'a pas qu'un lien fonctionnel avec l'architecture. Elle est aussi celle qui la magnifie. Elle lui permet d'exprimer des volumes grâce aux ombres qu'elle génère, de donner du relief à une façade. A propos du palais du Calife hammadite el-Mansûr (1088-1105) (Fig.2.6) à Bougie (actuelle Béjaïa, Algérie), appelé Qasr el-dhahab (Palais de l'or), le poète de la cour Ibn Hamdis (1055-1132) dit : « une lumière si brillante que si on l'appliquait comme un collyre sur les yeux d'un aveugle, il s'en retournerait chez lui après avoir recouvré la vue ! » (Ibn Hamdis traduit par Léon Berchet, 1929 <http://www.fonduk.com/doc/le-palais-al-mansour-a-bougie/>)

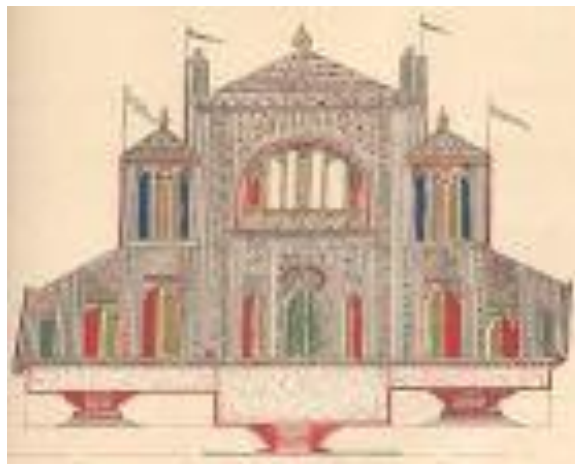


Figure 2.6 : Palais du Calife hammadite el-Mansûr (Source : <http://www.fonduk.com/doc/le-palais-al-mansour-a-bougie/>)

Les architectes ont toujours travaillé sur la lumière. Au Moyen-Age, les bâtisseurs ont tout fait pour alléger leurs cathédrales et donner la priorité à la lumière. Les vitraux en sont les

témoins (Fig.2.7). La lumière est très importante dans l'art gothique, les vitraux avaient pour rôle de métamorphoser la lumière physique en lumière divine.

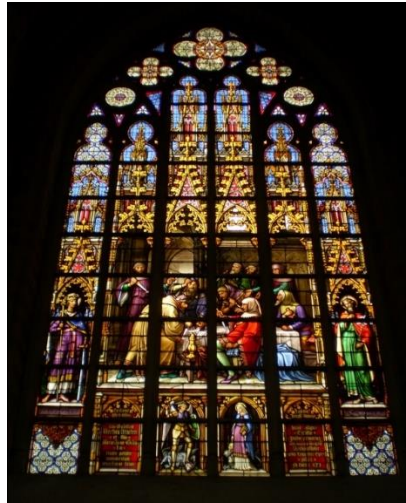


Figure 2.7 : Vitraux de la cathédrale des Saints-Michel-et-Gudule, Bruxelles, vitraux des XVI et XVIIe siècles, cathédrale gothique du XIIIe siècle, remaniée jusqu'au XVIIe. (Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Cath%C3%A9drale_Saints-Michel-et-Gudule_de_Bruxelles)

Sous le Second Empire, Haussmann a lutté contre l'insalubrité des îlots parisiens en perçant de grandes avenues qui ont permis à l'air, à la lumière ... et aux armées de pénétrer jusqu'aux habitations.

Le Corbusier quant à lui, a modifié les proportions des percements en façade pour faire rentrer plus de lumière dans les logements (F. Turot 2008). Avec sa Villa Savoye (Fig.2.8), de 1928 à 1931, il réalise à Poissy une maison "faite pour l'homme", en communion avec la nature, grâce aux percements en longueur, tout autour du bâtiment, pour suivre la course du soleil et porter un regard panoramique sur la nature environnante.



Figure 2.8 : Villa Savoye, Le Corbusier (Source : © Fondation Le Corbusier)

Le Corbusier en 1923 dans son ouvrage "Vers une architecture" : "L'architecture est le jeu savant, correct et magnifique des volumes assemblés sous la lumière" (...) "Les éléments architecturaux sont la lumière et l'ombre, le mur et l'espace »

Jean Nouvel, quant à lui, tend vers architecture qui privilégie l'utilisation de la lumière naturelle dans la conception architecturale, tout en tirant profit des aspects culturels et historiques qui donnent une richesse à ses projets. L'institut du monde arabe à Paris est un parfait exemple de ce mariage entre tradition et modernité.



Figure 2.9 : Institut du monde arabe : Façade sud (Paris) 1987 (Source : Collection Encarta 2005)

Sur la façade sud, l'ouverture des motifs d'acier évoque celle des moucharabieh et varie en fonction de la lumière. Une ingénieuse interprétation de l'architecture islamique associée aux performances techniques modernes, le diaphragme provoque une ambiance lumineuse rappelant celle du moucharabieh dans les maisons traditionnelles islamiques (Fig.2.9).

Autre amoureux de la lumière l'architecte japonais, Tadao Ando, dont le matériau préféré est la lumière naturelle, il est considéré comme le porte-parole du mouvement « Régionalisme critique » qui s'oppose à une application universelle du modernisme occidental. Son œuvre, s'attache en premier lieu à intégrer les bâtiments dans leur environnement naturel.

« Alors que chaque chose est aujourd'hui modelée dans une lumière homogène, je m'engage à poursuivre ma recherche sur les corrélations de l'ombre et de la lumière. Cette lumière dont la beauté au cœur de la nuit évoque celle d'un joyau au creux de la main ; cette lumière qui, s'extirpant de l'obscurité et transperçant nos corps, insuffle la vie au lieu. »
- Tadao Ando (1990, 1993) in (R. Pare 1997).

Exemple de son utilisation de la lumière, L'Eglise de la Lumière, Ibaraki - Osaka, au Japon (1989) (Fig.2.10), c'est un bâtiment qui combine la puissance d'un espace symbolique avec la lumière, pour les fondre en un seul.



Figure 2.10 : Eglise de lumière, Tadao Ando (Source : <http://fr.wikiarquitectura.com>)

L'architecte égyptien, Hassan Fethy s'est illustré dans les techniques de captation de la lumière naturelle en dépassant les exigences climatiques pour arriver à des effets artistiques remarquables, particulièrement dans la conception des mosquées, où il a employé la cour (Fig.2.11) afin de concilier l'aspect climatique, social et symbolique, une ouverture vers le ciel d'où il va puiser la lumière naturelle nécessaire à la création des ambiances typiques à l'architecture islamique.

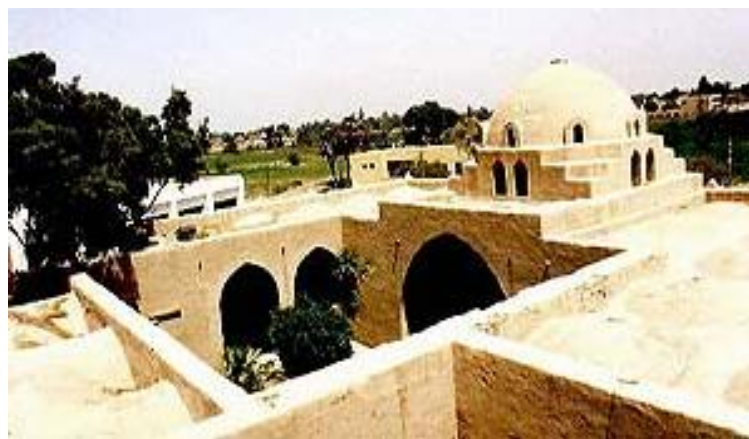


Figure 2.11 : Cour intérieure de la mosquée de Gournah, Vue depuis le sommet du minaret (Source : <http://archnet.org/library/images/thumbnails>)

Par ailleurs Hassan Fethy a développé quatre techniques de captation de la lumière naturelle :

a. lumière empruntée : il s'agit de créer une continuité entre l'intérieur et l'extérieur (Fig.2.12), ici la lumière naturelle est utilisée pour unifier l'espace, la limite entre intérieur et extérieur est estompée.

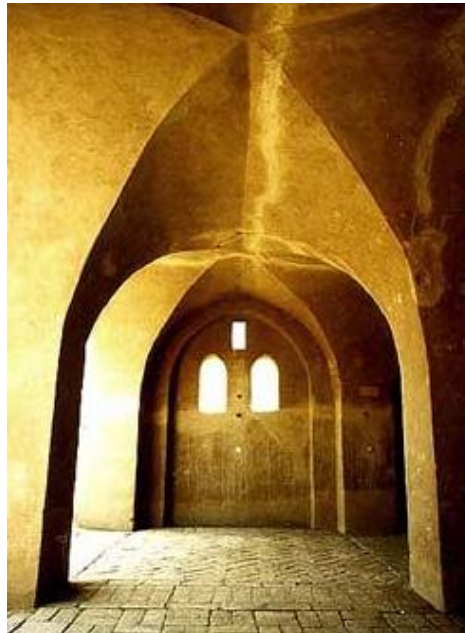


Figure 2.12 : Hassan Fethy, technique de La lumière empruntée, Mosquée de Gournah (Source : <http://archnet.org/library/images/thumbnails>)

b. Axe de lumière : technique de mise en scène (Fig.2.13), symbolique de la lumière naturelle associée à la lumière divine.



Figure 2.13 : Hassan Fethy, technique de l'axe de lumière, Mosquée de Gournah (Source : <http://archnet.org/library/images/thumbnails>)

c. Lumière rayonnée : (Fig.2.14) repose sur la volonté de transformer un espace statique en espace dynamique.



Figure 2.14 : Hassan Fethy, technique de la lumière rayonnée, Mosquée de Gournah (Source : <http://archnet.org/library/images/thumbnails>)

d. Lumière modelée : Hassan Fethy, utilise la lumière modelée comme élément de décoration intérieure (Fig.2.15) dans le but de créer des ambiances lumineuses chaleureuses.



Figure 2.15 : Hassan Fethy, technique de la lumière modelée, Mosquée de Gournah (Source : <http://archnet.org/library/images/thumbnails>)

2. Stratégie de l'éclairage naturel

« La lumière naturelle a toujours été considérée comme l'un des agents de la plastique architecturale les plus puissants dont un concepteur puisse disposer, et les grands architectes ont de tout temps compris son importance en tant que médiateur fondamental de la relation de l'homme avec son environnement » (W.M.C. Lam 1982)

Afin de pouvoir profiter au mieux de la lumière naturelle, cinq points essentiels sont à prendre en considération : capter les rayons lumineux, les transmettre et les distribuer aux espaces voulus, mais aussi s'en protéger si nécessaire en les contrôlant.

2.1. Capter

« La qualité intérieure d'un espace dépend de la quantité d'espace extérieur qui entre par le truchement de la lumière et de la transparence. » (F. L. Wright 1954)

Capter la lumière du jour consiste à la recueillir pour éclairer naturellement un bâtiment, ce n'est pas chose simple, du fait même de sa variabilité, sa qualité et son intensité changent constamment du fait de plusieurs facteurs déjà abordés dans le chapitre 1, à savoir : Le type de ciel, le moment de l'année, l'heure de la journée, mais cela dépend aussi de facteurs liés au local lui-même, et à l'environnement de celui-ci.

- L'orientation, la forme, la dimension, l'inclinaison de l'ouverture
- De l'environnement physique de l'édifice (masques) : bâtiments voisins, type de sol, végétation, ...

2.1.1. L'environnement

2.1.1.1. Relief du terrain

Le relief du terrain influence la captation de lumière dans la mesure où celui-ci porte une ombre sur le bâtiment, il peut aussi au contraire favoriser l'ensoleillement cela dépend du rapport pente géométrie solaire.

2.1.1.2. Bâtiments avoisinants

En ville, la quantité d'énergie solaire reçue dans un local dépend en grande partie de l'ombrage des bâtiments voisins. La géométrie solaire permet de déterminer l'ombrage créé par ces masques et de définir sa variabilité durant les heures et les saisons (Fig.2.16).

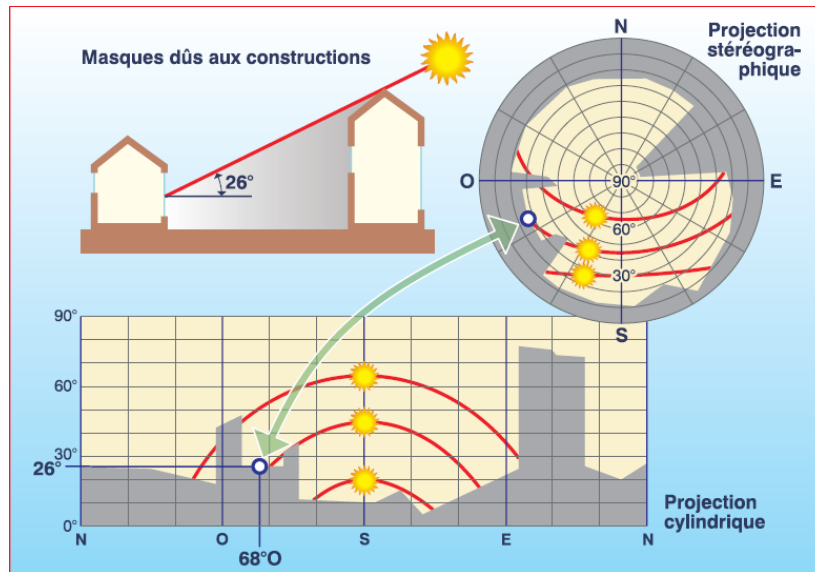


Figure 2.16 : Impact de masque créé par les bâtiments voisins (Source : Liébard, De Herde 2005)

L'effet de rue, créé par le bâtiment de l'autre côté de la rue, est déterminé par le rapport (hauteur bâti / largeur rue) (Fig.2.17).

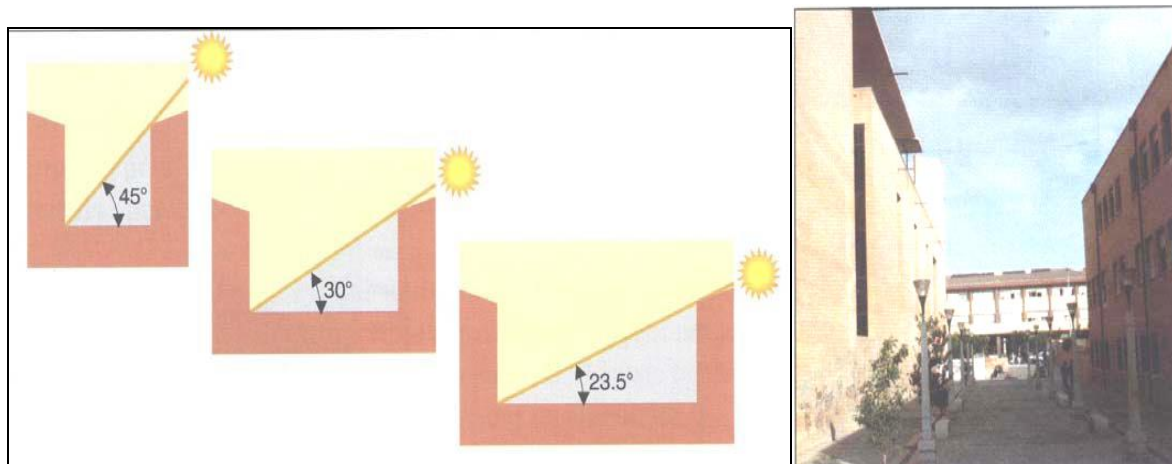


Figure 2.17 : Angle d'incidence du soleil en fonction du rapport (hauteur bâti / largeur rue). (Source : Liébard, De Herde, 2005)

2.1.1.3. Éléments liés au bâtiment lui-même

Il s'agit des masques proches, ce sont des éléments faisant partie intégrante du bâtiment, dû à la forme elle-même, ou à des éléments architecturaux (Fig.2.18), tels que des murs de refends, des surplombs, des light-shelves... qui empêchent le captage des rayons solaire à travers les ouvertures.



Figure 2.18 : Exemple d'un Masque proche (Source : Liébard, De Herde, 2005)

2.1.1.4. Végétation

La végétation contribue aussi à réduire l'exposition d'un bâtiment au soleil, lorsqu'elle est utilisée judicieusement, elle peut être très bénéfique en matière de contrôle solaire. Les arbres à feuilles caduque permettant de profiter de la lumière naturelle en hiver et de créer un ombrage en été sont particulièrement intéressants.

2.1.1.5. Réflexion des surfaces extérieures

Le facteur de réflexion des surfaces extérieures peut amener une augmentation de la quantité de lumière pénétrant dans le local, le coefficient de réflexion lumineuse du sol (*albédo*) (Fig.2.19), contribue à capter plus ou moins de lumière : un sol de couleur clair ou réfléchissant permettra de capter plus de lumière qu'un sol sombre ou mat. Exemple d'un plan d'eau dans Modern Art Muséum de Tadao Ando (Fig.2.20).

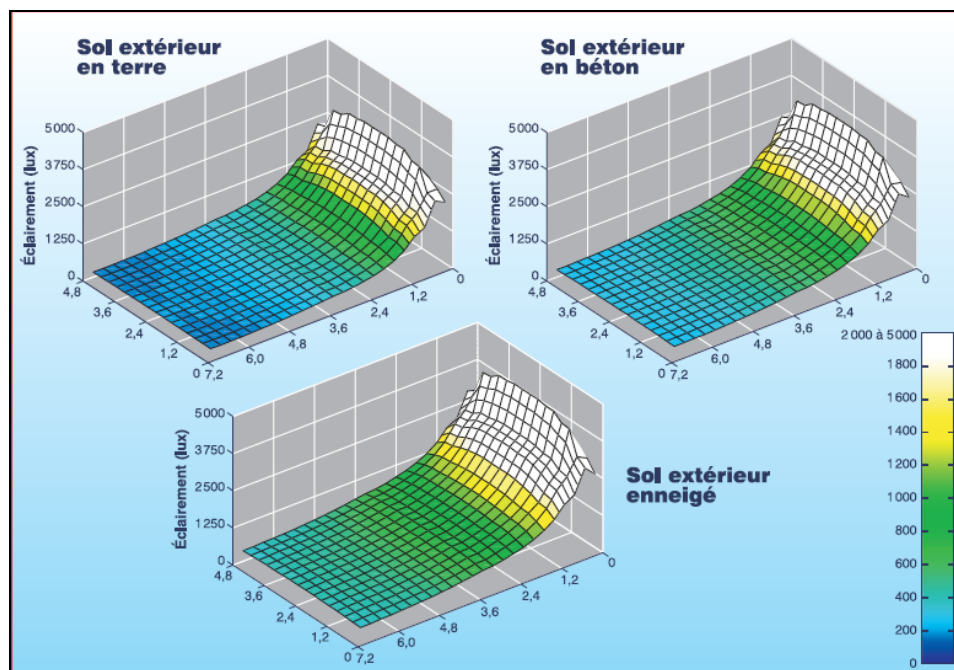


Figure 2.19 : Influence de l'albédo sur l'éclairage intérieur d'un local (Source : Liébard, De Herde, 2005)



Figure 2.20 : Modern Art Muséum (Fort Worth, Etat-Unis) Tadao Ando :2002(Source : <https://www.archdaily.com/213084/flashback-modern-art-museum-of-fort-worth-tadao-ando>)

2.2. Transmettre

Transmettre la lumière naturelle consiste à favoriser sa pénétration à l'intérieur d'un local.

La pénétration de la lumière dans un espace est influencée par les caractéristiques de l'ouverture telle que ses dimensions, sa forme, sa position et le matériau de transmission utilisé. Le matériau de transmission utilisé peut être transparent ou translucide (A. Liébard, A.De Herde, 2005).

2.2.1. La composante fenêtre

2.2.1.1. Inclinaison de l'ouverture

a. Ouverture verticale

Bien que ce système soit le moins performant en termes d'éclairage par la lumière du jour, il reste le plus utilisé car facile à mettre en œuvre et permettant une vue vers l'extérieur. Il peut être unilatéral, bilatéral ou multilatéral.

En éclairage unilatéral, la pénétration de la lumière est limitée en profondeur, mais directionnelle, elle est favorable à la perception des reliefs. Avec l'éclairage bilatéral, on obtient un éclairage plus uniforme et mieux répartis dans l'espace, il est optimisé lorsque l'éclairage rentre par deux côtés opposés. Quant à l'éclairage multilatéral, il est particulièrement indiqué dans les espaces nécessitant un éclairage très uniforme et dans les bâtiments profonds (A. Liébard, A.De Herde, 2005) (Fig.2.21).

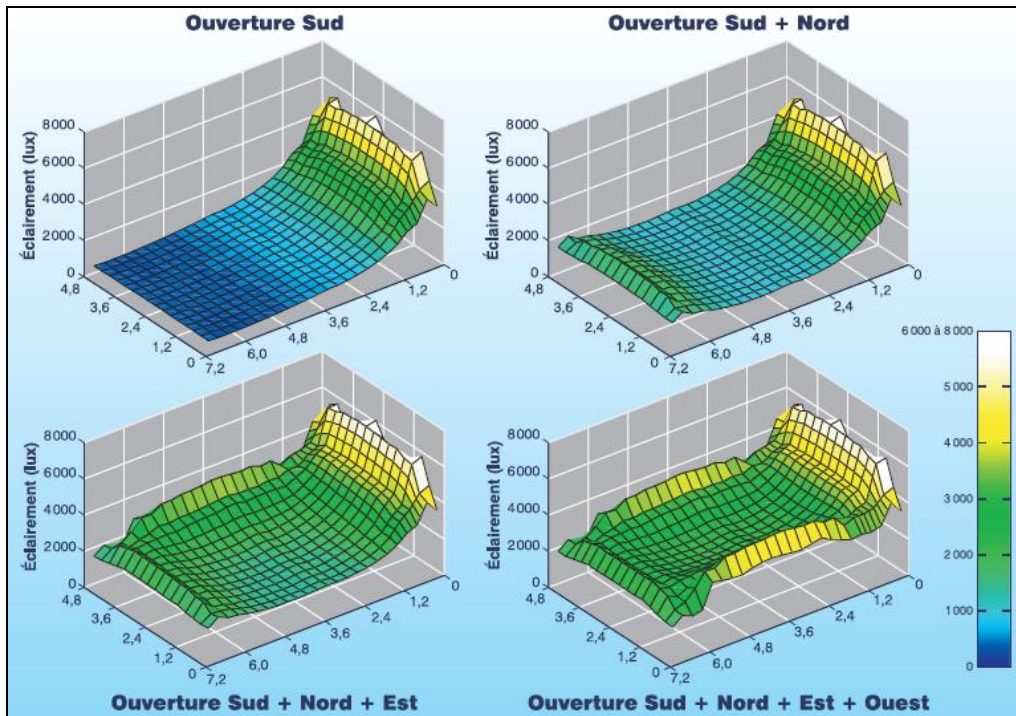


Figure 2.21 : Eclairage intérieur en fonction de la répartition des ouvertures (Source : Liébard, De Herde, 2005)

b. Ouverture horizontale

C'est le système le plus performant : de 3 à 5 fois plus de lumière, à surface équivalente, qu'un vitrage vertical. Elle s'ouvre sur la totalité de la voûte céleste, ce qui implique une forte pénétration de la lumière diffuse.

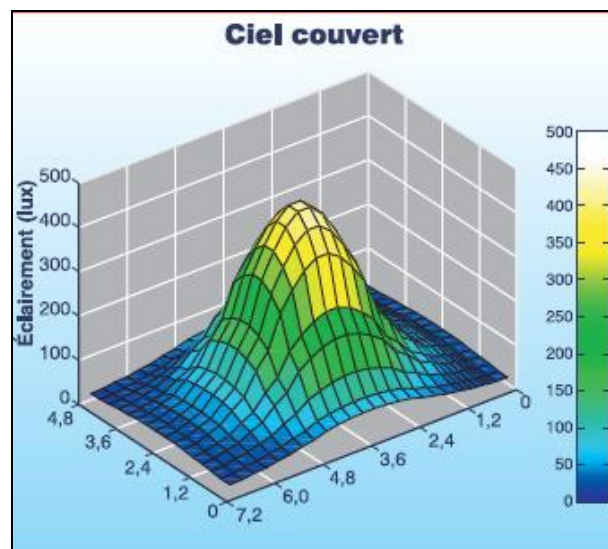


Figure 2.22 : Eclairage d'un local éclairé zénithalement (Source : Liébard, De Herde, 2005)

La distribution lumineuse obtenue par une ouverture horizontale est beaucoup plus homogène que celle produite par une ouverture verticale (Fig.2.22). En fournissant une distribution

lumineuse très uniforme elle contribue à une meilleure répartition de la lumière dans l'espace (S. Reiter, A. De Herde 2004).

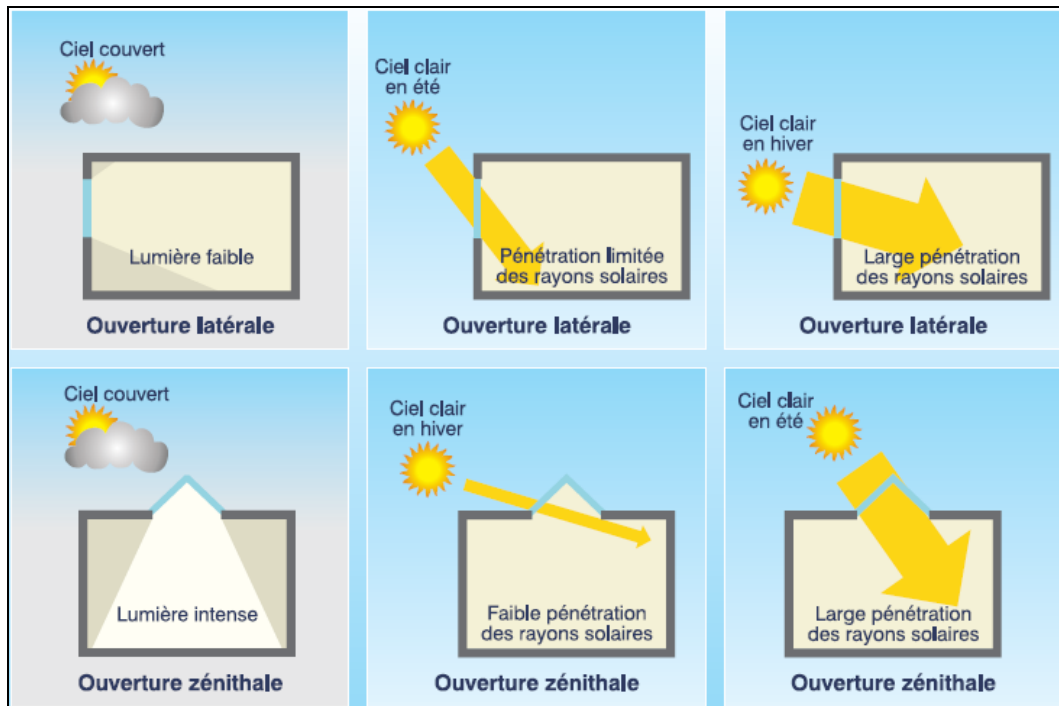


Figure 2.23 : Comportement des ouvertures verticale et zénithale (Source : Liébard, De Herde, 2005)

Comme on peut le voir dans la (Fig.2.23) le comportement des fenêtres horizontale et verticale est très différents selon la saison, en été la pénétration des rayons solaires est limitée à travers les fenêtres verticale ce qui permet de réduire la surchauffe du local contrairement aux ouvertures zénithales, cependant en hiver le comportement de l'ouverture zénithale est plus intéressant, car permettant une large pénétration des rayons solaire.

2.2.1.2. Orientation de l'ouverture

Sous ciel couvert les baies verticales captent la lumière de manière similaire, indépendamment de leur orientation, par contre sous ciel clair, l'orientation de la baie influence la quantité de lumière captée. Elle est dépendante de la course du soleil, la position du soleil pour une date, une heure et un lieu donnée détermine l'angle par lequel les rayons lumineux vont pénétrer le local (Fig.2.24).

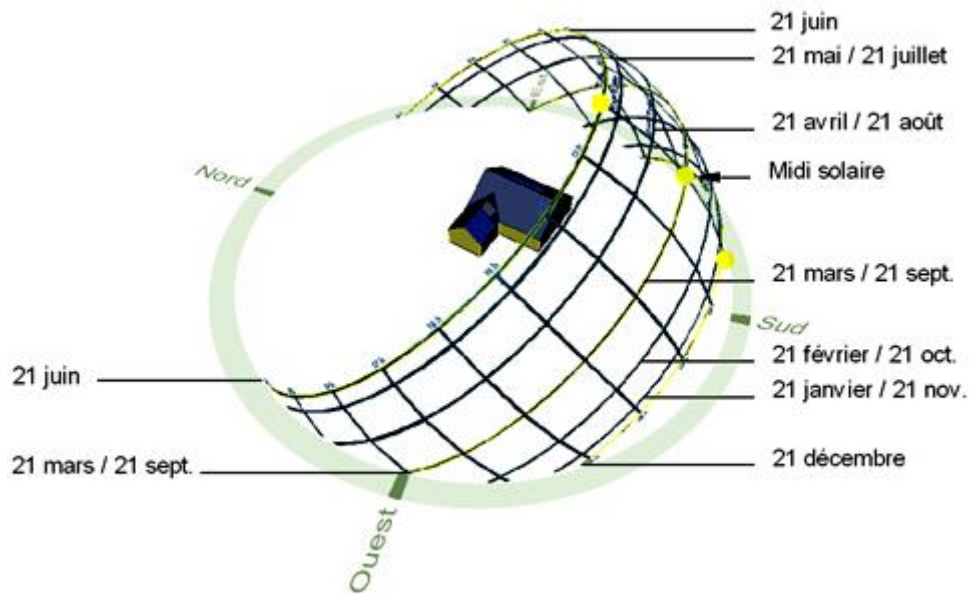


Figure 2.24 : Angle d'incidence du soleil selon la saison et l'heure (Source : http://arkitekto.net/P2_solaire.htm)

2.2.1.3. Configuration

La forme, la position de l'ouverture influencent la transmission des rayons lumineux à l'intérieur du local, les dimensions et la configuration des ouvertures jouent un rôle important dans l'admission ou l'exclusion de la lumière du jour (Fig.2.25, 2.26).

Des fenêtres allant dans le sens de la longueur donnent de meilleurs niveaux d'éclairement en profondeur de la pièce si elles ne sont pas éloignées les unes des autres.

En revanche les ouvertures larges et hautes provoquent l'éblouissement. Le concepteur doit pouvoir concevoir les ouvertures en fonction d'un certain nombre de facteurs dont l'obstruction par les bâtiments voisins, les réflectances des surfaces.

Dans les espaces très profonds, l'éclairage zénithal peut s'avérer plus approprié.

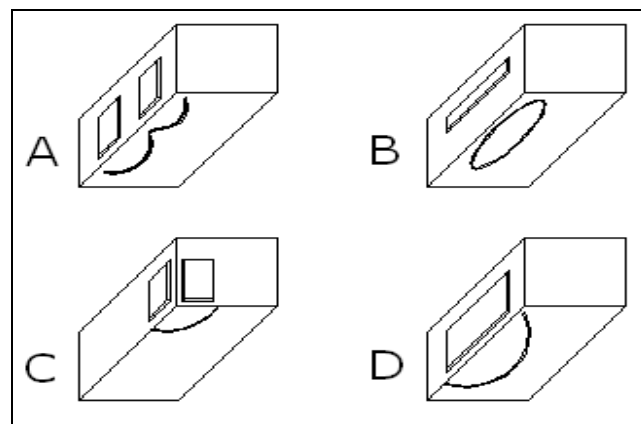


Figure 2.25 : Schéma illustrant les effets des emplacements et dimensions des ouvertures sur la lumière du jour Source : (Osborn,1985 In S. Mazouz,2014)

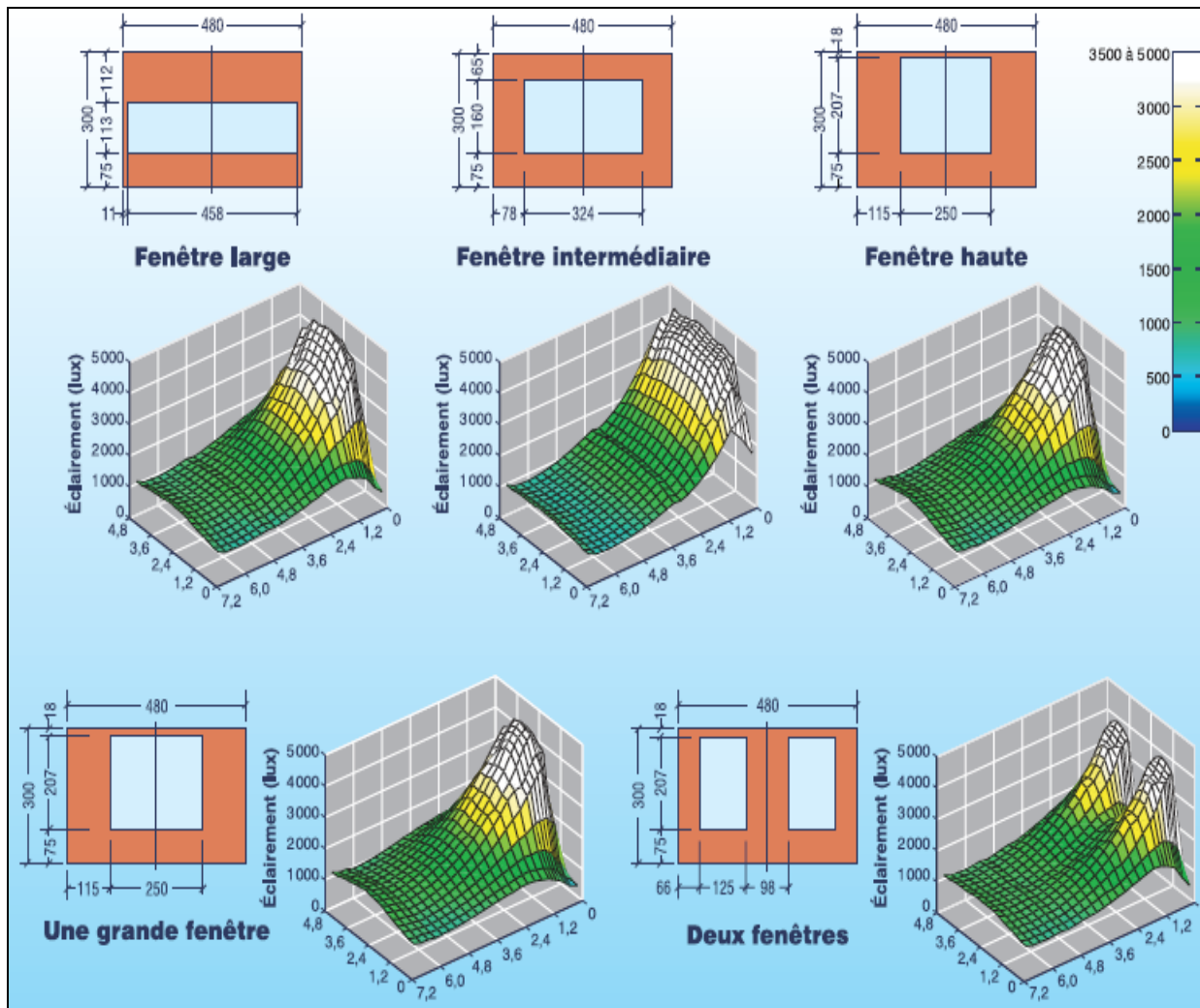


Figure 2.26 : Influence de la forme et dimension de l'ouverture sur l'éclairage d'un local (Source : Liébard, De Herde 2005)

L'expérience a démontré que les erreurs les plus fréquemment commises par les architectes concernent les mauvaises orientations des baies en plus de leurs dimensions. Il existe pourtant des règles empiriques auxquelles l'architecte peut se référer (S. Mazouz 2014)(Tab.2.1) :

Tableau 2.1 : Règles empiriques pour la conception des ouvertures (Source : Mazouz , 2014)

Climat : Zones A et B littorales marines et arrière littorales montagnes	
Paramètres	Règles
Dimensions	Prévoir pour l'Hiver 0.2m ² par m ² de plancher pour captage solaire hiver et faire compromis avec la période d'été en prévoyant en général 25 à 40% de la surface des murs
Orientations	Sud souhaitée ou proche du Sud. Ouest à proscrire.
Protection	Brise soleil fenêtres S.O, S.E, N.O, N.E.
Climat : Zone C. Haut plateaux	
Paramètres	Règles
Orientation	<u>Pavillonnaire</u> : Orientation de ouvertures en direction du S et encorbellements pour éviter les surchauffes en été <u>Barre</u> : Azimut du mur longitudinal, -10 à +10, ouvertures orientées approximativement S et encorbellement. <u>Cour</u> : Azimut du mur longitudinal doit être égale à : 0, 30, 60, 90, 120, 150,180 ouvertures orientées approximativement S et encorbellement.
Dimensions	Doivent être de grandes tailles similaires (entrées et sorties). Stores, écrans et grilles sont indispensable pour éliminer l'éblouissement. Prévoir pour l'Hiver : 0.3 m ² par m ² de plancher pour captage solaire et faire compromis avec la période d'été en prévoyant en général 25 à 40% de la surface des murs. Comme en climat chaud et sec mais avec des hivers froids qui nécessitent un ensoleillement. Les fenêtres de taille moyenne sont nécessaires pour assurer une bonne circulation d'air pendant l'été et permettre la pénétration du soleil en Hiver.
Climat : Zone D. Pré-Sahara et Sahara	
Paramètres	Règles
Orientation	Expositions 25° E de S assurent une bonne orientation, mais toutes les expositions sont bonnes de S à 35° E de S. Pour les bâtiments bilatéraux avec ventilations croisées ,12° SO est préférable. <u>Pavillonnaire</u> : Indifférent si le pourcentage de verre est réduit et ombragé correctement. <u>Barre</u> : Azimut du mur longitudinal, -15 à +15 <u>Cour</u> : Azimut du mur longitudinal doit être égale à : 0, 30, 60, 90, 120, 180.
Dimensions	Doivent être réduites et protégées du rayonnement direct et de l'éblouissement. En Hiver, il est préconisé 0.15m ² /m ² se plancher et prévoir pour l'été 15 à 40%
Orientation	Grandes ouvertures et fenêtres doivent être orientées N et S. Mauvaise orientation E-O : espaces non habitables peuvent être utilisé comme tampons. Occupation verticale des espaces conseillée pour la période d'hiver.

2.2.1.4. Châssis

Le pourcentage de surface de la menuiserie, en réduisant la surface transparente, réduit considérablement le niveau d'éclairement du local (Fig.2.27).

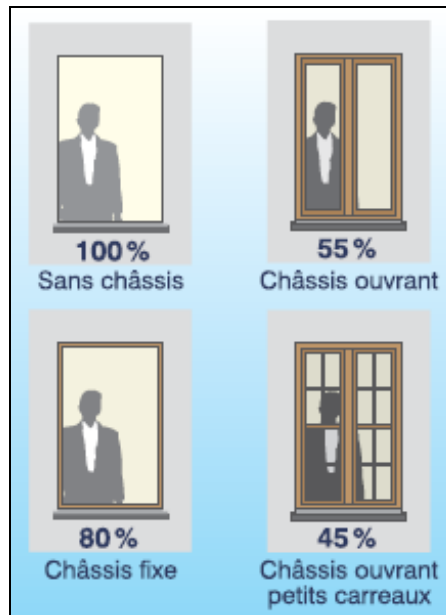


Figure 2.27 : Incidence de la menuiserie sur l'éclairage du local (Source : Liébard, De Herde, 2005)

2.2.1.5. Matériau de transmission

Les caractéristiques des matériaux de transmission à un impact direct sur l'éclairage du local (Fig.2.28), un choix judicieux permet une optimisation de l'éclairage naturel.

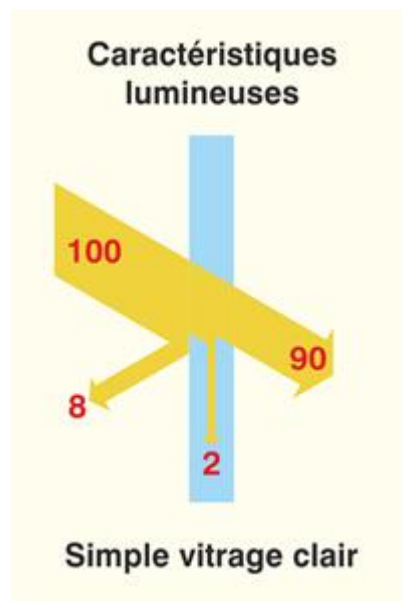


Figure 2.28 : Caractéristique de transmission lumineuse simple vitrage (Source : Energie+ le site, <https://sites.uclouvain.be/energie-plus/index.php?id=11259>)

2.2.2. Caractéristiques du local

2.2.2.1 Dimensions

La taille d'un local n'a pas en principe d'incidence sur la répartition de la lumière à l'intérieur, des espaces de forme identiques mais de taille différentes possédant des ouvertures respectant le même rapport d'échelle bénéficieront de la même distribution de lumière. Il faut tout de

même préciser que pour les espaces de grande surface au sol, il faudra donner des hauteurs importantes pour éviter des zones centrales obscures (Tareb 2004).

En fonction de la position de l'ouverture, la forme et les proportions d'un local ont un impact sur la qualité de son éclairage naturel. En général, les espaces irréguliers ou qui vont en s'élargissant à partir de l'ouverture où pénètre la lumière naturelle, conduisent à une répartition peu homogène (Fig.2.29).

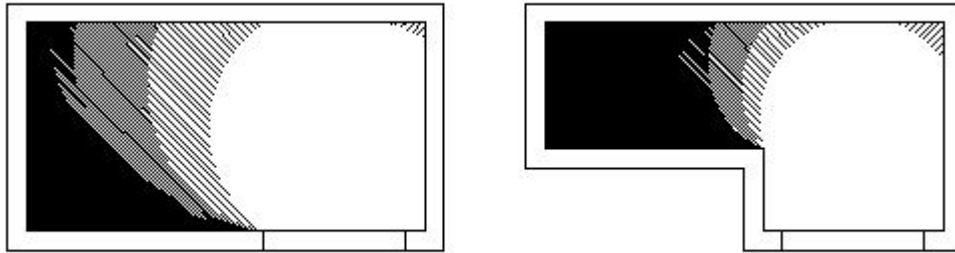


Figure 2.29 : Relation entre la forme et la distribution de la lumière naturelle (Source : auteur)

2.2.2.2. Aménagement intérieur

La couleur et la position des meubles et parois à l'intérieur du local, influence directement l'éclairage naturel dû aux réflexions intérieures, ainsi des parois claires permettront une meilleure distribution lumineuse. La Figure (2.30) démontre qu'un facteur de réflexion intérieur important (80%) permet d'obtenir un meilleur éclairage au fond du local.

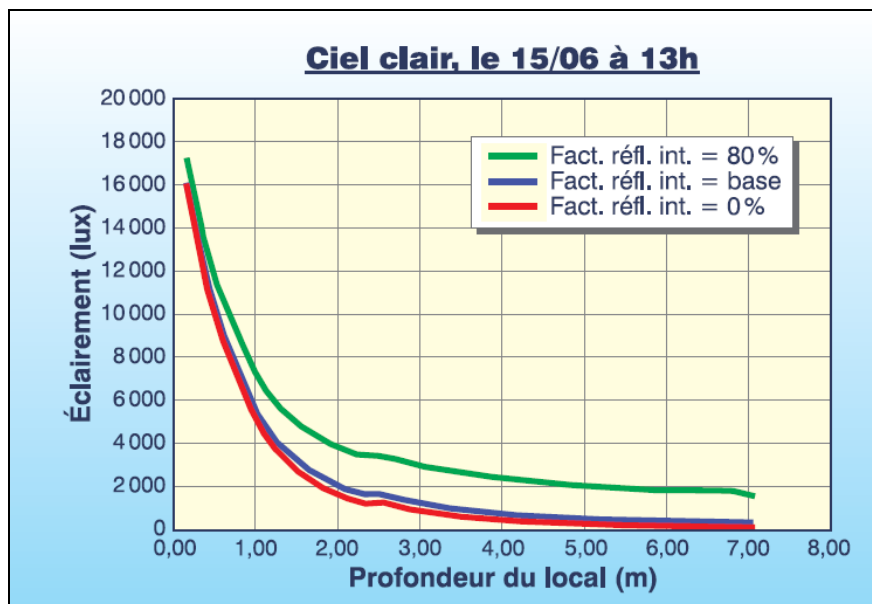


Figure 2.30 : Influence du facteur de réflexion des parois sur l'éclairage intérieur du local (Source : Liébard, De Herde, 2005)

2.3. Distribuer

Type de distribution lumineuse : la distribution lumineuse à l'intérieur du local se fait de deux manières : directe et indirecte. La combinaison de ces deux types donne l'éclairage total, la distribution lumineuse indirecte peut être une très bonne solution pour optimiser l'éclairage des locaux à travers des dispositifs divers et variés en voici quelques-uns :

2.3.1. Les réflecteurs ou *lightselves*

Ce sont des auvents, dont la surface supérieure est réfléchissante, ils permettent de rediriger la lumière naturelle vers le plafond (Fig.2.31), protégeant ainsi l'occupant des pénétrations directes du soleil, tout en permettant à la lumière de pénétrer plus profondément dans le local.

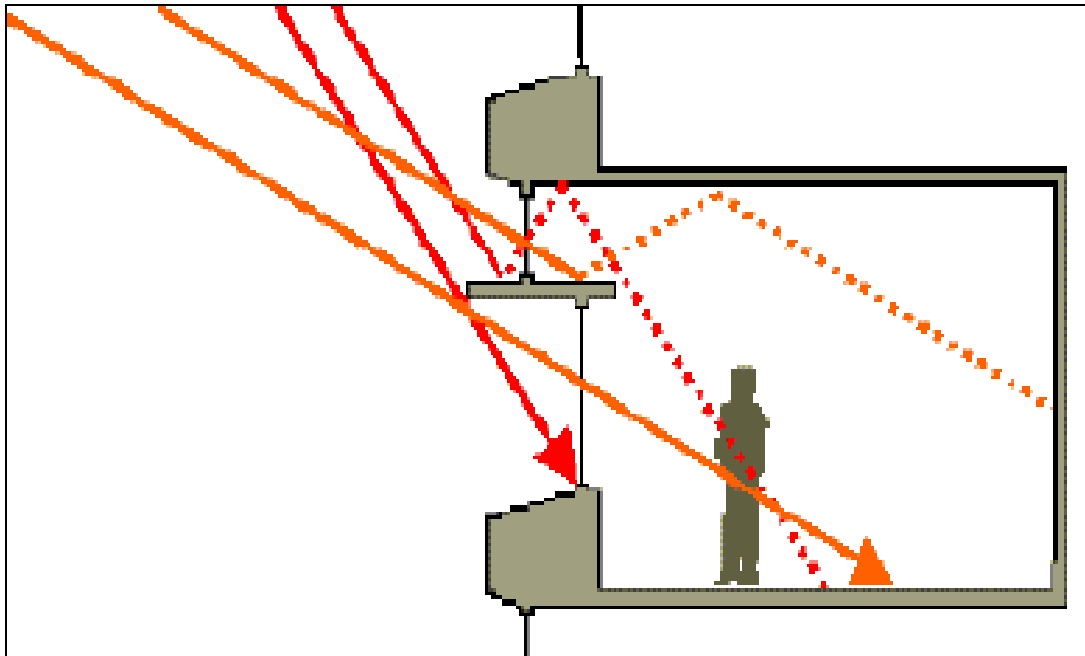


Figure 2.31 : Coupe illustrant la répartition de la lumière naturelle dans le local avec réflecteur (Source : www.outilssolaires.com)

2.3.2. Atrium

C'est un large espace fermé, situé au centre d'un bâtiment, il peut être central, intégré ou linéaire (Fig.2.32), son utilisation s'avère très intéressante dans les bâtiments très larges, en offrant une lumière naturelle aux locaux qui le bordent (Fig.2.33).

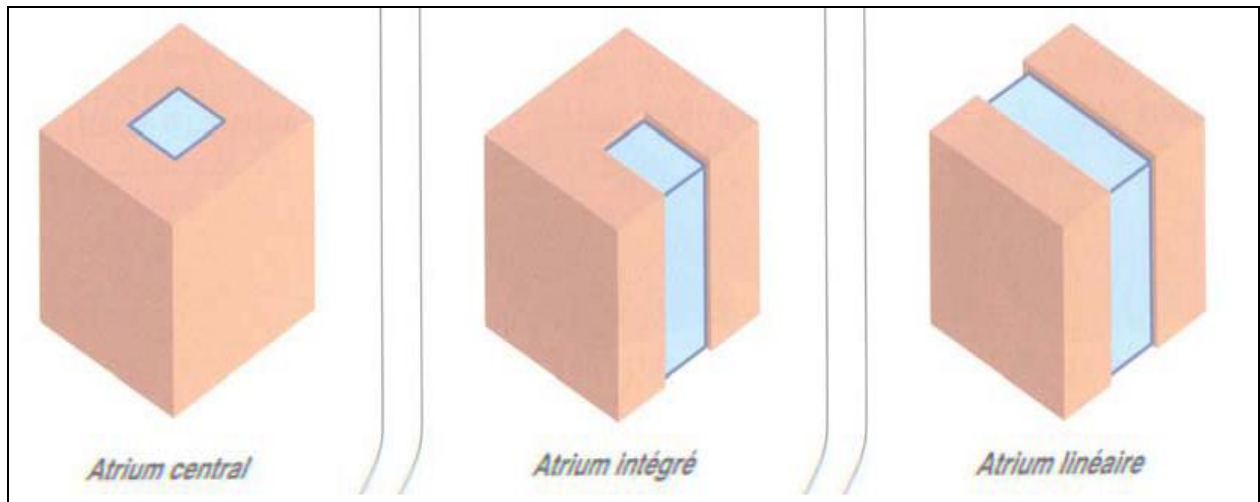


Figure 2.32 : Positions des atriums (Source : Liébard, De Herde, 2005)

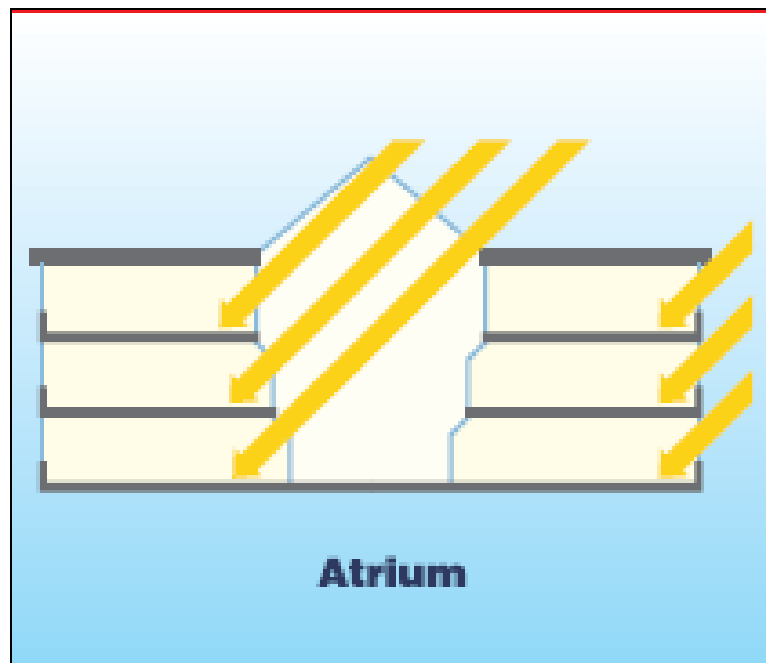


Figure 2.33 : Atrium (Source : Liébard, De Herde, 2005)

2.4. Distribuer

2.4.1. Le puits de lumière

C'est une ouverture située en toiture, qui permet de répondre de la lumière naturelle dans des locaux aveugles. Son utilisation a évolué à travers le temps, comme on peut le voir dans les (Fig.2.34 et 2.35) de la simple ouverture en toiture on arrive au conduit de lumière actuel, un dispositif permettant de capter un maximum de lumière naturelle et de la distribuer à travers un conduit fait de matériaux réfléchissant afin de pouvoir l'utiliser à l'endroit voulu du local.



1



2



3

Figure 2.34 : 1 Le panthéon Rome, 2 Maison pléiade à Louvain la neuve, 3 Puits de lumière dans un couloir. (Source : Liébard, De Herde, 2005)

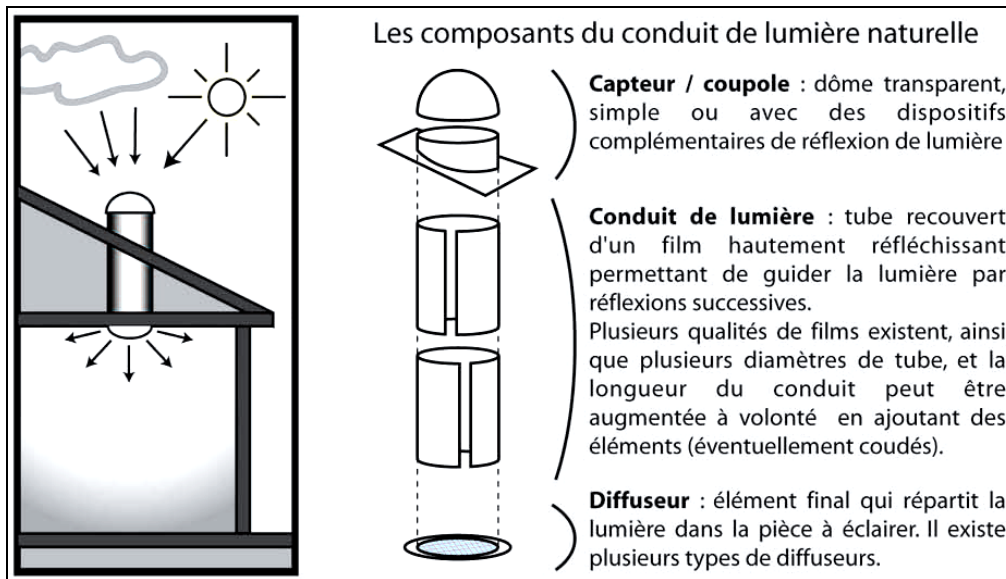


Figure 2.35 : Principe de fonctionnement d'un conduit de lumière naturelle (Source : ADME,2003)

2.5. Se protéger

La source première de l'éclairage naturel étant le rayonnement solaire, il est nécessaire de s'en protéger, en limitant l'éblouissement, diminuant les surchauffes et supprimant l'insolation directe, Liébard et De Herde, classent les protections solaires en quatre catégories à savoir. (A. Liébard, A.De Herde, 2005) :

- a. **Liées à l'environnement** : la végétation, ou les constructions voisines, crée un écran contre le rayonnement solaire. L'une variable l'autre fixe, utilisées à bon escient, elles peuvent s'avérer très efficaces.
- b. **Eléments architecturaux** : la forme même du bâtiment, par exemple les débords de toitures (Fig.2.36), les balcons, les arcades (Fig.2.37).



Figure 2.36 : Débord de toiture : La maison Robie à Chicago Frank Lloyd Wright (Illinois 1909) (Source : <https://www.pinterest.com/pin/519251032022326697/>)



Figure 2.37 : Arcades, West edar (Source : Ravéreau, 1989)

c. Protections ajoutées :

Le brise soleil, le lightshelves (déjà abordés plus haut), les stores, les persiennes... (Fig.2.38,2.39) autant de dispositifs que l'on peut rajouter pour assurer la protection.



Figure 2.38 : Brise soleil, Lycée Polyvalent à FREJUS, Norman FOSTER (France 1993) (Source : www.bordeaux.archi.fr.)



Figure 2.39 : Exemples de protections solaires (Source : Liébard, De Herde, 2005)

Vitrages protecteurs : l'utilisation de vitrages spéciaux : réfléchissants, absorbant, quant à elle, réduit la transmission solaire de façon constante, indépendante des saisons.

2.6. Contrôler

Le contrôle de la lumière naturelle d'un bâtiment est la base de la conception d'un éclairage qui intègre le comportement dynamique de la lumière naturelle. L'optimisation de tout élément de contrôle eu égard aux besoins réels du bâtiment dépendra de sa mobilité (fixe, partiellement ou totalement amovible), de son degré d'automatisation (manuel, motorisé ou automatisé) et du comportement des occupants (S. Reiter, A. De Herde 2004).



Figure 2.40 : Système de diaphragmes Institut du monde arabe (Source : www.archdaily.com)

Exemple d'utilisation d'éléments adaptable (Fig.2.40), l'institut du monde arabe par Jean Nouvel, grâce à un savant système de diaphragmes.

Plus simple toutes les protections solaires mobiles sont également des systèmes de contrôle adaptables.

Les arbres à feuilles caduc sont aussi intéressants sur le plan du contrôle du rayonnement solaire.

Mais au-delà de protéger il existe aujourd'hui des systèmes qui permettent de dévier la trajectoire des rayons comme par exemple les stores réfléchissants (Fig.2.41), ils sont utilisés dans le double but de protéger un espace du rayonnement solaire direct tout en redirigeant la lumière vers le fond du local.

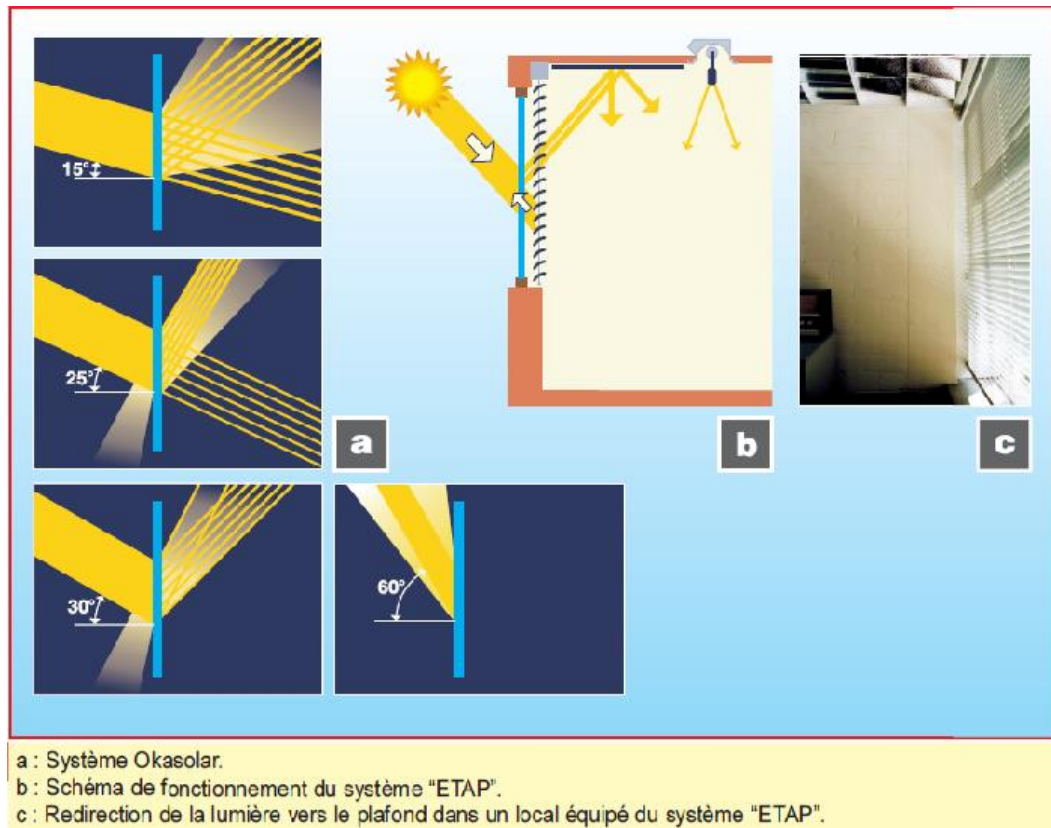


Figure 2.41 : Stores réfléchissants (Source : Liébard, De Herde, 2005)

Conclusion

Les stratégies d'optimisation de l'éclairage naturel sont nombreuses et variées dans ce qui précède nous avons tenté d'en présenter les plus courantes, nous avons vu que depuis l'Egypte ancienne les architectes se sont évertués à travailler les raillons lumineux comme un matériau de conception à part entière, mettant en valeurs leurs œuvres, et assurant le confort à l'intérieur des espaces. Aujourd'hui de nombreux outils sont mis à la disposition des architectes, afin de les aider dans cette tâche, ces outils permettent à un stade précoce de la conception d'évaluer l'impact de leurs choix conceptuels sur l'ambiance et le niveau de confort lumineux à l'intérieur des bâtiments.

CHAPITRE 3 : ETAT DE L'ART DE LA SIMULATION NUMÉRIQUE DE L'ÉCLAIRAGE NATUREL

Introduction

L'évaluation de l'éclairage naturel à l'intérieur d'un bâtiment peut se faire grâce à des appareils de mesure, cependant pour un bâtiment qui en est encore au stade de la conception, il peut s'avérer très utile d'en déterminer le comportement en amont avant sa réalisation, cette évaluation permet d'apporter des modifications, si nécessaire. Ceci est possible grâce à des outils de simulation de l'éclairage naturel, ces outils ont évolué avec le temps, et permettent une évaluation de plus en plus complète de l'éclairement (valeurs d'éclairement, ambiance lumineuse, images réalistes,).

1. Evaluation de l'éclairage naturel

L'évaluation de la disponibilité de la lumière naturelle ainsi que l'estimation de la consommation de l'éclairage artificiel est basée sur une approche statique fondée sur le FLJ (Voir chapitre 1, p 14)

Un ciel couvert ne prend pas en compte la lumière directe entrant dans un espace, de sorte que la rotation d'un bâtiment pour faire face à différentes directions (nord, sud, est et ouest) ne changera pas les calculs de manière significative (K. Kensek, J.Y. Suk, 2001). Cela peut être acceptable pour les zones avec un ciel couvert masquant le disque solaire pendant une grande partie de l'année mais serait erroné pour les régions tropicales et subtropicales où le ciel clair est omniprésent (comme c'est le cas en Algérie). Si d'un côté son évaluation est simple il y a plusieurs points faibles qui le rendent désormais un indicateur dépassé :

- Le FLJ exclut, par sa définition, la composante directe de la lumière solaire qui, dans la réalité peut jouer un rôle important pour l'éclairage et le réchauffement d'un local ;
- Le FLJ est indépendant de l'endroit géographique, de l'orientation, de l'heure et des conditions du ciel ;
- Le FLJ est une valeur de rapport et donc il ne donne pas la valeur réelle de l'éclairement sur le plan de référence et donc inutile pour toutes questions énergétiques liées à l'éclairage artificiel ;
- Le FLJ ne permet pas d'évaluer la performance d'un système de protection solaire (surtout des protections « dynamiques », ni de prévoir le phénomène d'éblouissement.

2. Étude de l'éclairage

L'étude des conditions d'éclairage peut être réalisée de quatre manières différentes :

- Mesures sur site
- Méthodes simplifiées (approchées)

- Mesures sur modèles réduits
- Simulations informatiques

2.1. Mesure sur site

Les mesures sur site permettent de caractériser l'ambiance intérieure et d'obtenir les vraies valeurs d'éclairement, de luminance, ... Elles sont relativement simples à exécuter, pour peu que l'on soit équipé du matériel adéquat. Elles offrent en outre l'avantage de combiner des études d'éclairage naturel et des études mixtes résultant de la combinaison éclairage naturel /éclairage artificiel.

Elles sont effectuées grâce à un appareil de mesure le « luxmètre » il s'agit d'un appareil destiné à la mesure des éclairements lumineux exprimés en lux (lx).

En général, l'éclairement est mesuré sur un plan, Un luxmètre est constitué de trois parties principales : une tête photométrique qui reçoit le rayonnement à mesurer, un transducteur qui convertit le signal reçu de la tête photométrique en indication exploitable et d'un afficheur qui indique la valeur de l'éclairement mesuré en lux.

D'un point de vue pratique, la mesure la plus couramment utilisée est la mesure de l'éclairement reçu par une surface parce qu'elle est relativement facile à effectuer et permet d'avoir des informations sur la quantité de lumière disponible sur le plan de travail. Cependant, elles ne peuvent être réalisées qu'après la construction du bâtiment et dépendent des conditions atmosphériques, ce qui empêche de les utiliser lors de la prédétermination du confort visuel et les confine à la validation ou la mise en évidence des problèmes a posteriori.

2.2. Méthodes simplifiées

Avant la large diffusion des outils de calculs numériques, seules les méthodes simplifiées étaient utilisées pour prédéterminer l'éclairage naturel. Ces méthodes ne permettent d'estimer l'éclairement intérieur que sous un type de ciel bien précis (B. Deroisy, A.Deneyer 2011).

Différentes méthodes simplifiées permettent de calculer l'éclairage intérieur en fonction de l'installation d'éclairage et de la lumière naturel (A. Deneyer 2003).

Citons entre autres :

2.2.1. La méthode des diagrammes de Waldran

La *méthode des diagrammes de Waldran* est basée sur un système de projection du ciel sur une grille dont chaque élément représente une contribution (équivalente) du ciel pour l'éclairement du point considéré. Il existe plusieurs diagrammes pour divers types de ciels, permettant des calculs pour différentes conditions extérieures.

2.2.2. la méthode BRS

La méthode BRS (Building Research Station), mise au point par le BRE (Building Research Establishment – United Kingdom) est une méthode qui permet de calculer la valeur du facteur lumière du jour pour un ciel couvert en un point d'un local sur base de ses plans et du type de ciel. C'est une méthode relativement simple à appliquer prend en compte les obstacles extérieurs. Les protractors (ou rapporteurs) (Fig.3.1) se composent de deux disques semi-circulaires. Le premier donne les indications relatives au ciel et à la composante du facteur lumière du jour qui en résulte. Le second donne la correction à effectuer dans le cas de fenêtre de longueur fixe (hypothèse qui est toujours vérifiée mais que le premier disque ne prend pas en compte). Ces deux demi-disques sont complétés par un rapporteur plus basique permettant de déterminer l'angle d'élévation de la partie de ciel à considérer.

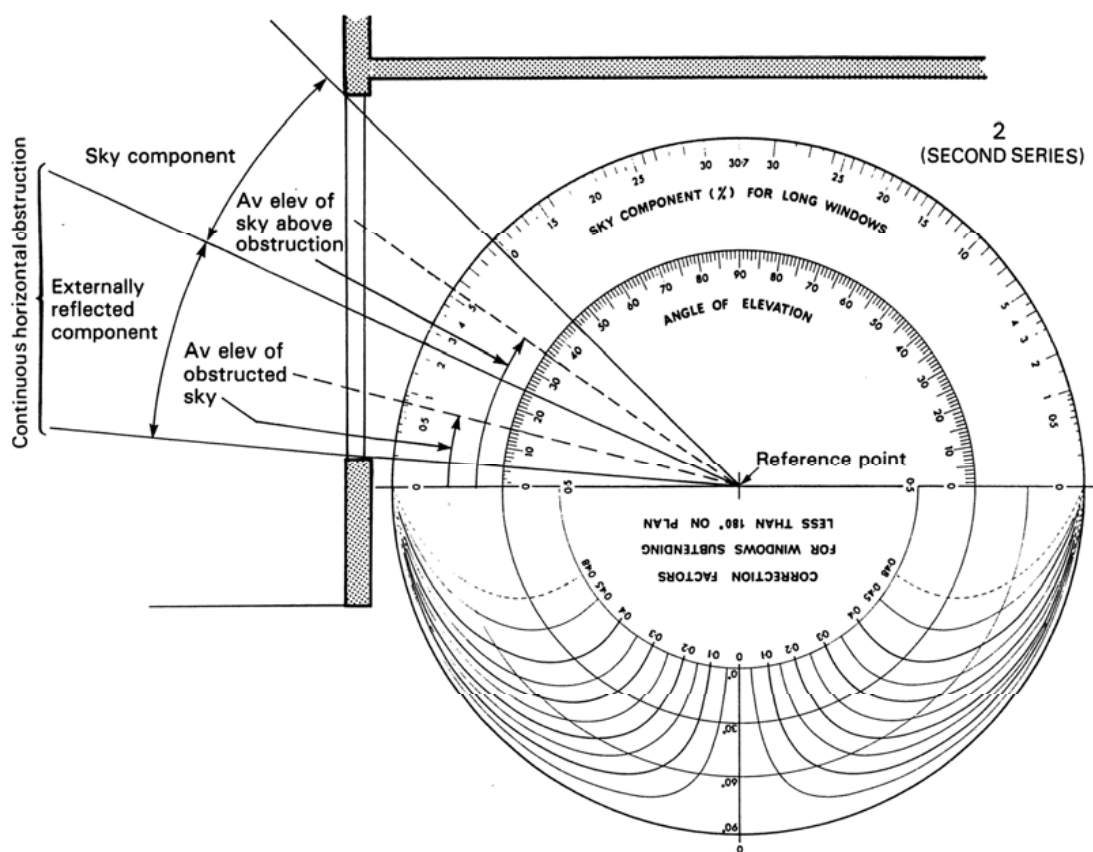


Figure 3.1 : Schéma de principe – coupe verticale (Source : BRE Digest 309)

2.2.3. La méthode dite de l'estimation simplifiée du FLJ_{moyen}

Cette méthode relativement sommaire permet de calculer le FLJ moyen à l'intérieur d'un local. Le FLJ moyen peut être défini comme la valeur moyenne du FLJ le long d'une coupe transversale du local.

Il se calcule manuellement de la manière suivante :

$$FLJ_{moyen} = \tau_d \cdot S_v \cdot \theta / A \cdot (1 - R^2)$$

Équation . 3.1 : Facteur de lumière du jour moyen

Avec :

- τ_d le facteur de transmission diffuse du vitrage
- $\tau_d = 0.879 \times t_v$ avec t_v , la transmission visuelle
- S_v la surface nette du vitrage en m^2
- $S_v = (1 - f_c) \times S_{ouverture}$
- $f_c = 0,1$ dans le cas de configuration actuel (fines poutres verticale)
- A , le total des surfaces intérieures du local en m^2
- $\sum \rho_i A_i = \rho$ où :
- ρ_i est le facteur de réflexion de la surface i
- A_i est l'aire de la surface i en m^2
- θ est l'angle (en degrés) de la partie visible du ciel au centre du vitrage (dans un plan vertical)

Selon Deneyer et Moenssens, les méthodes simplifiées se confinent de manière générale à un calcul approximatif voire parfois grossier des conditions d'éclairement à l'intérieur d'un local (A. Deneyer, N. Moenssens 2004).

Elles trouvent leurs limites dès que se présentent des besoins de visualisation de l'ambiance intérieure et d'analyse plus poussée du confort visuel.

2.3. Mesures sur modèles réduits (méthode expérimentale)

Lorsqu'on construit précisément la maquette d'un local (Fig.3.2), en respectant scrupuleusement sa géométrie et les caractéristiques de ses parois intérieures et de son mobilier (couleur, brillance), on obtient les mêmes quantités et qualité de lumières, en le soumettant aux mêmes conditions de ciel que le local réel (A. Liébard, H. De Herde 2005).



Figure 3.2 : Model réduit sous ciel artificiel ou réel (Source : Liébard , De Herde 2005)

Cette méthode permet de visualiser directement la distribution de lumière dans un espace, ce qui est très utile dans le cadre d'une approche qualitative de la conception et de l'évaluation comparative de différentes options ou interventions.

Des mesures sur modèles réduits sont également pertinentes dans le cas de configurations complexes, par exemple lors de l'utilisation de matériaux ou de surfaces dont les propriétés sont insuffisamment précises ou atypiques (A. Liébard, H. De Herde 2005).

2.4. Simulations numérique

Il existe aujourd'hui un nombre important de logiciels dédiés à la simulation numérique de l'éclairage.

Ils peuvent être classés selon leurs méthodes de calcul dominantes :

- La méthode de radiosité
- La méthode du lancer de rayon.

Ces deux méthodes peuvent s'avérer complémentaire, certains développeurs s'orientent aujourd'hui vers des outils combinant les deux.

- Photon mapping

2.4.1. La méthode de radiosité

Les algorithmes de radiosité se basent sur un système de maillage des surfaces d'une géométrie donnée (Fig.3.3). Le calcul se fait en deux phases : premièrement calcul de la lumière directe reçue par chaque maille, deuxièmement calcul de la lumière indirecte émise par chaque maille (selon le facteur de réflexion) et ainsi à travers plusieurs inter-réflexions, jusqu'à ce que le flux initial soit absorbé (F. Maamari 2004). Dans la pratique, cette méthode

est principalement utilisée par les logiciels développés pour la conception et le calcul de l'éclairage artificiel (B. Deroisy, A.Deneyer 2011).

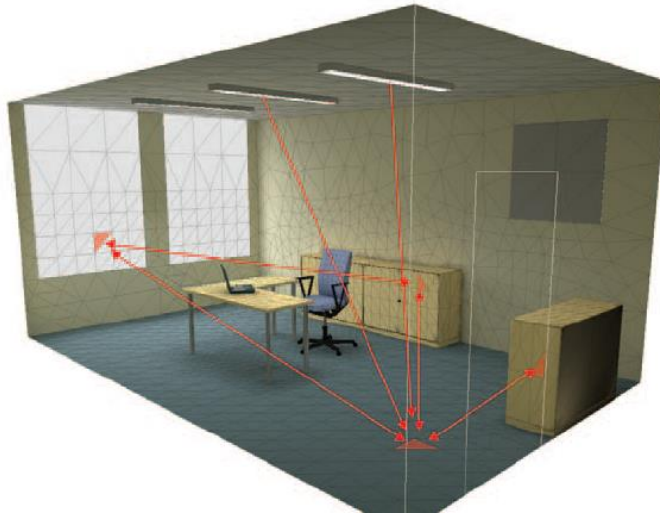


Figure 3.3 : Principe de l'algorithme de Radiosité (Source : Deroisy, Deneyer, 2011)

2.4.2. La méthode du lancer de rayon

Basées sur plusieurs catégories d'algorithmes elle permet de calculer avec précision l'éclairement direct, de calculer les effets spéculaires des matériaux, de définir les ombres et de considérer les réfractions à travers les surfaces transparentes (F. Maamari 2004), ainsi il permet d'obtenir des images de synthèses très réalistes (Fig.3.4), développés à l'origine dans ce but (création d'images de synthèses) , elle permet des simulation pour des configuration géométriques complexes incluant des composant modélisées avec beaucoup de détails (B. Deroisy, A.Deneyer 2011).

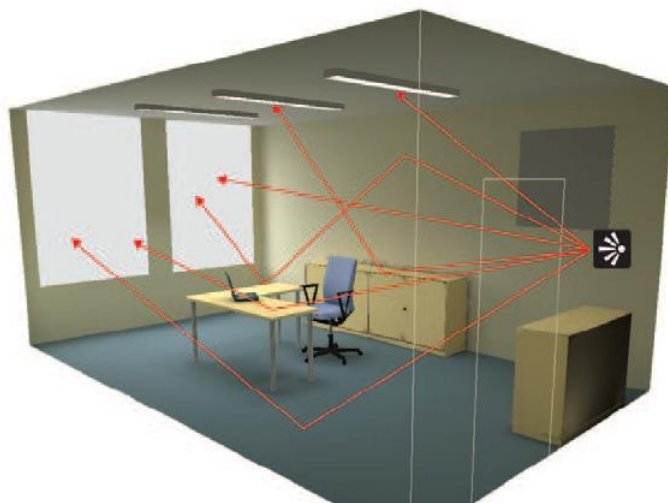


Figure 3.4 : Principe de la méthode du lancer de rayon (Source : Deroisy, Deneyer, 2011)

2.4.3. La méthode du photon mapping

Cette méthode utilise des algorithmes combinés qui permettent d'atténuer les désavantages de chaque méthode, les calculs se font en deux étapes : lancer de rayon direct combiné à une structure de stockage des données (photon map), puis lancer de rayon inverse (Fig.3.5).

Elle permet ainsi d'évaluer l'éclairage naturel dans un espace avec un bon degré de précision.

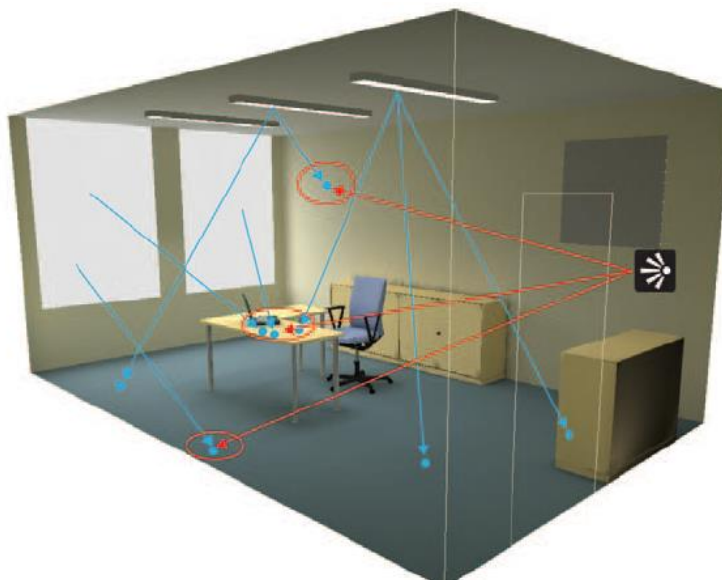


Figure 3.5 : Principe de la méthode du photon mapping (Source : Deroisy, Deneyer, 2011)

Outre l'avantage de pouvoir aisément apporter des modifications aux modèles, les simulations informatiques offrent la possibilité de visualiser des images 3D en réalisant une géométrie en 3D des espaces et des objets, et en introduisant différentes sources afin de calculer la distribution de la lumière. Les logiciels les plus performants offrent également la possibilité de rendre des impressions visuelles photo réalistes.

3. L'enjeu de la simulation dynamique pour l'éclairage naturel

Plus récemment, grâce à l'aide des outils plus performants, des nouveaux indicateurs ont été mis en place. Ces indicateurs ont permis une approche dynamique pour l'évaluation de l'éclairage naturel.

Un des plus importants est l'autonomie en éclairage naturel (en anglais Daylight Autonomy, DA), définie comme le pourcentage du temps d'occupation où l'éclairage naturel est suffisant (Reinhart C.F., Walkenhorst, 2001). Un tel paramètre fournit l'occurrence temporelle d'une valeur cible d'éclairement naturel, mais ne considère pas le risque qu'un éclairement supérieur à la valeur cible peut avoir sur le confort visuel (éblouissement) et ne considère pas une valeur inférieure à la valeur cible comme utile.

Nabil et Mardaljevic, ont ensuite, propose un nouvel indicateur, l'éclairement naturel utile (en anglais Useful Daylight Illuminance, (UDI) défini comme le pourcentage du temps d'occupation ou l'éclairement naturel est dans un intervalle prédéfini (100-2000lux) (A.Nabil J. Mardaljevic 2005).

Selon Rogers il faut attribuer un crédit partiel aux niveaux d'éclairement inférieurs à la valeur cible (Z. Rogers 2006).

Il a défini, à ce sujet, la disponibilité équivalente en éclairage naturel (en anglais Continuous Daylight Autonomy (DAcont) ; elle représente la somme des heures durant lesquelles il y a eu de l'éclairage naturel chaque « point » selon sa contribution à la valeur cible par rapport au temps d'occupation. Elle est normalement exprimée en pourcentage.

Il a également défini la valeur maximale d l'Autonomie en éclairage naturel (en anglais Maximum Daylight Autonomy (DAmx) qui représente le pourcentage du temps d'occupation ou l'éclairement naturel est supérieure à un certain seuil.

Tous ces indicateurs fournissent des informations intéressantes pour évaluer gain d'énergie dans les cas d'intégration de la lumière naturelle à celle artificielle ou simplement pour concevoir baies vitrées et protections solaires.

Les outils de simulation numérique de l'éclairage ont effectué des progrès considérables au cours des dernières années, ce qui leur permet aujourd'hui de jouer un rôle de plus en plus important dans la conception énergétique des bâtiments.

4. Logiciels de simulation numérique de l'éclairage

On entend par logiciel de simulation de la lumière un outil informatique qui permet de simuler la propagation de la lumière dans un milieu donné (F. Maamri, 2004). Cette propagation est caractérisée par un certain nombre d'aspects d'ordre physique. Nous citons par exemple :

- La photométrie des sources (naturelles ou artificielles)
- Le transfert des flux à travers des matériaux vitrés (à caractéristiques bidirectionnelle ou non)
- La réflexion de la lumière sur les différents types de matériaux (brillants, mats, ...)
- Le rôle des obstructions et des masques
- L'aspect spectral des sources et des matériaux
- Le rendu graphique des résultats.

4.1. Les outils numériques de simulation de la lumière naturelle

Les outils numériques de simulation de la lumière sont des outils informatiques permettant soit la simulation de la propagation de la lumière sous son aspect quantitatif ou qualitatif, constituant ainsi des outils d'aide à la décision, soit la présentation interactive de certaines informations constituant une base de données pouvant être utilisées comme outils d'aide à la conception.

L'étude de l'éclairage naturel permet concrètement de quantifier l'apport de lumière naturelle dans le bâtiment étudié à partir d'une modélisation 3D de ce bâtiment et de son environnement. Pour ce faire cette étude doit prendre en considération plusieurs paramètres, liés d'abord au bâtiment (géométrie des pièces et des ouvertures, caractéristiques des menuiseries installées : type de vitrage / châssis, caractéristiques des revêtements intérieurs : Couleurs aspect, caractéristiques des éventuelle, les protections solaires, masques proches extérieurs), puis à la situation géographique (latitude, longitude) ainsi que tout paramètre déterminant la course du soleil, liés à la date et à l'heure de la simulation.

Après avoir introduit scrupuleusement tous ces paramètres, les résultats obtenus après simulation se présentent sous trois formes :

- l'éclairement naturel, s'expriment en « Lux », qui représente le flux lumineux reçu par une surface, il peut être divisées selon les logiciels en éclairage direct, indirect et total.
- Le facteur de lumière du jour FLJ, s'exprimant en %, qui est utilisée par certaines certification comme BREEAM et HQE.
- la luminance, s'exprimant en cd/m^2 qui permet de quantifier l'éblouissement.

L'interphase graphique diffère d'un logiciel à un autre sous plusieurs formes :

- Représentation en fausses couleurs des niveaux d'éclairement naturel en lux
- Courbes isolux
- Tableau de valeurs FLJ par local selon un maillage paramétrable
- Représentation en valeurs grises des niveaux de FLJ par local
- Représentation en fausses couleurs des niveaux de luminance.

4.1.1. Types des logiciels existants

Les logiciels existants sur le marché international et utilisés comme outils de conception en éclairage peuvent être classés en différentes familles (J. De Boer H.Erhorn 1999) (IESNA. 1999) :

1. Les logiciels basés sur les formules de base de calcul de l'éclairage artificiel. Ces logiciels sont souvent distribués par les constructeurs de luminaires et munis de leur bibliothèque de luminaires.
2. Des logiciels basés sur des formules de base de calcul en éclairage naturel ou sur des données empiriques (ou pré-simulées). Ces logiciels sont souvent dédiés à l'utilisation dans les phases préliminaires de la conception d'un projet. (Ex. : Dial, Sodalight, etc.)
3. Les logiciels capables de calculer l'éclairage direct uniquement. Ils sont très souvent intégrés dans des logiciels de DAO. Leur objectif est limité à l'amélioration du rendu graphique d'un projet ou au mieux à une étude de taches solaires (ex. : Archicad). Cependant, ce type de logiciels devient de plus en plus rare. En effet, vu leurs potentiels, un certain nombre de ces logiciels a été mis à niveau par les développeurs et a passé ainsi à la famille suivante. (Ex. : Microstation et 3D Studio)
4. Les logiciels dits d'éclairement global. Ils utilisent souvent des algorithmes de calcul physique (en particulier de radiosité et lancer de rayons). Nous distinguons cependant dans cette catégorie les logiciels développés dans un cadre scientifique (ex. : Radiance, Génélux, CSTB) de ceux développés et diffusés dans un cadre commercial (Lightscape, Dialux...). En général, les logiciels commerciaux possèdent des interfaces plus conviviales, mais les logiciels scientifiques offrent des fonctionnalités plus complètes. Par exemple, certains logiciels scientifiques sont capables de prendre en considération l'aspect spectral de la propagation de la lumière, et/ou de traiter les fonctions bidirectionnelles. Finalement nous notons que les logiciels commerciaux manquent le plus de transparence sur leur fiabilité dans les différents domaines d'application (manque de travaux de validation) (F.Maamari 2004).

Pour répondre à la demande de plus en plus importante en matière de simulation, les développeurs travaillent de plus en plus sur les logiciels commerciaux, afin de proposer au plus grand nombre des fonctionnalités permettant le calcul de l'éclairement et du facteur de lumière du jour, permettant ainsi de proposer pour tous, et selon les besoins spécifiques de chacun, un outil approprié. On peut le constater par exemple dans le tableau ci-dessous (Tab.3.1) proposé par (B. Deroisy, A.Deneyer 2011) les propriétés des principaux logiciels utilisées dans la simulation de l'éclairage naturel.

Chapitre 3 : Etat de l'art de la simulation numérique de l'éclairage naturel

Tableau 3.1 : Propriétés des principaux logiciels informatiques et leurs applications (Source : Deroisy, Deneyer 2011)

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

5. Certification des logiciels de simulation

5.1. Systèmes d'évaluation des bâtiments écologique

Les systèmes d'évaluation des bâtiments écologiques ont été créés afin de répondre à la demande du marché pour un processus d'identification crédible des bâtiments véritablement écologiques, il permet d'en évaluer la performance et de donner une certification (K. LESAGE 2013).

Il existe un grand nombre de systèmes d'évaluation dans le monde, seulement certains d'entre eux proposent une certification, la plupart ont été conçus pour promouvoir un développement des bâtiments écologiques dans le contexte local on peut citer : BREEM (UK), LEED (E-U), HK BEAM (Hong Kong), CASBEE (Japon), HQE (France), DGNB (Allemagne), PromisE (Finlande), Minergie (Suisse), Green Globes (Canada), Green Stars (Australie), BCA Green Mark (Singapour), China Green Building Labels : GBDL, GBL and GOBAS, Certification pour bâtiments vert Coréen (C.Yu, F. Kim 2011).

Les deux principales certifications utilisées à travers le monde actuellement étant la britannique BREEAM®, l'américaine LEED®, en retrouve ensuite la française HQE, ces trois labels s'exportent dans le monde entier comme on peut le voir dans les figures (3.6, 3.7), en faisant valoir chacune ses spécificités (Tab.3.2).



Figure 3.6 : © Deloitte -Répartitions des certifications Breeam, Leed ou HQE (Source : Leysens 2012).



Figure 3.7 : © Deloitte - Pour les immeubles de bureaux, évolution du nombre de certifications cumulées par chacun des 3 labels. Le premier pourcentage représente la part réalisée dans le pays d'origine du label (Source : Leysens 2012).

La certification britannique BREEAM® : BRE Environmental Assessment Method (méthode d'évaluation développée par le Building Research Establishment BRE), développé au Royaume-Uni en 1990, c'est le plus ancien des systèmes en vigueur.

La certification américaine LEED® : Leadership in Energy and Environmental Design système nord-américain de standardisation de bâtiments à haute qualité environnementale créé par le US Green Building Council (en) en 1998.

La HQE Française : un concept environnemental né d'une association en 1996, qui a donné lieu à la mise en place de l'enregistrement comme marque commerciale et d'une certification « NF Ouvrage Démarche HQE® » en 2004.

Tableau 3.2 : Exigences et critères de chaque certification (Source : <http://lalettre.bureauveritas.fr>)

LEED		HQE		BREEAM	
1	Aménagement durable des sites	1	Relation du bâtiment avec son environnement immédiat	1	Gestion du projet
2	Gestion de l'eau	2	Produits de construction	2	Santé et bien-être
3	Energie	3	Chantier de faible nuisance	3	Energie
4	Matériaux et ressources	4	Energie	4	Transport
5	Qualité environnementale des équipements intérieurs	5	Eau	5	Eau
6	Processus d'innovation et de conception	6	Déchets	6	Matériaux
7	Priorité régionale	7	Entretien et Maintenance	7	Déchets
		8	Confort hygrométrique	8	Pollution
		9	Confort acoustique	9	Aménagement du territoire et écologie
		10	Confort visuel		
		11	Confort olfactif		
		12	Conditions sanitaires		
		13	Qualité de l'air		
		14	Qualité de l'eau		

5.2. Certification des logiciels de simulation

La certification est un bon moyen de s'y retrouver au niveau des innombrables logiciels de simulation existant sur le marché, elle permet de donner une crédibilité aux résultats obtenus, en ce qui concerne notre domaine de recherche (l'éclairage naturel), il s'agira des points liés à l'éclairage à savoir pour les deux premières certification mondiale *BREEAM®* et *LEED®* les crédits cités dans le tableau suivant (Tab.3.3):

Chapitre 3 : Etat de l'art de la simulation numérique de l'éclairage naturel

Tableau 3.3 : Crédits liés à l'usage de l'éclairage naturel (Source : LESAGE, 2013)

LEED® – Ca CI Version 1.0 (2006)			BREEAM® « Europe commercial » 2009		
Crédits attribués à l'usage de la lumière naturelle					
Crédit	Critère	Pt	Crédit	Critère	Pt
QE1 8.1	Lumière naturelle et vues, lumière naturelle dans 75% des espaces	1	Hea 1	Lumière naturelle	1
QE1 8.2	Lumière naturelle et vues, lumière naturelle dans 90% des espaces	1	Hea 2	Vue Extérieure	1
QE1 8.3	Lumière naturelle et vues, lumière naturelle dans 90% des espaces où sont assis les occupants	1	Hea 3	Contrôle de l'éblouissement	1
			Hea 5	Niveau d'éclairage intérieur et extérieur	1
QE1 8.1	Contrôle des systèmes par les occupants, éclairage	1	Hea 6	Zones et contrôles de l'éclairage	1
Crédits attribués à la performance énergétique					
ÉA Pré-requis 1	Performance énergétique minimale	0,5 à 15	Ene 1	Efficacité énergétique	1 à 15
ÉA 1.1	Optimiser la performance énergétique, puissance énergétique	1 à 3	Ene 2	Compteur individuel pour les principaux systèmes incluant le système d'éclairage	1
ÉA 1.2	Optimiser la performance énergétique, commandes d'éclairage	1			
Crédits attribués à la qualité de l'environnement de travail					
IPD 1.1	Acoustique (crédit pilote #24*)	1	Hea 13	Performance acoustique	1
IPD 1.2	Qualité de la lumière (crédit pilote #22*)	1			
Crédits additionnels					
			Man 1	Programme de gestion	2
IPD 1.3	Formation de l'usager	1	Man 4	Guide de l'usager	1
			Man 12	Analyse du cycle de vie	2
			Inn 1	Hea 1 Éclairage naturel	1

6. Domaine d'utilisation de la simulation d'éclairage naturel

La lumière du jour apporte un éclairage naturel et agréable ; elle permet de réduire le besoin en éclairage artificiel et de limiter les apports internes.

Durant nos recherches bibliographiques nous avons été régulièrement renvoyé à son importance dans les bâtiments tertiaires, la recherche de l'optimisation de l'éclairage naturel permet non seulement de minimiser la consommation d'énergie, mais de nombreux travaux la relie directement au rendement et à l'efficacité des occupants sur leurs lieux de travail ; en effet, la lumière joue un rôle essentiel : elle contribue à la santé, la sécurité et au dynamisme, et par conséquent améliore les conditions de travail et augmente les performances, son impact sur l'environnement est même été reconnue depuis les accords de Kyoto.

Les certifications citées plus haut, la compte parmi les cibles à atteindre dans un bâtiment respectueux de l'environnement, par exemple cible 8 de la certification LEED et cible 10 de la certification HQE. Dans certains pays le code du travail exige un seuil minimum acceptable à respecter dans les locaux en fonction des types de tâches à accomplir. Pour la France par exemple nous pouvons citer :

Le décret n°2008-244 du 7 mars 2008–art.V, il comporte trois articles relatifs spécifiquement à la lumière naturelle : (circulaire gouvernementale en ligne sur le site Légifrance-service public de la diffusion du droit [en ligne]

https://www.circulaires.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006072050/LEGISCTA000018488646/2020-11-05

Il s'agit de *l'article R4213-2* qui stipule que : « Les bâtiments sont conçus et disposés de telle sorte que la lumière naturelle puisse être utilisée pour l'éclairage des locaux destinés à être affectés au travail, sauf dans les cas où la nature technique des activités s'y oppose », engageant par là même la responsabilité du maître d'ouvrage.

L'article *R4213-3*, relatif à la vue directe sur l'extérieur, traite plus de l'aspect psychologique, tandis que l'article *R4223-3* indique succinctement que « les locaux de travail disposent autant que possible d'une lumière naturelle suffisante ».

Par ailleurs, la *RT2012* (Réglementation Thermique qui s'applique en France aux permis de construire de certains bâtiments tertiaires dès le 28 octobre 2011 et de tous les bâtiments résidentiels à partir du 1er janvier 2013) ([en ligne] <https://www.e-rt2012.fr/explications/>) , qui met l'accent sur la réduction des consommations d'énergie, implique de laisser une plus grande part à la lumière naturelle, de façon à diminuer celle de l'éclairage artificiel.

Dans le contexte mondial actuel la conception de bâtiments à faibles consommations d'énergie et performants sur le plan de la qualité des ambiances et des impacts sur l'environnement, met en avant de nouveaux enjeux : confort d'été, qualité d'air intérieur, consommation d'énergie pour la construction (énergie grise), pérennité des performances dans le temps, ...

Le concepteur doit donc pouvoir optimiser les choix de conception dans le cadre des objectifs du projet et en tenant compte de l'ensemble des enjeux environnementaux. Et cela dès le début du processus de conception, pour cela, il peut s'appuyer sur des logiciels de simulation. Le choix de ces outils dépend de l'objectif fixé, de la phase de conception, ainsi, selon Maamari, Le domaine d'utilisation d'un logiciel donné dépend des fonctionnalités proposées par ce logiciel, de ses capacités à simuler avec un certain degré de fiabilité et de facilité les différents domaines de la propagation de la lumière en relation avec les besoins de l'utilisateur (F. Maamari 2004).

7. Présentation des outils choisis dans le cadre de cette étude

7.1. Présentation des outils de simulation

Pour répondre à notre problématique nous avons choisi de travailler avec deux logiciels, 3ds Max design (3D Studio Max) dans sa version 2012, et MATLAB dans sa version 2010, ces logiciels vont nous permettre pour le premier de modéliser les logements puis de simuler l'éclairage naturel à l'intérieur de ceux-ci, le deuxième de traiter toutes les données numériques obtenues grâce aux feuilles de calcul générées par 3DS Max design.

Comme nous avons pu le voir dans ce chapitre, les logiciels de simulation de l'éclairage naturel sont légion, cependant, notre choix c'est porté sur le logiciel 3DS Max design, pour les raisons suivantes, bien qu' AutoCad et puis plus récemment Archicad soit les logiciels les plus utilisées en matière de conception en Algérie, le constat fait à travers notre expérience en tant qu'architecte, mais aussi en tant qu'enseignante en architecture depuis une dizaine d'années, 3DS Max est aujourd'hui avec Sketchup et Revit le logiciel le plus utilisée en matière de modélisation 3D, et cela pour sa qualité de rendu, malheureusement la plus part des utilisateurs n'exploite qu'une infime partie des possibilités qu'offre ce logiciel, entre autre sa capacité à simuler l'éclairage naturel. Nous avons choisi délibérément de travailler avec ce logiciel grand public, pour démontrer la possibilité pour chaque architecte de prendre en considération l'éclairage naturel dès les premières phases de conception.

7.1.1. Logiciel de simulation « 3ds Max Design »

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

Depuis 2009, Autodesk propose le logiciel 3ds Max Design, il est adapté aux architectes, concepteurs, ingénieurs et spécialistes de la visualisation.

La version *3ds Max Design 2012* intègre de nouvelles fonctionnalités pour la simulation et l'analyse de la lumière naturelle ou de l'éclairage artificiel. Ces outils d'analyse sont adaptés à la certification **LEED** Indoor Environmental Quality credit 8.1 (certification que nous avons évoquée plus haut).

Le moteur de rendu utilisé par 3dsMax est Mental Ray (produit par la société Mental Images GmbH), qui emploie la méthode du raytracing. **Le raytracing (lancer de rayons)**, pour rappel, est une technique de rendu d'image produit par simulation du parcours inverse de la lumière : les éclairages sont calculés depuis le point de vue vers les objets, puis vers la lumière. Le raytracing permet de reproduire les phénomènes physiques de la réflexion et de la réfraction.

La technologie employée dans 3ds Max Design produit non seulement des résultats de simulation comme des images de rendus (Fig. 3.8) mais également des données numériques exportables sous forme de fichier CSV (Comma-Separated Values : fichier informatique de type tableur dont les valeurs sont séparées par des virgules.) et exploitable notamment sur Excel (Tab. 3.4).



Figure 3.8 : Résultats de simulation Produite par 3ds Max Design 2012 (Source : auteur)

Chapitre 3 : Etat de l'art de la simulation numérique de l'éclairage naturel

Tableau 3.4 : Model de fichier exploitable sur Excel (Source : auteur)

ID	Emplacement	Date	Eclairage (Lux)			Facteur Lumière du jour (%)
			Direct	Indirect	Total	
1	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	22,6	22,6	0,19
2	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	32,5	32,5	0,28
3	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	54,7	54,7	0,47
4	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	74	74	0,63
5	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	48,3	48,3	0,41
6	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	36,6	36,6	0,31
7	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	34,6	34,6	0,3
8	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	83,4	83,4	0,71
9	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	252	252	2,15
10	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	535	535	4,57
11	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	795	795	6,79
12	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	623	623	5,32
13	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	220	220	1,88
14	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	125	125	1,07
15	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	136	136	1,16
16	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	227	227	1,94
17	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	323	323	2,76
18	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	413	413	3,53
19	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	361	361	3,08
20	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	233	233	1,99
21	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	174	174	1,49
22	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	142	142	1,21
23	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	180	180	1,54
24	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	190	190	1,62
25	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	202	202	1,73
26	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	192	192	1,64
27	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	196	196	1,68
28	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	141	141	1,2
29	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	74,3	74,3	0,63
30	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	136	136	1,16
31	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	157	157	1,34
32	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	134	134	1,14
33	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	125	125	1,07
34	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	131	131	1,12
35	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	128	128	1,09
36	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	93,3	93,3	0,8
37	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	74,5	74,5	0,64
38	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	84,5	84,5	0,72
39	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	126	126	1,08
40	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	107	107	0,91
41	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	114	114	0,98
42	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	63,1	63,1	0,54
43	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	73,5	73,5	0,63
44	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	53	53	0,45
45	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	79,8	79,8	0,68
46	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	67,5	67,5	0,58
47	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	50,6	50,6	0,43
48	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	35,6	35,6	0,3
49	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	0	0	0

7.1.2 Logiciel de traitement des données MATLAB

Le logiciel Matlab est un logiciel de manipulation de données numériques et de programmation dont le champ d'application est essentiellement les sciences appliquées. Son objectif, par rapport aux autres langages, est de simplifier au maximum la transcription en langage informatique d'un problème mathématique, en utilisant une écriture la plus proche possible du langage naturel scientifique.

Le nom Matlab vient de Matrix Laboratory. En Matlab les objets sont tous par défaut des matrices. Une variable réelle est donc vue par Matlab comme une matrice. Le produit est donc par défaut un produit matriciel. Nous l'avons utilisé dans sa version 2010.

Vu le nombre important de données, ce logiciel va nous permettre, en utilisant des programme conçus pour les besoins de l'étude de regrouper les données, afin de pouvoir les traiter, un premier programme permet de calculer des pourcentages, un deuxième permet de visualiser les données en deux et trois dimension (Fig.3.9) pour apprécier la propagation de la lumière à l'intérieur de la pièce.

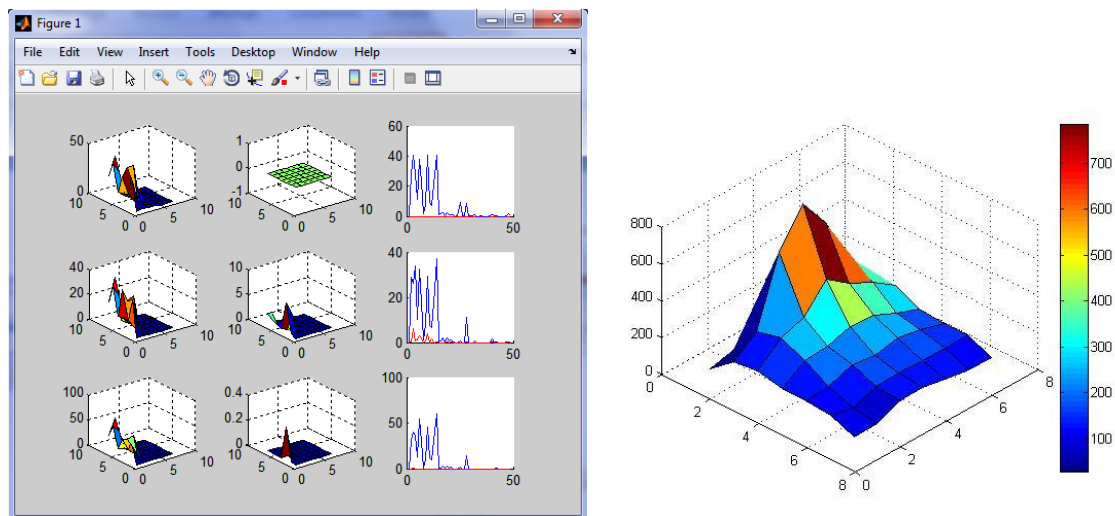


Figure 3.9 : Eclairage d'une chambre (lux) traité avec Matlab (Source : auteur)

7.2. Modélisation

La première étape consiste à modéliser notre bâtiment avant de paramétrer une simulation de la lumière naturelle. Celle de la cité, de l'immeuble et enfin celles des appartements de références (Fig.3.10, 3.11).



Figure 3.10 : Modélisation de la cité (source : auteur)

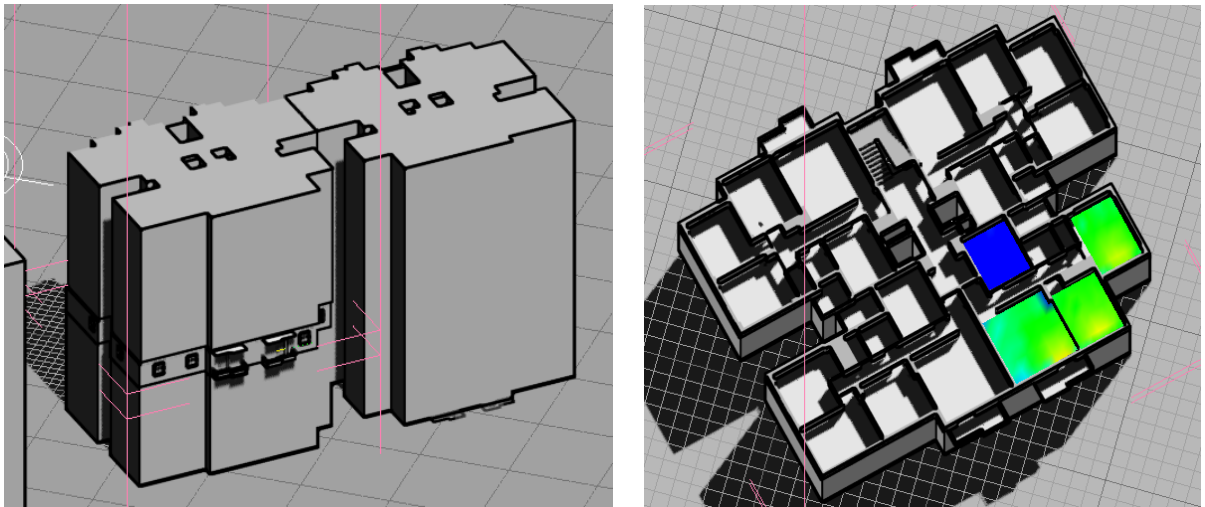


Figure 3.11 : Modélisation de l'immeuble et des appartements (Source : auteur)

Les matériaux sont définis dans l'éditeur de matériaux en respectant les valeurs de degré de réflexion. Il est possible d'utiliser des matériaux prédéfinis dans les bibliothèques de matériaux du logiciel 3ds Max Design (Fig.3.12), le choix des matériaux doit être réalisé avec soin de façon à se rapprocher au maximum des valeurs de réflexion réelle.

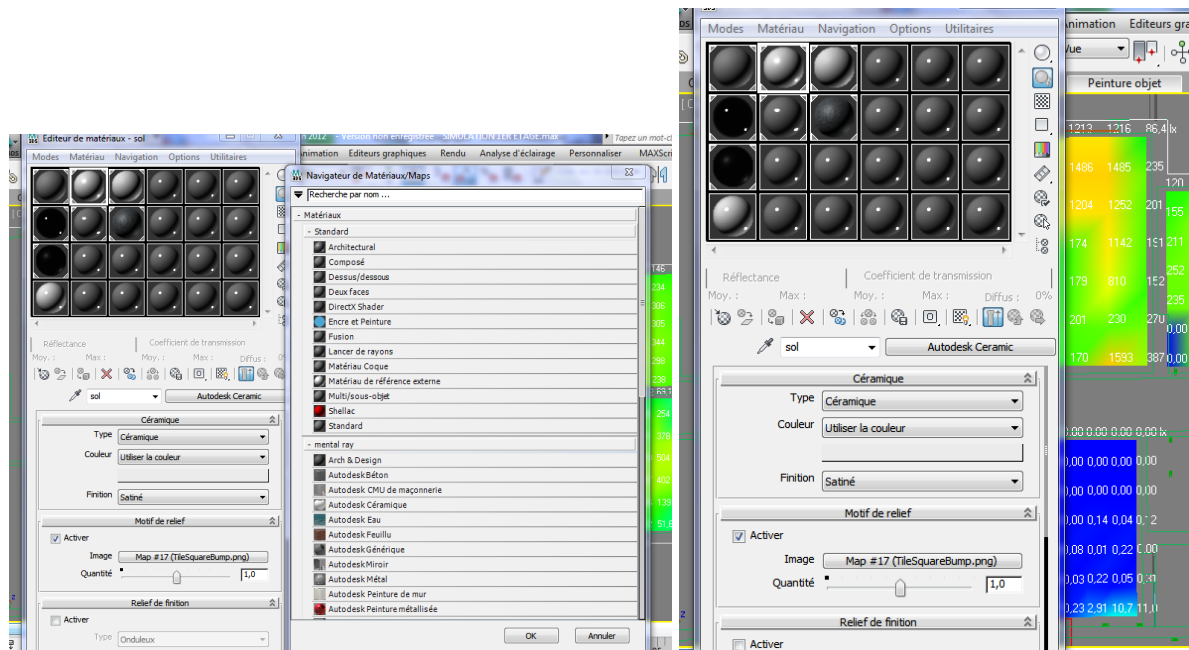


Figure 3.12 : Choix des matériaux (Source : auteur)

Une fois le bâtiment fidèlement modélisé, on doit le situer géographiquement, comme on peut le voir dans la (Fig.3.13), pour le cas d'étude Blida ne figure pas sur la liste proposée par le logiciel, nous avons choisi de travailler sur Alger, ville la plus proche.

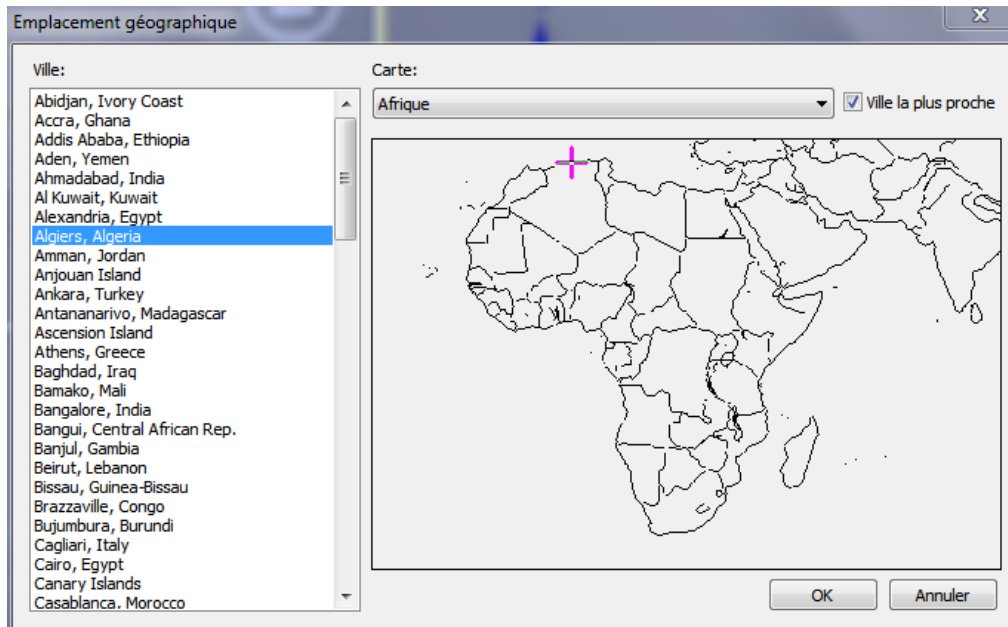


Figure 3.13 : Situation géographique (Source : auteur)

La situation géographique permet de régler la latitude et longitude, et par conséquent la position du soleil. Pour une date et une heure donnée (Fig 3.154), le choix du rendu peut se

faire avec : éclairage total, direct, indirect ou FLJ, sur le fichier CSV on retrouve toutes les données.

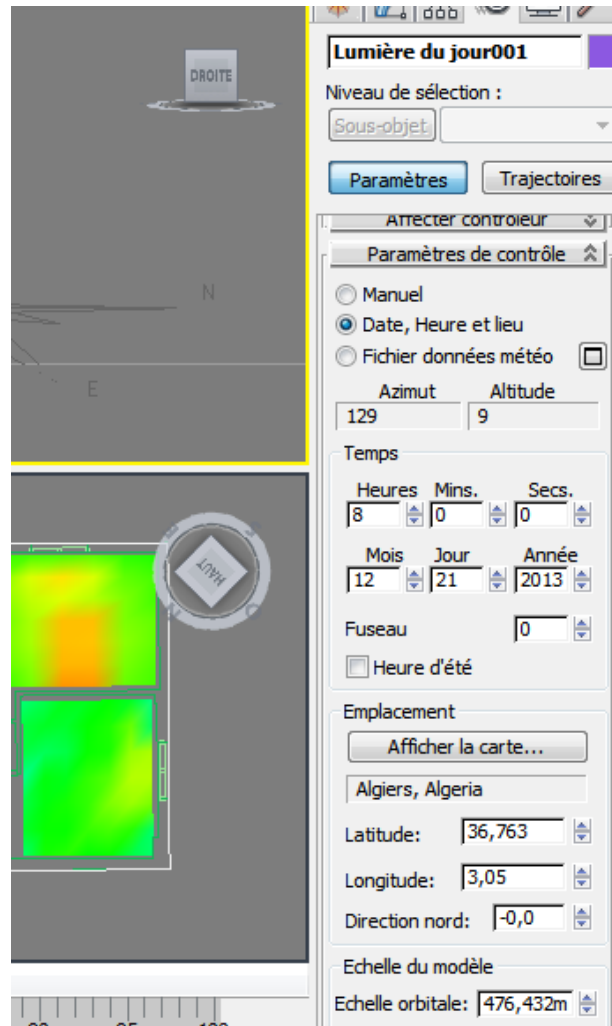


Figure 3.14 : Réglage date et heure (Source : auteur)

Le logiciel permet de disposer les photomètres dans les espaces à évaluer (Fig.3.15), et de régler le paramètre à mettre en évidence dans le rendu, il s'agit d'une grille de points à évaluer. Pour notre cas nous avons choisi un photomètre de 7 / 7 points, les espaces à évaluer étant de plus ou moins 3 mètres de côtés, cela nous permet d'avoir des points qui sont espacées en moyenne de 0,5 m le photo mètre est placé à 0.80cm du sol zone équivalente à un plan de travail.

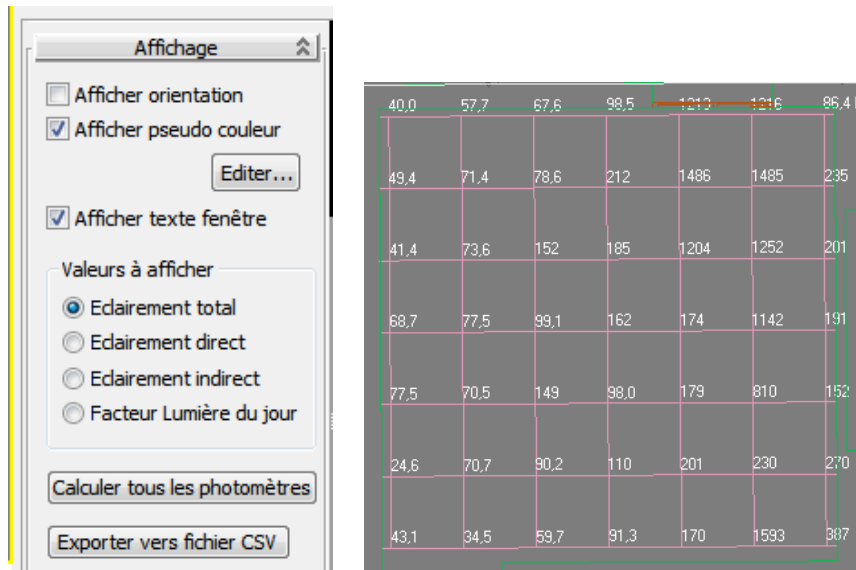


Figure 3.15 : Position du photomètre et choix du rendu (Source : auteur)

Conclusion

Suite à cet état de l'art, et à la présentation des outils choisis pour l'étude, nous revenons sur nos motivations dans ce choix, les logiciels de simulation utilisée par les spécialistes et les chercheurs en éclairage naturel, ne sont pas forcément à la portée des architectes, dans l'exercice quotidien de leur métier, et pourtant c'est à eu que revient la lourde tâche de concevoir un espace confortable et économe en énergie. Pour nos architectes algériens, le logiciel 3DS MAX est un outil familier, dont ils ne connaissent pas toutes les aptitudes, utilisé en premier lieu pour la modélisation 3D du bâtiment, et le plus souvent pour sa qualité de rendu appréciée par le client.

L'éclairage naturel n'est pas une préoccupation courante, dans un travail précédant (I. Nadji 2006) une enquête auprès d'architectes n'a décrit aucune méthode particulière qu'il utiliserait pour l'intégration de la lumière naturelle, le seul critère qui revient est celui de l'orientation, là encore l'éclairage naturelle est associé directement à l'ensoleillement, ce travail permettrait de mettre en avant les possibilités d'utilisation de cet outil.

CHAPITRE 4 : MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

Introduction

Une méthode d'enquête est « un ensemble organisé d'opérations en vue d'atteindre un objectif ». (M. ANGERS 1997)

Pour répondre à notre problématique nous avons d'abord eu recours à l'usage de deux différentes techniques d'investigation : les mesures et le questionnaire. Cette démarche est plus connue par « **l'évaluation post-occupation de l'éclairage naturel des lieux** » (Post Occupancy Evaluation). À cette démarche que nous détaillerons ici nous avons rajouté une troisième technique il s'agit de la simulation cette technique nous permet d'aborder un échantillon plus grand et de compléter les données recueillis par les deux premières techniques.

1. Evaluation par la méthode post occupation (E.P.O)

Selon BAKER et STEEMERS (N. BAKER et K. STEEMERS 2002), le terme « Post Occupancy Evaluation » est utilisé pour désigner les études qui emploient une large variété de méthodes pour collecter des informations sur l'usage d'un bâtiment par ses occupants et sur sa performance environnementale.

A. BELAKEHAL et al. (2003) Définit la POE comme étant « une méthode largement utilisée pour évaluer la qualité de l'éclairage naturel à l'intérieur de bâtiments. Elle consiste généralement en un questionnaire complété par plusieurs mesures physiques (luminance et niveaux d'éclairement) aussi bien que par des observations (arrangement du mobilier, fenêtre et caractéristiques spatiaux). »

Dans d'autres recherches (S. MAZOUZ, H. MEZRAG 2013), (P. Xue & Al 2016), (R. Hay & Al 2018), l'évaluation de l'occupation des lieux consiste en fait à évaluer systématiquement des bâtiments en usage. Une enquête par questionnaire permet de vérifier si les édifices répondent aux besoins de leurs usagers et d'identifier des façons d'améliorer leur design et leur fonctionnement.

1.1. Objectifs de l'évaluation post occupation

L'évaluation post occupation des lieux est un instrument inestimable pour évaluer le confort d'un bâtiment.

1.1.1. Rénover des édifices existants

L'évaluation post occupation des lieux est un outil important pour planifier la rénovation d'édifices existants. Elle permet de clarifier les points forts et les faiblesses tels qu'ils sont perçus par les usagers, de sorte à orienter les ressources vers les secteurs où elles sont vraiment nécessaires. Elle s'avère également utile au moment d'identifier comment des ajustements au design d'un bâtiment sont nécessaires pour appuyer des pratiques, des législations, des marchés ou des tendances sociales en changement.

1.1.2. Mettre au point de nouvelles constructions

En effet, comprendre comment des bâtiments peuvent faciliter ou au contraire gêner les activités qui s'y déroulent, permet d'en affiner le design et d'ajuster les pratiques de gestion.

1.1.3. Améliorer le design de futures constructions

Comprendre comment des édifices similaires opèrent une fois en usage, permet lors du design de nouvelles installations d'éviter les mêmes erreurs et d'en capitaliser les aspects positifs.

1.1.4. Réduire les coûts

L'évaluation post occupation des lieux identifie les façons de réduire les coûts et d'accroître l'efficacité de l'utilisation des bâtiments et des équipements. Des éléments dysfonctionnels ou peu utilisés peuvent ainsi être éliminés ou remplacés.

1.1.5. Améliorer les relations avec les usagers

L'évaluation post occupation des lieux permet d'impliquer les usagers d'un bâtiment en leur demandant comment, de leur point de vue, celui-ci fonctionne. Une telle participation favorise leur plus grande adhésion aux solutions et une plus grande acceptation des défauts et des faiblesses des bâtiments.

1.2. Types d'évaluation post occupation

Les études P.O.E peuvent être classées selon les différentes méthodologies utilisées que les auteurs ont répertoriées comme suit :

1. Les observations objectives de l'environnement physique.
2. Les observations objectives du comportement des occupants d'un édifice.

3. Les appréciations subjectives des occupants.

Les observations objectives sont faites par le chercheur en personne. Pour les observations objectives de l'environnement physique, les données sont obtenues par le contrôle des paramètres environnementaux, et ce en utilisant l'instrumentation technique.

Par contre, celles liées au comportement des occupants, elles peuvent être soit décrites grâce à l'observation visuelle directe, soit quantifiées à l'aide d'instrumentation technique.

En ce qui concerne les appréciations subjectives des usagers, les techniques utilisées pour collecter ce type d'informations sont soit le « questionnaire », ou bien « l'interview » qui peut compléter le questionnaire en permettant aux occupants de développer leurs réponses. Ces réponses peuvent alors être évaluées et indiquer par ailleurs les aspects positifs et/ou négatifs de la performance environnementale du bâtiment. Mais afin de réduire la subjectivité de ce type d'étude et d'obtenir des résultats statistiquement significatifs, le chercheur doit inclure un grand nombre d'occupants ou bien un groupe constant de personnes qui répondra aux questions posées durant les différentes saisons de l'année.

En analysant toutes ces données et en comparant les résultats des observations objectives de l'environnement aux réponses subjectives du questionnaire et de l'interview, le chercheur pourra identifier les problèmes et/ou les solutions à entreprendre dans cet édifice (ou dans les futures constructions) afin d'y améliorer les conditions de confort.

2. Méthodologie

Cette approche connue sous le nom d'évaluation post-occupation (POE) (N. Baker 2002) (M.B. Hirning & Al 2013). Est utilisée dans le cadre de cette recherche au niveau de base ; le niveau indicatif présente les principales forces et faiblesses d'un logement et fournit des données sur les besoins d'une évaluation plus approfondie. Ce processus simple à court terme implique des entrevues, des questionnaires et l'évaluation de documents (S. MAZOUZ, H. MEZRAG 2013).

Pour notre part, la méthode P.O.E ne représente que le point de départ de notre recherche, notre objectif n'étant pas la rénovation mais entre dans le cadre de l'objectif **(d.)** soit : **Améliorer le design de futures constructions**, en tentant de comprendre l'impact de certain choix de conception architecturale sur l'éclairage des locaux.

Dans le cadre résidentiel, avoir un échantillon important de prise de mesure n'est pas chose mince, d'autant plus que ces mesures doivent être prises dans toutes les pièces à des heures différentes de la journée et à des moments différents de l'année. Pour remédier à cela, nous

avons pensé à la simulation, elle permet une vision globale, indépendantes de la disponibilité des occupants, et permettant même de s'affranchir des aléas de la météo, ainsi nous avons accès aux appartements, nous pouvons les simuler sous ciel clair, ou sous ciel couvert, cependant les mesures prises sur un appartement témoin (disponible) restent nécessaires à la validation des résultats. La simulation est considérée aujourd'hui comme une technique inévitable qui a fait des progrès considérables au cours des dernières années, notamment dans la simulation de l'éclairage naturel (H. Wang, Z.J. Zhai 2016).

Autre avantage de la simulation, la possibilité d'apporter des modifications au modèle simulé, et évaluer l'amélioration apportée en termes d'éclairement des locaux.

Ainsi notre démarche représentée en figures (Fig 4.1 4.2 4.3) est divisé en quatre étapes :

- 1- Enquête (Questionnaire)
- 2- Mesure sur site
- 3- Simulation
- 4- Optimisation

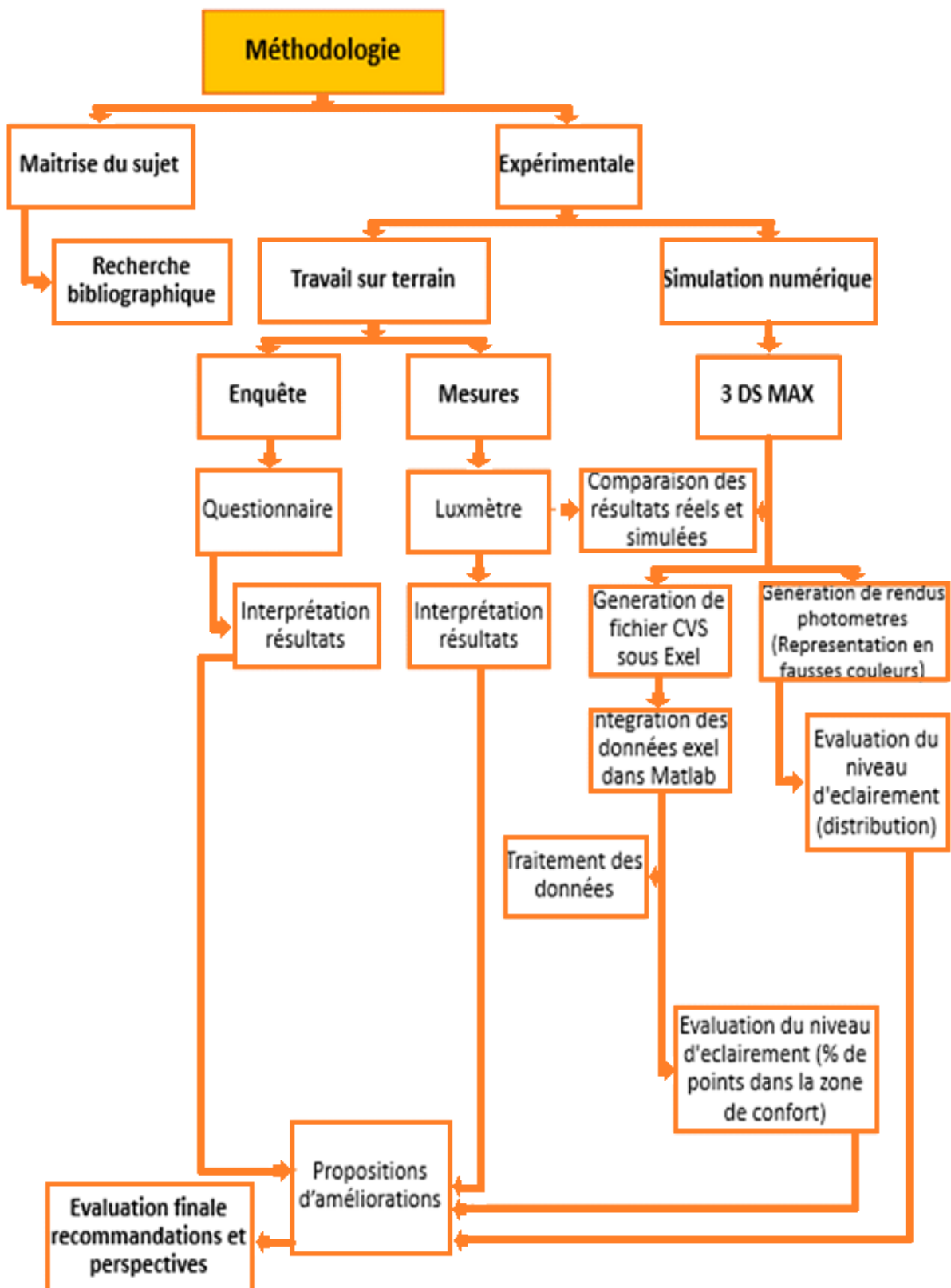


Figure 4.1 : Méthodologie générale (Source : auteur)

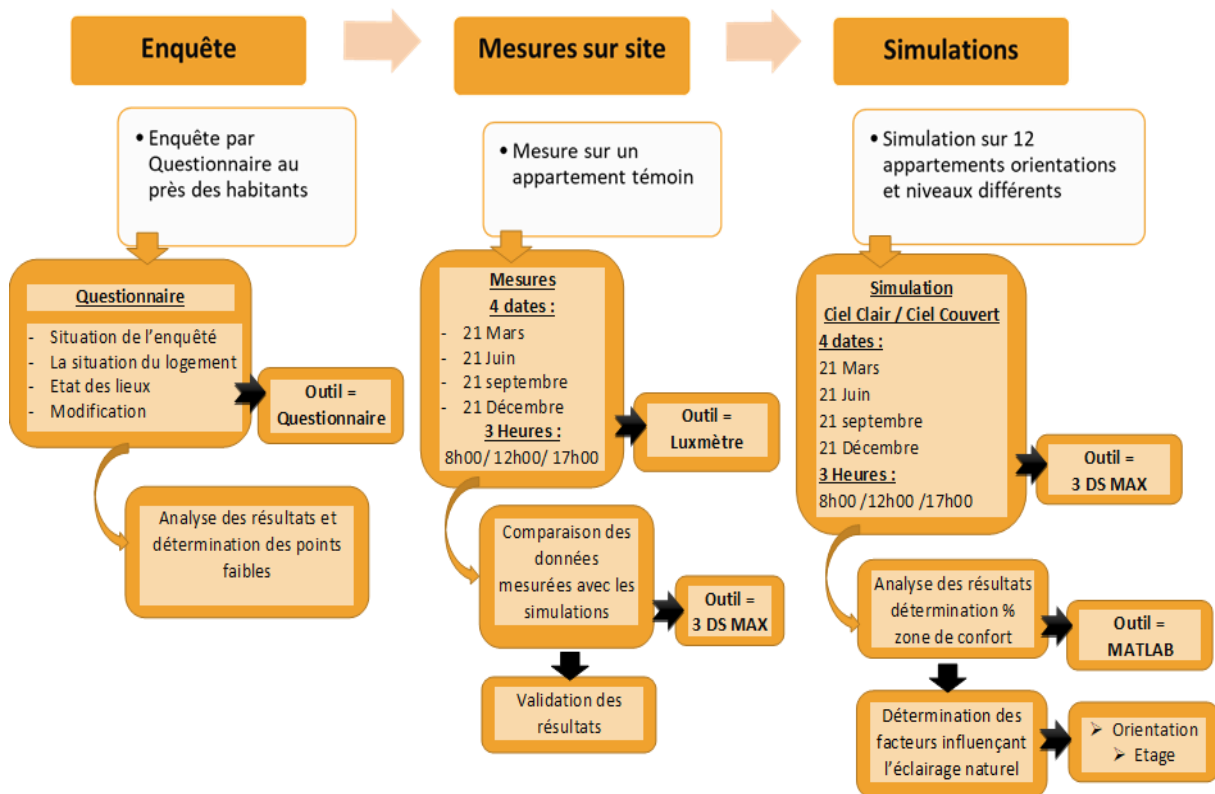


Figure 4.2 : Méthodologie d'évaluation du confort et des facteurs déterminant le niveau d'éclairage (Source : auteur)

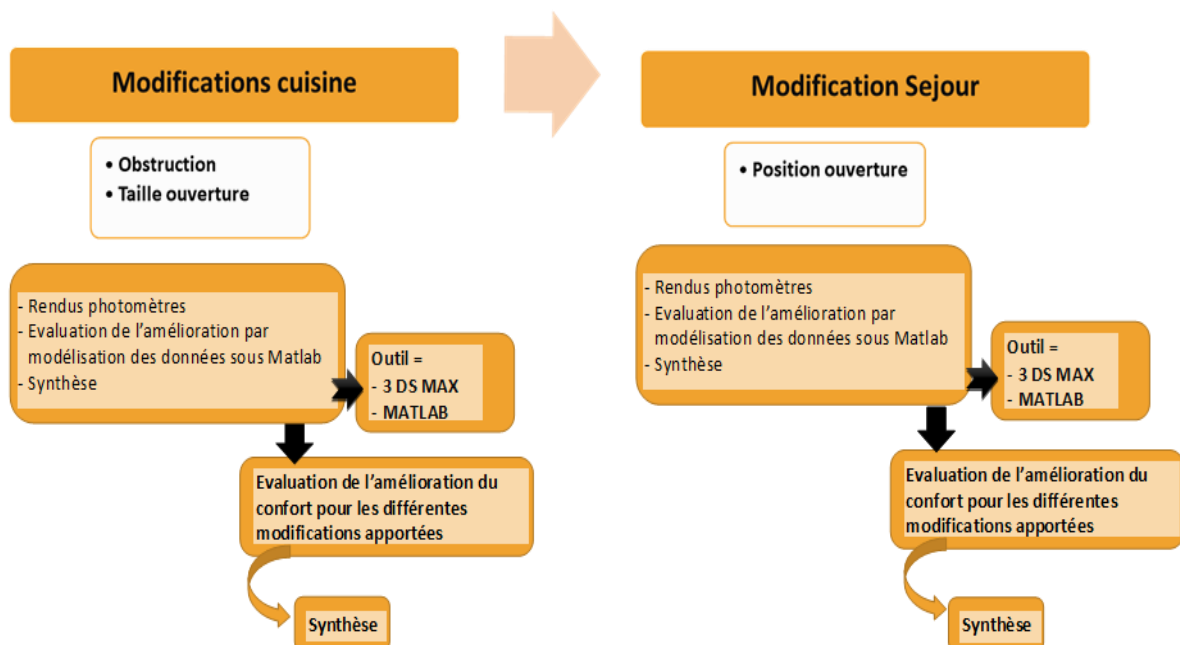


Figure 4.3 : Méthodologie d'optimisation de l'éclairage (Source : auteur)

3. Présentation du cas d'étude

Il s'agit de la cité AADL de Soumaa situé dans la Commune de Soumaa, Daïra de Boufarik, Wilaya de Blida, une cité de 865 logements livrée en février 2008 (Fig.4.5),

La Commune de Soumaa est située au centre de la Wilaya de Blida, à environ 8 km au nord-est de Blida et 32 km au sud-ouest d'Alger.

Coordonnée géographique Latitude : **36.5183**, Longitude : **2.90528** 36° 31' 6" Nord, 2° 54' 19" Est, Altitude 153m.

Elle bénéficie d'un Climat méditerranéen avec été chaud (Classification de Köppen : Csa)

(<https://fr.climate-data.org/afrique/algerie/blida-1128/>)



Figure 4.4 : (a) Situation de la commune de Soumaa Wilaya de Blida (Google Earth), (b) Vue de la cité AADL Soumaa, (c) Plan de masse (Source : auteur)

4. Enquête

Le point de départ de notre problématique a été un constat personnel (nous occupons un logement de la cité étudié), pour confirmer ce constat nous avons choisi de faire une pré-enquête auprès des occupants de la cité AADL de Soumaa, afin en premier lieu de confirmer nos hypothèses, et en second lieu de relever les lacunes en matière d'éclairage naturel, avant de pouvoir les observer en simulations.

4.1. L'univers de l'enquête

Selon R.Mucchuelli « L'univers de l'enquête est l'ensemble du groupe humain concerné par les objectifs de l'enquête » (R. Mucchielli 1993)

Selon J. Salvador : « A condition qu'il soit bien exploité, un très petit nombre de représentants suffit souvent, une dizaine d'entretiens peut permettre, dans certains cas, de tester des hypothèses ou d'étayer un raisonnement » (J. Salvador1999).

L'échantillon choisi pour notre enquête est aléatoire, il s'agit d'une trentaine d'entretiens effectué dans les différents blocs, à différents niveaux, sans choix de strates particulières, le but ici n'étant pas une généralisation de données, mais un premier constat sur l'éclairage naturel, vu et perçu par les premiers concernés, à savoir les occupants.

4.2. Présentation des outils d'investigation

Le processus interactif de perception constituant le thème central de l'analyse, nous devons y inclure : les caractéristiques sensibles du milieu (position, orientation,) en même temps que l'appréciation de celui qui le perçoit.

4.2.1. L'observation

L'observation directe à l'aide d'une grille d'observation permet la reconstitution de l'espace et l'opérationnalisation des variables en termes d'indicateurs.

Elle comprend un relevé architectural (Plan) (Fig.4.6) permettant la reconstitution de l'espace observé, et l'identification des différents espaces en leur attribuant des codes chiffrés. (Séjour, cuisine, chambre 1, chambre 2, chambre 3). Le numéro de Bloc, le niveau (Etage) et l'orientation (position) de l'appartement sont aussi précisés.



Figure 4.5 : Plan d'étage avec configuration des logements (Source : auteur)

4.2.2. L'entretien

Pour Blanchet : « l'entretien de recherche vise à travers la construction du discours la connaissance objectivante d'un problème, fut-il subjectif... » (A.Blanchet , A.Gotman 1992)

Ce type d'entretien est utilisé dans des recherches relatives à des phénomènes d'opinions ou d'attitudes, il comporte des questions relatives à l'appréciation de l'éclairage naturel, et d'autres relatives à l'espace lui-même.

Les questions de deux types : question fermée, et question semi ouverte, en proposant des choix de réponses, et dans certain cas en proposant la modalité de réponse « Autre préciser ».

Nous avons choisi, le questionnaire-entrevue, grâce auquel nous avons pu situer les espaces décrit par l'interviewé. Le questionnaire va nous permettre de retrouver les différents espaces lors de l'analyse à l'aide de la grille d'observation. (Voir questionnaire en annexe)

4.3. Questionnaire

Le questionnaire (Voir annexe 1) est divisé en quatre parties,

4.3.1. Situation de l'enquêté

Il s'agit de préciser l'âge, le sexe, la situation professionnelle et le nombre d'heures par journée passé par l'enquêté dans le logement. Ces paramètres permettent de resituer les réponses de l'enquêté dans leur contexte, en extrapolant sur les besoins qui leurs sont propre.

4.3.2. La situation du logement

Situer le Bloc, l'étage, la position de l'appartement, le nombre de pièce (F3 ou F4), ces informations permettent de situer l'appartement en termes de niveau et d'orientation.

4.3.3. Etat des lieux

Questions relatives à la perception de l'éclairage naturel, et d'autres relatives à l'utilisation de l'espace lui-même permettant de vérifier les premières.

4.3.4. Modification

Questions relatives aux modifications faites par les occupants, et celle qu'ils jugent pouvant améliorer les conditions d'éclairage naturel.

4.4. Résultat de l'enquête

Question 4 : Comment trouvez-vous l'éclairage naturel dans votre logement ?

Tableau 4.1 : Réponses à la question n° 4 (Source : auteur)

	rdc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Mauvais		X	X								2
Passable		X									1
Moyen	XX	XXXX	XXX	X		XX			XXX	X	16
Bon	XX	X	X	XX	X		X				8
Excellent				XX	X						3
Total	4	7	5	5	2	2	1	0	3	1	30

Nous avons une grande majorité pour l'éclairage Moyen (Tab.4.1), 16 enquêtés sur 30, quand aux extrêmes nous avons deux mauvais, et trois excellent, nous pouvons analyser ces cas en les situant dans leurs contextes :

Pour les deux réponses « Mauvais », il s'agit de l'appartement 2, soumis à un masque relevant de la forme même du bâtiment comme on peut le voir sur la (Fig 4.7), et orienté Nord-ouest/Nord-est, et situé au 1^{er} étage.

Quant aux réponses « Excellent », il s'agit de l'appartement 4 non soumis au masque, et orienté Nord-est/Sud-est, aux 3^{ème} et 4^{ème} Etage.



Figure 4.6 : Position de l'appartement 2 et 4 (Source : auteur)

Question 5 : quelle sont les pièces les mieux éclairées ?

Tableau 4.2 : Réponses à la question n° 5 (Source : auteur)

	rdc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Sej	XX	XXXXX	XXXXX	XXXX	XXX	XX	X		XX	X	25
Cui				X	X				X		1
Ch 1	X	XXXXXX	XXX	XX	XXX	X			XX	X	19
Ch 2	X	XXXXXX	XX	X	XXX	X	X		XX		17
Ch 3		XXX	X	XX	X	X					8

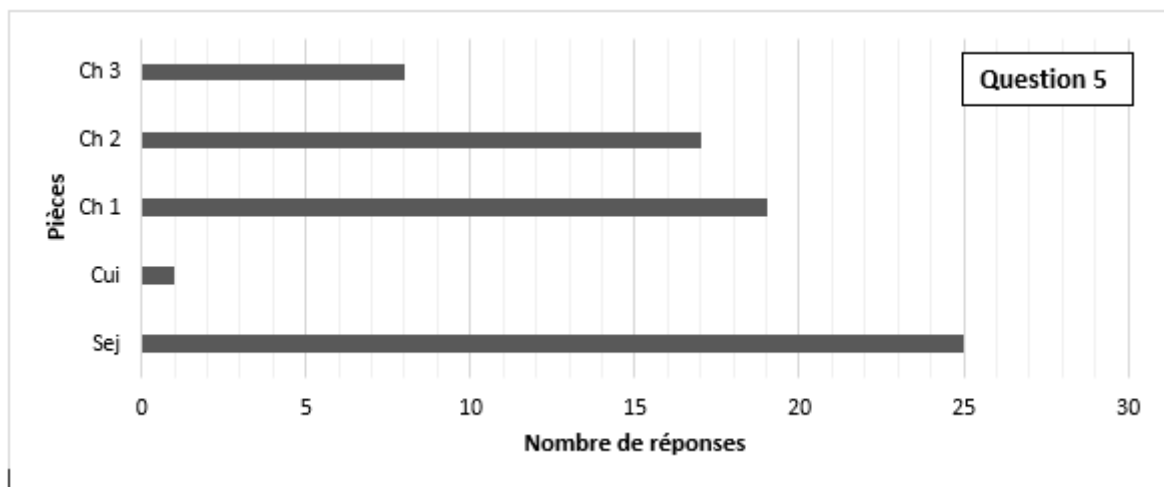


Figure 4.7 : Les pièces les mieux éclairées selon les enquêtés (source : auteur)

Nous noterons ici que la pièce considérée comme la plus éclairée est le séjour (Tab.4.2, Fig.4.7), suivi des chambres 1 et 2, la cuisine et la chambre 3 sont loin derrière, même que pour la cuisine nous avons deux cas auxquels nous nous sommes intéressés.

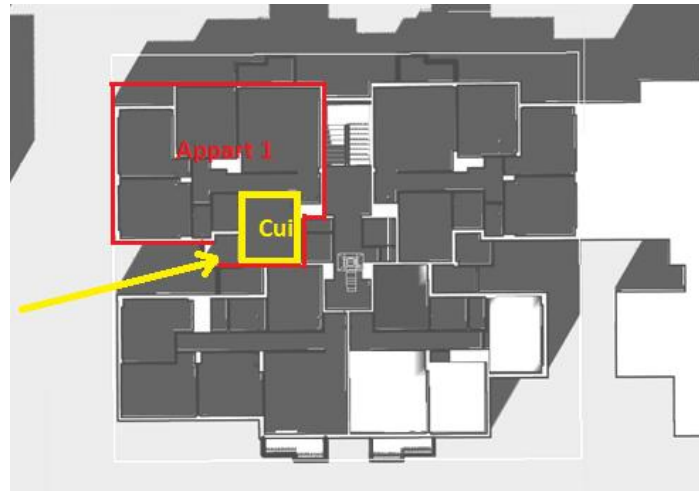


Figure 4.8 : Cuisine Appartement 1 (Source : auteur)

Comme on peut le voir sur la (Fig.4.8) on peut comprendre que cette cuisine contrairement à la grande majorité soit perçue comme étant une des pièces les plus éclairées, car en ne présentant pas de masque venant de l'environnement, le masque dû à la forme du bâtiment doit permettre la pénétration des rayons lumineux une partie de l'année.

Question 6 : quelle sont les pièces les moins éclairées ?

Tableau 4.3 : Réponses question 6

	Rdc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Sej			X								1
Cui	XXX	XXXXXXXX	XXXXXX	XXXX	XX	X	X		XX	X	28
Ch 1	X	X		X		X					4
Ch 2	X	X		XXX							5
Ch 3	XX	XXX	XXX	X					X		10

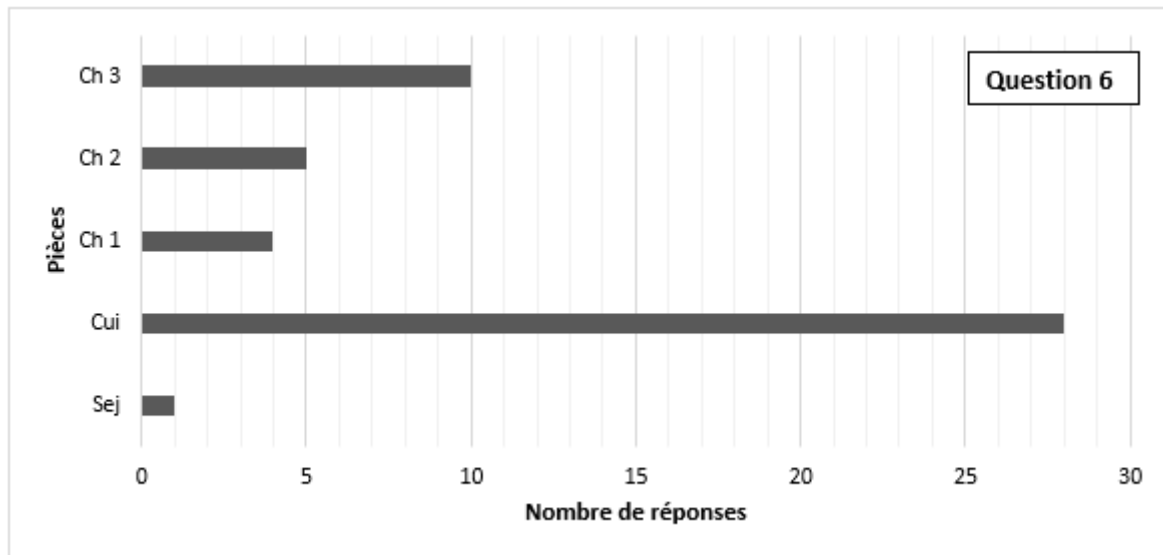


Figure 4.9 : Les Pieces les moins éclairées selon les enquêtés (Source : auteur)

La pièce la moins éclairée, selon les enquêtés, est la cuisine avec 28 réponses sur 30 (Tab.4.3, Fig.4.9), nous pouvons le comprendre vu son emplacement, la cuisine prends le jour à travers une loggia donnant elle-même sur une cour ouverte. (Fig.4.10), et cela sans compter les écrans (Rideau) placées par les occupants pour se protéger du vis-à-vis trop important.

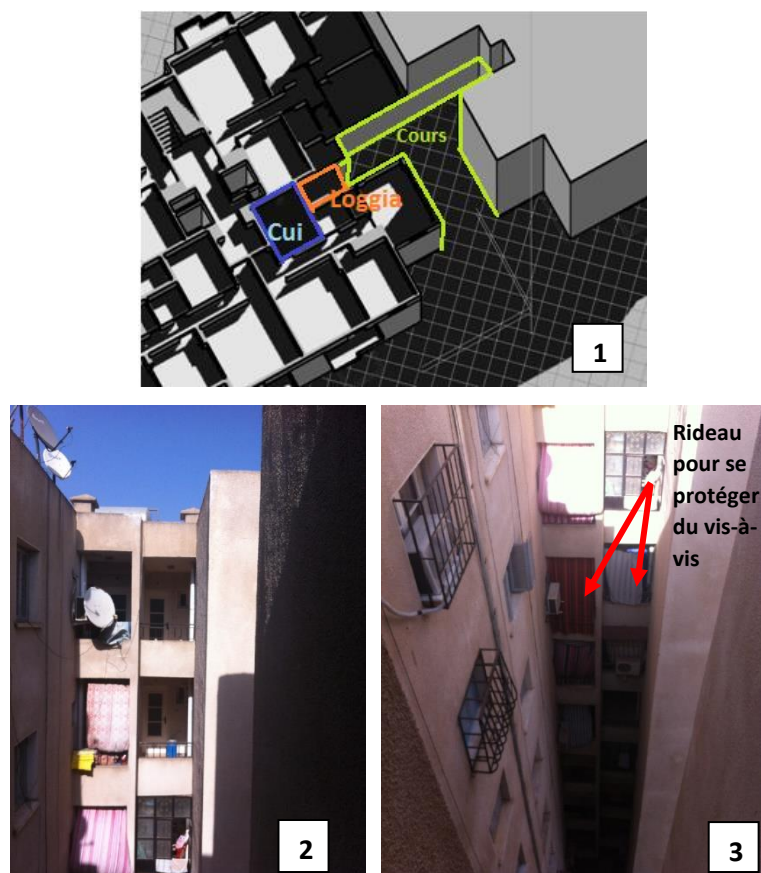


Figure 4.10 : 1 Plan, 2 et 3 Vues sur la cuisine, loggia et cours (Source : auteur)

Question 7 : estimez-vous que la lumière naturelle dans la maison soit une chose ? :

Tableau 4.4 : Réponses à la question n° 7

	rdc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Indispensable	X	X	XX	X		X	X			X	8
Souhaitable	XXX	XXXXXXX	XXX	XXXX	XX	X			XXX		22
Insignifiante			X								0
Pas souhaitable											0

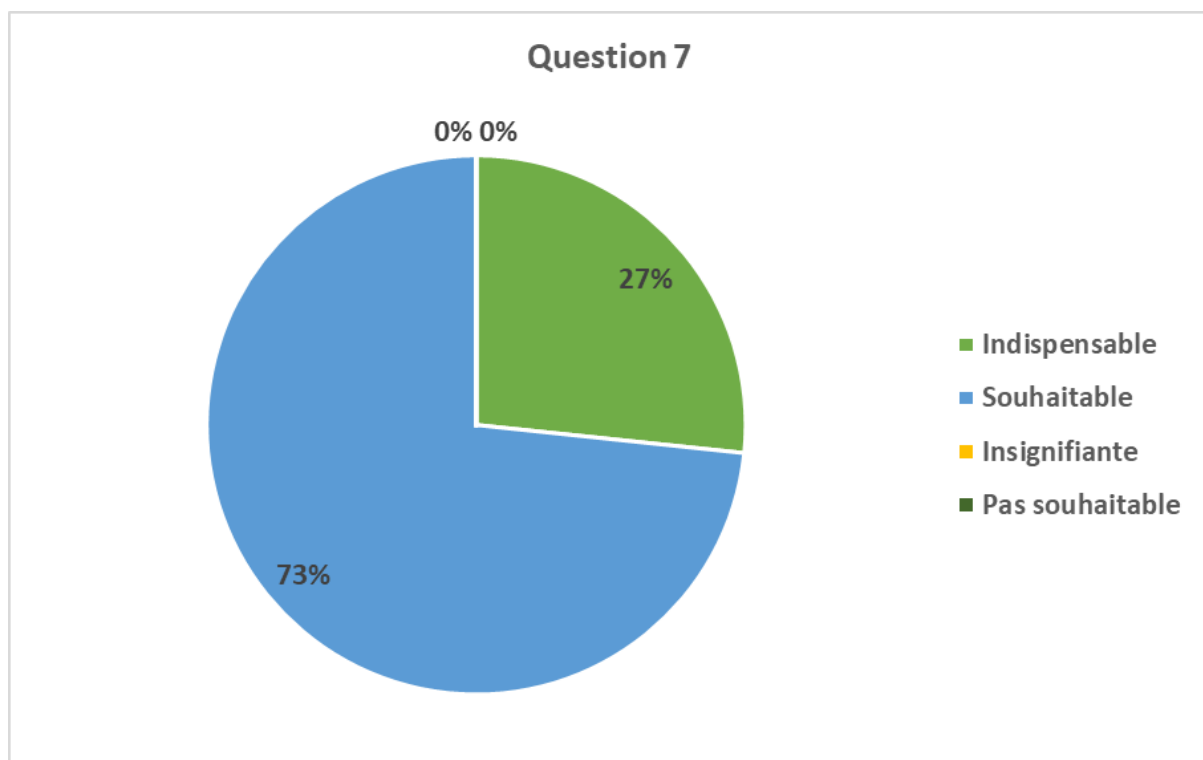


Figure 4.11 : Appréciation de la lumière naturelle par les habitants (Source : auteur)

Cette question nous permet de juger de l'importance de l'éclairage naturel pour les enquêtés (Tab.4.5), 73% l'estime souhaitable (Fig.4.11), le reste soit 27% l'estime indispensable, aucun des enquêtés ne trouve sa présence insignifiante ou non souhaitable.

Question 8 : Dans quelle pièce allumez-vous systématiquement l'éclairage artificiel :

Tableau 4.5 : Réponses à la question n° 8

	Rdc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Sej		X									1
Cui	XXX	XXXXXXXX	XXXXXX	XXX	XX	XX	XX		XX	X	28
Ch 1											0
Ch 2				X							1
Ch 3			X			X					2
Wc	XXXX	XXX		X			X		XX		11
SDB	XXXX	XXX	X	XXX			X		XX		14
Aucune		X									1

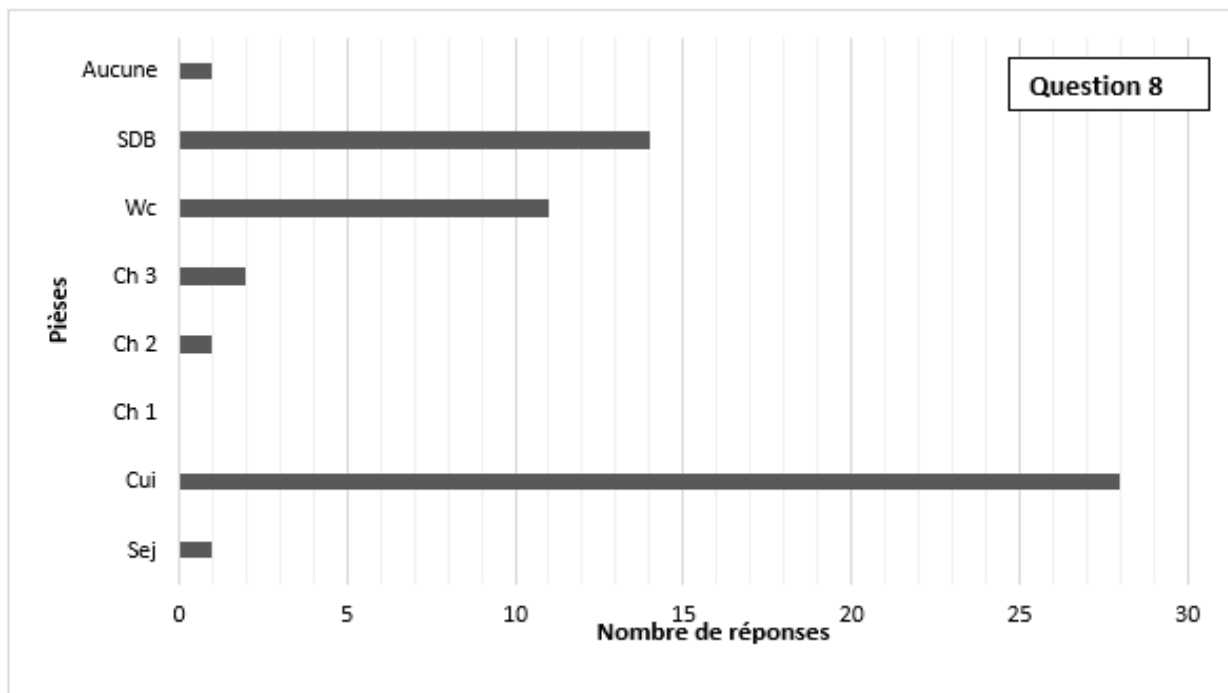


Figure 4.12 : Pièces où l'éclairage naturel est utilisé systématiquement (Source : auteur)

28 enquêtés sur 32 (Tab.4.6) soit (87,5%) déclarent allumer systématiquement l'éclairage artificiel en entrant dans la cuisine (Fig 4.12), suit la salle de bain puis les WC, trois espaces prenant le jour de la loggia qui elle-même donne sur la cour.

Question 9 : dans quelle pièce trouvez-vous que l'éclairage naturel est vraiment insuffisant ?

Tableau 4.6 : Réponses à la question n° 9

	Rdc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Sej	X	X									2
Cui	XX	XXXXXX	XXXXXX	XXX	XX	XX	XX		X	X	25
Ch 1		X									1
Ch 2		X		X							2
Ch 3	XX		XX						X		5
Wc	XX	X	XXX	X			XX				9
SDB	XX	X	XXX	X		X	XX			X	11
aucune											0

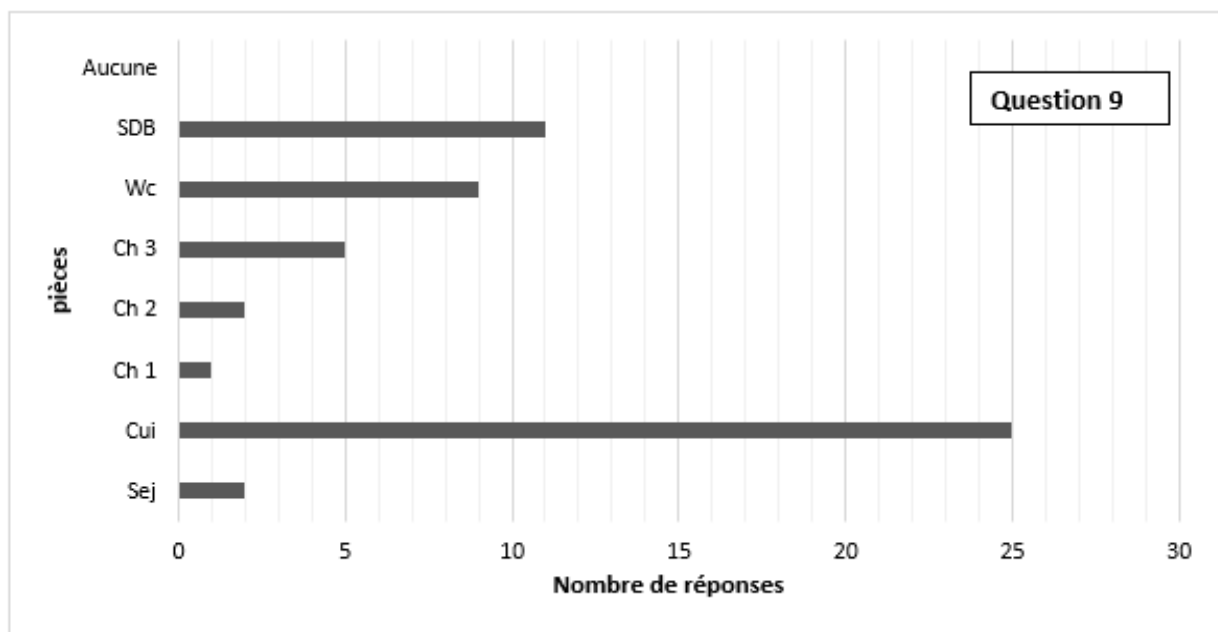


Figure 4.13 : Pièces où l'éclairage naturel est insuffisant selon les enquêtés (Source : auteur)

Comme pour la question précédente la cuisine est la pièce où l'éclairage est insuffisant (Fig.4.13), ce que l'on remarque aussi sur ce tableau (Tab.4.7) c'est plus le niveau est bas plus l'éclairage est perçu comme insuffisant.

Question 10 : Si vous deviez apporter des modifications à votre appartement pour améliorer l'éclairage, quel serai ces modifications :

Tableau 4.7 : Réponses à la question n° 10 (Source : auteur)

	Rdc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Position fenêtres	X	XX	X	X					X	X	7
Dimension fenêtres	X	XX		X						X	5
Position loggia		XXX	X	XX	X				X	X	9
Position balcon									X		1
Pas de réponse		XXXXXX	XXXX	XX		XX	XX		X		17
Autre											0

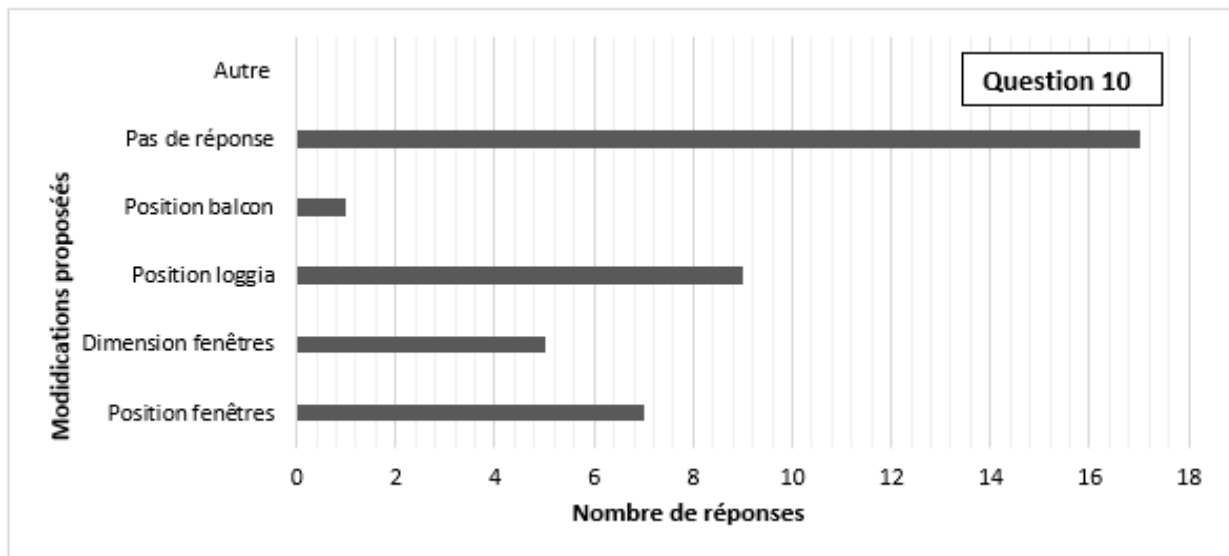


Figure 4.14 : Modifications proposées par les enquêtés (Source : auteur)

En réponse à la question 10, et bien que plus de la moitié des enquêtés n'ait pas répondu (Fig.4.15, Tab.4.7), il en ressort que la position de la loggia est la première modification proposée cela est liée au manque d'éclairement de la cuisine qui est en grande partie liée à la position en longueur de la loggia qui bloque l'éclairage direct. Viens en deuxième position la position des fenêtres suivis par leurs dimensions.

Question 11 : A votre avis l'éclairage naturel sert à ?

Tableau 4.8 : Réponse à la question n° 11 (Source : auteur)

Paramètres	Réponses
Améliorer le confort en général	13
Améliorer le confort visuel	19
Faciliter l'accomplissement des tâches ménagères	7
Mieux faire ses devoirs	4
Faire des économies d'électricité	13
Rendre les pièces plus agréables	6
Donner l'impression de plus d'espace	4

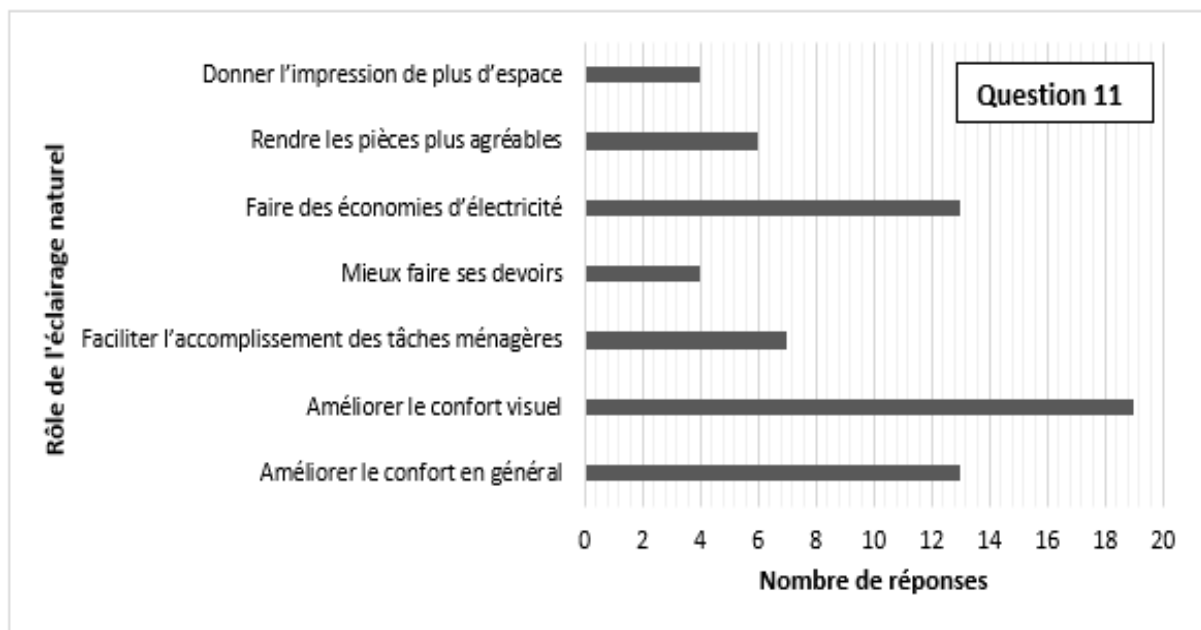


Figure 4.15 : Rôle de l'éclairage naturel selon les enquêtées (Source : auteur)

Pour cette dernière question le confort visuel ressort comme fonction principale de l'éclairage naturel suivis de près et à égalité par le confort générale et l'économie d'électricité (Fig.4.16).

4.5. Synthèse de l'enquête

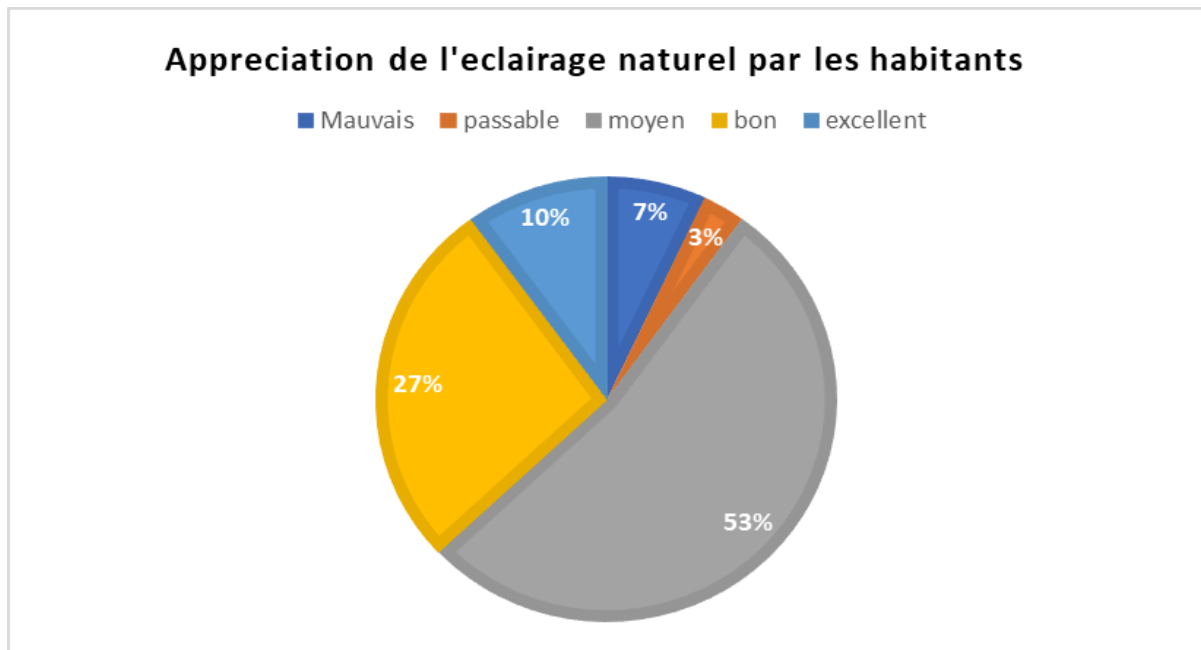


Figure 4.16 : Appréciation de l'éclairage naturel par les habitants (Résultats enquête) (Source : auteur)

Cette enquête nous a permis de confirmer notre constat personnel de départ, à savoir que l'éclairage naturel dans ces logements n'est pas satisfaisant, dans la majorité les habitants le considèrent comme moyen (Fig.4.16), par contre la cuisine pose un réel problème d'éclairage, 28 des 30 enquêtés déclarent allumer systématiquement l'éclairage artificiel (Fig.4.13). Ce qui dans une société comme la nôtre ou la cuisine est un lieu de vie (d'autant plus pour des F3 et F4), est inadmissible.

Nous avons aussi constaté que pour les habitants l'éclairage naturel est associé au confort et à l'économie d'énergie.

A partir de ce constat nous vous présentons une méthodologie qui nous permettra de mieux cerner les facteurs déterminant dans l'apport d'éclairage naturel. Et ainsi présenter quelques modifications qui prisent en compte dans une phase préliminaire de la conception architecturale aurai pu améliorer les conditions d'éclairement de ces mêmes appartements et par conséquent améliorer le confort et diminuer la consommation énergétique.

5. Mesures sur site :

Avant d'entamer les simulations par 3DS Max Design, nous avons effectué des mesures sur site grâce à un luxmètre afin de valider les futurs résultats, le matériel utilisé est un luxmètre

numérique de marque velleman version DVM1300, avec une sensibilité de 0,1 lux~50000 lux



Figure 4.17 : Luxmètre numérique utilisé pour les mesures Velleman version DVM1300

Ces mesures on était prises au centre de la pièce sur 9 points, espacés de 0,5 m correspondant au module du photomètre utilisé pour la simulation (Fig.4.18). Il s'agit de l'appartement 3 du 9^e Etage Bâtiment 11 (ce choix a été fait pour des raisons de commodités).

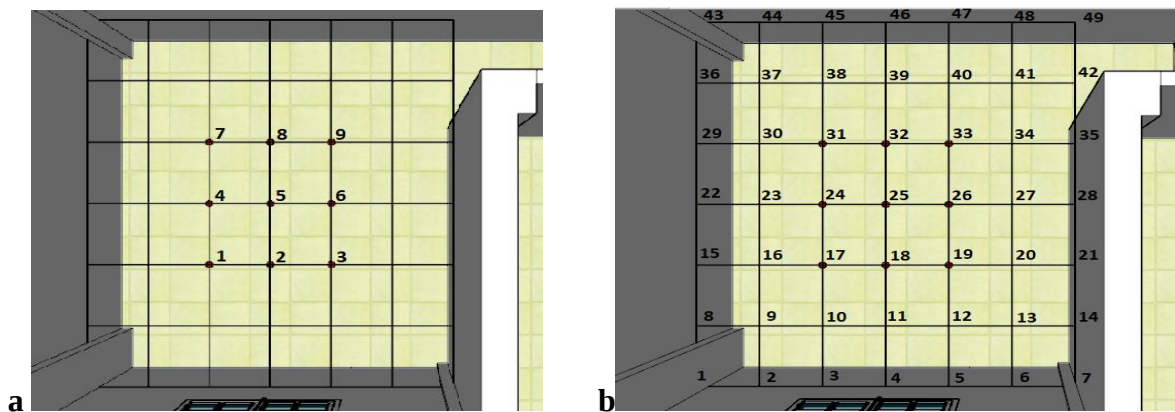


Figure 4.18 : Position des points de mesure(a) et photomètre dans la pièce(b) (Source : auteur)

Nous avons pris des mesures pour quatre dates dans l'année, les mêmes utilisés pour la simulation, puis nous les avons comparés aux résultats simulés. En voici (Fig.4.19 à 4.21) un exemple pour le mois de septembre (22) sous un ciel clair,

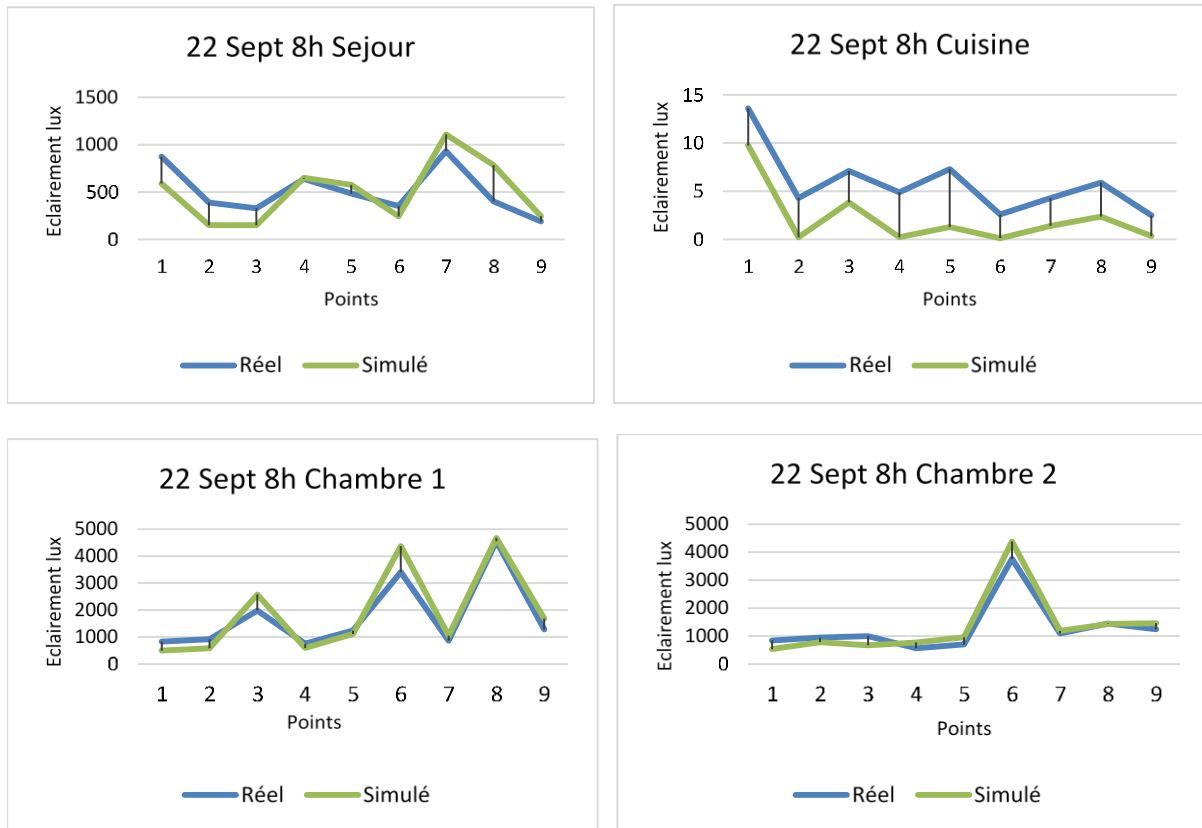


Figure 4.19 : Comparaison de mesures d'éclairement entre relevées sur site et simulation 22 Sept 8h (Source : auteur)

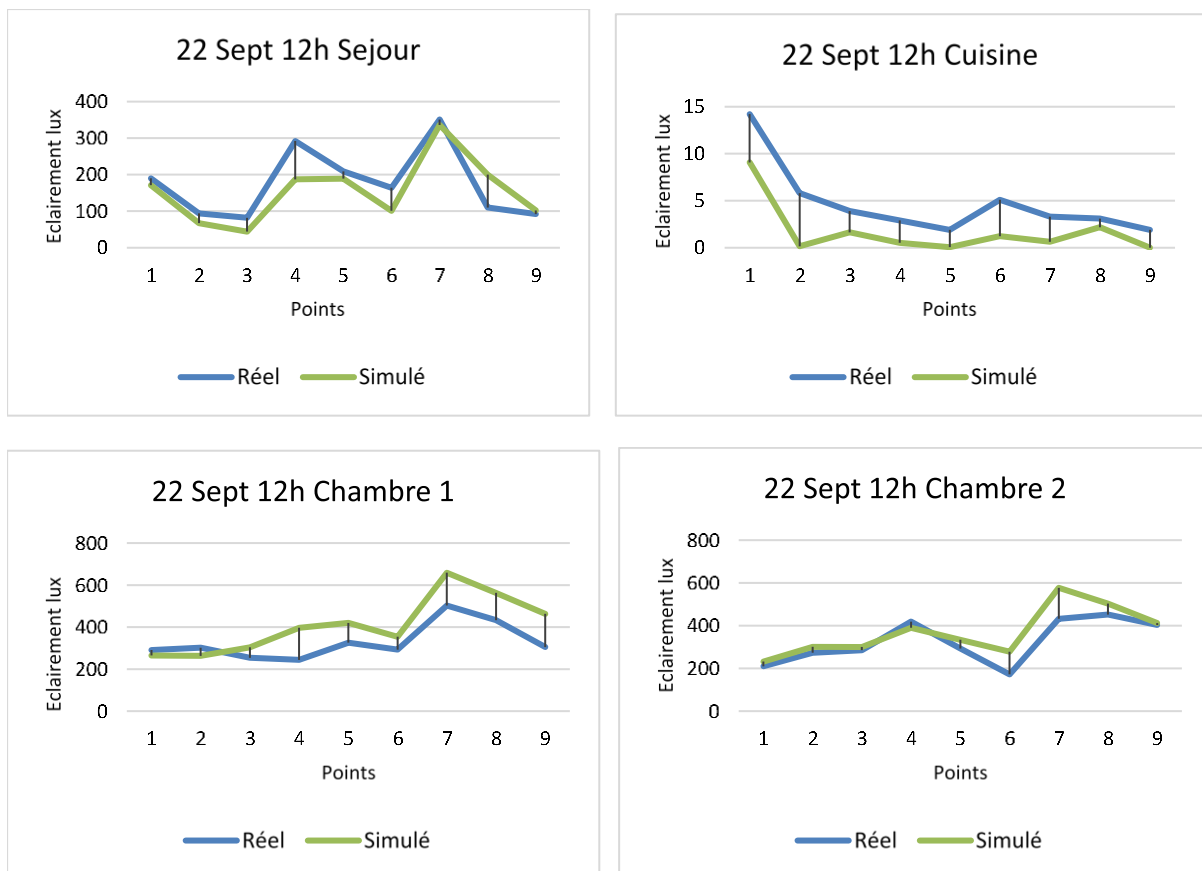


Figure 4.20 : Comparaison de mesures d'éclairement entre relevée sur site et simulation 22 Sept 12h (Source : auteur)

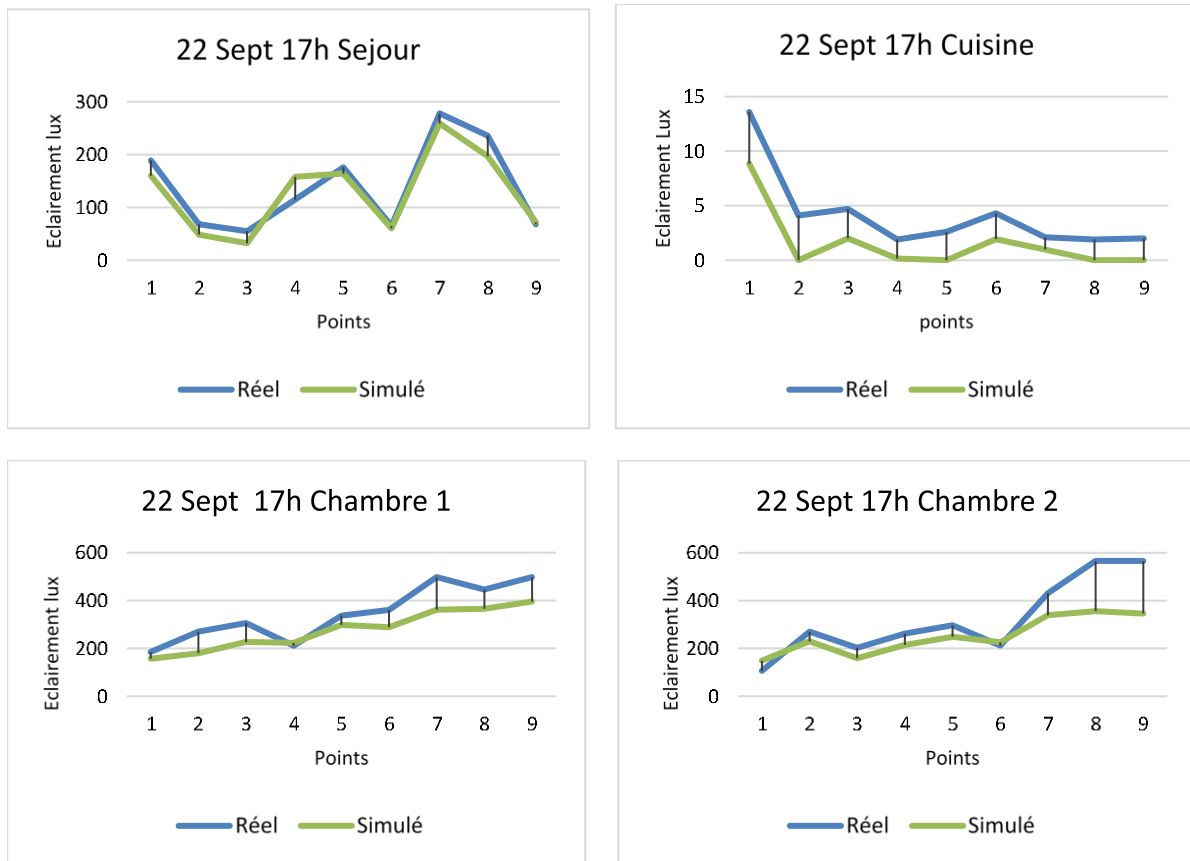


Figure 4.21 : Comparaison de mesures d'éclairage entre relevées sur site et simulation 22 Sept 17h (Source : auteur)

Pour valider le modèle, les résultats de la simulation obtenus sont comparés aux données mesurées. L'Erreur moyenne absolue (EMA ou MAE en anglais) a été quantifiée par la formule suivante :

$$MAE(\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{X_{sim,i} - X_{exp,i}}{X_{exp,i}} \right|$$

Équation 4.1 : Erreur moyenne absolue

Le MAE est calculé sur la base des données expérimentales disponibles. Il réalise des valeurs logiques et acceptables. Pour la chambre 2, Le pourcentage d'erreur moyenne absolu atteint 22,62% à 8 heures et 13,88% à 12 heures. À 17 heures, le MAE atteint 16,21% et 16,83% pour le salon et la chambre respectivement.

Donc, on peut dire qu'il y a une concordance et un accord entre les résultats mesurés et simulés peuvent être considérés comme satisfaisants aux fins de la présente étude. Dans l'ensemble, les courbes réelles et simulées ont le même profil ; il existe une petite marge de différence qui peut être justifiée entre autres choses par :

- La résolution de l'appareil de mesure (sensibilité 0,01 lux)

- Le mode de prise de mesure (manuel)
- La marge d'erreur Δ du logiciel (le logiciel utilisant la méthode de raytracing, il est nécessaire de paramétrer le nombre de rebonds différents, à chacun des points du maillage du photomètre, Les valeurs optimales oscillent entre 4 et 7. Un nombre de rebonds inférieurs à 4 ne garantit pas une bonne estimation de la propagation de l'éclairage indirect. Exiger plus de 7 rebonds peut s'avérer généralement coûteux. Le choix courant pour une géométrie simple étant de 5)(Fig.4.22).

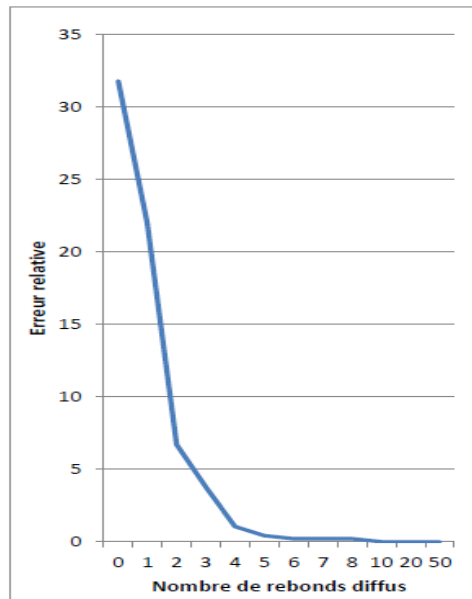


Figure 4.22 : Erreur relative au Nombre de rebonds diffus 3DS Max design (Source : Haubruge, Bodart, 2012)

- L'environnement propre au local (paramétrage des matériaux sur le logiciel : tout en essayant d'être fidèle aux matériaux réels, il est difficile de garantir une correspondance à 100%)
- Simulations effectuées sur un appartement vide tandis que l'appartement de mesure est meublé.

En prenant en considération tous ces paramètres nous estimons que les résultats obtenus sont très satisfaisants, pour les besoins de notre recherche. Ainsi nous validons les résultats et nous pouvons passer à la simulation.

6. Simulation

6.1. Espaces concernés par l'étude

Nous avons choisi pour l'étude un bâtiment R+9 il s'agit du bloc n°11, Avec quatre appartements par palier, trois F4 et un F3, chacun ayant une orientation différente, comme on

peut le voir sur (Fig.4.23-1), les simulations concernent trois niveaux le premier et dernier étage, et un niveau intermédiaire le cinquième. (Fig.4.23-2)

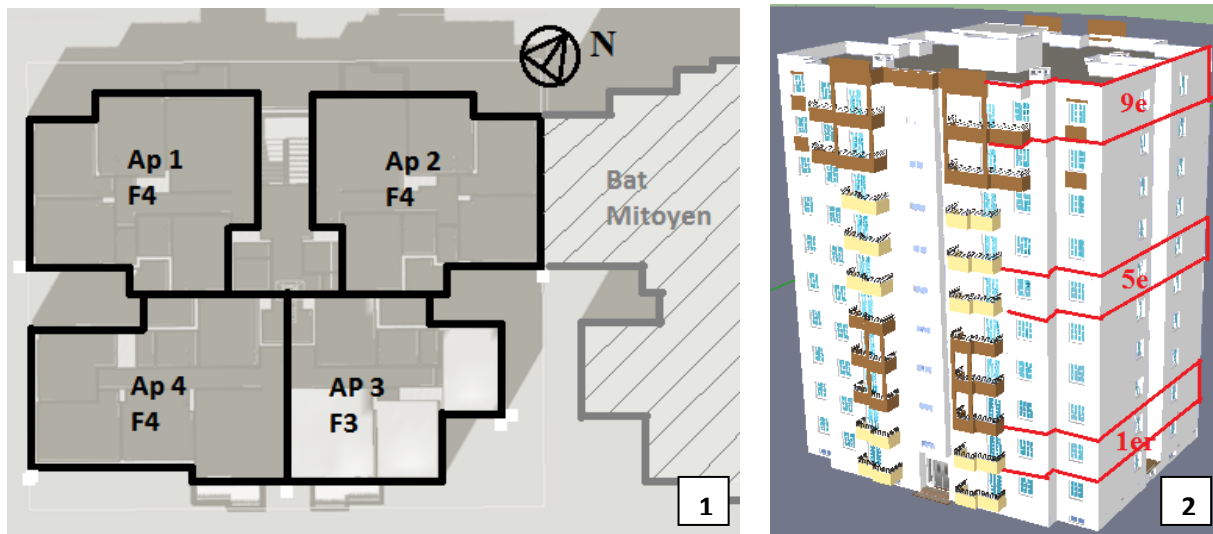


Figure 4.23 : 1,2 Présentation du bâtiment de référence (Source : auteur)

Chaque appartement subira 12 simulations, quatre par saisons, aux dates des équinoxes (20 Mars, 21 Juin, 22 Septembre, 21 Décembre), et trois par jour à savoir 8h, 12h, 17h. Nous espérons ainsi avoir une représentation de l'éclairage naturel sur toute l'année.

6.2. critères de choix du type de ciel

Les différentes recherches portant sur des simulations que nous avons rencontré lors de la préparation de cette étude sont faites sous ciel couvert, pour que notre travail soit plus représentatif des données réelles du site nous ne pouvions ignorer les situations de ciel clair, pour le cas de notre site, Blida, nous nous référons aux travaux de (N. ZEMMOURI 2005), dans sa thèse de Doctorat a proposé un zoning lumineux propre à l'Algérie (Fig.4.24) basé sur le calcul par simulation informatique, à l'aide du logiciel «Matlight », des éclairagements lumineux horizontaux ainsi que sur la base de données de la NASA sur la nébulosité. Ce découpage comporte quatre (4) grandes zones climatiques lumineuses qui sont les suivantes :

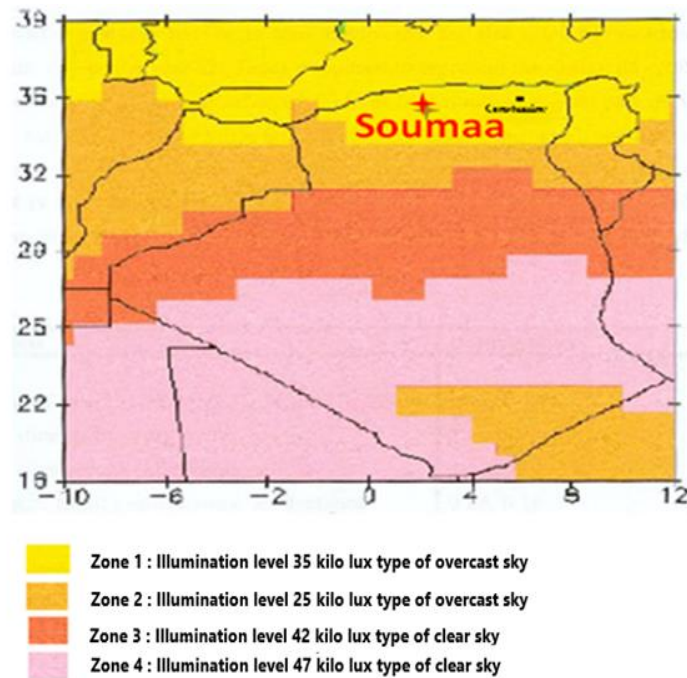


Figure 4.24 : Disponibilité de la lumière naturelle en Algérie. (Source : ZEMMOURI, 2005.)

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

Ainsi notre site se trouve dans la première zone dominance du ciel partiellement couvert, cependant bien que nous n'ayant pas eu accès à des données sur l'occurrence de type de ciel pour la région de Soumaa, nous nous sommes intéressés aux travaux de Dj. ROUAG (D.Rouag 2001) (Fig.4.25) pour le cas de Constantine se trouvant dans la même zone (Selon Zemmouri),

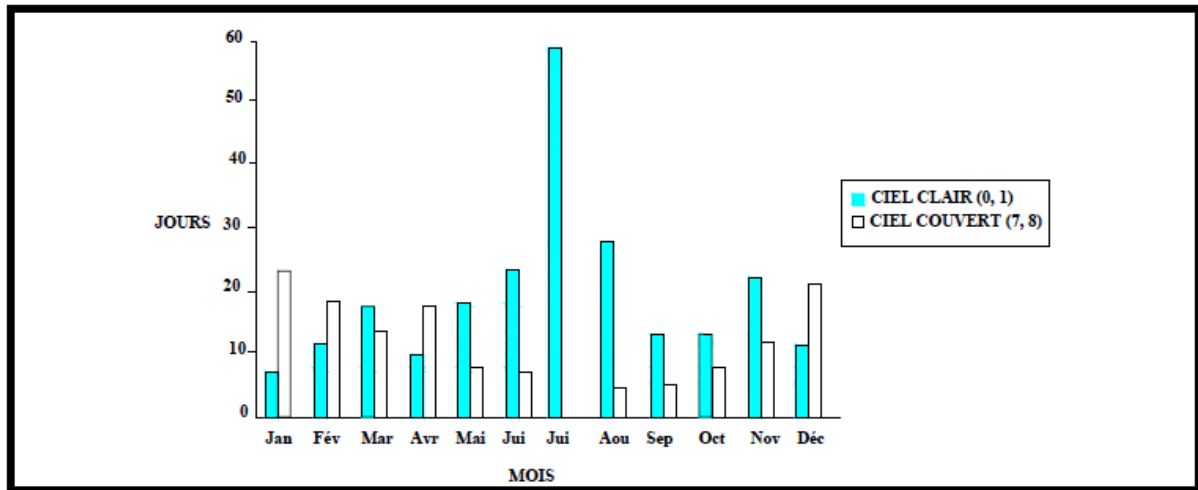


Figure 4.25 : Répartition mensuelle des conditions extrêmes du ciel. (Source : ROUAG, 2001).

Ce que nous pouvons constater c'est le caractère variable du ciel, sur un même mois, et parfois même sur une journée, à partir de ce constat et bien que le ciel couvert soit le plus utilisé, et permettant le calcul du FLJ (voir chapitre 1) et ne donnant que des valeurs d'éclairement indirect, nous avons choisis dans le cadre de notre étude de simuler les deux types de ciel en prenant en considération l'éclairement total (=Direct + Indirect pour le ciel clair, = indirect pour le ciel couvert).

6.3. Simulation

Pour une meilleure évaluation toutes les simulations se feront dans les deux possibilités : sous ciel clair et sous ciel couvert. 12 simulations par appartement par type de ciel, nous obtenant ainsi 288 simulations.

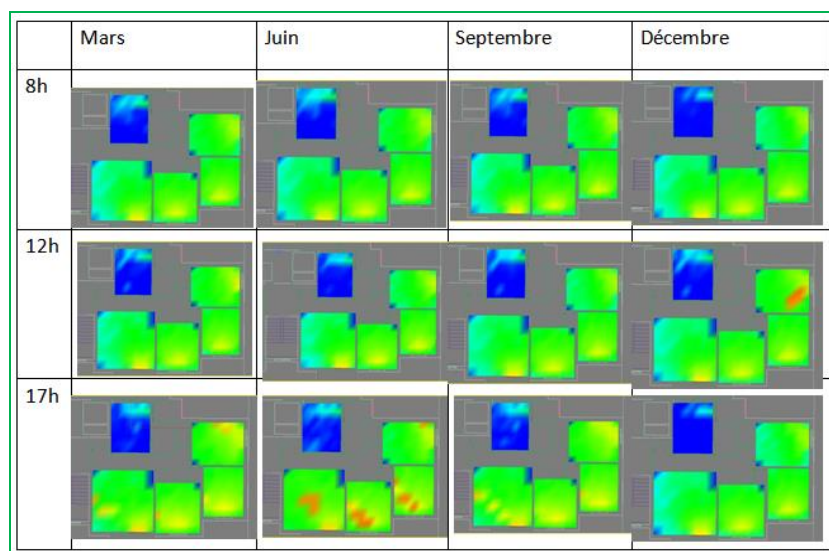


Figure 4.26 : : Les douze simulations par appartement (Source : auteur)

Le photomètre placé dans chaque pièce (Fig.4.27) mesure l'éclairement en 49 points nous avons 24 feuilles de calcul par pièce, pour 57 pièces simulées, ce qui nous donne 1368 feuilles de calcul avec 49 points chacune soit 67032 points de mesure (Tab 4.9).

Tableau 4.9 : Feuille de calcul (Source : auteur)

ID	Emplacement	Date	Eclairement (Lux)			Facteur Lumière du jour (%)
			Direct	Indirect	Total	
1	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	22,6	22,6	0,19
2	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	32,5	32,5	0,28
3	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	54,7	54,7	0,47
4	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	74	74	0,63
5	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	48,3	48,3	0,41
6	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	36,6	36,6	0,31
7	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	34,6	34,6	0,3
8	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	83,4	83,4	0,71
9	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	252	252	2,15
10	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	535	535	4,57
11	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	795	795	6,79
12	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	623	623	5,32
13	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	220	220	1,88
14	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	125	125	1,07
15	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	136	136	1,16
16	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	227	227	1,94
17	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	323	323	2,76
18	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	413	413	3,53
19	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	361	361	3,08
20	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	233	233	1,99
21	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	174	174	1,49
22	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	142	142	1,21
23	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	180	180	1,54
24	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	190	190	1,62
25	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	202	202	1,73
26	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	192	192	1,64
27	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	196	196	1,68
28	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	141	141	1,2
29	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	74,3	74,3	0,63
30	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	136	136	1,16
31	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	157	157	1,34
32	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	134	134	1,14
33	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	125	125	1,07
34	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	131	131	1,12
35	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	128	128	1,09
36	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	93,3	93,3	0,8
37	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	74,5	74,5	0,64
38	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	84,5	84,5	0,72
39	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	126	126	1,08
40	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	107	107	0,91
41	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	114	114	0,98
42	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	63,1	63,1	0,54
43	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	73,5	73,5	0,63
44	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	53	53	0,45
45	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	79,8	79,8	0,68
46	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	67,5	67,5	0,58
47	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	50,6	50,6	0,43
48	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	35,6	35,6	0,3
49	Alger Algerie	08:00 h 21Décembre	0	0	0	0

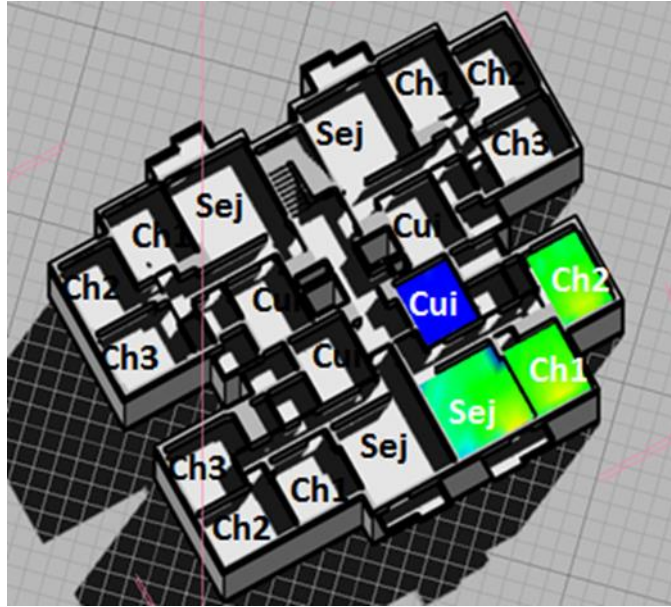


Figure 4.27 : Répartition des pièces (Source : auteur)

7. Traitement des données

Après avoir effectué toutes les simulations, nous nous retrouvons avec un nombre de données important, image de rendu du photomètre, et fichiers CVS sous format Excel regroupant les valeurs obtenues, pour pouvoir les traiter efficacement, notre point de départ été le critère confort répondant ainsi au premier questionnement de notre problématique.

Nous proposons une méthode d'évaluation basée sur le pourcentage de points entrant dans la zone de confort, cela est possible grâce au logiciel MATLAB, nous estimons que la méthode de l'éclairage moyen proposé par plusieurs logiciels comme Revit, radiance ou Dialux,, n'est pas représentative de l'éclairage reçu dans la pièce, quand il s'agit d'éclairage naturel, ce dernier n'étant pas distribué de façon uniforme à l'intérieur d'une pièce. Son caractère variable, et l'intensité que peut produire un ciel clair avec soleil pourrait biaiser les résultats : une tache solaire (éclairage direct) peut atteindre un niveau d'éclairage très important, tandis que le reste de la pièce reste sombre. Ainsi nous relèverons sur la grille de notre photomètre (49 points par pièce), le pourcentage de points entrant dans la zone de confort, ce qui nous permettra d'évaluer de façon plus précise le niveau de confort de la pièce, écartant à la fois les points où l'éclairage est trop bas, et ceux où l'éclairage est trop important.

7.1. Evaluation du confort

La réglementation Algérienne donnant pas de valeurs de confort lumineux dans les bâtiments à usage résidentiels :

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

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

- Chaque pièce principale doit être éclairée et ventilée au moyen d'une ou plusieurs baies ouvrantes dont l'ensemble doit présenter une superficie au moins égale au huitième de la surface de la pièce.
- Cette disposition n'est pas applicable aux régions situées à une altitude égale ou supérieure à huit cents mètres, ni à la zone sud du territoire national. Un arrêté du ministère chargé de l'urbanisme précisera les conditions requises.
- Les jours de souffrance ne sont pas considérés comme des baies ouvrantes.
- Les baies donnant sur une cour fermée surmontée d'un comble vitré ou sur une courette, ne sont pas considérées comme des baies ouvrantes.
- Les pièces secondaires peuvent se ventiler sur des gaines verticales.
- Pour les habitations individuelles à simple rez-de-chaussée, les baies des pièces principales peuvent s'ouvrir sur des cours fermées ou non couvertes de quatre mètres (4 m) sur quatre (4) au minimum.
- Les baies des pièces doivent être munies de protection efficace contre le rayonnement solaire.
- La profondeur des pièces principales des logements à simple niveau, mesurée à partir de la face interne de la paroi éclairante, ne peut excéder deux fois et demi la hauteur sous plafond (République Algérienne. Codes du foncier et de l'urbanisme : recueil de textes législatifs et réglementaires de la République Algérienne. BERTI Editions. 2001-2002. P)

2-La circulaire du 15 août 1989 relative à l'application des règlements techniques et des normes de construction, stipule que: « la commission technique permanente pour le contrôle technique de la construction (C.T.P) chargée principalement de la promotion de la réglementation technique algérienne, a retenu à titre transitoire et en attendant l'élaboration progressive des règlements techniques algériens, l'application des règlements techniques et normes de constructions étrangers en usage en Algérie et cités en annexe » ((Ministère de l'Habitat. Réglementation technique algérienne du bâtiment : concepts et nomenclature 1998).

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

□ **NF C 01.045**

□ **NF C 03.101**

□ **NF C 15.100, 150**

Suite au manque de la réglementation algérienne en matière d'éclairage dans le bâtiment, nous nous sommes référés à la réglementation française car d'une part, son climat lumineux se rapproche du climat lumineux algérien de par sa position géographique (les moyennes latitudes). D'autre part, nous avons constaté que la réglementation algérienne dans le domaine de la construction, a déjà des fondements de base sur la réglementation française.

La réglementation algérienne ne fournit pas de valeurs concernant le confort lumineux dans les immeubles résidentiels, nous nous référons à la réglementation française de l'ADME, qui collabore avec l'APRUE algérienne depuis une trentaine d'années avec un 4^e accord de coopération signé à l'occasion du 2^{ème} séminaire international sur le thème de l'efficacité énergétique dans le bâtiment (Alger 2017) ; dans la création d'une réglementation.

Afin d'avoir une meilleure lecture des résultats nous avons calculé à partir des fichiers CVS :1368 feuilles de calcul (Tab.4.9) et en utilisant les valeurs d'éclairement total intégré au logiciel de traitement de données « Matlab », permettant de calculer le pourcentage de points entrant dans la zone de confort par pièce, par date par heure ... (Voir programme Matlab Annexe 2) représentant le nombre de point entrant dans le niveau d'éclairement de confort par type de pièce (ADEME 2003 Tab.4.10) en %.

Tableau 4.10 : Niveau d'éclairement de confort (lux) Qualité environnementale des bâtiments (Source : ADME 2003)

Local	Plage de confort	Choix courant (AFE)	Choix raisonnable	
			Fond	Tache
Séjour	60 à 300 lux	300 lux	200 lux	300 lux
Cuisine	60 à 300 lux	500 lux	200 lux	300 lux
Chambre	60 à 300 lux	200 lux	100 lux	300 lux

Ainsi nous avons travaillé avec trois plages permettant d'appréhender le confort dans toutes ces dimensions :

- La plage de confort de base 60 à 300 lux.
- La plage de choix raisonnable en fonction du type de pièce.

- La plage des valeurs supérieures à 300 lux.

La première nous permet de connaître le pourcentage de points assurant un minimum de confort visuel, la seconde nous permet d'évaluer le pourcentage de points se situant dans la zone de choix raisonnable en fonction du type de pièce donc nécessaire à l'accomplissement des activités, la dernière ne se trouvant pas dans le tableau de L'ADME, mais qui nous permet de distinguer les points ne se trouvant pas dans la zone de confort : ceux inférieurs à 60 lux qui représentent une valeur d'éclairement très faible qui impliquent l'utilisation d'un éclairage artificiel, de ceux supérieurs à 300 lux qui au contraire peuvent nécessiter l'utilisation d'une occultation type brise soleil, ou tout simplement des rideaux.

7.2. Présentation des indicateurs

Pour optimiser l'analyse des résultats nous devons choisir des indicateurs qui nous permettront de faire une étude comparative. Nous avons ainsi à partir des éléments présentés dans le chapitre 3 et confrontés aux résultats des simulations, fait ressortir les paramètres qui influent sur la captation et la distribution de l'éclairage naturel dans les locaux, pris en compte deux paramètres :

7.2.1. L'orientation

Nous avons quatre appartements à orientations différentes, appart 1 : (N/O-S/O), appart 2 : (N/O-N/E), appart 3 : (N/E-S/E), appart 4 : (N/E-S/E). La comparaison des résultats obtenus pour la même pièce soumise à une orientation différente nous permettra d'évaluer l'influence de cette dernière sur l'éclairement. Pour cela nous prendrons un seul étage, étage intermédiaire (5ème), sur une date (le 22sept) cette date a été choisie du fait qu'elle représente (comme pour Mars) un ensoleillement moyen, avec une hauteur du soleil intermédiaire.

7.2.2. L'étage

Sur les trois niveaux du bâtiment ayant subi une simulation, pour un même appartement cette fois si, et toujours pour la même date (22sept), ici la différence de niveau influe sur les masques extérieurs (ombre portée sur les ouvertures) pour cela nous avons choisi l'appartement n°3, appartement soumis à obstruction par le bâtiment mitoyen.

7.3. Proposition des améliorations

Choix des cas les plus défavorables, pièce recevant le moins d'éclairage naturel, et pièce recevant une mauvaise répartition de l'éclairage, pour chaque cas proposer des modifications

et évaluer par simulation l'amélioration, en comparant selon la même démarche que pour les partie précédente les données avant et après amélioration :

- Rendu
- Confort

Conclusion

Nous avons commencé dans ce chapitre par la première phase de l'évaluation post occupation, l'enquête nous a conforté dans nos hypothèses de départ, dans l'ensemble les occupants ne sont que moyennement satisfait de l'éclairage naturel de leurs logements. Nous avons grâce à ces résultats identifié les points faibles du bâtiment en matière d'éclairage naturel, le point le plus marquant étant la cuisine pièce estimée comme la moins éclairée. Les mesures sur site, bien que présenté ici que pour valider les résultats de simulations, vont dans le sens de l'enquête. Le model de simulation ainsi validé, nous effectuons la simulation des 12 appartements choisis comme échantillon représentatif. La méthode proposée est l'évaluation du pourcentage de points entrant dans la zone de confort, cette méthode nous permettra d'analyser les résultats développés dans les chapitres suivants, et d'apporter plus de précision aux premiers constats.

CHAPITRE 5 : EVALUATION DU CONFORT ET FACTEURS DÉTERMINANTS DU NIVEAU D'ÉCLAIREMENT

Introduction

Un bon éclairage doit garantir que les occupants peuvent effectuer leurs activités les plus efficacement possibles (performance visuelle) en assurant leur bien-être (confort visuel) et en leur fournissant un certain confort visuel (lumière naturelle). L'éclairage est également influencé par les facteurs architecturaux et humains (M.A. Steane 2004). Ces facteurs sont la vue extérieure, la diversité des conditions lumineuses, le degré de contrôle perçu et la liberté de mouvement pour éviter ou limiter l'impact négatif du stress environnemental. Humeur, préférences, jugements esthétiques (J.A. Veitch 2001) et le besoin biologique d'information visuelle (W.M.C. Lam & Al 1982) dans lequel la lumière du jour est un élément clé, sont aussi des déterminants du confort (Dubois & Al 2007). Pour atteindre ce confort, une distribution uniforme de la lumière doit être assurée et une protection contre l'éblouissement doit être fournie.

1. Evaluation du confort avec l'indicateur FLJ

1.1. Rappel FLJ

Cet indicateur est largement répandu et utilisé. La définition du facteur de lumière du jour (ou daylight factor dans la littérature anglophone) est depuis longtemps adoptée aussi bien par la communauté scientifique que par les architectes ou les systèmes de normalisation et de labellisation.

Le FLJ correspond au rapport du niveau d'éclairage intérieur sur le niveau d'éclairage extérieur. Pour un objectif d'éclairage intérieur de 500 lux avec un éclairage extérieur de 15 000 lux, le FLJ est de 3.3%.

Selon l'ADEME voir tableau (Tab.1.5 page 30)

Pour le référentiel HQE :

Tableau 5.1 : Facteur de Lumière du Jour et Eclairage > Valeurs recommandées (Source : <http://hqe.guidenr.fr/cible-10-hqe/facteur-lumiere-jour-valeurs-recommandees.php>)

Type de bâtiment	Activité	FLJ moyen (%)	FLJ minimum (%)
Habitations	Salon et pièces à multiples activités	1.5	0.5
	Chambres à coucher	1	0.3
	Cuisine	2	0.6

Pour rappel le facteur de lumière du jour est calculé sous ciel couvert, nous avons précisé dans le chapitre 4, que le ciel Nord Algérien est caractérisé par un éclairage lumineux

horizontal moyen égal à 35 Kilolux (N. Zemmouri 2005), soit loin des 15 000 lux de référence du FLJ.

Pour nos calculs nous avons ainsi choisi d'utiliser le FLJ_{moy} qui est axé sur les caractéristiques du local et des masques environnants.

1.2. Calcul FLJ_{moy}

1-2-1 Méthode de calcul

À défaut de simulation informatique, il existe des formules approchées pour estimer le Facteur de Lumière du Jour moyen d'un local. Nous reprenons ci-dessous celle proposée par le BRE (Building Research Establishment) (Energie+ [en ligne] <https://energieplus-lesite.be/theories/eclairage12/physique-lumiere/facteur-de-lumiere-du-jour/>) dans les années 1980, Elle prend en compte la surface totale des parois internes du local, les surfaces des baies vitrées avec leur coefficient de transmission lumineuse, la réflexion diffuse des parois, l'angle de ciel visible depuis les baies vitrées.

$$FLJ_{moy} = Sf \times TL \times a / (St \times (1 - R \times R))$$

Équation 5.1 : Facteur de lumière du jour moyen

Où :

Sf : surface nette de vitrage (ouverture de baies moins 10% pour les châssis).

TL : facteur de transmission lumineuse du vitrage, (déduit de 10 % pour saleté).

a : angle du ciel visible depuis la fenêtre, exprimé en degrés.

St : surface totale de toutes les parois du local, y compris celle des vitrages

R : Réflexion moyenne des surfaces de paroi du local (prendre 0,5 par défaut)

Pour l'appartement étudié, les parois sont de couleur gris clair et le sol est en dalle de sol blanche

Calcul FLJ_{moy} pour l'appartement témoin

- Séjour (4.35 x 4.55 x 2.77) :

$$St \text{ séjour} = 2 \times (2.77 \times 4.35 + 2.77 \times 4.55 + 4.35 \times 4.55) = 88.86 \text{ m}^2$$

$$Sf \text{ séjour} = 0.9 \times 1.15 \times 1.50 = 1.55 \text{ m}^2$$

$$TL \text{ vitrage simple} = 0.9 \times 0.9 = 0.81$$

$$a \text{ (aucun masque)} = 90^\circ$$

$$R = 0.5$$

$$FLJ_{moy} \text{ Séjour} = 1.55 \times 0.81 \times 90 / 88.86 \times (1 - (0.5 \times 0.5))$$

$$FLJ_{moy} \text{ Séjour} = 1.69 \%$$

- Chambre 1 (3.95 x 3.10 x 2.77)

$$St \text{ chambre 1} = 2 \times (2.77 \times 3.95 + 2.77 \times 3.10 + 3.95 \times 3.10) = 63.52 \text{ m}^2$$

$$Sf \text{ chambre 1} = 0.9 \times 1.15 \times 1.15 = 1.19 \text{ m}^2$$

$$TL \text{ vitrage simple} = 0.9 \times 0.9 = 0.81$$

$$a \text{ (aucun masque)} = 90^\circ$$

$$R = 0.5$$

$$FLJ_{\text{moy}} \text{ Chambre 1} = 1.19 \times 0.81 \times 90 / (63.52 \times (1 - 0.5 \times 0.5))$$

$$FLJ_{\text{moy}} \text{ Chambre 1} = 1.82 \%$$

- Chambre 2 (4.25 x 3.10 x 2.77)

$$St \text{ chambre 2} = 2 \times (2.77 \times 4.25 + 2.77 \times 3.10 + 4.25 \times 3.10) = 55.4 \text{ m}^2$$

$$Sf \text{ chambre 1} = 0.9 \times 1.15 \times 1.15 = 1.19 \text{ m}^2$$

$$TL \text{ vitrage simple} = 0.9 \times 0.9 = 0.81$$

$$a \text{ (aucun masque)} = 90^\circ$$

$$R = 0.5$$

$$FLJ_{\text{moy}} \text{ Chambre 2} = 1.19 \times 0.81 \times 90 / (55.4 \times (1 - 0.5 \times 0.5))$$

$$FLJ_{\text{moy}} \text{ Chambre 2} = 2.08 \%$$

- Cuisine (3.6 x 3 x 2.77)

$$St \text{ cuisine} = 2 \times (2.77 \times 3.60 + 2.77 \times 3 + 3.60 \times 3) = 29.08 \text{ m}^2$$

$$Sf \text{ Cuisine} = 0.9 \times (0.30 \times 0.60 + 0.50 \times 1.4) = 0.88 \text{ m}^2$$

$$TL \text{ vitrage simple} = 0.9 \times 0.9 = 0.81$$

$$a \text{ (loggia d'une profondeur de 3.52 m)} = 0^\circ$$

$$R = 0.5$$

$$FLJ_{\text{moy}} \text{ Cuisine} = 0.88 \times 0.81 \times 0 / (29.08 \times (1 - 0.5 \times 0.5))$$

$$FLJ_{\text{moy}} \text{ Cuisine} = 0 \%$$

1.3. Synthèse FLJ

Si l'on se réfère au référentiel HQE en ce qui concerne le confort visuel, la pièce étudiée répondent aux exigences de FLJ moyen sauf pour le cas de la cuisine ce qui confirme les résultats de l'enquête.

Par ailleurs, on trouve dans la littérature scientifique, d'après l'étude de (Carlucci, Causone, & al. 2015) et selon plusieurs chercheurs le facteur de la lumière du jour reste limité comme indice d'évaluation du confort lumineux pour les raisons suivantes :

- Le FLJ est habituellement exprimé en pourcentage, de sorte qu'il n'y a aucune considération de valeurs d'éclairement absolues (J.Mardaljevic & Al 2009) (J.Mardaljevic 2012).
- L'orientation d'un bâtiment n'a aucun effet sur le calcul du FLJ (A. Tzempelikos, and A.K.Athienitis, 2007), car le ciel est complètement couvert, donc il ne prend pas en considération le soleil (J.Mardaljevic 2012);
- Il ne peut pas évaluer l'éblouissement de l'inconfort, car il ne prend pas en considération l'éclairage des murs, ce qui est essentiel pour la perception de l'homme (F.Cantin, M.C.Dubois 2011).

Cependant malgré ces critiques le facteur de lumière du jour reste un des indices les plus utilisés par les chercheurs (H.W Danny & Al 2008) (I. Petrinska, D. Ivanov 2018), (M. Boubekri, J. Lee 2017) (I. L. Wong 2017). Bien qu'aujourd'hui la simulation permet de dépasser les limites des méthodes standards, elle permet à la fois de réduire la consommation et d'améliorer le confort (I. L. Wong 2017).

2. Résultats des simulations

Les simulations effectuées selon la méthodologie présentée précédemment (Chapitre 4) ont permis de générer des données de deux types images photomètre (en dégradé de couleurs) et fichier CVS (exploitable sous Excel), traité par Matlab avant d'être analysée. Le nombre de données étant important nous allons les traiter en deux catégories sous ciel clair et sous ciel couvert. Pour chacun un tableau par niveau (1er, 5e, 9e étage), et pour chaque niveau les trois plages étudiées nous présenterons ici les tableaux détaillés pour le 1er étage à titre d'exemple de la méthodologie le reste des tableaux sera présenté en annexe (voir Annexe 3).

2.1. Résultats des simulations sous Ciel couvert

2.1.1. 1^{er} Etage

2.1.1.1 Zone de confort 1er étage ciel couvert

Nous notons des valeurs très basse pour la cuisine nous somme à 0,04% pour l'ensemble des cuisines du 1^{er} étage, le séjour suis de loin avec un pourcentage moyen de 43,75%. Le pourcentage moyen de points en zone de confort de tous les appartements du premier étage étant de **47,22%**, donc légèrement inférieur à la moitié.

Tableau 5.2 : Pourcentage Zone de confort (60 à 300lux) par ciel couvert 1er étage (Source : auteur)

% Zone de confort 60 à 300			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			%Total/APPART			Heure	%Total		% / SAISON	
			8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h					
1er	Mars	A 1	67,35%	71,43%	75,51%	77,55%	75,51%	71,43%	57,14%	69,39%	69,39%	26,53%	28,57%	57,14%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	45,71%	48,98%	54,69%	49,80%	MARS	47,59%	
		A2	65,31%	67,35%	71,43%	77,55%	77,55%	75,51%	38,78%	34,69%	26,53%	28,57%	36,73%	59,18%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	42,04%	43,27%	46,53%	43,95%			
		A3	67,35%	81,63%	77,55%	63,27%	73,47%	65,31%				73,47%	40,82%	32,65%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	51,02%	48,98%	35,10%	45,03%			
		A4	55,10%	73,47%	69,39%	63,27%	75,51%	67,35%	75,51%	81,63%	59,18%	65,31%	44,90%	42,86%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	51,84%	55,10%	47,76%	51,56%			
	Juin	A 1	67,35%	75,51%	73,47%	77,55%	79,59%	71,43%	57,14%	48,98%	63,27%	26,53%	28,57%	77,55%	2,04%	0,00%	0,00%	A 1	46,12%	46,53%	57,14%	49,93%	JUIN	47,65%	
		A2	67,35%	75,51%	71,43%	77,55%	75,51%	71,43%	34,69%	38,78%	26,53%	28,57%	38,78%	63,27%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	41,63%	45,71%	46,53%	44,63%			
		A3	67,35%	65,31%	67,35%	67,35%	71,43%	67,35%				61,22%	42,86%	36,73%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	48,98%	44,90%	34,29%	42,72%			
		A4	75,51%	71,43%	69,39%	75,51%	75,51%	69,39%	77,55%	71,43%	77,55%	48,98%	46,94%	40,82%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	55,51%	53,06%	51,43%	53,33%			
	Sept	A 1	67,35%	69,39%	73,47%	77,55%	75,51%	73,47%	57,14%	38,78%	69,39%	26,53%	28,57%	61,22%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	45,71%	42,45%	55,51%	47,89%	SEPT	48,03%	
		A2	65,31%	67,35%	69,39%	77,55%	77,55%	79,59%	55,10%	34,69%	26,53%	28,57%	36,73%	63,27%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	45,31%	43,27%	47,76%	45,44%			
		A3	59,18%	81,63%	77,55%	61,22%	73,47%	65,31%				73,47%	38,78%	32,65%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	48,47%	48,47%	43,88%	46,94%			
		A4	57,14%	75,51%	69,39%	63,27%	75,51%	67,35%	75,51%	81,63%	59,18%	67,35%	42,86%	42,86%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	52,65%	55,10%	47,76%	51,84%			
	Dec	A 1	67,35%	67,35%	67,35%	77,55%	77,55%	77,55%	38,78%	73,47%	34,69%	26,53%	26,53%	26,53%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	42,04%	48,98%	41,22%	44,08%	DEC	45,60%	
		A2	67,35%	67,35%	67,35%	77,55%	77,55%	77,55%	63,27%	36,73%	30,61%	28,57%	32,65%	26,53%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	47,35%	42,86%	40,41%	43,54%			
		A3	61,22%	77,55%	77,55%	55,10%	65,31%	65,31%				59,18%	44,90%	30,61%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	43,88%	46,94%	43,37%	44,73%			
		A4	44,90%	67,35%	69,39%	57,14%	73,47%	67,35%	59,18%	77,55%	57,14%	63,27%	71,43%	42,86%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	44,90%	57,96%	47,35%	50,07%			
	TOTAL/PIECE/ HEURE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui				8H	12H	17H	TOTAL/AP		
				8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	A 1	44,90%	46,73%	52,14%	47,93%		
				63,90%	72,19%	71,68%	70,41%	75,00%	70,79%	57,48%	57,31%	50,00%	45,79%	39,41%	46,05%	0,13%	0,00%	0,00%	A2	44,08%	43,78%	45,31%	44,39%		
	TOTAL/PIECE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui				A3	48,09%	47,32%	39,16%	44,86%	
69,26%				72,07%			54,93%			43,75%			0,04%				A4	51,22%	55,31%	48,57%	51,70%				

2.1.1.2. Zone de choix raisonnable ciel couvert 1er étage

Pour les valeurs entrant dans la plage de choix raisonnable, nous avons une valeur nulle pour la cuisine, et des valeurs très faibles de 4,97% pour les séjours, s'en suit la chambre 3 avec une valeur moyenne de 34,7%. Avec une valeur moyenne globale pour le 1^{er} Etage de **29,41%**.

Tableau 5.3 : Pourcentage Zone de choix raisonnable Séjour (200 à 300lux), Chambre (100 à 300lux), cuisine (200 à 300lux) par ciel couvert 1er étage (Source : auteur)

Choix raisonnable			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			%Total/APPART/Heure			%Total		% / SAISON		
			8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h					
1er	Mars	A 1	46,94%	48,98%	59,18%	55,10%	59,18%	65,31%	26,53%	38,78%	53,06%	0,00%	0,00%	6,12%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	25,71%	29,39%	36,73%	30,61%			
		A2	46,94%	46,94%	53,06%	48,98%	51,02%	51,02%	20,41%	16,33%	14,29%	2,04%	2,04%	8,16%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	23,67%	23,27%	25,31%	24,08%			
		A3	63,27%	71,43%	55,10%	63,27%	44,90%	32,65%				10,20%	8,16%	4,08%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	34,18%	31,12%	22,96%	29,42%			
		A4	51,02%	63,27%	59,18%	61,22%	67,35%	46,94%	53,06%	69,39%	38,78%	8,16%	8,16%	6,12%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	34,69%	41,63%	30,20%	35,51%	MARS	29,91%	
	Juin	A 1	46,94%	57,14%	63,27%	57,14%	65,31%	67,35%	28,57%	28,57%	30,61%	0,00%	0,00%	10,20%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	26,53%	30,20%	34,29%	30,34%			
		A2	46,94%	48,98%	65,31%	48,98%	59,18%	63,27%	16,33%	16,33%	16,33%	4,08%	4,08%	4,08%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	23,27%	25,71%	29,80%	26,26%			
		A3	63,27%	57,14%	55,10%	63,27%	48,98%	36,73%				6,12%	8,16%	6,12%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	33,16%	28,57%	24,49%	28,74%			
		A4	63,27%	61,22%	59,18%	67,35%	61,22%	46,94%	46,94%	46,94%	57,14%	8,16%	8,16%	4,08%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	37,14%	35,51%	33,47%	35,37%	JUIN	30,18%	
	Sept	A 1	46,94%	48,98%	59,18%	55,10%	59,18%	67,35%	28,57%	22,45%	57,14%	0,00%	0,00%	8,16%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	26,12%	26,12%	38,37%	30,20%			
		A2	46,94%	46,94%	59,18%	48,98%	51,02%	55,10%	28,57%	16,33%	14,29%	2,04%	2,04%	6,12%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	25,31%	23,27%	26,94%	25,17%			
		A3	59,18%	65,31%	55,10%	61,22%	46,94%	32,65%				4,08%	8,16%	4,08%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	31,12%	30,10%	22,96%	28,06%			
		A4	57,14%	67,35%	57,14%	63,27%	67,35%	46,94%	46,94%	65,31%	38,78%	8,16%	8,16%	6,12%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	35,10%	41,63%	29,80%	35,51%	SEPT	29,74%	
	Dec	A 1	46,94%	46,94%	46,94%	57,14%	57,14%	53,06%	20,41%	34,69%	16,33%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	24,90%	27,76%	23,27%	25,31%			
		A2	46,94%	46,94%	46,94%	53,06%	53,06%	53,06%	51,02%	18,37%	16,33%	4,08%	4,08%	4,08%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	31,02%	24,49%	24,08%	26,53%			
		A3	57,14%	65,31%	55,10%	53,06%	40,82%	32,65%				6,12%	6,12%	4,08%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	29,08%	28,06%	22,96%	26,70%			
		A4	44,90%	61,22%	55,10%	57,14%	69,39%	44,90%	36,73%	63,27%	32,65%	12,24%	8,16%	6,12%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	30,20%	40,41%	27,76%	32,79%	DEC	27,83%	
TOTAL/PIECE /HEURE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui				8H	12H	17H	TOTAL/AP			
			8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	A 1	25,82%	28,37%	33,16%	29,12%			
			52,17%	56,51%	56,51%	57,14%	56,38%	49,74%	33,67%	36,39%	32,14%	4,72%	4,72%	5,48%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	25,82%	24,18%	26,53%	25,51%			
			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			A3	31,89%	29,46%	23,34%	28,23%			
TOTAL/PIECE			55,06%			54,42%			34,07%			4,97%			0,00%			A4	34,29%	39,80%	30,31%	34,80%			

2.1.1.3. Zone de valeurs supérieure à 300 lux Ciel couvert 1er étage

Pour les valeurs supérieures à 300 lux et susceptibles d'être une source de gêne visuelle, le niveau le plus haut observé concerne les chambres et plus spécialement la chambre 1et 2 avec respectivement 19,05% et 17,35%, alors que pour le séjour nous sommes à 9,52%, la valeur globale moyenne est de **11,52%**.

Tableau 5.4 : Pourcentage Zone (+ 300lux) par ciel couvert 1^{er} étage (Source : auteur)

% Zone supérieur à 300lux			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			%Total/APPART/Heure			%Total		% / SAISON		
			8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h					
1er	Mars	A 1	12,24%	12,24%	22,45%	10,20%	12,24%	26,53%	12,24%	12,24%	26,53%	8,16%	8,16%	14,29%	0%	0%	0%	A 1	8,16%	9,80%	8,16%	8,71%	MARS	11,47%	
		A2	12,24%	12,24%	24,49%	10,20%	10,20%	16,33%	4,08%	4,08%	4,08%	8,16%	8,16%	10,20%	0%	0%	0%	A2	6,94%	6,94%	11,02%	8,30%			
		A3	32,65%	18,37%	14,29%	30,61%	10,20%	8,16%				18,37%	8,16%	8,16%	0%	0%	0%	A3	20,41%	9,18%	7,65%	12,41%			
		A4	38,78%	20,41%	12,24%	34,69%	22,45%	16,33%	12,24%	16,33%	8,16%	16,33%	8,16%	4,08%	0%	0%	0%	A4	24,90%	16,33%	8,16%	16,46%			
	Juin	A 1	12,24%	12,24%	24,49%	10,20%	12,24%	28,57%	12,24%	10,20%	16,33%	8,16%	8,16%	14,29%	0%	0%	0%	A 1	8,57%	8,57%	16,73%	11,29%	JUIN	10,17%	
		A2	12,24%	12,24%	26,53%	10,20%	12,24%	28,57%	4,08%	4,08%	4,08%	8,16%	8,16%	14,29%	0%	0%	0%	A2	6,94%	7,35%	14,69%	9,66%			
		A3	22,45%	18,37%	14,29%	20,41%	10,20%	10,20%				10,20%	8,16%	8,16%	0%	0%	0%	A3	13,27%	9,18%	8,16%	10,20%			
		A4	14,29%	18,37%	12,24%	22,45%	20,41%	16,33%	10,20%	10,20%	18,37%				0%	0%	0%	A4	9,39%	9,80%	9,39%	9,52%			
	Sept	A 1	12,24%	12,24%	24,49%	10,20%	12,24%	24,49%	10,20%	10,20%	26,53%	8,16%	8,16%	16,33%	0%	0%	0%	A 1	8,16%	8,57%	18,37%	11,70%	SEPT	11,82%	
		A2	12,24%	12,24%	26,53%	10,20%	10,20%	18,37%	8,16%	4,08%	4,08%	8,16%	8,16%	12,24%	0%	0%	0%	A2	7,76%	6,94%	12,24%	8,98%			
		A3	40,82%	18,37%	14,29%	32,65%	10,20%	8,16%				18,37%	8,16%	8,16%	0%	0%	0%	A3	22,96%	9,18%	7,65%	13,27%			
		A4	36,73%	16,33%	12,24%	34,69%	20,41%	16,33%	12,24%	16,33%	8,16%	14,29%	8,16%	4,08%	0%	0%	0%	A4	19,59%	12,24%	8,16%	13,33%			
	Dec	A 1	12,24%	12,24%	12,24%	10,20%	10,20%	10,20%	10,20%	18,37%	10,20%	8,16%	8,16%	8,16%	0%	0%	0%	A 1	8,16%	9,80%	8,16%	8,71%	DEC	12,64%	
		A2	14,29%	14,29%	14,29%	14,29%	14,29%	14,29%	32,65%	4,08%	4,08%	8,16%	8,16%	8,16%	0%	0%	0%	A2	13,88%	8,16%	8,16%	10,07%			
		A3	38,78%	22,45%	14,29%	38,78%	10,20%	8,16%				24,49%	10,20%	8,16%	0%	0%	0%	A3	25,51%	10,71%	7,65%	14,63%			
		A4	48,98%	26,53%	12,24%	42,86%	24,49%	16,33%	12,24%	20,41%	8,16%	20,41%	10,20%	4,08%	0%	0%	0%	A4	28,06%	15,31%	8,16%	17,18%			
TOTAL/PIECE/ HEURE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui				8H	12H	17H	TOTAL/AP			
			8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	A 1	8,27%	9,18%	12,86%	10,10%			
TOTAL/PIECE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui				A2	8,88%	7,35%	11,53%	9,25%		
			19,05%			17,35%			11,39%			9,52%			0,00%				A3	20,54%	9,57%	7,78%	12,63%		
																			A4	20,48%	13,42%	8,47%	14,12%		

2.1.2. Résultats 5^e Etage (voir annexe 3)

2.1.2.1. Zone de confort 5^e étage ciel couvert

Nous notons des valeurs légèrement moins basses pour la cuisine nous sommes à 0,38% pour l'ensemble des cuisines du 5^e étage, le séjour à un pourcentage moyen de 43,84%. Le pourcentage moyen de points en zone de confort de tous les appartements du cinquième étage étant de **48,82%**, donc toujours légèrement inférieur à la moitié avec notamment 1,60% de plus que le 1^{er} étage.

2.1.2.2. Zone de choix raisonnable ciel couvert 5^e étage

Pour les valeurs entrant dans la plage de choix raisonnable, nous avons une valeur toujours nulle pour la cuisine, et des valeurs très faibles de 4,97% pour les séjours, s'en suit la chambre 3 avec une valeur moyenne de 35,94%. Avec une valeur moyenne globale pour le 5^e Etage de **30,42%** soit 1,01% de plus que le 1^{er} étage.

2.1.2.3. Zone de valeurs supérieure à 300 lux Ciel couvert 5^e étage

Les valeurs supérieures à 300 lux, le niveau le plus haut observé concerne les chambres et plus spécialement la chambre 1 et 2 avec respectivement 19,05% et 19,35%, alors que pour le séjour nous sommes à 10,33%, la valeur globale moyenne est de **11,40%**.

2.1.3. Résultats 9^e Etage (voir annexe 3)

2.1.3.1. Zone de confort 9^e étage ciel couvert

Nous notons une amélioration des valeurs de la cuisine nous passons de 0,38% pour le 5^e étage à 5,40% pour les cuisines du 9^e étage, le séjour à un pourcentage moyen de 43,84% et reste stable. Le pourcentage moyen de points en zone de confort de tous les appartements du 9^e étage étant de **50,45%**, donc 1,62% de plus que le 5^e étage et nous arrivons ainsi à la barre des 50%.

2.1.3.2. Zone de choix raisonnable ciel couvert 9^e étage

Pour la plage de choix raisonnable, nous avons une valeur toujours nulle pour la cuisine, et des valeurs faibles de 5,70% pour les séjours, s'en suit la chambre 3 avec une valeur moyenne de 39,41%. Avec une valeur moyenne globale pour le 9^e Etage de **33,56%** soit 3,14% de plus que le 5^e étage.

2.1.3.3. Zone de valeurs supérieure à 300 lux Ciel couvert 9^e étage

Les valeurs supérieures à 300 lux, le niveau le plus haut observé concerne les chambres et plus spécialement la chambre 1 et 2 avec respectivement 20,15% et 20,20%, alors que pour le séjour nous sommes à 10,46%, la valeur globale moyenne est de **15,11%** Soit 3,71% de plus que le 5^e étage.

2.1.4. Analyse des résultats de simulations sous ciel couvert

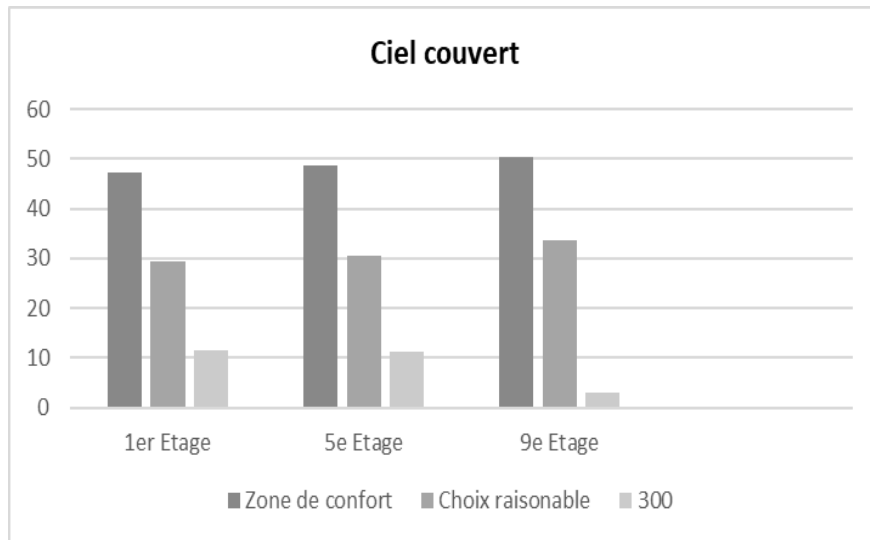


Figure 5.1 : Comparatif des éclairagements résultants sous ciel couvert (Source : auteur)

2.1.4.1. Zone de Confort :

Nous remarquons dans l'ensemble que les valeurs de confort (60 à 300 lux) sont atteintes tous niveaux confondus à hauteur de 48,83% rappelons que ce pourcentage est calculé sur une base de 33516 points de mesure pour le ciel couvert.

Ce pourcentage global n'est pas représentatif des valeurs par pièces (Fig 5.1), nous avons des disparités avec une cuisine très désavantagée du point de vue de l'éclairement naturel qui ne dépasse pas les 5,40% au meilleur des cas le 9^e étage (Fig 5.2).

Le séjour par contre a des valeurs quasi stables autour de 43,80%, les chambres 1 et 2 ont les valeurs les plus importantes 71%, la chambre 3 de par sa position donne des valeurs légèrement plus basses 59%.

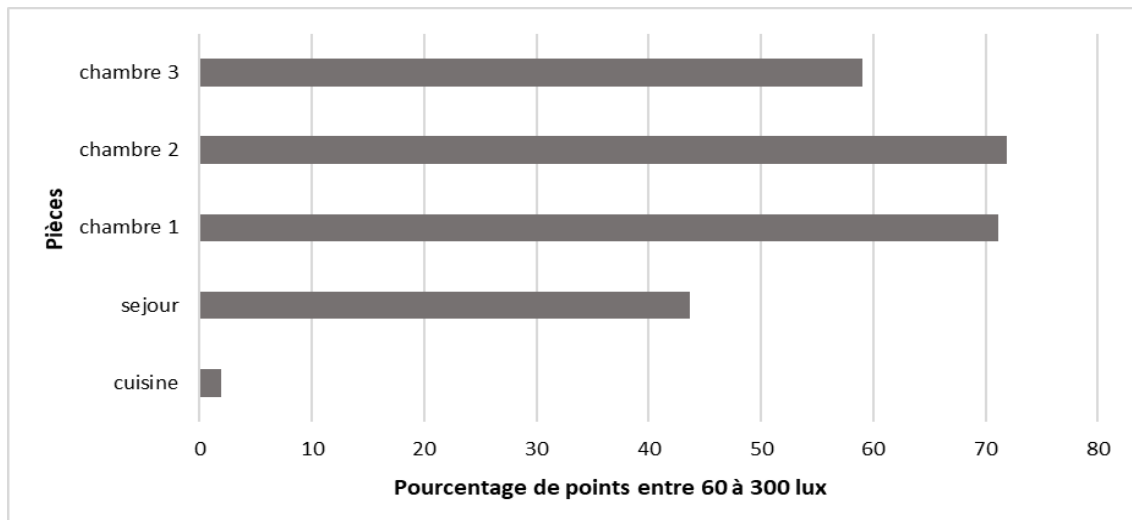


Figure 5.2 : Pourcentage des valeurs entrant dans la zone de confort (60 à 300 lux) sous ciel couvert (Source : auteur)

2.1.4.2. Zone de choix Raisonnable

Les valeurs de choix raisonnable : Séjour (200 à 300 lux), Chambre (100 à 300 lux), cuisine (200 à 300 lux), pourcentage globale pour ce choix de 31,13%, avec des valeurs nulles pour la cuisine et une moyenne de 5,21% pour les séjours, pour les chambres nous avons toujours des valeurs de 56% pour les chambre1 et 2 et de 36% pour la chambre 3.

2.1.4.3. Zone de valeurs Supérieures à 300 lux

L'ensemble des points supérieurs à 300 lux sont de 12,67%, nous additionnons cette valeur à celle des zones de confort nous obtenons 61,5% de points supérieurs à 60 lux. Donc 38,5% de points inférieur à 60 lux pour une grande partie ils concernent la cuisine dont les valeurs sont nulles (Fig 5.3), Pour les séjours une valeur moyenne supérieure à 300 lux de 10,10% si nous additionnons cette valeur à celle de la zone de confort nous obtenons 53,91%. La chambre 1 et 2 autour de 19%, donnent des valeurs importantes pour une chambre, la chambre 3 quant à elle comprend 16,81% de points supérieurs à 300 lux.

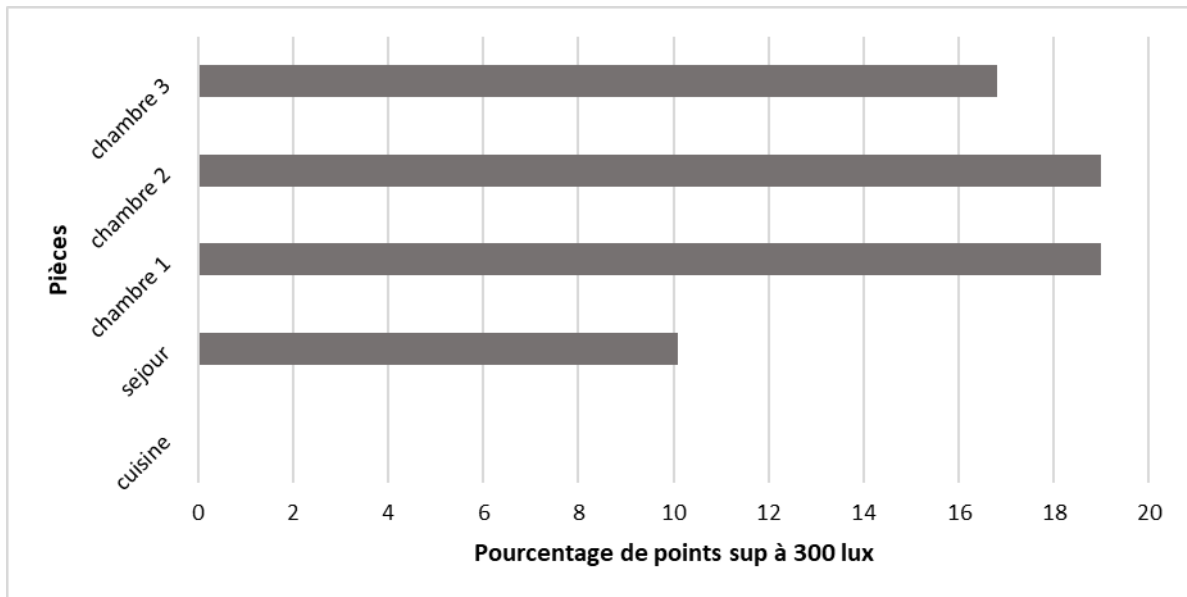


Figure 5.3 : Pourcentage des valeurs supérieures à 300 lux sous ciel couvert (Source : auteur)

2-1-5 Analyse générale des résultats sous ciel couvert :

Dans l'ensemble le niveau d'éclairement de confort est atteint à 50%, celui-ci reste pourtant au cas par cas insatisfaisant, pour la cuisine il est même intolérable, il s'agit d'une pièce nécessitant un éclairage suffisant pour l'accomplissement des tâches culinaire et ménagère, et qui par conséquent mènera à une utilisation systématique de l'éclairage artificiel à des heures où l'éclairage naturel est disponible (ceci confirme le rapport d'enquête auprès des habitants), pour les séjours, là aussi pour une pièce principale les 48% restent insuffisant.

D'un point de vue générale, ce que nous relevons de l'étude des simulations sous ciel couvert :

- 1- La saison n'influe pas de façon significative sur l'éclairement des appartements
- 2- l'heure influence l'éclairement en fonction de l'orientation de la pièce
- 3- le Niveau (l'étage) influence l'éclairement plus le niveau est haut meilleurs sont les résultats.
- 4- l'orientation des pièces influence l'éclairement reçus

2.2. Résultats des simulations sous Ciel clair

Nous utilisons la même méthode pour les simulations sous ciel clair.

2.2.1. Résultats 1^{er} étage (voir annexe 3)

2.2.1.1. Zone de confort 1^{er} étage ciel clair

Nous notons des valeurs nulles pour l'ensemble des cuisines du 1^{er} étage, le séjour présente un pourcentage moyen de 51,02%. Le pourcentage moyen de points en zone de confort de tous les appartements du premier étage étant de **43,18%**.

2.2.1.2. Zone de choix raisonnable ciel clair 1^{er} étage

Pour les valeurs entrant dans la plage de choix raisonnable, nous avons une valeur nulle pour la cuisine, et de 9,95% pour les séjours. Avec une valeur moyenne globale pour le 1^{er} Etage de **29,80%**.

2.2.1.3. Zone de valeurs supérieure à 300 lux Ciel clair 1^{er} étage

Pour les valeurs supérieures à 300 lux et susceptibles d'être une source de gêne visuelle, le niveau le plus haut observé concerne les chambres et plus spécialement la chambre 1et 2 avec respectivement 39,37% et 35,42%, alors que pour le séjour nous sommes à 20,62%, la valeur globale moyenne est de **23,78%**, cependant dans cette moyenne nous avons deux catégories l'appartement 1 et 2 autour de 18% et Le 3 et le 4 avec 28,23% et 31,5% notons que ces derniers sont orientés sud/est tandis que les premiers sont orientés nord/ouest .

1.2.2. Résultats 5^e étage (voir annexe 3)

1.2-2.1. Zone de confort Ciel clair 5^e étage

Nous sommes sur des valeurs supérieures à 50% pour toutes les pièces mis à part les cuisine qui restent à 0,13%, nous arrivons même à une valeur maximum de 91,84% pour chambre 2 appartement 2 à 12h au mois de mars et septembre, la valeur globale moyenne est de **44,39%** de points entrant dans la zone de confort.

1-2-2-2 Zone d'éclairement raisonnable 5^e étage ciel clair :

Nous notons des valeurs toujours nulles pour l'ensemble des cuisines du 5^e étage, le séjour a un pourcentage moyen de 8,84%. Le pourcentage moyen de points en zone d'éclairement raisonnable de tous les appartements du cinquième étage étant de **30,07%**.

1.2.2.3. Zone de valeurs supérieure à 300 lux Ciel clair 5^e étage

Les valeurs supérieures à 300 lux, le niveau le plus haut observé concerne les chambres et plus spécialement la chambre 1et 2 avec respectivement 34,48% et 33,50%, avec une valeur max de 83,67% pour les chambres 1 et 2 de l'appartement 3 au mois de mars et septembre à

8h alors, rappelons que ces pièces sont orientées Sus/Est que pour le séjour nous somme à 22,79%, la valeur globale moyenne est de **21,54%**.

2.2.3. Résultats 9^e étage (voir annexe3)

2.2.3.1. Zone de confort Ciel clair 9^e étage

Une amélioration notable des valeurs de cuisine avec un pourcentage globale de 8,46%, avec une valeur allant jusqu'à 18,37% pour l'appartement 1 à 12h en décembre, le reste des pièces dépassent les 50%, la valeur globale est de **46,39%**.

2.2.3.2. Zone d'éclairement raisonnable 9^e étage ciel clair

Nous notons une valeur de 1,11% pour les cuisines pour l'appartement 4 on arrive même à 18,37% en septembre à 17h notons que la cuisine en question est orientée Sud/ouest sans masque, le séjour à un pourcentage moyen de 9,27%. Le pourcentage moyen de points en zone d'éclairement raisonnable de tous les appartements du 9^e étage étant de **31,93%**

2.2.3.3. Zone de valeurs supérieure à 300 lux Ciel clair 9^e étage

Les valeurs supérieures à 300 lux, le niveau le plus haut est de 91,84%, pour la chambre 1 de l'appartement 3 à 8h alors, pièce orienté Sus/Est, pour le séjour nous somme à 20,03%, la valeur globale moyenne est de **26,49%**.

2.2.4. Analyse des résultats de simulations sous ciel clair

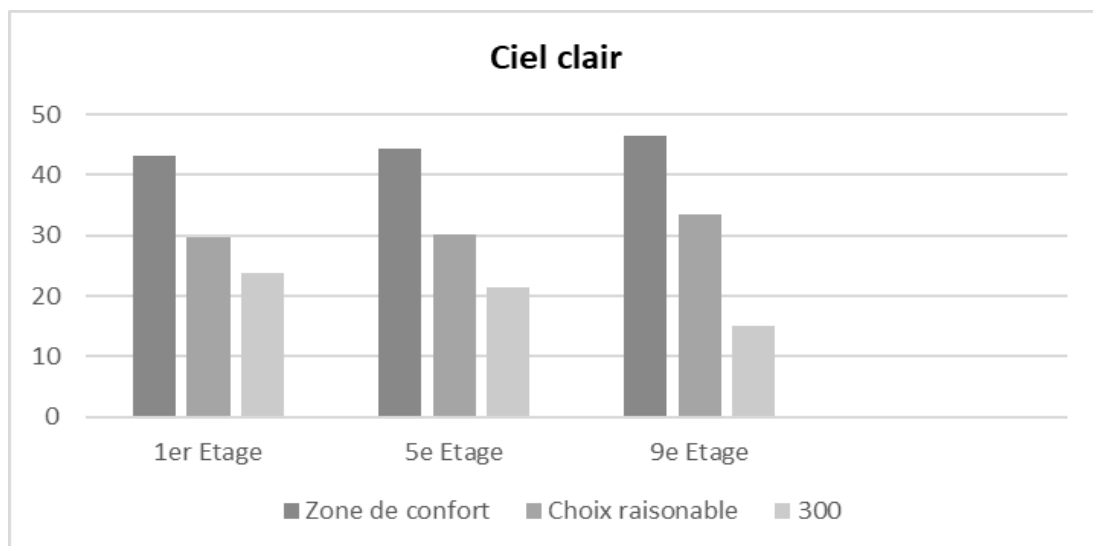


Figure 5.4 : Comparatif des éclairagements résultants sous ciel clair (Source : auteur)

2.2.4.1. Zone de Confort

Nous remarquons une baisse du niveau de confort de 48,56% pour le ciel couvert à 44,56 pour le ciel clair nous verrons plus bas que cet écart est rattrapé par l'augmentation des points de plus de 300 lux, la disparité concernant les cuisines reste présente avec néanmoins une valeur max de 8,46% pour le 9^e étage.

Pour les séjours les valeurs restent autour de 44%. Pour les chambres comme pour les valeurs globales les valeurs baissent pour la zone de confort pour augmenter en valeurs supérieur à 300 lux.

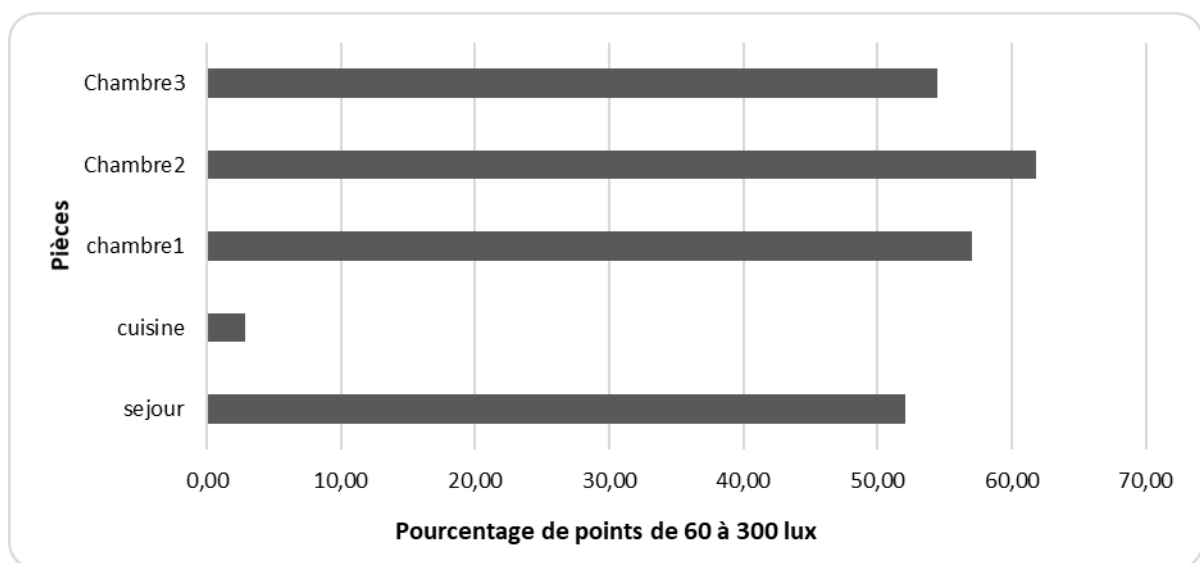


Figure 5.5 : Pourcentage des valeurs entrant dans la zone de confort (60 à 300 lux) sous ciel clair (Source : auteur)

2.2.4.2 Zone de choix Raisonnable

Pour le choix raisonnable la moyenne globale baisse légèrement de 31,13% à 30,6%, l'augmentation concerne le séjour on passe de 5,21% sous ciel couvert à 9,35% sous ciel clair.

2.2.4.3 Zone de valeurs Supérieur à 300 lux

Nous avons 23,93% des points qui sont supérieurs à 300 lux, ce qui est considérable. Les chambres sont les plus touchées avec jusqu'à 41% en moyenne pour le 9^e étage, par contre les séjours sont à 21,14%, et pour la cuisine nous avons trois cuisines qui atteignent des valeurs supérieures à 300 lux fait exceptionnel et ceci pour le 9^e étage.

Si nous additionnons les valeurs de confort a ceux supérieurs à 300 lux nous obtenons :

Sous ciel couvert valeurs supérieur à 60 lux : 61,5% (avec 12,67% + 300lux)

Sous ciel clair valeurs supérieures à 60 lux : 68,49% (Avec 23,93% + 300lux)

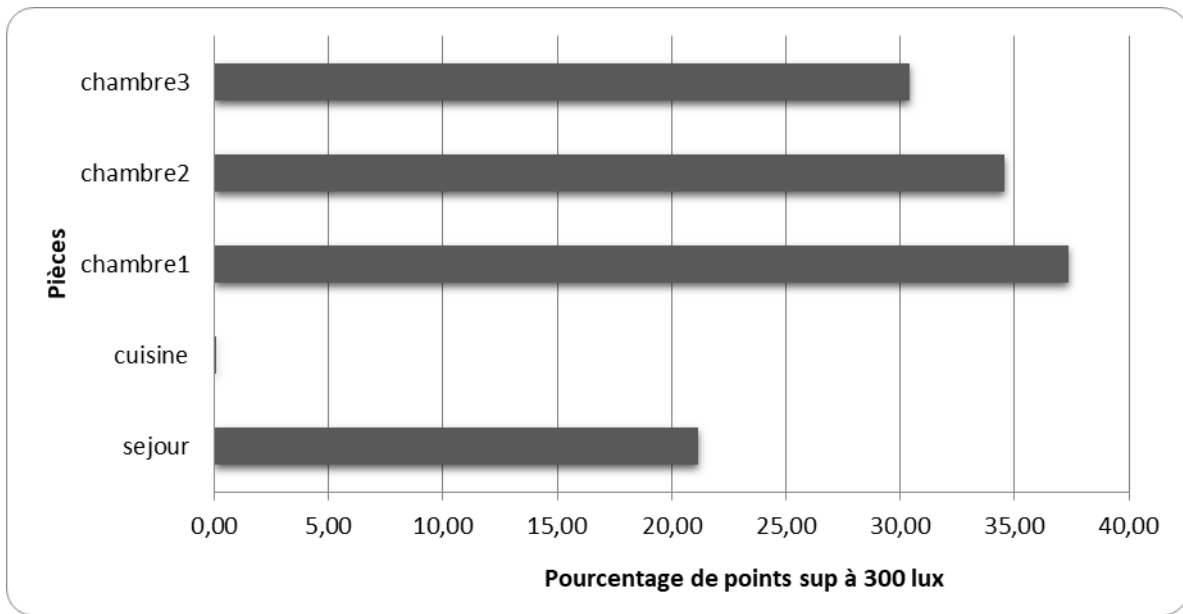


Figure 5.6 : Pourcentage des valeurs supérieures à 300 lux sous ciel clair (Source : auteur)

2.2.5 Analyse Générale des résultats sous ciel clair

Même sous ciel clair l'éclairement de confort ne dépasse pas les 44,56%, il est rattrapé par les valeurs supérieures à 300lux pour atteindre les 68,49%, avec des valeurs de tâche qui peuvent être très importante qui nécessite l'utilisation d'une occultation pour limiter l'éblouissement, et des espaces qui au contraire n'atteigne même pas le minimum nécessaire au confort visuel (60lux) les cuisines en particulier sont le grand point faible de cette conception.

Par ailleurs nous confortons les résultats du ciel couvert à savoir :

- 1- La saison n'influe pas de façon significative sur l'éclairement des appartements
- 2- l'heure influence l'éclairement en fonction de l'orientation de la pièce
- 3- le Niveau (l'étage) influence l'éclairement plus le niveau est haut, meilleurs sont les résultats.
- 4- l'orientation des pièces influence l'éclairement reçus.

2.3. Synthèse simulations

Dans cette partie nous avons démontré que l'éclairage naturel n'est pas optimisé, au contraire, dans les logements étudiés, bien que nous n'ayons pris en considération que les pièces

principales, si nous devons prendre en considération tous les espaces (circulation, SDB, WC) le constat serait plus lourd. Au-delà du confort dû à l'éclairage naturel, cela implique une consommation d'énergie qui peut être évitée dans un pays comme le nôtre où nous bénéficions d'un potentiel d'éclairement naturel très important.

L'analyse des résultats des simulations nous a permis aussi de faire ressortir les facteurs déterminant l'éclairement reçus dans nos logements de référence, une même pièce peut recevoir un niveau d'éclairement différent selon son orientation et le niveau où elle se trouve. Partant de ce constat nous allons tenter dans ce qui suit de déterminer comment ces deux paramètres peuvent influencer l'éclairement des locaux.

3. Facteurs déterminant les niveaux d'éclairement

L'évaluation des conditions de confort effectué nous permet de faire ressortir entre autres information, certains facteurs déterminants, les plus marquant étant l'orientation et le niveau, nous parlons ici de l'orientation de la prise de jour d'une pièce et non pas de l'appartement, ces derniers bénéficiant d'une double orientation, n'ont pas présentés dans l'ensemble de différence marqué. Pour le critère étage par contre nous avons relevé une gradation de l'éclairement en fonction du niveau, nous allons dans ce qui suit développer ces deux paramètres.

3.1. Facteur Orientation

Pour étudier l'influence de l'orientation sur l'éclairage naturel, nous avons choisis de comparer les simulations effectuées sur les quatre appartements, et cela pour une même date : le 22 sept tout au long de la journée (8h, 12h et 17h). Pour cela nous avons pris en considération les données du séjour.

Nous avons travaillé sur l'étage intermédiaire (Le 5ème étage), cette comparaison a été faite en trois étapes :

- 1- Comparaison des rendus image des photomètres permettant de visualiser la propagation de la lumière naturelle dans la pièce (modélisé par 3DS MAX Design).
- 2- Comparaison des mesures obtenues grâce aux fichiers CVS, donnant les valeurs de l'éclairement total obtenu pour les 49 points de mesure par pièce.
- 3- Comparaison du pourcentage de points de mesure entrant dans la zone d'éclairement acceptable (obtenu grâce au traitement des données par Matlab).

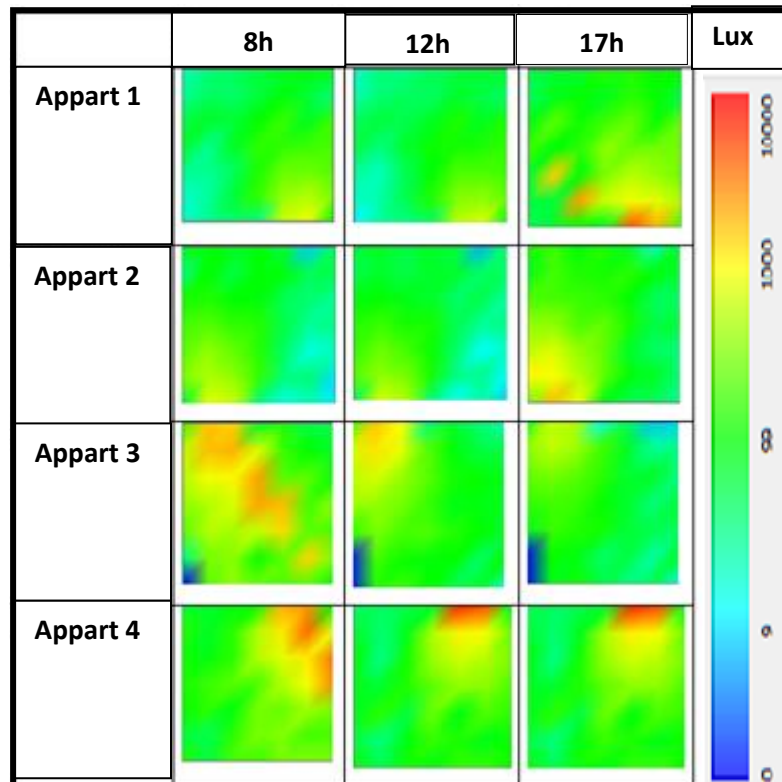
Toutes les modélisations étant effectuées sous ciel clair et sous ciel couvert nous traitons les deux cas.

3.1.1. comparaison des rendus

Les images de rendu suivantes permettent de constater l'éclairement lumineux total (direct + indirect) en « Lux » selon une échelle logarithmique, plus on s'approche de la couleur rouge, plus l'éclairement est important.

3.1.1.1. Sous Ciel clair

Tableau 5.5 : Rendu photomètre séjour pour la date des 22 Sept 5eme étages sous ciel Clair (Source : auteur)

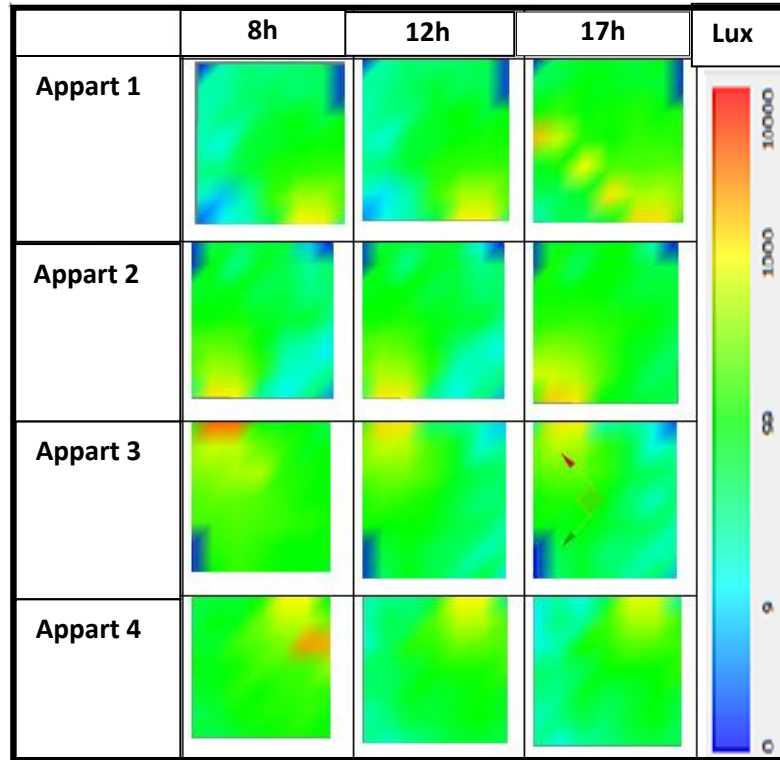


Ce tableau (Tab.5.5) nous permet de constater que les taches les plus importantes, correspondant à la tache solaire dans le cas de ciel clair, sont présentes dans les appartements 3 et 4 et de façon très significative à 8h, rappelons que les appartements 3 et 4 sont orientés Sud/Est donc reçoivent le plus d'ensoleillement et plus particulièrement dans la matinée.

Cependant nous constatons aussi une amélioration du niveau d'éclairement des appartements 1 et 2 pour les simulations effectuées à 17h. En après-midi ou cette façade bien qu'orientée Nord/Ouest bénéficie d'un peu plus de soleil en fin de journée.

3.1.1.2. Sous Ciel couvert

Tableau 5.6 : Rendu photomètre séjour pour la date des 22 Sept 5eme étages sous ciel Couvert (Source : auteur)



Sous ciel couvert (Tab.5.6) l'éclairement lumineux est moins important que sous ciel clair cependant le constat reste le même que pour les simulations sous ciel clair.

Remarque

Concernant le cas étudié (séjour) nous remarquons une distribution de l'éclairement lumineux qui n'est pas uniforme, nous avons des valeurs très importantes au niveau de la tache solaire plus ou moins près de l'ouverture selon la hauteur du soleil (variable selon l'heure et la saison) l'écart entre la tache et le fond pouvant être source d'inconfort est constaté, à noter que cela est en partie dû à la position excentrée de l'ouverture.

3.1.2. Comparaison des mesures obtenue grâce au fichiers de données

Les graphiques suivants permettent de comparer les données des 49 photomètres pour le cas des quatre appartements sous ciel clair et ciel couvert et cela à travers les données des fichiers générés après simulations. Le tableau (Tab.5.7) représente les valeurs d'éclairement total en lux mesurées par les 49 photomètres répartis en grille dans la pièce.

Chapitre 5 : Evaluation du confort et facteurs déterminants du niveau d'éclairement

Tableau 5.7 : Valeurs pour le séjour du 5eme Etage pour la date du 22 Septembre à 12h00 Sous ciel Clair (Source : auteur)

Photomètre	Eclairement (Lux)			
	Appart 1	Appart 2	Appart 3	Appart 4
1	8,84	43,5	0	108
2	23,10	656	132	42,8
3	29,00	476	171	114
4	39,20	31,3	97,2	80,1
5	526	9,21	47,2	160
6	682	21	67,8	160
7	69,4	5,55	12,7	95,4
8	15,8	216	0	49,1
9	20,1	360	169	29,9
10	46,5	287	107	85,8
11	130	123	87,3	158
12	314	28,5	95,5	124
13	358	28,4	38,2	78,4
14	235	8,62	86,6	104
15	23,3	155	145	75,1
16	17	260	298	138
17	47,4	180	184	55
18	94,4	109	198	261
19	191	36,7	129	83,8
20	190	9,33	97,1	202
21	165	14,2	67	154
22	50,7	133	392	82,4
23	32,1	167	371	64,3
24	67,4	115	273	127
25	106	115	165	237
26	117	45,1	82,4	353
27	125	23,9	84,5	341
28	154	32,2	70,1	193
29	43,3	85,3	532	96,8
30	54,3	96,5	659	28,1
31	49,3	77,7	379	115
32	70,7	64,2	223	404
33	127	37,3	116	637
34	72,3	48,6	102	499
35	130	21,3	71,8	278
36	18,3	44,6	639	61,8
37	32,9	64,9	1243	33,7
38	42,2	49,9	757	74,4
39	40,7	67,4	219	491
40	65,6	65,5	91,1	1082
41	48,4	38,1	55,9	903
42	36,5	38,8	48,8	258
43	13,9	65,3	145	38,9
44	31,6	72,8	1635	39,8
45	29,3	53,3	946	50,7
46	43,3	71,5	29,7	67,1
47	54,4	55,3	63,7	6813
48	60,8	3,92	34,4	4880
49	63,9	34,2	20,6	77,6

Nous remarquons que les appartements 3 et 4 sont les plus éclairées, avec des pics allant jusqu'à 6813 lux en un point de l'appart 4 ; Les pics correspondent à la tache solaire.

3.1.2.1. Ciel clair

Sur les graphes suivant nous pouvons suivre les taux d'éclairement en lux, pour les 49 photometres de la piece, pour chaque appartement afin de pouvoir les comparer . Ainsi nous constatons un net avantage pour les appartements 3 et 4, avec une différence de valeurs significative à 8h (Fig.5.7).

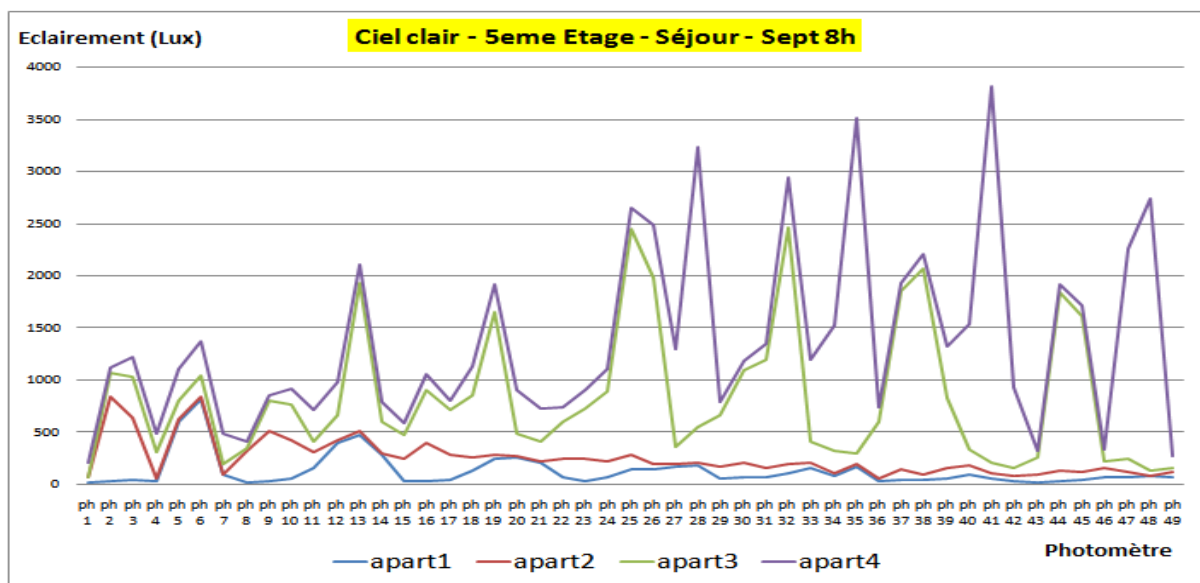


Figure 5.7 : Niveau d'éclairement lumineux en lux pour le séjour – Sept – 8h sous ciel clair (Source : auteur)

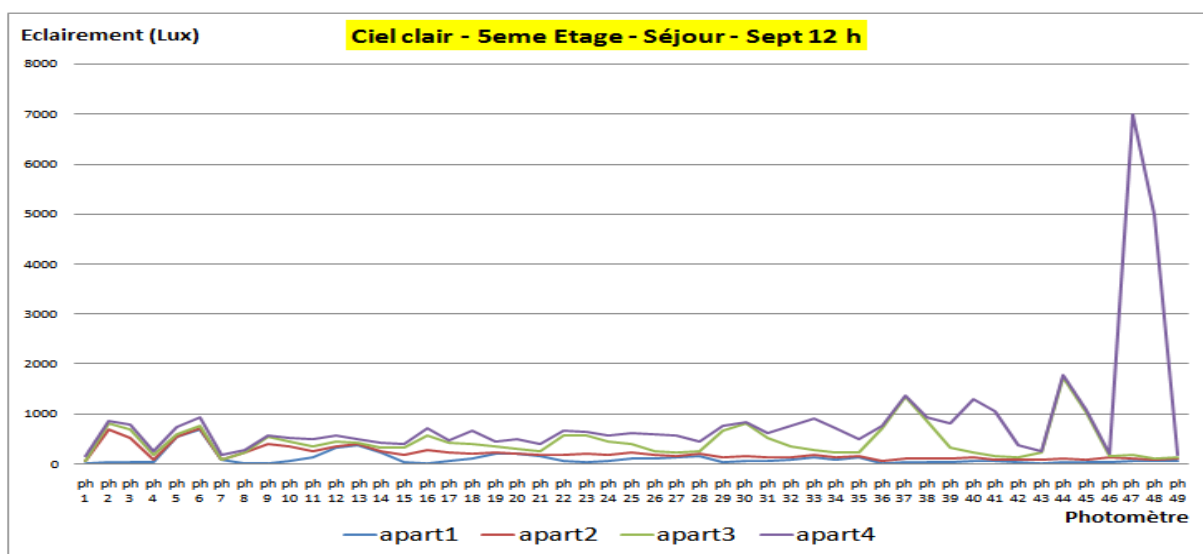


Figure 5.8 : Niveau d'éclairement lumineux en lux pour le séjour – Sept – 12h sous ciel clair (Source : auteur)

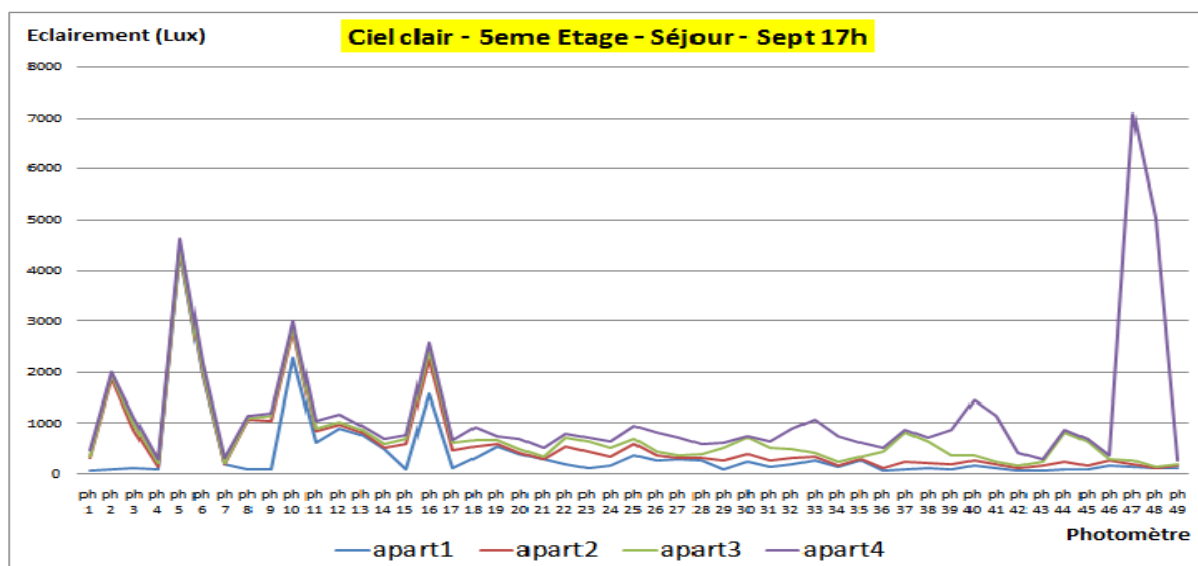


Figure 5.9 : Niveau d'éclairement lumineux en lux pour le séjour – Sept – 17h sous ciel clair (Source : auteur)

Plus en avance dans la journée moins cette différence est marquée (Fig.5.7, 5.8 et 5.9), cependant les appartements situés au *Sud/Est* restent dans l'ensemble avantagé par rapport à ceux situés au *Nord/Ouest*.

3.1.2.2. Ciel couvert

Sous ciel couvert les appartements 3 et 4 restent les plus éclairés, mais les pics sont moins importants avec une valeur max d'éclairage de plus de 4000 lux à 8h. (Fig. 5.10, 5.11, 5.12)

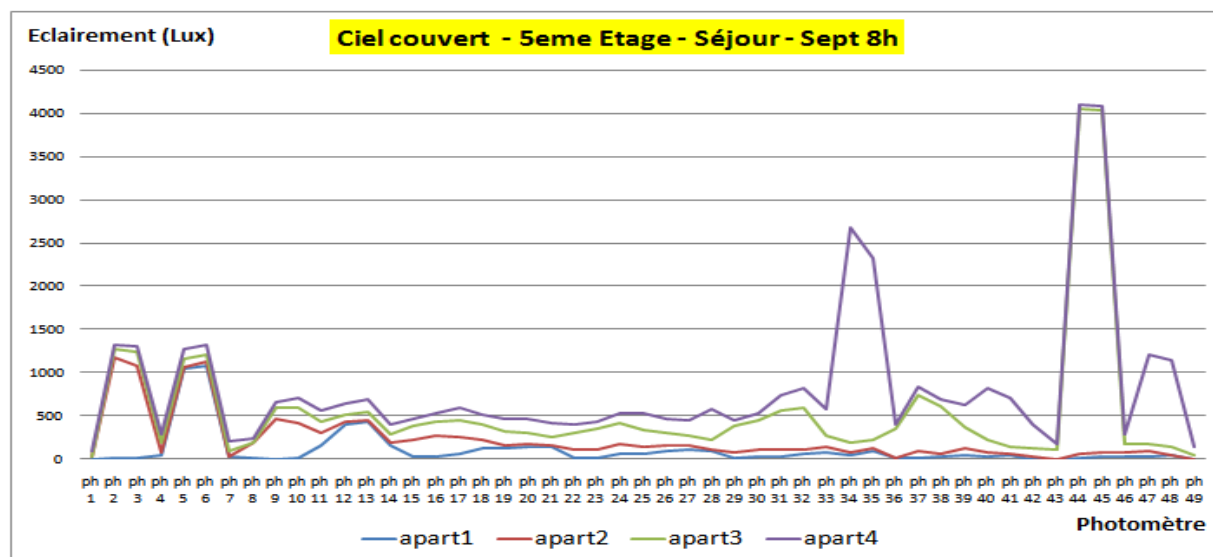
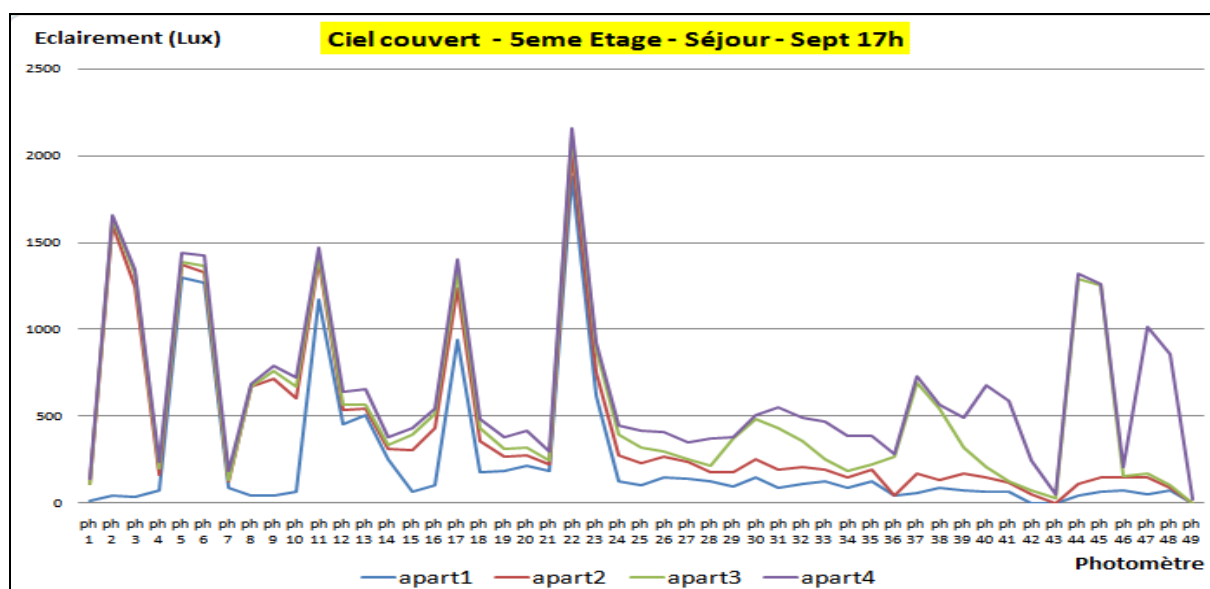
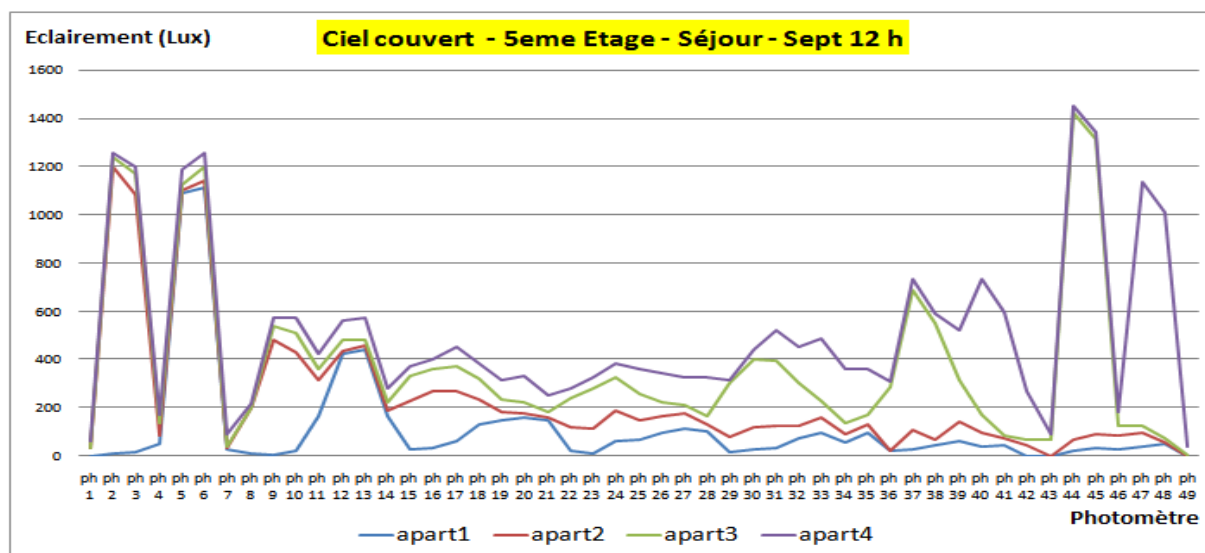


Figure 5.10 : Niveau d'éclairement lumineux en lux pour le séjour – Sept – 8h sous ciel couvert (Source : auteur)



Dans l'ensemble le résultat est le même que sous ciel clair, les valeurs étant tout de même moins importantes, et cela est dû à l'absence d'éclairement direct dû au soleil.

3.1.3. Comparaison du pourcentage de points de mesure entrant dans la zone d'éclairement raisonnable

Afin de mieux cerner le confort lumineux dans les pièces étudiées nous avons, grâce au logiciel de traitement de données « Matlab », réaliser des pourcentages représentant le nombre de point entrant dans le niveau d'éclairement de confort par type de pièce (ADEME 2003) (voir chapitre 4), pour le séjour le choix raisonnable se trouve entre 200 et 300 lux.

Précisons que les valeurs écartées peuvent être inférieurs à 200 lux ou supérieur à 300 lux.

3.1.3.1. Ciel clair

Le tableau suivant (Tab.5.8) nous permet de visualiser les pourcentages calculés pour les quatre dates retenues dans l'année et les trois horaires et cela pour les quatre appartements.

Tableau 5.8 : Pourcentage du niveau d'éclairement raisonnable pour les séjours du 5eme étage sous ciel clair

Date	Appart	(%) Points choix raisonnable Séjour 5e Etage Ciel Clair		
		8h	12h	17h
Mars	A1	8,16	2,04	16,33
	A2	6,12	6,12	8,16
	A3	14,29	6,12	6,12
	A4	14,29	10,20	6,12
Juin	A1	6,12	2,04	6,12
	A2	4,06	4,08	12,24
	A3	12,24	10,20	8,16
	A4	4,08	10,20	4,08
Sept	A1	8,16	2,04	14,29
	A2	6,12	6,12	8,16
	A3	18,37	8,16	6,12
	A4	14,29	10,20	6,12
Dec	A1	10,20	6,12	14,29
	A2	8,16	4,08	4,08
	A3	10,20	18,37	10,20
	A4	12,24	22,45	8,16
Annuel	A1	8,16	3,06	12,76
	A2	6,12	5,10	8,16
	A3	13,78	10,71	7,65
	A4	11,22	13,27	6,12
% Moyen/ heure		9,82%	8,04%	8,67%
% Moyen annuel		8,84%		

Dans le tableau (Tab.5.8), nous relevons que pour 8h et midi, les appartements 3 et 4 restent ceux où le pourcentage est le plus élevé, sauf pour le mois de juin appartement 4, si l'on considère la position du soleil le matin en été (Fig.5.13), et l'orientation de l'appartement 4 (Fig.5.14) cela est compréhensible. D'ailleurs sur l'ensemble de l'année l'appartement 3 présente plus d'éclairement à 8h que l'appartement 4. Pour les mêmes raisons l'appartement 1 reçoit plus de soleil que l'appartement 2 à 17h.

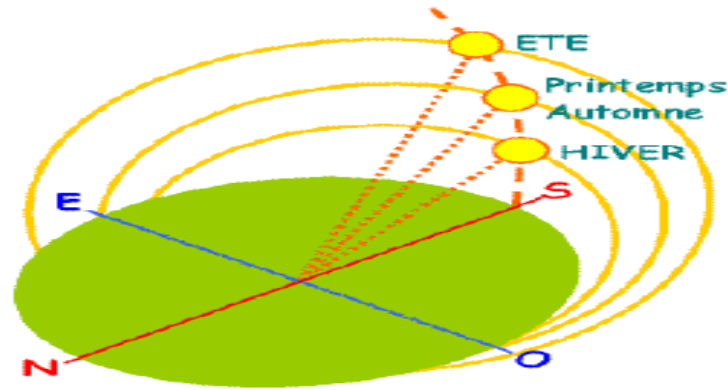


Figure 5.13 : Course du soleil selon les saisons



Figure 5.14 : Position des appartements vis-à-vis de la course du soleil (Source : auteur)

3.1.3.2. Ciel couvert

La particularité de l'éclairement lumineux sous ciel couvert est l'absence d'éclairement direct, cela implique de valeur d'éclairement plus basse est cela se ressent dans les pourcentages de choix raisonnable (Tab.5.9), sur l'ensemble les appartements 3 et 4 restent ceux qui présentent les valeurs les plus importante.

L'appartement 1 qui présente un pourcentage de 0%, à 8h et 12h, a ou des valeurs supérieures à 300lux ou inférieure à 200lux aucune valeur n'entrant dans la plage de confort.

Tableau 5.9 : Pourcentage du niveau d'éclairement raisonnable pour les séjours du 5^{ème} étage sous ciel couvert (Source : auteur)

Date	Appart	(%) Points choix raisonable Séjour 5e Etage Ciel Couvert		
		8h	12h	17h
Mars	A1	0,00	0	4,08
	A2	4,08	4,08	6,12
	A3	8,16	8,16	6,12
	A4	6,12	8,16	2,04
Juin	A1	0,00	0	12,24
	A2	4,08	6,12	4,08
	A3	8,16	8,16	6,12
	A4	8,16	6,12	2,04
Sept	A1	0,00	0	4,08
	A2	4,08	6,12	6,12
	A3	6,12	8,16	6,12
	A4	6,12	8,16	2,04
Dec	A1	0,00	0	0
	A2	4,08	4,08	2,04
	A3	10,20	6,12	6,12
	A4	14,29	10,2	2,04
Annuel	A1	0,00	0	5,1
	A2	4,08	5,1	4,59
	A3	8,16	7,65	6,12
	A4	8,67	8,16	2,04
% Moyen/ heure		5,23%	5,23%	4,46%
% Moyen annuel		4,97%		

3.1.4. Synthèse orientation

Cette petite expérience nous a permis de confirmer le rôle de l'orientation sur le niveau d'éclairement des pièces, ainsi les pièces orientées face au soleil reçoivent plus de lumière (Sud), cependant cela n'est pas un indicateur de confort lumineux en soit, car la tache solaire représentant des niveaux d'éclairement lumineux important est le plus souvent source de gêne, et par conséquent source d'inconfort.

Nous pouvons voir sur les graphiques suivants les valeurs supérieurs à 300 lux, par saisons pour le séjour sous ciel clair, là où l'éclairement est maximum.

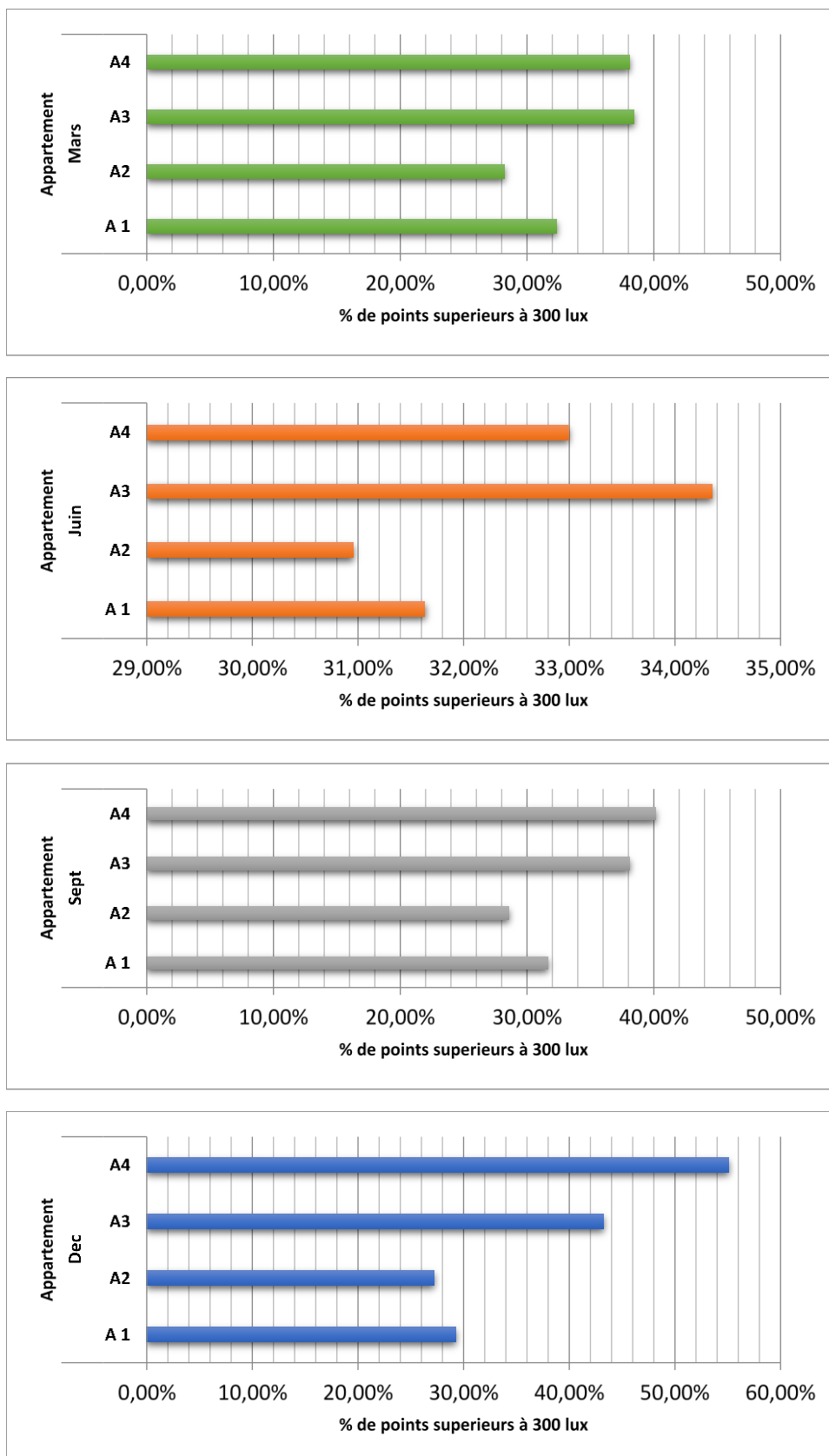


Figure 5.15 : Valeurs supérieures à 300lux pour les séjours par saison (Source : auteur)

Ainsi sur la (Fig.5.16) nous constatons des valeurs importantes pour les appartements 3 et 4 situé au Sud-Est, ces valeurs peuvent être contrôlées par la mise en place de protections.

Ce que nous avons constaté aussi c'est que, atteindre la plage de confort n'est qu'en partie tributaire de l'orientation, d'autres paramètres entre en jeux, entre autres, une meilleure distribution des rayons lumineux à l'intérieur de la pièce permettrait d'augmenter le confort avec un écart moins important entre les différents points de la pièce.

3.2. Facteur Etage

Dans le même esprit de l'étude de l'implication de l'indicateur orientation nous allons présenter l'impact du niveau de l'étage sur l'éclairement des pièces, pour cela nous choisissons un même appartement que nous allons comparer selon les différents niveaux simulés à savoir le 1^{er} le 5^{ème} et le 9^{ème} étage pour une même date 22 sept.

Dans le cas de la comparaison par niveau nous avons relevé un autre paramètre qui est influencé en grande partie par le niveau, il s'agit des masques provoqués par l'environnement immédiat. Afin de ne pas passer à côté de cet élément déterminant nous avons opté pour deux espaces : le premier non soumis à obstruction, le second sous a obstruction (masque). Le premier étant le séjour de l'appartement 3, le second la chambre 3 de l'appartement 2 soumise à obstruction par le décrochement. Les deux ayant la même orientation. (Fig.5.16)



Figure 5.16 : Position des pièces étudiées (Source : auteur)

Cette comparaison se fera en suivant la même méthode à savoir :

- 1- Comparaison des rendu image des photomètres permettant de visualier la propagation de la lumière naturelle dans la piece (modélisé par 3DS MAX Design).
- 2- Comparaison des mesures obtenue grace au fichiers CVS , donnant les valeurs de l'éclairement totale obtenu pour les 49 point de mesure par piece.
- 3- Comparaison du pourcentage de points de mesure entrant dans la zone d'éclairement acceptable (obtenu grace aux traitement des données CVS par Matlab).

3.2.1. Sans obstruction : (Sejour Apart 3)

3.2.1.1. Comparaison des rendu image des photomètres

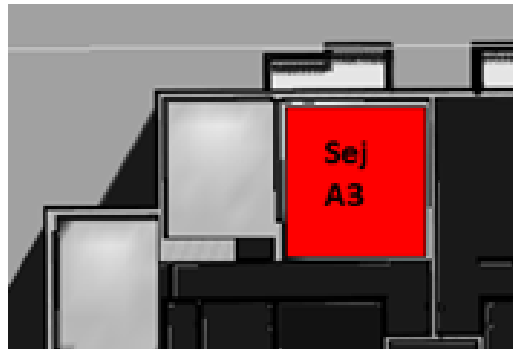
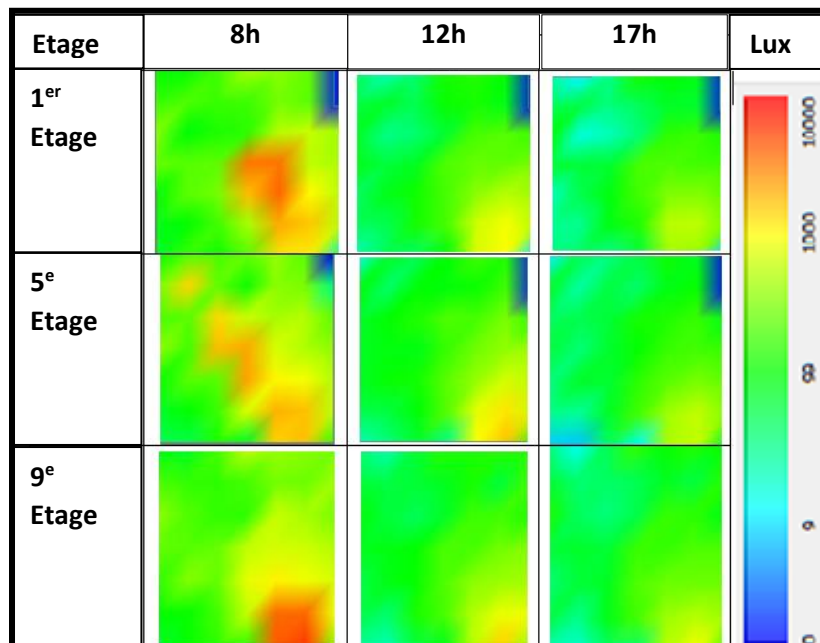


Figure 5.17 : Position du séjour (Source : auteur)

2.2.1.1.1. Ciel clair

Tableau 5.10 : Simulation Séjour appartement 3, 22 sept, ciel clair (Source : auteur)

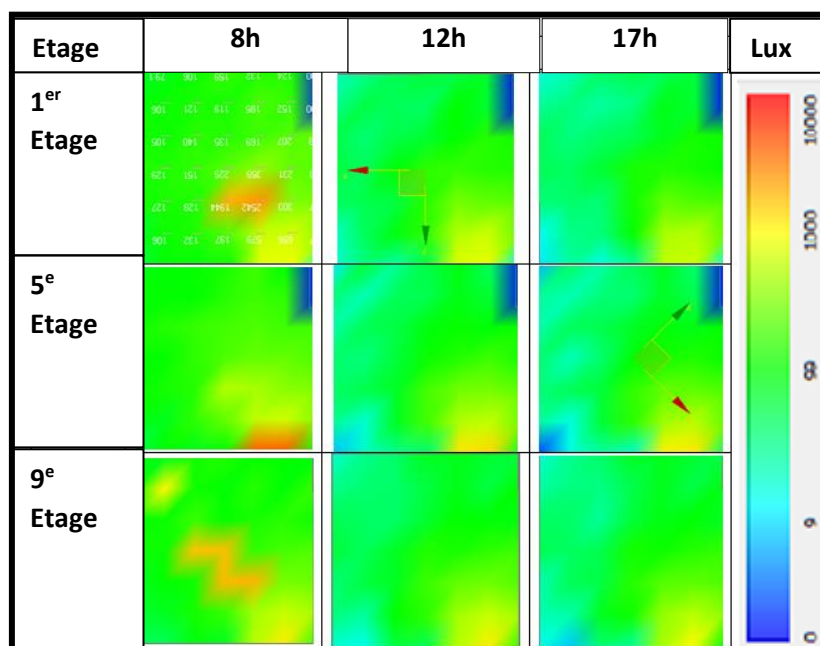


Nous remarquons une amélioration de la répartition de l'éclairage lumineux plus l'étage est élevé plus la lumière pénètre profondément dans la pièce. Bien qu'au premier étage à 8h, nous

constatons une tâche importante, la plus grande partie de la pièce ne reçoit que peu d'éclairage, ainsi nous avons un contraste entre la tâche et le fond (Tab.5.10), ce qui comme nous l'avons déjà signalé, est cause d'inconfort visuel.

3.2.1.1.2. Ciel couvert

Tableau 5.11 : Simulation Séjour appartement 3, 22 sept, ciel clair (source : auteur)



Pour le ciel couvert le constat reste le même quant au changement de niveau, avec tout de même un contraste moins prononcé dû à l'absence d'éclairement direct (Tab.5.11).

3.2.1.2. Comparaison des mesures obtenue par simulation

3.2.1.2.1. Ciel clair

Nous constatons tout au long de la journée une hiérarchisation des résultats (Fig.5.18), plus le niveau de l'appartement est haut plus l'éclairement est important. Avec des données qui restent sensiblement régulières les points (photomètres) les plus éclairés restent les mêmes plus on s'approche de l'ouverture plus les valeurs sont élevées.

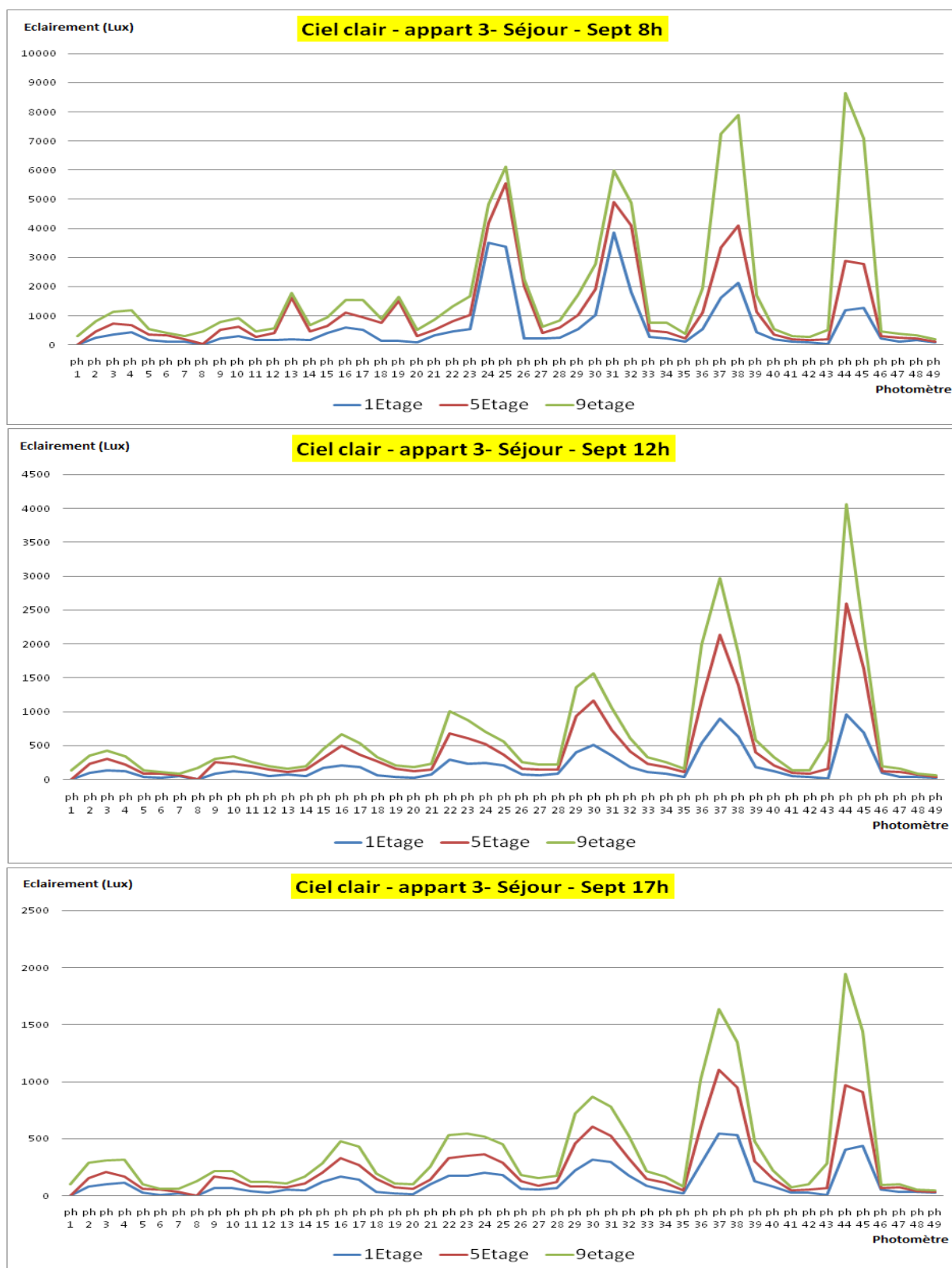


Figure 5.18 : Niveaux d'éclairement en Lux Séjour Appartement 3 pour les différents niveaux simulés sous ciel clair (Source : auteur)

3.2.1.2.1. Ciel couvert

Même constat sous ciel couvert (Fig.5.18), que pour le ciel clair (Fig.5.19), l'étage reste un facteur déterminant dans le niveau d'éclairéement. Par contre les valeurs d'éclairéement sont plus faibles et cela se ressent très clairement sur les minimas : fond de la pièce.

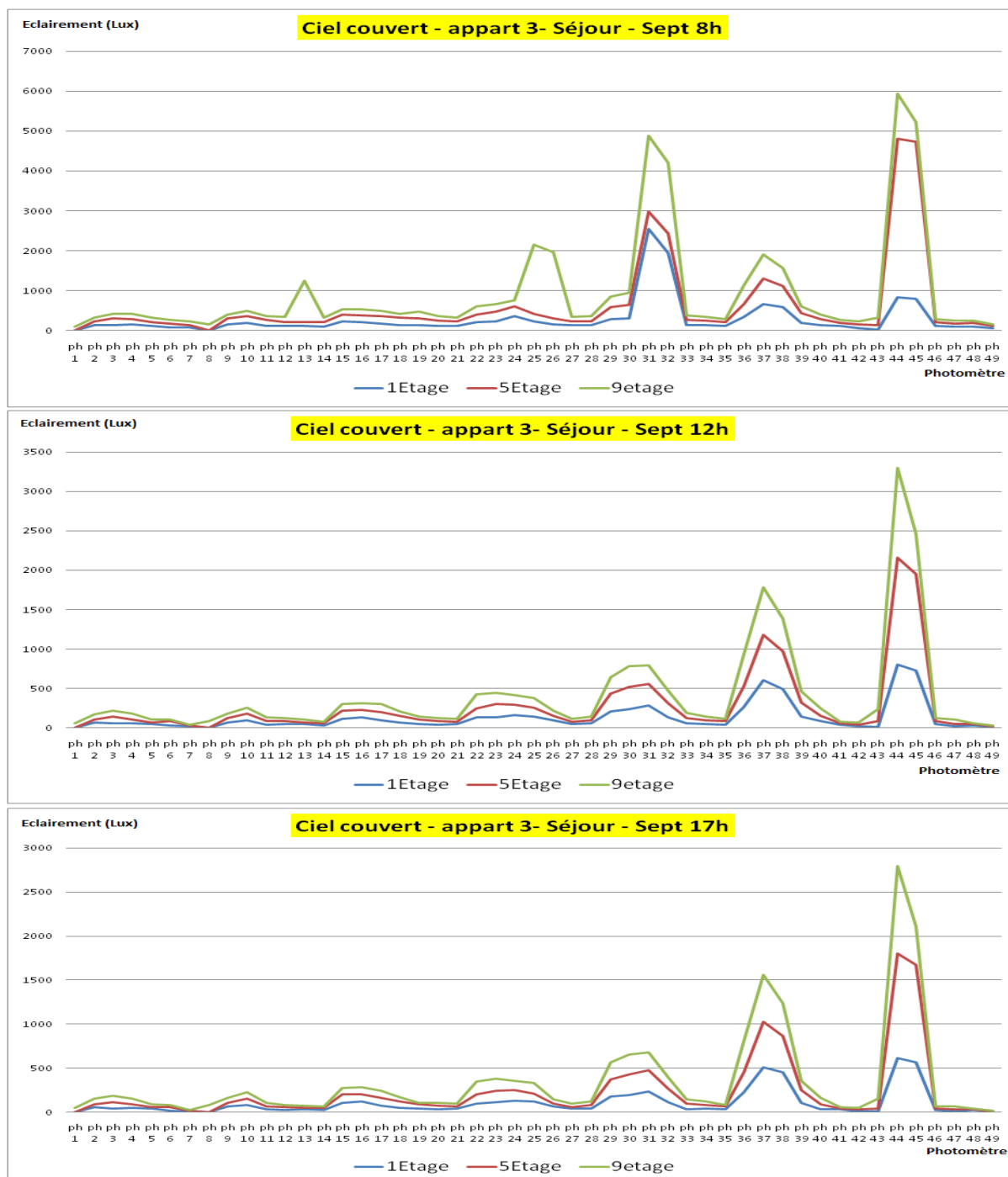


Figure 5.19 : Niveaux d'éclairéement en Lux Séjour Appartement 3 pour les différents niveaux simulés sous ciel couvert (Source : auteur)

3.2.1.3. Comparaison du pourcentage de points de mesure entrant dans la zone d'éclairement acceptable

3.2.1.3.1. Ciel clair

Ce que l'on constate sur le Tableau (Tab.5.12) c'est que la différence de pourcentage de points du choix raisonnable est beaucoup moins flagrante que sur les graphiques précédant, cela est dû au fait que la plupart des valeurs se trouvent au-dessus ou en dessous de la plage de confort. Comme on peut le voir sur cet exemple (Fig.5.20)

Tableau 5.12 : Pourcentage points choix raisonnable pour les séjours Appartement 3 sur les trois niveaux par ciel clair
(Source : auteur)

(%) de Points choix raisonnable Séjour Appart 3				
Etage	Date	Heure		
		8h	12h	17h
1er	Mars	14,29	12,24	10,20
	Juin	12,24	6,12	6,12
	Sept	20,41	10,20	8,16
	Dec	16,33	10,20	12,24
	% Moyen /heure	15,82	9,69	9,18
	% Moyen annuel	11,56		
5e	Mars	14,29	6,12	6,12
	Juin	12,24	10,20	8,16
	Sept	18,37	8,16	6,12
	Dec	10,20	18,37	10,20
	% Moyen /heure	13,78	10,71	7,65
	% Moyen annuel	10,71		
9e	Mars	22,45	8,16	10,20
	Juin	12,24	12,24	4,08
	Sept	16,33	4,08	10,20
	Dec	18,37	10,20	12,24
	% Moyen /heure	1,35	8,67	9,18
	% Moyen annuel	11,73		

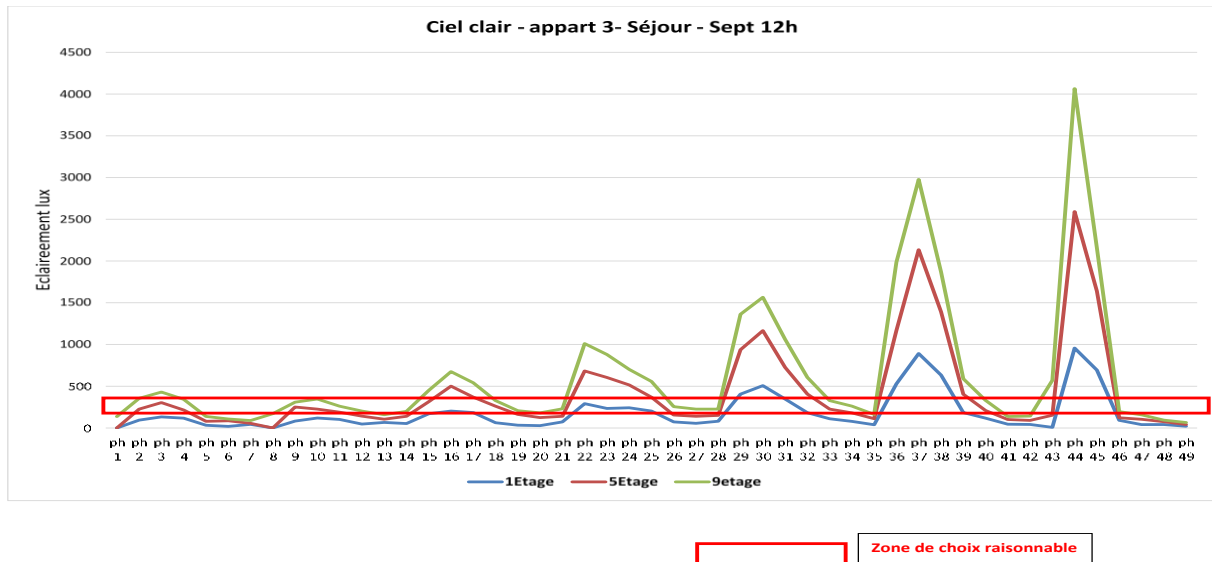


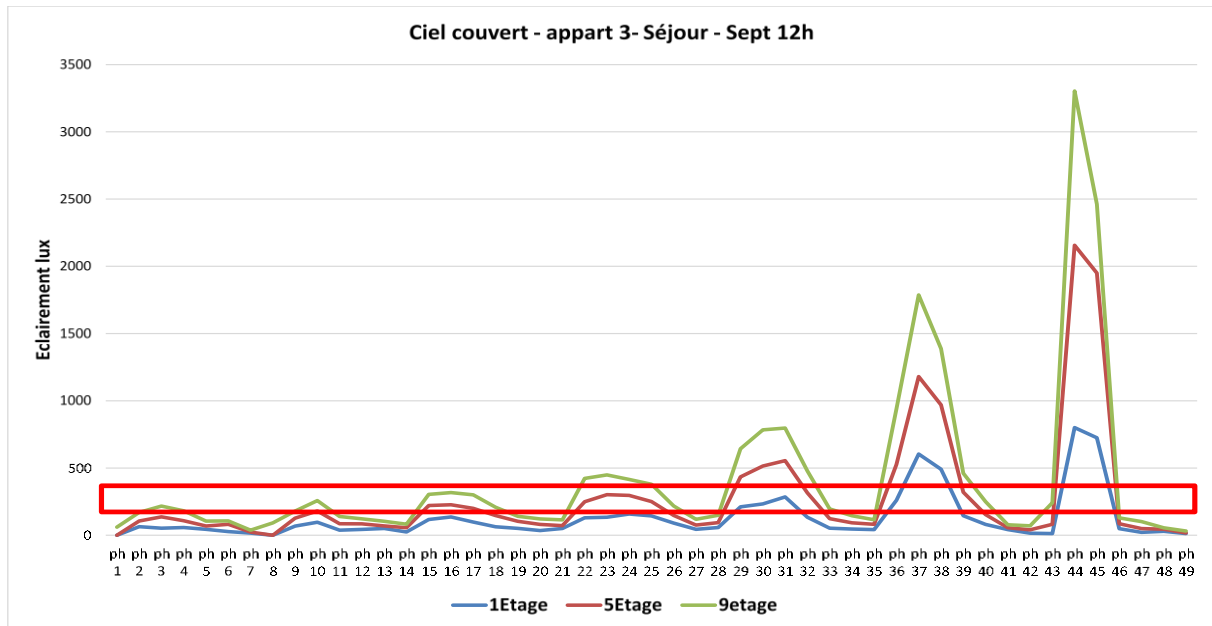
Figure 5.20 : Zone de choix raisonnable pour ciel clair A3 Sept sous ciel clair (Source : auteur)

3-2-1-3-2 Ciel couvert :

Tableau 5.13 : Pourcentage de point raisonnable pour les séjours de l'appartement 3 sur les trois niveaux par ciel couvert (source : auteur)

(%) de Points choix raisonnable Séjour Appart 3				
Etage	Date	Heure		
		8h	12h	17h
1er	Mars	10,20	8,16	4,08
	Juin	6,12	8,16	6,12
	Sept	4,08	8,16	4,08
	Dec	6,12	6,12	4,08
	% Moyen /heure	6,63	7,65	4,59
	% Moyen annuel	6,29		
5e	Mars	8,16	8,16	6,12
	Juin	8,16	8,16	6,12
	Sept	6,12	8,06	6,12
	Dec	10,20	6,12	6,12
	% Moyen /heure	8,16	7,65	6,12
	% Moyen annuel	7,31		
9e	Mars	8,16	6,12	4,08
	Juin	8,16	6,12	6,12
	Sept	6,12	6,12	4,08
	Dec	4,08	4,08	4,08
	% Moyen /heure	6,63	5,61	4,59
	% Moyen annuel	5,61		

Par ciel couvert les pourcentages sont encore plus faibles que sous ciel clair, comme nous pouvons le voir sur la (Fig.5.21) nous avons des valeurs au fond en dessous des 200 lux, tandis que près de l'ouverture on peut atteindre les 3000 lux.



Zone de choix raisonnable

Figure 5.21 : Zone de choix raisonnable pour ciel clair A3 Sept sous ciel couvert (Source : auteur)

3.2.2. Avec obstruction (Chambre 3 Appartement 2)

3.2.2.1. Comparaison des rendu image des photomètres

3.2.2.1.1. Ciel clair

Sur le tableau (Tab.5.14) nous constatons une amélioration du niveau d'éclairéement selon l'étage comme nous avons pu le constater pour le séjour, cependant, dans la matinée où le rayonnement est le plus important pour cette pièce orientée Est, nous constatons une tache moins importante pour le 5^e étage. Cela peut être justifié par le masque constitué par le bâtiment mitoyen provoquant une ombre portée sur l'ouverture de la chambre 3 comme nous pouvons le voir sur l'image si dessous (Fig.5.22).

Chapitre 5 : Evaluation du confort et facteurs déterminants du niveau d'éclairement

Tableau 5.14 : Simulation Chambre 3 appartements 2, 22 sept, ciel clair (Source : auteur)

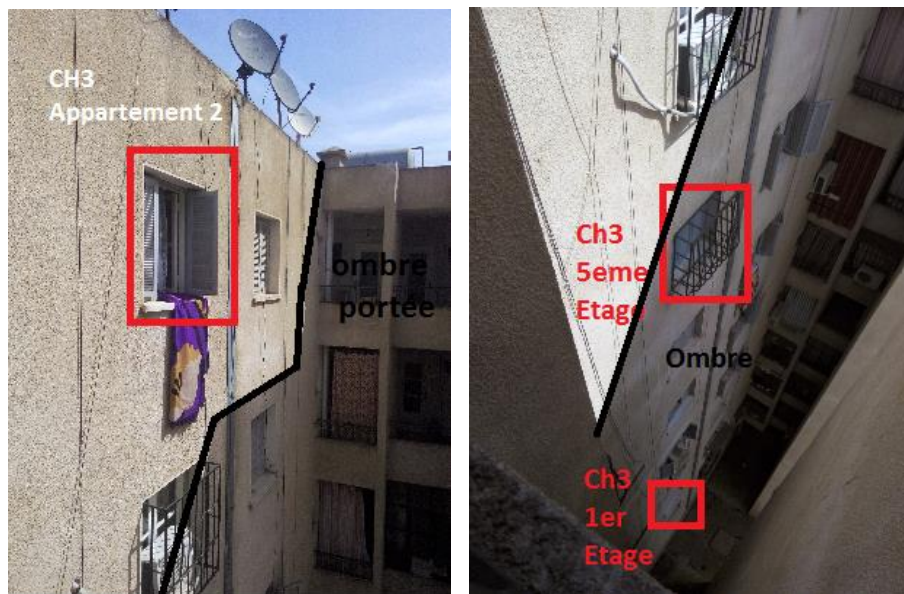
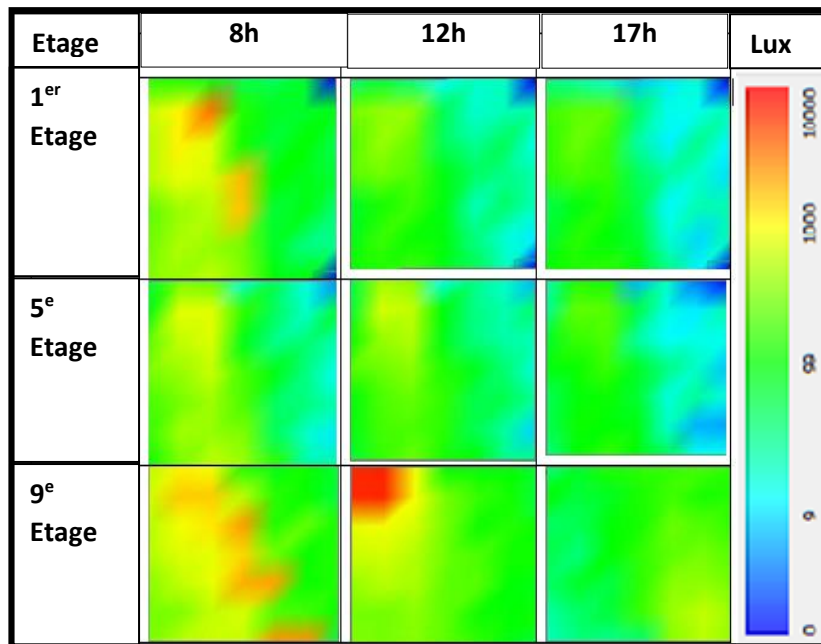


Figure 5.22 : Photos représentant la Chambre 3 Appartement 2 Dans la matinée, sous ciel clair (Source : auteur)

Le soleil qui vient de l'Est dans la matinée atteint le 9eme Etage de Façon direct, le 1er par réflexion sur le sol, tandis que le 5eme étage subi l'ombre portée par le bâtiment mitoyen se trouvant justement du côté Est.

Nous remarquons aussi que la chambre du 1^{er} étage présente une tache plus importante que celle du 5^e, cette ouverture étant plus près du sol nous imputons cela aux rayons réfléchis par ce dernier et arrivant de manière indirecte à la pièce (Fig.15.23).

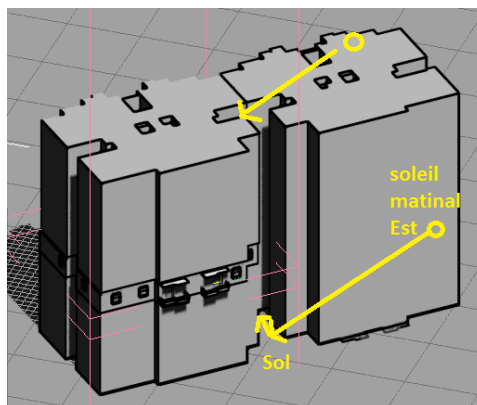
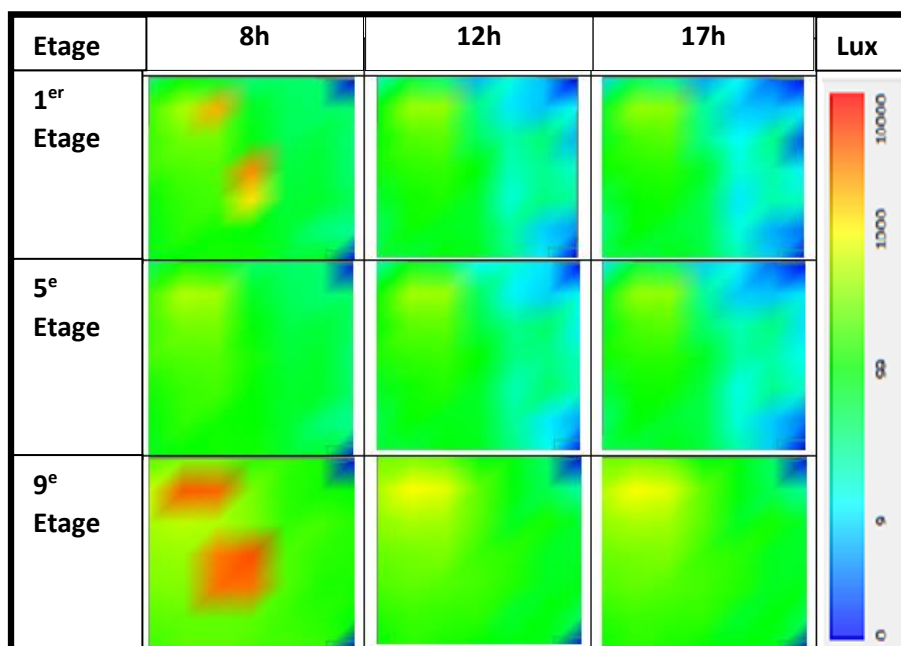


Figure 5.23 : Schéma représentant l'impact de la mitoyenneté sur le rayonnement incident (Source : auteur)

3.2.2.1.2. Ciel couvert

Même constat que pour le ciel clair, avec des valeurs d'éclairement lumineux moins importantes (Tab.5.15).

Tableau 5.15 : Simulation Chambre 3 appartement 2, 22 sept, ciel couvert (Source : auteur)



3.2.2.2. Comparaison des mesures obtenue grace aux simulations :

2.2.2.2.1. Ciel clair

Sous ciel clair l'amélioration est présente avec la hauteur, présente plus profondément dans la pièce pour le 9^e étage, par contre ce qui est remarquable (voir Fig.5.24 graphique 2), c'est qu'à 12h l'écart est très important pour le 9^e étage où nous arrivons à un pic de 7000 lux, tandis que pour le même photomètre nous sommes autour de 1000lux pour le 5^e et de 500lux pour le premier.

Le 9^e étage étant le dernier, à midi où le soleil est le plus haut dans le ciel, la chambre bénéficie d'un rayonnement direct du sud est , ce qui explique ce pic.

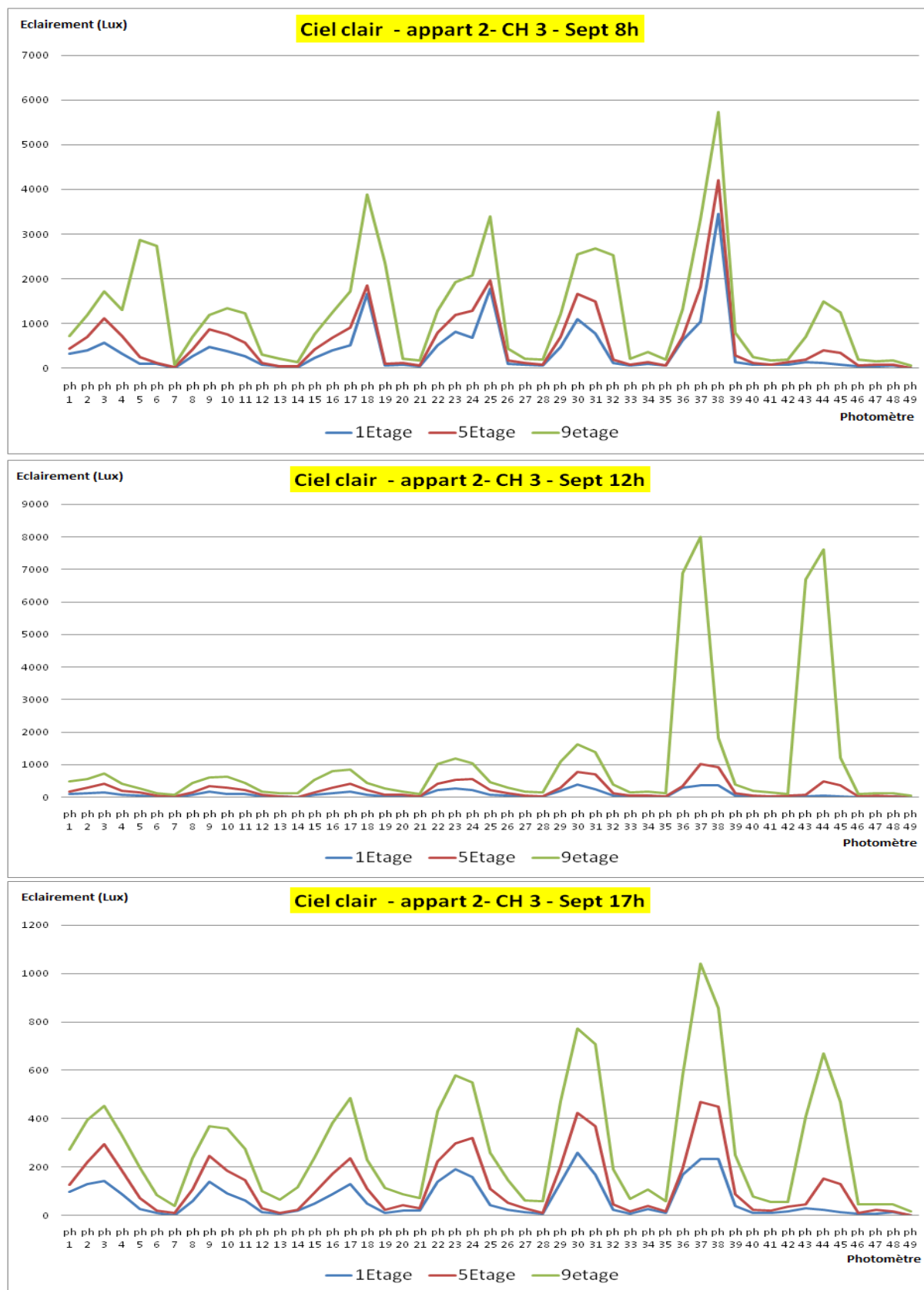


Figure 5.24 : Niveaux d'éclairement en Lux chambre 3 Appartement 2 pour les différents niveaux simulés sous ciel clair

3.2.2.2.2. Ciel couvert

Nous constatons dans les graphiques suivant (Fig.5.25), l'amélioration de l'éclairément lumineux dans l'ensemble avec la hauteur de l'étage, sauf pour 8h où nous constatons que pour le 1^{er} et 5^e étage les courbes sont presque similaires, les deux appartement subissant l'ombre portée par le bâtiment mitoyen.

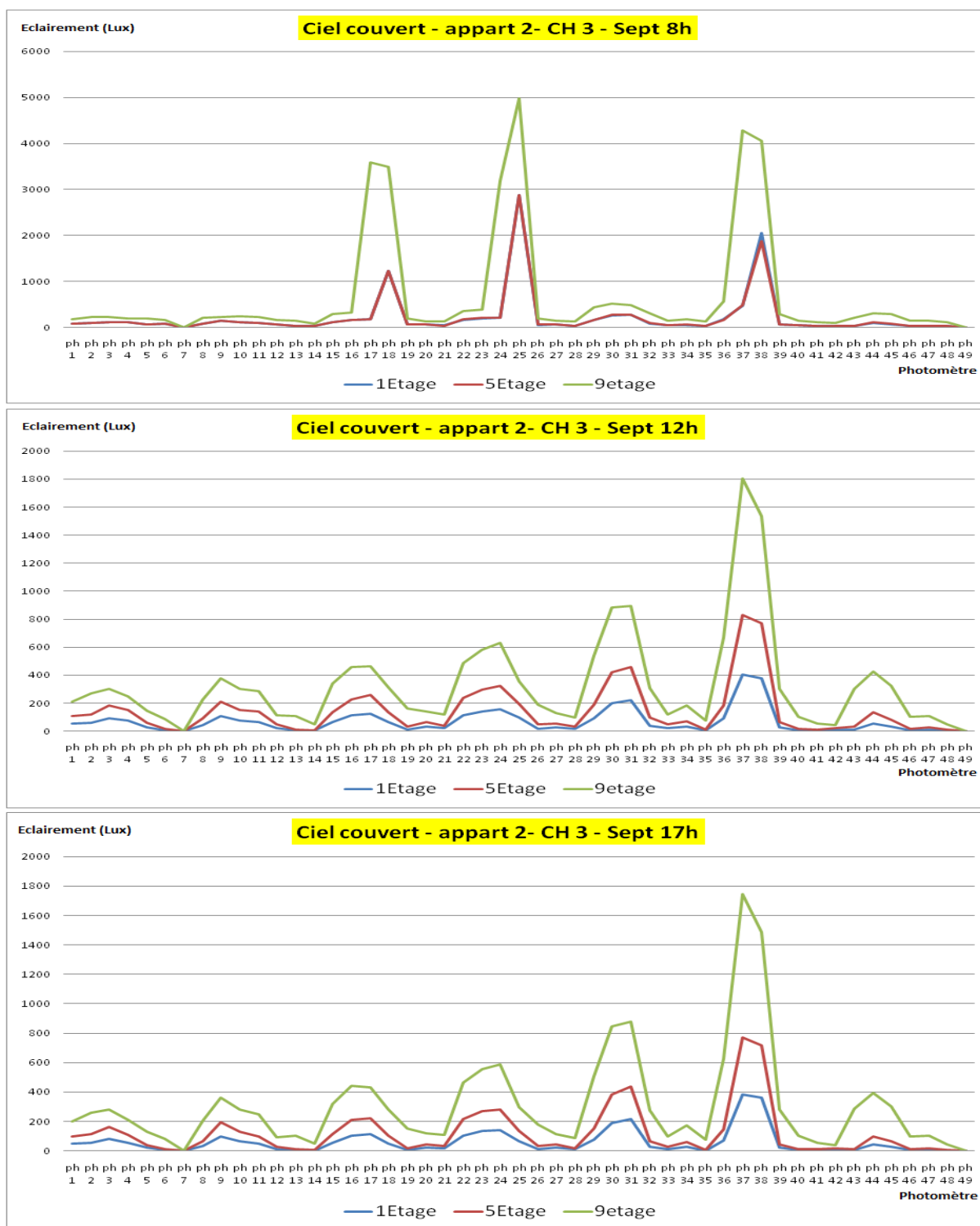


Figure 5.25 : Niveaux d'éclairément en Lux chambre 3 Appartement 2 pour les différents niveaux simulés sous ciel couvert
(Source : auteur)

3.2.2.3. Comparaison du pourcentage de points de mesure entrant dans la zone d'éclairement acceptable

3.2.2.3.1. Ciel clair

Tableau 5.16 : Pourcentage point raisonnable pour les Chambre 3 Appartement 2 sur les trois niveaux par ciel clair (Source : auteur)

(%) de Points choix raisonnable Chambre 3 Appart 2 Ciel Clair				
Etage	Date	Heure		
		8h	12h	17h
1er	Mars	12,24	24,49	26,53
	Juin	26,53	22,45	26,53
	Sept	16,33	26,53	26,53
	Dec	44,90	30,61	32,65
	% Moyen /heure	25,00	26,02	28,06
	% Moyen annuel	26,36		
5e	Mars	26,53	26,53	22,45
	Juin	30,61	26,53	16,33
	Sept	26,53	26,53	22,45
	Dec	20,41	34,69	24,49
	% Moyen /heure	26,02	28,57	21,43
	% Moyen annuel	25,34		
9e	Mars	30,61	40,82	40,82
	Juin	34,69	30,61	42,86
	Sept	32,65	42,86	40,82
	Dec	8,16	44,90	40,82
	% Moyen /heure	26,53	39,80	41,33
	% Moyen annuel	35,88		

Sous ciel clair la zone de choix raisonnable (Tab.5.16) atteint les 35% pour le 9^e étage, pour le 1^{er} et le 5^e la différence n'est pas très importante 26,36% et 25,34% (Tab.5.16) et cela pour des raisons que nous avons évoquées plus haut.

3.2.2.3.2 Ciel couvert

Sous ciel couvert (Tab.5.17) l'écart est plus marqué avec un 9eme Etage qui atteint 50% de point en choix raisonnable, l'éclairement diffus et non direct limitant ici les points supérieurs à la zone de confort et qui sont source d'éblouissement, tout en étant l'étage le plus proche du « ciel » (source de l'éclairage diffus).

Tableau 5.17 : Pourcentage point raisonnable pour les Chambre 3 Appartement 2 sur les trois niveaux par ciel couvert
(Source : auteur)

(%) de Points choix raisonable Chambre 3 Appart 2 Ciel Couvert				
Etage	Date	Heure		
		8h	12h	17h
1er	Mars	20,41	16,33	14,29
	Juin	16,33	16,33	16,33
	Sept	28,57	16,33	14,29
	Dec	51,02	16,33	16,33
	% Moyen /heure	29,08	16,33	15,31
	% Moyen annuel	20,41		
5e	Mars	20,41	20,41	14,29
	Juin	18,37	20,41	14,29
	Sept	30,61	16,33	14,29
	Dec	53,06	18,37	14,29
	% Moyen /heure	30,61	18,88	14,29
	% Moyen annuel	21,26		
9e	Mars	61,22	44,90	40,82
	Juin	63,27	40,82	44,90
	Sept	63,27	44,90	44,90
	Dec	53,06	48,98	48,98
	% Moyen /heure	62,20	44,90	44,90
	% Moyen annuel	50,00		

3.2.2.4. Synthèse indicateur Etage

Sans effet masque produit par un bâtiment mitoyen l'éclairement est d'autant plus important que l'étage est haut, avec effet de masque l'écart est plus marquant car plus le niveau est haut moins il est soumis à l'ombre portée par ce dernier. Cet écart est plus marqué sous ciel couvert ou on arrive à doubler le pourcentage de points d'éclairement raisonnable entre pièces avec et sans masque.

3.3. Synthèse générale

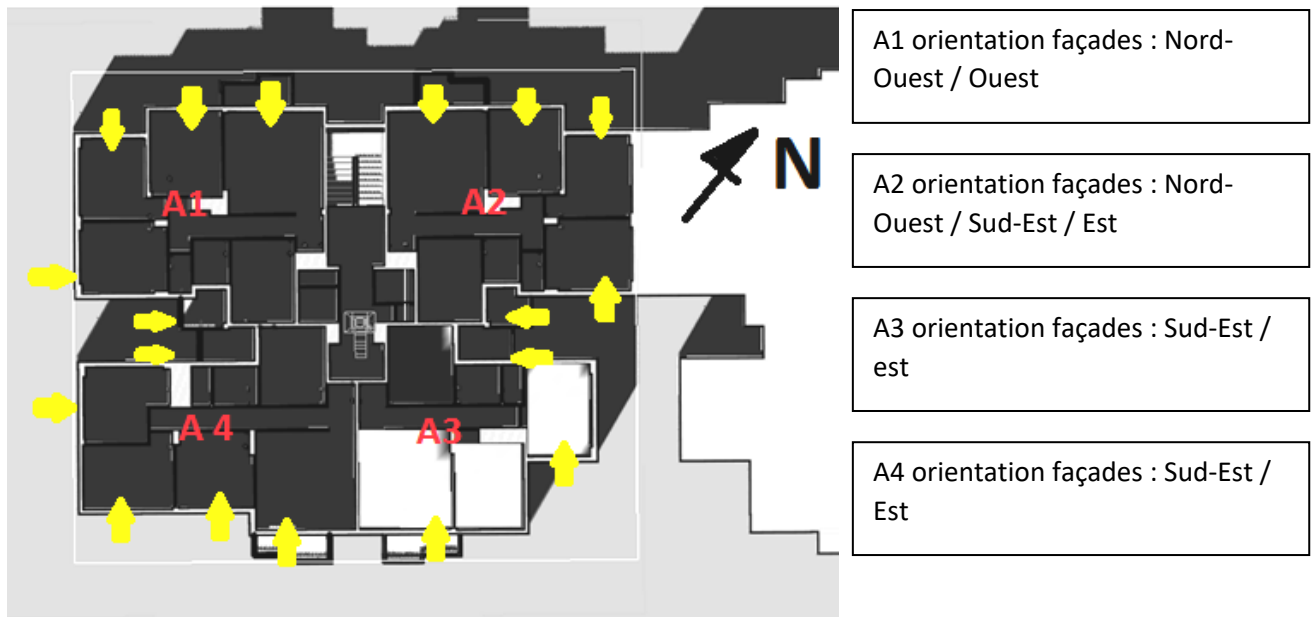


Figure 5.26 : Orientation des façades par appartement (Source : auteur)

Ce que nous retenons du critère orientation

Le niveau d'éclairement est tributaire de la course du soleil, la tache solaire correspondant à un pic des valeurs d'éclairement pouvant ainsi créer de l'inconfort. Autre source d'inconfort liée à l'éclairement direct reçu dans une pièce l'effet de contraste, où nous avons une tâche importante, tandis qu'une partie de la pièce reste sombre (Fig.5.27,5.28).

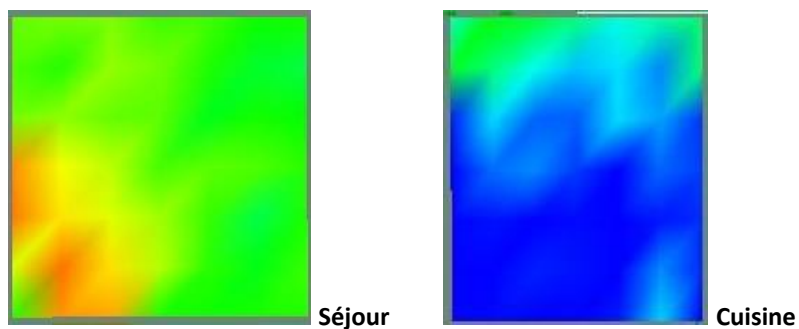


Figure 5.27 : Répartition de l'éclairement dans une pièce avec une ouverture excentrée (cas Appartement 4 , 9ème Etage par ciel clair 8h Septembre (Source : auteur)

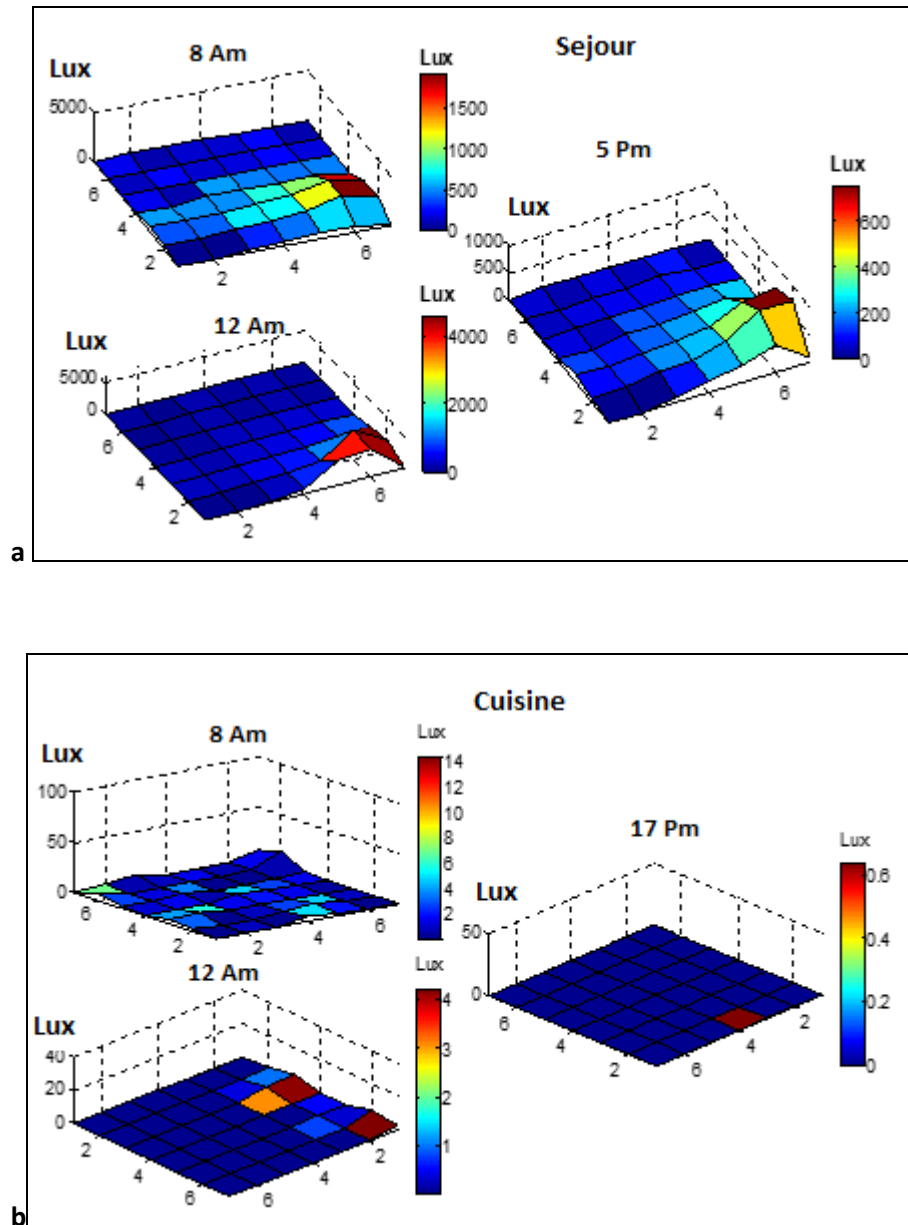


Figure 5.28 : Distribution de l'éclairage (Grille photomètre) durant la journée sous ciel clair pour le séjour (a) et la cuisine (b)
(Source : auteur)

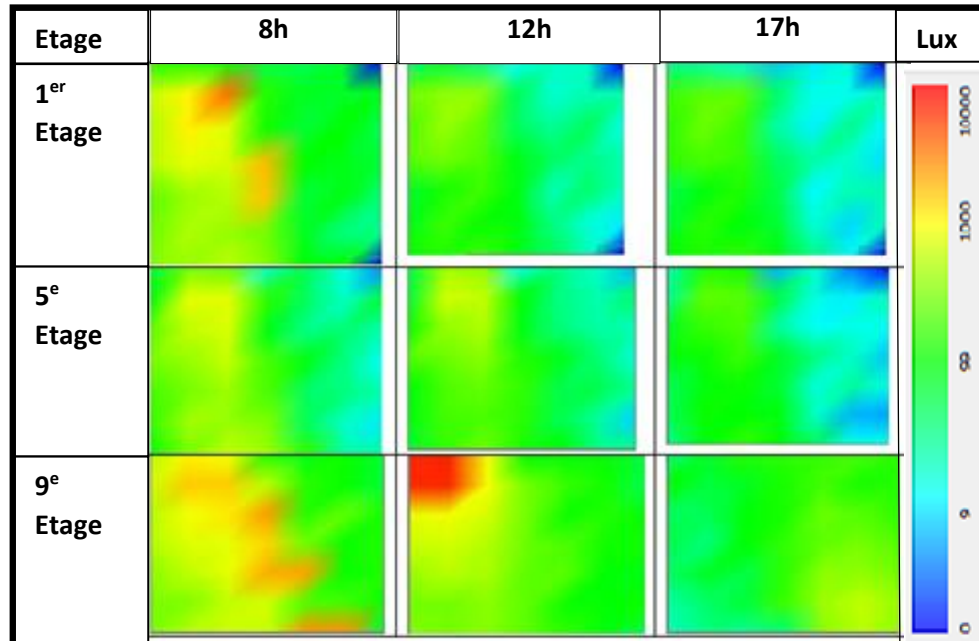
Nous remarquons aussi que l'orientation des bâtiments adjacents ou de décrochement propre au bâti peuvent accentuer l'effet de masque (ombre) (Fig.5.28) engendrant une diminution voire une absence totale d'éclairement direct, (Exemple des cuisines), et ainsi un éclairage insuffisant à l'accomplissement des tâches et donc la nécessité d'utiliser l'éclairage artificiel a une heure ou l'éclairage naturel est disponible.

Cependant l'orientation à elle seule ne peut être considéré comme facteur déterminant, la position des décrochements du bâtiment, sa position par rapport au bâtiment mitoyens la position la taille et forme des ouvertures selon l'orientation, la protection solaire lorsqu'elle est nécessaire... tous ces paramètres permettrai à l'aide des outils d'aide à la décision, de

prédéterminer le comportement du bâtiment et ainsi d'éviter des erreurs de conception ayant un impact sur le confort mais aussi sur la consommation énergétique.

Pour le critère Etage :

Tableau 5.18 : Photomètres représentant la chambre 3 appartement 2, pour le 1^{er} 5^e et 9^e étage, sept sous ciel clair



Le niveau de l'appartement influe sur la part de l'éclairement reçu dans la pièce plus le niveau est haut moins elle subit de masque produit par l'environnement qu'il soit proche ou lointain (exemple de la chambre 3 appartement Tab.5.18), proche du sol elle est tributaire du type de revêtement plus ce revêtement sera absorbant moins elle recevra d'éclairement indirect (l'éclairement total étant la somme de l'éclairement direct et indirect), plus il sera réfléchissant plus elle en recevra.

Par ciel couvert cet avantage est plus marqué car les étages supérieurs sont proches de la voûte du ciel source de l'éclairage diffus (voir chapitre 1).

Conclusion :

Le but de cette étude n'est pas de quantifier l'éclairement reçu mais de comprendre l'impact des décisions que prend l'architecte lors de la conception sur l'éclairement du bâtiment, à travers des indicateurs ; nous avons choisis l'orientation et l'étage, mais ces critères sont loin d'être exhaustif, le type d'ouvertures, les matériaux choisis, l'aménagement même, sont autant de critères qui peuvent être pris en considération. La couleur et l'indice de réflexion des matériaux utilisée à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment, l'ameublement critère qui relève de l'occupant n'a pas été pris en considération (simulation sur appartement vide) sont des surfaces qui par le nature peuvent augmenter ou diminuer l'éclairement à l'intérieur du local.

Pour améliorer l'éclairement par la conception architecturale, nous allons proposer dans le chapitre suivant des modifications et tenter de comparer les résultats afin d'apprécier leurs impacts sur l'éclairement dans les appartements étudiées .

CHAPITRE 6 : PROPOSITIONS D'AMÉLIORATION

Introduction

Suite aux synthèses du chapitre précédant nous proposons dans ce qui suit une série de modifications afin de démontrer l'impact de la conception architecturale sur l'éclairage naturel dans un bâtiment, et par conséquent sur deux paramètres essentiels : le confort visuel et l'économie d'énergie.

Ainsi nous avons choisis deux cas de figure différents :

- Celui de la cuisine pièce la moins éclairée des bâtiments étudiés, et pourtant pièce incontournable de la vie familiale algérienne, que ce soit pour l'aspect pratique (préparation des repas), ou pour l'aspect convivial (espace de regroupement familial).
- Deuxième cas le séjour différents, il s'agit d'une pièce qui est bien éclairée, mais dans laquelle la répartition de l'éclairage n'est pas uniforme.

1. Modification Cuisine

Pour la proposition d'amélioration nous avons choisis le cas le plus défavorable, il s'agit de la cuisine, la pièce qui reçoit le moins d'éclairement, et plus spécialement celle de l'appartement A3, cette pièce en plus de recevoir l'éclairage à travers la loggia est soumise à obstruction : masque de l'environnement proche. (Fig.6.1)

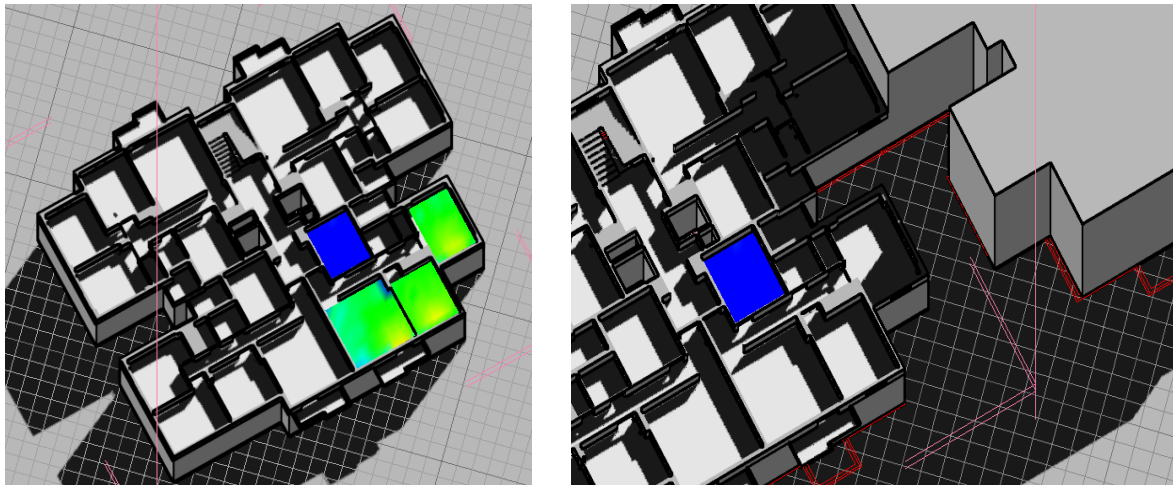


Figure 6.1 : Position de la cuisine (Source : auteur)

Pour cela nous proposons le 5eme Etage comme cas d'étude = étage intermédiaire. Avec ou sans obstruction. (Fig.6.2)

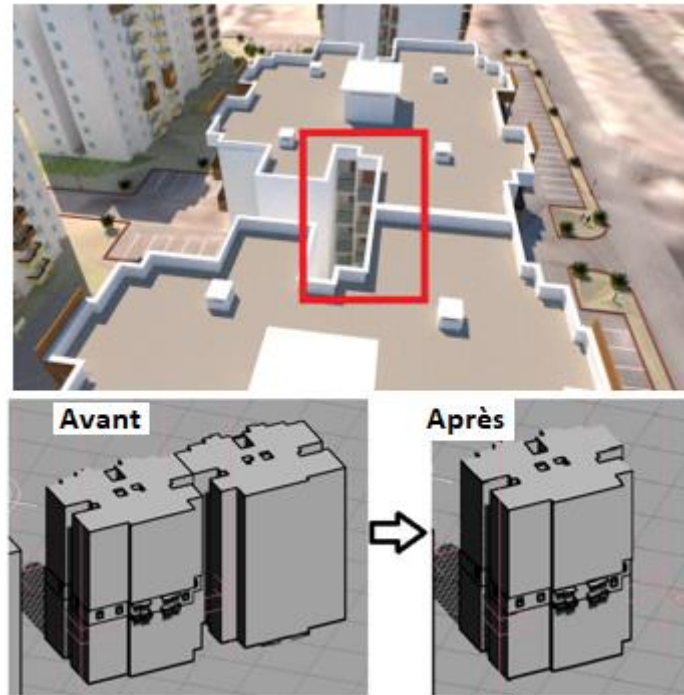


Figure 6.2 : Position de l'appartement 5ème étage avec et sans obstruction (Source : auteur)

Puis nous proposerons une modification de la taille de l'ouverture (Fig.6.3) en passant d'une ouverture de 30 par 40 cm à 60 par 80 cm.

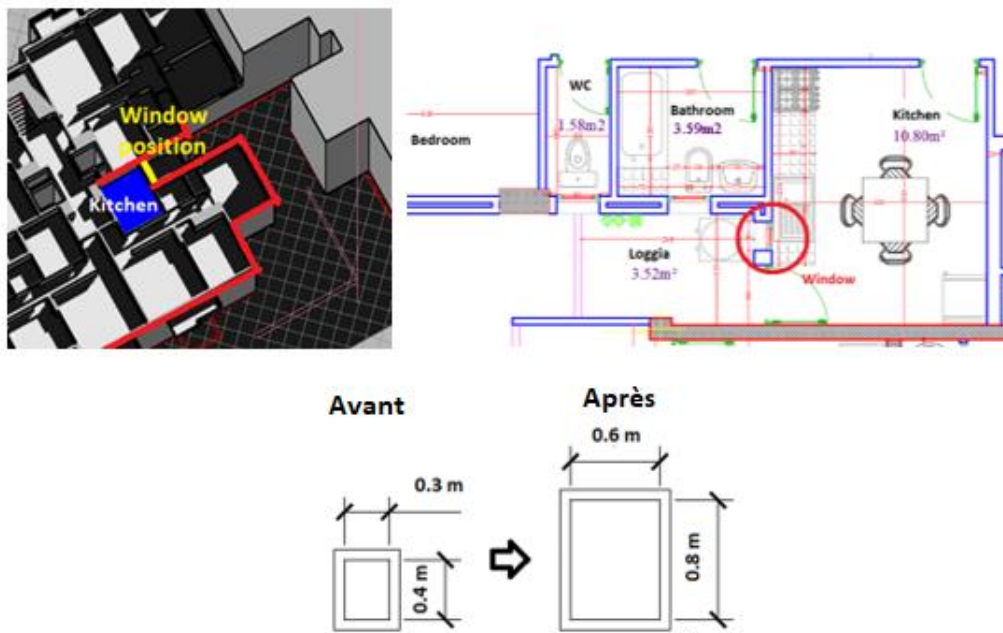


Figure 6.3 : Modifications cuisine (Source : auteur)

1.1. Modification obstruction (masque extérieur)

Pour la simulation avec et sans obstruction nous proposons les deux cas sous ciel clair et sous ciel couvert.

Tableau 6.1 : Simulation cuisine avec et sans obstruction par ciel clair (Source : auteur)

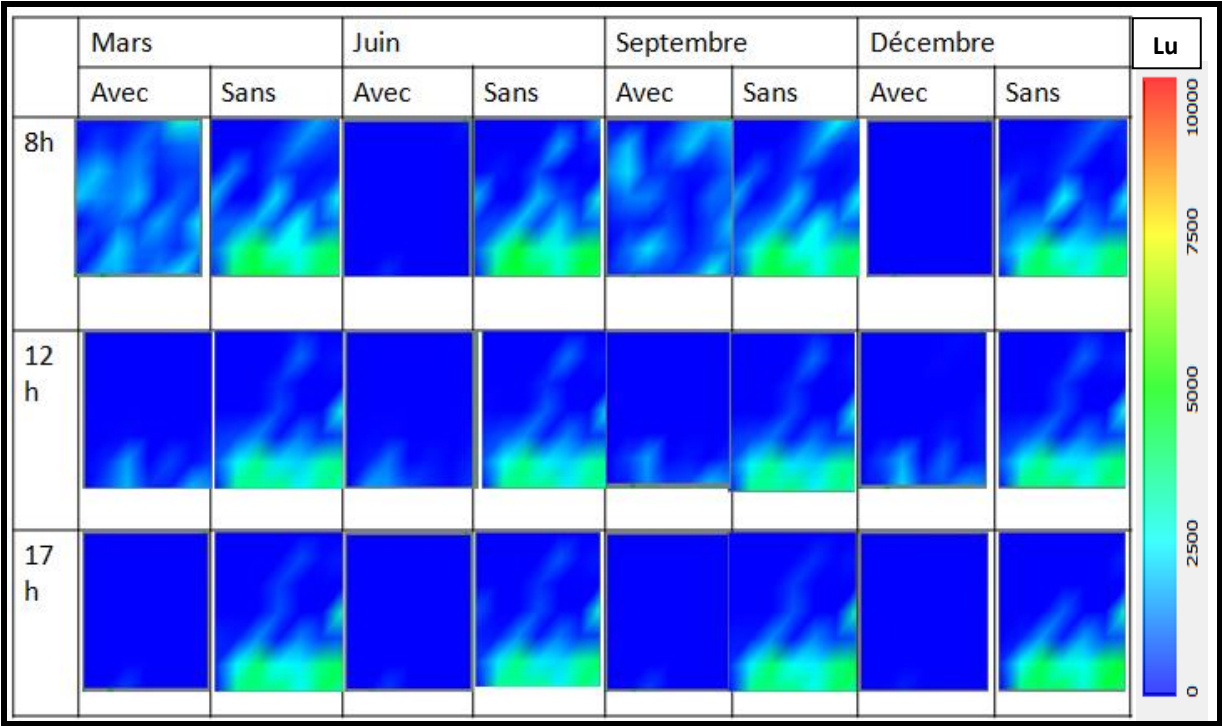
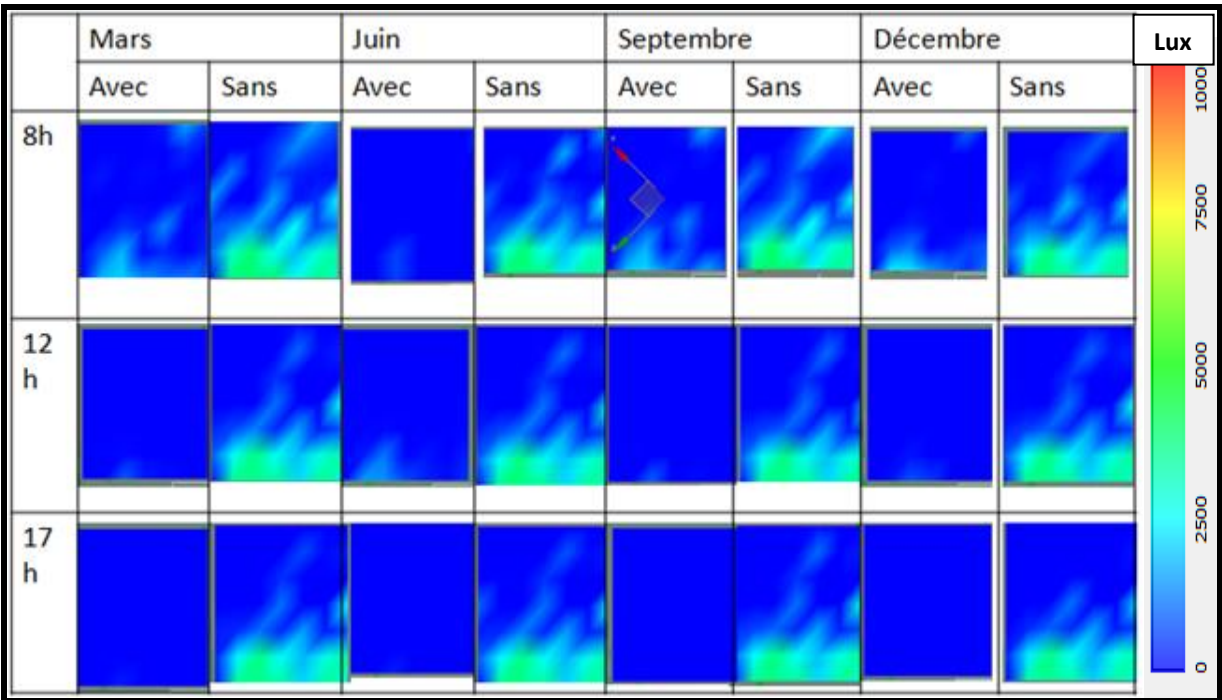


Tableau 6.2 : Simulation cuisine avec et sans obstruction par ciel couvert



Sur les Tableaux (Tab.6.1 et 6.2) nous pouvons constater une nette amélioration des conditions d'éclairement dans la cuisine que ce soit sous ciel clair ou sous ciel couvert pour 8h ou l'éclairement est le plus important (Est), nous passons d'une valeur max de 12 lux à 37 lux soit une amélioration de 25 lux (Fig.6.4-a) pour 12h et 17h la marge d'amélioration est encore plus importante (Fig.6.4-b-c).

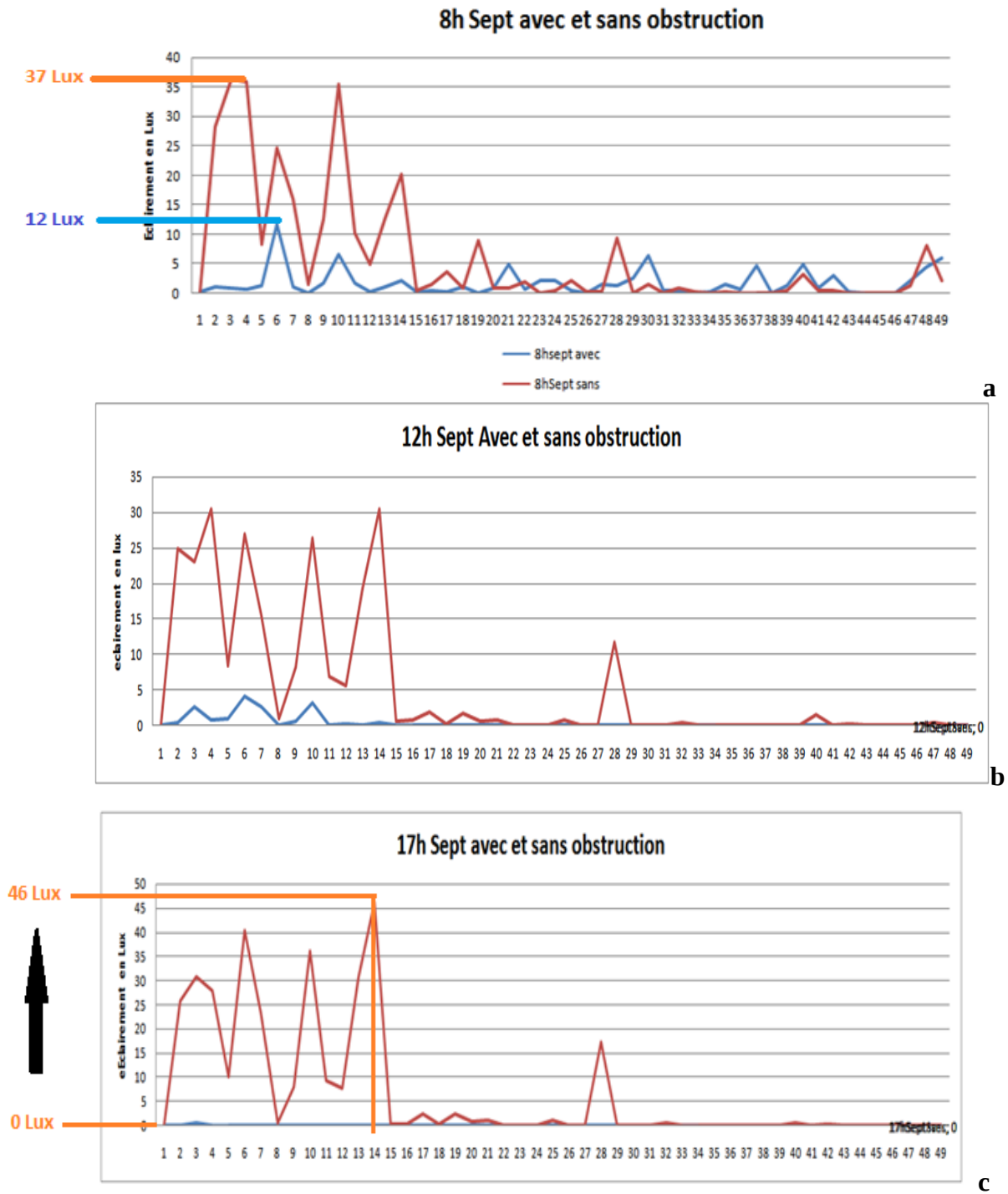


Figure 6.4 : Modification obstruction cuisine Appartement 3 (ciel clair) (Source : auteur)

Comme nous pouvons le voir sur la figure (Fig. 6.4-c) nous passons de valeurs nulle « Zéro » à 17h par exemple (point 14 du photomètre) à 46 lux.

Cela est très significatif pour une cuisine où l'éclairage est quasi absent dans la grande majorité des cas (voir enquête auprès des habitants Chapitre 3), ce qui engendre la consommation d'éclairage artificiel en plein jour.

1.1.2. Modélisation des données sous Matlab

Nous proposons dans les figures qui suivent une modélisation 3D et 2D sous Matlab des données (Fig.154, à 161) sous ciel clair et sous ciel couvert permettant la visualisation de l'amélioration à travers les quatre dates simulées pour les trois heures par jour, ainsi nous avons le résultat de l'amélioration toute au long de l'année.

Ce que l'on remarque c'est que l'amélioration est significative en termes de valeurs (2D), mais sur les schémas (3D) nous pouvons constater que même la répartition de l'éclairement dans la pièce est modifiée, l'éclairement arrive plus largement et plus profondément dans la cuisine.

Sous ciel couvert l'éclairement max de la cuisine sans obstruction, reste constant, autours de 30 lux quel que soit la saison et l'heure. Avec comme pour le ciel clair une répartition de la tâche plus large et plus profonde.

1.1.2.1 Modification obstruction

Comme nous pouvons le constater sur les diagrammes 2D et 3D l'amélioration est bien marqué, sur la 2D nous remarquons que la courbe de valeurs d'éclairement (lux) avec modification se détache nettement, de celle sans modification, sur les 3D l'amélioration est aussi présente en termes de propagation la tâche s'étalant plus largement et plus profondément dans la pièce.

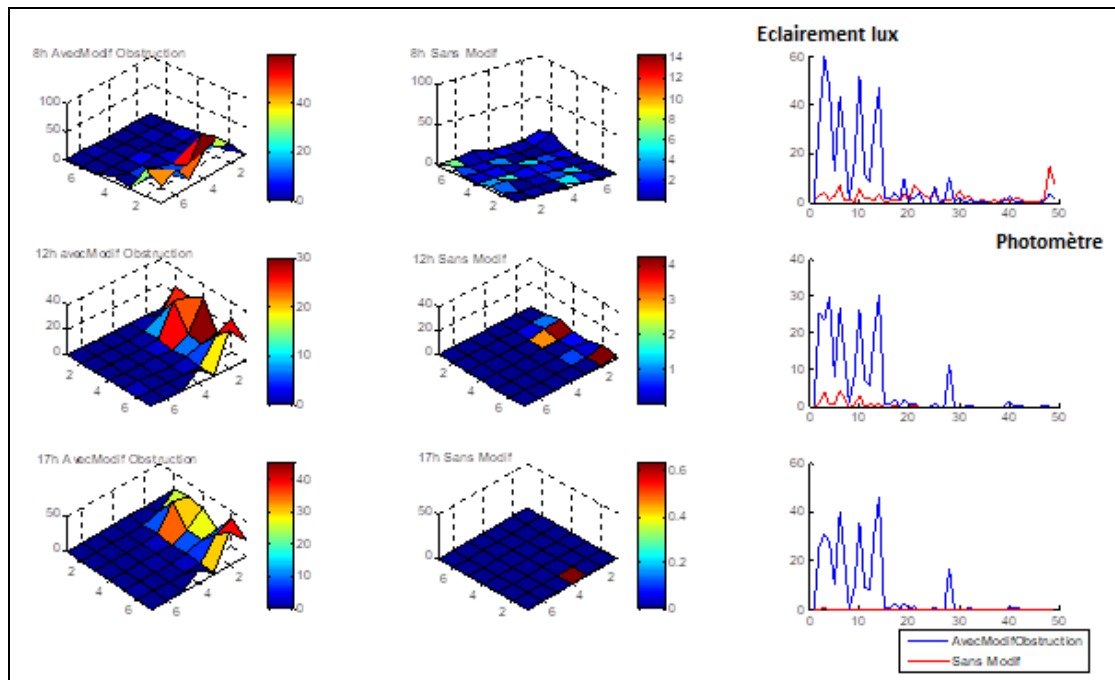


Figure 6.5 : Cuisine avec et sans obstruction, Mars Ciel Clair (Source : auteur)

Pour le mois de mars sous ciel clair (Fig.6.5), l'amélioration est significative comme nous pouvons le constater sur le diagramme 2D de valeur très basse voire nulle, nous arrivons à 60 lux maximum en matinée, en termes de distribution 3D nous constatons que la tache atteint le fond de la pièce bien qu'elle reste latérale vu la position excentrée de la fenêtre.

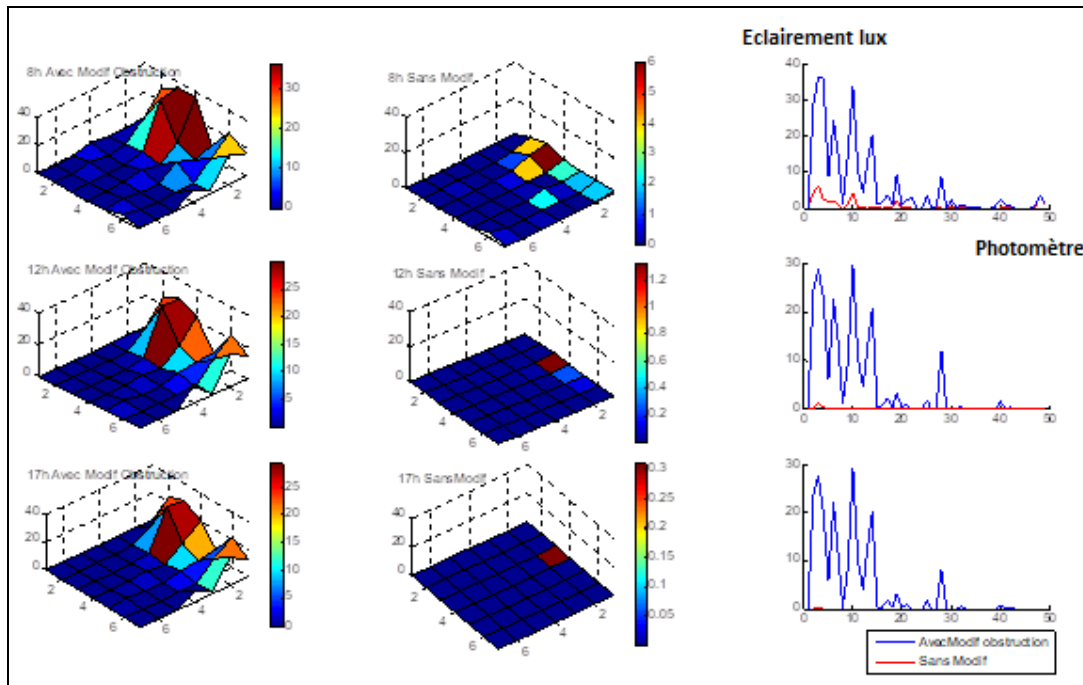


Figure 6.6 : Cuisine avec et sans obstruction, Mars Ciel couvert (Source : auteur)

Pour le mois de mars sous ciel couvert (Fig.6.6) le constat est le même que sous ciel clair mais avec des valeurs moins importantes maximum de 36 lux en matinée.

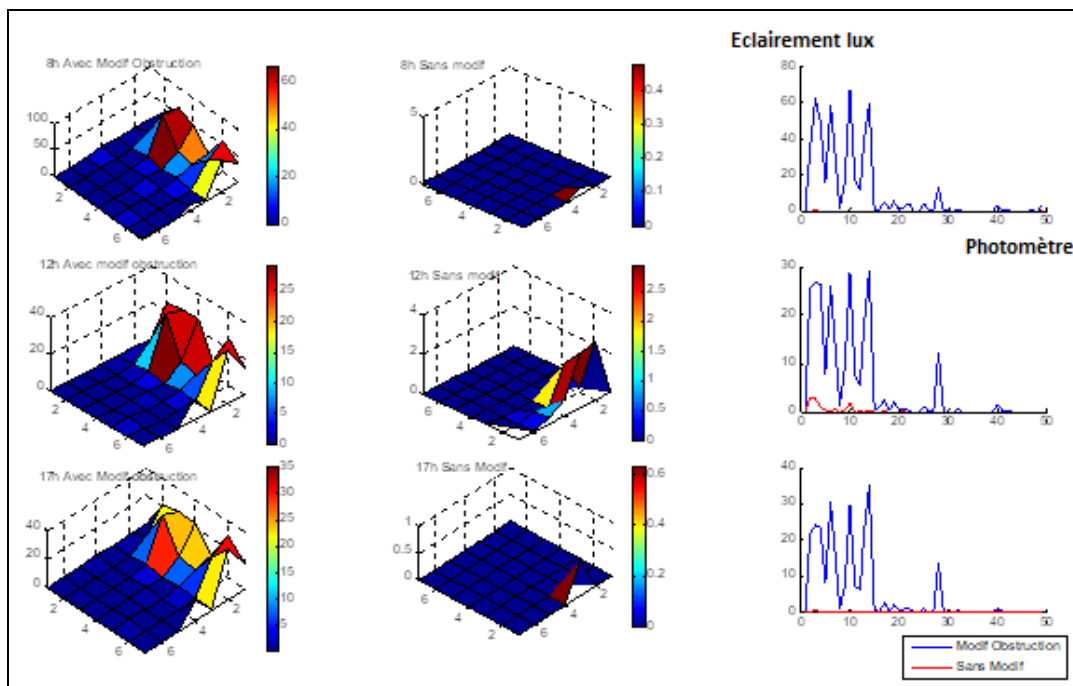


Figure 6.7 : Cuisine avec et sans obstruction, Juin ciel clair (Source : auteur)

Pour le mois de juin sous ciel clair (Fig.6.7), valeurs dépassant les 60 lux en matinée, avec une répartition en profondeur dans la pièce et qui s'étend légèrement plus en largeur que pour le mois de Mars.

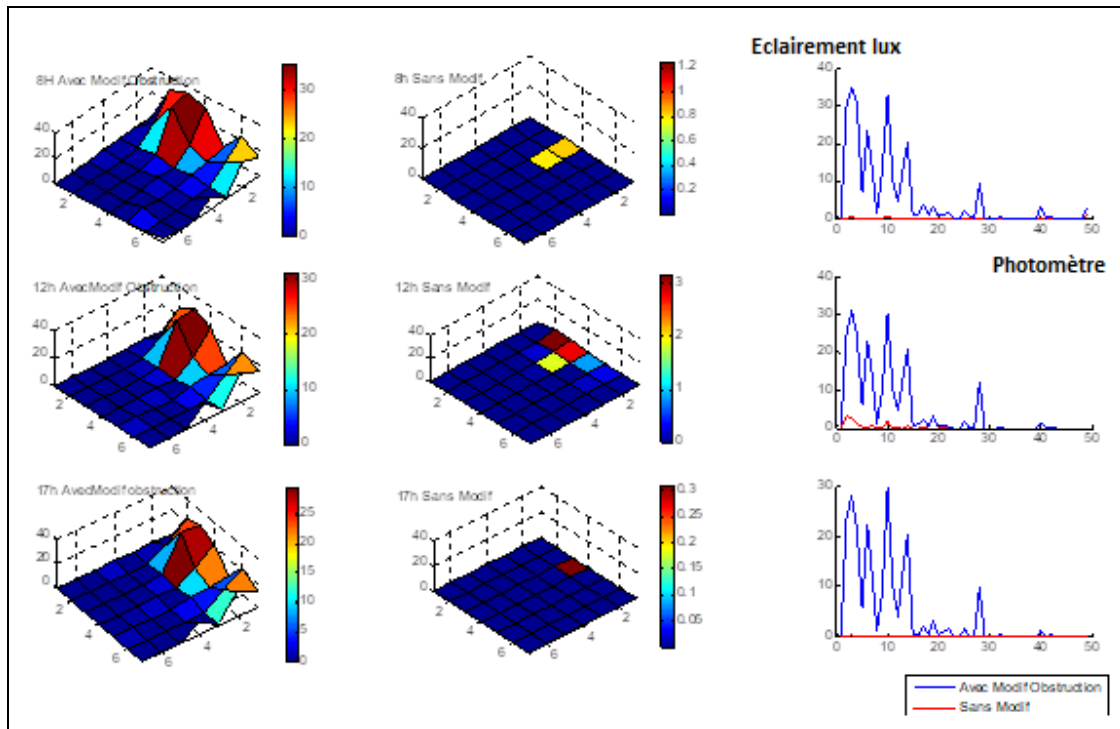


Figure 6.8 : Cuisine avec et sans obstruction, Juin ciel couvert

Comme pour le mois précédent sous ciel couvert en juin (Fig.6.8) les valeurs sont moins importantes avec un maximum de 34 lux.

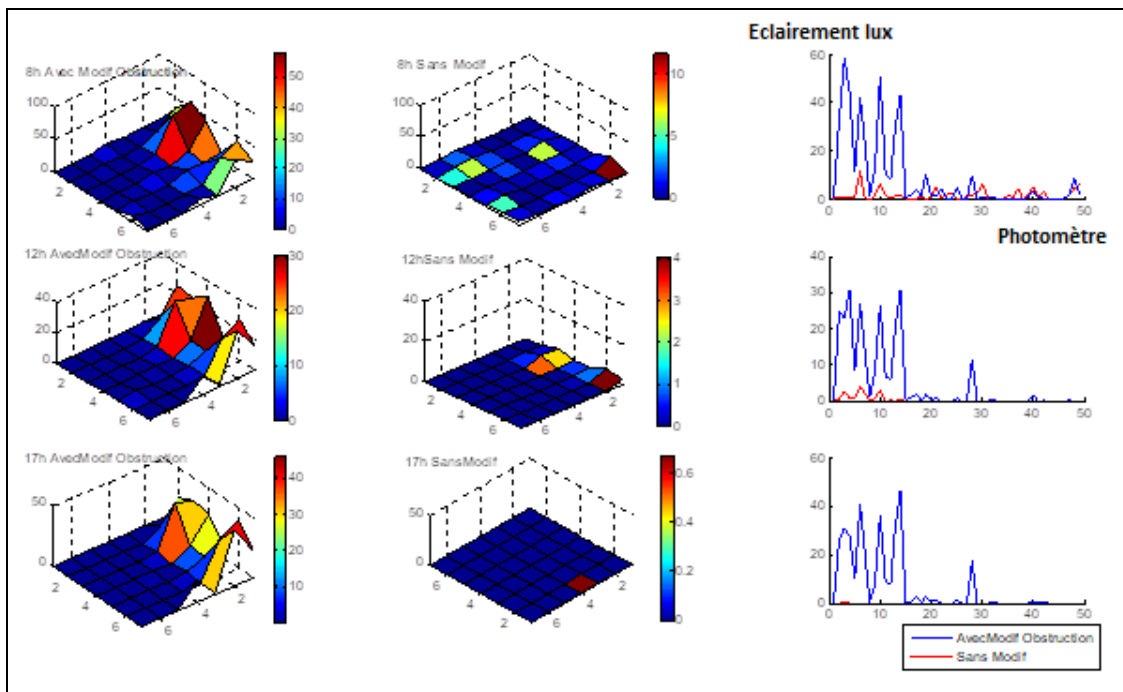


Figure 6.9 : Cuisine avec et sans obstruction Septembre Ciel Clair (Source : auteur)

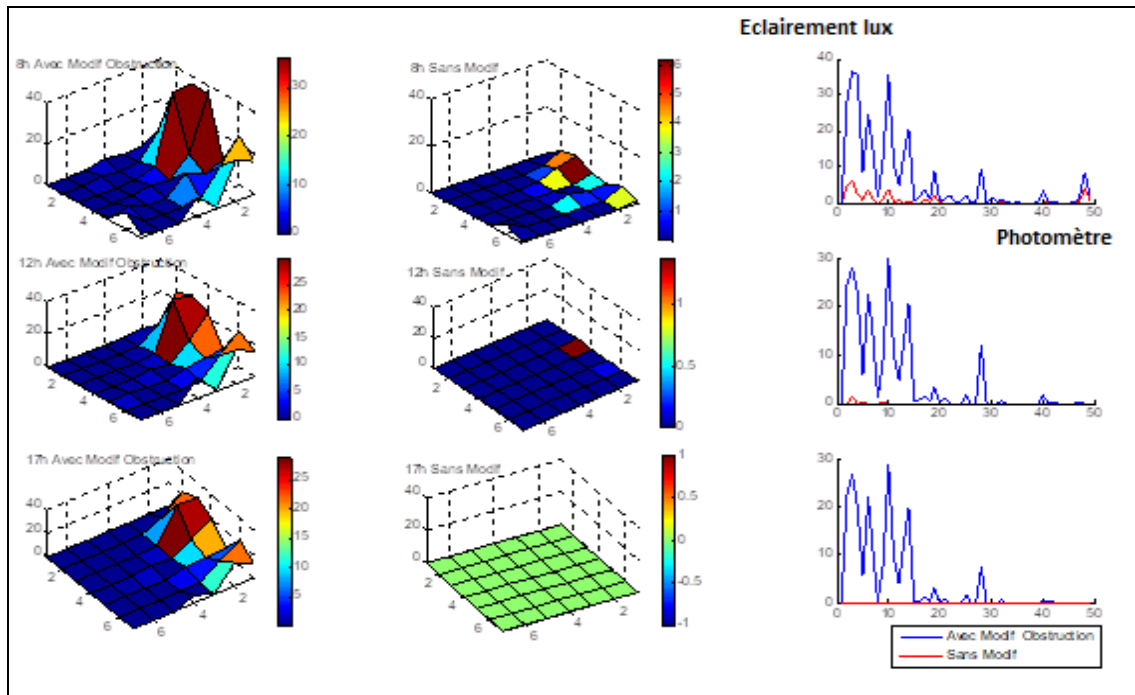


Figure 6.10 : Cuisine avec et sans obstruction Septembre Ciel Couvert (Source : auteur)

Nous remarquons que sous ciel clair (Fig.6.9) et sous ciel couvert (Fig.6.10) les résultats obtenus au mois de septembre sont sensiblement proches de ceux du mois de Mars (Fig.6.5,6.6) du fait que la position du soleil pour ces deux périodes est la même.

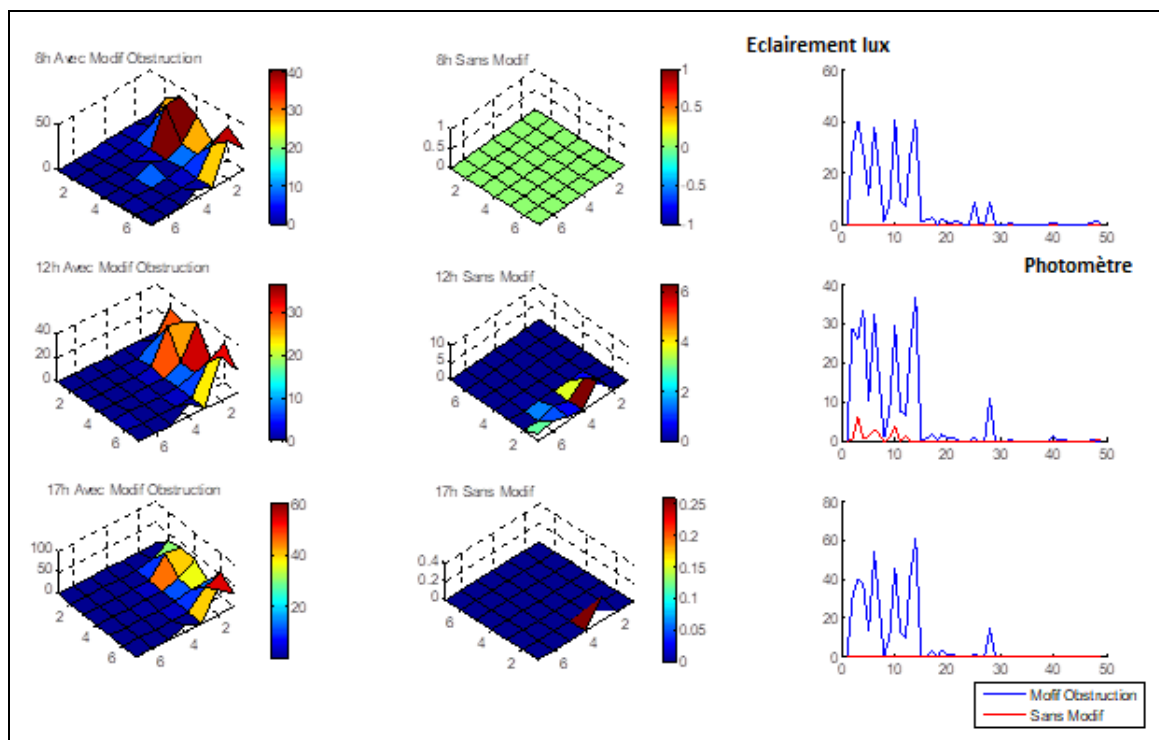


Figure 6.11 : Cuisine avec et sans obstruction Décembre ciel clair (Source : auteur)

Pour le mois de décembre sous ciel clair (Fig.6.11), de valeur maximum de 5 lux une arrivons à des valeurs maximums allant de 40 à 60 lux au long de la journée.

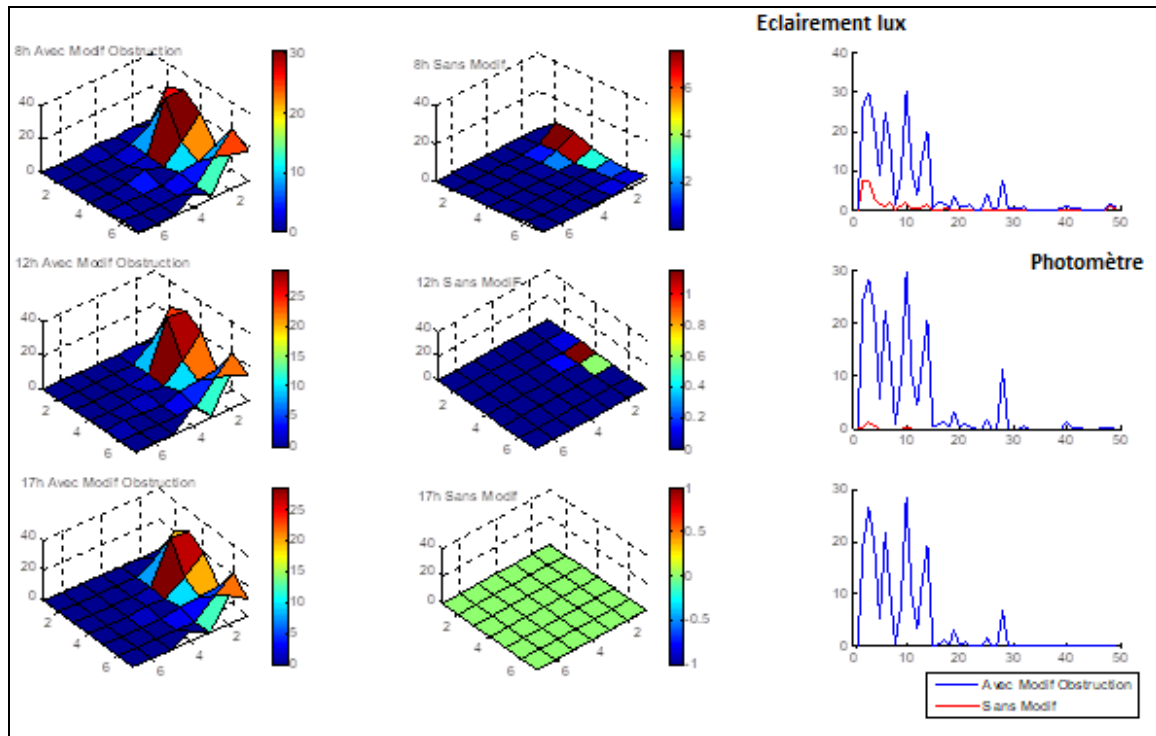


Figure 6.12 : Cuisine avec et sans obstruction Décembre Ciel couvert (Source : auteur)

Pour le mois de décembre sous ciel couvert (Fig.6.12), valeur maximale de 30 lux une amélioration qui ne permet pas d'atteindre de seuil minimal de confort soit les 60 lux.

2.1.2. Taille de l'ouverture

La cuisine des appartements simulés comporte deux ouvertures, une porte fenêtre et une petite fenêtre de 30 par 40 cm (les deux donnant sur la loggia) c'est sur cette dernière que nous apportons une modification, en doublant sa surface avec une dimension de 60 par 80 cm.

Nous constatons sur les diagrammes 2D et 3D (Fig.6.14 à 6.21) une amélioration des valeurs d'éclairement (2D), toute fois avec une marge moins importante que pour l'obstruction, avec un même constat en ce qui concerne la propagation de l'éclairement, cette ouverture latérale ne peut subir une modification de la position du fait de la position de la cuisine mitoyenne à la Salle de bain (Fig.6.13).

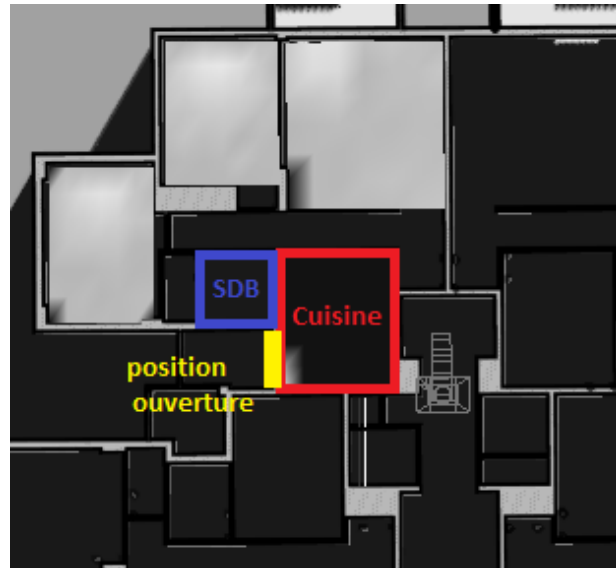


Figure 6.13 : Position Ouverture cuisine (Source : auteur)

La figure (Fig.6.14) nous permet de voir l'impact du changement de la taille d'ouverture sur l'éclairement à l'intérieur de la cuisine, nous constatons pour ce mois de Mars une très légère amélioration de l'ordre de 10 lux au plus, avec un maximum de 16 lux en matinée, quant à la répartition de la tache elle reste sensiblement la même.

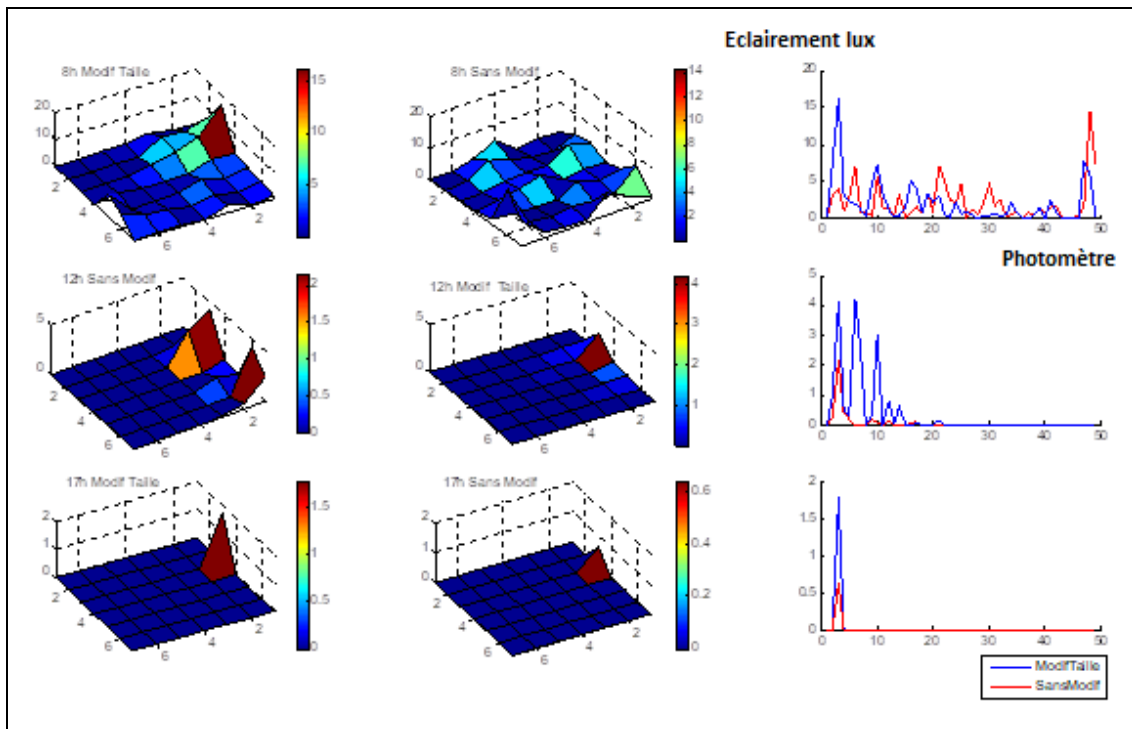


Figure 6.14 : Cuisine changement taille fenêtre Mars clair (Source : auteur)

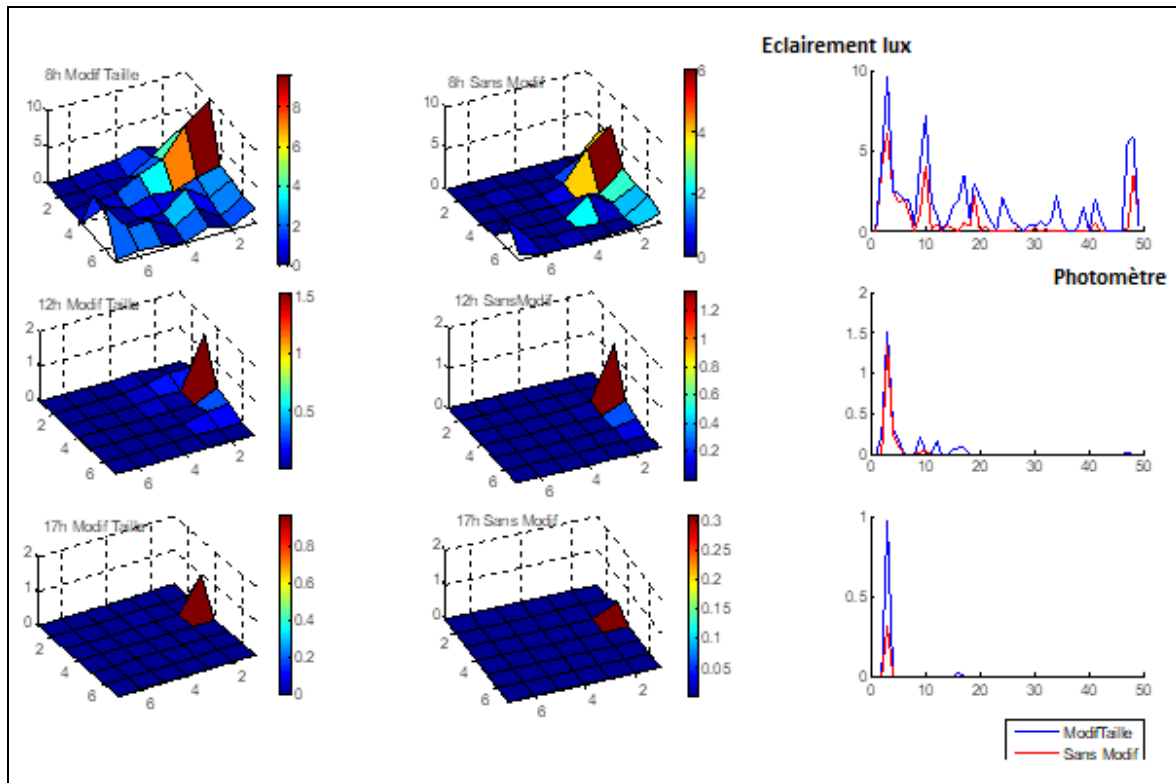


Figure 6.15 : Cuisine changement taille fenêtre Mars couvert (Source : auteur)

L'amélioration pour le mois de Mars est encore moins significative sous ciel couvert.

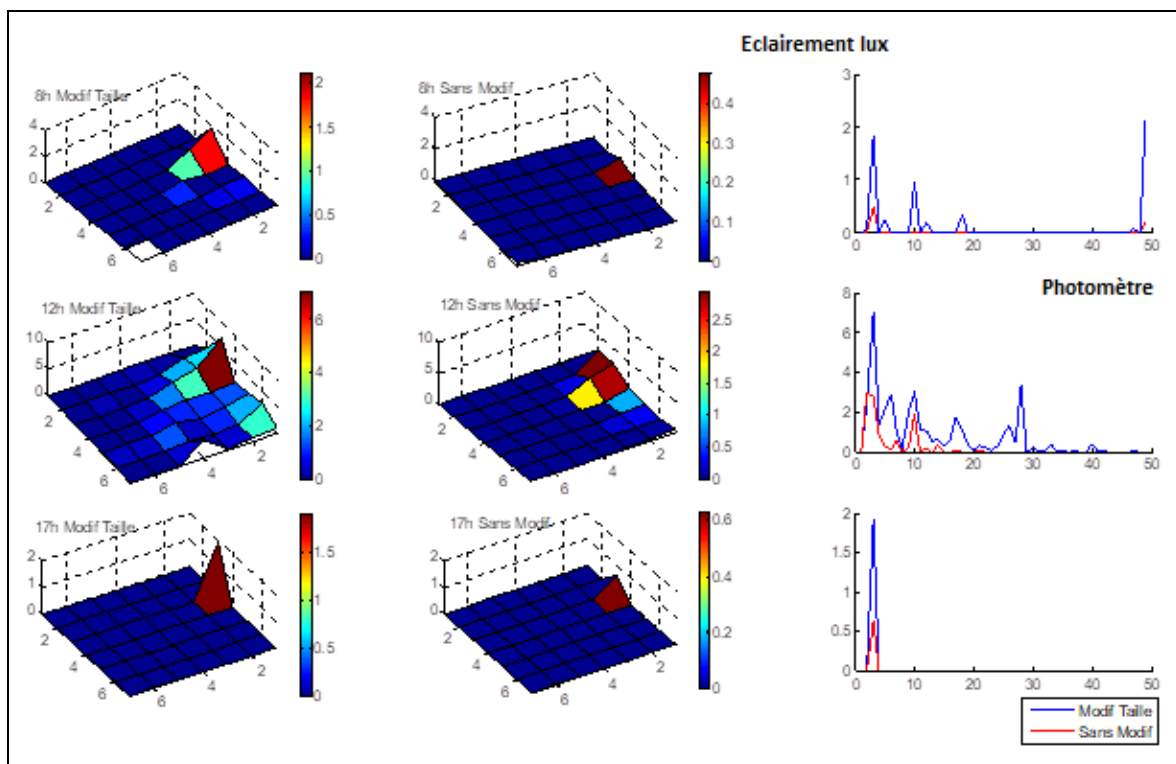


Figure 6.16 : Cuisine changement taille fenêtre Juin clair (Source : auteur)

Nous constatons que pour le mois de juin que ce soit sous ciel clair (Fig.6.16) ou sous ciel couvert (Fig.6.17), les valeurs d'éclairement sont très faibles avec ou sans modifications, nous remarquons que contrairement à l'obstruction (présence de masques) ici la taille de la fenêtre n'apporte presque pas d'amélioration.

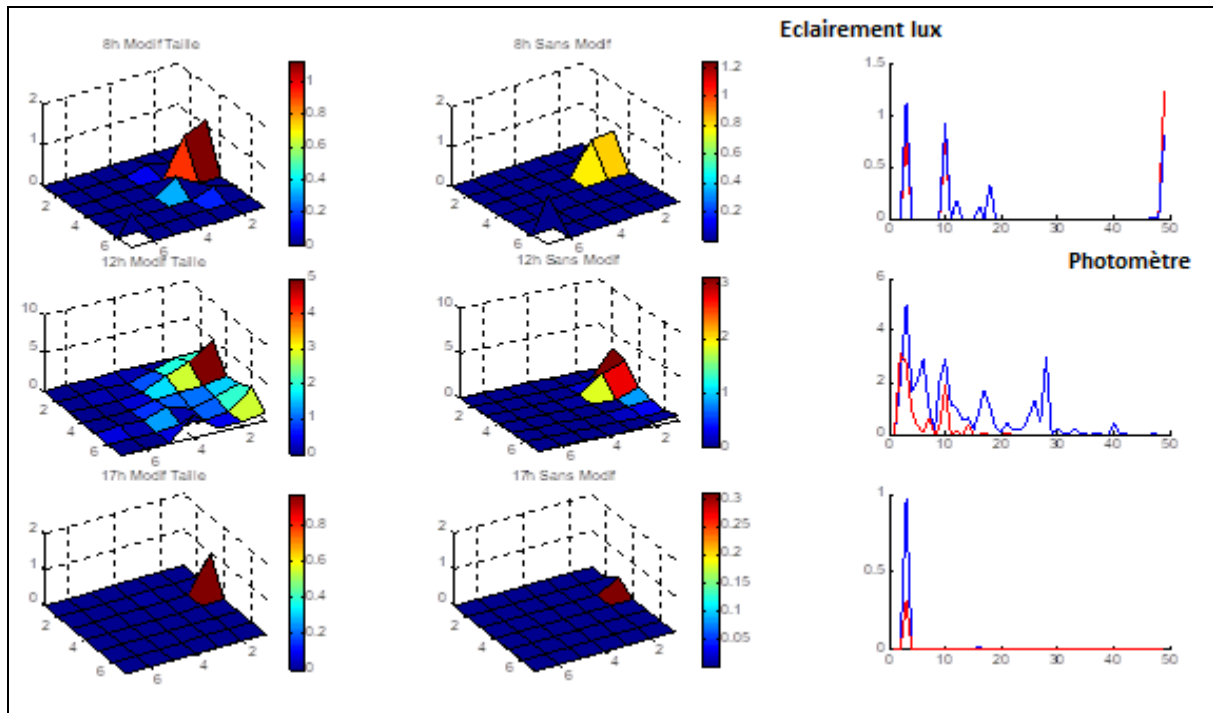


Figure 6.17 : Cuisine changement taille fenêtre Juin ciel couvert (Source : auteur)

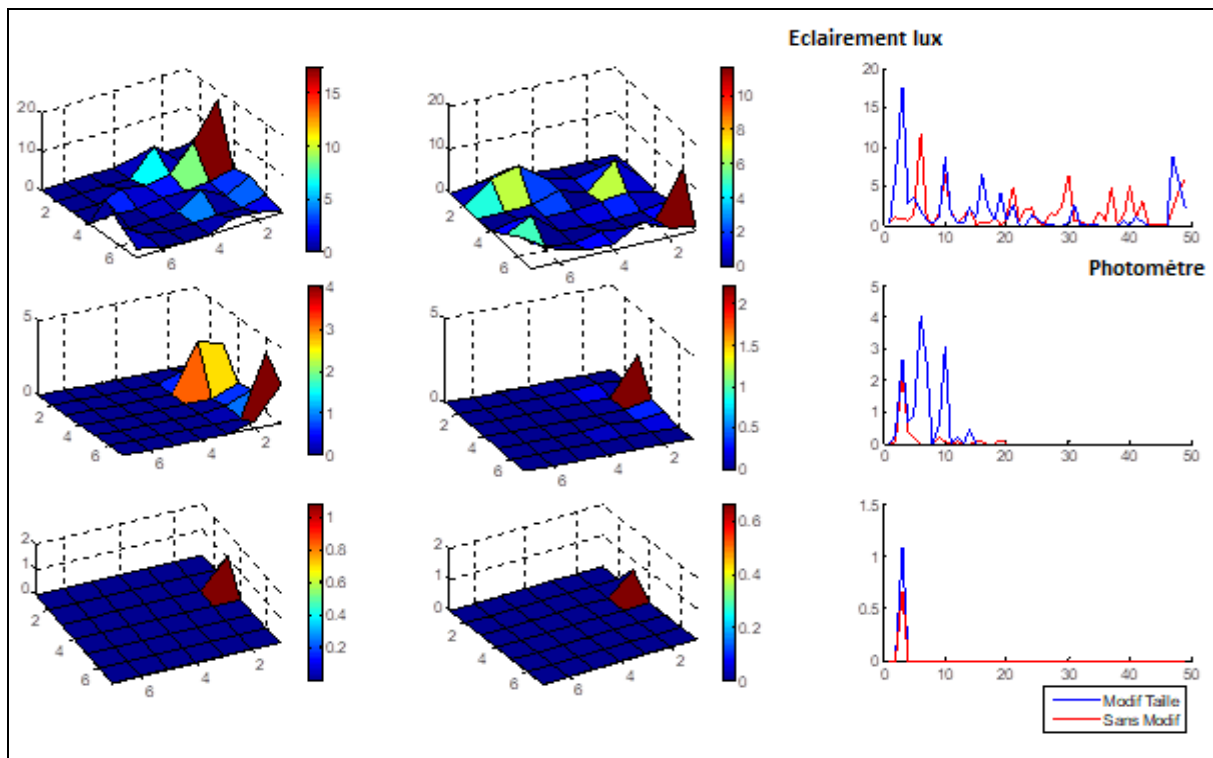


Figure 6.18 : Cuisine changement taille fenêtre Septembre ciel clair (Source : auteur)

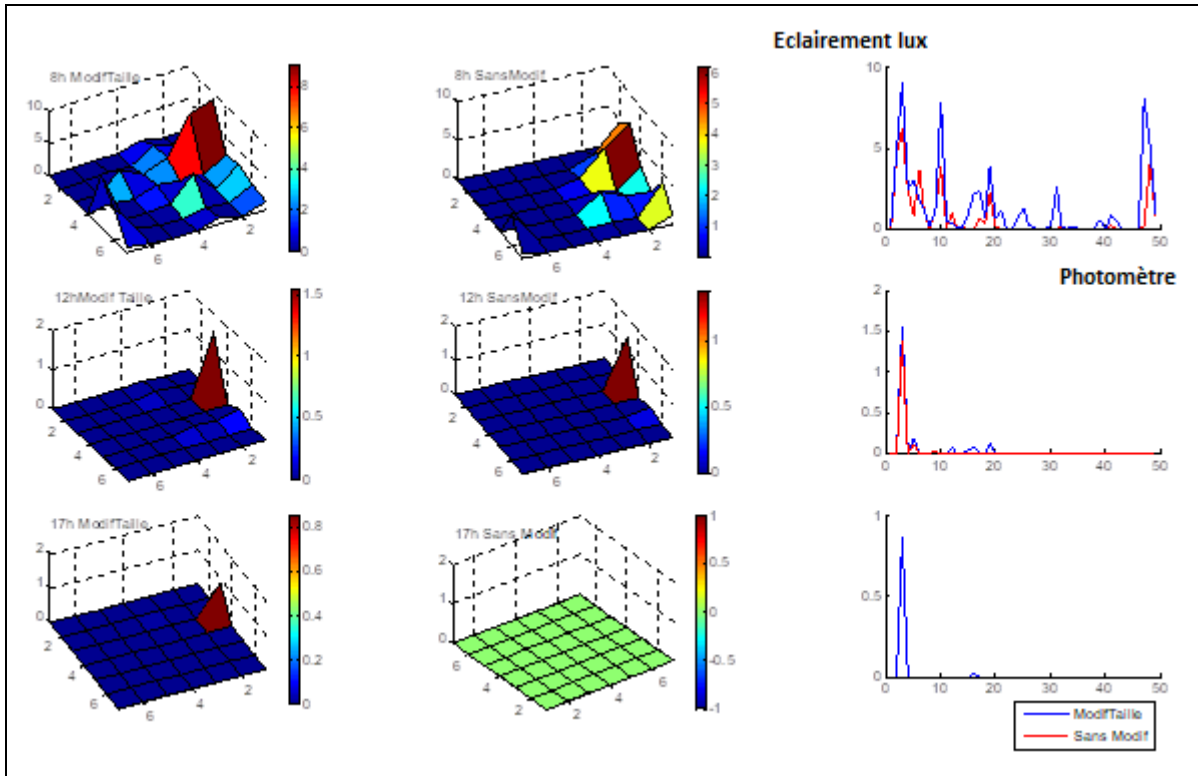


Figure 6.19 : Cuisine changement taille fenêtre Septembre ciel couvert (Source : auteur)

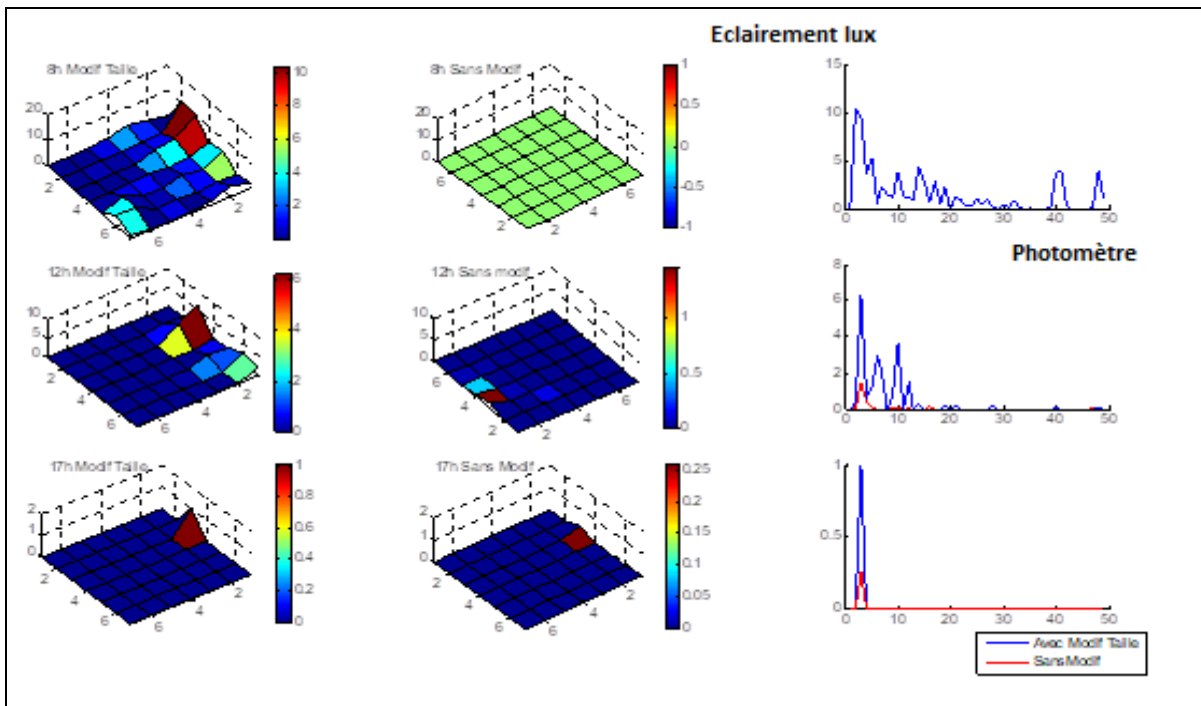


Figure 6.20 : Cuisine changement taille fenêtre Décembre ciel clair (Source : auteur)

Pour le mois de décembre sous ciel clair ou couvert (Fig.6.20,6.21), bien qu'il y est une amélioration (même minime), nous n'atteignons toujours pas le seuil minimum de confort.

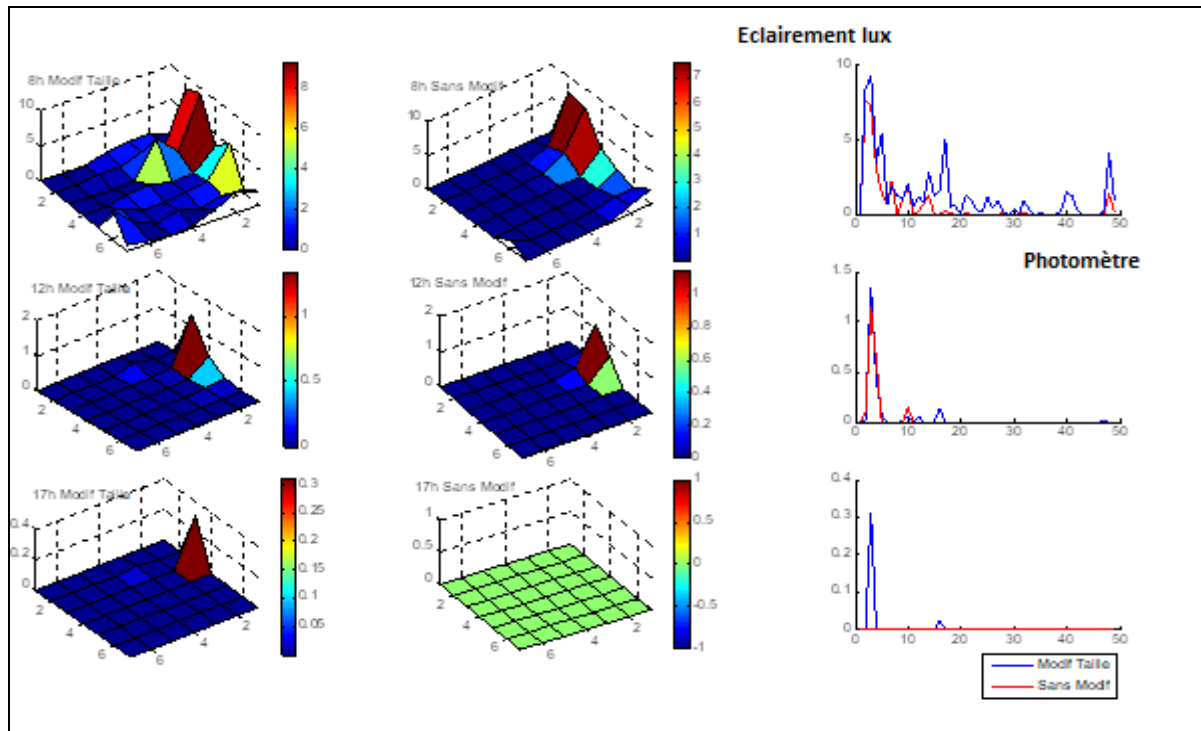


Figure 6.21 : Cuisine avec et sans obstruction Décembre ciel couvert (Source : auteur)

1.3. Obstruction + Taille de l'ouverture

Dans cette partie nous conjugons les effets des deux modifications apportées plus haut, cela nous a permis optimiser les résultats, comme nous pouvons le constater sur graphiques suivants (Fig.6.22, 6.29) :

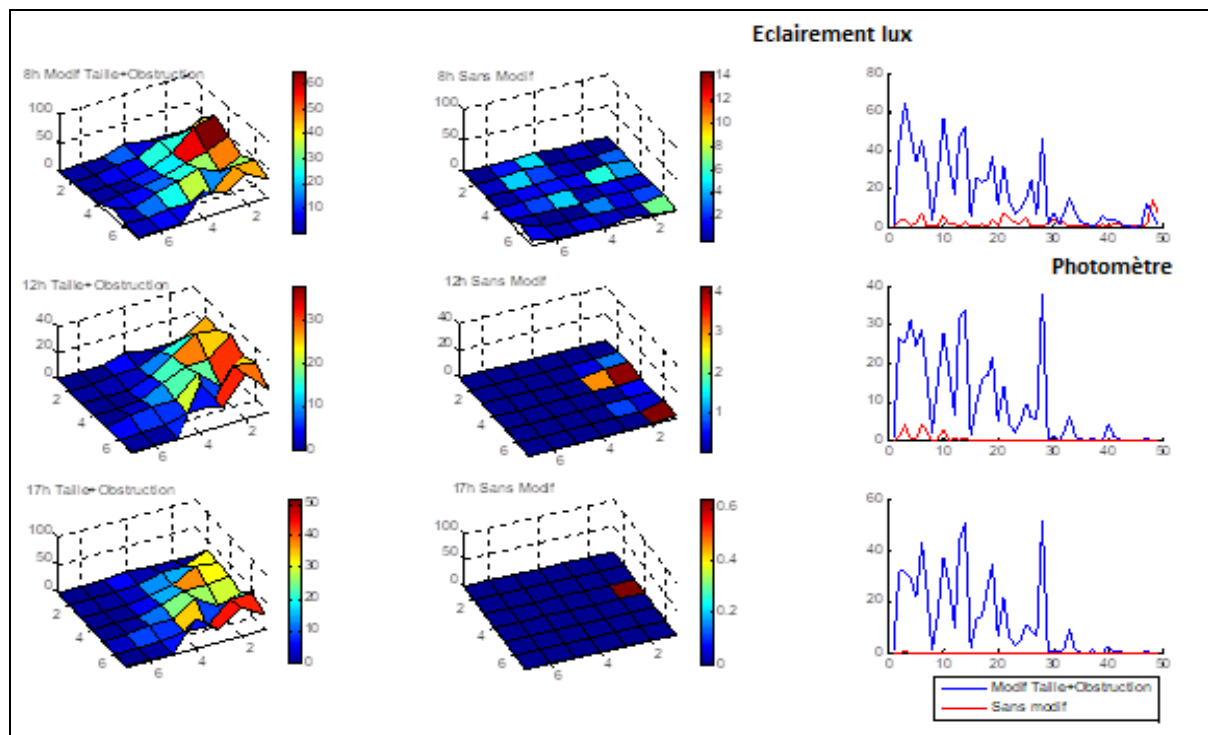


Figure 6.22 : Cuisine avec et sans obstruction Mars Ciel Clair (Source : auteur)

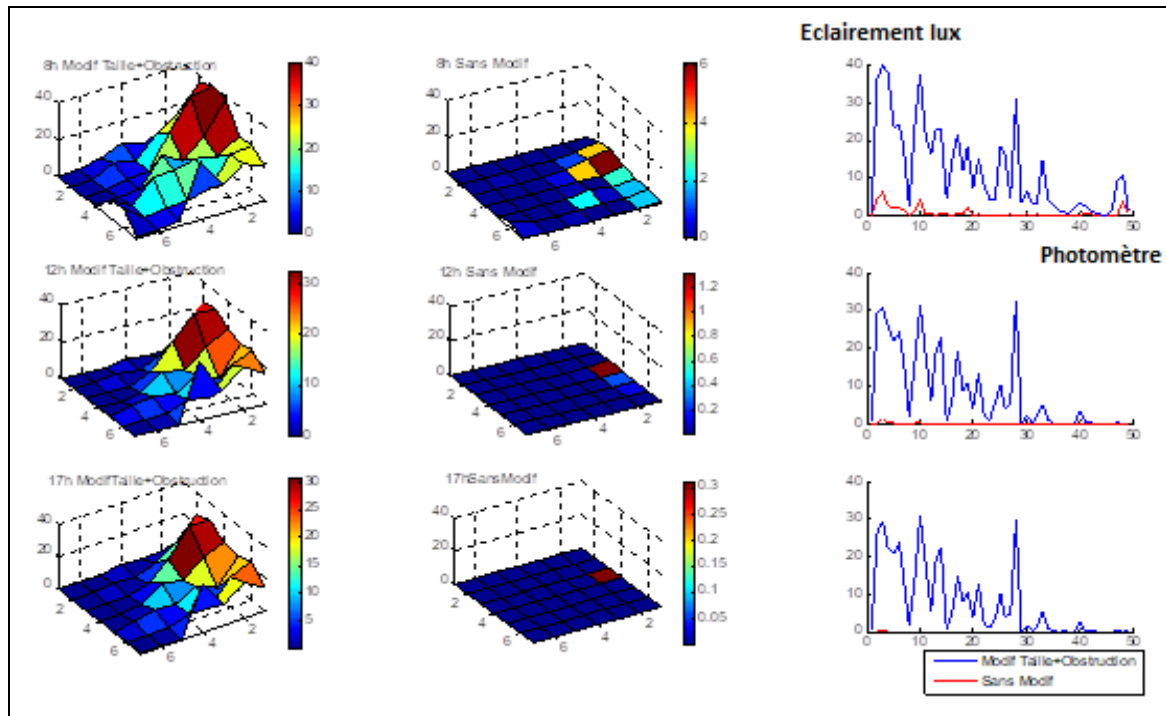


Figure 6.23 : Cuisine avec et sans obstruction Mars ciel couvert (Source : auteur)

Pour le mois de mars que ce soit sous ciel clair ou sous ciel couvert la conjugaison des deux modifications permet une nette amélioration des valeurs d'éclairement, mais aussi de la répartition de l'éclairage dans la pièce (Fig.6.22,6.23). Cependant le seuil minimum de confort de 60 lux n'est atteint que pour un seul photomètre en matinée sous ciel clair (Fig.6.22).

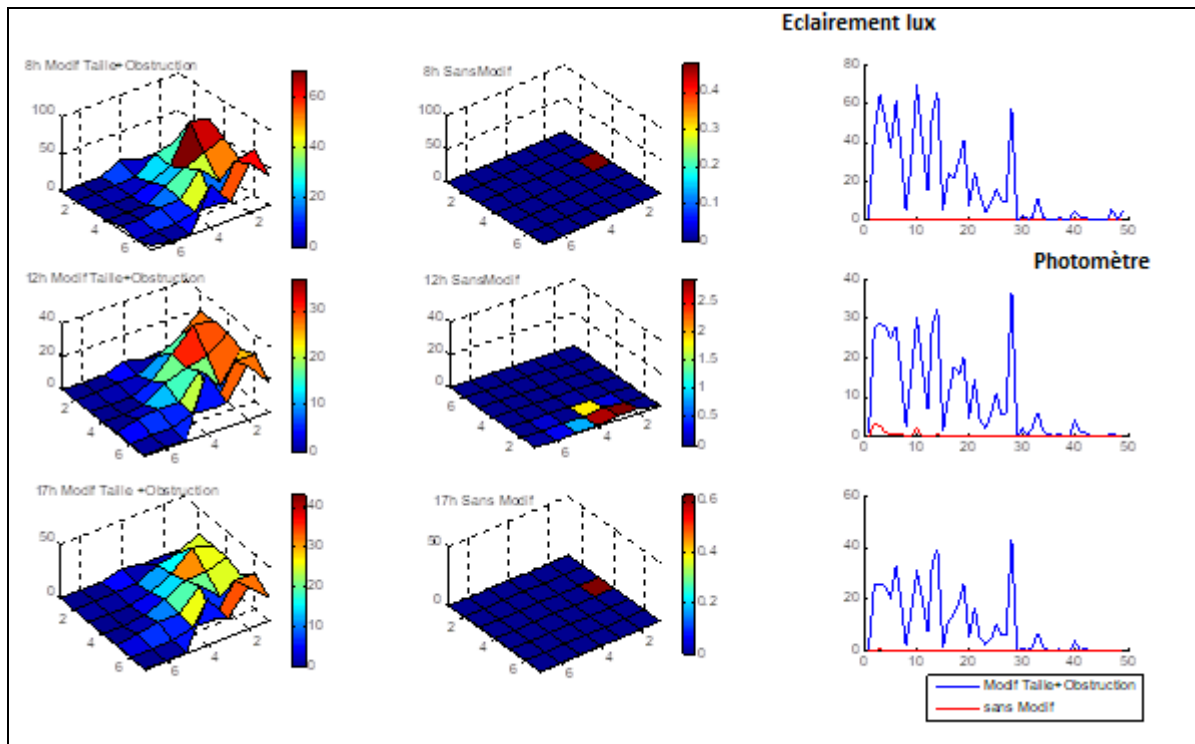


Figure 6.24 : Cuisine avec et sans obstruction Juin ciel clair (Source : auteur)

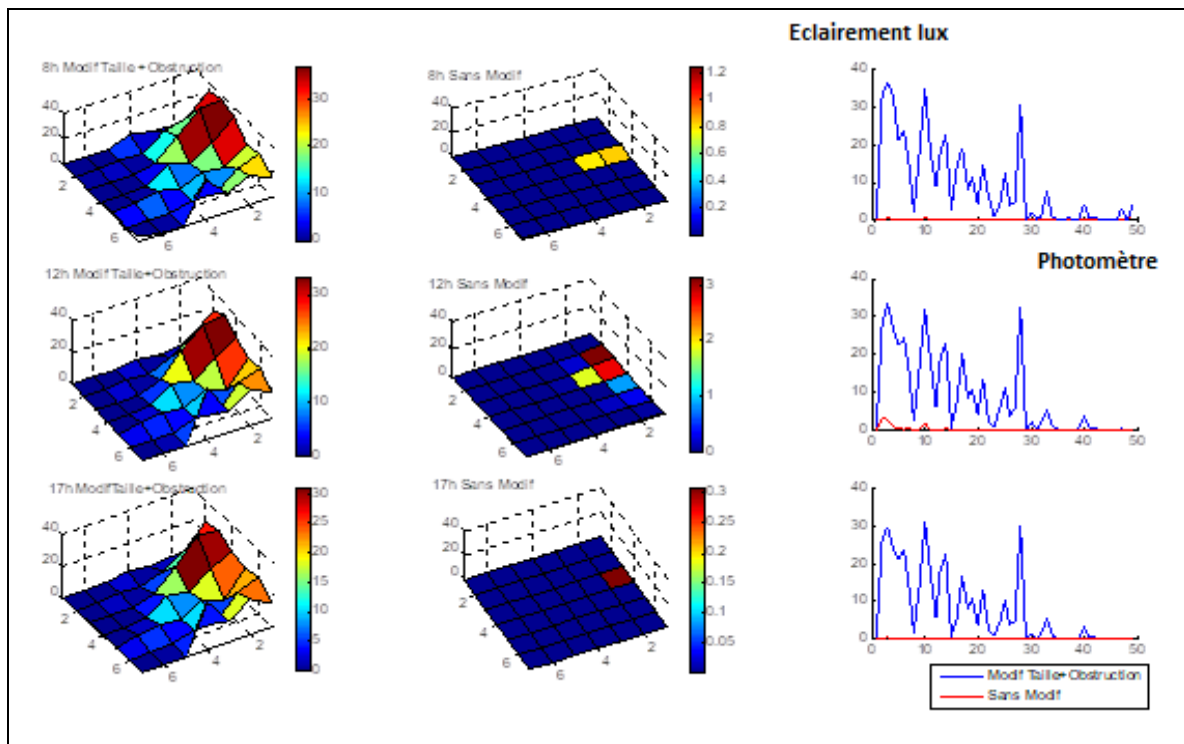


Figure 6.25 : Cuisine avec et sans obstruction Juin ciel couvert (Source : auteur)

Pour le mois de juin (Fig.6.24,6.25) est tout aussi significative, de valeurs quasi nulles à des valeurs atteignant cette fois si plusieurs points en zone de confort en matinée (2D, Fig.6.24) (rappelons que cette cuisine est orientée est donc maximum d'éclairage dans la matinée).

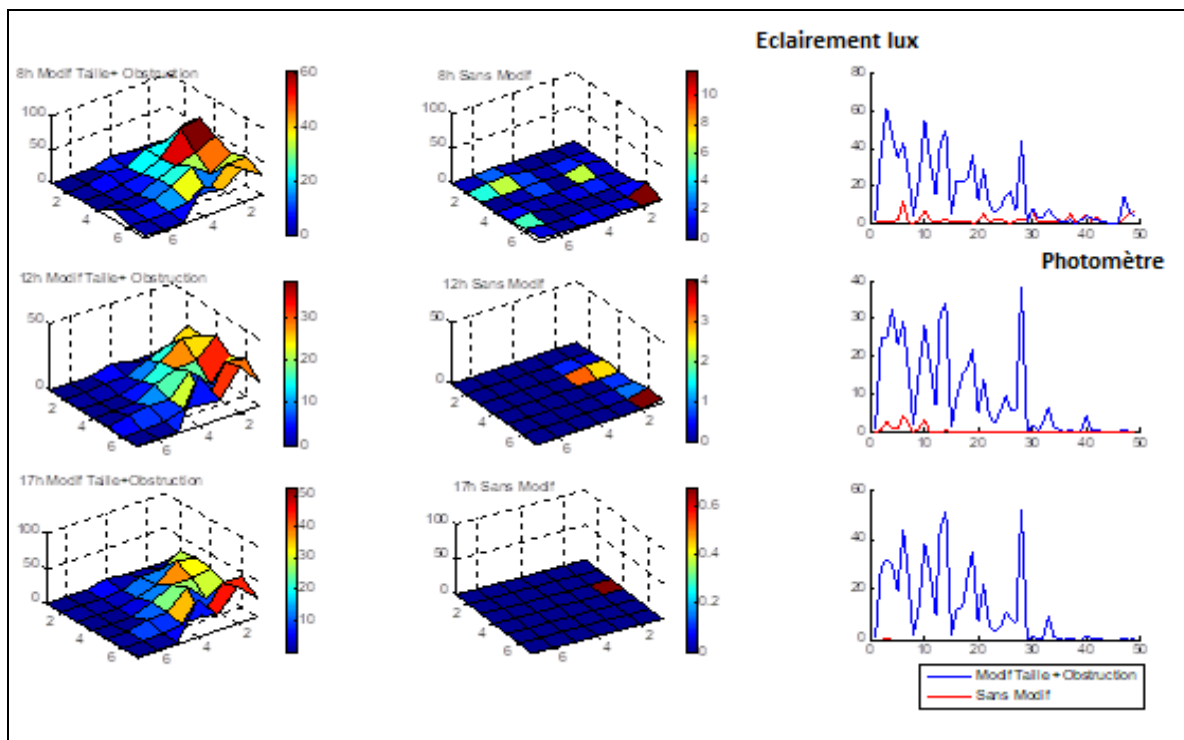


Figure 6.26 : Cuisine avec et sans obstruction Septembre Ciel Clair (Source : auteur)

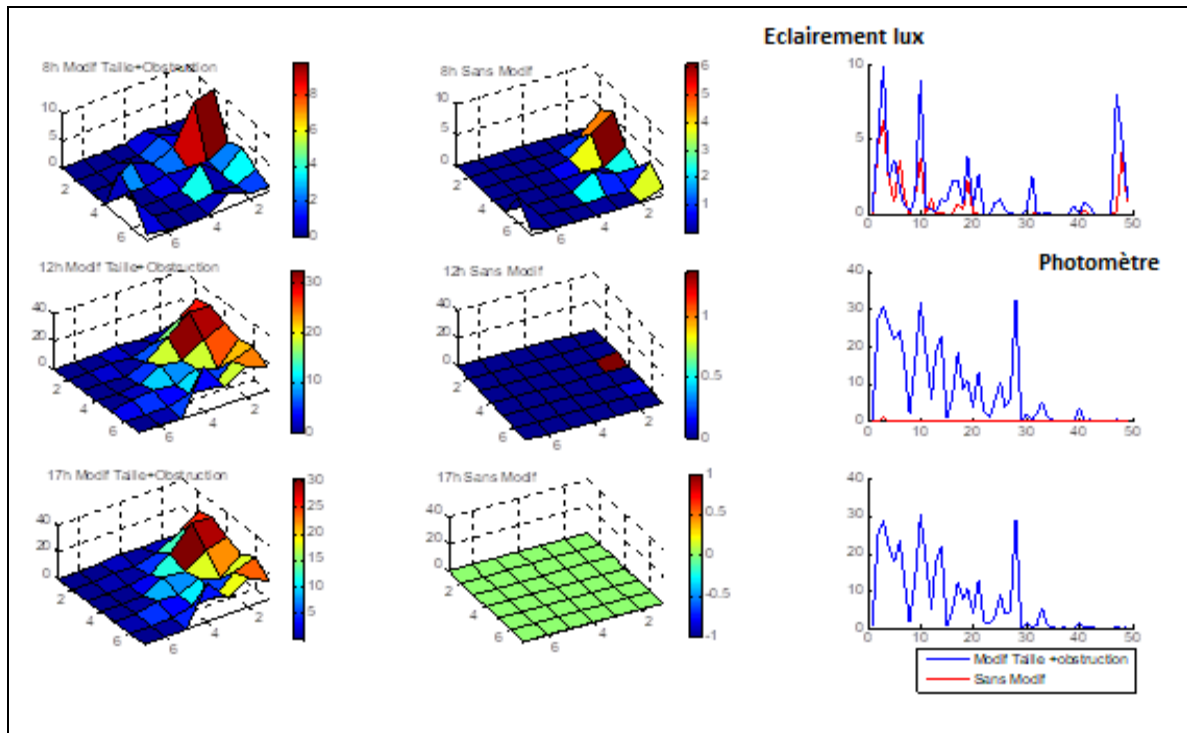


Figure 6.27 : Cuisine avec et sans obstruction Septembre ciel couvert (Source : auteur)

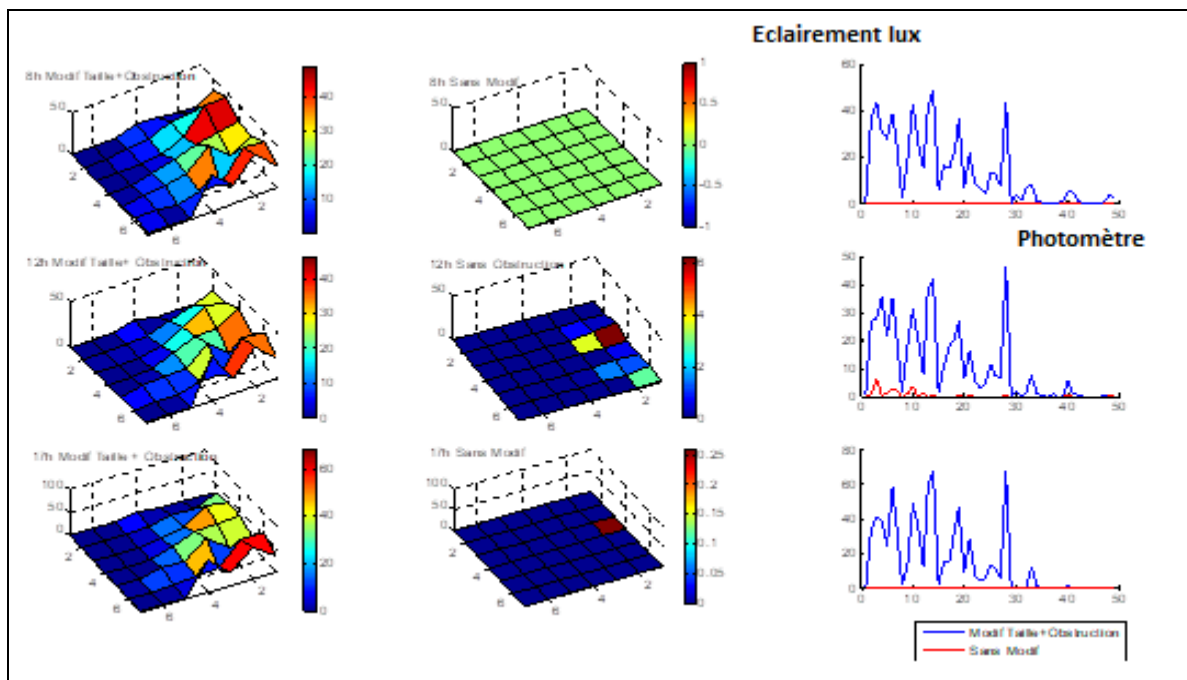


Figure 6.28 : Cuisine avec et sans obstruction Décembre ciel clair (Source : auteur)

Pour le mois de décembre que ce soit sous ciel (Fig.6.28) clair ou sous ciel couvert (Fig.6.29) une amélioration qui ne permet toujours pas d'atteindre le seuil minimum de confort visuel, nous remarquons tout de même une meilleure répartition de l'éclairage reçus dans la pièce.

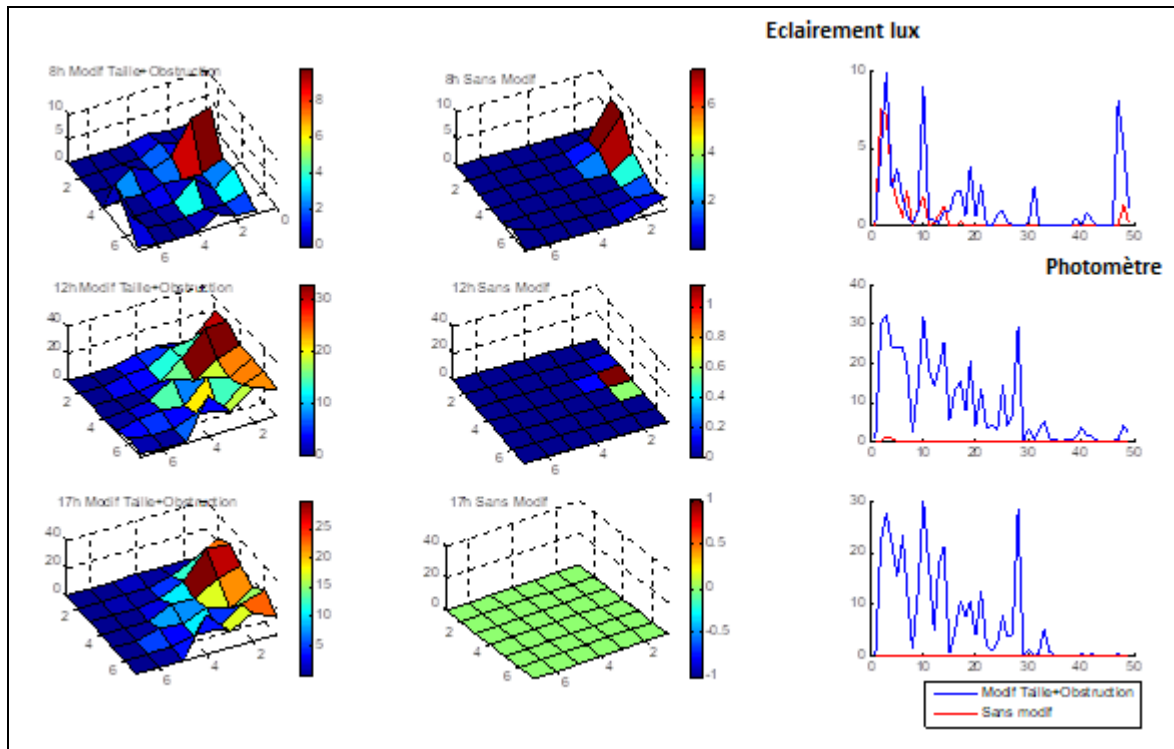


Figure 6.29 : Cuisine avec et sans obstruction Décembre ciel couvert (Source : auteur)

1.1.3. Evaluation de l'amélioration du confort pour les différentes modifications apportées

Amélioration Obstruction : on passe de 0% en zone de confort (60 à 300 lux) à une moyenne annuelle de 0,26%, avec un max pour le mois de juin à 8h de 4,08%.

Amélioration Taille ouverture : pas d'amélioration d'un point de vue du confort 0% de points atteignent les 60 lux.

Amélioration Taille ouverture + Obstruction : on passe de 0% à 1%, avec 3% en moyenne pour 8h sur l'ensemble de l'année, et une valeur max de 8,16% pour le mois de juin à 8h.

Ces résultats peuvent paraître insuffisant mais pour une cuisine où les valeurs étaient nulles cela reste une amélioration significative.

Pour obtenir de meilleurs résultats il aurait fallu changer la configuration des plans, à savoir l'élimination de la loggia (Fig.6.30), qui constitue un masque propre au bâtiment.

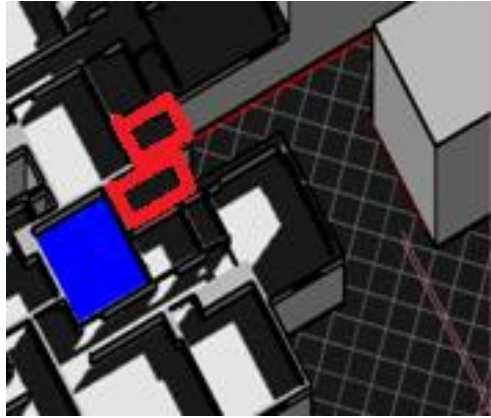


Figure 6.30 : Position loggia (Source : auteur)

2. Modification Séjour

Lors des évaluations des simulations des séjours nous avons constaté une propagation latérale de l'éclairage, dû à la position de la porte fenêtre, nous proposons ici la modification de la position de cette ouverture (Fig.6.31), la comparaison avant et après modification, nous permettra d'évaluer l'impact de la position de l'ouverture sur la propagation de l'éclairage dans la pièce, ainsi que sur le pourcentage de points entrant dans la zone de confort.

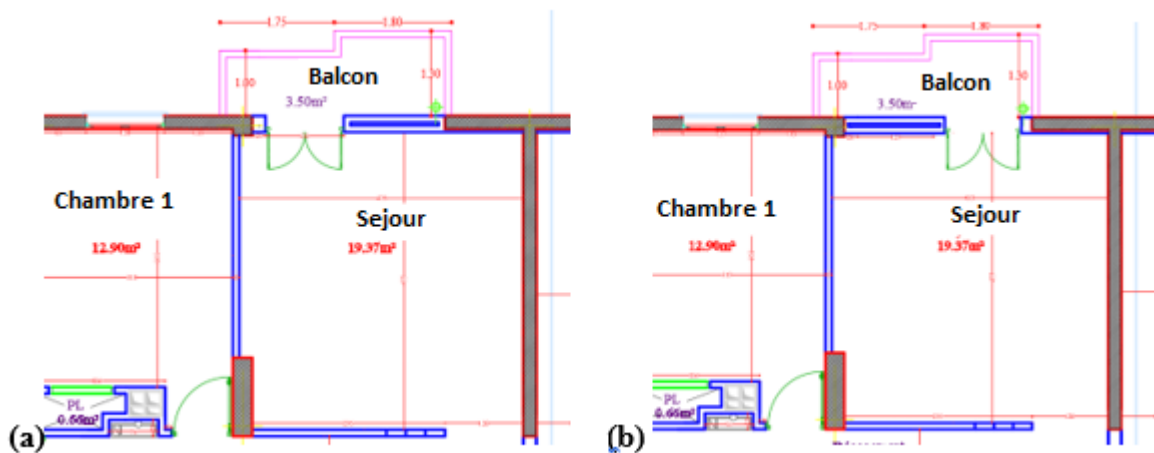


Figure 6.31 : Modification de la position de la porte fenêtre du séjour (a) avant, (b) après (Source : auteur)

2.1. Rendus photomètre

Nous remarquons sur les Tableaux (Tab.6.3 et 6.4), le changement dans la propagation de l'éclairage de la pièce, une répartition plus homogène, et un décalage moins important, entre les valeurs max et min.

Cette amélioration est plus marquée sous ciel clair.

Tableau 6.3 : Modification position séjour sous ciel couvert

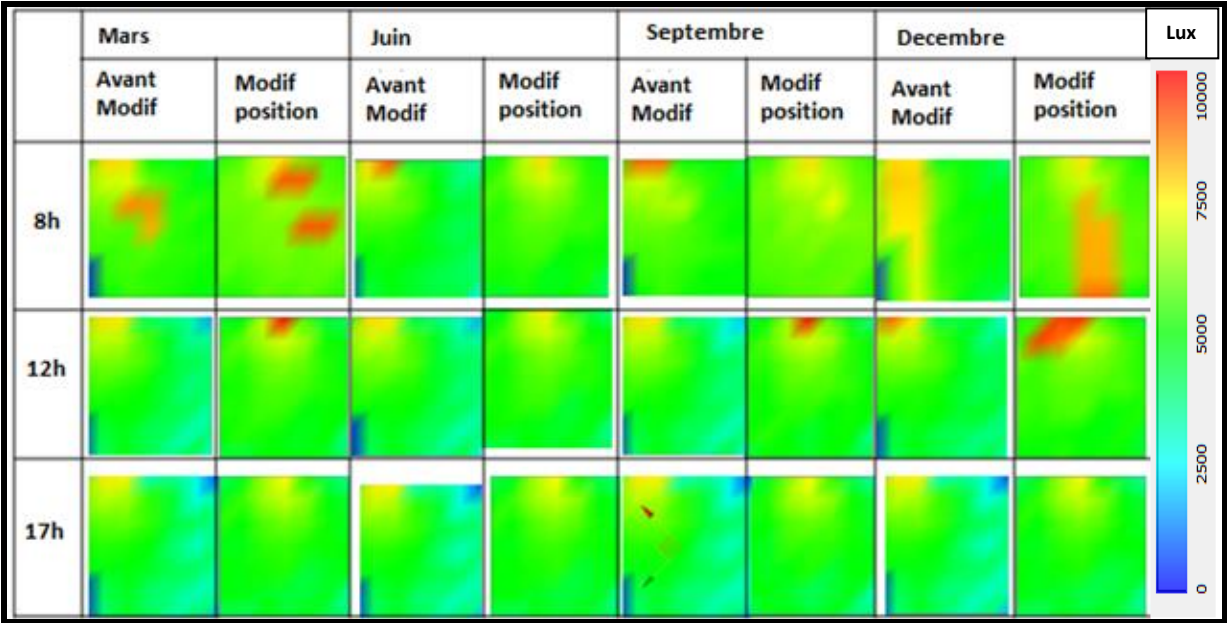
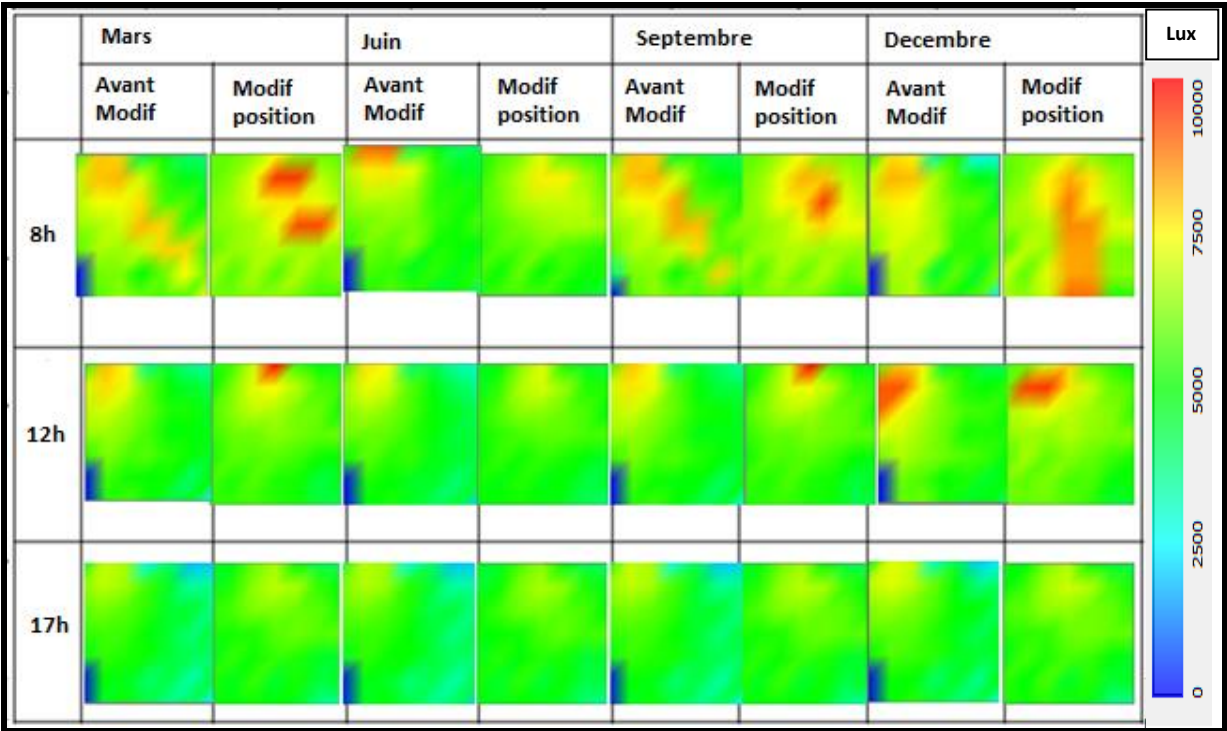


Tableau 6.4 : Modification position séjour sous ciel clair



2.2. Evaluation de l'amélioration par modélisation des données sous Matlab

Comme pour les cuisines les graphique 2D et 3D nous permettent d'apprécier les améliorations en termes de valeurs et de propagation de l'éclairément.

Nous notons une amélioration plus marquée d'un point de vue de l'étalement, que celui des valeurs, d'ailleurs pour certain cas nous avons des pics sans modification qui surplombe ceux

avec modification, alors que le contraste entre zone très éclairé et zones sombre est moins marqué avec une diminution progressive de l'éclairement.

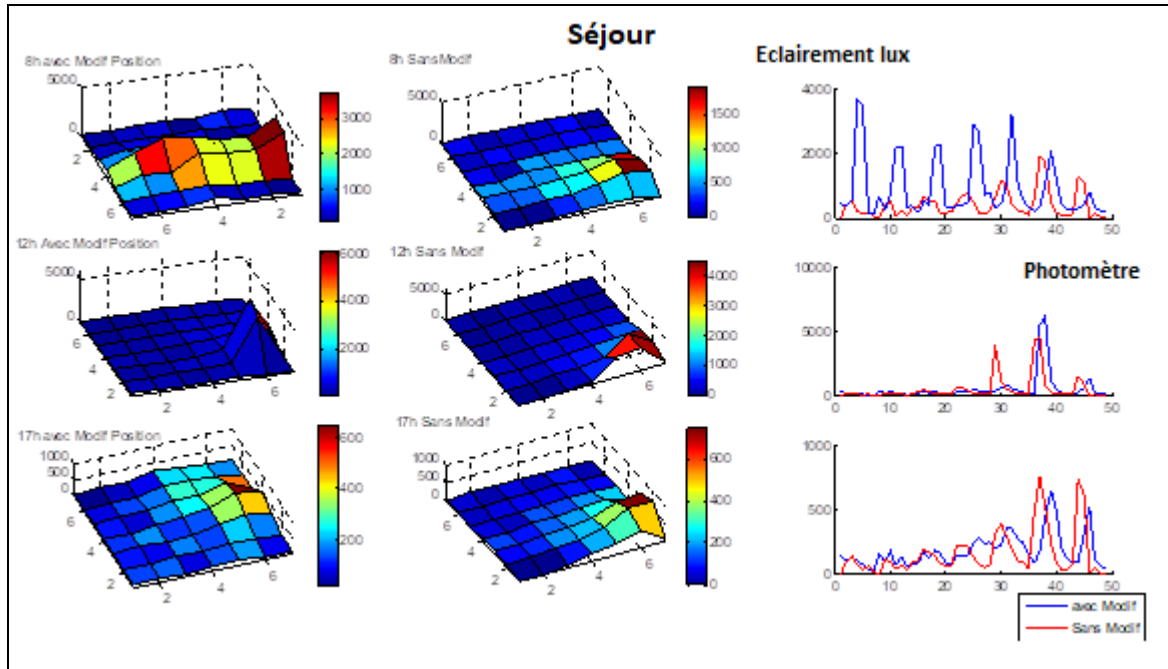


Figure 6.32 : Modification position Décembre ciel clair (Source : auteur)

Pour la modification de la position de l'ouverture nous pouvons remarquer pour le mois de décembre sous ciel clair (Fig.6.32). Non seulement une amélioration du niveau d'éclairement mais aussi une meilleure répartition de l'éclairement dans la pièce, en résulte moins d'effet de contraste entre tache et fond, donc plus de confort visuel. Avec des maxima en matinée, atteignant presque les 4000 lux qui nécessiterait une occultation.

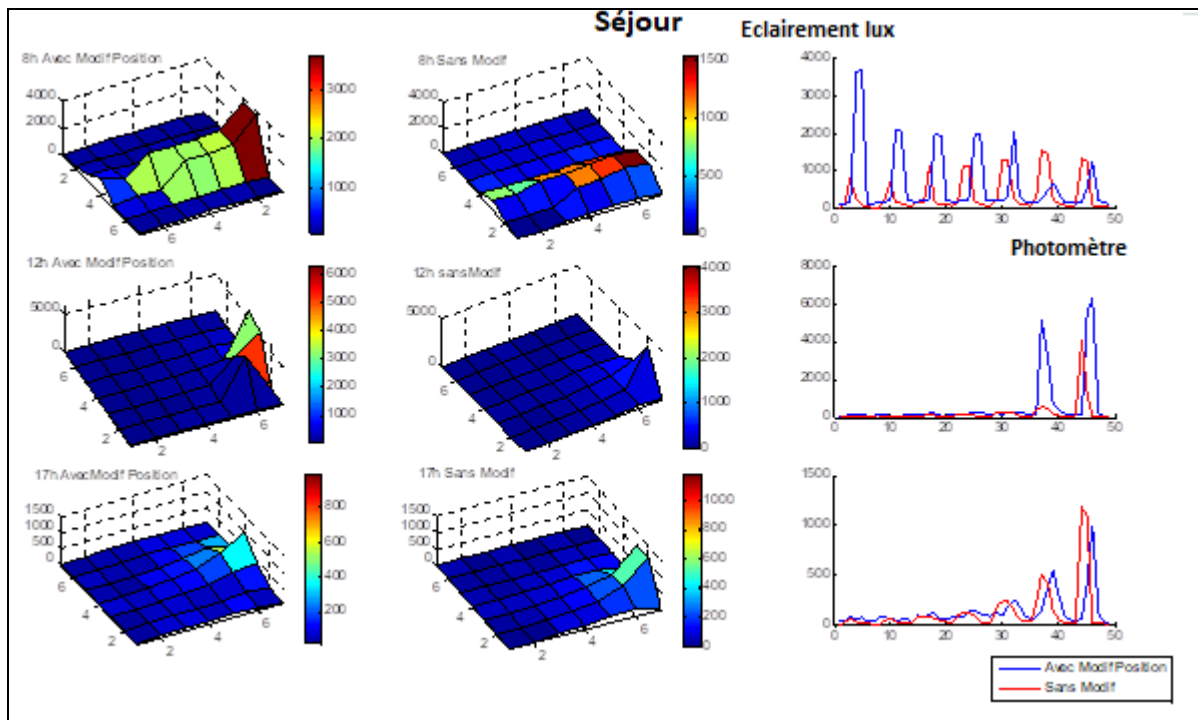


Figure 6.33 : Modification position Décembre ciel couvert (Source : auteur)

Pour le mois de décembre sous ciel couvert (Fig.6.33) l'amélioration est moins marquée en valeur mais la répartition est plus uniforme diminuant progressivement d l'ouverture au fond de la pièce.

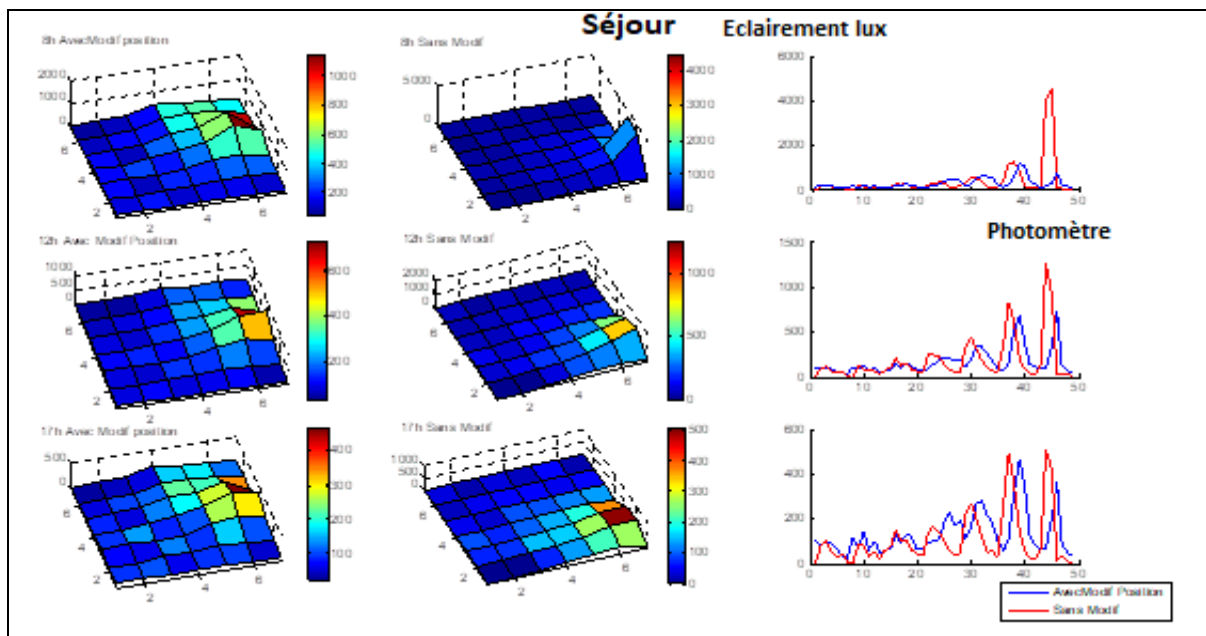


Figure 6.34 : Modification position Juin ciel clair (Source : auteur)

Pour le mois de juin sous ciel clair (Fig.6.34), l'amélioration est plus marquée en matinée auprès de l'ouverture, pour le reste de la journée les courbes 2D sont presque identiques, la distribution est plus centrée.

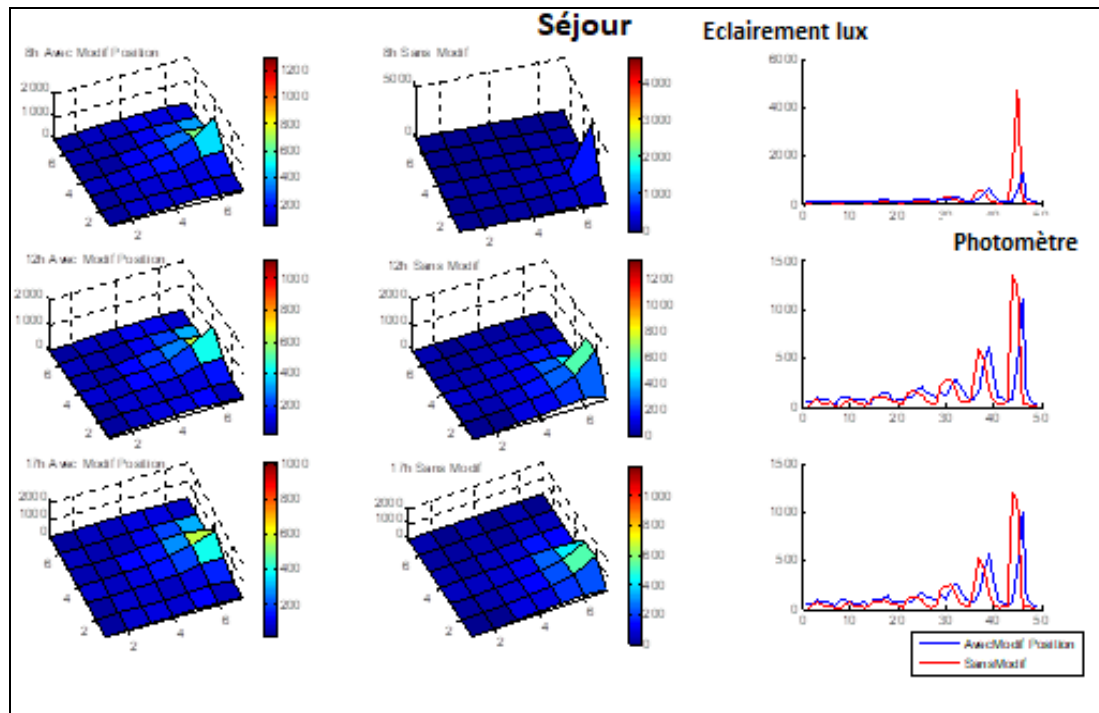


Figure 6.35 : Modification position Juin ciel couvert (Source : auteur)

Sous ciel couvert en juin (Fig.6.35) l'amélioration en valeurs d'éclairement est presque nulle, l'éclairement se limite aux abords de l'ouverture.

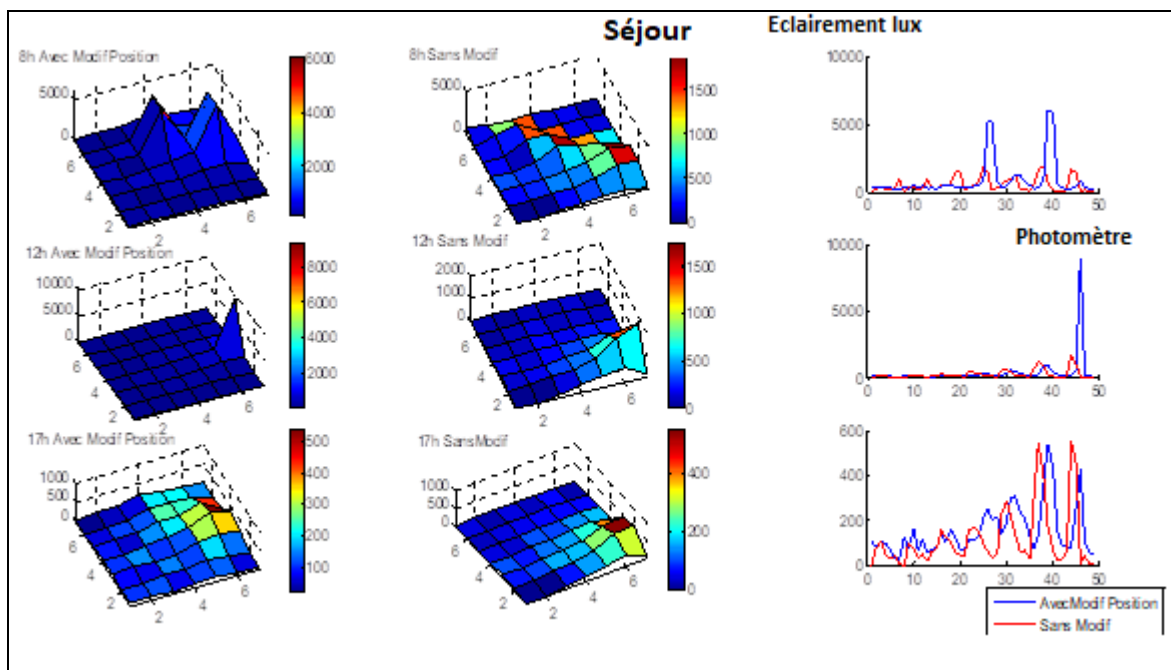


Figure 6.36 : Modification position Mars ciel clair

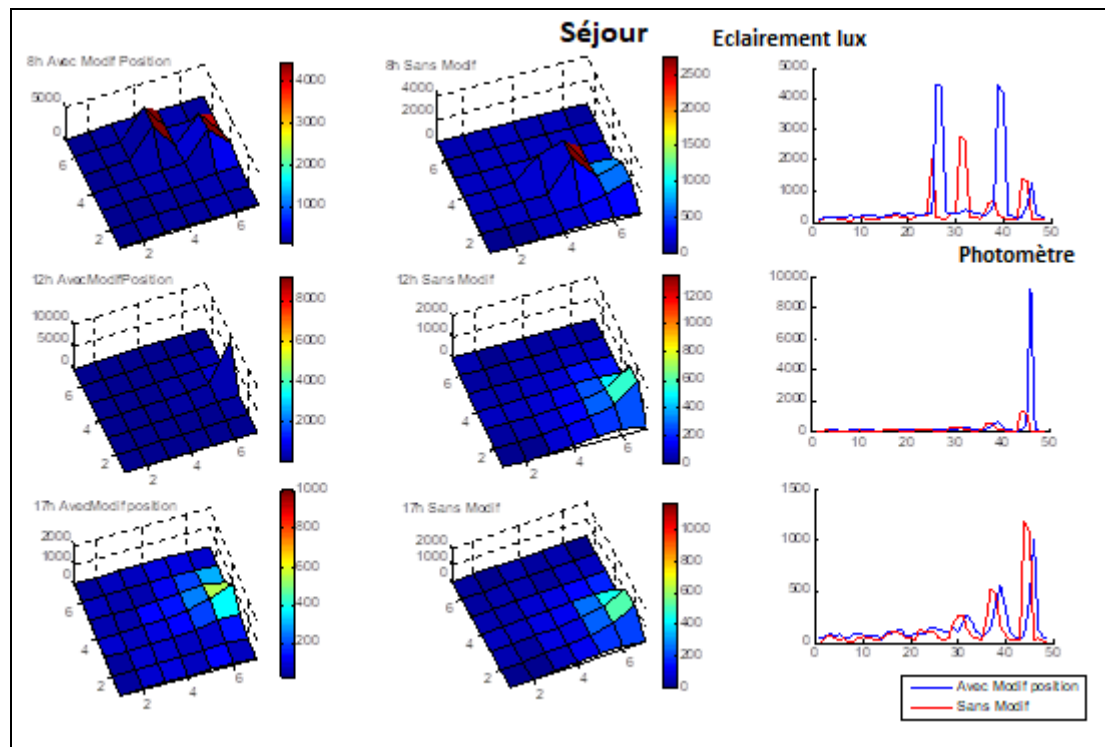


Figure 6.37 : Modification position Mars ciel couvert (Source : auteur)

Pour les mois de Septembre et Mars que ce soit sous ciel clair ou sous ciel couvert, (Fig.6.38,6.39,6.40,6.41) l'amélioration est plus d'ordre de répartition de l'éclairage dans l'espace, avec plus de points entrant dans la zone de confort.

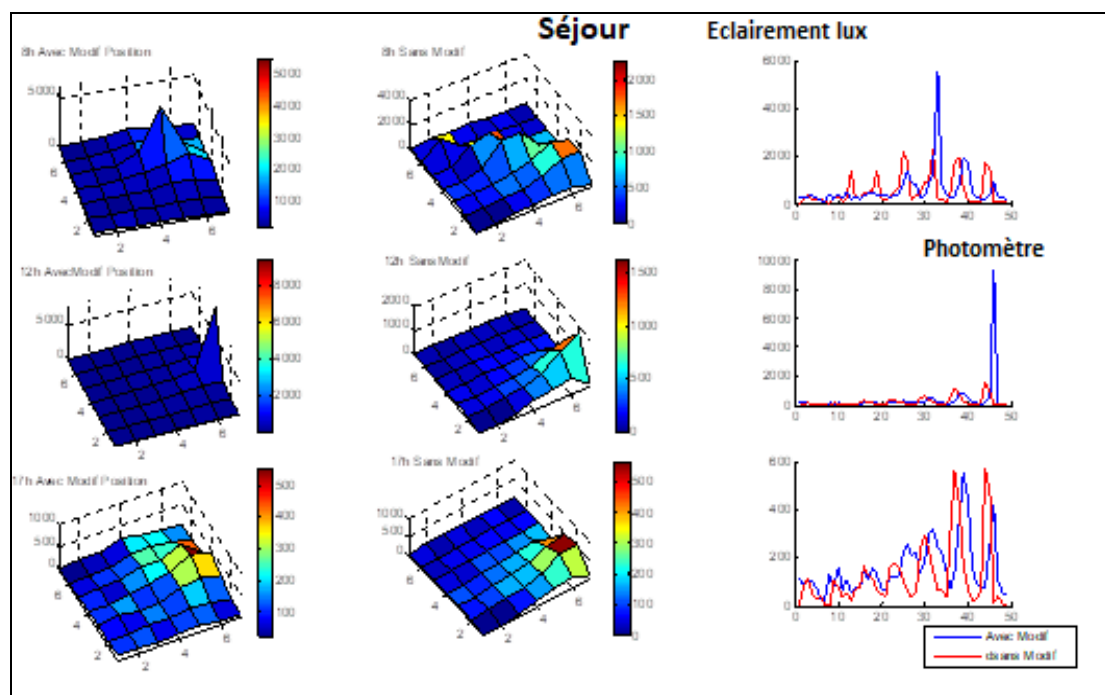


Figure 6.38 : Modification position Septembre ciel clair (Source : auteur)

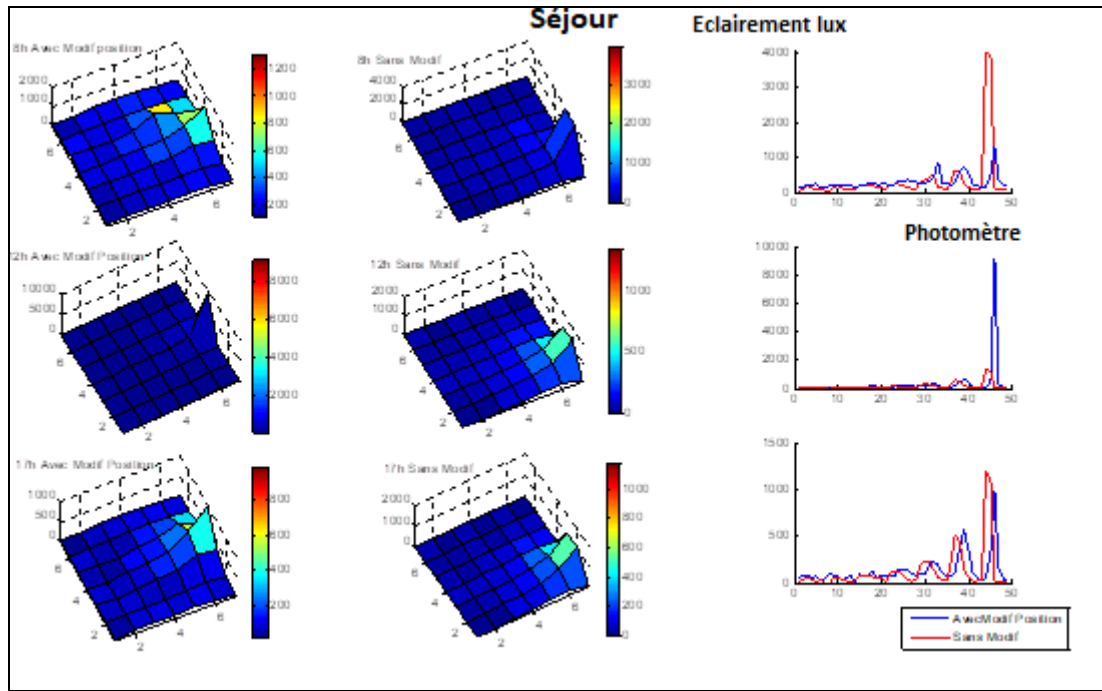


Figure 6.39 : Modification position Septembre ciel couvert

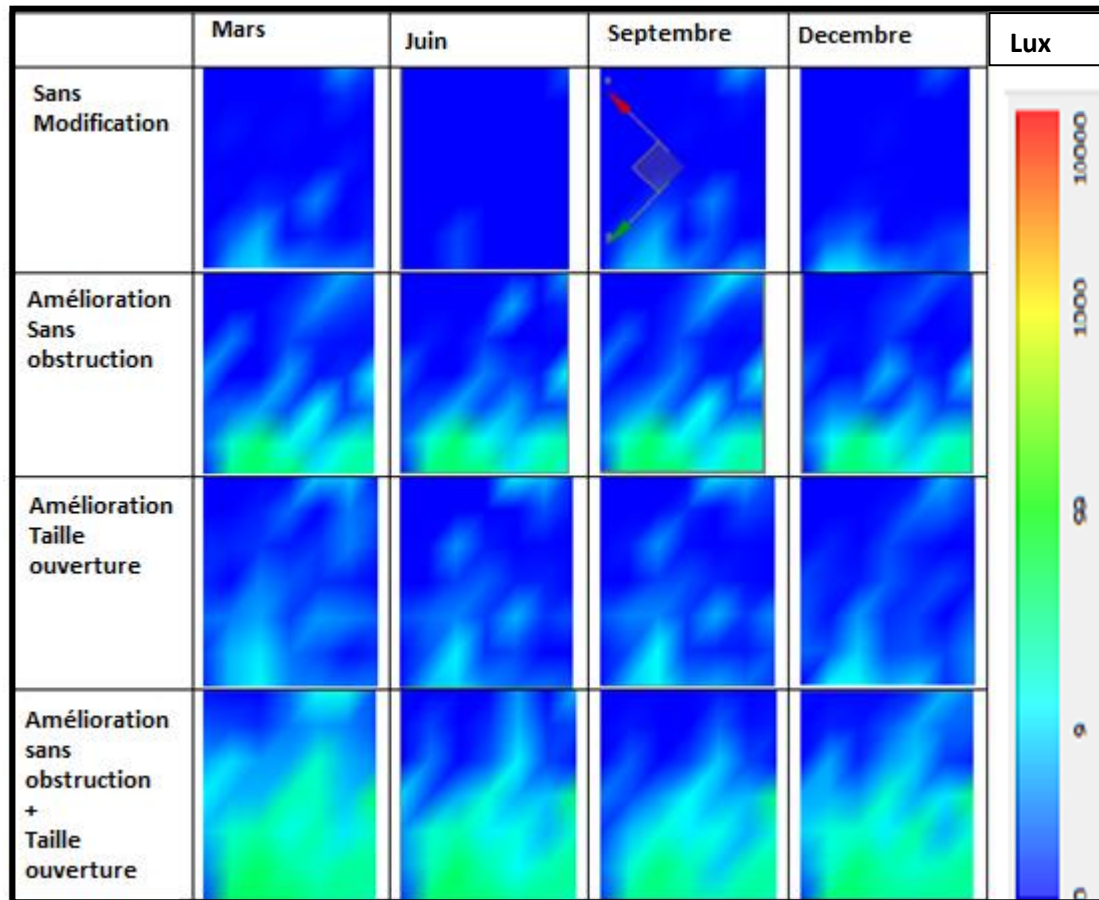
3. Synthèse Améliorations

Nous constatons suite aux modifications proposées, une amélioration de la zone de confort :

3.1. Cuisine

Pour le cas de la cuisine, elle reste insuffisante, la configuration même du plan est a changé, une prise de jours effectué à travers un espace qui lui-même reçoit un éclairage indirect (sauf pour les derniers niveaux), par la loggia qui elle-même donne sur une cours est un mauvais choix de conception, la profondeur de celle-ci en accentue les effets, les conséquences de ce choix architectural, dans ce cas précis sont important avec un 0% de point en zone de confort, implique une utilisation systématique de l'éclairage artificiel, donc consommation d'énergie électrique .

Tableau 6.5 : Amélioration du niveau d'éclairage pour la cuisine (Source : auteur)



Cependant bien que cette amélioration soit insuffisante le tableau 6.5 nous permet de visualiser, les améliorations apportées à la cuisine, comme nous pouvons le voir l'obstruction reste le facteur le plus significatif, l'augmentation de la taille de l'ouverture en maintenant l'effet de masque, ne permet pas le captage de l'éclairage par celle-ci et donc sa transmission.

Amélioration Obstruction : de 0% dans la zone de confort (60 à 300 lux) à une moyenne annuelle de 0,26%, avec un maximum pour juin à 8 heures le matin de 4,08%.

Amélioration Taille ouverture : Aucune amélioration du point de vue du confort.

Amélioration Taille + Obstruction : de 0% à 1%, avec une moyenne de 3% pour 8h et une valeur maximale de 8,16% pour le mois de juin à 8h. Bien que les valeurs de confort ne soient pas atteintes, une amélioration est notée : pour 8 heures, de la valeur maximale de 12 lux à 37 lux, à 17h d'une valeur maximale de 0 lux à 47 lux.

3.2. Séjour

Pour le séjour (Fig.6.40) une amélioration significative, de 51% dans la zone de confort à 74%. Que ce soit en termes de points entrants dans la zone de confort ou en termes de répartition de l'éclairage à l'intérieur de la place, ainsi nous confirmons qu'une position centrale de l'ouverture permet un meilleur éclairage qu'une position latérale.

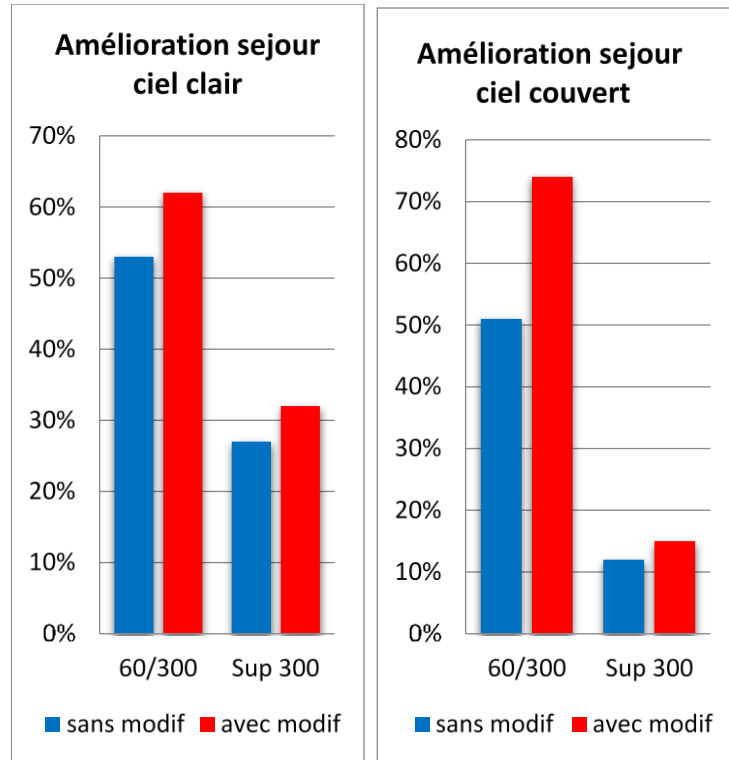


Figure 6.40 : Amélioration du pourcentage de valeurs entrant dans la zone de confort séjour (Source : auteur)

Cette amélioration est plus marquée sous ciel clair que sous ciel couvert. La position centrée de la tâche, permet une plus grande diffusion des rayons lumineux par réflexion dans la pièce.

4. Analyse de la consommation électrique en matière d'éclairage

4.1. La consommation électrique des ménages en matière d'éclairage

la consommation électrique du secteur résidentiel représente plus d'un tiers de la consommation totale des ménages, l'éclairage reste le premier poste consommateur d'électricité (32%) selon l'APRUE (APRUE, 2015, <http://www.aprue.org.dz/eco-lumi%C3%A8re.htm>), dans ce contexte l'APRUE se propose dans le cadre du programme « Eco-lumière », d'agir en ciblant une série de paramètres dont le comportement des usagers ou le changement d'équipements énergivores comme les lampes à incandescence ou

ordinaires à remplacer progressivement par des lampes fluo compactes dites Lampes économiques .

La conception architecturale, comme nous avons pu le constater dans ce qui précède reste un moyen efficace pour baisser la consommation liée à l'éclairage. Nous avons vu dans la partie améliorations qu'un simple déplacement d'une ouverture d'une position excentrée à centrée nous permet une amélioration de 23% de la zone de confort.

En ce qui concerne la cuisine, bien que l'amélioration de la cuisine n'ai pas été signifiante, vue la disposition particulière de celle-ci , une meilleur conception aurait pu limiter la consommation électrique liée à l'utilisation de l'éclairage électrique ; si on part de l'hypothèse, qu'une cuisine est utilisée pour la préparation et la prise de repas, et les tâches ménagères qui en résultent, nous proposons une durée d'occupation minimum de 3 heures par jour (cette valeur reste hypothétique, une heure pour chaque repas), pour une ampoule standard de 80 wattH, nous avons une consommation journalière de 250 watt par jour sur une année nous arrivons à une consommation de plus de 91KWattH par an, multipliées par les 865 logements de la cité étudié, les chiffres arrive à une consommation de presque 79 MWattH par an .

4.2. Analyse de la consommation électrique d'un appartement témoin

Dans le tableau (6.6) nous présentons la consommation électrique d'un appartement témoin (celui ou les mesures ont été prises), il s'agit d'un appartement situé au 9^e étage, orientation des façades : Sud-Est / est. Il s'agit donc d'un appartement relativement bien situé d'un point de vue orientation et étage (obstruction). Ménage de 4 personnes.

Tableau 6.6 : Exemple de Consommation d'électricité d'un Appartement F3, 9^e Etage

Date facture	Période	Consommation kWh	Montant TTC DA
03/05/2018	2 ^e trimestre 2018 (Février/Mars/Avril)	410	1813,66
05/08/2018	3 ^e trimestre 2018 (Mai/Juin/Juillet)	545	2586,71
04/11/2018	4 ^e trimestre 2018 (Aout/Septembre/Octobre)	604	2924,57
04/02/2019	1 ^{er} Trimestre 2019 (Novembre/Décembre/Janvier)	575	2746
Consommation annuelle		2134	10070,94

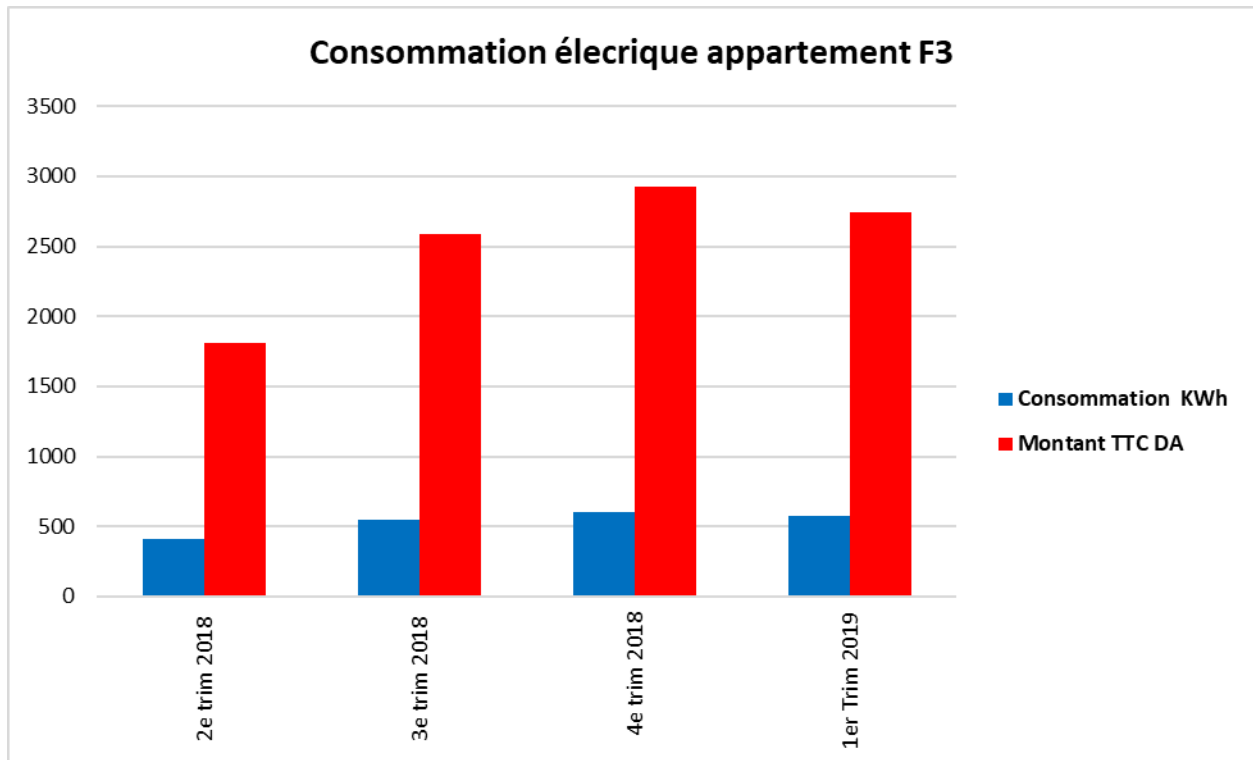


Figure 6.41 : Exemple de consommation électrique pour un appartement F3, 9^e Etage

Nous remarquons sur la (Fig.6.41) un pic de consommation pour le 4^e trimestre avec (604 kwh), cela peut être justifié d'une part par la consommation liée à l'utilisation de la climatisation et d'autre part par les vacances scolaires donc une occupation plus importante, et un prolongement de la consommation nocturne. Suivie par la consommation du 1^{er} trimestre Novembre avec (575 Kwh), décembre et janvier donc les journées les plus courtes de l'année, impliquant dans ce cas l'éclairage artificiel plus tard dans la matinée et plus tôt en fin de journée. Puis le 3^e trimestre avec (545 kwh) les mois de mai, Juin et juillet, juillet nécessitant l'utilisation de la climatisation, et enfin le 2^e trimestre, mois de Février, Mars et avril, avec la consommation la plus faible (410 kwh). Cela nous donne une consommation annuelle de 2134 kwh pour le F3.

La cité étudiée comprenant 865 logements de type F3 et F4, si nous utilisons la consommation du F3 comme référence nous avons une consommation annuelle pour la cité de 1845.910 Mkwh/an. Selon l'APRUE, (Agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie) 32% (APRUE, 2015, <http://www.aprue.org.dz/eco-lumi%C3%A8re.htm>), de cette consommation serait imputable à l'éclairage soit 590.691 Mkwh/an (Fig.6.42).

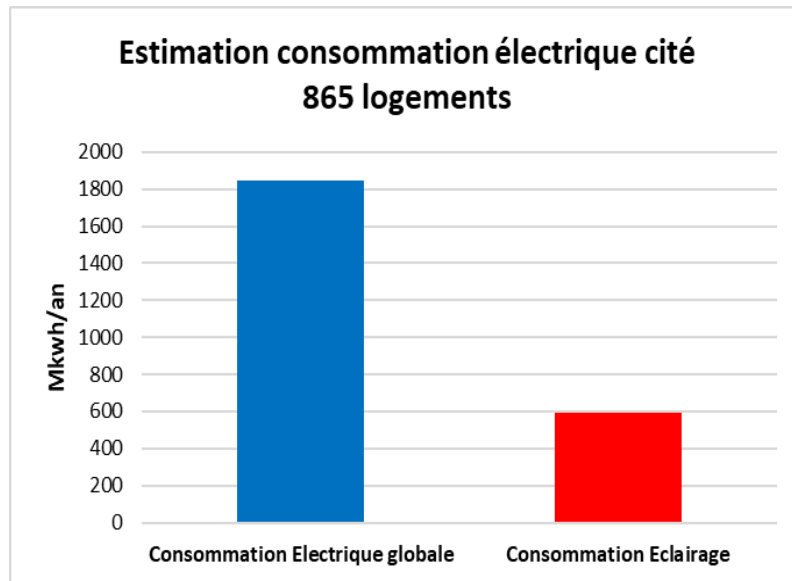


Figure 6.42 : Estimation consommation électrique cité 865 logement

Une consommation très importante qui pourrait être réduite, comme le préconise l'APRUE dans son programme « Eco-Lumière » par l'utilisation de lampe à faible consommation ; mais cela implique la collaboration de l'habitant, et un surcoût pour ce dernier, le prix de ce type de lampe étant plus important (lampe halogènes à ± 100 DA contre ± 250 DA pour les lampes fluocompactes et ± 350 Da pour les lampes LED), bien que la durée de vie des lampes économes en énergie soit plus importante, la différence de prix à l'achat est un frein à la sensibilisation et l'application reste difficile.

En moyenne, un foyer algérien consomme entre 1.800 à 2.000 kilowatts-heure/an alors que la norme est de 200 à 250 kilowatts-heure/an. Il consomme aussi le double de la consommation d'un foyer d'autres pays du Maghreb (Y. Ferhat 2016), sachant que plus du tiers de cette consommation est imputable à l'éclairage, une meilleure conception, prenant en charge l'optimisation de l'éclairage naturel, permettrait de solutionner le problème à la source.

Une évaluation du potentiel de l'éclairage diurne pour économiser l'énergie associée à un éclairage électrique économe (P. Ihm & Al 2009) (V. Ponmalar, B. Ramesh 2014), permet de diminuer de façon significative la consommation énergétique dans le bâtiment en général, et dans de bâtiment résidentiel en particulier ; les méthodes standard comme le facteur de lumière du jour J.Mardaljevic & Al 2011), ont montré aujourd'hui leurs limites face aux méthodes de prédétermination et d'aide à la décision grâce aux logiciels de simulations, ces méthodes permette à la fois de réduire la consommation et d'améliorer le confort (I.L.Wong 2017), en aidant le concepteur a dimensionner ses ouvertures en fonction de l'orientation, à prédire l'effet des masques potentiels, à mettre en place les protections si nécessaire (P.Xue

2019), mais aussi de gérer les effets de cette optimisation sur les apports thermique (W.J.Heea & AL.2015) afin d'assurer un confort à la fois lumineux et thermique.

Conclusion

Bien que les améliorations apportées à un bâtiment existant restent limitées, ce chapitre nous a permis de démontrer l'impact des choix de conception sur le confort visuels à l'intérieur du bâtiment, chaque trait dessiné par l'architecte a une répercussion directe sur le confort mais aussi sur la consommation énergétique nécessaire à l'atteinte de ce confort. Des modifications qui peuvent être considéré comme insignifiantes (position, taille des ouvertures, décrochement), que l'architecte utilise à des fins esthétiques, ou d'économie d'espace ou de matériaux ; peuvent être lourdes de conséquences, comme c'est le cas des cuisines de notre cas d'étude. Ainsi une utilisation des outils d'aide à la décision à des moments clé de la conception nous offre en tant que concepteurs la possibilité d'apporter des modifications dans le but d'optimiser l'éclairage naturel et par conséquent de réduire la consommation énergétique tout en assurant le confort.

Notre cas d'étude n'est qu'un exemple des erreurs de conception ayant un impact direct sur la consommation énergétique, ce qui est à retenir c'est l'impact de l'orientation, de la présence de masque, de la taille et de la position de l'ouverture sur le confort visuel, une étude de l'éclairage naturel lors de la conception permettrait d'améliorer le confort.

Dans la deuxième partie du chapitre l'analyse de la consommation énergétique de notre appartement témoin confrontée aux données de la littérature en matière de consommation énergétique des logements, démontre le manque à gagner en matière d'énergie.

Si la consommation est ici calculée uniquement sur la base de la consommation de la cuisine, elle est considérable, à grande échelle comme c'est le cas des cités des logements collectif (pouvant aller jusqu'à plus de 1000 logements), chaque erreur de conception a un coup énergétique important. Pour remédier à cela une réglementation en matière d'éclairage naturel est plus que nécessaire, mais le volet de la formation est aussi très important, la sensibilisation et la formation des architectes permettrait d'éviter des maladresses coûteuses du point de vue énergétique.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

Dans le cadre de la préservation de l'environnement et du développement durable, il est essentiel que les édifices soient en cohérence avec leur environnement. Tirer le meilleur parti de la lumière naturelle, permet d'accorder le bâtiment aux rythmes naturels. Cependant bien que la lumière naturelle fasse partie intégrante de la conception architecturale, celle-ci reste bien souvent sous exploitée. Son impact sur la santé, la sécurité, le confort, et l'économie d'énergies est incontestable dans le bâtiment en général et dans le logement en particulier.

Dans le cadre de ce travail nous avons pour objectif de mettre en évidence les éléments influençant l'éclairage naturel dans le logement, dans le but d'améliorer la conception des futurs bâtiments, le choix du cas d'étude s'est fait sur la base de l'observation. Posant ainsi la problématique de l'éclairage naturel dans des logements conçus par l'agence de l'amélioration et du développement du logement (AADL), du point de vue du confort visuel et de la consommation énergétique. Ainsi nos hypothèses étaient axées sur trois volets : la satisfaction de l'occupant, l'impact de la conception sur le confort visuel et la consommation énergétique imputable à la conception.

Pour répondre à cette problématique une méthodologie a été proposée dans le cadre de cette étude, basée sur l'enquête par questionnaire et les mesures sur site, en utilisant la méthode « poste occupation », nous avons proposé de compléter cette méthode issue de la littérature par la simulation numérique, de manière à toucher un échantillon plus large indépendant de la participation de l'occupant et des aléas de la météo. Cela nous a permis d'étudier les différentes configurations des appartements sous ciel clair et sous ciel couvert.

L'enquête a été réalisée sur un échantillon aléatoire sans choix de strates particulières auprès des habitants de la cité, elle a mené à une évaluation de la satisfaction de l'occupant vis à vis de l'éclairage naturel des logements et a confirmé l'hypothèse de départ à savoir que ce dernier n'est pas satisfaisant. Quant aux mesures sur site effectuées sur un appartement témoin, elles nous ont permis de valider notre modèle de simulation en comparant les données mesurées aux données simulées, les mesures ont été faites sur quatre dates dans l'année à trois heures différentes de la journée afin d'être représentatives du climat lumineux sur toute une année, l'erreur moyenne absolue a été calculée permettant ainsi de valider le modèle.

La simulation quant à elle est effectuée sur douze appartements orientation et niveau différents, permettant ainsi d'avoir un échantillon représentatif des appartements de la cité. Les données récoltées sont traitées à l'aide du logiciel de traitement de données Matlab, en calculant le pourcentage des points simulés entrant dans la zone de confort, et en les confrontant aux facteurs déterminant l'impact de la conception sur le confort visuel. Chaque paramètre mérite une attention particulière en raison de son impact sur la qualité de l'éclairage.

Dans un premier temps, nous avons évalué le confort visuel à l'intérieur des logements, dans l'ensemble il est considéré comme insuffisant avec une moyenne de 50% des points de mesure entrant dans la zone de confort avec des disparités, par exemple le salon étant entre 43% (sous un ciel dégagé) et 48% (sous ciel couvert), et des cuisines encore plus frappantes avec des valeurs presque nulles, nécessitant ainsi l'utilisation systématique de la lumière artificielle.

Pour le facteur orientation, nous avons constaté tout au long de la journée et aux différentes saisons, que l'orientation sud / est reste la plus favorable dans notre cas d'étude, bien que l'orientation nord / ouest présente un léger avantage en fin de journée. Cependant, bien que le niveau d'éclairement dépende, de la trajectoire du soleil, d'autres paramètres influencent le confort lumineux, la tache solaire correspondant à un pic des valeurs d'éclairement pouvant créer un inconfort.

Autre source d'inconfort liée à l'éclairage direct reçu dans une pièce ; l'effet de contraste : avoir une tâche solaire importante (éblouissement), alors qu'une partie de la pièce reste sombre. Il est également à noter que l'orientation des bâtiments adjacents ou des décrochements spécifiques à un bâtiment peuvent accentuer l'effet de masque (ombre) provoquant une diminution ou une absence totale d'éclairage direct (exemple des cuisines dans notre cas d'étude) et donc un éclairage insuffisant à l'accomplissement des activités. Ainsi, la nécessité d'utiliser un éclairage artificiel à une heure ou un éclairage naturel est disponible.

Deuxième facteur étudié le niveau du logement, plus le logement est proche de la voute du ciel plus il reçoit de lumière naturelle, nous constatons aussi que l'effet de masque dû à l'environnement et aux décrochements du bâtiment (cas des cuisines) est plus marqué aux étages inférieurs.

L'orientation des baies ne peut à elle seule être déterminante pour l'éclairage, le niveau, la position et la taille des ouvertures, la présence de masques, sont autant de facteurs déterminants. Le croisement de ces données permet à l'architecte de gérer l'éclairage naturel pour allier confort visuel et économie d'énergie.

Dans un deuxième temps nous avons proposé des améliorations en choisissant les cas les plus défavorables, à savoir la cuisine (éclairage insuffisant) et le séjour (effet de contraste), pour la cuisine l'amélioration n'est pas significative à peine 1% sur l'ensemble, avec un maximum de 8% à 8h, pour un meilleur résultat il aurait fallu changer la configuration du plan, par contre pour le séjour nous notons une amélioration de 23%, le changement de la position de l'ouverture a permis d'atteindre les 74% de points entrant dans la zone de confort.

La cuisine dans notre cas d'étude est un exemple des erreurs de conception pouvant avoir un impact sur la consommation énergétique du bâtiment. L'analyse de la consommation énergétique de notre logement témoin, démontre le manque à gagner en matière d'énergie. Avec une consommation annuelle de 2134 kwh pour le F3, la part imputable à l'éclairage (32% selon L'APRUE) n'est pas négligeable d'autant plus si on le multiplie par les millions de logements qui enrichissent le parc immobilier algérien chaque année.

La consommation d'éclairage artificiel, alors que l'éclairage naturel est disponible peut être économisée par une conception architecturale adéquate : la prise en compte de l'orientation, le respect des règles de prospect permettant de limiter les effets de masque, adapter la taille et la position de l'ouverture à la pièce, tout cela peut être vérifié en amont dès les premières étapes de la conception en ayant recours aux logiciels de simulation, que ce soit la simulation d'ombrage aujourd'hui présente sur la plupart des logiciels de modélisation, ou les logiciels spécifiques à la simulation de l'éclairage. Il suffit d'une prise de conscience des architectes, d'autant plus que la lumière naturelle est l'une des énergies renouvelables les plus faciles à utiliser, elle n'engendre pas de surcoût lors de la réalisation et engendre au-delà de l'économie d'énergie, une économie financière non négligeable, appréciable non pas à moyen ou à long termes comme pour d'autres énergies, mais de façon immédiate.

Limites et perspectives de recherche

Dans le cadre de cette recherche nous avons mis l'accent sur les facteurs déterminant le niveau de confort visuel dans les logements. Les facteurs exploités sont loin d'être exhaustifs, nous en sommes conscients mais ce sont les données qui se sont dégagées du cas d'étude, d'autres facteurs pourraient être exploités à partir de la base de données obtenues (à voir en annexes), nous avons comparé les différents appartements puis nous nous sommes intéressé aux cas les plus défavorables ; les possibilités de croisements de données sont nombreuses, elle pourraient être exploitées par nous-mêmes ou par d'autres chercheurs dans des études futures.

Ce travail n'a nulle prétention de quantifier la consommation énergétique précise, liée au manque d'éclairage naturel, dans le cas d'étude mais a pour ambition de sensibiliser les architectes à l'impact de la conception en matière d'éclairage naturel, sur la consommation énergétique à l'heure ou en Algérie les regards sont tournés vers le thermique en terme de réglementation (DTR 3.2: calcul des déperditions thermiques du logement en Hiver, et DTR 3.4: calcul des apports de chaleur dans le logement en été), sur les panneaux solaires en terme d'énergie renouvelable, l'éclairage naturel mériterait qu'on s'y attarde comme source d'énergie renouvelable mais aussi de confort.

Une proposition de réglementation permettrait de réguler la conception architecturale afin d'éviter de tomber dans des erreurs de conception, telles que celles que nous avons présentées dans notre cas d'étude, et de combler le vide réglementaire pour l'éclairage à la fois naturel et artificiel. En ce qui concerne l'efficacité et l'efficacité énergétique dans les études rencontrées en matière d'éclairage naturel la plupart traitent des espaces de travail, l'environnement résidentiel présente un champ d'investigation encore vierge que nous proposons d'explorer à travers nos recherches. Des stratégies de conception bioclimatiques peuvent être développées pour améliorer le confort visuel dans les projets immobiliers. En plus du confort thermique et afin de réduire la consommation d'énergie et les dépenses de leurs résidents, des études spécifiques au climat lumineux algérien assureraient l'équilibre entre confort visuel et confort thermique sous les différents climats dont bénéficie notre pays. Les résultats de cette étude montrent qu'il existe un fort potentiel d'augmentation de l'efficacité énergétique dans le logement dans les pays émergents comme l'Algérie.

Autre volet important en matière de perspectives « la formation » ; la réglementation à elle seule ne peut garantir l'efficacité énergétique. Pour que cette réglementation soit opérationnelle sur le terrain la formation des architectes est indispensable. Ces dernières années les différents masters en architecture proposés au niveau des universités algériennes (architecture bioclimatique, Architecture environnement et technologie ...) auxquels nous avons activement participé dans le cadre de l'atelier de projet, et même dans le cadre de modules dédiés au confort en général, et au confort visuel en particulier, mais aussi au diagnostic énergétique, ouvrent des perspectives intéressantes dans le domaine.

Cependant des formations dédiées aux différents acteurs sur le terrain s'imposent, une culture de la formation continue devrait être introduite dans les bureaux d'études qu'ils soient étatiques ou privés, des échanges dans le cadre de partenariat entreprise / université permettrait de renforcer la politique énergétique algérienne sur le terrain tout en connectant la recherche à la réalité du terrain.

Bibliographie

- Abdulkareem, M., Al-Maiyah, S., Cook, M. (2018).** « Remodelling façade design for improving daylighting and the thermal environment in Abuja's low-income housing », *Renew. Sustain. Energy Rev.* 82 (2018) 2820–2833. <http://doi:10.1016/J.RSER.2017.10.010> .
- Acosta, I. , Campano, M.A. , Molina, J.F. (2016).** Analysis of Energy Savings and Visual Comfort Produced by the Proper Use of Windows, *Int. J. Eng. Technol.* 8 (2016) 358. <http://doi:10.7763/IJET.2016.V8.913> .
- Ahmad, R.M., Reffat, R.M (2018).** A comparative study of various daylighting systems in office buildings for improving energy efficiency in Egypt, *Journal of Building Engineering*, Volume 18, July 2018, Pages 360-376, <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.04.002>.
- Al-Ashwal N.T., Budaiwi I.M. (2011).** « Energy savings due to daylight and artificial lighting integration in office buildings in hot climate », *Int. J. Energy Environ.* 2 (2011) 999–1012.
- Aman, M.M., Jasmon, G.B., Mokhlis, H., Bakar, A.H.A. (2013).** « Analysis of the performance of domestic lighting lamps », *Energy Policy.* 52 (2013) 482–500. <http://doi:10.1016/J.ENPOL.2012.09.068> .
- Amirat, M., El Hassar, S.M.K. (2005).** « Economies d'Énergie dans le Secteur de l'Habitat Consommation Electrique des Ménages-Cas d'un foyer algérien typique en période d'hiver », *Rev. Des Énergies Renouvelables.* 8 (2005) 27–37. <http://www.cder.dz/spip.php?article171>.
- Angers, M. (1997).** « Initiation pratique à la méthodologie des sciences humaines ». Alger : Casbah Université. 1997, p 58.
- Arab, Y., Hassan, A.S. (2013).** « Daylight performance of single pedentive dome mosque design during winter solstice », *Am. J. Environ. Sci.* 9 (2013) 25–32. <http://doi:10.3844/ajessp.2013.25.32> .
- Architecture et climat ,Guide Eclairage naturel des bâtiments**, Université catholique de Louvain [En ligne] <http://www-energie.arch.ucl.ac.be> .
- APRUE (2007).** « Consommation Énergétique Finale de l'Algérie, Chiffres clés Année 2005 », Ministère de l'Énergie et des Mines, 2007. <http://www.aprue.org.dz/documents/consommation-energetique.pdf> (accessed February 19, 2019).
- APRUE (2014).** « CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE FINALE DE L'ALGÉRIE, Chiffres clés Année 2012 », 2014. <http://www.aprue.org.dz/> PUBLICATION CONSOMMATION ENERG%C9TIQUE FINALE 2012.pdf (accessed February 19, 2019).
- APRUE (2015),** « Programme Eco-lumière », En ligne : <http://www.aprue.org.dz/prg-1a.html>.
- Attia, S., Hamdy, M., Ezzeldin, S. (2017).** « Twenty-year tracking of lighting savings and power density in the residential sector », *Energy Build.* 154 (2017) 113–126. <http://doi:10.1016/J.ENBUILD.2017.08.041> .

- Baker, N., Steemers, K. (2002).** « *Daylight Design of Buildings* », Routledge, 2002. <http://doi:10.4324/9781315073750> .
- Bardou, P. (1978).** « *Archi de soleil* » édition Parenthèses, 1978.
- Basurto, C., Kämpf, J.H., Scartezzini, J.-L (2015).** Annual Performance Assessment of Complex Fenestration Systems in Sunny Climates Using Advanced Computer Simulations, *J. Daylighting*. 2 (2015) 32–43. <http://doi:10.15627/jd.2015.6> .
- Belakehal, A., Tabet Aoul, K. (2003).** « l'éclairage naturel dans le bâtiment. Reference aux milieux arides a climat chaud et sec ». *Daylighting in buildings. Reference to hot arid lands, Courr. Du Savoir*-N°04. (2003) 3–13. <http://www.webreview.dz/IMG/pdf/1-Belakehal.pdf> (accessed February 19, 2019).
- Bell, J., Burt, W., in Rouag, D. (2001).** *Sunlight problems within new primary school classrooms in Constantine*. Thèse de Doctorat. Constantine : Université Mentouri, Avril 2001, p 143.
- Benharkat, S. (2006).** *Impact de l'éclairage naturel zénithal sur le confort visuel dans les salles de classe cas d'étude : bloc des lettres de l'université Mentouri Constantine*, 2006. <http://archives.umc.edu.dz/bitstream/handle/123456789/8782/BEN4473.pdf?sequence=1> (accessed February 19, 2019).
- Blanchet, A., Gotman, A. (1992).** « *l'enquête et ses méthodes : l'entretien* », Nathan université.
- Bodach, S., Hamhaber, J., (2010).** Energy efficiency in social housing: Opportunities and barriers from a case study in Brazil, *Energy Policy*. 38 (2010) 7898–7910. <http://doi:10.1016/J.ENPOL.2010.09.009> .
- Bodart, M., De Herde, A. (2002).** Global energy savings in offices buildings by the use of daylighting, *Energy Build.* 34 (2002) 421–429. [http://doi:10.1016/S0378-7788\(01\)00117-7](http://doi:10.1016/S0378-7788(01)00117-7) .
- Bodart, M., Chaudebie, G., De Herde, A., Liébard, A. (2003).** Construire avec l'éclairage naturel et artificiel. Systèmes solaires, *l'observateur des énergies renouvelables*: Paris.
- Bodart, .M, Deneyer, .A (1999).** « *Guide d'aide à l'interprétation et à l'amélioration des résultats des mesures sous ciel et soleil artificiel* » du CSTC, centre scientifique et technique de la construction, université catholique de Louvain.
- Boubekri, M., (2008).** « *Daylighting, Architecture and health, Building Design Stratégies* », Architectural Press.
- Boubekri, M., Jaewook, L. (2017).** A comparison of four daylighting metrics in assessing the daylighting performance of three shading systems, *Journal of Green Building*, Volume 12, Issue 3 (Summer 2017).
- Boumaaraf, B., Touafek, K., Ait-cheikh, M.S., Slimani, M.E.A (2018).** « Comparison of electrical and thermal performance evaluation of a classical PV generator and a water glazed hybrid photovoltaic–thermal collector », *Math. Comput. Simul.* (2018). <http://doi:10.1016/J.MATCOM.2018.09.003> .

Bouvier, F., Paule, B., Courret, G. (1988). « *Éclairage naturel* », Ed. Techniques Ingénieur. www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/electronique-photonique-th13/optique-instrumentale-42449210/eclairage-naturel-c3315/.

Canter, D.(1975). « Psychologie for architects », *Architectural Science*, Elsevier Science Ltd (1975). 182 pages.

Cantin, F., Dubois, M.-C. (2011). 'Daylighting metrics based on illuminance, distribution, glare and directivity', *Lighting Research & Technology*. Sage Publications Sage UK: London, England, 43(3), pp. 291–307.

Capra, F. in Guzowski, M. (1999). « *Daylighting for sustainable design* ». New York: Mc GrawHill.

Carlucci, S., Causone, F., De Rosa, F. and Pagliano, L. (2015). 'A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, pp. 1016–1033. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.062>.

Castel, F. (2016). Accompagner les métropoles sur la voie d'un développement soutenable : acquis et perspectives du Global Lab on Metropolitan Strategic Planning de la Banque mondiale. *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*, 84(4), 70-73. <https://doi.org/10.3917/re1.084.0070>.

CERMA. « La géométrie solaire », Ecole d'Architecture de Nantes [En ligne] <http://audience.cerma.archi.fr/cerma/pageweb/theorie/solaire/.html>.

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

Commission Internationale de l'Eclairage in « *Luminous distribution of the sky* » [En ligne] www.squ1.com.

Danny, H.W., Li Ernest, Sang, K.W.T. (2007). An analysis of daylighting performance for office buildings in Hong Kong, *Building and Environment* ,Volume 43, Issue 9, September 2008, Pages 1446-1458 <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.07.002>.

De Boer, J., Erhorn,H. (1999). « *Survey Simple Design Tools* ».IEA,1999,49p.

De Herde, A., Liebard, A. (2006). « *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable* », Le moniteur.

Deneyer, A., D'herdt, P., Peter, Deroisy B., Roisin B., Bodart M., Deltour J. Venstermans J. , (2011) . « *Guide pratique et technique de l'éclairage résidentiel* », Centre Scientifique et Technique de la Construction (Bruxelles). 60 pages.

Deribere, M., Chauvel, P. (1968). « *L'eclairage naturel et artificiel dans le bâtiment* » ,Eyrolles Traite du Bâtiment . 239 pages.

Deroisy.B, A.Deneyer (2011), Evaluation de l'éclairage naturel par simulation informatique, *Les Dossiers du CSTC* 2011/3.18.

Doussard, C., & Holden, M. (2019). « *(re) Penser la ville du XXIe siècle: 20 ans d'écoquartiers dans le monde* ». Dunod. 224 pages.

Dubois, M.C. (2003). « Shading devices and daylight quality: an evaluation based on simple performance indicators », *Light. Res. Technol.* 35 (2003) 61–74. <http://doi:10.1191/1477153503li062oa> .

Dubois, C., Demers, C., Potvin, A. (2007). The influence of daylighting on occupants: comfort and diversity of luminous ambiances in architecture, *in: Proc. Sol. Conf.*, 2007: p. 720.

Energie + le site, [en ligne] <https://www.energieplus-lesite.be>) Autonomie en lumière du jour , <https://energieplus-lesite.be/theories/eclairage12/physique-lumiere/autonomie-en-lumiere-du-jour/> .

Ferhat, Y. (2016), « la consommation électrique des foyers algériens est 10 fois supérieure à la norme », selon l'APRUE, *Maghreb émergent* , en ligne : <https://maghrebemergent.info/la-consommation-electrique-des-foyers-algeriens-est-10-fois-superieure-a-la-norme-selon-l-aprue/> .

Fasi, M.A., Budaiwi, I.M. (2015). Energy performance of windows in office buildings considering daylight integration and visual comfort in hot climates, *Energy Build.* 108 (2015) 307–316. <https://doi:10.1016/J.ENBUILD.2015.09.024>.

Haubruge, C., Bodart, M. (2012). « Formations METRICS : Modélisation et simulation de l'éclairage naturel au moyen de 3ds Max Design , septembre 2012, ARCHITECTURE ET CLIMAT, Université catholique de Louvain, Centre de Recherches en Architecture. <https://sites.uclouvain.be/eclairage-naturel/publications.htm>.

GIVONI, B. (1978). « *L'homme, l'architecture et le climat* », Traduction de J.L. IZARD. Paris : Le Moniteur. Paris.

Hamouda, C., Malek, A. (2006). « Analyse théorique et expérimentale de la consommation d'énergie d'une habitation individuelle dans la ville de Batna », *Rev. Des Énergies Renouvelables*. 9 (2006) 211–228. <http://www.cder.dz/spip.php?article205>.

Hassan, H. (1996). « *Construire avec le peuple* », Sindbad, La Bibliothèque arabe.

Heea, W.J. and AL. (2015). « The role of window glazing on daylighting and energy saving in buildings », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 42, February 2015, Pages 323–343, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.09.020>.

Heerwagen, Thomson et Jonas. (2008) Dans LESAGE, K. (2013). *la lumière naturelle favorise-t-elle la création d'un environnement sain et confortable pour les occupants des bâtiments certifiés ? Un comparatif des certifications LEED® et BREEM®*, maîtrise en environnement, université de SHERBROOKE.

Hirning, M.B., Isoardi, G.L., Coyne, S., Garcia Hansen, V.R., Cowling I. (2013). « Post occupancy evaluations relating to discomfort glare: A study of green buildings in Brisbane », *Build. Environ.* 59 (2013) 349–357. <http://doi:10.1016/J.BUILDENV.2012.08.032>.

Hua, Y., Oswald, A., Yang X. (2011). « Effectiveness of daylighting design and occupant visual satisfaction in a LEED Gold laboratory building », *Build. Environ.* 46 (2011) 54–64. <http://doi:10.1016/J.BUILDENV.2010.06.016>.

Ibn Hamdîs traduit par **Berchet, L.**, Revue Tunisienne, 1929, en ligne : <http://www.fonduk.com/doc/le-palais-al-mansour-a-bougie/>.

IESNA. (1999). IESNA Software survey. Lighting Disign + Application , 1999, vol 29, n 12 ,pp39-48.

Ihm, P., Nemri, A., Krarti, M.,(2009). « Estimation of lighting energy savings from daylighting », *Build. Environ.* 44 (2009) 509–514. <http://doi:10.1016/J.BUILDENV.2008.04.016>.

Kameni, M., & AL. (2020). Influence of energy mix on the life cycle of an eco-neighborhood, a case study of 150 countries, *Renewable Energy*, Volume 162, December 2020, Pages 81-97 <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.07.141> .

Kensek, K., Suk, J.Y. (2011). « Daylight Factor (overcast sky) versus Daylight Availability (clear sky) in Computer-based Daylighting Simulations », *J. Creat. Sustain. Archit. Built Environ.* 1 (2011) 3–14.

Kent, M.G., Altomonte, S., Wilson, R. , Tregenza, P.R., (2017). « Temporal effects on glare response from daylight », *Build. Environ.* 113 (2017) 49–64. <http://doi:10.1016/J.BUILDENV.2016.09.002> .

Krarti, M., Erickson, P.M., Hillman, T.C. (2005). « A simplified method to estimate energy savings of artificial lighting use from daylighting », *Build. Environ.* 40 (2005) 747–754. <http://doi:10.1016/J.BUILDENV.2004.08.007> .

Lam, W.M.C., Delhomme, S., Chevallier, S. (1982). « Éclairage et architecture: 55 exemples américains », Ed. du Moniteur.

Lavoie, M.P., Hébert, M. (2007). Faire la lumière sur le trouble affectif saisonnier, *Canadian Psychology*, 2007, Vol. 48, No. 3, 187-199.

Le Corbusier, (1977).« *Vers une architecture* », nouvelle édition revue et augmentée, Paris, Arthaud, 1977.

Légifrance le site, circulaire gouvernementale [en ligne] -service public de la diffusion du droit https://www.circulaires.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006072050/LEGISCTA000018488646/2020-11-05.

Levy-leboyer C. (1980). « *Psychologie et environnement* », éditons PUF, 1980.

Liébard ; A., De Herde ; A. (2005). *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques*, Observ'ER, Le Moniteur, 776p.

Lesage, K.(2013). *la lumière naturelle favorise-t-elle la création d'un environnement sain et confortable pour les occupants des bâtiments certifiés ? Un comparatif des certifications LEED® et BREEM®,* maîtrise en environnement, université de SHERBROOKE, 2013.

Leysens, E. (2012) . *Breem, Leed et HQE à la conquête du monde*, LE MONITEUR.FR .

Lim.I.W & Al. (2012). Building façade design for daylighting quality in typical government office building, *Building and Environment*, Volume 57, November 2012, Pages 194-204, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.04.015>.

Maamari F. (2004) « La simulation numérique de l'éclairage, limites et potentialités », thèse de doctorat, institut national des sciences appliquées de Lyon.

Magnusson, A. (2001). Historical excerpts. Dans T. Partonen et A. Magnusson (Éds.), *Seasonal affective disorder, practice and research*. Oxford : Oxford University Press. Dans **Lavoie, M., Hébert, M. (2007).** Faire la lumière sur le trouble affectif saisonnier, *Canadian Psychology* 2007, Vol. 48, No. 3, 187-199.

Maltais, L.G., Gosselin, L. (2017). Daylighting 'energy and comfort' performance in office buildings: Sensitivity analysis, metamodel and pareto front, *Journal of Building Engineering*, Volume 14, November 2017, Pages 61-72, <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2017.09.012>.

Mardaljevic, J., Hescong, L. and Lee, E. (2009). 'Daylight metrics and energy savings', *Lighting Research and Technology*. SAGE Publications, 41(3), pp. 261–283.

Mardaljevic, J. ; Andersen M. ; Roy, N. (2011).« Daylighting Metrics for Residential Buildings » *Proceedings of the 27th Session of the CIE*, Sun City, South Africa, July 11-15, 2011 <https://infoscience.epfl.ch/record/166212>.

Mardaljevic, J. (2012). 'Daylight, indoor illumination and human behavior.' *Springer Science+ Business Media*, LLC, pp. 69–111.

Mazouz, S. (2014). « *Éléments de conception architecturale* », OPU , 2014, 272p.

Mazouz, S., Mezrag, H. (2013). L'approche d'évaluation post occupationnelle: un outil diagnostique de la performance du logement, *Courr. Du Savoir*. 15 (2013) 87–95. <http://revues.univ-biskra.dz/index.php/cds/article/view/402>.

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

MEMA. (2017). « *Bilan Energétique National* »-2016, 2017. http://www.energy.gov.dz/francais/uploads/2017/Bilans_et_statistiques_du_secteur/Bilan-Energetique/Bilan_Energetique_National_2016_edition_2017.pdf.

(accessed February 19, 2019).

Ministère de l'Habitat (1998). *Réglementation technique algérienne du bâtiment : concepts et nomenclature*. Alger : Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismiques C.G.S. Mars 1998, p149.

Moustafa, W.S., Abdelrahman, M., Hegazy, I. (2018). « Building performance assessment of user behaviour as a post occupancy evaluation indicator: Case study on youth housing in Egypt » *Building Simulation*, April 2018, Volume 11, Issue 2, pp 389–403.

Mudri, L. (1996). « *Aide a la conception de l'eclairage naturel dans la phase d'esquisse architecturale et son impact sur l'energetique du batiment* », Paris, ENMP, 1996. <http://www.theses.fr/1996ENMP0725>.

Mudri, L. (2002). « *De l'hygiène au bien-être, du développement sans frein au développement durable : ambiances lumineuses* ». Paris. Ecole d'architecture de Paris-Belleville. Novembre.

Mucchielli, .R (1993). « *Le questionnaire dans l'enquête psychosociale* » édition ESF 1993.

- Nabil, A. Mardaljevic J. (2005)**, « Useful Daylight Illuminance: A New Paradigm to Access Daylight in Buildings ». *Lighting Research and Technologies*, 37 (1), 41-59.
- Nadji, I. (2006)** , « *Lumière naturelle et architecture entre normes et perceptions* », mémoire de magister en architecture climatique, USTOMB.
- Pare, R. (1997)**. « - Tadao Ando : « Les couleurs de la lumière » » *Communiqué de presse*, Centre Canadien d'Architecture, Montréal.
- Petrinska, I., Dilyan, I. (2018)**. Comparison of Experimental and Simulation Data for Daylighting , Published in: 2018 *Seventh Balkan Conference on Lighting* (BalkanLight).
- Phillips, D. (2004)**. « *Daylighting, Natural light in architecture* », Architectural Press.
- Ponmalar, V., Ramesh, B. (2014)**. « Energy Efficient Building Design and Estimation of Energy Savings From Daylighting in Chennai », *Journal Energy Engineering* Volume 111, 2014 - Issue 4, <https://doi.org/10.1080/01998595.2014.10846858> .
- Rapport, A. (1972)**. « Pour une anthropologie de la maison », Paris, Dunod, 207 p.
- Reinhart, C.F., Walkenhorst, O. (2001)**. « Dynamic Radiance-based Daylight Simulations for a full-scale Test Office with outer Venetian Blinds », *Energy and Buildings*, 33(7), 683-697.
- Reiter, S., De Herde, A. (2003)**. « *Guide à l'utilisation de l'éclairage naturel* », UCL– Presses Universitaires de Louvain .
- République Algérienne.(2002)** Codes du foncier et de l'urbanisme : recueil de textes législatifs et réglementaires de la République Algérienne. BERTI Editions. 2001-2002. P.
- Rogers, Z. (2006)**. Daylighting Metric Development Using Daylight Autonomy Calculations In the Sensor Placement Optimisation Tool, Boulder, Colorado, USA.
- Rouag, D.(2001)**, « *Sunlight problems within new primary school classrooms in Constantine* ». Thèse de Doctorat. Constantine : Université Mentouri de Constantine.
- Rouag-Saffidine, D., Benharkat, S. (2006)**, « Learning more from existing indoors: An investigation of roof lighting within lecture rooms », in: 23rd *Int. Conf. Passiv. Low Energy Archit.* PLEA, Geneva, Switzerland, 2006: pp. 1797–1802.
- Rowena Hay, Samuel, F., Kelly, J., Watson & Bradbury, S. (2018)**. « Post-occupancy evaluation in architecture: experiences and perspectives from UK practice » *Building Research & Information* Volume 46, 2018 - Issue 6 , <https://doi.org/10.1080/09613218.2017.1314692>.
- RT2012**, réglementation thermique , France, <https://www.e-rt2012.fr/explications/> .
- Salvador, J. (1999)**. « Méthodes de recherche en sciences socio humaines » .
- SAVIC, S. (2011)**. L'Espace de la lumière, Mastère de Création et Technologies Contemporaines,ENSCI .
- Schofield, M.(1980)**. Des Architectures pour mieux vivre , dix-huit exemples internationaux, éditions du Moniteur.

Sellami, R. , & Al (2019). Experimental and numerical study of a PV/Thermal collector equipped with a PV-assisted air circulation system: Configuration suitable for building integration, *Energy Build.* (2019).

S.I.A (Eds) (1999). Le soleil. Chaleur, lumière dans le bâtiment, EPLF Lausanne.

Sigrid, R., De Herde, A.(2004). L' éclairage naturel des bâtiments, presse universitaire de Louvain, UCL.

Slimani, M.E.A., & Al (2017) A detailed thermal-electrical model of three photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid air collectors and photovoltaic (PV) module: Comparative study under Algiers climatic conditions, *Energy Convers. Manag.* 133 (2017) 458–476. <http://doi:10.1016/J.ENCONMAN.2016.10.066>.

Steane, M.A. (2004). « Environmental Diversity in Architecture », Routledge, <http://doi:10.4324/9780203561270> .

Surault, P., (1984). Espace population et société, Les facteurs de différenciation sociale de la mortalité Année 1984, 3 pp. 131-140, https://www.persee.fr/doc/espos_0755-7809_1984_num_2_3_983.

Turot, F., (2008). « La lumière et l'homme dans l'architecture : Le cas de l'Université Paris 10 Nanterre », Ecole Supérieure Nationale d'Architecture de Paris La Villette.

Veitch, J.A., (2001). « Psychological Processes Influencing Lighting Quality », *J. Illum. Eng. Soc.* 30 (2001) 124–140. <http://doi:10.1080/00994480.2001.10748341>.

Tzempelikos, A. and Athienitis, A. K. (2007). 'The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand', *Solar Energy*, 81(3), pp. 369–382. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2006.06.015>.

Wang, H., Zhai, Z.J. (2016). « Advances in building simulation and computational techniques: A review between 1987 and 2014 », *Energy Build.* 128 (2016) 319–335. <https://doi:10.1016/J.ENBUILD.2016.06.080>.

Wong, I.L. (2017). A review of daylighting design and implementation in buildings, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* ,Volume 74, July 2017, Pages 959-968 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.061>.

Wright, F.L. (1954). The Natural House, New york , Horizon press, p47.

Xue, P., Mak, C.M., Cheung, H.D.(2014). « The effects of daylighting and human behavior on luminous comfort in residential buildings: A questionnaire survey », *Build. Environ.* 81 (2014) 51–59. <https://doi:10.1016/J.BUILDENV.2014.06.011>.

Xue, P., Mak C., Cheung, H.D., Pei, J. (2016), « Post-occupancy evaluation of sunshades and balconies' effects on luminous comfort through a questionnaire survey » *Building Services Engineering Research and Technology* Volume: 37 issue: 1, page(s): 51-65 <https://doi.org/10.1177%2F0143624415596472>.

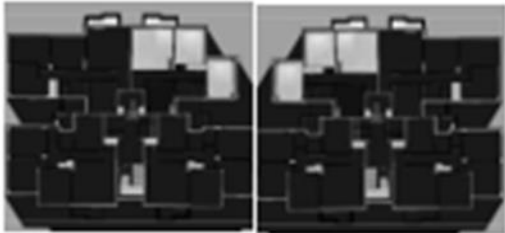
Xue, P., Li, Q., Xie, J.C., Zhao, M., Liu, J. (2019). « of window-to-wall ratio with sunshades in China low latitude region considering daylighting and energy saving requirements », *Applied Energy* Volumes 233–234, 1 January 2019, Pages 62-70, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.027>.

Yu, C., Kim, F. (2011). « Building Environnemental Assessment Schemes for Rating of IAQ in sustainable buildong », in *5th international symposium on sustainable healty buildings*, SHB , Seoul, Koréa, 10/02/2011. <https://doi.org/10.1177/1420326X10397780>.

Zemmouri, N.(2005). « Daylight availability integrated modelling and evaluation: A fuzzy logic based approach », Ph. D. Thesis, Arch. Dpt. Of Setif University, Algeria, 2005. <https://fr.scribd.com/document/38395672/Thesis>.

ANNEXES

Annexe 1 : Questionnaire enquête

Enquête sur l'éclairage naturel dans le logement <i>Cette enquête a pour objectif de faire un état des lieux de l'éclairage naturel dans les logements au sein de la cité AADL de Soumaya Blida, et ceci dans le cadre d'une thèse de doctorat en architecture.</i> <i>Ce questionnaire est strictement anonyme.</i> Situation logement  1- Bloc : 2- Etage : 3- Nombre de pièces : ☐ F3 ☐ F4 Etat des lieux 4- <u>Comment trouvez-vous Eclairage naturel dans votre logement ?</u> ☐ 1. Mauvais ☐ 2. Passable ☐ 3. Moyen ☐ 4. Bon ☐ 5. Excellent 5. <u>Quelle est la pièce la mieux éclairée naturellement ?</u> ☐ 1. Salon ☐ 2. Cuisine ☐ 3. SDB ☐ 4. WC ☐ 5. Chambre 1 ☐ 6. Chambre 2 ☐ 7. Chambre 3 6. <u>Quelle est la pièce la moins éclairée naturellement ?</u> ☐ 1. Salon ☐ 2. Cuisine ☐ 3. SDB ☐ 4. WC ☐ 5. Chambre 1 ☐ 6. Chambre 2 ☐ 7. Chambre 3	Questionnaire N° : Situation enquêté : Age : Sexe : ☐ F ☐ M Situation professionnelle : ☐ Au foyer ☐ Travaille ☐ Etudiant ☐ Retraitée Combien d'heure en moyenne par journée passez-vous à l'appartement ? 7. Estimez-vous que la lumière naturelle dans la maison est quelque chose de : ☐ 1. Indispensable ☐ 2. Souhaitable ☐ 3. Insignifiant ☐ 4. Pas souhaitable 8. Dans quelle pièce allumez-vous systématiquement l'éclairage artificiel ? ☐ 1. Salon ☐ 2. Cuisine ☐ 3. SDB ☐ 4. WC ☐ 5. Chambre 1 ☐ 6. Chambre 2 ☐ 7. Chambre 3 ☐ 8. Aucune 9. Pendant la journée à quelle heure en moyenne êtes-vous obligés d'allumer l'éclairage artificiel ? <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1. Salon</td><td> </td></tr> <tr><td>2. Cuisine</td><td> </td></tr> <tr><td>3. SDB</td><td> </td></tr> <tr><td>4. WC</td><td> </td></tr> <tr><td>5. Chambre 1</td><td> </td></tr> <tr><td>6. Chambre 2</td><td> </td></tr> <tr><td>7. Chambre 3</td><td> </td></tr> </table> 10 Si vous deviez effectuer des travaux manuels, couture, peinture ou autre (spécifier) Dans quelle pièce vous installeriez-vous ? ☐ 1. Salon ☐ 2. Cuisine ☐ 3. Chambre 1 ☐ 4. Chambre 2 ☐ 5. Chambre 3	1. Salon		2. Cuisine		3. SDB		4. WC		5. Chambre 1		6. Chambre 2		7. Chambre 3	
1. Salon															
2. Cuisine															
3. SDB															
4. WC															
5. Chambre 1															
6. Chambre 2															
7. Chambre 3															

11. A- Si vous deviez faire une sieste dans quelle pièce vous installerez vous ?

- ☐ 1. Salon
☐ 2. Cuisine
☐ 3. Chambre 1
☐ 4. Chambre 2
☐ 5. Chambre 3

B- Pour quoi ?

- ☐ 1. Elle est silencieuse
☐ 2. C'est la plus éclairée
☐ 3. C'est la plus fraîche
☐ 4. C'est la plus sombre
☐ 5. C'est la plus aérée
☐ 6. C'est la plus isolée

12. A- Quelle est votre pièce préférée ?

- ☐ 1. Salon
☐ 2. Cuisine
☐ 3. Chambre 1
☐ 4. Chambre 2
☐ 5. Chambre 3

B- Pour quoi ?

- ☐ 1. C'est la plus ensoleillée
☐ 2. C'est la plus éclairée
☐ 3. C'est la plus fraîche
☐ 4. C'est la plus lumineuse
☐ 5. C'est la plus chaude
☐ 6. C'est la plus conviviale
☐ 7. C'est la plus aérée
☐ 8. C'est la plus sombre
☐ 9. C'est la plus spacieuse

13. Dans quelle pièce de votre appartement trouvez-vous que l'éclairage naturel est vraiment insuffisant ?

- ☐ 1. Salon
☐ 2. Cuisine
☐ 3. SDB
☐ 4. WC
☐ 5. Chambre 1
☐ 6. Chambre 2
☐ 7. Chambre 3
☐ 8. Aucune

14. A votre avis quels sont les pièces où l'éclairage naturel est indispensable ?

- ☐ 1. Salon
☐ 2. Cuisine
☐ 3. SDB
☐ 4. WC
☐ 5. Chambre

15. A votre avis l'éclairage naturel sert à ?

- ☐ 1. Améliorer le confort en général
☐ 2. Améliorer le confort visuel
☐ 3. Faciliter l'accomplissement des tâches ménagères
☐ 4. Mieux faire ses devoirs (étudiants et élèves)
☐ 5. Faire des économies d'électricité
☐ 6. Rendre les pièces plus agréables
☐ 7. Donner l'impression de plus d'espace

Modifications

16. Avez-vous opéré des modifications dans votre logement ?

- ☐ 1. OUI
☐ 2. NON

Si oui les quelles ?

.....

Pourquoi ?

.....

17. Si vous deviez apporter des modifications pour améliorer l'éclairage, quelle serait ces modifications ?

- ☐ 1. Position des fenêtres
☐ 2. Dimension des fenêtres
☐ 3. Position loggia
☐ 4. Position balcon
☐ 5. Autre (précisez)

.....

18. A votre avis qu'est ce qui influence l'éclairage naturel dans votre appartement ?

.....

.....

.....

.....

.....

Merci de votre participation

Annexe 2 : Base de données (résultats)

1. Ciel couvert

1.1. Zone de confort 1^{er} étage ciel couvert

Annexe 1 : Tableau pourcentage Zone de confort (60 à 300lux) par ciel couvert 1er étage

% Zone de confort 60 à 300			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			%Total/APPART/Heure			%Total		% / SAISON	
			8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h		8h	12h				17h
1er	Mars	A 1	67,35%	71,43%	75,51%	77,55%	75,51%	71,43%	57,14%	69,39%	69,39%	26,53%	28,57%	57,14%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	45,71%	48,98%	54,69%	49,80%	MARS	47,59%
		A2	65,31%	67,35%	71,43%	77,55%	77,55%	75,51%	38,78%	34,69%	26,53%	28,57%	36,73%	59,18%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	42,04%	43,27%	46,53%	43,95%		
		A3	67,35%	81,63%	77,55%	63,27%	73,47%	65,31%				73,47%	40,82%	32,65%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	51,02%	48,98%	35,10%	45,03%		
		A4	55,10%	73,47%	69,39%	63,27%	75,51%	67,35%	75,51%	81,63%	59,18%	65,31%	44,90%	42,86%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	51,84%	55,10%	47,76%	51,56%		
	Juin	A 1	67,35%	75,51%	73,47%	77,55%	79,59%	71,43%	57,14%	48,98%	63,27%	26,53%	28,57%	77,55%	2,04%	0,00%	0,00%	A 1	46,12%	46,53%	57,14%	49,93%	JUIN	47,65%
		A2	67,35%	75,51%	71,43%	77,55%	75,51%	71,43%	34,69%	38,78%	26,53%	28,57%	38,78%	63,27%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	41,63%	45,71%	46,53%	44,63%		
		A3	67,35%	65,31%	67,35%	67,35%	71,43%	67,35%				61,22%	42,86%	36,73%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	48,98%	44,90%	34,29%	42,72%		
		A4	75,51%	71,43%	69,39%	75,51%	75,51%	69,39%	77,55%	71,43%	77,55%	48,98%	46,94%	40,82%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	55,51%	53,06%	51,43%	53,33%		
	Sept	A 1	67,35%	69,39%	73,47%	77,55%	75,51%	73,47%	57,14%	38,78%	69,39%	26,53%	28,57%	61,22%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	45,71%	42,45%	55,51%	47,89%	SEPT	48,03%
		A2	65,31%	67,35%	69,39%	77,55%	77,55%	79,59%	55,10%	34,69%	26,53%	28,57%	36,73%	63,27%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	45,31%	43,27%	47,76%	45,44%		
		A3	59,18%	81,63%	77,55%	61,22%	73,47%	65,31%				73,47%	38,78%	32,65%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	48,47%	48,47%	43,88%	46,94%		
		A4	57,14%	75,51%	69,39%	63,27%	75,51%	67,35%	75,51%	81,63%	59,18%	67,35%	42,86%	42,86%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	52,65%	55,10%	47,76%	51,84%		
	Dec	A 1	67,35%	67,35%	67,35%	77,55%	77,55%	77,55%	38,78%	73,47%	34,69%	26,53%	26,53%	26,53%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	42,04%	48,98%	41,22%	44,08%	DEC	45,60%
		A2	67,35%	67,35%	67,35%	77,55%	77,55%	77,55%	63,27%	36,73%	30,61%	28,57%	32,65%	26,53%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	47,35%	42,86%	40,41%	43,54%		
		A3	61,22%	77,55%	77,55%	55,10%	65,31%	65,31%				59,18%	44,90%	30,61%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	43,88%	46,94%	43,37%	44,73%		
		A4	44,90%	67,35%	69,39%	57,14%	73,47%	67,35%	59,18%	77,55%	57,14%	63,27%	71,43%	42,86%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	44,90%	57,96%	47,35%	50,07%		
TOTAL/PIECE/ HEURE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui				8H	12H	17H	TOTAL/AP		
			8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	A 1	44,90%	46,73%	52,14%	47,93%		
TOTAL/PIECE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			A3	48,09%	47,32%	39,16%	44,86%		
			69,26%			72,07%			54,93%			43,75%			0,04%			A4	51,22%	55,31%	48,57%	51,70%		

1.2. Zone de choix raisonnable ciel couvert 1^{er} étage

Annexe 2 : Tableau pourcentage Zone de choix raisonnable Séjour (200 à 300lux), Chambre (100 à 300lux), cuisine (200 à 300lux) par ciel couvert 1er étage

Choix raisonnable			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			%Total/APPART/Heure					% / SAISON	
			8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	%Total			
1er	Mars	A 1	46,94%	48,98%	59,18%	55,10%	59,18%	65,31%	26,53%	38,78%	53,06%	0,00%	0,00%	6,12%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	25,71%	29,39%	36,73%	30,61%		
		A2	46,94%	46,94%	53,06%	48,98%	51,02%	51,02%	20,41%	16,33%	14,29%	2,04%	2,04%	8,16%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	23,67%	23,27%	25,31%	24,08%		
		A3	63,27%	71,43%	55,10%	63,27%	44,90%	32,65%				10,20%	8,16%	4,08%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	34,18%	31,12%	22,96%	29,42%		
		A4	51,02%	63,27%	59,18%	61,22%	67,35%	46,94%	53,06%	69,39%	38,78%	8,16%	8,16%	6,12%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	34,69%	41,63%	30,20%	35,51%	MARS	29,91%
	Juin	A 1	46,94%	57,14%	63,27%	57,14%	65,31%	67,35%	28,57%	28,57%	30,61%	0,00%	0,00%	10,20%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	26,53%	30,20%	34,29%	30,34%		
		A2	46,94%	48,98%	65,31%	48,98%	59,18%	63,27%	16,33%	16,33%	16,33%	4,08%	4,08%	4,08%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	23,27%	25,71%	29,80%	26,26%		
		A3	63,27%	57,14%	55,10%	63,27%	48,98%	36,73%				6,12%	8,16%	6,12%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	33,16%	28,57%	24,49%	28,74%		
		A4	63,27%	61,22%	59,18%	67,35%	61,22%	46,94%	46,94%	46,94%	57,14%	8,16%	8,16%	4,08%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	37,14%	35,51%	33,47%	35,37%	JUIN	30,18%
	Sept	A 1	46,94%	48,98%	59,18%	55,10%	59,18%	67,35%	28,57%	22,45%	57,14%	0,00%	0,00%	8,16%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	26,12%	26,12%	38,37%	30,20%		
		A2	46,94%	46,94%	59,18%	48,98%	51,02%	55,10%	28,57%	16,33%	14,29%	2,04%	2,04%	6,12%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	25,31%	23,27%	26,94%	25,17%		
		A3	59,18%	65,31%	55,10%	61,22%	46,94%	32,65%				4,08%	8,16%	4,08%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	31,12%	30,10%	22,96%	28,06%		
		A4	57,14%	67,35%	57,14%	63,27%	67,35%	46,94%	46,94%	65,31%	38,78%	8,16%	8,16%	6,12%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	35,10%	41,63%	29,80%	35,51%	SEPT	29,74%
	Dec	A 1	46,94%	46,94%	46,94%	57,14%	57,14%	53,06%	20,41%	34,69%	16,33%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	24,90%	27,76%	23,27%	25,31%		
		A2	46,94%	46,94%	46,94%	53,06%	53,06%	53,06%	51,02%	18,37%	16,33%	4,08%	4,08%	4,08%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	31,02%	24,49%	24,08%	26,53%		
		A3	57,14%	65,31%	55,10%	53,06%	40,82%	32,65%				6,12%	6,12%	4,08%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	29,08%	28,06%	22,96%	26,70%		
		A4	44,90%	61,22%	55,10%	57,14%	69,39%	44,90%	36,73%	63,27%	32,65%	12,24%	8,16%	6,12%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	30,20%	40,41%	27,76%	32,79%	DEC	27,83%
TOTAL/PIECE /HEURE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui				8H	12H	17H	TOTAL/AP		
			8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	A 1	25,82%	28,37%	33,16%	29,12%		
			52,17%	56,51%	56,51%	57,14%	56,38%	49,74%	33,67%	36,39%	32,14%	4,72%	4,72%	5,48%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	25,82%	24,18%	26,53%	25,51%		
			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			A3	31,89%	29,46%	23,34%	28,23%		
TOTAL/PIECE			55,06%			54,42%			34,07%			4,97%			0,00%			A4	34,29%	39,80%	30,31%	34,80%		

1.3. Zone de valeurs supérieure à 300 lux Ciel couvert 1^{er} étage

Annexe 3 : Tableau pourcentage Zone (+ 300lux) par ciel couvert 1^{er} étage

% Zone superieur à 300lux			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			%Total/APPART/Heure			%Total		% / SAISON		
			8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h					
1er	Mars	A 1	12,24%	12,24%	22,45%	10,20%	12,24%	26,53%	12,24%	12,24%	26,53%	8,16%	8,16%	14,29%	0%	0%	0%	A 1	8,16%	9,80%	8,16%	8,71%	MARS	11,47%	
		A2	12,24%	12,24%	24,49%	10,20%	10,20%	16,33%	4,08%	4,08%	4,08%	8,16%	8,16%	10,20%	0%	0%	0%	A2	6,94%	6,94%	11,02%	8,30%			
		A3	32,65%	18,37%	14,29%	30,61%	10,20%	8,16%				18,37%	8,16%	8,16%	0%	0%	0%	A3	20,41%	9,18%	7,65%	12,41%			
		A4	38,78%	20,41%	12,24%	34,69%	22,45%	16,33%	12,24%	16,33%	8,16%	16,33%	8,16%	4,08%	0%	0%	0%	A4	24,90%	16,33%	8,16%	16,46%			
	Juin	A 1	12,24%	12,24%	24,49%	10,20%	12,24%	28,57%	12,24%	10,20%	16,33%	8,16%	8,16%	14,29%	0%	0%	0%	A 1	8,57%	8,57%	16,73%	11,29%	JUN	10,17%	
		A2	12,24%	12,24%	26,53%	10,20%	12,24%	28,57%	4,08%	4,08%	4,08%	8,16%	8,16%	14,29%	0%	0%	0%	A2	6,94%	7,35%	14,69%	9,66%			
		A3	22,45%	18,37%	14,29%	20,41%	10,20%	10,20%				10,20%	8,16%	8,16%	0%	0%	0%	A3	13,27%	9,18%	8,16%	10,20%			
		A4	14,29%	18,37%	12,24%	22,45%	20,41%	16,33%	10,20%	10,20%	18,37%				0%	0%	0%	A4	9,39%	9,80%	9,39%	9,52%			
	Sept	A 1	12,24%	12,24%	24,49%	10,20%	12,24%	24,49%	10,20%	10,20%	26,53%	8,16%	8,16%	16,33%	0%	0%	0%	A 1	8,16%	8,57%	18,37%	11,70%	SEPT	11,82%	
		A2	12,24%	12,24%	26,53%	10,20%	10,20%	18,37%	8,16%	4,08%	4,08%	8,16%	8,16%	12,24%	0%	0%	0%	A2	7,76%	6,94%	12,24%	8,98%			
		A3	40,82%	18,37%	14,29%	32,65%	10,20%	8,16%				18,37%	8,16%	8,16%	0%	0%	0%	A3	22,96%	9,18%	7,65%	13,27%			
		A4	36,73%	16,33%	12,24%	34,69%	20,41%	16,33%	12,24%	16,33%	8,16%	14,29%	8,16%	4,08%	0%	0%	0%	A4	19,59%	12,24%	8,16%	13,33%			
	Dec	A 1	12,24%	12,24%	12,24%	10,20%	10,20%	10,20%	10,20%	18,37%	10,20%	8,16%	8,16%	8,16%	0%	0%	0%	A 1	8,16%	9,80%	8,16%	8,71%	DEC	12,64%	
		A2	14,29%	14,29%	14,29%	14,29%	14,29%	14,29%	32,65%	4,08%	4,08%	8,16%	8,16%	8,16%	0%	0%	0%	A2	13,88%	8,16%	8,16%	10,07%			
		A3	38,78%	22,45%	14,29%	38,78%	10,20%	8,16%				24,49%	10,20%	8,16%	0%	0%	0%	A3	25,51%	10,71%	7,65%	14,63%			
		A4	48,98%	26,53%	12,24%	42,86%	24,49%	16,33%	12,24%	20,41%	8,16%	20,41%	10,20%	4,08%	0%	0%	0%	A4	28,06%	15,31%	8,16%	17,18%			
TOTAL/PIECE/ HEURE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui				8H	12H	17H	TOTAL/AP			
			8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	A 1	8,27%	9,18%	12,86%	10,10%			
			23,34%	16,20%	17,60%	21,43%	13,90%	16,71%	11,73%	10,88%	11,56%	11,73%	7,91%	8,93%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	8,88%	7,35%	11,53%	9,25%			
TOTAL/PIECE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			A3	20,54%	9,57%	7,78%	12,63%			
			19,05%			17,35%			11,39%			9,52%			0,00%			A4	20,48%	13,42%	8,47%	14,12%			

1.4. Zone de confort 5^e étage ciel couvert

Annexe 4 : Tableau pourcentage Zone de confort (60à 300lux) par ciel couvert 5e étage

% Zone de confort 60 à 300			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			%Total/APPART,Heure			%Total		% / SAISON		
			8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h		8h	12h				17h	
	Mars	A 1	69,39%	73,47%	71,43%	75,51%	77,55%	71,43%	61,22%	69,39%	69,39%	26,53%	32,65%	57,14%	2,04%	2,04%	2,04%	A 1	46,94%	51,02%	54,29%	50,75%	MARS	49,31%	
		A2	69,39%	73,47%	71,43%	77,55%	75,51%	77,55%	40,82%	40,82%	28,57%	32,65%	36,73%	57,14%	0%	0%	0%	A2	44,08%	45,31%	46,94%	45,44%			
		A3	67%	79,59%	77,55%	59,18%	71,43%	71,43%				75,51%	38,78%	34,69%	0%	0%	0%	A3	50,51%	47,45%	45,92%	47,96%			
		A4	59,18%	73,47%	73,69%	69,39%	81,63%	71,43%	77,55%	85,71%	61,22%	69,39%	40,82%	32,65%	0%	0%	0%	A4	55,10%	56,33%	47,80%	53,08%			
5e	Juin	A 1	71,43%	73,47%	73,47%	75,51%	77,55%	71,43%	63,27%	46,94%	69,39%	32,65%	32,65%	77,55%	2,04%	0%	2,04%	A 1	48,98%	46,12%	58,78%	51,29%	JUN	49,90%	
		A2	73,47%	77,55%	71,43%	75,51%	75,51%	71,43%	36,73%	42,86%	28,57%	36,73%	38,78%	65,31%	0%	0%	0%	A2	44,49%	46,94%	47,35%	46,26%			
		A3	79,59%	77,55%	77,55%	75,51%	75,51%	67,35%				51,02%	40,82%	34,69%	0%	0%	0%	A3	51,53%	48,47%	44,90%	48,30%			
		A4	73,47%	75,51%	73,47%	75,51%	73,47%	71,43%	79,59%	77,55%	83,67%	46,94%	42,86%	32,65%	0%	0%	0%	A4	55,10%	53,88%	52,24%	53,74%			
	Sept	A 1	69,39%	73,47%	71,43%	75,51%	75,51%	71,43%	57,14%	73,47%	69,39%	26,53%	32,65%	59,18%	2,04%	2,04%	2,04%	A 1	46,12%	51,43%	54,69%	50,75%	SEPT	49,49%	
		A2	69,39%	75,51%	69,39%	77,55%	75,51%	79,59%	57,14%	38,78%	26,53%	34,69%	36,73%	61,22%	0%	0%	0%	A2	47,76%	45,31%	47,35%	46,80%			
		A3	67,35%	79,59%	77,55%	59,18%	73,47%	67,35%				75,51%	38,78%	32,65%	0%	0%	0%	A3	50,51%	47,96%	44,39%	47,62%			
		A4	61,22%	79,59%	73,47%	65,31%	77,55%	71,43%	77,55%	83,67%	61,22%	67,35%	40,82%	32,65%	0%	0%	0%	A4	54,29%	56,33%	47,76%	52,79%			
	Dec	A 1	69,39%	71,43%	71,43%	75,51%	75,51%	75,51%	38,78%	69,39%	36,73%	26,53%	28,57%	26,53%	0%	2,04%	0%	A 1	42,04%	49,39%	42,04%	44,49%	DEC	46,59%	
		A2	69,39%	69,39%	69,39%	77,55%	77,55%	73,47%	67,35%	38,78%	26,53%	28,57%	34,69%	28,57%	0%	0%	0%	A2	48,57%	44,08%	39,59%	44,08%			
		A3	63,27%	75,51%	77,55%	55,10%	69,39%	67,35%				67,35%	44,90%	32,65%	0%	0%	0%	A3	46,43%	47,45%	44,39%	46,09%			
		A4	46,94%	69,39%	73,47%	55,10%	73,47%	71,43%	67,35%	77,55%	61,22%	67,35%	79,59%	32,65%	0%	0%	0%	A4	47,35%	60,00%	47,76%	51,70%			
	OTAL/PIECE/HEUR			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui				8H	12H	17H	TOTAL/AP		
				8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	A 1	46,02%	49,49%	52,45%	49,32%		
				67,47%	74,87%	73,36%	70,28%	75,38%	71,94%	60,37%	62,07%	51,87%	47,83%	40,05%	43,62%	0,38%	0,38%	0,38%	A2	46,22%	45,41%	45,31%	45,65%		
	TOTAL/PIECE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui									
																		A3	49,74%	47,83%	44,90%	47,49%			
71,90%						72,53%			58,11%			43,84%			0,38%			A4	52,96%	56,63%	48,89%	52,83%			

1.5. Zone de choix raisonnable ciel couvert 5^e étage

Annexe 5 : Tableau pourcentage Zone de choix raisonnable Séjour (200 à 300lux), Chambre (100 à 300lux), cuisine (200 à 300lux) par ciel couvert 5^e étage

Choix raisonnable			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			%Total/APPART/Heure			%Total		% / SAISON		
			8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h					
5e	Mars	A 1	46,94%	53,06%	57,14%	55,10%	63,27%	61,22%	28,57%	40,82%	53,06%	0%	0%	4,08%	0%	0%	0%	A 1	26,12%	31,43%	35,10%	30,88%	MARS	31,06%	
		A2	46,94%	48,98%	57,14%	51,02%	59,18%	57,14%	20,41%	20,41%	14,29%	4,08%	4,08%	6,12%	0%	0%	0%	A2	24,49%	26,53%	26,94%	25,99%			
		A3	65,31%	71,43%	53,06%	59,18%	48,98%	48,98%				8,16%	8,16%	6,12%	0%	0%	0%	A3	33,16%	32,14%	27,04%	30,78%			
		A4	57,14%	65,31%	61,22%	67,35%	73,47%	51,02%	48,98%	69,39%	38,78%	6,12%	8,16%	2,04%	0%	0%	0%	A4	35,92%	43,27%	30,61%	36,60%			
	Juin	A 1	48,98%	55,10%	63,27%	61,22%	63,27%	67,35%	34,69%	26,53%	36,73%	0%	0%	12,24%	0%	0%	0%	A 1	28,98%	28,98%	35,92%	31,29%	JUIN	31,71%	
		A2	46,94%	53,06%	63,27%	55,10%	59,18%	63,27%	18,37%	20,41%	14,29%	4,08%	6,12%	4,08%	0%	0%	0%	A2	24,90%	27,76%	28,98%	27,21%			
		A3	75,51%	67,35%	51,02%	65,31%	53,06%	42,86%				8,16%	8,16%	6,12%	0%	0%	0%	A3	37,24%	32,14%	25,00%	31,46%			
		A4	69,39%	65,31%	61,22%	73,47%	61,22%	51,02%	53,06%	46,94%	55,10%	8,16%	6,12%	2,04%	0%	0%	0%	A4	40,82%	35,92%	33,88%	36,87%			
	Sept	A 1	46,94%	53,06%	59,18%	55,10%	61,22%	63,27%	28,57%	44,90%	57,14%	0%	0%	4,08%	0%	0%	0%	A 1	26,12%	31,84%	36,73%	31,56%	SEPT	31,00%	
		A2	46,94%	48,98%	59,18%	51,02%	59,18%	57,14%	30,61%	16,33%	14,29%	4,08%	6,12%	6,12%	0%	0%	0%	A2	26,53%	26,12%	27,35%	26,67%			
		A3	67,35%	69,39%	51,02%	59,18%	48,98%	38,78%				6,12%	8,16%	6,12%	0%	0%	0%	A3	33,16%	31,63%	23,98%	29,59%			
		A4	61,22%	67,35%	59,18%	63,27%	69,39%	48,98%	48,98%	69,39%	38,78%	6,12%	8,16%	2,04%	0%	0%	0%	A4	35,92%	42,86%	29,80%	36,19%			
	Dec	A 1	44,90%	48,98%	46,94%	55,10%	61,22%	53,06%	18,37%	38,78%	16,33%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	A 1	23,67%	29,80%	23,27%	25,58%	DEC	27,93%	
		A2	46,94%	46,94%	46,94%	48,98%	46,94%	44,90%	53,06%	18,37%	14,29%	4,08%	4,08%	2,04%	0%	0%	0%	A2	30,61%	23,27%	21,63%	25,17%			
		A3	57,14%	69,39%	48,98%	51,02%	38,78%	38,78%				10,20%	6,12%	6,12%	0%	0%	0%	A3	29,59%	28,57%	23,47%	27,21%			
		A4	44,90%	61,22%	59,18%	55,10%	67,35%	46,94%	42,86%	65,31%	36,73%	14,29%	10,20%	2,04%	0%	0%	0%	A4	31,43%	40,82%	28,98%	33,74%			
TOTAL/PIECE/ HEURE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui				8H	12H	17H	TOTAL/AP			
			8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	A 1	26,22%	30,51%	32,76%	29,83%			
			54,59%	59,06%	56,12%	57,91%	58,42%	52,17%	35,54%	39,80%	32,48%	5,23%	5,23%	4,46%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	26,63%	25,92%	26,22%	26,26%			
			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			A3	33,29%	31,12%	24,87%	29,76%			
TOTAL/PIECE			56,59%			56,16%			35,94%			4,97%			0,00%			A4	36,02%	40,71%	30,82%	35,85%			

1.6. Zone de valeurs supérieure à 300 lux Ciel couvert 5^e étage

Annexe 6 : Tableau pourcentage Zone (+ 300lux) par ciel couvert 5^e étage

% Zone superieur à 300lux			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			%Total/APPART/Heure			%Total		% / SAISON			
			8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h						
		A 1	12,24%	12,24%	24,49%	12,24%	12,24%	26,53%	12,24%	14,29%	26,53%	8,16%	8,16%	14,29%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	8,98%	9,39%	18,37%	12,24%				
		A2	12,24%	12,24%	24,49%	10,20%	12,24%	14,29%	4,08%	4,08%	4,08%	8,16%	8,16%	12,24%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	6,94%	7,35%	11,02%	8,44%				
		A3	32,65%	18,37%	14,29%	40,82%	18,37%	12,24%				18,37%	8,16%	8,16%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	18,37%	8,98%	6,94%	11,43%				
5e	Mars	A4	38,78%	22,45%	12,24%	30,61%	18,37%	18,37%	10,20%	12,24%	6,12%	16,33%	8,16%	8,16%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	19,18%	12,24%	8,98%	13,47%	MARS	11,39%		
	Juin	A 1	12,24%	12,24%	24,49%	12,24%	14,29%	28,57%	12,24%	12,24%	16,33%	8,16%	8,16%	14,29%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	8,98%	9,39%	16,73%	11,70%				
		A2	12,24%	12,24%	26,53%	12,24%	14,29%	28,57%	4,08%	4,08%	4,08%	8,16%	8,16%	14,29%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	7,35%	7,76%	14,69%	9,93%				
		A3	20,41%	18,37%	14,29%	24,49%	20,41%	12,24%				10,20%	8,16%	8,16%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	11,02%	9,39%	6,94%	9,12%				
		A4	24,49%	16,33%	12,24%	24,49%	18,37%	18,37%	12,24%	6,12%	14,29%	8,16%	8,16%	8,16%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	13,88%	9,80%	10,61%	11,43%	JUIN	10,54%		
	Sept	A 1	12,24%	12,24%	24,49%	12,24%	14,29%	26,53%	12,24%	18,37%	26,53%	8,16%	8,16%	16,33%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	8,98%	10,61%	18,78%	12,79%				
		A2	12,24%	12,24%	26,53%	10,20%	12,24%	18,37%	8,16%	4,08%	4,08%	8,16%	8,16%	12,24%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	7,76%	7,35%	12,24%	9,12%				
		A3	32,65%	18,37%	14,29%	40,82%	18,37%	12,24%				18,37%	8,16%	8,16%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	18,37%	8,98%	6,94%	11,43%				
		A4	36,73%	18,37%	12,24%	34,69%	20,41%	18,37%	10,20%	14,29%	6,12%	16,33%	8,16%	8,16%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	19,59%	12,24%	8,98%	13,61%	SEPT	11,73%		
	Dec	A 1	12,24%	12,24%	10,20%	12,24%	12,24%	12,24%	12,24%	20,41%	12,24%	8,16%	8,16%	8,16%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	8,98%	10,61%	8,57%	9,39%				
		A2	12,24%	12,24%	12,24%	10,20%	10,20%	20,41%	26,53%	4,08%	4,08%	8,16%	8,16%	8,16%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	11,43%	6,94%	8,98%	9,12%				
		A3	36,73%	24,49%	14,29%	44,90%	12,24%	12,24%				22,45%	10,20%	8,16%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	20,82%	9,39%	6,94%	12,38%				
		A4	51,02%	28,57%	12,24%	44,90%	26,53%	18,37%	6,12%	20,41%	6,12%	20,41%	10,20%	8,16%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	24,49%	17,14%	8,98%	16,87%	DEC	11,94%		
	TOTAL/PIECE/ HEURE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui				8H	12H	17H	TOTAL/AP			
				8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	A 1	8,98%	10,00%	15,61%	11,53%			
				23,21%	16,45%	17,47%	23,60%	15,94%	18,62%	10,88%	11,22%	10,88%	12,24%	8,42%	10,33%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	8,37%	7,35%	11,73%	9,15%			
TOTAL/PIECE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			A3	17,14%	9,18%	6,94%	11,09%				
			19,05%			19,39%			11,00%			10,33%			0,00%			A4	19,29%	12,86%	9,39%	13,84%				

1.7. Zone de confort 9^e étage ciel couvertAnnexe 7 : Tableau pourcentage Zone de confort (60à 300lux) par ciel couvert 9^e étage

% Zone de confort 60 à 300			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			%Total/APPART			Heure	%Total		% / SAISON		
			8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h						
9e	Mars	A 1	79,59%	83,67%	75,51%	73,47%	73,47%	67,35%	67,35%	71,43%	63,27%	32,65%	34,69%	59,18%	10,20%	12,24%	8,16%	A 1	52,65%	55,10%	54,69%	54,15%	MARS	50,38%		
		A2	61,22%	63,27%	59,18%	75,51%	75,51%	73,47%	65,31%	71,43%	53,06%	32,65%	32,65%	57,14%	10,20%	6,12%	6,12%	A2	48,98%	49,80%	49,80%	49,52%				
		A3	63,27%	73,47%	75,51%	55,10%	73,47%	65,31%				77,55%	42,86%	38,78%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	48,98%	47,45%	44,90%	47,11%				
		A4	55,10%	73,47%	75,51%	65,31%	75,51%	69,39%	73,47%	69,39%	40,82%	73,47%	42,86%	32,65%	4,08%	4,08%	6,12%	A4	54,29%	53,06%	44,90%	50,75%				
	Juin	A 1	83,67%	83,67%	67,35%	81,63%	83,67%	63,27%	69,39%	65,31%	73,47%	32,65%	36,73%	75,51%	8,16%	6,12%	6,12%	A 1	55,10%	55,10%	57,14%	55,78%	JUIN	52,62%		
		A2	77,55%	77,55%	55,10%	73,47%	73,47%	71,43%	77,55%	59,18%	57,14%	32,65%	36,73%	77,55%	10,20%	6,12%	6,12%	A2	54,29%	50,61%	53,47%	52,79%				
		A3	69,39%	77,55%	73,47%	69,39%	73,47%	75,51%				67,35%	48,98%	40,82%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	51,53%	50,00%	47,45%	49,66%				
		A4	69,39%	73,47%	75,51%	73,47%	73,47%	67,35%	71,43%	71,43%	65,31%	42,86%	48,98%	36,73%	4,08%	4,08%	6,12%	A4	52,24%	54,29%	50,20%	52,24%				
		A 1	79,59%	83,67%	73,47%	73,47%	71,43%	57,14%	67,35%	71,43%	63,27%	32,65%	34,69%	65,31%	10,20%	12,24%	8,16%	A 1	52,65%	54,69%	53,47%	53,61%				
		A2	77,55%	77,55%	77,55%	75,51%	75,51%	75,51%	67,35%	73,47%	73,47%	32,65%	32,65%	32,65%	10,20%	6,12%	6,12%	A2	52,65%	53,06%	53,06%	52,93%				
		A3	59,18%	67,35%	71,43%	59,18%	71,43%	71,43%				73,47%	46,94%	38,78%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	47,96%	46,43%	45,41%	46,60%				
	Sept	A4	75,51%	73,47%	71,43%	69,39%	75,51%	71,43%	40,82%	69,39%	46,94%	32,65%	42,86%	32,65%	6,12%	2,04%	6,12%	A4	44,90%	52,65%	45,71%	47,76%	SEPT	50,22%		
A 1		77,55%	77,55%	75,51%	71,43%	71,43%	71,43%	59,18%	59,18%	61,22%	26,53%	26,53%	24,49%	8,16%	8,16%	6,12%	A 1	48,57%	48,57%	47,76%	48,30%					
A2		75,51%	77,55%	77,55%	77,55%	75,51%	75,51%	55,10%	71,43%	71,43%	28,57%	30,61%	30,61%	6,12%	6,12%	6,12%	A2	48,57%	52,24%	52,24%	51,02%					
A3		71,43%	65,31%	71,43%	67,35%	69,39%	69,39%				34,69%	61,22%	34,69%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	43,37%	48,98%	43,88%	45,41%					
A4		42,86%	69,39%	69,39%	51,02%	71,43%	67,35%	73,47%	61,22%	38,78%	69,39%	71,43%	32,65%	4,08%	4,08%	18,37%	A4	48,16%	55,51%	45,31%	49,66%					
TOTAL/PIECE/ HEURE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui				8H	12H	17H	TOTAL/AP				
			8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	A 1	52,24%	53,37%	53,27%	52,96%				
			69,90%	74,87%	71,56%	69,52%	73,98%	69,52%	65,65%	67,86%	59,01%	45,15%	41,96%	44,39%	5,74%	4,85%	5,61%	A2	51,12%	51,43%	52,14%	51,56%				
TOTAL/PIECE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui				A3	47,96%	48,21%	45,41%	47,19%			
			72,11%			71,00%			64,17%			43,84%			5,40%				A4	49,90%	53,88%	46,53%	50,10%			

1.8. Zone de choix raisonnable ciel couvert 9^e étage

Annexe 8 : Tableau pourcentage Zone de choix raisonnable Séjour (200 à 300lux), Chambre (100 à 300lux), cuisine (200 à 300lux) par ciel couvert 9^e étage

Choix raisonnable			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			%Total/APPART/Heure			%Total	% / SAISON		
			8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h				
9e	Mars	A 1	51,02%	61,22%	63,27%	57,14%	65,31%	59,18%	48,98%	55,10%	61,22%	4,08%	8,16%	10,20%	0%	0%	0%	A 1	32,24%	37,96%	38,78%	36,33%	MARS	34,06%
		A2	48,98%	53,06%	46,94%	61,22%	63,27%	55,10%	61,22%	44,90%	40,82%	4,08%	4,08%	6,12%	0%	0%	0%	A2	35,10%	33,06%	29,80%	32,65%		
		A3	63,27%	63,27%	59,18%	55,10%	53,06%	48,98%				8,16%	6,12%	4,08%	0%	0%	0%	A3	31,63%	30,61%	28,06%	30,10%		
		A4	55,10%	65,31%	55,10%	63,27%	69,39%	55,10%	65,31%	67,35%	40,82%	8,16%	6,12%	6,12%	0%	0%	0%	A4	38,37%	41,63%	31,43%	37,14%		
	Juin	A 1	57,14%	63,27%	65,31%	61,22%	69,39%	61,22%	48,98%	44,90%	53,06%	4,08%	8,16%	8,16%	0%	0%	0%	A 1	34,29%	37,14%	37,55%	36,33%	JUIN	34,96%
		A2	57,14%	59,18%	48,98%	61,22%	59,18%	63,27%	63,27%	40,82%	44,90%	4,08%	4,08%	8,16%	0%	0%	0%	A2	37,14%	32,65%	33,06%	34,29%		
		A3	61,22%	63,27%	61,22%	51,02%	55,10%	53,06%				8,16%	6,12%	6,12%	0%	0%	0%	A3	30,10%	31,12%	30,10%	30,44%		
		A4	65,31%	63,27%	57,14%	69,39%	63,27%	57,14%	63,27%	63,27%	61,22%	6,12%	6,12%	6,12%	0%	0%	0%	A4	40,82%	39,18%	36,33%	38,78%		
	Sept	A 1	57,14%	61,22%	63,27%	57,14%	59,18%	53,06%	48,98%	59,18%	61,22%	4,08%	8,16%	10,20%	0%	0%	0%	A 1	33,47%	37,55%	37,55%	36,19%	SEPT	34,05%
		A2	53,06%	59,18%	59,18%	61,22%	63,27%	63,27%	63,27%	44,90%	44,90%	4,08%	4,08%	4,08%	0%	0%	0%	A2	36,33%	34,29%	34,29%	34,97%		
		A3	55,10%	63,27%	59,18%	55,10%	67,35%	51,02%				6,12%	6,12%	4,08%	0%	0%	0%	A3	29,08%	34,18%	28,57%	30,61%		
		A4	55,10%	61,22%	46,94%	55,10%	67,35%	55,10%	40,82%	69,39%	46,94%	6,12%	6,12%	6,12%	0%	0%	0%	A4	31,43%	40,82%	31,02%	34,42%		
	Dec	A 1	48,98%	48,98%	48,98%	51,02%	51,02%	51,02%	42,86%	42,86%	44,90%	4,08%	4,08%	4,08%	0%	0%	0%	A 1	29,39%	29,39%	29,80%	29,52%	DEC	31,20%
		A2	46,94%	55,10%	55,10%	53,06%	61,22%	61,22%	53,06%	48,98%	48,98%	4,08%	4,08%	4,08%	0%	0%	0%	A2	31,43%	33,88%	33,88%	33,06%		
		A3	57,14%	61,22%	57,14%	46,94%	59,18%	51,02%				4,08%	4,08%	4,08%	0%	0%	0%	A3	27,04%	31,12%	28,06%	28,74%		
		A4	40,82%	61,22%	53,06%	51,02%	63,27%	55,10%	61,22%	61,22%	38,78%	8,16%	4,08%	4,08%	0%	0%	0%	A4	32,24%	37,96%	30,20%	33,47%		
TOTAL/PIECE/ HEURE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui				8H	12H	17H	TOTAL/AP		
			8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	A 1	32,35%	35,51%	35,92%	34,59%		
			54,59%	60,20%	56,25%	56,89%	61,86%	55,87%	41,33%	40,18%	36,73%	5,48%	5,61%	5,99%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	35,00%	33,47%	32,76%	33,74%		
TOTAL/PIECE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			A3	29,46%	31,76%	28,70%	29,97%		
			57,02%			58,21%			39,41%			5,70%			0,00%			A4	35,71%	39,90%	32,24%	35,95%		

1.9. Zone de valeurs supérieure à 300 lux Ciel couvert 9^e étageAnnexe 9 : Tableau pourcentage Zone (+ 300lux) par ciel couvert 9^e étage

% Zone superieur à 300lux			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			%Total/APPART/Heure			%Total		% / SAISON		
			8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h					
9e	Mars	A 1	12,24%	12,24%	22,45%	12,24%	16,33%	28,57%	20,41%	24,49%	32,65%	8,16%	8,16%	14,29%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	10,61%	12,24%	19,59%	14,15%	MARS	15,69%	
		A2	12,24%	12,24%	26,53%	12,24%	12,24%	18,37%	30,61%	16,33%	12,24%	8,16%	8,16%	10,20%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	12,65%	9,80%	13,47%	11,97%			
		A3	36,73%	26,53%	16,33%	40,82%	22,45%	14,29%				20,41%	10,20%	10,20%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	24,49%	14,80%	10,20%	16,50%			
		A4	42,86%	24,49%	12,24%	34,69%	22,45%	18,37%	24,49%	30,61%	59,18%	16,33%	8,16%	8,16%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	23,67%	17,14%	19,59%	20,14%			
	Juin	A 1	12,24%	12,24%	22,45%	12,24%	16,33%	28,57%	20,41%	24,49%	32,65%	8,16%	8,16%	14,29%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	10,61%	12,24%	19,59%	14,15%	JUIN	13,97%	
		A2	12,24%	12,24%	30,61%	14,29%	16,33%	28,57%	18,37%	12,24%	12,24%	8,16%	8,16%	12,24%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	10,61%	9,80%	16,73%	12,38%			
		A3	28,57%	20,41%	16,33%	26,53%	22,45%	16,33%				10,20%	10,20%	10,20%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	16,33%	13,27%	10,71%	13,44%			
		A4	28,57%	18,37%	12,24%	26,53%	20,41%	20,41%	26,53%	26,53%	34,69%	8,16%	8,16%	8,16%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	17,96%	14,69%	15,10%	15,92%			
	Sept		A 1	12,24%	12,24%	24,49%	12,24%	14,29%	28,57%	20,41%	24,49%	32,65%	8,16%	8,16%	14,29%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	10,61%	11,84%	20,00%	14,15%	SEPT	14,97%
			A2	12,24%	12,24%	12,24%	12,24%	12,24%	28,57%	14,29%	14,29%	8,16%	8,16%	8,16%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	12,24%	9,39%	9,39%	10,34%			
		A3	40,82%	32,65%	16,33%	36,73%	24,49%	14,29%				20,41%	10,20%	10,20%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	24,49%	16,84%	10,20%	17,18%			
		A4	12,24%	24,49%	12,24%	18,37%	22,45%	16,33%	59,18%	30,61%	53,06%	8,16%	8,16%	8,16%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	19,59%	17,14%	17,96%	18,23%			
		Dec	A 1	12,24%	12,24%	30,61%	12,24%	12,24%	32,65%	22,45%	22,45%	22,45%	8,16%	8,16%	20,41%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	11,02%	11,02%	21,22%	14,42%		
			A2	12,24%	12,24%	12,24%	10,20%	12,24%	12,24%	38,78%	22,45%	22,45%	8,16%	8,16%	8,16%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	13,88%	11,02%	11,02%	11,97%		
			A3	14,29%	34,69%	14,29%	14,29%	26,53%	14,29%				10,20%	12,24%	10,20%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	9,69%	18,37%	9,69%	12,59%		
			A4	55,10%	28,57%	20,41%	48,98%	28,57%	18,37%	24,49%	38,78%	59,18%	22,45%	12,24%	8,16%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	30,20%	21,63%	21,22%	24,35%		
TOTAL/PIECE/ HEURE		Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui				8H	12H	17H	TOTAL/AP				
		8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	A 1	10,71%	11,84%	20,10%	14,22%				
		22,32%	19,26%	18,88%	21,56%	18,88%	20,15%	27,89%	23,98%	32,31%	11,35%	9,06%	10,97%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	12,35%	10,00%	12,65%	11,67%				
TOTAL/PIECE		Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			A3	18,75%	15,82%	10,20%	14,92%				
		20,15%			20,20%			28,06%			10,46%			0,00%			A4	22,86%	17,65%	18,47%	19,66%				

2. Ciel clair

2.1. Zone de confort 1^{er} étage ciel clair

Annexe 10 : Tableau pourcentage Zone de confort (60 à 300lux) par ciel clair 1er étage

% Zone de confort 60 à 300			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			%Total/APPART/Heure			%Total		% / SAISON	
			8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h				
1er	Mars	A 1	79,59%	83,67%	28,57%	85,71%	89,80%	32,65%	71,43%	65,31%	59,18%	53,06%	51,02%	59,18%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	57,96%	57,96%	35,92%	50,61%	MARS	43,05%
		A2	79,59%	81,63%	32,65%	85,71%	83,67%	38,78%	26,53%	38,78%	34,69%	40,82%	42,86%	67,35%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	46,53%	49,39%	34,69%	43,54%		
		A3	4,08%	55,10%	73,47%	8,16%	73,47%	77,55%				51,02%	51,02%	48,98%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	15,82%	44,90%	40,00%	33,57%		
		A4	18,37%	40,82%	75,51%	26,53%	55,10%	69,39%	81,63%	67,35%	67,35%	46,94%	61,22%	57,14%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	34,69%	44,90%	53,88%	44,49%		
	Juin	A 1	81,63%	71,43%	24,49%	87,76%	81,63%	10,20%	55,10%	53,06%	69,39%	48,98%	48,98%	59,18%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	54,69%	51,02%	32,65%	46,12%	JUIN	44,32%
		A2	77,55%	73,47%	20,41%	85,71%	79,59%	12,24%	34,69%	38,78%	34,69%	42,86%	42,86%	59,18%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	48,16%	46,94%	25,31%	40,14%		
		A3	30,61%	75,51%	77,55%	34,69%	81,63%	77,55%				51,02%	44,90%	40,82%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	29,08%	50,51%	39,18%	39,59%		
		A4	40,82%	73,47%	77,55%	46,94%	73,47%	69,39%	81,63%	69,39%	71,43%	55,10%	61,22%	51,02%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	44,90%	55,51%	53,88%	51,43%		
	Sept	A 1	83,67%	83,67%	24,49%	85,71%	87,76%	28,57%	67,35%	36,73%	59,18%	51,02%	51,02%	59,18%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	57,55%	51,84%	34,29%	47,89%	SEPT	43,50%
		A2	79,59%	79,59%	26,53%	87,76%	83,67%	32,65%	42,86%	38,78%	36,73%	36,73%	42,86%	69,39%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	49,39%	48,98%	33,06%	43,81%		
		A3	4,08%	55,10%	73,47%	10,20%	73,47%	77,55%				53,06%	48,98%	44,90%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	16,84%	44,39%	48,98%	36,73%		
		A4	16,33%	51,02%	75,51%	26,53%	61,22%	69,39%	81,63%	67,35%	67,35%	48,98%	61,22%	57,14%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	34,69%	48,16%	53,88%	45,58%		
	Dec	A 1	69,39%	81,63%	55,10%	81,63%	85,71%	53,06%	53,06%	65,31%	55,10%	51,02%	46,94%	55,10%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	51,02%	55,92%	43,67%	50,20%	DEC	41,86%
		A2	75,51%	79,59%	53,06%	83,67%	87,76%	55,10%	51,02%	40,82%	38,78%	40,82%	40,82%	44,90%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	50,20%	49,80%	38,37%	46,12%		
		A3	4,08%	24,49%	65,31%	10,20%	67,35%	77,55%				40,82%	55,10%	44,90%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	13,78%	36,73%	46,94%	32,48%		
		A4	12,24%	26,53%	61,22%	12,24%	42,86%	65,31%	71,43%	51,02%	69,39%	40,82%	69,39%	57,14%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	27,35%	37,96%	50,61%	38,64%		
TOTAL/PIECE/ HEURE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			8H	12H	17H	TOTAL/AP			
			8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	A 1	55,31%	54,18%	36,63%	48,71%		
			47,32%	64,80%	52,81%	53,70%	75,51%	52,93%	59,86%	52,72%	55,27%	47,07%	51,28%	54,72%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	48,57%	48,78%	32,86%	43,40%		
TOTAL/PIECE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			A3	18,88%	44,13%	43,78%	35,60%		
			54,97%			60,71%			55,95%			51,02%			0,00%			A4	35,41%	46,63%	53,06%	45,03%		

2.2. Zone de choix raisonnable ciel clair 1^{er} étage

Annexe 11 : Tableau pourcentage Zone de choix raisonnable Séjour (200 à 300lux), Chambre (100 à 300lux), cuisine (200 à 300lux) par ciel clair 1^{er} étage

% des points choix raisonnable			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			%Total/APPART/Heure			%Total		/ SAISO		
			8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h					
1er	Mars	A 1	69,39%	71,43%	28,57%	73,47%	71,43%	32,65%	42,86%	32,65%	53,06%	4,08%	4,08%	16,33%	0%	0%	0%	A 1	37,96%	35,92%	26,12%	33,33%	MARS	29,63%	
		A2	65,31%	65,31%	30,61%	79,59%	63,27%	38,78%	12,24%	24,49%	26,53%	2,04%	4,08%	18,37%	0%	0%	0%	A2	31,84%	31,43%	22,86%	28,71%			
		A3	4,08%	53,06%	69,39%	8,16%	65,31%	67,35%				14,29%	12,24%	10,20%	0%	0%	0%	A3	6,63%	32,65%	36,73%	25,34%			
		A4	18,37%	40,82%	67,35%	26,53%	48,98%	59,18%	61,22%	53,06%	51,02%	10,20%	16,33%	14,29%	0%	0%	0%	A4	23,27%	31,84%	38,37%	31,16%			
	Juin	A 1	69,39%	61,22%	24,49%	69,39%	71,43%	10,20%	38,78%	26,53%	46,94%	4,08%	2,04%	24,49%	0%	0%	0%	A 1	36,33%	32,24%	21,22%	29,93%	JUIN	30,33%	
		A2	65,31%	65,31%	20,41%	75,51%	75,51%	10,20%	26,53%	22,45%	26,53%	4,08%	4,08%	12,24%	0%	0%	0%	A2	34,29%	33,47%	13,88%	27,21%			
		A3	30,61%	67,35%	73,47%	34,69%	59,18%	51,02%				12,24%	6,12%	6,12%	0%	0%	0%	A3	19,39%	33,16%	32,65%	28,40%			
		A4	40,82%	67,35%	67,35%	44,90%	61,22%	59,18%	61,22%	48,98%	59,18%	14,29%	8,16%	4,08%	0%	0%	0%	A4	32,24%	37,14%	37,96%	35,78%			
	Sept	A 1	71,43%	73,47%	24,49%	67,35%	71,43%	28,57%	40,82%	20,41%	55,10%	4,08%	4,08%	18,37%	0%	0%	0%	A 1	36,73%	33,88%	25,31%	31,97%	SEPT	29,57%	
		A2	67,35%	63,27%	26,53%	79,59%	73,47%	30,61%	16,33%	26,53%	26,53%	2,04%	4,08%	18,37%	0%	0%	0%	A2	33,06%	33,47%	20,41%	28,98%			
		A3	4,08%	51,02%	69,39%	10,20%	63,27%	67,35%				20,41%	10,20%	8,16%	0%	0%	0%	A3	8,67%	31,12%	36,22%	25,34%			
		A4	16,33%	46,94%	67,35%	26,53%	55,10%	59,18%	61,22%	59,18%	53,06%	8,16%	12,24%	14,29%	0%	0%	0%	A4	22,45%	34,69%	38,78%	31,97%			
	Dec	A 1	65,31%	71,43%	51,02%	77,55%	69,39%	48,98%	32,65%	44,90%	36,73%	8,16%	8,16%	12,24%	0%	0%	0%	A 1	36,73%	38,78%	29,80%	35,10%	DEC	29,68%	
		A2	69,39%	65,31%	44,90%	79,59%	79,59%	55,10%	44,90%	30,61%	32,65%	8,16%	4,08%	8,16%	0%	0%	0%	A2	40,41%	35,92%	28,16%	34,83%			
		A3	4,08%	24,49%	61,22%	10,20%	59,18%	67,35%				16,33%	10,20%	12,24%	0%	0%	0%	A3	7,65%	23,47%	35,20%	22,11%			
		A4	12,24%	26,53%	59,18%	12,24%	42,86%	57,14%	53,06%	46,94%	53,06%	8,16%	16,33%	12,24%	0%	0%	0%	A4	17,14%	26,53%	36,33%	26,67%			
OTAL/PIECE/HEUR			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui				8H	12H	17H	TOTAL/AP			
			8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	A 1	36,94%	35,20%	25,61%	32,59%			
			42,09%	57,14%	49,11%	48,47%	64,41%	46,43%	40,99%	36,39%	43,37%	8,80%	7,91%	13,14%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	34,90%	33,57%	21,33%	29,93%			
TOTAL/PIECE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui				A3	10,59%	30,10%	35,20%	25,30%		
			49,45%			53,10%			40,25%			9,95%			0,00%				A4	23,78%	32,55%	37,86%	31,39%		

2.3. Zone de valeurs supérieure à 300 lux Ciel clair 1^{er} étage

Annexe 12 : Tableau pourcentage Zone (+ 300lux) par ciel clair 1^{er} étage

% Zone superieur à 300lux			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			%Total/APPART/Heure			%Total		% / SAISON		
			8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h					
1er	Mars	A 1	10,20%	6,12%	71,43%	8,16%	6,12%	67,35%	10,20%	20,41%	38,78%	8,16%	6,12%	34,69%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	13,06%	10,20%	25,71%	16,33%	MARS	22,36%	
		A2	10,20%	8,16%	67,35%	10,20%	6,12%	59,18%	32,65%	10,20%	0%	10,20%	6,12%	20,41%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	12,65%	6,12%	29,39%	16,05%			
		A3	95,92%	44,90%	22,45%	87,76%	20,41%	10,20%				44,90%	18,37%	8,16%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	57,14%	20,92%	10,20%	29,42%			
		A4	75,51%	53,06%	12,24%	73,47%	44,90%	20,41%	12,24%	32,65%	18,37%	46,94%	16,33%	8,16%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	41,63%	29,39%	11,84%	27,62%			
	Juin	A 1	6,12%	20,41%	75,51%	6,12%	16,33%	89,80%	10,20%	12,24%	24,49%	6,12%	8,16%	40,82%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	5,71%	11,43%	46,12%	21,09%	JUIN	19,49%	
		A2	10,20%	18,37%	79,59%	10,20%	16,33%	87,76%	14,29%	6,12%	0%	6,12%	8,16%	34,69%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	8,16%	9,80%	40,41%	19,46%			
		A3	69,39%	24,49%	16,33%	61,22%	12,24%	8,16%				26,53%	10,20%	8,16%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	39,29%	11,73%	8,16%	19,73%			
		A4	53,06%	18,37%	10,20%	53,06%	22,45%	18,37%	12,24%	16,33%	24,49%	20,41%	8,16%	8,16%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	27,76%	13,06%	12,24%	17,69%			
	Sept	A 1	6,12%	6,12%	75,51%	8,16%	8,16%	71,43%	10,20%	18,37%	38,78%	8,16%	6,12%	32,65%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	6,53%	7,76%	43,67%	19,32%	SEPT	27,84%	
		A2	8,16%	12,24%	73,47%	8,16%	12,24%	67,35%	38,78%	6,12%	0%	10,20%	6,12%	20,41%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	13,06%	7,35%	32,24%	17,55%			
		A3	95,92%	44,90%	22,45%	85,71%	20,41%	10,20%				40,82%	16,33%	10,20%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	55,61%	20,41%	10,71%	28,91%			
		A4	16,33%	51,02%	75,51%	26,53%	61,22%	69,39%	81,63%	67,35%	67,35%	48,98%	61,22%	57,14%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	34,69%	48,16%	53,88%	45,58%			
	Dec	A 1	20,41%	8,16%	42,86%	16,33%	8,16%	46,94%	16,33%	28,57%	20,41%	12,24%	6,12%	18,37%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	13,06%	10,20%	25,71%	16,33%	DEC	25,45%	
		A2	16,33%	10,20%	44,90%	14,29%	8,16%	42,86%	44,90%	10,20%	2,04%	10,20%	8,16%	20,41%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	17,14%	7,35%	22,04%	15,51%			
		A3	95,92%	75,51%	32,65%	85,71%	26,53%	14,29%				48,98%	22,45%	16,33%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	57,65%	31,12%	15,82%	34,86%			
		A4	81,63%	67,35%	26,53%	87,76%	57,14%	26,53%	20,41%	48,98%	16,33%	55,10%	26,53%	12,24%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	48,98%	40,00%	16,33%	35,10%			
TOTAL/PIECE/ HEURE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui				8H	12H	17H	TOTAL/AP			
			8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	A 1	9,59%	9,90%	35,31%	18,27%			
TOTAL/PIECE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui				A2	12,76%	7,65%	31,02%	17,14%		
			39,37%			35,42%			23,13%			20,62%			0,00%				A3	52,42%	21,05%	11,22%	28,23%		
																			A4	38,27%	32,65%	23,57%	31,50%		

2.4. Zone de confort Ciel clair 5^e étageAnnexe 13 : Tableau pourcentage Zone de confort (60à 300lux) par ciel clair 5^e étage

% Zone de confort 60 à 300			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			%Total/APPART/Heure			%Total		% / SAISON	
			8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h				
5e	Mars	A 1	77,55%	87,76%	46,94%	75,51%	85,71%	48,98%	73,47%	51,02%	69,39%	53,06%	38,78%	61,22%	2,04%	0,00%	0,00%	A 1	56,33%	52,65%	45,31%	51,43%	MARS	44,81%
		A2	79,59%	79,59%	59,18%	91,84%	91,84%	63,27%	40,82%	40,82%	40,82%	42,86%	42,86%	51,02%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	51,02%	51,02%	42,86%	48,30%		
		A3	16,33%	34,69%	81,63%	16,33%	63,27%	81,63%				38,78%	57,14%	46,94%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	17,86%	38,78%	52,55%	36,39%		
		A4	22,45%	28,57%	81,63%	30,61%	34,69%	75,51%	75,51%	63,27%	67,35%	61,22%	61,22%	44,90%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	37,96%	37,55%	53,88%	43,13%		
	Juin	A 1	79,59%	85,71%	34,69%	81,63%	83,67%	30,61%	65,31%	48,98%	69,39%	44,90%	36,73%	65,31%	2,04%	0,00%	0,00%	A 1	54,69%	51,02%	40,00%	48,57%	JUN	47,23%
		A2	71,43%	75,51%	34,69%	81,63%	81,63%	32,65%	40,82%	46,94%	38,78%	46,94%	42,86%	59,18%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	48,16%	49,39%	33,06%	43,54%		
		A3	42,86%	71,43%	83,67%	46,94%	71,43%	81,63%				61,22%	53,06%	38,78%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	37,76%	48,98%	51,02%	45,92%		
		A4	53,06%	69,39%	83,67%	36,73%	63,27%	79,59%	75,51%	69,39%	77,55%	59,18%	55,10%	40,82%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	44,90%	51,43%	56,33%	50,88%		
	Sept	A 1	77,55%	85,71%	44,90%	81,63%	85,71%	44,90%	71,43%	51,02%	69,39%	44,90%	38,78%	63,27%	2,04%	0,00%	0,00%	A 1	55,51%	52,24%	44,49%	50,75%	SEPT	43,38%
		A2	73,47%	79,59%	53,06%	83,67%	91,84%	55,10%	32,65%	40,82%	40,82%	38,78%	42,86%	55,10%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	45,71%	51,02%	40,82%	45,85%		
		A3	16,33%	40,82%	81,63%	16,33%	65,31%	79,59%				42,86%	59,18%	48,98%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	18,88%	41,33%	52,55%	37,59%		
		A4	22,45%	34,69%	34,69%	30,61%	42,86%	42,86%	75,51%	63,27%	63,27%	57,14%	61,22%	61,22%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	37,14%	40,41%	40,41%	39,32%		
	Dec	A 1	73,47%	81,63%	63,27%	67,35%	83,67%	55,10%	48,98%	61,22%	59,18%	48,98%	40,82%	51,02%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	47,76%	53,47%	45,71%	48,98%	DEC	42,18%
		A2	71,43%	75,51%	69,39%	67,35%	89,80%	73,47%	26,53%	48,98%	40,82%	42,86%	40,82%	44,90%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	41,63%	51,02%	45,71%	46,12%		
		A3	16,33%	18,37%	69,39%	18,37%	55,10%	79,59%				42,86%	61,22%	55,10%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	19,39%	33,67%	51,02%	34,69%		
		A4	18,37%	14,29%	77,55%	30,61%	28,57%	71,43%	69,39%	57,14%	63,27%	38,78%	69,39%	44,90%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	31,43%	33,88%	51,43%	38,91%		
TOTAL/PIECE/HEURE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			8H	12H	17H	TOTAL/AP			
			8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	A 1	53,57%	52,35%	43,88%	49,93%		
			50,77%	60,20%	62,50%	53,57%	69,90%	62,24%	57,99%	53,57%	58,33%	47,83%	50,13%	52,04%	0,38%	0,00%	0,00%	A2	46,63%	50,61%	40,61%	45,95%		
TOTAL/PIECE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			A3	23,47%	40,69%	51,79%	38,65%		
			57,82%			61,90%			56,63%			50,00%			0,13%			A4	37,86%	40,82%	50,51%	43,06%		

2.5. Zone d'éclairage raisonnable 5^e étage ciel clair

Annexe 14 : Tableau pourcentage Zone de choix raisonnable Séjour (200 à 300lux), Chambre (100 à 300lux), cuisine (200 à 300lux) par ciel clair 5^e étage

% points choix raisonnable			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			%Total/APPART/Heure			%Total	% Par SAISON		
			8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h				
5e	Mars	A 1	75,51%	65,31%	42,86%	69,39%	67,35%	48,98%	44,90%	28,57%	61,22%	8,16%	2,04%	16,33%	0%	0%	0%	A 1	39,59%	32,65%	33,88%	35,37%	MARS	30,10%
		A2	61,22%	61,22%	51,02%	77,55%	77,55%	61,22%	26,53%	26,53%	22,45%	6,12%	6,12%	8,16%	0%	0%	0%	A2	34,29%	34,29%	28,57%	32,38%		
		A3	16,33%	34,69%	63,27%	14,29%	59,18%	63,27%				14,29%	6,12%	6,12%	0%	0%	0%	A3	11,22%	25,00%	33,16%	23,13%		
		A4	22,45%	28,57%	71,43%	30,61%	34,69%	61,22%	69,39%	48,98%	44,90%	14,29%	10,20%	6,12%	0%	0%	0%	A4	27,35%	24,49%	36,73%	29,52%		
	Juin	A 1	67,35%	63,27%	34,69%	69,39%	69,39%	30,61%	32,65%	32,65%	44,90%	6,12%	2,04%	6,12%	0%	0%	0%	A 1	35,10%	33,47%	23,27%	30,61%	JUIN	30,96%
		A2	63,27%	59,18%	34,69%	73,47%	69,39%	30,61%	30,61%	26,53%	16,33%	4,08%	4,08%	12,24%	0%	0%	0%	A2	34,29%	31,84%	18,78%	28,30%		
		A3	42,86%	67,35%	65,31%	42,86%	61,22%	63,27%				12,24%	10,20%	8,16%	0%	0%	0%	A3	21,43%	34,69%	34,18%	30,10%		
		A4	48,98%	63,27%	69,39%	32,65%	57,14%	55,10%	65,31%	46,94%	65,31%	4,08%	10,20%	4,08%	0%	0%	0%	A4	30,20%	35,51%	38,78%	34,83%		
	Sept	A 1	71,43%	67,35%	44,90%	75,51%	67,35%	44,90%	44,90%	28,57%	61,22%	8,16%	2,04%	14,29%	0%	0%	0%	A 1	40,00%	33,06%	33,06%	35,37%	SEPT	30,20%
		A2	63,27%	63,27%	42,86%	77,55%	77,55%	53,06%	26,53%	26,53%	22,45%	6,12%	6,12%	8,16%	0%	0%	0%	A2	34,69%	34,69%	25,31%	31,56%		
		A3	16,33%	40,82%	63,27%	14,29%	61,22%	63,27%				18,37%	8,16%	6,12%	0%	0%	0%	A3	12,24%	27,55%	33,16%	24,32%		
		A4	22,45%	28,57%	71,43%	30,61%	34,69%	61,22%	69,39%	48,98%	44,90%	14,29%	10,20%	6,12%	0%	0%	0%	A4	27,35%	24,49%	36,73%	29,52%		
	Dec	A 1	67,35%	69,39%	59,18%	65,31%	69,39%	51,02%	34,69%	36,73%	36,73%	10,20%	6,12%	14,29%	0%	0%	0%	A 1	35,51%	36,33%	32,24%	34,69%	DEC	29,01%
		A2	61,22%	63,27%	59,18%	59,18%	81,63%	65,31%	20,41%	34,69%	24,49%	8,16%	4,08%	4,08%	0%	0%	0%	A2	29,80%	36,73%	30,61%	32,38%		
		A3	14,29%	18,37%	65,31%	16,33%	51,02%	63,27%				10,20%	18,37%	10,20%	0%	0%	0%	A3	10,20%	21,94%	34,69%	22,28%		
		A4	16,33%	14,29%	71,43%	24,49%	28,57%	61,22%	53,06%	44,90%	42,86%	12,24%	22,45%	8,16%	0%	0%	0%	A4	21,22%	22,04%	36,73%	26,67%		
OTAL/PIECE/HEUR			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui				8H	12H	17H	TO/AP	Total Etage	
			8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	A 1	37,55%	34,39%	25,82%	32,59%	30,07%	
			45,66%	50,51%	56,89%	48,34%	60,46%	54,85%	43,20%	35,88%	40,65%	9,82%	8,04%	8,67%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	33,27%	34,39%	25,82%	31,16%		
TOTAL/PIECE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui				A3	13,78%	27,30%	33,80%		24,96%
			51,02%			54,55%			39,91%			8,84%			0,00%				A4	26,53%	26,63%	37,24%	30,14%	

2.6. Zone de valeurs supérieure à 300 lux Ciel clair 5^e étage

Annexe 15 : Tableau pourcentage Zone (+ 300lux) par ciel clair 5^e étage

% Zone superieur à 300lux			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			%Total/APPART/Heure					% / SAISON	
			8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h		8h	12h	17h	%Total		
5e	Mars	A 1	14,29%	6,12%	53,06%	20,41%	10,20%	51,02%	20,41%	20,41%	30,61%	8,16%	8,16%	20,41%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	12,65%	8,98%	31,02%	17,55%	MARS	21,70%
		A2	6,12%	6,12%	34,69%	4,08%	4,08%	34,69%	14,29%	14,29%	0,00%	6,12%	6,12%	20,41%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	6,12%	6,12%	17,96%	10,07%		
		A3	83,67%	65,31%	12,24%	83,67%	36,73%	6,12%				51,02%	24,49%	10,20%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	43,67%	25,31%	5,71%	24,90%		
		A4	22,45%	28,57%	81,63%	30,61%	34,69%	75,51%	75,51%	63,27%	67,35%	61,22%	61,22%	44,90%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	41,22%	46,12%	15,51%	34,29%		
	Juin	A 1	12,24%	10,20%	65,31%	14,29%	14,29%	69,39%	18,37%	12,24%	24,49%	8,16%	8,16%	30,61%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	10,61%	8,98%	37,96%	19,18%	JUIN	17,79%
		A2	14,29%	12,24%	63,27%	14,29%	14,29%	67,35%	10,20%	12,24%	0,00%	10,20%	8,16%	20,41%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	9,80%	9,39%	30,20%	16,46%		
		A3	57,14%	28,57%	10,20%	53,06%	26,53%	6,12%				26,53%	16,33%	8,16%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	27,35%	14,29%	4,90%	15,51%		
		A4	46,94%	30,61%	10,20%	63,27%	36,73%	12,24%	16,33%	16,33%	22,45%	22,45%	14,29%	8,16%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	29,80%	19,59%	10,61%	20,00%		
	Sept	A 1	14,29%	6,12%	55,10%	14,29%	10,20%	55,10%	20,41%	20,41%	30,61%	8,16%	8,16%	24,49%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	11,43%	8,98%	33,06%	17,82%	SEPT	23,64%
		A2	14,29%	6,12%	44,90%	12,24%	4,08%	42,86%	24,49%	14,29%	0,00%	12,24%	6,12%	20,41%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	12,65%	6,12%	21,63%	13,47%		
		A3	83,67%	59,18%	12,24%	83,67%	32,65%	8,16%				48,98%	20,41%	10,20%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	43,27%	22,45%	6,12%	23,95%		
		A4	22,45%	34,69%	34,69%	30,61%	42,86%	42,86%	75,51%	63,27%	63,27%	57,14%	61,22%	61,22%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	37,14%	40,41%	40,41%	39,32%		
	Dec	A 1	22,45%	8,16%	34,69%	28,57%	12,24%	44,90%	18,37%	26,53%	20,41%	14,29%	8,16%	16,33%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	16,73%	11,02%	23,27%	17,01%	DEC	23,06%
		A2	20,41%	10,20%	22,45%	30,61%	6,12%	24,49%	30,61%	14,29%	0,00%	14,29%	10,20%	18,37%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	19,18%	8,16%	13,06%	13,47%		
		A3	83,67%	81,63%	24,49%	79,59%	40,82%	14,29%				44,90%	28,57%	14,29%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	41,63%	30,20%	10,61%	27,48%		
		A4	79,59%	85,71%	18,37%	69,39%	71,43%	22,45%	18,37%	42,86%	24,49%	38,78%	30,61%	12,24%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	41,22%	46,12%	15,51%	34,29%		
TOTAL/PIECE/ HEURE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui				8H	12H	17H	TOTAL/AP		
			8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	A 1	12,86%	9,49%	31,33%	17,89%		
			37,37%	29,97%	36,10%	39,54%	24,87%	36,10%	28,57%	26,70%	23,64%	27,04%	20,03%	21,30%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	11,94%	7,45%	20,71%	13,37%		
TOTAL/PIECE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			A3	38,98%	23,06%	6,84%	22,96%		
			34,48%			33,50%			26,30%			22,79%			0,00%			A4	37,35%	38,06%	20,51%	31,97%		

2.7. Zone de confort Ciel clair 9^e étageAnnexe 16 :Tableau pourcentage Zone de confort (60à 300lux) par ciel clair 9^e étage

% Zone de confort 60 à 300			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			%Total/APPART/Heure			%Total		% / SAISON	
			8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h				
9e	Mars	A 1	83,67%	89,80%	57,14%	79,59%	85,71%	51,02%	71,43%	61,22%	22,45%	51,02%	44,90%	59,18%	10,20%	12,24%	16,33%	A 1	59,18%	58,78%	41,22%	53,06%	MARS	45,41%
		A2	75,51%	79,59%	61,22%	83,67%	85,71%	65,31%	40,82%	53,06%	55,10%	48,98%	46,94%	65,31%	16,33%	10,20%	8,16%	A2	53,06%	55,10%	51,02%	53,06%		
		A3	8,16%	18,37%	71,43%	16,33%	42,86%	81,63%				42,86%	59,18%	55,10%	4,08%	0,00%	0,00%	A3	17,86%	30,10%	52,04%	33,33%		
		A4	16,33%	28,57%	83,67%	28,57%	32,65%	77,55%	71,43%	61,22%	18,37%	67,35%	67,35%	55,10%	4,08%	6,12%	14,29%	A4	37,55%	39,18%	49,80%	42,18%		
	Juin	A 1	89,80%	89,80%	28,57%	85,71%	87,76%	28,57%	75,51%	77,55%	57,14%	46,94%	42,86%	71,43%	6,12%	8,16%	16,33%	A 1	60,82%	61,22%	40,41%	54,15%	JUN	50,18%
		A2	77,55%	77,55%	42,86%	85,71%	87,76%	38,78%	55,10%	51,02%	57,14%	46,94%	46,94%	75,51%	16,33%	8,16%	6,12%	A2	56,33%	54,29%	44,08%	51,56%		
		A3	38,78%	57,14%	77,55%	42,86%	69,39%	85,71%				61,22%	57,14%	46,94%	4,08%	0,00%	0,00%	A3	36,73%	45,92%	52,55%	45,07%		
		A4	38,78%	63,27%	83,67%	40,82%	69,39%	79,59%	75,51%	71,43%	24,49%	65,31%	67,35%	51,02%	4,08%	4,08%	10,20%	A4	44,90%	55,10%	49,80%	49,93%		
	Sept	A 1	85,71%	89,80%	51,02%	83,67%	85,71%	44,90%	71,43%	59,18%	22,45%	48,98%	42,86%	59,18%	10,20%	12,24%	16,33%	A 1	60,00%	57,96%	38,78%	52,24%	SEPT	45,95%
		A2	75,51%	77,55%	59,18%	83,67%	85,71%	59,18%	36,73%	57,14%	53,06%	46,94%	40,82%	65,31%	16,33%	10,20%	8,16%	A2	51,84%	54,29%	48,98%	51,70%		
		A3	10,20%	53,06%	73,47%	10,20%	67,35%	79,59%				53,06%	51,02%	48,98%	0,00%	0,00%	2,04%	A3	18,37%	42,86%	51,02%	37,41%		
		A4	16,33%	34,69%	83,67%	28,57%	36,73%	77,55%	71,43%	55,10%	18,37%	63,27%	67,35%	59,18%	6,12%	6,12%	12,24%	A4	37,14%	40,00%	50,20%	42,45%		
	Dec	A 1	81,63%	89,80%	71,43%	75,51%	85,71%	65,31%	71,43%	44,90%	22,45%	53,06%	48,98%	59,18%	10,20%	18,37%	16,33%	A 1	58,37%	57,55%	46,94%	54,29%	DEC	44,01%
		A2	73,47%	79,59%	61,22%	75,51%	85,71%	67,35%	32,65%	48,98%	48,98%	51,02%	48,98%	57,14%	8,16%	12,24%	8,16%	A2	48,16%	55,10%	48,57%	50,61%		
		A3	8,16%	22,45%	57,14%	8,16%	61,22%	79,59%				38,78%	61,22%	61,22%	0,00%	0,00%	2,04%	A3	13,78%	36,22%	50,00%	33,33%		
		A4	10,20%	14,29%	77,55%	36,73%	28,57%	69,39%	69,39%	32,65%	10,20%	46,94%	67,35%	59,18%	4,08%	8,16%	32,65%	A4	33,47%	30,20%	49,80%	37,82%		
TOTAL/PIECE/ HEURE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			8H	12H	17H	TOTAL/AP			
			8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	A 1	59,59%	58,88%	41,84%	53,44%		
			49,36%	60,33%	65,05%	54,08%	68,62%	65,69%	61,90%	56,12%	34,18%	52,04%	53,83%	59,31%	7,53%	7,27%	10,59%	A2	52,35%	54,69%	48,16%	51,73%		
TOTAL/PIECE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			A3	21,68%	38,78%	51,40%	37,29%		
			58,25%			62,80%			50,74%			55,06%			8,46%			A4	38,27%	41,12%	49,90%	43,10%		

2.8. Zone d'éclairement raisonnable 9^e étage ciel clair

Annexe 17 : Tableau pourcentage Zone de choix raisonnable Séjour (200 à 300lux), Chambre (100 à 300lux), cuisine (200 à 300lux) par ciel clair 9^e étage

% des points choix raisonnable			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			%Total/APPART/Heure			%Total	% / SAISON		
			8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h				
9e	Mars	A 1	73,47%	77,55%	55,10%	75,51%	77,55%	48,98%	65,31%	55,10%	22,45%	10,20%	2,04%	4,08%	0%	0%	0%	A 1	44,90%	42,45%	26,12%	37,82%	MARS	31,34%
		A2	67,35%	71,43%	53,06%	75,51%	73,47%	59,18%	30,61%	40,82%	40,82%	8,16%	6,12%	12,24%	0%	0%	0%	A2	36,33%	38,37%	33,06%	35,92%		
		A3	8,16%	18,37%	67,35%	14,29%	42,86%	63,27%				22,45%	8,16%	10,20%	0%	0%	0%	A3	11,22%	17,35%	35,20%	21,26%		
		A4	16,33%	28,57%	75,51%	28,57%	32,65%	69,39%	65,31%	53,06%	53,06%	6,12%	12,24%	8,16%	0%	0%	6,12%	A4	23,27%	25,31%	42,45%	30,34%		
	Juin	A 1	75,51%	77,55%	28,57%	79,59%	77,55%	28,57%	67,35%	48,98%	55,10%	4,08%	2,04%	16,33%	0%	0%	0%	A 1	45,31%	41,22%	25,71%	37,41%	JUIN	33,94%
		A2	67,35%	67,35%	42,86%	75,51%	77,55%	38,78%	34,69%	30,61%	42,86%	6,12%	4,08%	18,37%	8,16%	0%	0%	A2	38,37%	35,92%	28,57%	34,29%		
		A3	38,78%	46,94%	73,47%	40,82%	61,22%	67,35%				12,24%	12,24%	4,08%	0%	0%	0%	A3	22,96%	30,10%	36,22%	29,76%		
		A4	34,69%	55,10%	75,51%	36,73%	59,18%	65,31%	69,39%	69,39%	24,49%	6,12%	10,20%	6,12%	0%	0%	2,04%	A4	29,39%	38,78%	34,69%	34,29%		
	Sept	A 1	75,51%	77,55%	55,10%	75,51%	77,55%	48,98%	65,31%	55,10%	22,45%	10,20%	2,04%	4,08%	0%	0%	0%	A 1	45,31%	42,45%	26,12%	37,96%	SEPT	31,86%
		A2	67,35%	69,39%	53,06%	75,51%	75,51%	53,06%	32,65%	42,86%	40,82%	8,16%	6,12%	10,20%	0%	0%	0%	A2	36,73%	38,78%	31,43%	35,65%		
		A3	10,20%	46,94%	69,39%	10,20%	59,18%	65,31%				16,33%	4,08%	10,20%	0%	0%	0%	A3	9,18%	27,55%	36,22%	24,32%		
		A4	16,33%	34,69%	75,51%	28,57%	36,73%	69,39%	65,31%	46,94%	18,37%	16,33%	8,16%	8,16%	0%	0%	18,37%	A4	25,31%	25,31%	37,96%	29,52%		
	Dec	A 1	69,39%	75,51%	63,27%	73,47%	77,55%	63,27%	63,27%	42,86%	22,45%	6,12%	6,12%	10,20%	0%	4,08%	6,12%	A 1	42,45%	41,22%	33,06%	38,91%	DEC	30,58%
		A2	63,27%	67,35%	53,06%	67,35%	75,51%	61,22%	8,16%	44,90%	40,82%	6,12%	8,16%	10,20%	0%	0%	0%	A2	28,98%	39,18%	33,06%	33,74%		
		A3	8,16%	22,45%	55,10%	8,16%	61,22%	73,47%				18,37%	10,20%	12,24%	0%	0%	0%	A3	8,67%	23,47%	35,20%	22,45%		
		A4	8,16%	14,29%	73,47%	32,65%	28,57%	65,31%	63,27%	63,27%	10,20%	6,12%	26,53%	8,16%	0%	0%	8,16%	A4	22,04%	26,53%	33,06%	27,21%		
OTAL/PIECE/HEUR			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui				8H	12H	17H	TOTAL/AP		
			8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	A 1	44,49%	41,84%	27,76%	38,03%		
			43,75%	53,19%	60,59%	49,87%	62,12%	58,80%	52,55%	49,49%	32,82%	10,20%	8,04%	9,57%	0,51%	0,26%	2,55%	A2	35,10%	38,06%	31,53%	34,90%		
TOTAL/PIECE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			A3	13,01%	24,62%	35,71%	24,45%		
			52,51%			56,93%			44,95%			9,27%			1,11%			A4	25,00%	28,98%	37,04%	30,34%		

2.9. Zone de valeurs supérieure à 300 lux Ciel clair 9^e étage

Annexe 18 : Tableau pourcentage Zone (+ 300lux) par ciel couvert 9^e étage

% Zone superieur à 300lux			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			%Total/APPART/Heure				%Total		% / SAISON	
			8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h	8h	12h	17h					
9e	Mars	A 1	12,24%	8,16%	42,86%	16,33%	10,20%	48,98%	24,49%	36,73%	77,55%	8,16%	8,16%	24,49%	0,00%	0,00%	2,04%	A 1	12,24%	12,65%	39,18%	21,36%	MARS	27,46%	
		A2	14,29%	8,16%	34,69%	12,24%	10,20%	34,69%	55,10%	42,86%	16,33%	10,20%	6,12%	16,33%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	18,37%	13,47%	20,41%	17,41%			
		A3	91,84%	81,63%	20,41%	83,67%	57,14%	12,24%				53,06%	24,49%	10,20%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	57,14%	40,82%	10,71%	36,22%			
		A4	83,67%	71,43%	12,24%	71,43%	67,35%	16,33%	22,45%	36,73%	79,59%	30,61%	22,45%	8,16%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	41,63%	39,59%	23,27%	34,83%			
	Juin	A 1	8,16%	8,16%	71,43%	10,20%	10,20%	71,43%	18,37%	18,37%	42,86%	8,16%	8,16%	26,53%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	8,98%	8,98%	42,45%	20,14%	JUN	21,38%	
		A2	10,20%	10,20%	57,14%	10,20%	10,20%	61,22%	42,86%	28,57%	16,33%	8,16%	8,16%	20,41%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	14,29%	11,43%	31,02%	18,91%			
		A3	61,22%	42,86%	14,29%	57,14%	28,57%	8,16%				28,57%	14,29%	10,20%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	36,73%	21,43%	8,16%	22,11%			
		A4	59,18%	36,73%	12,24%	59,18%	30,61%	14,29%	18,37%	18,37%	73,47%	20,41%	14,29%	8,16%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	31,43%	20,00%	21,63%	24,35%			
	Sept	A 1	10,20%	8,16%	48,98%	12,24%	10,20%	55,10%	24,49%	38,78%	77,55%	8,16%	8,16%	26,53%	0,00%	0,00%	0,00%	A 1	11,02%	13,06%	41,63%	21,90%	SEPT	26,40%	
		A2	14,29%	10,20%	40,82%	12,24%	10,20%	40,82%	59,18%	36,73%	16,33%	10,20%	6,12%	18,37%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	19,18%	12,65%	23,27%	18,37%			
		A3	89,80%	46,94%	18,37%	89,80%	32,65%	14,29%				46,94%	20,41%	10,20%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	56,63%	25,00%	10,71%	30,78%			
		A4	83,67%	65,31%	12,24%	71,43%	63,27%	16,33%	22,45%	42,86%	79,59%	32,65%	20,41%	8,16%	0,00%	0,00%	0,00%	A4	42,04%	38,37%	23,27%	34,56%			
	Dec	A 1	16,33%	8,16%	28,57%	20,41%	10,20%	32,65%	24,49%	55,10%	77,55%	14,29%	8,16%	12,24%	0,00%	0,00%	2,04%	A 1	15,10%	16,33%	30,61%	20,68%	DEC	30,72%	
		A2	18,37%	10,20%	34,69%	20,41%	10,20%	30,61%	55,10%	48,98%	20,41%	12,24%	6,12%	16,33%	0,00%	0,00%	0,00%	A2	21,22%	15,10%	20,41%	18,91%			
		A3	91,84%	77,55%	36,73%	91,84%	36,73%	16,33%				59,18%	24,49%	16,33%	0,00%	0,00%	0,00%	A3	60,71%	34,69%	17,35%	37,59%			
		A4	87,76%	85,71%	18,37%	63,27%	71,43%	22,45%	63,27%	71,43%	22,45%	24,49%	65,31%	87,76%	0,00%	0,00%	2,04%	A4	47,76%	58,78%	30,61%	45,71%			
	TOTAL/PIECE/ HEURE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui				8H	12H	17H	TOTAL/AP		
				8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	8H	12H	17H	A 1	11,84%	12,76%	38,47%	21,02%		
				47,07%	36,22%	31,51%	43,88%	29,34%	30,99%	35,88%	39,63%	50,00%	23,47%	16,58%	20,03%	0,00%	0,00%	0,38%	A2	18,27%	13,16%	23,78%	18,40%		
	TOTAL/PIECE			Ch1			Ch2			Ch3			Sej			Cui			A3	52,81%	30,48%	11,73%	31,68%		
38,27%				34,74%			41,84%			20,03%			0,13%			A4	40,71%	39,18%	24,69%	34,86%					

